

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE DÖNER FIRIN PROSESİNİN
EKSERGOEKONOMİK OPTİMİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

Mehmet Ziya SÖĞÜT

Tez Danışmanları: Doç. Dr. Zuhal OKTAY

Prof. Dr. Hikmet KARAKOÇ

Sınav Tarihi: 27 Mart 2009

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI (EGEÜ)

Doç. Dr. Zuhal OKTAY (DANIŞMAN-BAÜ)

Yrd. Doç.Dr. Nadir İLTEN (BAÜ)

Yrd. Doç.Dr. Koray ÜLGEN (EGEÜ)

Yrd. Doç.Dr. Ali ORAL (BAÜ)

Balıkesir, MART – 2009

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE DÖNER FIRIN PROSESİNİN
EKSERGOEKONOMİK OPTİMİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

Mehmet Ziya SÖĞÜT

Balıkesir, MART – 2009

ÖZET

ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE DÖNER FIRIN PROSESİNİN EKSERGOEKONOMİK OPTİMİZASYONU

M.Ziya SÖĞÜT

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği ABD

(Doktora Tezi/Tez Danış.: Doç.Dr.Zuhal OKTAY,Prof.Dr.Hikmet KARAKOÇ)

Balıkesir, 2009

Çimento sektörü, enerji tüketimi ve maliyetleri bakımından Türkiye 'de en büyük sanayi sektörlerinden biridir. Bu tezde, gerçek çalışma verileri kullanılarak, Balıkesir' de bir çimento fabrikasında 335 kton/yıl klinker kapasiteli döner fırın prosesinin eksergoekonomik analizlerinin yapılması ve fırının verimlilik ve ürün maliyet optimizasyonlarının genetik algoritma yöntemiyle çözümlenmesi hedeflenmiştir.

Bu tez, esas itibari ile sekiz bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmanın yapılma nedeni ve tezin içeriği verilmiştir. İkinci bölümde teze yönelik yapılan literatür taraması verilmiş, çimento sektörünün yapısı ve çimentonun üretim koşulları ise üçüncü bölümde ele alınmıştır. Dördüncü bölümde enerji, ekserji, yeni bir yaklaşım olarak önerilen Ürün Ekserjetik Maliyet (Product Exergetic Cost; PRECO) eksergoekonomik analiz yöntemi ve genetik algoritma ile optimizasyon metodolojisi verilmiştir. Oluşturulan metodolojinin uygulanacağı döner fırın prosesine ait bilgiler, çalışma koşulları ve akış şemaları beşinci bölümde sunulmuştur.

Enerji ve ekserji analizleri ile birlikte oluşturulan PRECO eksergoekonomik analiz yönetimi kullanılarak döner fırın prosesinin eksergoekonomik analizleri,

fırının ekserjetik veriminin ve klinker maliyetinin uyarlanabilir aralıklı çok amaçlı genetik algoritma (Adaptive Range Multi-Objective Algorithm; ARMOGA) yöntemi ile eksergoekonomik optimizasyonu altıncı bölümde yapılmıştır. Yedinci bölümde analizler ve optimizasyondan elde edilen sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiş, son bölümde ise geleceğe yönelik çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Çalışmanın sonunda döner fırının yedi günlük ortalama enerji ve ekserji verimlilikleri sırasıyla, 295 ile 297 K aralığında ölü hal sıcaklıklarında ve 101.325 kPa ölü hal basınç şartlarında % 58.79 ve % 44.8 olarak bulunmuştur. Döner fırından elde edilen klinkerin 2006 yılı ortalama fabrika maliyeti 0.022 \$/kg 'dır. Buna karşın, klinkerin ekserjetik maliyeti, sunulan PRECO eksergoekonomik analiz yönetimi ile % 1.16 'lık farkla 0.0217 \$/kg olarak bulunmuştur. Bu verilere bağlı olarak, ARMOGA yöntemi ile yapılan verim ve maliyet optimizasyonu sonucunda ortalama hedef maliyeti % 4.44 iyileştirme oranıyla 0.0209 \$/kg, ortalama hedef verimi ise, % 7.13 iyileştirme oranıyla % 47.57 olarak hesaplanmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Çimento / Çimento üretimi / Eksergoekonomik analiz / Optimizasyon / Genetik Algoritma

ABSTRACT

EXERGONECONOMIC OPTIMIZATION OF THE ROTARY KILN PROCESS IN THE CEMENT SECTOR

M.Ziya SÖĞÜT

Balıkesir Univ, Institute of Science, Department of Mechanical Engineering

**(M.Sc.Thesis/Supervisors: Asst. Prof. Dr. Zuhal OKTAY, Prof. Dr. Hikmet
KARAKOÇ)**

Balıkesir – Turkey, 2009

In Turkey, cement producing is one of the most important businesses with respect to energy consuming and costs. This thesis aims to realize the cost optimization through genetic algorithmic method and to make exergoeconomics analysis of the rotary kiln, by using the actual operational data of the rotary kiln process in a cement factory with a clinker capacity of 335 kton/year

This thesis is mainly composed of eight chapters. In the first chapter, the motivation behind this thesis and its contents are introduced. In the second chapter, the literature concerning the subject is given and cement producing conditions and cement business in general are reviewed in the third chapter. In the fourth chapter, we deal with the concepts of energy, exergy, Product Exergetic Cost (PRECO) exergoeconomic analysis method as a new approach, and optimization methodology through genetic algorithm. Information concerning the suggested methodology to be applied to the rotary kiln process, working conditions and flow chart are mentioned in the fifth chapter.

By using suggested PRECO exergoeconomic analysis together with energy and exergy analysis, exergoeconomic analysis of the rotary kiln, exergoeconomic optimization exergetic productivity of the kiln and the clinker cost through Adaptive Range Multi Objective Algorithm (ARMOGA) method is made in the sixth chapter.

In the seventh chapter, we deal with analysis and the results of the optimization separately and in the last chapter, we have some suggestions for the future studies.

At the end of the study, the average energy and exergy efficiencies of the rotary kiln process for seven days were found to be 58.79 % and 44.80 % respectively under the conditions of 295-297 K of dead state temperature and 101.325 kPa of dead state pressure. The average factory cost of the clinker produced in the rotary kiln was 0.022 \$/kg in 2006. On the other hand, with a difference of 1.16 %, the exergetic cost of the clinker was found as 0.0217 \$/kg with the PRECO exergoeconomic analysis method. Depending the data obtained, as a result of efficiency and cost optimization through ARMOGA method, target cost was calculated as 0.0209 with an improvement rate of 4.44 %, and target efficiency was calculated as 47.57 % with an improvement rate of 7.13 %.

KEY WORDS: Cement / Clinker production / Exergoeconomics analyses / Optimization / Genetic algorithm

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xvi
ÖNSÖZ	xix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	8
2.1 Ekserji Analizi	8
2.2 Eksergoekonomik Analiz ve Optimizasyon	12
2.3 Genetik Algoritma	23
3. ÇİMENTO VE ÇİMENTO SEKTÖRÜ	33
3.1 Dünya Çimento Endüstrisi	33
3.2 Türk Çimento Endüstrisi	35
3.3 Çimentonun Yapısı	40
3.3.1 Çimento Sanayinde Kullanılan Katkı Maddeleri	41
3.4 Çimento Üretim Sistemleri ve Özellikleri	43
3.4.1 Hammadde Hazırlama	44
3.4.2 Farin Hazırlama	44
3.4.3 Klinker Üretimi	45
3.4.3.1 Döner Fırımlar	46
3.4.3.2 Klinker Soğutucuları	46
3.4.4 Yakıt Hazırlama	52
3.4.5 Katkı Hazırlama	55

3.4.6 Çimento Öğütme	55
3.4.7 Çimento Sevkiyatı	56
4. EKSERJİ, EKSERGOEKONOMİK ANALİZİ VE GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYON METEDOLOJİLERİ	57
4.1 Ekserji Analizi	57
4.1.1 İş Etkisi ile Ekserji Transferi	60
4.1.2 Isı Etkisi ile Ekserji Transferi	60
4.1.3 Materyal Akışları ile Birleştirilmiş Ekserji Transferi	61
4.1.3.1 Fiziksel Ekserji	61
4.1.3.2 Kimyasal Ekserji	62
4.1.3.2.1 Standart Kimyasal Ekserji	63
4.1.3.2.2 Gaz Karışımlarının Kimyasal Ekserjileri	63
4.1.4 Tersinmezlik (Ekserji Kaybı)	64
4.1.5 Ekserji Verimliliği	65
4.1.5.1 Basit Verimlilik	65
4.1.5.2 Rasyonel Verimlilik	65
4.1.5.3 Geçişli Ekserji ile Verimlilik	66
4.2 Eksergoekonomik Analiz	67
4.3 Genetik Algoritma	73
4.3.1 Genetik Algoritmanın Aşamaları	74
4.3.2 Arama ve Hesaplama	75
4.3.3 Genetik Algoritmalarda Parametre Seçimi	78
4.3.3.1 Populasyon Büyüklüğü	78
4.3.3.2 Çaprazlama Olasılığı	78
4.3.3.3 Mutasyon Olasılığı	78
4.3.3.4 Kuşak Aralığı	79
4.3.3.5 Seçim Stratejisi	79
4.3.3.6 Fonksiyon Ölçeklemesi	79
5. DÖNER FIRIN PROSESİ	80

6. ENERJİ EKSERJİ EKSERGOEKONOMİK ANALİZLER VE GENETİK ALGORİTMA İLE EKSERGOEKONOMİK OPTİMİZASYON	84
6.1 Döner Fırın Bölümünün Enerji Analizleri	92
6.2 Döner Fırın Bölümünün Enerji Verimi	95
6.3 Döner Fırın Bölümünün Ekserji Analizi	96
6.4 Döner Fırın Bölümünün Ekserji Verimi	98
6.5 Döner Fırın Bölümünün Eksergoekonomik Analizi	99
6.6 Döner Fırın Bölümünün Eksergoekonomik Optimizasyonu	104
7. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	122
7.1 Enerji ve Ekserji Analizlerinin Değerlendirilmesi	122
7.2 Eksergoekonomik Analizlerin Değerlendirilmesi	126
7.3 Genetik Algoritma ile Optimizasyonun Değerlendirilmesi	129
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	132
EKLER	134
KAYNAKLAR	209

SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Adı</u>	<u>Birimi</u>
A	Isı transfer alanı	m^2
C_a	Yatırım maliyeti	\$
C_{exp_c}	Çıkan ürün maliyeti	\$/kg
C_{exp_r}	Ana ürün maliyeti	\$/kg
C_c	Materyal birim maliyeti	\$/kg
C_{ex}	Ekserjetik birim maliyet	\$/kj
$C_{ex_{m_g}}$	Giren materyalin birim ekserji maliyeti	\$/kj
$C_{ex_{m_ç}}$	Çıkan materyali etkileyen birim ekserji maliyeti	\$/kJ
$C_{ex_ç}$	Çıkan ürünün birim ekserji maliyeti	\$/kJ
C_{ex_g}	Giren ürünün birim ekserji maliyeti	\$/kJ
C_{m_g}	Giren materyalin birim maliyeti	\$/kg
C_{rm}	Giren materyalin birim hammadde maliyeti	\$/kg
C_P	Özgül ısı kapasitesi	kJ/kgK
C_{sis}	Sistemin ilk yatırım maliyeti	\$
C_y	Elemanın yatırım maliyeti	\$
E	Enerji	kJ
\dot{E}	Enerji akımı	kJ/h
ex	Birim ekserji	kJ/kg
Ex	Ekserji	kJ
\dot{Ex}	Ekserji akımı	kJ/h
Ex_{fz}	Fiziksel ekserji	kJ
Ex_{kim}	Kimyasal ekserji	kJ
Ex_{kin}	Kinetik ekserji	kJ
Ex_{pot}	Potansiyel ekserji	kJ
Ex_w	İş ekserjisi	kJ

$\dot{E}x_w$	İş ekserji akımı	kJ/h
$\dot{E}x_Q$	Isı etkisi ile ekserji akımı	kJ/h
$\dot{E}x_{\Delta T}$	Fiziksel ekserji akımının termal bileşeni	kJ/h
$\dot{E}x_{\Delta P}$	Fiziksel ekserji akımının basınç bileşeni	kJ/h
Ex_g	Giren ekserji	kJ
Ex_{ζ}	Çıkan ekserji	kJ
$Ex_{d\zeta}$	Transfer edilen ekserji	kJ
Ex_k	Proses için gerekli ekseji girişi	kJ
Ex_{tr}	Geçiş ekserjisi	kJ
h	Entalpi	kJ/kg
H	Entalpi	kJ
H_0	Çevre entalpisi	kJ
$H_{yıl}$	Çalışma süresi	saat
I	Tersinmezlik	kJ
I_r	Yıllık ortalama faiz oranı	%
k_{cex}	Ürünün ekserjetik katsayısı	
\dot{m}	Kütleli debi	kg/h
\dot{m}_m	Giren materyalin kütleli debisi	kg/h
\dot{m}_p	Çıkan ürünün kütleli debisi	kg/h
NCV	Net yanma değeri	kJ/kg
P	Basınç	Pa
P_0	Çevre basıncı	Pa
P_{00}	Kısmi basınç	Pa
R	Özgül gaz sabiti	kJ/kgK
s	Entropi	kJ/kgK
S	Entropi	kJ/K
S_0	Çevre entropisi	kJ/K
T	Sıcaklık	K
T_0	Çevre sıcaklığı	K
v_m	Özgül hacim	m ³ /kg
W	İş	kJ
Z_{cc}	Yatırım maliyet oranı	

Z_m	Bakım onarım maliyeti	\$
Z_b	Bakım onarım gideri	\$
Z_s	Yedek parça gideri	\$
Z_f	Nakil montaj gideri	\$
Z_p	İşletme maliyeti	\$
Q_i	Isı transfer miktarı	kJ
Q_A	Isı transfer miktarı	kJ
ΔG_0	Gibs fonksiyonu	
Δs	Birim entropi değişimi	kJ/kgK
ζ	Çıkan	
g	Giren	
η_i	Enerji verimi	
η_{ii}	Ekserji verimi	
ψ	Rasyonel verimlilik	
β	Yatırım dönüşüm oranı	
ζ	Sıcaklık faktörü	
φ	Atomik bileşen sabiti	

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1	Türk sanayi sektörlerinde enerji maliyet oranı	2
Şekil 3.1	2000–2007 yılları dünya çimento üretimi	34
Şekil 3.2	Türkiye’de çimento fabrikaları	36
Şekil 3.3	Çimento ve klinker üretiminin yıllara göre dağılımı	36
Şekil 3.4	2007 yılında enerji tüketim dağılımı	37
Şekil 3.5	1990–2020 yılları Türkiye çimento üretim projeksiyonu	38
Şekil 3.6	1990–2020 yılları Türkiye klinker üretim projeksiyonu	40
Şekil 3.7	Çimento üretim hattı akış şeması	43
Şekil 3.8	Farin değirmeni	45
Şekil 3.9	Kuru sistem döner fırın bölümü	48
Şekil 3.10	Fırın sistemi boyunca gaz ve malzeme sıcaklıkları	49
Şekil 3.11	Farinden klinkere geçişte faz değişimleri	50
Şekil 3.12	Nem – değirmen kapasitesi – enerji ilişkisi	54
Şekil 4.1	Ekserji analizlerinin kapsamı	57
Şekil 4.2	Ölü durumda sistemin çevresi ile termodinamik denge hali	59
Şekil 4.3	PRECO Eksergoekonomik analiz akış şeması	69
Şekil 4.4	Genetik algoritmanın akış şeması	74
Şekil 5.1	Döner fırın bölümü akış şeması	80
Şekil 5.2	Ön ısıtıcı siklonlarda gaz ve farin akışları	81
Şekil 5.3	Ön ısıtıcılarda gaz ve farinin sıcaklıkları	82
Şekil 6.1	Eksergoekonomik optimizasyon işlem akış şeması	85
Şekil 6.2	Siklonlarda kütle akış	87
Şekil 6.3	Döner fırın ünitesi kütle akışı	89
Şekil 6.4	Soğutucu ünite kütle akışı	90
Şekil 6.5	Döner fırın üniteleri ve bölümünün enerji verimleri	96
Şekil 6.6	Döner fırın bölümünde ekserji akışı	98
Şekil 6.7	Giren birim kütle ekserji maliyeti	102

Şekil 6.8	Ekserji ve ekserjetik kaybın maliyetleri	103
Şekil 6.9	Klinkerin birim kütle maliyeti	104
Şekil 6.10	Döner fırın bölümünün optimizasyon akış şeması	106
Şekil 6.11	Döner fırının genetik optimizasyon modeli	107
Şekil 6.12	Başlangıç popülasyonu	108
Şekil 6.13	Uyarlanabilir aralıklar (Dizayn aralıkları)	110
Şekil 6.14	ARMOGA akış şeması	110
Şekil 6.15	Optimizasyon yöntemi ve parametreleri	111
Şekil 6.16	Hedef maliyet ve verim dağılımı	114
Şekil 6.17	Hedef maliyet dağılımı	115
Şekil 6.18	Hedef verim dağılımları	115
Şekil 6.19	Üretim ve hedef maliyet dağılımı	116
Şekil 6.20	Üretim ve hedef verim dağılımı	117
Şekil 6.21	Girdi ve hedef parametrelerinin paralel koordinat grafiği	118
Şekil 6.22	En iyi nesillerin paralel koordinat grafiği	119
Şekil 6.23	Ortalama üretim ve hedef maliyet dağılımı	119
Şekil 6.24	Ortalama üretim ve hedef verim dağılımı	121
Şekil 7.1	Enerji ve ekserji kayıplarının dağılımı	123
Şekil 7.2	Kayıpların değişim oranı	123
Şekil 7.3	2000–2008 yılları yıllık ortalama klinker maliyetleri	127
Şekil 7.4	Klinker maliyet karşılaştırması	127
Şekil 7.5	Hedef ve standart ekserjetik verim	130
Şekil 7.6	Hedef ve standart maliyet	131
Şekil L.1	Hedef maliyet ve verim dağılımı (07 Temmuz)	194
Şekil L.2	Hedef maliyet dağılımı (07 Temmuz)	194
Şekil L.3	Hedef verim dağılımı (07 Temmuz)	195
Şekil L.4	Girdi ve hedef parametrelerinin paralel koordinat grafiği (07 Temmuz)	195
Şekil L.5	En iyi nesillerin paralel koordinat grafiği (07 Temmuz)	196
Şekil L.6	Hedef maliyet ve verim dağılımı (08 Temmuz)	196
Şekil L.7	Hedef maliyet dağılımı (08 Temmuz)	197
Şekil L.8	Hedef verim dağılımı (08 Temmuz)	197
Şekil L.9	Girdi ve hedef parametrelerinin paralel koordinat grafiği (08 Temmuz)	198

Şekil L.10	En iyi nesillerin paralel koordinat grafiği (08 Temmuz)	198
Şekil L.11	Hedef maliyet ve verim dağılımı (09 Temmuz)	199
Şekil L.12	Hedef maliyet dağılımı (09 Temmuz)	199
Şekil L.13	Hedef verim dağılımı (09 Temmuz)	200
Şekil L.14	Girdi ve hedef parametrelerinin paralel koordinat grafiği (09 Temmuz)	200
Şekil L.15	En iyi nesillerin paralel koordinat grafiği (09 Temmuz)	201
Şekil L.16	Hedef maliyet ve verim dağılımı (10 Temmuz)	201
Şekil L.17	Hedef maliyet dağılımı (10 Temmuz)	202
Şekil L.18	Hedef verim dağılımı (10 Temmuz)	202
Şekil L.19	Girdi ve hedef parametrelerinin paralel koordinat grafiği (10 Temmuz)	203
Şekil L.20	En iyi nesillerin paralel koordinat grafiği (10 Temmuz)	203
Şekil L.21	Hedef maliyet ve verim dağılımı (11 Temmuz)	204
Şekil L.22	Hedef maliyet dağılımı (11 Temmuz)	204
Şekil L.23	Hedef verim dağılımı (11 Temmuz)	205
Şekil L.24	Girdi ve hedef parametrelerinin paralel koordinat grafiği (11 Temmuz)	205
Şekil L.25	En iyi nesillerin paralel koordinat grafiği (11 Temmuz)	206
Şekil L.26	Hedef maliyet ve verim dağılımı (12 Temmuz)	206
Şekil L.27	Hedef maliyet dağılımı (12 Temmuz)	207
Şekil L.28	Hedef verim dağılımı (12 Temmuz)	207
Şekil L.29	Girdi ve hedef parametrelerinin paralel koordinat grafiği (12 Temmuz)	208
Şekil L.30	En iyi nesillerin paralel koordinat grafiği (12 Temmuz)	208

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1	Dünya çimento üretimi	35
Çizelge 3.2	1990–2020 yılları Türkiye çimento üretim projeksiyonu	38
Çizelge 3.3	1990–2020 yılları Türkiye klinker üretim projeksiyonu	39
Çizelge 3.4	Katkı maddelerinin kullanım oranları	42
Çizelge 3.5	Katkı maddelerinin yıllara göre değişimi	42
Çizelge 3.6	Klinker bileşenleri	51
Çizelge 3.7	Çimento döner fırınında yanma şartları	53
Çizelge 6.1	Baca gazı toz oranları	88
Çizelge 6.2	Kömür karışımı kül oranı (%)	89
Çizelge 6.3	Döner fırın ünitesinin kütleli dengesi	90
Çizelge 6.4	Döner fırın bölümünün kütleli dengesi	89
Çizelge 6.5	Sızıntı havanın özgül ısı kapasitesi	94
Çizelge 6.6	Döner fırın bölümünün ekserji verimi	99
Çizelge 6.7	Bakım onarım maliyetleri	101
Çizelge 6.8	Optimizasyonda girdi verilerinin sınır değerleri	112
Çizelge 6.9	Maliyet ve verim iyileştirme oranları	116
Çizelge 6.10	Ortalama maliyet ve verim iyileştirme oranları	120
Çizelge A-1	Kalsinasyon gazları ve kızdırma kayıpları(KK)	135
Çizelge B-1	Ön ısıtıcı siklonlara giren maddelerin kütleli debileri	136
Çizelge C.1	Ön ısıtıcı siklonların enerji analizi (06 Temmuz)	137
Çizelge C.2	Ön ısıtıcı siklonların enerji analizi (07 Temmuz)	138
Çizelge C.3	Ön ısıtıcı siklonların enerji analizi (08 Temmuz)	139
Çizelge C.4	Ön ısıtıcı siklonların enerji analizi (09 Temmuz)	140
Çizelge C.5	Ön ısıtıcı siklonların enerji analizi (10 Temmuz)	141
Çizelge C.6	Ön ısıtıcı siklonların enerji analizi (11 Temmuz)	142
Çizelge C.7	Ön ısıtıcı siklonların enerji analizi (12 Temmuz)	143
Çizelge Ç.1	Döner fırın ünitesinin enerji analizi (06-07 Temmuz)	144

Çizelge Ç.2	Döner fırın ünitesinin enerji analizi (08-09 Temmuz)	145
Çizelge Ç.3	Döner fırın ünitesinin enerji analizi (10-11 Temmuz)	146
Çizelge Ç.4	Döner fırın ünitesinin enerji analizi (12 Temmuz)	147
Çizelge D.1	Soğutucu ünitenin enerji analizi (06-12 Temmuz)	148
Çizelge D.2	Döner fırın bölümünün enerji analizi (06-07 Temmuz)	149
Çizelge D.3	Döner fırın bölümünün enerji analizi (08-09 Temmuz)	150
Çizelge D.4	Döner fırın bölümünün enerji analizi (10-11 Temmuz)	151
Çizelge D.5	Döner fırın bölümünün enerji analizi (12 Temmuz)	152
Çizelge E.1	Döner fırın bölümünün enerji analizi ve sonuçları	153
Çizelge F.1	Döner fırın bölümünün ekserji analizi (06 Temmuz Giren Madde)	154
Çizelge F.2	Döner fırın bölümünün ekserji analizi (06 Temmuz Çıkan Madde)	155
Çizelge F.3	Döner fırın bölümünün ekserji analizi (07 Temmuz Giren Madde)	156
Çizelge F.4	Döner fırın bölümünün ekserji analizi (07 Temmuz Çıkan Madde)	157
Çizelge F.5	Döner fırın bölümünün ekserji analizi (08 Temmuz Giren Madde)	158
Çizelge F.6	Döner fırın bölümünün ekserji analizi (08 Temmuz Çıkan Madde)	159
Çizelge F.7	Döner fırın bölümünün ekserji analizi (09 Temmuz Giren Madde)	160
Çizelge F.8	Döner fırın bölümünün ekserji analizi (09 Temmuz Çıkan Madde)	161
Çizelge F.9	Döner fırın bölümünün ekserji analizi (10 Temmuz Giren Madde)	162
Çizelge F.10	Döner fırın bölümünün ekserji analizi (10 Temmuz Çıkan Madde)	163
Çizelge F.11	Döner fırın bölümünün ekserji analizi (11 Temmuz Giren Madde)	164
Çizelge F.12	Döner fırın bölümünün ekserji analizi (11 Temmuz Çıkan Madde)	165
Çizelge F.13	Döner fırın bölümünün ekserji analizi (12 Temmuz Giren Madde)	166
Çizelge F.14	Döner fırın bölümünün ekserji analizi (12 Temmuz Çıkan Madde)	167
Çizelge G.1	Döner fırın bölümünde materyal akışlarına etki eden elemanların işletme maliyetleri	168
Çizelge Ğ.1	Döner fırın bölümünde giren maddelerin ekserji maliyetleri (06-07 Temmuz)	169
Çizelge Ğ.2	Döner fırın bölümünde giren maddelerin ekserji maliyetleri (08-09 Temmuz)	170
Çizelge Ğ.3	Döner fırın bölümünde giren maddelerin ekserji maliyetleri (10-11 Temmuz)	171
Çizelge Ğ.4	Döner fırın bölümünde giren maddelerin ekserji maliyetleri (12 Temmuz)	172

Çizelge H.1	Döner fırın bölümünde klinker ve çıkan maddelerin ekserji maliyetleri (06-07 Temmuz)	173
Çizelge H.2	Döner fırın bölümünde klinker ve çıkan maddelerin ekserji maliyetleri (08-09 Temmuz)	174
Çizelge H.3	Döner fırın bölümünde klinker ve çıkan maddelerin ekserji maliyetleri (10-11 Temmuz)	175
Çizelge H.4	Döner fırın bölümünde klinker ve çıkan maddelerin ekserji maliyetleri (12 Temmuz)	176
Çizelge I.1	Eksergoekonomik analiz akış tablosu (06 Temmuz)	177
Çizelge I.2	Eksergoekonomik analiz akış tablosu (07 Temmuz)	178
Çizelge I.3	Eksergoekonomik analiz akış tablosu (08 Temmuz)	179
Çizelge I.4	Eksergoekonomik analiz akış tablosu (09 Temmuz)	180
Çizelge I.5	Eksergoekonomik analiz akış tablosu (10 Temmuz)	181
Çizelge I.6	Eksergoekonomik analiz akış tablosu (11 Temmuz)	182
Çizelge I.7	Eksergoekonomik analiz akış tablosu (12 Temmuz)	183
Çizelge İ-1	Genetik çözümlene dizayn tablosu	184
Çizelge J.1	Genetik çözümlene uzayında en iyi jenerasyonlar (06 Temmuz)	185
Çizelge K.1	Genetik çözümlene uzayında en iyi jenerasyonlar (07-08 Temmuz)	191
Çizelge K.2	Genetik çözümlene uzayında en iyi jenerasyonlar (09-10 Temmuz)	192
Çizelge K.3	Genetik çözümlene uzayında en iyi jenerasyonlar (11-12 Temmuz)	193

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, bir çimento fabrikasında döner fırın bölümünün termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiş, yeni bir yaklaşım olarak önerilen Üretim Ekserjetik Maliyet (Product Exergetic Cost; PRECO) eksergoekonomik analiz yönetim ile eksergoekonomik analizleri yapılmış ve bu analizlere bağlı olarak fırının ekserjetik veriminin ve ürün maliyetlerinin eksergoekonomik optimizasyonu genetik algoritma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Tezin hazırlanmasında beni yönlendiren ve yardımını esirgemeyen danışman hocalarım Doç. Dr. Zuhâl OKTAY 'a, Prof. Dr. Hikmet KARAKOÇ 'a, tez konusunu belirlemede yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI 'ya, çalışmalarında desteklerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ali ORAL 'a ve Yrd. Doç. Dr. Koray ÜLGEN 'e, genetik algoritma uygulamaları için teknik bilgi ve program desteği veren FİGES A.Ş 'ye, fabrikalarında çalışma olanağı tanıyan çimento fabrika müdürlüğüne ve personeline, çalışmalarda çimento üretimi ve sonuçların değerlendirilmesinde teknik danışmanlık veren fabrikada üretim müdürü Mak. Müh. Müfit TEKİN 'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında desteklerinden dolayı KHO Komutanlığına, KHO Dekanına, Teknik Bilimler Bölüm Başkanına ve tüm mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca, beni çalışmalarında her zaman teşvik eden ve yardımlarını esirgemeyen eşim Gülsün SÖĞÜT ile oğlum Berkin SÖĞÜT 'e ve tüm aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, Mart 2009

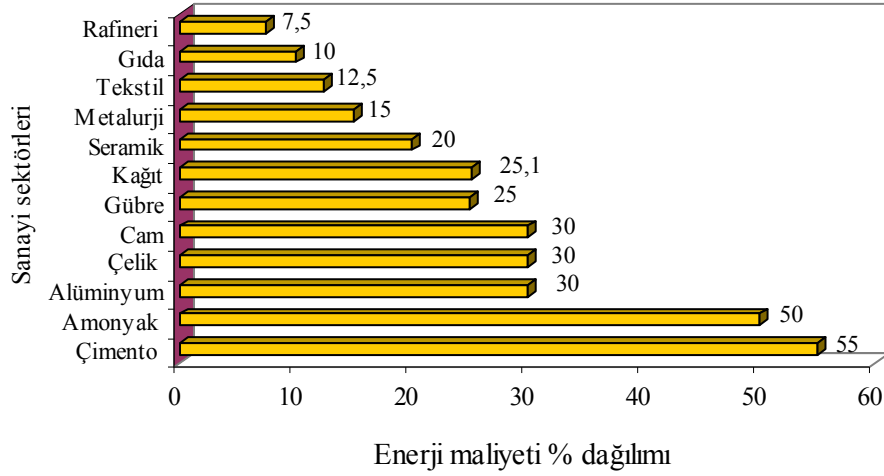
M. Ziya SÖĞÜT

1 GİRİŞ

Artan dünya nüfusuna paralel olarak modern hayatın getirdiği yenilikler ve teknolojinin gelişimi, her alanda enerjiye olan bağımlılığı ve ihtiyacı belirgin bir biçimde arttırmış, enerji; tüm ülkeler için en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir. Üretim potansiyelinin artış eğilimi, düşük enerji verimliliğine sahip üretim sistemleri ve üretim teknolojilerindeki gelişmeler gibi etkenler sanayi sektörlerinde enerji talebinin artmasına, sektörde enerji tüketimlerine bağlı olarak enerji maliyetlerinin de sürekli yükselmesine neden olmuştur. Enerji tüketimindeki artışlar, her alanda ürün maliyetlerini doğrudan etkilemeye başlamıştır. Üretim sistemlerinde enerji tasarrufu çalışmaları ile verimliliğin yükseltilmesi ve buna bağlı enerji talebinin düşürülmesi arzu edilse de, bunlara yönelik gerekli tedbirler alınmadan üretimi sürekli arttırma isteği, enerji tüketimlerini olumsuz etkilemektedir. Rekabet koşullarının yoğun yaşandığı piyasa ekonomilerinde, sanayi kuruluşlarında sürdürülebilirliğin sağlanması için, enerji girdilerinde süreklilik, kalite, verimli üretim ve düşük ürün maliyetinin sağlanması kaçınılmaz olmuştur.

Sanayi sektörlerinde enerjinin etkin ya da rasyonel (akılcı) kullanımı ve verimlilik artışı, enerji kullanımında hedeflenen bir sonuçtur. Enerji tasarrufu, ekonomik büyümeden ve yaşam koşullarından ödün vererek enerjinin az kullanılması değildir. Enerji tasarrufu, enerji üretim ve tüketiminin maksimum verimle gerçekleştirilmesi, enerji kayıplarının minimuma indirilmesi, ekonomik büyümeyi ve yaşam konforunu engellemeden enerji talebinin kontrol altına alınması ve artış hızının düşürülmesidir [1]. Bu değerlendirmeye bağlı olarak sanayide enerjinin etkin kullanımı, enerji verimliliği ile enerji tasarrufu çalışmaları birçok şekilde yoğun olarak yapılmaktadır. Sanayi sektörlerinde enerji maliyetleri, sektörün özelliğine bağlı olarak toplam üretim maliyetlerinin bir kısmını ve bazen de oldukça önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Türkiye’de mevcut sanayi sektörlerinde enerji maliyetlerinin ürün maliyetlerine etkisi Şekil 1.1 ’de verilmiştir. Grafik

incelendiğinde, çimento sektörünün % 55 ile en yüksek orana sahip olduğu görülmektedir [2]. Enerji tüketiminin yoğun olduğu çimento sektöründe; enerji verimliliği, enerji tasarrufu, üretim teknolojisinin geliştirilmesi ve güncelleştirilmesi çalışmaları kaçınılmaz birer zorunluluk haline gelmiştir.



Şekil 1.1 Türk sanayi sektörlerinde enerji maliyet oranı [2]

Son yıllarda çimento sektöründe, enerji tasarrufu ve finansal tasarruf sağlamak amacıyla, enerji tüketimlerinin değerlendirilmesine olanak sağlayan ekserji analiz yöntemlerine, ilginin hızla arttığı gözlenmektedir. Bununla beraber enerji taramalarının sürekli yapılmasının yanında, enerji ve ürün ilişkisini tanımlayan termo-ekonomik analizlerin de gerçekleştirilmesi gerekir. Termo-ekonomik analizlere yönelik son yıllarda yapılan yayınlar incelendiğinde; bu tür analizlerin özellikle güç santrallerinde önem kazandığı ve verimliliğin gerçek ölçülerde ürün maliyetleri açısından değerlendirildiği gözlenmektedir.

Enerji genelde yaşamı konforlu kılan ekonomik bir değer olarak tanımlanabilir. Sistem açısından enerji, hareket ya da hareket üretebilme kabiliyeti olarak tanımlanır [3]. Enerjinin en önemli özelliği bir sistemde daima korunabilir olmasıdır. Bunun yanında enerji; madde ya da kütleli akış parametrelerine bağlıdır, çevresel parametrelere bağlı değildir ve miktarın (niceliğin) bir ölçüsüdür [4,5].

Niceliğin ölçüldüğü enerji analizleri sonuçları; sistemlerin verimliliklerinin değerlendirilmesinde yeterli değildir. Çünkü ısı sistemlerde gerek duyulan enerji kullanılabilir enerjidir. Bu nedenlerle; verimlilik analizleri; önemli bir parametre olan çevre şartlarının da göz önüne alındığı termodinamiğin ikinci yasasına göre yapılmalıdır.

Ekserji; bir sistemin termodinamik sürecinde, referans alınan çevreyle denge haline gelirken, sistemde madde veya enerji akışıyla üretilebilecek maksimum miktarda iş olarak tanımlanmaktadır [6]. Ekserji kavramında çevrenin tanımlanması mutlak bir özelliktir. Ekserji gerçekte tamamen kararlı dengede olmayan sistemlerde, referans alınan çevreye göre, akış ya da sistemin gerçek enerji potansiyelinin bir ölçüsüdür. [7]. Enerjiden farklı olarak ekserji, gerçek sistemlerde tersinmezlikler nedeniyle tüketilir veya yok edilir. Bir sistemde ekserji tüketimi tersinmezlikler nedeniyle ortaya çıkan entropiyle orantılıdır. Termodinamiğin ikinci yasasına göre sistemlerde yapılan ekserji analizlerinin sonuçları; bir sistemde enerji tüketen bölümlere daha fazla duyarlılık gösterilmesini sağlamak için göz önüne alınmaktadır [8,9]. Bu yüzden ekserji analizleri, sistemlerin analizinde önemli bir araçtır. Analizler sonucunda elde edilen veriler; mevcut sistemlerde enerjiye dayalı verimsizlikleri azaltmaya ve daha verimli sistemleri tasarlamaya yönelik değerlendirmeler için önemli bilgiler içerir. Bu bilgilerin işletmelere yansımaları ekonomik bir değerle ifade edilir. Bilimsel olarak bu değerlendirmenin kapsadığı alan enerjinin verim ve maliyet etkilerinin incelendiği termoekonomi'dir.

Termoekonomi mühendislik uygulamalarında bir mühendislik dalı olarak değerlendirilmektedir. Termoekonomi, sadece geleneksel enerji analizleri ile ekonomik değerlendirmeleri içermemekte, bunun yanında ekserji analizleri ile birlikte, sistemlerin verimli çalıştırılmasına ve tasarımına yönelik önemli bilgileri ayrıca ekonomik prensipleri de kapsamaktadır [10]. Termoekonomik analizlerde hedef enerji akışına bağlı olarak maliyetlerin indirgenmesidir. Bu prensiple, ekserji analizlerini de içeren ısı sistemlerde amacın, ekserji maliyetinin indirgenmesi olduğu da düşünülebilir. Bu değerlendirme bilimsel yayınlara eksergoekonomik analiz olarak girmiştir.

Eksergoekonomik analizlerin genel amacı; (i) Birden fazla ürüne sahip bir sistemde her ürün maliyetini ayrı ayrı hesaplamak, (ii) Sistemin maliyet akışını ve şeklini anlamak, (iii) Sistemin temel elemanlarının spesifik değişkenlerini belirlemek ve bu değişkenleri optimize etmek, (iiii) Sistemi bir bütün olarak ele alıp optimizasyonunu yapmaktır [11].

Sistemlerde enerji tüketim ve maliyet verilerine yönelik yapılan bu analizlerin değerlendirilmesi sonucunda, sistemlerin iyileştirilmesi için eksergoekonomik optimizasyon gerçekleştirilmelidir. Eksergoekonomik optimizasyonun amacı; termodinamik analizlerle (enerji ve ekserji analizleri) ortaya çıkan ve sistemin verimi olumsuz etkileyen etkenlerin giderilerek, ekserjetik verimin yükseltilmesi ve sisteme ait maliyetlerin (ürün, yakıt, tasarım vb.) minimum seviye düşürülmesidir [12].

Bu çalışmada yapay zeka optimizasyon yöntemleri araştırılmış ve genetik algoritma tekniği üzerinde odaklanılmıştır. Yapay zeka ile optimizasyon yaklaşımlarından biri olan genetik algoritma, geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Genetik algoritma tekniği, çözüm uzayının büyüklüğüne rağmen en iyi çözüm veya çözümlere kısa zamanda ulaşılmasını sağlar [13]. Çok genel anlamda genetik algoritmanın üç uygulama alanı bulunmaktadır. Bunlar deneysel çalışmalarda optimizasyon, pratik endüstriyel uygulamalar ve sınıflandırma sistemleridir [14].

Genetik algoritma yaklaşımı, mühendislik uygulamalarında çok boyutlu giriş ve çıkış kümesi olan optimizasyon problemlerinin çözümlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Genetik algoritma; optimizasyon, mekanik öğrenme, otomatik programlama ve bilgi sistemleri, ekonomik ve sosyal sistem modelleri, işletmelerdeki uygulama alanları (üretim/işlemler, kaynak tahsisi, iş atölyesi çizelgelemesi, makine parça gruplaması, bilgisayar ağ tasarımı), finans, pazarlama, montaj hattı dengeleme, tesis yerleşim, hücreli üretim, sistem güvenilirliği, taşıma, gezgin satıcı, araç rotalama, minimum yayılan ağaç problemleri gibi pek çok konu ve alanda uygulama alanı bulmuştur [15–20]. Enerji alanında ise enerji tasarrufuna yönelik çözümler, iklimlendirme sistemlerinde optimizasyon çalışmaları, ısı

değiştiricilerde optimizasyon çözümlenmeleri, yakıt piline yönelik optimizasyon uygulamalarının yapıldığı gözlenmiştir [21-29].

Bu problemlerin hemen hemen hepsi çok geniş bir çözüm havzasının taranmasını gerektirmektedir. Bu çözüm havzasının geleneksel yöntemlerle taranması çok uzun sürmekte, genetik algoritmayla ise kısa bir sürede kabul edilebilir bir sonuç alınabilmektedir. Genetik algoritmaları klasik optimizasyon yaklaşımlarından ayıran önemli farklar vardır. Klasik optimizasyon çözümlenmelerinde hedeflenen optimal noktaya ulaşip ulaşamadığı veya ne kadar ulaşılabilirdiği ölçülür. Genetik algoritma klasik yaklaşımlardan dört noktada ayrılır [30,31] ;

- a) Genetik algoritma parametrelerin kendileri ile değil, parametre takımının kodlanmış bir haliyle uğraşır.
- b) Genetik algoritma aramaya tek bir noktada değil, bir nokta ailesinden başlar. Dolayısıyla yerel bir optimuma takılmadan çalışabilir.
- c) Genetik algoritma, amaç fonksiyonunun (objective function) türevlerini ve bir takım ek bilgileri değil, doğrudan amaç fonksiyonunun kendisini kullanır.
- d) Genetik algoritmada deterministik değil, rastlantısal geçiş kuralları kullanılır.

Bu çalışmada kuru sistem çimento fabrikalarında üretim hattı üzerinde yer alan döner fırın prosesinin öncelikle termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Çalışmada döner fırın bölümünün bir haftalık çalışma verileri kullanılmıştır. Daha sonra bu verilere göre döner fırın prosesinin yeni geliştirilen Ürün Ekserjetik Maliyet (Product Exergetic Cost; PRECO) eksergoekonomik analiz yöntemi ile eksergoekonomik analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ayrıca, geleneksel optimizasyon tekniklerinden farklı olarak, genetik algoritmanın kullanıldığı eksergoekonomik optimizasyon yöntemi ile ürün maliyeti ve sistemin ekserjetik veriminin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bunun için genetik algoritma yaklaşımlarından biri olan uyarlanabilir aralıklı çok amaçlı genetik algoritma (Adaptive Range Multi-Objective Algorithm; ARMOGA) tekniği kullanılmıştır.

“Çimento sektöründe döner fırın prosesinin eksergoekonomik optimizasyonu” başlıklı bu çalışma sekiz bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde; çalışmanın yapılma nedeni ve tezin içeriğinde yer alan enerji, ekserji, eksergoekonomi genetik algoritma kavramları kısaca ele alınmıştır. Ayrıca çalışmanın aşamalarına ilişkin bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde ekserji ve eksergoekonomik analizler ile genetik algoritma ve optimizasyon konularında yapılmış önceki çalışmalar incelenmiş, çimentonun dünyada ve Türkiye'deki sektörel yapısı, çimento üretim hattı, çimentonun kimyası, çimento üretiminde kullanılan hammaddeler ve ana üniteler hakkında bilgi üçüncü bölümde verilmiştir.

Dördüncü bölümde, çalışmada ele alınan ekserji analizleri, oluşturulan PRECO eksergoekonomik analiz yöntemi ve genel olarak genetik algoritma ve optimizasyon yöntemleri detaylı olarak incelenmiş, oluşturulan yöntemin uygulanacağı döner fırın sistemine ait enerji ve üretim bilgileri, çalışma koşulları ve akış şemaları ise beşinci bölümde sunulmuştur.

Altıncı bölümde, döner fırın bölümüne ait gerçek çalışma parametreleri dikkate alınarak, sistemin enerji ve ekserji analizleri, enerji ve ekserji verimleri, eksergoekonomik analizleri ve döner fırın bölümünün eksergoekonomik maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca ARMOGA genetik algoritma ara yüzünün kullanıldığı, döner fırın sisteminin genetik algoritmaya bağlı eksergoekonomik optimizasyonuna ait hesaplamalar da bu bölümde verilmiştir.

Yedinci bölümde enerji, ekserji ve eksergoekonomik analiz sonuçları ile ARMOGA genetik algoritmayla optimizasyon sonuçları verilmiş, sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Döner fırın bölümünde 7 günlük ortalama enerji verimliliği % 58.79 ve ekserji verimliliği % 44.8 olarak bulunmuştur. Tezde sunulan eksergoekonomik analiz yöntemiyle yapılan hesaplama sonucunda, klinker maliyeti ortalama 0.02174 \$/kg bulunmuştur. ARMOGA genetik algoritma yöntemiyle yapılan optimizasyon hesaplamaları sonucunda; döner fırının ekserjetik veriminde ortalama % 7.13 iyileştirme oranı ile verimin % 47.57 oranına yükselebileceği,

klinker maliyetinde ise ortalama % 4.44 iyileştirme oranı ile maliyetin 0.02079 \$/kg 'a çekilebileceği saptanmıştır.

Çalışmanın son bölümünde, döner fırın sisteminin verimli çalıştırılmasına ilişkin olarak, geleceğe yönelik enerji, çevre ve maliyet konularında önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taraması tezin konu kapsamı dikkate alınarak üç grupta planlanmıştır. Birinci grupta öncelikle ekserji analizleri ile ilgili yapılan literatür taramasında elde edilen sonuçlara ilişkin genel bilgiler verilmiştir. Daha sonra bunların arasından çimento sektöründe enerji ve ekserji analizi konusunu inceleyen çalışmalar özet olarak sunulmuştur. İkinci grupta eksergoekonomik analiz ve optimizasyon konusunda yapılan çalışmalar değerlendirilmiş, bunların arasından farklı yöntemler kullanan ve farklı sektörlerde uygulanan çalışmalar özet olarak verilmiştir. Üçüncü bölümde genetik algoritma ve uygulamaları konusunda yapılan çalışmalar incelenmiştir.

2.1 Ekserji Analizi

Ekserji analizlerinin sistemlerin termodinamik açıdan performanslarının değerlendirilmesine yönelik olarak 18 'nci yüzyılın yarısından itibaren kullanılmaya başlandığı gözlenmiştir. Ancak ekserji yönteminin geliştirilmesi ve kullanılması son 10 yılda yaygınlaşmıştır. Ekserji analizlerinin ilk uygulamalarının güç santralleri [32-39] üzerinde yoğunlaştığı bilimsel çalışmaların yanında, gıda ve çeşitli sanayi sektörlerinde de kullanılmaya başlandığı saptanmıştır [40-44]. Bu çalışmada yukarıdaki literatür incelemelerinden farklı olarak; hedef alınan çimento sektörü ve benzer sektörlerle ilişkin ekserji analizlerine yönelik incelenen çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Meksika çimento endüstrisinde enerji kullanım seviyelerini ve karbondioksit emisyonlarını inceleyen Sheinbaum ve Ozawa[45] çalışmalarında 1982 ile 1994 arasında sektörde yürütülen emisyon çalışmalarına ilişkin bilgiler sunmuşlardır. Çalışmalarında, Meksika çimento sektöründe, enerji yoğunluğunda % 28, sektör kaynaklı karbondioksit emisyonlarında ise % 17

mertesbesinde azalma görüldüğünü belirlemişlerdir. Bu azalmanın tamamen yapılan atık ısı değerlendirme ve proses iyileştirme çalışmalarına dayandığını, Meksika ekonomisinde büyük öneme sahip çimento sektörünün, ihracat ve rekabetçilik gücünün sürdürülebilmesi için bu çalışmaların belli bir düzende genişletilerek devam etmesinin gerekli olduğunu vurgulamışlardır.

Schumacher ve Sathaye [46] çalışmalarında; Hindistan çimento sektöründe enerji verimliliğini ve karbondioksit emisyonlarının etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, 2001 ve 2006 yılları arasında enerji maliyetlerinde % 6.7 artış olduğunu, 2011 yılındaki tahmini değerlendirmede bu artışın % 4.28 oranında gerçekleşeceğini belirtmişler, karbondioksit emisyonunun ise 2006 yılına göre 2011 yılında % 40 artacağını değerlendirmişlerdir. Verimliliğin yükseltilmesi ve karbondioksit emisyonunun azaltılması için yapısal değişimleri kapsayan enerji dönüşüm sistemlerinin uygulanmasını önermişlerdir.

Khurana ve ark. [47] bir çimento tesisinde enerji dengesi ile elde ettikleri veriler ışığında, tesiste bir kojenerasyon sisteminin kurulmasına yönelik çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, enerji dengesi ile saptadıkları 280 °C sıcaklığındaki abgazını ve soğutma bacasından çıkan 400 °C sıcaklığa sahip baca gazını kullanarak elektrik elde etmeyi planlamışlardır. Buna göre; 4.4 MW gücünde bir tesis tarafından, geri kazanılan ısının elektriğe dönüşümü ile yıllık 3.4 Milyon dolar değerinde enerji tasarrufunun mümkün olabileceğini hesaplamışlar, yapılacak yatırımın geri ödeme süresinin iki yıl gibi kısa bir süre olacağını ileri sürmüşlerdir.

Ünlü [48], tipik bir çimento fabrikası için enerji ve kullanılabilirlik analizi başlıklı çalışmasında, gerçek veriler kullanarak döner fırın sisteminde kütle, enerji ve kullanılabilirlik analizi yapmıştır. Çalışmada yaptığı analiz sonuçlarına göre, enerji verimliliğini % 79.32, kullanılabilirlik verimini % 51.78 olarak bulmuştur. Çalışmanın sonunda yaptığı değerlendirmede, enerjinin aşırı tüketildiği yerleri belirleyerek tasarruf imkanları ortaya koymuştur.

Çamdalı ve ark. [49] çalışmalarında, Türkiye’de kuru tip çimento üretim yapan bir tesisin, üretim hattı üzerinde bulunan ön ısıtıcı döner fırın bölümünün kütle enerji ve ekserji analizlerini yapmışlar ve enerji ve ekserji verimliliklerini hesaplamışlardır. Yaptıkları çalışmada, döner fırının birinci kanun verimini % 85, ikinci kanun verimini ise % 65 olarak bulmuşlardır. Çalışmalarının sonunda, enerji verimlilik çalışmalarında ekserji analizlerinin kullanılması gerekliliğinin önemini vurgulamışlardır.

Koreneos ve ark. [50] beton ve çimento üretiminin ekserji analizine yönelik yaptıkları çalışmalarında, çimento ve beton üreten sanayi kuruluşlarının temel amaçlarının çevre etkileri ve enerji maliyet oranlarını minimize etmeleri olduğunu vurgulamışlardır. Yunanistan’da beton ve çimento üretim sistemlerini kapsayan çalışmalarında, ekserji analiz metodu yöntemi ile prosesler üzerinde enerji kullanımının çevresel etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; proseslerin yıllık enerji analizleri yapılarak ekserji kayıplarının önemli bir kısmının döner fırında petrokokun yanması ile açığa çıkan atık gazların oluşturduğunu ileri sürmüşlerdir. Çalışmalarının sonunda; enerji ve ekserji verimliliğini %68 ve % 50 olarak bulmuşlar, ekserji kayıplarının engellenmesi ve atık gazların etkilerinin azaltılması için sistem veriminin yükseltilmesine yönelik çalışmaların yapılması veya mevcut üretim prosesleri yerine yeni teknolojilerin kurulmasını önermişlerdir.

Ünal ve Üzümcü [51], batı çimento fabrikasında kütle, enerji ve ekserji analizi uygulaması konulu projelerinde, döner fırında akış ekserjisi ve ekserjetik verim hesaplamalarını yapmışlardır. Çalışmalarında döner fırında kütle akışını oluşturan her madde için ekserji akış ve özgül ısı akışı bağıntılarını belirlemişlerdir.

Engin ve Arı [52] kuru tip döner fırın sisteminde enerji taraması ve enerjinin geri dönüşümüne yönelik yaptıkları çalışmalarında sisteme giren enerjinin yaklaşık % 40 ’ının atık gaz olarak kaybedildiğini vurgulamışlardır. Döner fırın üzerinde yaptıkları enerji taramasına bağlı olarak atık enerjinin bir buhar jeneratörü ile değerlendirilmesi konusunda örnek bir uygulama gerçekleştirmişlerdir.

Worreli ve Galitsky [53] çalışmalarında, Amerika Birleşik Devletleri'nde çimento üretim sistemlerine yönelik yapılan enerji verimliğinin iyileştirilmesi çalışmalarını incelemişlerdir. Bu çalışmaya göre; 1970 ile 1997 yılları arasında Amerika çimento sektörünün enerji yoğunluğu 1670 kcal/kg klin.'den 1200 kcal/kg klin.'e gerileyerek % 30 oranında azalmıştır. Enerji yoğunluğundaki bu azalma, sektör kaynaklı karbondioksit emisyonlarını % 17 kadar düşürmüştü ve bunda klinker prosesinde uygulanan bazı enerji tasarrufu teknolojilerinin anahtar rol oynadığını ifade etmişlerdir. Bu teknolojilerin;

- a. Fırın yanma sisteminde iyileştirmeler,
- b. Fırın cidarından kaçak ısının azaltılması,
- c. Atıkların yakıt olarak kullanılması,
- d. Modern plakalı soğutucu uygulamaları,
- e. Güç üretimi için ısı geri kazanımı,
- f. Düşük basınç düşümüne sahip siklonların kullanımı,
- g. Uzun döner fırınları çok katlı multisiklon kuleler ile değiştirilmesi,
- h. Soğutucularda optimizasyon çalışmaları,
- i. Ön kalsinasyon kulesine preka ilave edilmesi olduğu sıralanmıştır.

Trubaev ve Besedin [54] çalışmalarında; doğal hammadde ve klinker kalitesi için çimento klinker üretiminin termodinamik özellikleri arasındaki bir bağ olduğunu açığa çıkartmışlardır. Çalışmalarında, klinker üretim verimi için termodinamik ölçütlerden oluşturdukları formu, klinker ve hammadde tiplerini göz önüne alarak sunmuşlar ve termodinamik ölçütleri kullanarak hammadde karışımının kompozisyonunu optimize eden problemi formülleştirmişlerdir. Fırının termodinamik analizinde, çimento hammadde karışımlarının ve oksit maddelerin, entropi, entalpi ve ekserji değişimleri için gerekli kriterleri geliştirmişlerdir. Klinker ve hammadde akışında kimyasal ekserji ve entropi değişimlerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonunda, enerji transferinin optimizasyonunda enerji değişim oranının azaltılmasının gerekli olduğunu ve optimizasyonun başlangıcında termodinamik ölçütlerin ekserjinin etkisine bağlı seçilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Sunulan temel yaklaşımda çeşitli hammadde ve klinker tipleri için klinker biçimlenme ısını hesaplayan bir yöntem geliştirmişlerdir.

Daloğlu [55] tez çalışmasında; imento sektörünün küresel ticaret koşullarında rekabet konumunu muhafaza edip sürdürebilmesi için gerekli olan, ağdaş enerji verimliliği uygulamalarının metodolojisini, mühendislik yaklaşımlarını, teknolojilerini ve uygulamalarını incelemiştir. Bunun içinde öncelikle imento sektörünün küresel bir modelini oluşturumuş ve bu model yardımıyla imento sektörünün üretim parametrelerini (yakıt, hammadde, katkı maddesi vb. girdisel karışımlar, enerji kullanımı vb. verilerle enerji tasarrufu potansiyellerinin boyutları, bu potansiyellerden yararlanma yöntemleri) belirlemeyi hedeflemiştir. Bu parametrik değerleri belirlemek için matematiksel bir modelleme geliştirmiş, bu matematiksel model ile 2004 'den 2020 'yılına kadar enerji tasarrufu sağlama eğrilerini elde etmiştir. Bununla beraber yaptığı hesapları % 12 ve % 30 faiz için ve üç varsayım (senaryo) ile ele alıp, fayda-maliyet analizlerini yapmıştır.

2.2 Eksergoekonomik Analiz ve Optimizasyon

Temelde ürün maliyetlerinin azaltılmasını hedefleyen eksergoekonomik analiz ve optimizasyon çalışmaları, ekserji konusundaki araştırmalara bağlı olarak son yıllarda geliştirilmiş olan termoeekonomik yaklaşımdır. Çoğunlukla güç santrallerini hedef alan bilimsel çalışmalarda eksergoekonomik analiz için farklı yöntemler öne sürülmüştür. Aşağıda bu yöntemlere ait çalışmaların özet bilgileri kronolojik akışla sunulmuştur.

Hua ve ark. [56] çalışmalarında, enerji sistemlerini optimize etmek için yeni bir eksergoekonomik yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşıma yönelik inceledikleri sistemin enerji akışlarını değerlendirmişler, bu değerlendirmelere göre iki alt sistem modelini oluşturmuşlar ve geliştirdikleri optimizasyon stratejilerini de vermişlerdir. alışmalarında basınç farkını, sistemin alt ünitesinin ekserjetik verimlerini karar değerkenleri olarak kabul etmişler ve çalışmanın sonunda geri dönüşümün ekserjetik maliyetini 4 \$/GJ olarak bulmuşlardır. Önerdikleri yöntemin güç santralleri (CGAM) problemlerinin optimizasyonunda kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Tsatsaronis ve ark. [57] çalışmalarında, ısı sistemlerinde maliyetlerin azaltılmasında ekserji ile ilişkilendirilen değişkenlerin nasıl kullanılacağını göstermişlerdir. Çalışmalarında ekserji ile ilişkili değişkenleri; ekserji verimi, ekserji tüketim oranı, ekserji kaybı, ekserji tüketimi ile ilişkili maliyet oranları, yatırım maliyetleri, bakım onarım giderleri ve eksergoekonomik faktör olarak tanımlamışlardır. Ayrıca çalışmalarında, basit bir kojenerasyon sistemi üzerinde ekserji destekli maliyet azaltma yöntemini uygulamışlardır. Çalışmalarında ortalama ekserji verimini % 45, ekserji kaybının maliyetini 205 \$/h olarak bulmuşlardır.

Lenti ve ark. [58] çalışmalarında; güç sistemlerinin dizaynında, genellikle sistemin ekonomik değerlendirilmesinin teknik özelliklerin sınıflandırılmasından sonra yapıldığını ifade etmişlerdir. Frangopolos tarafından geliştirilen termoekonomik fonksiyonel analiz yöntemini kullanarak, güç sistemlerine yönelik bir termoekonomik uygulama yapmışlardır. Termoekonomik fonksiyonel analiz yönteminde termodinamiğin ikinci kanunu ile ekonominin birlikte değerlendirildiğini ve termodinamik olarak optimal dizaynı tanımlandığını belirtilmişlerdir. Çalışmada, bu yöntemle, Rankin çevrim sisteminde, yatırım maliyet değerlerinin sistemin performans şartlarının optimizasyonunu etkileyen parametreler olduğunu ve bu parametrelere bağlı bir optimizasyonun sağlandığını vurgulamışlardır. Ayrıca aynı sistemde, farklı sayısal küçültme algoritmalarıyla sağladıkları sayısal sonuçları da birbirleriyle karşılaştırmışlar ve beş durum için maliyet değişiminin 0.2131 \$/s ile 0.2209 \$/s arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Çalışmanın sonunda, elde ettikleri verilerin, her özel durum için bir yaklaşım yönteminin seçilmesini kolaylaştırabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Kim ve ark. [59] çalışmalarında, kompleks enerji sistemleri için ekonomik ve ekserjistik analizlerin kombinasyonunu içeren bir metodoloji sunmuşlardır. Çalışmalarında bir ısı sistemin herhangi bir elemanı için uygulanabilecek genel maliyet denge eşitliğini bulmuşlardır. Materyal akış ekserjisinin, ısı, mekanik ve kimyasal ekserji akışları ile entropi üretim akışına ayrıştırılabileceğini, birim ekserji maliyetinin ise herhangi bir durum ve akış için farklı ekserji maliyeti olarak belirlenebileceğini ifade etmişlerdir. Önerdikleri metodoloji ile bir sistemin her bölümünde, her eleman için maliyet denge eşitliğinin uygulanabileceğini, farklı birim

ekserji maliyetleri için bir denklemler grubunun sağlanabileceğini vurgulamışlardır. Bu yaklaşımla, ısı sistemlerinde üretilen elektriğin maliyeti kadar, farklı ekserji maliyetlerinin (ısı, mekanik, vs.) hesaplanmasının da denklem grubunun çözülmesiyle sağlanabileceğini belirtmişler ve ekserji maliyet yöntemini, 1000 kW'lık gaz türbini koojenerasyon sistemine uygulamışlardır. Birim yakıt ekserjetik maliyetini 5×10^{-6} \$/kJ olarak bulmuşlar, yanma odasında ekserji kayıplarının azaltmak için % 50 % 75 ve % 100 yükleme durumlarında kayıpların durumunu incelemişlerdir. Çalışmalarının sonunda, koojenerasyon sisteminin çalıştırılmasına ve geliştirilmesine yönelik elde ettikleri bilgileri değerlendirmişlerdir.

Zhang ve ark. [60] çalışmalarında; sistemlerin analizleri ve optimizasyonu için geliştirilen sistematik eksergoekonomik metodolojiyi anlatmışlardır. Bu metodolojide sistemlerde üç bağlantılı bir modelin oluşturulduğunu, bu modele bağlı olarak zıt ekserji maliyet metodunun uygulanmasıyla hiyerarşik eksergoekonomik model geliştirildiğini ve ayarlanan optimizasyon stratejisiyle tekrar birleştirilen tüm sistemin analizlerinin yapıldığını ve optimize edildiğini ifade etmişlerdir. Çalışmalarında, tanımladıkları bu yöntemi, aromatik paylaşırma sistemi üzerinde uygulamışlardır.

Sevilgen [61] doktora tezi çalışmasında, enerji üretim sistemlerinin eksergoekonomik analizi için yeni bir yöntem tasarladığını ifade etmiştir. Bu yöntemi ile verilen özelliklerdeki herhangi bir sistemin ekserjoekonomik analizini yapmanın ve minimum birim ürün ekserji maliyetini sağlayacak optimum parametreleri bulmanın mümkün olduğunu ileri sürmüştür. Modelini geliştirmede, tümevarım yöntemini kullanmış, enerji üretim sistemlerinde kullanılan elemanları (komprasör, yanma odası, vb.) ayrı ayrı ele alarak modeli tasarlamıştır. Bir gaz türbinli tesiste ekserji verimini arttıracak, ekonomikliği sağlayacak çeşitli elemanlar ilave ederek dört ayrı tesis oluşturmuş ve bu tesisler için eksergoekonomik analizleri gerçekleştirmiş, tesisin ortalama ekserji verimini % 25.8 ve birim ekserji maliyetini 18.969 mills/kWh olarak bulmuştur. Çalışmasında EKSEKON isimli bir yazılım kullanmış ve bu yazılım ile tesisin birim ürün maliyeti, tesisin karakteristik parametrelerine göre analiz ederek maliyeti minimum yapan optimum değerleri bulmuştur.

Tsatsaronis ve Park [62] çalışmalarında; ısı sistemlerinin termodinamik performanslarını değerlendirerek verimlerinin geliştirilmesi ve ürün maliyetlerinin düşürülmesi için potansiyellerin tahminine yönelik saptamalarda bulunmuşlardır. Çalışmalarında; ekserji tüketimlerini azaltabilecek bölümlerin belirlenmesi ve tüketimlerin azaltılması, bu bölümlere ait yatırım maliyetlerini azaltılması anlamına geleceğini ve geliştirme çabalarının sadece bu engellenebilen bölümlerde odaklanması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bir koojenerasyon sistemini örnek olarak kullanmışlar, kompresörler, türbinler, ısı değiştiricileri ve yanma odalarıyla ilişkilendirilen önlenemez ve önlenebilir yatırım maliyetlerini ve ekserji tüketimlerinin nasıl hesaplanacağını tartışmışlar ve koojenerasyon sistemlerindeki her bir elemanın toplam maliyet oranı % 45 ile % 79 arasında hesaplamışlardır. Bu genel yaklaşımın her ne kadar pek çok subjektif kararlara dayandığını söyleşeler de eksergoekonomik uygulamaları geliştirdiğini ve kolaylaştırdığını ifade etmişlerdir.

Rosen ve Dinçer [63] çalışmalarında; sistemlerde ekserjetik maliyet analizi için farklı bir metodoloji sunmuşlardır. Önerdikleri metodolojinin, enerji, maliyet, ekserji ve kütle miktarlarına bağlı olduğunu belirtmişler ve metodolojilerini EXCEM modeli olarak adlandırmışlardır. Çalışmalarında EXCEM modeli için bir kod geliştirdiklerini, bu kod ve metodolojiyi çeşitli proseslerin analizlerinde uyguladıklarını, bu analizlerde verimlilik ve çevre, yatırım maliyeti ve ekserji kayıpları arasındaki ilişkilerin araştırıldığını vurgulamışlardır. EXCEM modelinin diğer bilim dalları ve mühendislik alanlarında da araştırmacılara fayda sağlayabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Şenel [64] yüksek lisans tez çalışmasında, buhar püskürtmeli gaz türbinli koojenerasyon sisteminin termoeekonomik analizini ve sistemden elde edilen kullanılabilir enerji maliyetlerinin minimize edilmesine yönelik optimizasyon uygulamasını gerçekleştirmiştir. Çalışmada, devreye alınan koojenerasyon sisteminin ikinci yanma odasının devrede olduğu ve olmadığı zamanları göz önüne alarak enerji ve ekserji analizlerini yapmış ve enerji kayıplarını belirlemiştir. Ayrıca Şenel, termoeekonomik analizler ile ekserji kayıplarının sistem üzerindeki etkilerini incelenmiş, maliyet analizleri ile bu kayıpların sistemde elde edilen kullanılabilir enerji maliyetleri üzerindeki etkilerini de değerlendirmiştir. Tezde termoeekonomik

optimizasyonun amacını kullanılabilir enerji maliyetinin azaltılması olarak ifade etmiş ve optimizasyon yöntemi olarak matematiksel optimizasyon yöntemlerinden biri olan Lagrange çarpanları metodunu kullanmıştır. Çalışmanın sonunda enerji verimini % 41.48, ekserji verimini % 37.34 olarak hesaplamıştır. Bununla birlikte oluşturduğu optimizasyon yaklaşımının kompleks enerji sistemlerinin üzerinde rahatlıkla uygulanabileceğini vurgulamıştır.

Casarsa ve ark. [65] çalışmalarında ısı geri dönüşümlü buhar jeneratörünün(HRSG) özellikle buhar devresinden maksimum iş sağlamak amacıyla sistem dizaynına yönelik optimizasyonu hedeflemişlerdir. (HRSG)'nin detaylı bir optimizasyonu çok fazla değişkene bağlı olduğu için oldukça zor olduğunu, ilk adımın (HRSG) bölümlerinde pek çok basınç kademeleri, basınçlar, kütle akış oranları ve giriş sıcaklıkları gibi çalışma parametrelerinin optimizasyonu ile olması gerektiğini açıklamışlardır. Bu optimizasyonu, termoekonomik ve termodinamik analizlerde, çalışma parametrelerinin analitik veya sayısal matematik yöntemler ve uygun bir objektif fonksiyonu yardımıyla azaltılması olarak tanımlamışlardır. Çalışmalarında termodinamik optimizasyon uygulanmasından sonra ekserji kayıplarının azaltılması ile birlikte, termoekonomik optimizasyon ile (HRSG) ekserji kayıplarına bağlı maliyetlerin de azalabileceğini söylemişlerdir.

Çamdalı ve Tunç [66] çalışmalarında termoekonominin temel prensipleri ve termoekonomik analizlerde ekserjinin rolünü belirlenmeye çalışmışlar ve döner fırın sistemi üzerinde bir uygulama ile ortaya konan düşüncelerin geliştirilmesini amaçlamışlardır. Oluşturdukları dizayn prosesini birkaç adımı ile açıklamışlar ve bu adımları, ihtiyaçlarının belirlenmesi, alternatif dizayn formlarının formülasyonu ve boyut, sıcaklık, debi gibi parametrelerin seçimi olarak tanımlamışlardır. Çalışmalarında mevcut tekniklere göre toplam maliyeti minimize eden ve bütün beklentilerin sağlandığı en iyi oluşumu veren sadece bir çözümün mevcut olduğunu, onun da optimum çözüm olduğunu ifade etmişlerdir. Dizayn parametrelerinde sistemlerin optimizasyonuna yönelik olarak alt sistemlerin her birinin optimizasyonunun sağlanması durumunda sistemin bütününe optimize edileceğini vurgulamışlar ve alt sistemlerin optimizasyon parametrelerini incelemişlerdir.

Morosuk ve ark. [67] çalışmalarında enerji dönüşüm sistemlerinden biri olan ısı üreten sistemler için sentez ve/veya analizi hedefleyen yeni bir yaklaşımı sunmuşlardır. Bu yöntemin, soğutma makineleri gibi ortam sıcaklığı şartlarından daha düşük değerlerde çalışan ısı değiştirici elemanların optimize edilmesini sağladığını söylemişlerdir. Çalışmalarında ekserji ve eksergoekonomik analizleri üç geçişli ısı değiştiricilerin optimizasyonu için uyarlamışlar ve ısı değiştirici parametrelerde, birkaç durumu örnekleyerek elde edilen sonuçları değerlendirmişlerdir. Bunun yanında bir ısı değiştirici yapının optimizasyonu için tasarım kriterlerini ve oluşturdukları kuralları da sunmuşlardır.

Vieira ve ark. [68] çalışmalarında; kompleks ısı sistemlerin matematiksel eksergoekonomik optimizasyonu için geliştirdikleri bir bütünleştirilmiş yaklaşımı ve bunun uygulamasını sunmuşlardır. Bu uygulamada, hesaplamaları profesyonel proses simülatorü ile yapmışlardır. Önerdikleri yaklaşımın, termodinamik denge eşitliğiyle ilgili olarak sadece karar değişkenleriyle ilgilendiğini, önemsenmeyen değişkenler için ise alışagelmış optimizasyon yaklaşımlarına izin verdiğini belirtmişlerdir. Bu yaklaşımın yeteneklerini göstermek için, tipik ısı sistemin tüm büyük komponentlerini içeren ve 800 'den fazla değişkene sahip olan bir kompleks koojenerasyon sistemini örnek olarak seçmişler ve sisteme ait yapılan hesaplamaları da profesyonel proses simülatoründe gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında karar değişkenlerine bağlı karar fonksiyonu değerlerini 1 870.62 US\$/h ile 2 132.76 US\$/h aralığında bulmuşlar, matematiksel optimizasyon prosedürünün kullanılması ile ulaşılan karar değişkenlerine bağlı sonuçlar ise 1 647.01 US\$/h ile 1 650.93 US\$/h arasında optimize etmişlerdir.

Cardona ve Piacentino [69] çalışmalarında; kompleks enerji sistemlerinin işletme ve tasarım optimizasyonlarında eksergoekonomiğin cazip bir araştırma alanı olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında analizleri basitleştirmek için konu yönlendirme işlemi ve tüm tüketim verilerine dayanan basitleştirilmiş eksergoekonomik yöntemi sunmuşlardır. Termoekonomide değişebilir talepler karşı farklı yaklaşımların uygulandığını, bu yaklaşımların, bina uygulamalarında, düzgün olmayan koşullarda çalışan pek çok eleman üzerinde, düzenli enerji talep eden profillerle bütünleştirilmiş endüstriyel uygulamalarda, enerji sistemlerin

tasarımlarında yoğun kullanıldığını ifade etmişler ve bu yaklaşımlarla yakın optimal çözümlere kolayca ulaşılabilceğini vurgulamışlardır. Bu tespitlerden farklı olarak, güç ile birlikte ısıtmayı ve soğutmayı kapsayan kompleks (CHCP) sistemlerin veya ısıtma ve güçle birleştirilmiş (CHP) sistemlerin proje aşamalarında, enerji taleplerinin, çeşitli elemanlar arasındaki farklı çıkışların paylaşılmasıyla tespit edilebileceğini belirtmişlerdir. Bunu yanında diğer harici sistemler ve değerlendirilen enerji sistemler arasında iç ekserji akışları için bir yöntem ortaya çıkartmışlardır. Önerdikleri yaklaşımı 300 yatak kurulum kapasiteli bir Akdeniz(kapalı) hastanesine hizmet veren tri-jeneratör sisteminde uygulamışlar, birim maliyetleri 0.045 €/kWh ile 0.144 €/kWh aralığında optimize etmişler, elde ettikleri sonuçları öncelikle tanımlanan optimal çözümlerle karşılaştırmışlar, sistemin çalışan simülasyonunu ve istenilen kümülatif eğrileri yorumlamışlardır.

Hebecker ve ark. [70] çalışmalarında; enerji dönüşüm sistemlerinde ve teknolojilerinde, ekonomik kazançların ve verimlerin değerlendirilmesinde bilimsel analizlere gereksinim duyulduğunu ifade etmişlerdir. Ekserji analizlerinin yapısal aşamaları ile karmaşık teknik sistemlerin detaylı tanımlanmasının sağlanabileceğini, verimliliklerde de benzer değerlendirmelerin yapılması ile ekserjetik verimin tüm sistemin üniteleri için uygulanabileceğini vurgulamışlardır. Çalışmalarında, ekserjetik analizlere bağlı bir termoekonomik değerlendirme metodunu geliştirmişler ve önerdikleri yöntemi elektrik, ısıtma ve soğutma üreten biomass gazlaştırma sisteminde uygulamışlardır. Maliyet fonksiyonunu, sistem, bütün üniteler ve alt sistemler için ayrı ayrı tanımlamışlar ve sistemdeki maliyet akışını hesaplamışlardır. Sistemlerde, üç boyutlu verimler, Pauer faktörü, verimlilik kaybı, maliyet faktörü, yüksek maliyetli sistem ünitelerinin belirlenmesi gibi sistemin tasarım geliştirmelerine katkı sağlayacağı değerlendirilen farklı yaklaşım parametrelerini saptamışlardır. 80000, 20000 and 10000 saatlik ekonomik çalışma zamanları için maliyet faktörünü sırasıyla 6, 10 ve 15 olarak bulmuşlar, Pauer faktörünü ise birin altında hesaplamışlar ve bu parametrelere bağlı olarak sistemin geliştirilmesini değerlendirmişlerdir.

Lazzaretto ve Tsatsaronis [71] çalışmalarında ısı sistemlerinde ekserji ve ekserjetik verim ile ilişkili hesaplamalar ve tanımlamalar için sistematik ve genel bir

metodoloji önermişlerdir. Bu metodolojilerini; sistemin tüm ekserji akışlarında, sistematik kayıtlarla tanımlanan tüm girenlerden veya çıkanlardan alınan bir komponentin ürün ve yakıtı ile işletmelerden sağlanan maliyetlere bağlı olarak ekserjetik maliyetin hesaplanmasını içeren Spesifik Ekserji Maliyetleri (SPECO) yaklaşımına dayandırmışlardır. Böylece komponent için uygun maliyet eşitliklerini, ürün ve yakıtın tanımlanmasını ve bu parametreler arasında direk bağlantı kurulabileceğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmalarında, özellikle ekserjinin (ısı, mekanik ve kimyasal) farklı formlarının kullanıldığı ekserjetik verimliliklerin ayrıntılı tanımlanmasının nasıl sağlanacağını ve bu tanımlamaya göre sistem komponentine giren ve çıkan tüm ekserji akışlarıyla ilgili maliyetlerin değerlendirilmesinde nasıl bağlantı kurulacağını göstermişlerdir. Bu durum için, maliyet eşitliğini genel matris şeklinde sunmuşlardır.

Ternero ve ark. [72] çalışmalarında; termoekonomiyi termodinamik ile ekonominin birleştirildiği kullanılabilir yararlı bir araç olarak tanımlamışlar ve termoekonominin ürün akışının eksergoekonomik maliyetlerini etkilediğini, herhangi bir prosesin maliyetlerini ve proste geri dönüşümün nasıl değerlendirilebileceğini açıkladığını vurgulamışlardır. Çalışmalarında Tenerife'de (Kanarya adaları, İspanya) bulunan ortalama 21 000 m³/gün kapasiteli bir deniz suyu ters osmos arıtma sisteminin termoekonomik analizlerini yapmışlardır. Bu analizlerde 0 c€/s değerle sisteme giren deniz suyunun 18.4 c€/s ile prosesi terk ettiğini hesaplamışlardır. Yaptıkları analizlerde, detaylı olarak ekipmanların işlevleri, proses akışları, akış diyagramları, arıtmanın özellikleri hakkında bilgiler vermişler, ürünün birim maliyeti üzerinde çalışma parametrelerinin etkilerini ve sınırlayan termodinamik koşullar ile ekonomik verileri de belirlemişlerdir. Çalışmanın sonunda, ters osmos kızığının termodinamik ve ekonomik yönlerden en güçlü donanım olduğunu, pretreatmentin bakım onarım maliyetleri ve çıkan ürünün birim maliyeti üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, dış tüketimin birim maliyeti, yıllık gerçek indirim oranı, analiz edilen parametreler arasında en az öneme sahip membranın yenilenmesi ve çalışan yüksek basınç pompa verimi gibi parametrelerin sonuç ürününün duyarlılık analizleri üzerinde en etkili parametreler olduğunu vurgulamışlardır.

Wu ve ark. [73] çalışmalarında geri kazanımlı düşük sıcaklık ısı değiştircileri için bir eksergoekonomik analiz yöntemini sunmuşlardır. Düşük sıcaklıklı bir ısı değiştircisinde, ısı transferinde ve akış işleminde birim ısı değişiminin net kazancı olarak tanımlanan yeni bir eksergoekonomik kriter saptamışlardır. Çalışmalarında, bu kriterin değerlendirilmesine yönelik olarak, alttan akışlı, ters akışlı, çapraz akışlı düşük sıcaklıklı ısı değiştircilerin performansları karşılaştırmışlardır.

Vieira ve ark. [74] çalışmalarında; gerçekte kompleks fabrikalarda kullanılabilen bir proses simülatörünü gerçekleştirmişlerdir. Bu simülatör ile, bütünleştirilmiş ısı sistemlerinde uygulanan eksergoekonomik analiz yönteminin, yenilenen ve geliştirilen metodoloji ile otomatik uygulanabileceğini ileri sürmüşlerdir. Bu metodolojide aşağıda ifade edilen görevler için yeni nicel, nitel kriterler ile son eksergoekonomik teknikleri birleştirmişlerdir. Bu görevleri; sistemin toplam maliyetini ve ekserjetik verimini etkileyen karar değişkenlerinin tanımlanması, kompanetlerin hiyerarşik sınıflandırılması, kompanet toplam maliyetinde baskın bölümlerin tanımlanması ve yenilenen proste ana karar değişkenlerinin seçilmesi olarak tanımlamışlardır. Metodolojilerinin avantajlarını ve dayanaklarını göstermek için bir koojenerasyon sisteminde uygulamışlardır. Çalışmada elde ettikleri sonuçları, matematik optimizasyon prosedürünü kullanarak karşılaştırmışlar ve elde ettikleri bulguları tartışmışlardır. Optimizasyon prosedüründe karar fonksiyonun 3 farklı durum için incelemişler ve fonksiyon değeri olarak sırasıyla 49.4 US\$/MWh, 53.0 US\$/MWh ve 46.4 US\$/MWh olarak bulmuşlardır.

Kızılkın ve ark. [75] çalışmalarında; Beyer'in eksergoekonomik analiz yöntemini kullanarak çevrimde LiBr'ün kullanıldığı 20 kW 'lık bir absorpsiyonlu soğutma sisteminin optimum dizaynını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında absorpsiyonlu sistemin tüm elemanlarını (kondenser, evaporatör, jeneratör ve absorber ısı değiştirici gibi) optimize etmişlerdir. Bununla beraber, optimum çalışma sıcaklıklarıyla ilişkili olarak optimum ısı değiştirme alanlarını tanımlamışlardır. Bunun için Matlab bilgisayar programında değişken sıcaklıklara bağlı farklı iterasyon kullanılarak klasik optimizasyon yönteminin programını oluşturmuşlardır.

Çalışmanın sonunda maliyet fonksiyonlarını, optimum çalışma şartlarını dikkate alarak tekrar sınıflamışlardır.

Pulat ve ark. [76] çalışmalarında Bursa'da bir tekstil fabrikasının kurutma proseslerinde ekserji konseptine bağlı termoeconomik analizleri gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarında proseslerin verimli çalışma şartlarını belirlemeyi, prostesten sağlanan atık ısının bir atık ısı dönüştürücüsü ile sisteme tekrar kazandırılmasını ve buna bağlı enerji tüketimlerinin azaltılmasını hedeflemişlerdir. Etkin çalışma şartlarının optimize edilmesinde; atık ısı sıcaklığı, su sıcaklığı, kütleli debiler, soğutma suyu basıncı, ölü hal gibi değişik parametreleri sırasıyla uygulamışlardır. Yaptıkları analiz sonuçları göre; atık suyun kütleli debisindeki yükselmenin, ekserji tüketim oranını yükselttiğini, bununla birlikte verimlilik ve maliyetlerin de yükseldiğini, atık su giriş sıcaklığının yükselmesinin ikinci kanunu verimini azalttığını belirlemişlerdir.

Tsatsaronis [77] çalışmasında, ekserji analizleri ve ekserji maliyetlerinde kullanılan bazı terimleri açıklamış, ekserji ve bazı eksergoekonomik değişkenler için kullanılan sembollerde seçenekleri ele almış ve sembollerin bilimsel ortamda ortak tanımlanmasına yönelik bir adlandırma sunmuştur.

Modesto ve Nebra [78] çalışmalarında Brezilya'da bir çelik fabrikasının güç üretim sistemini termoeconomik analizi için bir metodoloji sunmuşlardır. Fabrikanın güç üretim sisteminin, çelik üretiminden sağlanan iki gazın kullanıldığı rejeneratif Rankine devresine dayandığını ifade etmişler ve oluşturdukları metodolojiyi, ekserjetik maliyetlerin tanımlanmasını sağlayan ekserjetik maliyet teorisi olarak tanımlamışlardır. Metodolojilerini; maliyet değişimi, bağıl maliyet değişimleri ve eksergoekonomik faktörler gibi göstergelere bağlı maliyetlerin oluşumunda, her elemanın etkilerini belirlemede, enerji ve proses akışlarında üretilen maliyetlerin azaltılmasında etkili bir yöntem olarak açıklamışlardır. Çalışmanın sonunda, sistemin proje verileri ile işletme verilerini ekserji ve eksergoekonomik analizler ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca çalışma koşullarında COG tüketiminin % 176 yükseleceğini, elektrik güç üretiminin % 7.6, elektrik gücünün ekserjetik maliyetinin % 1.38 artacağını ve yatırım maliyetinin % 2 azalacağını belirtmişlerdir.

Nafey ve ark. [79] çalışmalarında arıtma prosesinin çok etkili buharlaştırma-mekanik buhar kompresörü (MEE-MVC) için termoeconomik dizaynı sunmuşlardır. Bu dizaynların ekserji ve termoeconomik matematiksel modellerini geliştirmişler ve analizlerde mevcut MEE-MVC (1500 m³/gün) arıtma prosesinin dizayn verilerini kullanmışlardır. Buharlaştırma prosesinde başlangıçta MEE-MVC için farklı çalışma şartlarında tüm dış akışları ve dış akış etkilerini incelemişler, bunun için Visual dizayn ve simülasyon paketini (VDS) kullanmışlardır. Analizlerinde oluşturdukları modelin dış akış olmaksızın termal proses oranının % 8 'den az olduğunu, dış akışlı sistemlerde birim ürün maliyetinin % 29 daha yüksek olduğunu, dış akış olmaksızın normal çalışmada tuzlanmış suyun birim ürün maliyetinin 1.7 \$/m³, tuzlu su geri dönüşüm debisinin dağılım oranının 0.5 'den 0.25 'e azaldığını hesaplamışlar ve optimizasyon sonucunda birim ürün maliyetini 1.21 \$/m³ 'e indirmişlerdir. Bu sonuçları MEE-MVC arıtma ünitesinin üç buharlaştırıcısında elde etmişler ve sonuçlara göre sistemin kapasitesi yükseldiğinde birim ürün maliyetinin azaldığını belirlemişlerdir.

Sayyaadi [80] çalışmasında, CGAM konjenerasyon sistemi olarak bilinen benchmark kojenerasyon sisteminin dizaynına yönelik çok amaçlı optimizasyonu gerçekleştirmiştir. Çalışmada ekserjetik, ekonomik ve çevresel etkilerin değerlendirildiği bir yaklaşımla termodinamik model oluşturmuştur. Yöntem olarak ekonomik analizler ile ilişkilendirilmiş toplam gelir ihtiyacı yöntemini kullanmıştır. CGAM probleminin çok amaçlı optimizasyonunda ekserjetik verim, sistemin ürününün toplam sınıflandırılmış maliyet oranı ve çevresel etkilere bağlı maliyet oranını içeren 3 karar fonksiyonunu tespit etmiştir. Burada ısı çevre karar fonksiyonu olarak bilinen çevresel etkiye bağlı karar fonksiyonunu, termoeconomik amaçla yeni bir amaç fonksiyonunun şekli için integre etmiştir. Oluşturduğu fonksiyonda ekserjetik amacı maksimum, ısı çevreyide minimum olarak amaçlamıştır. Çalışmasında, çok amaçlı evrimsel algoritmalar (MOEAs) olarak bilinen arama algoritmaların özel bir sınıfını kullanan en uygun optimizasyon tekniklerinden birini geliştirmiştir. Bu yaklaşımını elde edilmiş karar fonksiyonuna uyan Pareto optimal çözüm setini bulmak için sağlanmış genetik algoritmaya dayandırmıştır. Çalışmanın sonunda, elde ettikleri sonuçları, CGAM probleminin

optimizasyonuna yönelik önceki çalışmalarla karşılaştırmış, yakıt maliyet ve faiz oranı için çözümlerin duyarlılığını değerlendirmiştir.

2.3 Genetik Algoritma

Çok boyutlu giriş ve çıkış parametrelerine sahip sistemlerin optimizasyon problemlerinde, karar fonksiyonunun tanımlanması, işlem süresinin uzaması ve buna bağlı iterasyon sayısının artması gibi nedenlerden dolayı çözüm işlemi oldukça detaylı bir süreçtir. Son yıllarda bir çok alanda kullanım alanı bulan genetik algoritmalar, yapay zekanın gittikçe genişleyen bir kolu olan evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturmaktadır.

Genetik algoritmalar yapay zekanın gittikçe genişleyen bir kolu olan evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturmaktadır. Genetik algoritma Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek oluşturulmuştur. Herhangi bir problemin genetik algoritma ile çözümü, problemi sanal olarak evrimden geçirmek suretiyle yapılmaktadır [81].

Evrimsel hesaplama ilk olarak 1960 'larda I.Rechenberg tarafından "Evrimsel Stratejileri (Evolutions strategie)" isimli eserinde tanıtılmıştır. Onun fikri daha sonra başka araştırmacıların da ilgisini çekmiş ve geliştirilmiştir. John Holland, evrim sürecinin bir bilgisayar yardımıyla kullanılarak, bilgisayara anlayamadığı çözüm yöntemlerinin öğretilebileceğini düşünmüş ve bu düşünceye bağlı olarak genetik algoritma (GA) yöntemini oluşturmuştur. Onun yöntemi, öğrencileri ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş ve "Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon (Adaptation in Natural and Artificial Systems)" isimli Holland'ın kitabı 1975 yılında yayınlanmıştır. 1992 yılında John Koza genetik algoritmayı kullanarak çeşitli görevleri yerine getiren programlar geliştirmiştir. Bu metoda Genetik Programlama adını vermiştir [14]. Aşağıda genetik algoritmanın uygulama alanlarına yönelik yapılan literatür taramasından örnekler verilmiştir.

Tiftik [81] tezinde, global optimizasyon yöntemleri kullanılarak global minimumların bulunmasında daha etkin yöntemleri araştırmış ve jeofizik verilerin değerlendirilmesinde geleneksel ters çözüm yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığını ifade etmiştir. Çalışmasında yinelemeli ters çözüm yönteminde yorumcu parametreler için ön kestirim değerlerinin atandığını ve gerçek çözümün ön kestirim değerlerine yakın olduğu varsaymıştır. İlk modelinde her yinelemede değiştirilerek ölçülen veri ile, kuramsal veri arasındaki farkların kareleri, toplamı küçülttüğü gözlemlenmiş, çözüme ulaşma hızının, seçilen ön kestirim değerine bağlı olduğunu, iyi seçilmemiş bir ön kestirim değerinin çözüme ulaşmasını engelleyebileceğini veya çözümün fazla sayıda yineleme ile elde edilebileceğini belirtmiştir. Bu yöntemlerin çok kullanılmalarına rağmen en büyük dezavantajlarının, matematiksel formülasyonları nedeniyle lokal minimumları çözüm olarak gösterebilmeleri olduğunu vurgulamıştır. Tezde; global optimizasyon yöntemlerinin bu nedenlerle kullanılmaya başlandığını ve genetik algoritma (simulated annealing) yönteminin bir global optimizasyon yöntemi olduğunu açıklamıştır. Bu yöntemlerin yeraltı hakkında ön bilgi gerektirmediklerini ve gerçek çözüme yakın sonuçlar ürettiklerini, bu sonuçların genetik algoritma yardımıyla global minimumun yakın olduğunu belirtmiştir. Çalışmasında uygulamaları, FNI fonksiyonu ve görünür özdirenç tanımı üzerinden altı tür eğri (A, Q, H, K, KH, HK) için denemiştir. Eğrilerdeki çakışma ve parametreler arasındaki bağımlılıkları incelediğinde, FNI bileşenleri üzerinden yapılan ters çözüm işleminin daha başarılı olduğunu gözlemlenmiştir. Bu işlemlerde FNI fonksiyonundan üretilen bir tanım yerine, FNI fonksiyonunun doğrudan kullanılmasının çözümün başarısını arttırdığı saptamıştır. Çalışmanın sonunda, geleneksel yöntemlerde ön kestirim değerlerine bağlı olarak hesaplanan kurumsal verinin, ölçülen eğriye benzemesi durumunda yakınsama hızı artacağını belirtmiştir. Ayrıca, genetik algoritma ile hesaplanan katman parametrelerinin, yinelemeli (tekrarlanmalı) ters çözüm algoritmasına ön kestirim değeri olarak girilmesi durumunda, gerçek parametre değerlerine az sayıda yineleme ve hızlı bir yakınsama ile ulaşılabilceğini vurgulamıştır.

Ünlüsoy ve ark. [82] çalışmalarında, yapısal planı belirlenen doğal gaz dağıtım ağları için, çekiş değerlerine göre en uygun boru çaplarının seçilmesinde "Sezgisel Optimizasyon" ve "Genetik Algoritma" yaklaşımlarının uygulanmasını

anlatmışlardır. Anılan yöntemlerin, yapısal planın oluşturulması ve analizleri için kullanılan bilgisayar programlarına eklendiğinde, programlara optimum tasarım yetenekleri de kazandırdığını ifade etmişlerdir. Doğal gaz dağıtım ağlarının tasarımında, öncelikle yapısal planın belirlenmesi ve daha sonra da uygun boru çaplarının seçilmesini içerdiğini, incelenen doğal gaz dağıtım ağları probleminin genelde bir kısıtlı optimizasyon problemi olduğunu söylemişlerdir. Amaçlarının, tüketim noktalarında kabul edilebilir basınç düzeylerinin altına inmeden, sistemdeki tüm borularda önceden belirlenen bir en yüksek hız değerini aşmadan mevcut en uygun boru çaplarının kullanılması olarak belirlemişlerdir. Ancak, uygulamada boru çaplarının kısıtlı sayıda olduğunu ve sadece verilen çapların kullanılması durumunda, standart optimizasyon yöntemlerinin kullanılmasında bazı problemlerin ortaya çıktığını belirlemişlerdir. Bu kapsamda analiz yeteneğine ek olarak optimum tasarım yeteneği olan bilgisayar programlarının, yineleme gereksinimini azaltarak tasarım süresinin kısaltılmasına yardım ettiğini, aynı zamanda optimuma en yakın tasarımların elde edilmesine olanak sağladığını vurgulamışlardır.

Emel ve Taşkın [83] çalışmalarında bir arama ve optimizasyon yöntemi olan genetik algoritmayı ve uygulama alanlarını incelemişler ve öncelikle genetik algoritma kavramı ve temel teoremi hakkında bilgi vermişlerdir. Daha sonra, basit genetik algoritmanın çalışma adımlarını ve parametre seçiminin yöntemlerini inceleyerek fonksiyon optimizasyonu için bir çözüm örneği sunmuşlardır. Genetik algoritmaların uygulama alanlarına yönelik bir araştırma yaptıkları çalışmalarında, genetik algoritmanın yaygın olarak uygulandığı görülen alanları, genel ve işletme alanları olmak üzere iki temel gruba ayırmışlardır. Ayrıca, araştırmacılara ışık tutmak amacıyla, gelecekte daha yaygın olarak uygulanabileceği işletme alanlarını da tespit etmeye çalışmışlardır.

Siyam [84] tezinde, genetik algoritma ve sönümlü en küçük kareler yöntemlerinin olumlu yönlerinden yararlanmak amacıyla bir ardışık ters-çözüm yöntemini geliştirdiğini ifade etmiştir. Genetik algoritma ve sönümlü en küçük kareler ters-çözüm yöntemlerinin ardışık kullanımını, dört katmanlı yapay modellerin elektrik ve elektromanyetik verilerinin gürültülü ve gürültüsüz haline uygulamıştır. Genetik algoritma ve en-küçük kareler türü ters çözüm yöntemlerinin ardışıklı

kullanımı sonucunda elde ettiği parametrelerin, her iki yöntemin tekil kullanımıyla elde edilen gerçek parametrelerden daha yakın olduğunu tespit etmiştir. Geliştirdiği yöntemle, yeraltı katmanlarının özdirenç ve kalınlıkları hakkında bilgi edinilebileceğini ve elektrik ve elektromanyetik verilerin yorumlanabileceğini vurgulamıştır. İki yöntemin ardışıklı kullanımında, önce verileri genetik algoritma yöntemine uygulamış, daha sonra elde ettiği sonuçları sönümlü en küçük kareler ters-çözümünde ön-kestirim parametreleri olarak kullanmıştır. Bu şekilde her iki yöntemin olumlu yönlerinden faydalanırken, olumsuz yönlerinin de ortadan kalktığını vurgulamıştır. Ayrıca; bu yöntemle sonuçların daha gerçekçi olduğunu, içindeki eşdeğerlilik ve örtme etkilerinin büyük ölçüde en aza indirgendığını ve gürültüden en az etkilendiğini tespit etmiştir.

İşçi ve Korukoğlu [85] çalışmalarında endüstri alanlarında klasik programlama ve yöneylem araştırması teknikleri ile geliştirilen programların, yerini yapay zeka teknikleri kullanılarak geliştirilen çalışmalara bıraktığını ifade etmişlerdir. Böylece planlanan üretimi arttırmak ve karı maksimize etmek için; sezgisel parametreleri kullanma, doğru analiz yapabilme ve anında karar verme gibi insana özgü olan yetileri kullanarak karar veren veya tavsiyelerde bulunan sistemlerin geliştirilmesi ile daha hızlı ve gerçekçi çözümler elde edileceğini vurgulamışlardır. Çalışmalarında genetik algoritmanın nasıl çalıştığını ve yöneylem araştırması problemleri arasında yer alan gezgin satıcı probleminin genetik algoritma ile çözümü üzerinde durulmuş ve bunun için geliştirilen bir java programını tanıtmışlardır. Ayrıca genetik algoritma çözümü ile klasik yöntemlerle elde edilen çözümleri karşılaştırmışlardır.

Balku [86] doktora tez çalışmasında, karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyonun tek bir havuzda gerçekleştirildiği bir aktif çamur tesisinde, enerji tüketiminin minimizasyonunu sağlayacak optimum havalandırma profilini, uygulaması kolay ve etkin olan dinamik optimizasyon tekniğiyle bulduğunu ifade etmiştir. Tez kapsamında havalandırma havuzunda oluşan prosesler ile çöktürme havuzu ve çökme hızı modellerinin birbiriyle uyumunu sağlamış ve aktif çamur sisteminin dinamik benzetimi için genel bir model geliştirmiştir. Öncelikle sistemin uygun koşullarda çalışmasını sağlamak amacıyla işletmeye alma dönemi için

benzetim çalışmasını yapmış ve sistem hal değişkenlerinin başlangıç derişimlerini bulmuştur. Optimum havalandırma profilinin saptanması için oluşturulan sınırlandırılmalı dinamik optimizasyon probleminin çözümünde, evrimsel algoritma ve kontrol vektör parametrelemesine dayalı bir SQP algoritma kullanmıştır. Alınan sonuçlardan optimum havalandırma profili ile çalıştırılması durumunda, sabit bir havalandırma profiline göre % 21.34 oranında enerji tasarrufu sağlanabileceğini belirlemiştir. Optimizasyon için en önemli faktörlerden birinin mevcut literatürde henüz yer almayan çözülmüş oksijen derişimine ilişkin sınırlama olduğunu ve kullanılan algoritmaların karşılaştırılması sonucunda SQP algoritmasının gerek global optimum bulunmasında gerekse bilgisayar süresi kullanımında evrimsel algoritmaya göre daha avantajlı olduğu saptamıştır. Sonuçta elde edilen verilerin mevcut aktif çamur tesislerinde ek maliyet getirmeden azot giderimi yapılabilmesi ve enerji tasarrufu sağlanmasına, ayrıca gelecekte planlanan tesisler için yatırım ve işletme maliyetlerinin azaltılmasına katkı getirmeyeceğini vurgulamıştır.

Shahpar [87] çalışmasında, Rolls-Royce motorunun CFD'de (Computational Fluid Dynamic) hazırlanmış aslına oldukça uygun SOFT-PADRAM-HYDRA dizayn sistemi için otomatik optimizasyon tekniklerinin son uygulamalarını incelemiştir. Çalışmasında çoklu geçiş, çoklu sıralı turbomakina elemanlarının dizaynı için otomatik bütünleştirilmiş optimizasyon sistemini (SOPHY) uygulamış ve çalışmanın sonunda gradyana bağlı evrimsel optimizasyon algoritmalarının geometrik jenerasyon için esnek bir optimizasyon sağladığını vurgulamıştır.

Lauret ve ark [88] çalışmalarında, genetik algoritmayla bir yapı ısı simülasyon kodunun birleşimini sunmuşlardır. Genetik algoritmayı genetiğe ve doğal seçim mekanizmalarına dayanan arama algoritmalarının rasgele dağıtılması olarak tanımlamışlardır. Önerdikleri yöntemde bir bina ısı modelinin kusurlu alt modellerinin konumlarını ayırt edebildiğini vurgulamışlar, bu alt modellerin model tahminleri ve ölçüler arasında uyumsuzluğa karşı sorunlu bölümler olduğunu saptamışlardır. Çalışmalarında öncelikle referans alınan yapının sayısal modelinin esas alındığı modeli geliştirmişler, daha sonra bu verileri gerçek yapı üzerinde uygulamışlardır. Çalışmalarının sonunda geliştirdikleri metodun bina modellemelerinde verimli bir araç olduğunu saptamışlardır.

Vatandaş ve Özkol [89] çalışmalarında, titreşimli genetik algoritma yöntemini, dinamik ağ ve bir Euler akış çözücüsü ile birleştirerek üç boyutlu kanat modellerinin (Onera M6 kanadı) optimizasyonuna uygulamışlardır. Çalışmalarında, genetik prosesler sonucunda elde edilen üç boyutlu modeller için yeniden ağ yapısı (mesh) oluşturulmasında dinamik ağ yöntemini kullanmışlar, bunun için yazdıkları bilgisayar programıyla, sıfırdan ağ oluşturmak yerine, yapı bozulmadan daha hızlı bir şekilde yeni ağ yapıları elde etmişlerdir. Çalışmalarında; genetik algoritmanın önemli özelliklerinden birisinin bir noktadan yola çıkarak en iyiyi aramak olmadığını, aksine geniş bir topluluk içinden en iyileri seçmesi olduğunu belirtmişlerdir. Ancak özellikle üç boyutlu geometriler için işlemci zamanının çok fazla olmasının genetik algoritmaların zayıf noktası olduğunu, bu zamanın büyük bir bölümünün de akış alanını çözen program tarafından kullanıldığını vurgulamışlardır. Başlangıç modelinin profil şeklini ve daha sonra sivrilik oranı değiştirerek başlangıç popülasyonunu elde etmişler, daha sonra her bir popülasyonda da 14 farklı profil şekli ve sivrilik oranına sahip Onera M6 kanadının olduğunu söylemişlerdir. İşlemci zamanından tasarruf sağlamak için geliştirdikleri programın, önceki çözümleri başlangıç çözümü olarak kullandığını, taşıma ile sürüklenme kuvvetlerinden yola çıkılarak uygunluk değerlerini hesapladığını, genetik algoritma bireyleri bu uygunluk değerlerine göre değerlendirdiğini, uygunluk değeri yüksek olan bireyin seçilme şansı ve özelliklerinin sonraki nesillere aktarılma ihtimali yükselttiğini, çalışmada uygunluk fonksiyonunu seçerken, kanat modellerinin belirli bir dizayn-taşıma kuvvetinden fazla uzaklaşmadan, sürüklenme kuvvetlerini minimize edecek şekilde olmasına dikkat ettiklerini belirtmişlerdir. Çalışmanın sonunda, optimizasyon işleminin beklentilere uygun şekilde sürüklenme kuvvetini yaklaşık yüzde 25 oranında azalttığını saptamışlardır.

Dipama ve ark. [90] çalışmalarında, genetik algoritma tekniğini kullanarak ısı değiştirme ağının optimizasyonu ve oluşturulan sentezin uygulanabilmesi için bir metodoloji sunmuşlardır. Hazırladıkları metodolojinin; tek geçişli hesaplamalardan sağlanan hedef enerji için ısı yük dağılımını ve ısı değiştirme ağının yapısını tanımladığını ifade etmişlerdir. Buna ek olarak rastgele sağlanmış olan ısı değiştirme ağının jenerasyonları arasında verilen uygulama parametrelerini karşılayacak en iyi

ısı değiştirme ağının seğimine izin verdiğini iddia etmişlerdir. Hazırladıkları algoritma, Benchmark testinin çözümlüyle, uygulanmış ve benzer sorunların veya problemlerin kolayca çözülebileceğini vurgulamışlar, çalışmalarında amaç fonksiyonu için maksimum ısı dönüşümü üzerinde durmuşlardır. Çalışmanın sonunda; minimum maliyet amaçları, birimlerin minimum sayısı ve maksimum ısı dönüşümü gibi parametrelerin aynı anda çözümlerinin bulunabilmesi için multi objektif optimizasyonların tercih edilmesinin uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Gürsu ve İnce [91] çalışmalarında, yüksek gerilim tesislerinde açma-kapama olayları, yıldırım, elektrostatik deşarjlar, kısa devreler ve toprak temasları gibi nedenlerle meydana gelen darbe akımlarının toprağa akıtılmasında, yaygın kullanıma sahip topraklama ağlarını incelenmişlerdir. Bu çalışmalarında Genetik Algoritmalarla dayandırdıkları ve Matlab'da programı ile yazdıkları GATAT (Genetik Algoritmalar ile Topraklama Ağı Tasarımı) programı ile yüksek gerilim istasyonlarında optimum topraklama ağ modelini tasarlamışlardır. Tasarladıkları GATAT programı ile topraklama direncinin standartlarda öngörülen sınırlar içinde kalmasını sağlamak için gerekli toplam iletken uzunluğunu, toplam çubuk uzunluğunu ve ağın gömülme derinliğini hesaplamışlardır. Ayrıca çalışmalarında, yöntemin tasarım, maliyet analizi de yapabildiğini ve en az maliyeti sağlayacak ağ parametrelerini bulduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmanın sonunda, genetik algoritmaya bağlı çalışan modelin, topraklama direncini standartların öngördüğü limitler içerisinde tutabildiğini, aynı zamanda ağın hesaplanan göz ve adım gerilimlerini müsaade edilebilir maksimum temas ve adım gerilimlerinden küçük olmasını sağladığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, maliyetin de minimum olması yönünde strateji izleyerek çok yönlü ve çok değişkenli optimizasyonun başarı ile tamamladığını vurgulamışlardır. Sonuçta karmaşık ve çözümlünün zor ve uzun zaman aldığı problemlerde, önerdikleri yöntemin çok kısa sürede ve kolayca sonuca ulaşabildiğini belirtmişler ve diğer yandan da genetik algoritmanın topraklama ağı tasarım problemlerinde başarıyla uygulanabileceğini göstermişlerdir.

Sanaye ve ark. [92] çalışmalarında enerji sistemleri geliştirme laboratuvarında, iklimlendirme uygulamaları için dizayn edilmiş ve üretilmiş bir havadan havaya rotary jeneratörünü incelediklerini belirtmişlerdir. Çalışmalarında rotary jeneratörün

performansını değerlendirmek için modellediklerini ve modelin çıktı sayısal değerlerini, ekipman testlerinden sağlanan deneysel verilerle doğruladıklarını ifade etmişlerdir. Daha sonra rotary jeneratörün optimum çalışma şartlarını genetik algoritma optimizasyon tekniğini kullanarak sağlamışlar ve optimizasyon tekniğinde termal verimliliğe bağlı oluşturulan karar fonksiyonu için dizayn parametrelerini (sıcak ve soğuk havanın hacimsel debileri, matris dönüş hızı ve ısı değiştirme yüzey alanı) karar değişkenleri olarak kabul etmişlerdir. Ayarlanmış çalışma şartlarında cihazı test ettiklerini ve sonuçlarını, genetik algoritma optimizasyon tekniğiyle sağladıkları sonuçlarla karşılaştırdıklarını vurgulamışlardır. Çalışmalarının sonunda, optimizasyondan elde edilen sonuçların benzer değerler ile % 2.07 gibi kabul edilebilir yakınlıkta olduğunu saptamışlardır. Bunun yanında dizayn edilen jeneratörün enerji tasarrufunun ekonomik analizlerini yapmışlar ve geri dönüşüm süresini yaklaşık 3 yıl olarak hesaplamışlardır.

Canyurt ve Öztürk [93] çalışmalarında; Türk endüstrisinin yapısını ve ekonomik koşulları değerlendirerek fosil yakıt talebini, talebin geleceğine ilişkin öngörülerini, talebin karşılanmasına yönelik genetik algoritmayla gelecek projeksiyonunu oluşturmuşlardır. Bu projeksiyona bağlı olarak fosil yakıt tüketimine yönelik senaryolar geliştirmişler, bu senaryolara ilişkin olarak nonlineer bir formda doğal gaz, petrol ve kömür için modeller oluşturmuşlardır. Çalışmalarında, nüfus, ulusal üretim, ithalat ve ihracat şekillerine bağlı gelecek kömür, petrol ve doğal gaz taleplerini değerlendirmek için genetik algoritma talep değerlendirme modeli (GA-DEM) geliştirmişlerdir. Dünya enerji konseyinin Türkiye projeksiyon verilerini incelemişler ve bu verilere göre kömür, petrol ve doğal gaz tüketim değerlerinin 2000 ve 2020 yılları arasında sırasıyla yaklaşık 2.82, 1.73, 4.83 kat artacağını belirtmişlerdir. Çalışmanın sonunda GA-DEM ile yapılan projeksiyon çalışmasında dünya enerji konseyinin Türkiye projeksiyonuna yönelik ileri sürdüğü tüketim verilerinin oldukça abartılı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Sasaki ve Obayashi [94] çalışmalarında, (trade-off) süpersonik taşımacılığın aerodinamik dizaynı için çok amaçlı evrimsel algoritmalarından uyarlanabilir dizi çok amaçlı algoritmalar (ARMOGA) yaklaşımını geliştirmişlerdir. Çalışmalarında gelecek jenerasyonlarda daha olası süpersonik taşımacılığı için sürtünme ve ses

gürültüsünü azaltmaya yönelik gelecek jenerasyonların oluşturulmasını hedeflemişlerdir. Yüksek ölçekli yerleşimdeki iki ölçeği, koruma haritalama topolojisi sağlayan (SOM) ve kendini örgütleyen harita yöntemi ile analiz etmişlerdir. Çalışmanın sonunda, analiz sonuçlarına göre, ARMOGA ve SOM'un aerodinamik dizayn optimizasyonlarında iyi bir dizayn aracı olduğunu vurgulamışlardır.

Caputo ve ark. [95] çalışmalarında ısı değiştiricilerde yıllık yatırım maliyetlerini etkileyen ekipmanlarının maliyetlerini ve enerji harcamalarını azaltmak için genetik algoritma ile optimum dizayna yönelik bir prosedür sunmuşlardır. Çalışmalarında hazırladıkları yöntemin yeteneğini gösterebilmek için üç durum belirlemişler ve genetik çözümlerle maliyetleri azaltmayı hedeflemişlerdir. Çalışmanın sonunda, olası beklentilere bağlı olarak prosedürün uygulanması sonucunda, geleneksel dizayn edilmiş ısı değiştiricilerinde % 50 'den daha fazla maliyet azalması olabileceğini belirtmişlerdir.

Salgi ve ark. [96] çalışmalarında hidrojen taşımacılığının talep profilini inceleyen hidrojen ve tüm enerji sistem altyapıları için bir metodoloji sunmuşlardır. Bu metodolojilerinde, elektrik piyasasında elektrolizlerin çalışmasını optimize etmek için genetik algoritma ile matematiksel bir model oluşturmuşlardır. Optimizasyondan talep profillerinin, tüm enerji sistemlerinin analizlerinde elektrik piyasası ve güç denge sistemlerinin etkilerini içerdiğini belirtmişlerdir. Önerdikleri metodolojilerini Batı Danimarka'nın 2030 yılı senaryosunu inceleyen analizlere uygulamışlardır. Çalışmanın sonunda enerji depolama çözümlerini inceleyen problemlerin optimizasyonu için genetik algoritmaların uygun araçlar olduğunu, enerji depolama sistemlerinin genetik algoritmalar ile optimizasyonuna yönelik çözümlerinde, depolama sabitleri ve iç değişkenler gibi parametrelerin önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Literatür çalışmaları incelendiğinde; ısı sistemlerine ait endüstriyel sistemlerde elde edilen ürüne ait ekserjetik maliyetin ve sistemlerde üretilen entropiye bağlı kayıpların maliyetine yönelik bir değerlendirmeye rastlanmamıştır. Ayrıca

eksergoekonomik optimizasyon uygulamalarında çok amaçlı genetik algoritmaların ile optimizasyon yöntemlerine ilişkin bir çalışma da gözlenememiştir. Bu çalışmada;

a. Endüstriyel sistemlerde enerji ve maliyetlerinin ürün maliyetleri üzerinde etkilerini ortaya çıkartmak için yeni bir yaklaşım geliştirmek ve

b. Çok girdili ve çıktılı sistemlerde ürün maliyetleri ile sistemlerin ekserjetik verimlerinin iyileştirilmesi gibi çok amaçlı optimizasyon uygulamalarında genetik algoritma yöntemlerinin kullanılabilceğini göstermek amaçlanmıştır.

3. ÇİMENTO VE ÇİMENTO SEKTÖRÜ

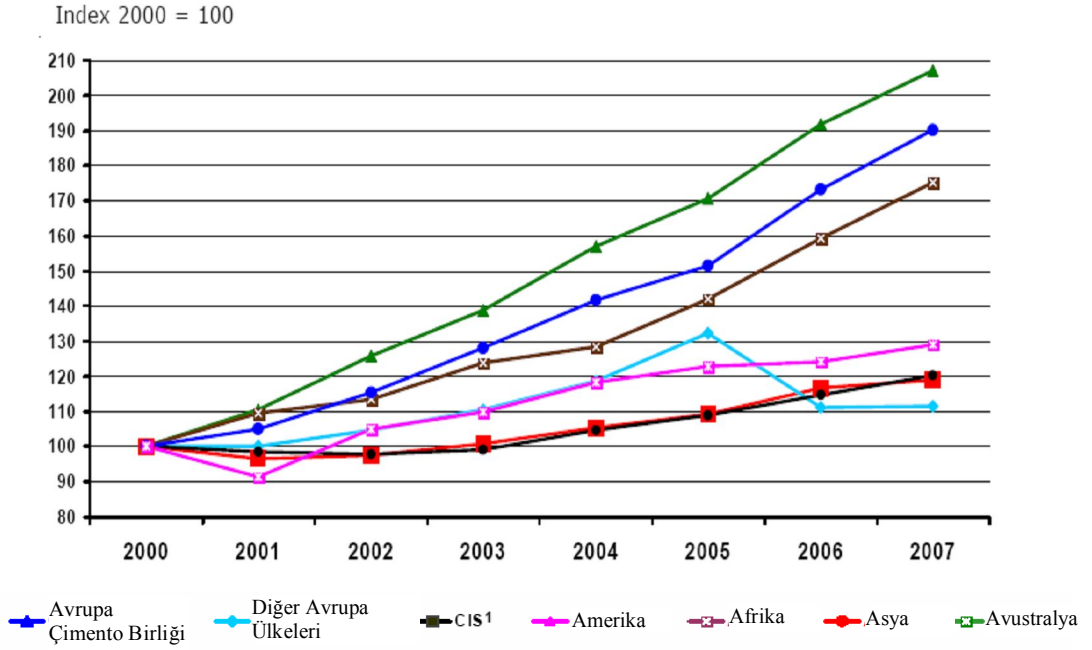
Çimentonun tarihçesi hakkında Söğüt [97] tarafından daha önce yapılan “Çimento fabrikasında enerji taraması ve üretim hattı ısı proseslerinin enerji ve ekserji analizi” konulu yüksek lisans tez çalışmasında detaylı bilgi verilmiştir. Dünyada ve Türkiye’de çimento sektörünün ulaştığı son durum ve geleceğe yönelik projeksiyonlar bu bölümde ele alınmıştır. Bölümünün sonunda da çimentonun yapısı ve üretim sistemleri detaylı olarak incelenmiştir.

3.1 Dünya Çimento Endüstrisi

1990 yılında dünyadaki çimento tüketimi 1×10^9 ton sınırına gelmiş, 90 ’lı yılların başında da sektördeki genel büyümenin % 4 civarında gerçekleştiği görülmüştür. Daha sonra, özellikle Asya krizi sektörde büyüme eğilimini kırmış, çimento tüketimi azaltmış ve bu etkiye bağlı olarak 1998 yılında % 2 ’lik bir küçülme kaydedilmiştir [98].

2000 yılından itibaren büyüme trendine giren dünya çimento sektörü; her geçen yıl biraz daha büyümüş, 2007 yılında da çimento üretimi 2.77 Bilyon tonun üzerinde gerçekleşmiş, çimento tüketimi ise, 2006 yılına göre yaklaşık % 12 ’lik bir artış gösterdiği gözlenmiştir [99]. 2000–2007 yılları arasında çimento üretiminin kıtalara göre dağılım grafiği Şekil 3.1 ’de verilmiştir.

Dünya çimento üretiminin yaklaşık % 70.1 ’i Asya üreticileri tarafından karşılanmakta, bunların arasında Çin, bu oranın % 48.7 ’sini tek başına sağlamaktadır. Türkiye’nin de içinde bulunduğu Avrupa çimento birliği ve birliğe üye olmayan diğer Avrupa ülkeleri ile Avrupa birliğine bağlı üreticilerin üretim toplamları; dünya çimento üretiminin % 15.5 ’ini karşılamaktadır [99]. Dünya çimento üretiminin dağılımı Çizelge 3.1 ’de verilmiştir.



Şekil 3.1 2000–2007 yılları dünya çimento üretimi [99].

Çimento üretiminde döner fırınlar temel maddeler kalker ve kili, çimento ara maddesi klinkere dönüştüren üretim hattında temel enerji tüketen proseslerdir. Dünyada en yaygın kullanılan çimento tipi, içinde klinker oranı % 95 olan portland çimentodur. Portland çimentonun klinkeri, 950 °C sıcaklığın üstünde bir sıcaklıkta kalker ve kilin ısıtılmasıyla üretilir.

Çimento hammaddesinin öğütülme işleminden, çimentonun elde edilmesine kadar; bilyeli fırınların döndürülmesi ve alt sistemler arasında ürün akışlarının sağlanması için kullanılan elektrik, üretimde tüketilen önemli bir enerji türü olarak kabul edilmektedir. Sektörde yapılan araştırmalara göre üretilen çimentonun ton başına enerji tüketimi 4–5 GJ arasındadır. Genel olarak çimento sektörünün enerji tüketim payları, sanayi sektörlerine göre % 12 ile % 15, ülkelerin toplam enerji tüketimlerine göre ise % 2 ile % 6 oranları arasında değişmektedir. Türkiye çimento sektörü üretim kapasitesi açısından dünya ve Avrupa ülkeleri ile karşılaştırıldığında, dünya ülkeleri arasında 10 'nuncu sırada, Avrupada ise İtalya, Almanya ve İspanya'nın ardından 4 'ncü sırada yer almaktadır [98].

Çizelge 3.1 Dünya çimento üretimi [99]

ÜRETİCİLER		%	%
Asya	Çin	48.7	70.1
	Hindistan	6.1	
	Japonya	2.4	
	Diğer Asya Ülkeleri	12.9	
USA			3.4
Diğer Amerika Ülkeleri			6.2
Avrupa Birliği			9.7
Diğer Avrupa Ülkeleri			0.2
Avrupa Çimento Birliği			3.4
Diğer Çimento Birlikleri			2.2
Afrika			4.4
Avustralya			0.4

3.2 Türk Çimento Endüstrisi

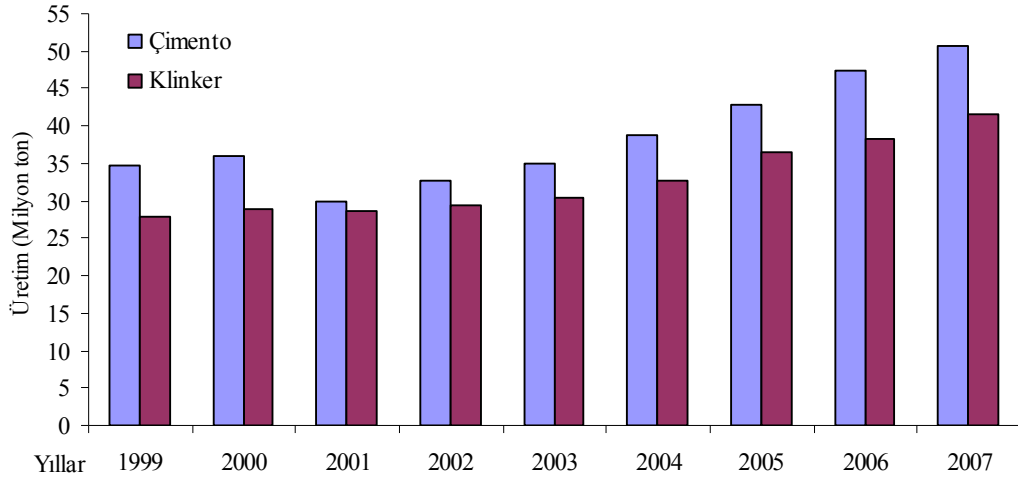
Türk çimento sektörünün tarihi gelişimi Söğüt [95] tarafından yapılan tez çalışmasında detaylı olarak verilmiştir. Çimento sektörü 1950 'li yıllardan sonra hızlı bir gelişme periyodu yakalamış, Türkiye 90 'lı yıllardan itibaren Avrupa ve dünyada önemli kapasiteye sahip çimento üreticisi konumuna gelmiştir.

2007 yılı itibariyle Türk çimento sektöründe 57 adet entegre çimento fabrikası, 18 adet öğütme paketleme tesisi olmak üzere toplam 75 çimento üretim tesisi faaliyette bulunmaktadır [100]. Türkiye'de 2004 yılında çimento fabrikalarının durumu Şekil 3.2 'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Türkiye’de çimento fabrikaları (2004) [97]

2001 yılından itibaren üretim miktarının sürekli artış eğiliminde olduğu gözlenen çimento sektöründe, kısa vade klinker üretim kapasitesinin 2009 yılı ortalamasının % 40 artışla 63 milyon ton olması beklenmektedir.

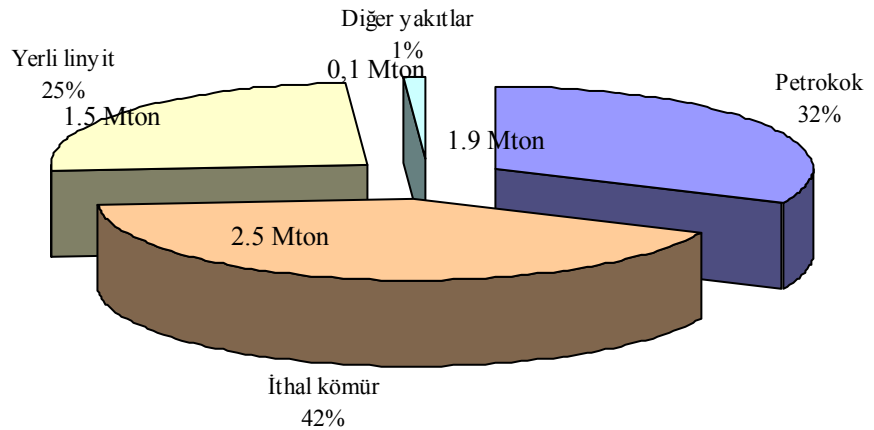


Şekil 3.3 Çimento ve klinker üretiminin yıllara göre dağılımı [100–101]

1999 ile 2007 tarihleri arasında çimento ve klinker üretiminin yıllara bağlı dağılımı Şekil 3.3 'de verilmiştir. 2008 yılında ise klinker kapasite kullanım oranının % 89.8 'e, çimento öğütme kapasite kullanım oranının % 67.09 'a ulaştığı görülmüştür.

Çimento sektöründe; üretimde kullanılan enerji, elektrik ve ısıl enerji olmak üzere iki ana enerji kolunda gerçekleşmektedir. Sanayi sektöründe toplam tüketilen enerjinin % 11 'lik kısmı bu sektör tarafından enerji girdisi olarak kullanılmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların tüketimdeki payı % 92 'dir. Çimento sektöründe tüketilen fosil yakıtların kullanım oranları ve miktarları Şekil 3.4 'de verilmiştir. Kalan miktarı elektrik enerjisi tüketimi oluşturmaktadır [98].

Döner fırınlarda klinker üretiminde ısıl enerji kaynağı olarak kömür, linyit, ithal kömür, fuel-oil veya doğal gaz gibi alternatif yakıtlar kullanılmaktadır. Diğer ünitelerde ısıl enerji olarak fırından gelen sıcak gaz ve toz karışımı kullanılmaktadır. Öğütme tesislerinde ise elektrik temel enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Üretimde kullanılan elektriğin % 60 'ı hammadde ve çimento öğütme bölümlerinde kullanılmaktadır.



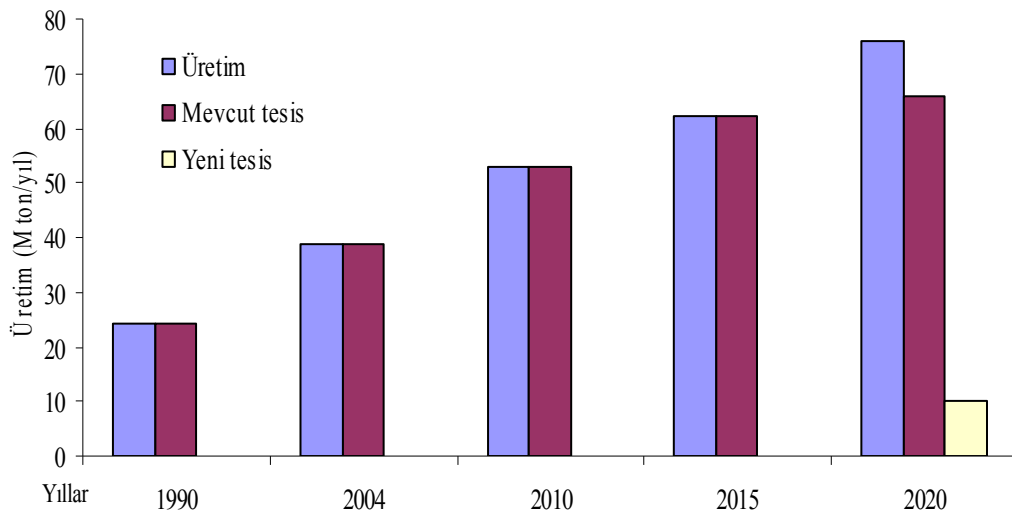
Şekil 3.4 2007 yılında enerji tüketim dağılımı [100]

Kalan elektrik tüketiminin % 25 'lik kısmı, fırınlarda ve soğutucularda harcanmaktadır. Elektriğin diğer kalan miktarı ise, mekanik hareket elde etme amaçlı konveyörlerde, pnömatik sistemlerde, hava akışı sağlayıcı sistemlerde ve paketleme ünitelerinde kullanılmaktadır.

Çizelge 3.2 1990–2020 yılları Türkiye çimento üretim projeksiyonu

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Üretim (Mton/yıl)	24.42	38.8	53	62.15	76.02
Mevcut tesisler ile üretim (Mton/yıl)	24.42	38.8	53	62.15	65.98
İhtiyaç (Mton/yıl)	0	0	0	0	10.03

Türkiye çimento ihraç eden bir ülkedir. Çalışmanın bu bölümünde, çimento sektörünün geleceğine yönelik üretim ve tüketim eğilimi incelenmiştir.



Şekil 3.5 1990–2020 yılları Türkiye çimento üretim projeksiyonu

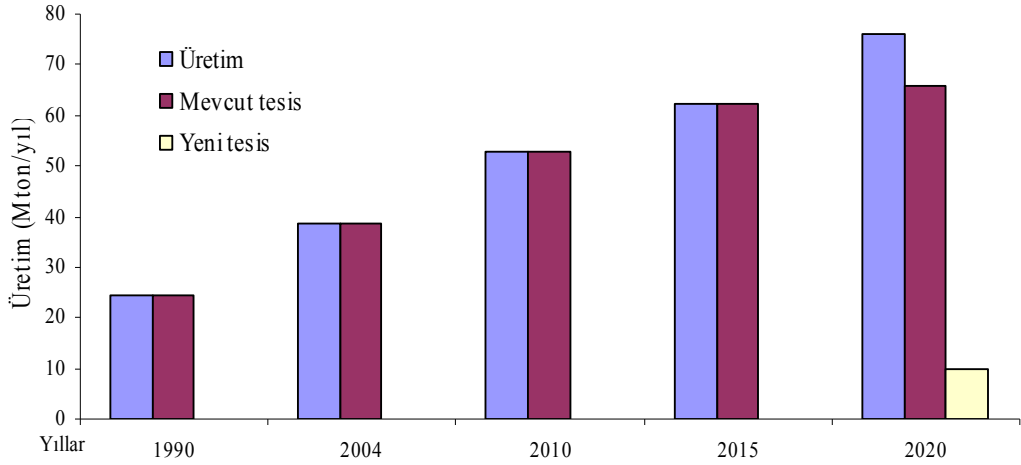
Türkiye'nin 1990–2020 yılları için çimento üretim değerleri ve projeksiyonu Çizelge 3.2 ve Şekil 3.5 'de verilmiştir [100,102]. 1990 ile 2004 yıllar arasında ait veriler, gerçekleşen fiili değerlerdir [100]. 2004 ile 2013 yılları arasında ait veriler, DPT müsteşarlığı 9 'ncu kalkınma planından sağlanan üretim projeksiyonlarıdır.

2013 ile 2020 yılları arasında ait veriler ise, 2013 yılından itibaren 9 'ncu Kalkınma Planında öngörülen yıllık ortalama % 4.11 'lik üretim artışı esas alınarak hesaplanan üretim projeksiyonlarıdır [101]. 2004 yılı çimento öğütme kapasitesi 65.9 Mton/yıl olarak gerçekleşmiştir. Çizelge 3.2 'den de görülebileceği gibi, üretim kapasitesinin 2015 yılına kadar talebi karşılayabileceği, ancak 2020 yılında ise 10.03 Mton/yıl 'lık ek öğütme kapasitesine ihtiyaç duyulacağı değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.3 1990–2020 yılları Türkiye klinker üretim projeksiyonu

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Üretim (Mton/yıl)	20.25	32.78	44.17	49.72	58.47
Mevcut tesisler ile üretim (Mton/yıl)	20.25	32.78	44.17	48.8	48.8
İhtiyaç (Mton/yıl)	0	0	0	0.92	9.67

2004 yılı klinker üretim kapasitesi 39 Mton/yıl olarak gerçekleşmiştir. Ön kalsinatör ilaveleri ile bu kapasite 48.8 Mton/yıl 'a çıkartılmıştır. Hesaplanan üretim projeksiyonlarına göre, 2015 yılından sonra yaklaşık 10 Mton/yıl ek klinker üretim kapasitesine ihtiyaç duyulacağı görülmektedir. Bu durum Çizelge 3.3 ve Şekil 3.6 'da verilmiştir [100,102,103].



Şekil 3.6 1990–2020 yılları Türkiye klinker üretim projeksiyonu [100,102]

3.3 Çimentonun Yapısı

Temelde ham madde ve üretim prensipleri aynı olan bütün çimentolar Portland türü çimentolar olarak anılırlar. Bu gün dünyada kullanılan hidrolik çimentoların büyük çoğunluğu Portland türündendir [104].

Çimento su ile reaksiyon sonucu hem havada ve hem de su altında katılaştığı ve sertleştiği için hidrolik bağlayıcı olarak tanımlanır. Çimento üretiminde kullanılan ana hammaddeler kireçtaşı, kil ve (marn) demir cevheridir. Bunlar jeolojide sedimanter kayalar olarak bilinirler ve herhangi bir jeolojik yaşta olabilirler [47].

Çimento üretiminde kullanılan kalker yataklarının kimyasal özelliklerinin yanı sıra; fabrikaya yakınlığı, sökülebilirliği, kırılabilirliği, öğütülebilirliği ve pişebilir niteliklerde olması, düşük nem içermeleri ve homojen olmaları üretim maliyetini etkileyen önemli faktörlerdir. Bu nedenle bu faktörlerin saptanması üretim açısından çok önemlidir.

Doğada geniş ölçüde ve yaygın halde bulunan ve kimyasal bileşiminde en az % 90 CaCO₃ (kalsiyum karbonat) içeren kayalara kalker ya da kireçtaşı adı

verilmektedir. Ayrıca mineralojik bileşiminde en az % 90 kalsit minerali bulunan kayalara da kalker adı verilmektedir.

Çimento yapımında ikinci önemli hammadde kildir. Çimento üretimi için kullanılan kil mineralleri genellikle yumuşak ve gevşek yapıli materyallerdir. Bu materyaller tane boylarına göre sınıflandırılmaktadır (kil, şilt, kum gibi). Kayaç tipindeki killi materyaller killi şist, şeyl ve kristalin şistler şeklinde oluşabilirler. Granit, gnays bazalt ve bazaltik tüflerle puzzolanlar kil minerallerinin oluşumunda etkili olabilirler [47].

İçinde silis, killi maddeler ve demir oksit bulunan kalkerlere "MARN" adı verilir. Marn kilden önceki basamağı teşkil eder. Geniş ölçüde yaygın olduğu için çimento yapımında hammadde olarak kullanılır. Jeolojik bakımdan marn, % 50 ile % 70 arasında kalsiyum karbonatın ve % 30 ile % 50 arasında killi maddelerin aynı zamandaki çökelti teşekkülü sonucunda oluşmuş bir tortul taşıdır. İçindeki kireç ve kil komponentleri homojen bir yapıya sahiptir. Kimyasal yapısı Portland çimentonun ham karışımına benzeyen kireçli marn tek başına çimento yapımında kullanılır. Bu tür hammadde yatakları çok nadir bulunur.

Çimento üretiminde ara ürün olan klinker üretimi için gerekli katkı maddeleri ise ham karışımın kimyasal bileşimini düzeltici yönde etkiye sahip, Fe, SiO₂ ya da Al₂O₃ içerikli materyallerdir. Bunlara örnek olarak, fırınlanmış pirit, düşük yüzdeli demir cevheri, laterit, kuvarslı kum ya da metamorfik kayaçların bozulmasıyla oluşan kuvarslı materyaller ve boksitler verilebilir [104].

3.3.1 Çimento Sanayinde Kullanılan Katkı Maddeleri

Mekanik ve kimyasal dayanım özelliklerinin geliştirilmesi amacı ile çimento oluşumuna çeşitli katkı maddeleri ilave edilmektedir. Bu katkı maddeleri klinker üretiminden sonra çimento öğütme işlemi sırasında ilave edilir. Türkiye çimento sektöründe halen kullanılan katkı maddelerinin fabrika

üretim kapasitelerine göre ağırlıklı ortalama kullanım oranları Çizelge 3.4 'de verilmiştir [105].

Çizelge 3.4 Katkı maddelerinin kullanım oranları [102]

KATKILAR	Kullanım Oranları (%)
Alçı taşı	20.3
Puzzolan	2.8
Cüruf	10.1
Uçucu Küller	4.0
Kalker	13.7
Kimyasallar	9.2
Fırın EF Tozlar	0.5
Pomza	1.5
Tras	37.9

Ancak çimento üretiminde enerji verimliliği yönünden önemli olan bu katkı maddelerinin cinsi değil, çimento içindeki toplam katkı oranıdır. Çimento üretiminde enerji girdisini azaltarak maliyetlerin düşürülmesinde en etkin yöntem, son ürün içindeki katkı maddesi oranının artırılmasıdır. Ercan Y. Ve ark. Tarafından geliştirilen modelde çimentoda kullanılan katkı oranları belirlenmiş ve bu oranlar Çizelge 3.5 'de verilmiştir.

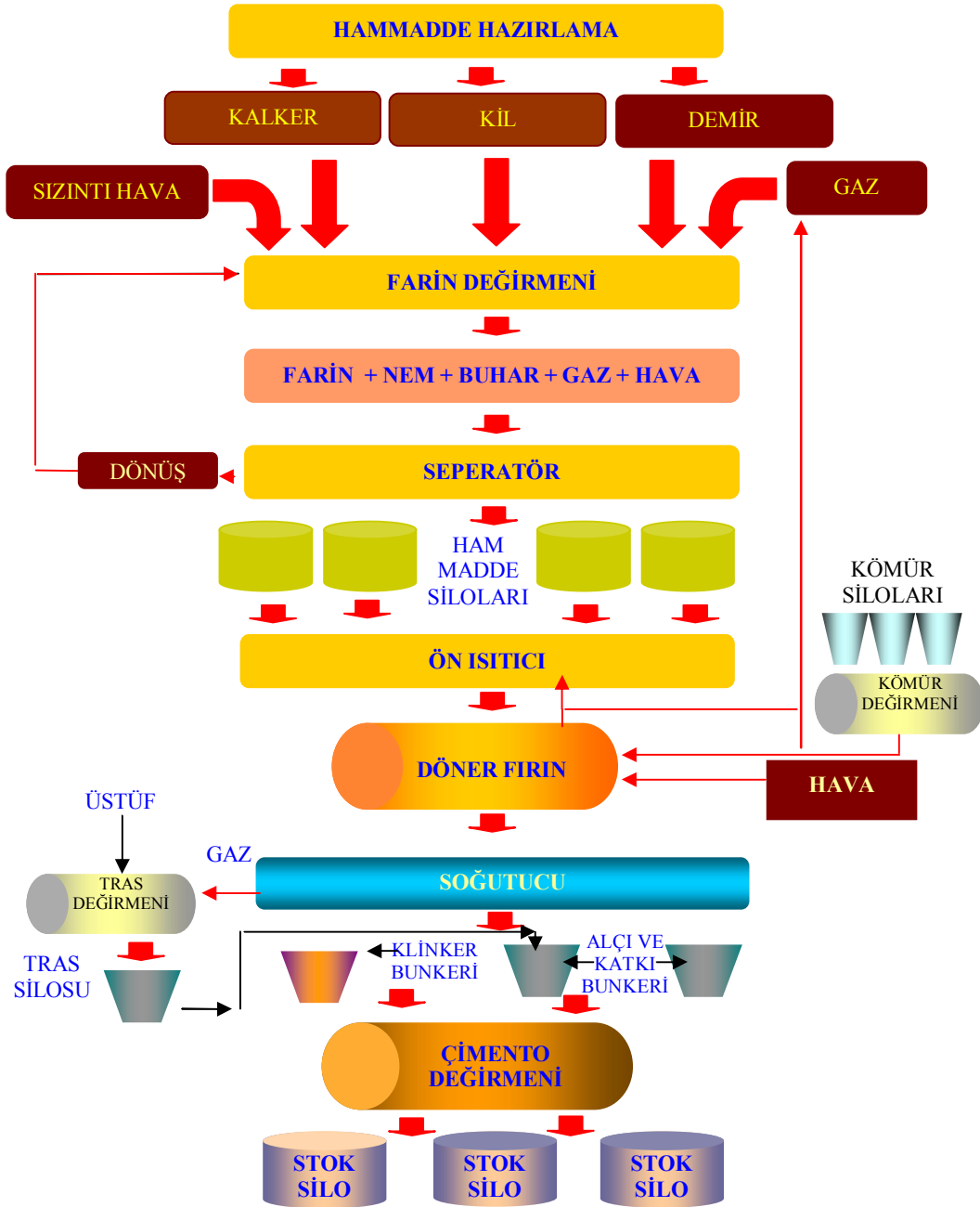
Çizelge 3.5 Katkı maddelerinin yıllara göre değişimi [102]

Yıllar	1990	2004	2010	2015	2020
Katkı Oranları %	20.56	18.36	20	25	30

Çizelgede 1990 ve 2004 yıllarına ait gerçek veriler görülmektedir. 2010, 2015 ve 2020 yılları için kabul edilen % 20, % 25, % 30 oranları ise dünya uygulamaları dikkate alınarak belirlenmiştir [102].

3.4 Çimento Üretim Sistemleri ve Özellikleri

Bu bölümde, çimento üretiminde kullanılan üretim sistemleri ve üretim hatları hakkında bilgi verilmiştir. Bu amaçla başta hammadde bölümünden başlayarak, klinker üretimi ve çimento paketleme bölümüne kadar, üretim hattının ana ve yardımcı sistemleri incelenmiştir.



Şekil 3.7 Çimento üretim hattı akış şeması [106]

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

Çimento üretiminde dört farklı ana üretim sistemi uygulanmaktadır. Bunlar sırası ile kuru, yarı kuru, yarı yaş ve yaş sistem olarak adlandırılmaktadır. Türkiye’de ise kuru sistem çimento üretimi yapılmaktadır. Şekil 3.7 'de kuru tip çimento üretiminin akış şeması verilmiştir. Aşağıda üretim akış hatları bölüm bölüm incelenmiştir.

3.4.1 Hammadde Hazırlama

Doğal hammaddeler kil, kalker vb. maden sahasında çıkarıldıktan sonra kırıcılardan genellikle iki aşamada geçirilerek tane boyları 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 [47].

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 [103]. Kuru ve yarı kuru sistemlerde ön homojenizasyon sonrasında hammaddeler, kurutularak devamlı kontrol edilen bileşimde, hammadde değirmenine beslenir ve farin adı verilen ara ürün elde edilir. Şekil 3.8 'de kuru sistem bir farin değirmeninin resmi görülmektedir. Yaş ve yarı yaş sistemlerde hammadde karışımına % 15 civarında su püskürtülerek granüller oluşturulur [104].



Şekil 3.8 Farin değirmeni [104]

Uygulanan teknolojiye göre yarı kuru proste çok az su ilavesi ile bilye büyüklüğünde farin pelletleri hazırlanır veya yarı 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 [107].

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. Elde edilen farin; farin depolarına alınır ve burada ortalama 50 °C ile 60 °C sıcaklık aralığında üretim politikasına göre bekletilir.

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 soğutulmasıyla 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.

3.4.3.1 Döner Fırınlar

Döner fırın dünyada endüstri tesislerinde bulunan en büyük üretim elemanı olarak kabul edilir. 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 [47]:

- a. Uzun döner fırınlar
- b. Lepollü döner fırınlar
- c. Ön ısıtıcılı döner fırınlar
- d. Dört kademeli ön ısıtıcılı siklonlu döner fırınlar
- e. Dört - altı kademeli ön kalsinatörlü (preka) ve ön ısıtıcılı siklonlu döner fırınlar.

3.4.3.2 Klinker Soğutucuları

Klinker soğutucularının 150 ile 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 [104]:

Klinker soğutucular bu görevlerini soğutma fanlarından gönderilen yüksek debili hava yardımı ile gerçekleştirirler. Klinker soğutucuların döner fırın türlerine ve üretim teknolojilerine göre değişik uygulanma modellerine sahiptir. Bunlar; döner tip, ızgaralı tip ve dikey tip klinker soğutucularıdır.

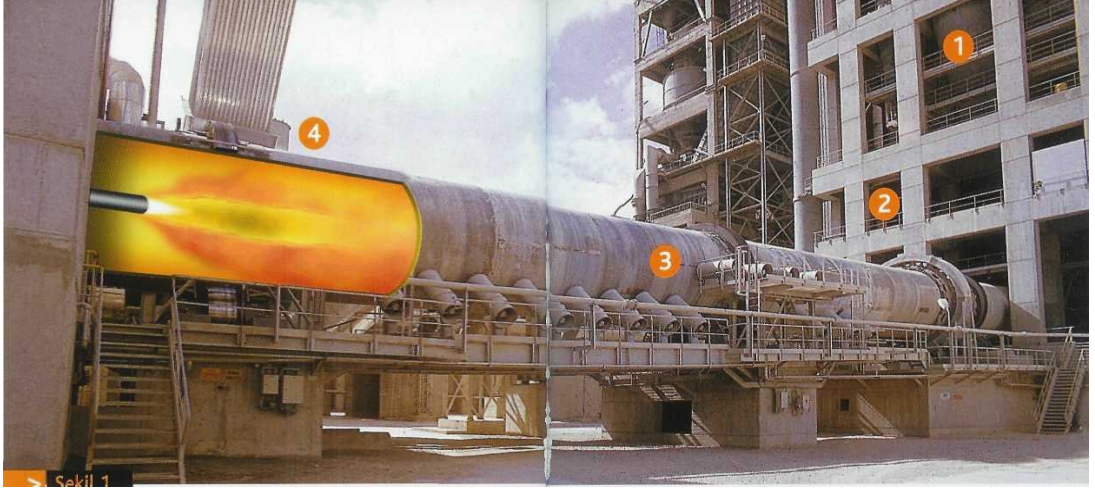
Klinker oluşumunda ön ısıtıcıdan gelen malzeme, fırına intikal ünitesinden girer ve fırınla beraber dönerek, yuvarlanarak, kayarak daha sıcak bölgelere, alt uçtaki aleve doğru ilerler. Bu arada geri kalan CO₂ malzemedan ayrılır ve bir dizi kimyasal reaksiyon meydana gelmeye başlar.

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 [47].

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 ila 200 °C ye kadar soğutulma işlemlerini içeren ısı işlemlerden geçirilir. Bu proseslerdeki malzeme akışı Şekil 3.9 'da verilen numara sırası takip edilerek şöyle özetlenebilir:

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 savrularak ısınırlar ve kısmen kalsine olurlar [104]. Siklonlu ön ısıtıcılar, birbiri üzerine yerleştirilmiş dört siklondan oluşmuştur. Daha iyi bir ayırım için farinin giriş siklonu ikili siklon olarak teşkil edilmiştir. Siklonlar kare şeklinde kesitleri 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 [104].

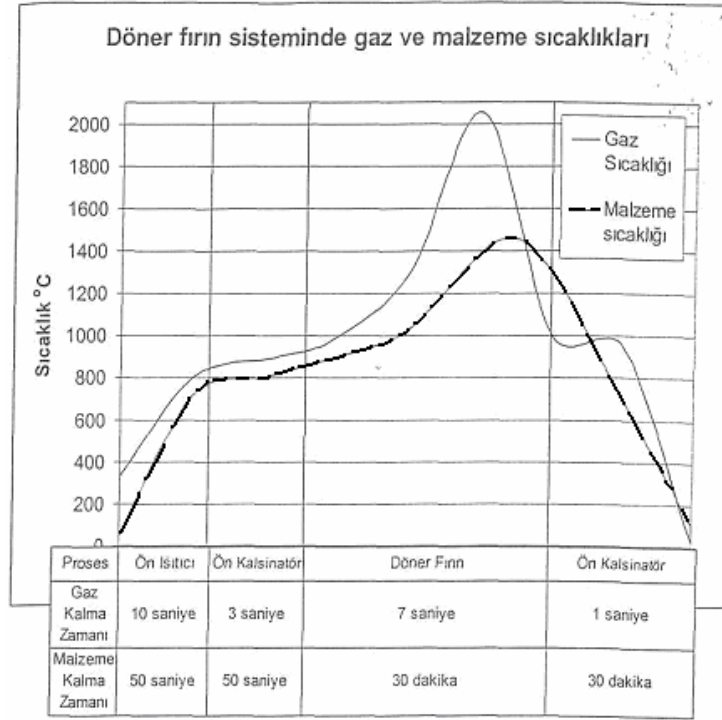


Şekil 3.9 Kuru sistem döner fırın bölümü [104]

Döner fırın sistemi içerisinde hareket eden yanma gazları ve malzemelere ait sıcaklık seviyelerinin değişimi Şekil 3.10 'da verilmiştir. Yaklaşık 50m. yüksekliğe sahip 4 kademeli siklonlu bir ön ısıtıcıdan farinin geçiş süresi 25–50 saniyedir. Bu zaman süresinde fırın gazları 1100 °C 'den 300–350 °C 'ye düşmekte, farinin sıcaklığı ise 50 °C 'den 800 °C 'ye kadar çıkmaktadır [107].

Ön ısıtıcılı 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 ile % 2.2 arasında K_2O ve % 0.1 ile % 0.7 Na_2O transfer edilebilir.

Yaklaşık 800 °C 'dan sonra fırında alkaliler kısmen buharlaşır. Isıya dayanıklı olan bir kısmı da klinkerde kalır. Buharlaşan alkaliler, fırının soğuk bölgelerinde, soğuk farin üzerinde kondanse olarak 3 ncü ve 4 ncü siklona gelirler. Özellikle K_2O , Na_2O 'nun daha az kondanse olmasına karşın, ön ısıtıcıda alkaliler % 81 ile % 97 oranında yoğunlaşır. Böylece alkaliler % 3 ile % 19 aralığında ön ısıtıcı siklonları terk eder. Dolayısıyla baca gazı ile dışarıya taşınan toz bünyesinde çok az alkali ihtiva eder [103].



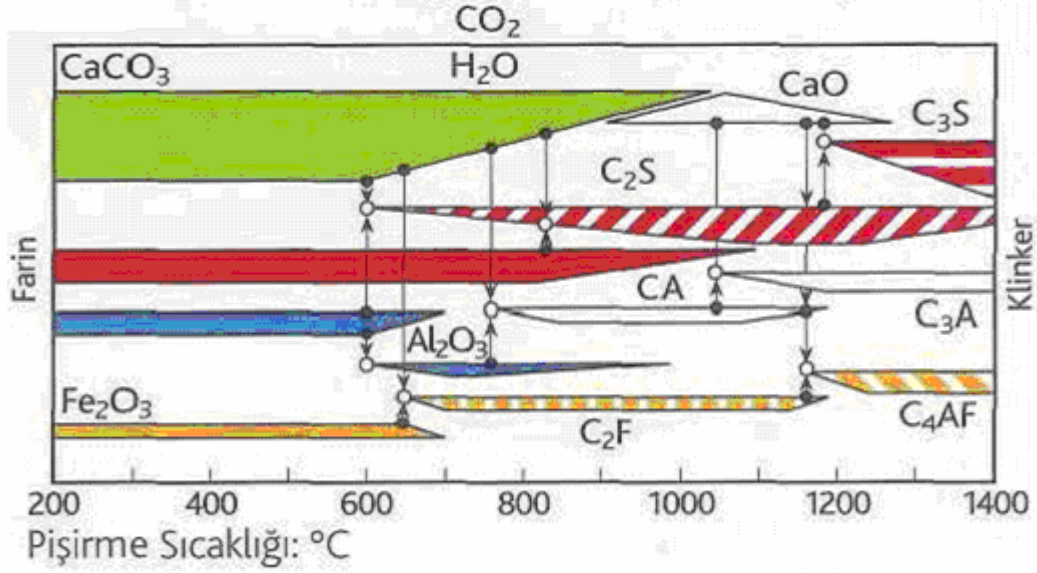
Şekil 3.10 Fırın sistemi boyunca gaz ve malzeme sıcaklıkları [47].

Yapılan deneylerde 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_2 '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

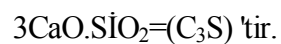
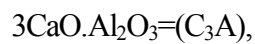
meydana getirirler. Ön ısıtmada ve fırının en üst bölgesinde malzemede serbest ve kristal sular buharlaşır, kil ayrışır ve CO₂ kalkerden ayrılmaya başlar.



Şekil 3.11 Farinden klinkere geçişte faz değişimleri [104]

Aşağıya doğru, daha sıcak bölgelerde kalsinasyon tamamlanır, serbest kalan CaO kilden ayrılan SiO₂ ve Al₂O₃ ile birleşerek kalsiyum silikat ve kalsiyum aluminatları meydana getirir. Farinden klinkere geçişte çimento ham maddelerindeki mineral faz değişimleri Şekil 3.11 'de gösterilmiştir.

Tipik bir çimentonun klinkerinde bileşimin % 90 'nından fazlasını karma oksit formundaki dört ana bileşen oluşturur. Döner fırındaki reaksiyon bağıntılarında görüleceği gibi bunlar:



Çizelge 3.6 Klinker bileşenleri

Faz	Kimyasal yapı	Kimyasal form	İsim	Klinker oranı (%)
Tri-Kalsiyum	3CaO.SiO_2	C_3S	Alit	51.5 -85.2
Di-Kalsiyum Silikat	2CaO.SiO_2	C_2S	Belit	0.2 – 27.1
Kalsiyum Aluminat	$3\text{CaO.Al}_2\text{O}_3$	C_3A	Aluminat	6.8 – 15.6
Kalsiyum Ferrit	$4\text{CaO.Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	Ferrit	4.0 – 16.2

Bu dört ana bileşen gerek su ile reaksiyon hızları ve çıkardıkları ısı miktarları, gerekse çimentonun bağlayıcılık değerine katkıları yönlerinden birbirlerinden farklı karakter gösterirler. Bu bileşenlerin klinkerdeki oranları Çizelge 3.6 'de verilmiştir [104]. Bileşenlerin özellikleri hakkında daha geniş bilgi Söğüt [97] tarafından yapılan çalışmadan alınabilir.

Klinker soğuma şartlarının, klinkerin mineralojik yapısına büyük tesirleri vardır. Aynı klinker üzerinde yapılan bir araştırmada, yavaş soğutmada C_3S miktarı % 59.8, orta süratli bir soğutmada C_3S miktarı % 65.2, hızlı soğutmada ise bu miktar % 70 olmuştur. Bir klinkerde C_3S 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_3S miktarı ayrışmadan muhafaza edilsin [107].

Klinkerin hızlı soğutulmasının bir başka etkisi de kristallerin büyüklüğü üzerinde olur. Hızlı soğutmada kristaller küçük, yavaş soğutmada kristaller büyük olur. C_3S mineralleri büyüdükçe hem kristallerin öğütülmesi güçleşir hem de zor öğünmeden dolayı çimento değirmenlerinin kapasitesinin düşüp enerji sarfiyatlarının artmasına sebep olur. Ayrıca büyük C_3S 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 sn 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.

3.4.4 Yakıt Hazırlama

Türk ve Avrupa çimento sanayi tarafından ağırlıklı olarak fosil yakıtlar arasında linyit kömür, ithal kömür ve Petro-kok'un 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 [47].

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 dahil olmak üzere primer hava kullanılır.

Çizelge 3.7 'de fırın içindeki yanma parametreleri görülmektedir. Ön kömür tercih eden 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.

Çizelge 3.7 Çimento döner fırınında yanma şartları

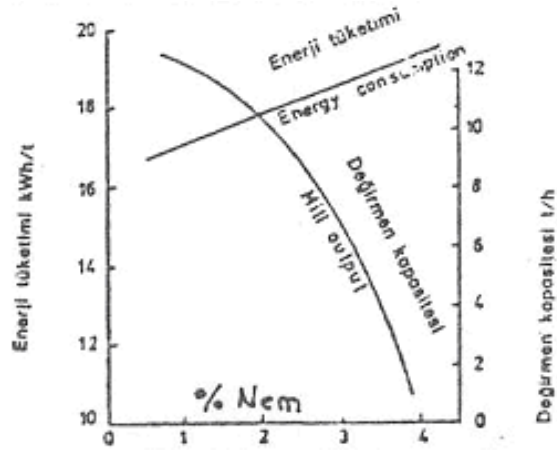
Yanma şartları	Çimento döner fırını
Yanma Sıcaklığı	1 800–2 000 °C
Yanma Gazlarının Kalma Süresi	5–10 saniye 1 200 °C altında
Fazla Oksijen	% 2 – 3

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 Kül'dür. Kömür külü nicelik olarak, % 15 ile % 21 aralığında Al_2O_3 , % 25 ile % 40 aralığında SiO_2 , % 20 ile % 45 aralığında Fe_2O_3 , % 1 ile % 5 aralığında CaO, % 0.5 ile % 1 aralığında MgO ve % 2 ile % 8 aralığında SO_3 ve diğerlerini ihtiva ederler [107].

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_2 teşkil ettiği ve bu da su ile birleşmesinde H_2SO_4 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 [107]. Kömürün kurutulmasında dikkat edilecek husus tam olarak kuru kömürün

zor yanmasıdır. Yani karbon doğrudan doğruya hava oksijeni ile birleşmez. 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 ile % 1.5 aralığında olmalıdır.



Şekil 3.12 Nem – değirmen kapasitesi – enerji ilişkisi [107]

Kömürün sınıflandırılmasında önemli olan uçucu madde miktarıdır. Kömürün havasız yerde karbonatlaştırılması esnasında ağırlığından kaybettiği miktar, uçucu madde miktarını verir [107]. Kömürün uçucu maddesinin optimum değeri kömür tozu ateşlemeleri için % 18 ile % 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 Nm³) 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. Bu değirmen kapasitesinde Şekil 3.12 'de gösterildiği gibi % 45 ile % 50 oranında düşüş demektir.

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 [47].

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 [107].

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 ile % 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 [107].

3.4.7 Çimento Sevkiyatı

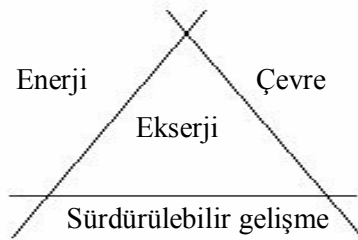
Çimento değirmenlerinden elde edilen imento satış politikasına bağlı olarak paketleme veya hazır beton bölümüne gönderilir. Buradan imento talebine bağlı olarak kullanım noktalarına sevk edilir.

4. EKSERJİ, EKSERGOEKONOMİK ANALİZİ VE GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYON METEDOLOJİLERİ

Bu bölümde; “döner fırın prosesinin eksergoekonomik optimizasyonu” konulu tez çalışmasında, uygulanan ekserji analizinin, geliştirilen eksergoekonomik analiz yönteminin ve genetik algoritma tekniğinin teorik analizleri sırasıyla ele alınmıştır.

4.1 Ekserji Analizi

1980 'lerden bu yana yaşamı olumsuz etkileyen asit yağmurları, ozon tabakasının delinmesi, küresel ısınma ve iklim değişiklikleri gibi çevresel tehditler, araştırmacıları sürdürülebilir çevre ve enerjinin verimli tüketimine yönelik araştırmalara zorlamıştır. Bu araştırmalarda verimli tüketimin ve bu tüketimin çevreye bağlı sürdürülebilir etkilerinin değerlendirilmesinde en önemli yöntem ekserji analizleridir. Bu analizler, sürdürülebilir gelişme için çevre, enerji ve sürdürülebilirlik arasında ayrıntılı bir yöntem sahiptir.



Şekil 4.1 Ekserji analizlerinin kapsamı [108]

Ekserji analizlerinin kapsamı Şekil 4.1 'de verilmiştir. Buna göre; sürdürülebilir gelişmeye bağlı olarak enerjiyi temel alan ekserji analizleri, çevre ve

ekonomi konularının kapsamında değerlendirilir [109]. Bu kapsamda ekserji, çevre teknolojilerini de temel alan üç temel kavramı inceler. Bunlar;

- a. Çevresel etkilerin minimum, enerji ve enerji kaynaklarının ise maksimum koşullarda işletilebileceği teknolojiler,
- b. Çevreyi kirletme potansiyelleri yüksek olan maddelerin çevresel davranışları,
- c. Çevresel değerlendirme, enerji ve toplum güvenliğidir [66].

Enerji, genellikle iş ya da iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlama enerjinin niceliği açısından belirgin değildir. Bu tanımlamanın yerine enerji; hareket ya da hareket üretme yeteneği olarak tanımlanmalıdır [110]. Ekserji yani enerji açısından kullanılabilirlik, genel anlamda bir sistemde iş yapabilme yeteneği olarak ifade edilmektedir. Bu yeteneğin dışında kalan ve diğer enerji türlerine dönüştürülmesi olanak dışı olan enerji, kullanılmaz enerji, bağlı enerji ya da anerji olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla enerjinin en genel tanımı;

$$Enerji = Ekserji + Anerji \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilebilir [3, 111]. Elektrik enerjisi ve mekanik enerji gibi enerji türlerinin anerji bölümü sıfıra eşittir. Aynı şekilde çevrenin iç enerjisinin tamamı anerji olduğu için, çevre enerjisinin ekserjisi de sıfıra eşit olmaktadır [112]. Ekserji ve anerji kavramları termodinamiğin I. ve II. kanununa göre kısaca aşağıdaki gibi yorumlanabilir;

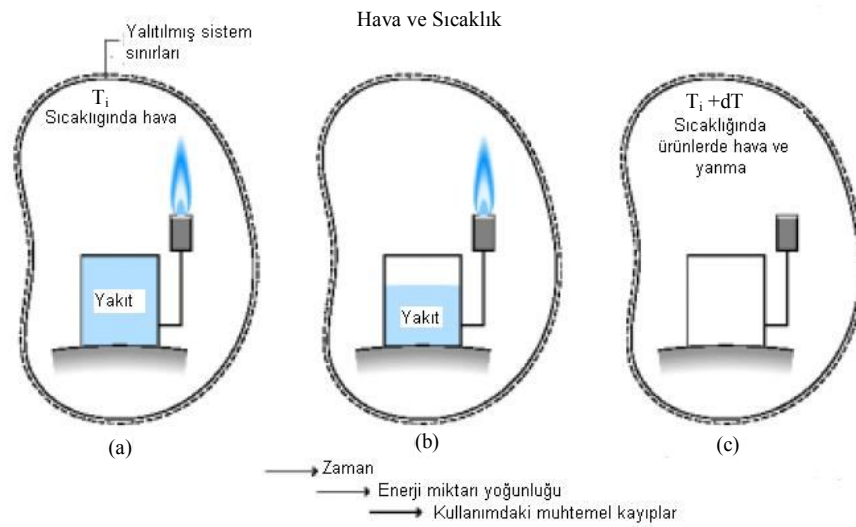
- a. I. Kanuna göre bütün termodinamik süreçlerde anerji ve ekserjinin toplamı olan enerji daima sabit kalır.
- b. II. Kanun göre ise; tersinir süreçlerde ekserji sabit kalır, tersinmez süreçlerde ise ekserji tüketilir ve tüketilen ekserjinin bir kısmı veya tamamı anerjiye dönüşür. Bu durumda, termodinamik süreçlerde ekserji;

$$Ex = Ex_{kin} + Ex_{pot.} + Ex_{fiz.} + Ex_{kim.} \quad (4.2)$$

matematiksel bağıntı ile ifade edilir. Bu bağıntıda Ex_{kin} , $Ex_{pot.}$, $Ex_{fiz.}$, Ex_{kim} sırasıyla kinetik, potansiyel, fiziksel ve kimyasal ekserjileri tanımlar [113].

Termodinamik süreçlerde ekserji; referans çevreyle denge haline gelirken, bir sistem ya da madde veya enerji akışıyla üretilebilecek maksimum miktarda iş olarak tanımlanır. Ekserji, referans çevreye göre tamamen kararlı dengede olmamanın sonucu olarak, değişime neden olan akış ya da sistemin potansiyelinin bir ölçüsüdür. Ekserji sistemde her zaman mevcuttur, negatif olamaz, ekserji muhafaza edilemez ancak dönüşümlerle kaldırılabilir. Enerjiden farklı olarak, ekserji; korunmaz (ideal veya tersinir prosesler hariç olmak üzere). 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 [6,114]. Ekserji kavramında, çevrenin tanımlanması mutlak bir özelliktir. Bu nedenle öncelikle ölü hal kavramı açıklanmalıdır

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 4.2 'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Ölü durumda sistemin çevresi ile termodinamik denge hali [115]

Çevre tüm sistem için referans kabul edilmektedir. 1988 yılında Szargut ve Kotas tarafından tanımlanmış ve çevrenin parametreleri termodinamik süreçlerin referans değerleri olarak alınmıştır. Buna göre, referans sıcaklığı $T_0 = 298.15 \text{ K}$ ve referans basıncı $P_0 = 101.325 \text{ kPa}$ 'dır [116].

Ekserji analizlerinin ilk uygulamaları, kapalı sistemlerde enerji dengesi sunularak yapılmıştır. Termodinamik süreçlerde kapalı sistemlerin kütle dengesi, nükleer olmayan reaksiyonlar olduğu durumlarda, kapalı bir atomik denge içerir. Bu denge sürekli akışlı açık sistemler de sisteme giren ve çıkan maddeler arasında aranır. Bir sistemde ekserji transferi; iş, ısı ilişkisi ve kütle akışı ile belirlenmektedir. Ekserji transferinde potansiyel ve kinetik ekserjiler gibi nükleer etkiler de önemsizdir.

4.1.1 İş Etkisi ile Ekserji Transferi

Bir sistemde kütle, kontrol hacminin sınırlarını aşarsa bu noktada kütle akışı nedeniyle ekserji transferi oluşur. Bu aynı zamanda ekserji transferine refakat eden iş akışıdır. İş etkisi ile ekserji transferi, iş transfer oranı veya shaft gücü ile ortaklandırılmıştır. Çünkü ekserji, maksimum iş potansiyeli olarak tanımlanmıştır. İş her yönde ekserjiye eşittir [3,117].

$$\dot{E}x_w = \dot{W} \quad (4.3)$$

4.1.2 Isı Etkisi ile Ekserji Transferi

Termodinamik süreçlerde sistemde ısı akışına bağlı ekserji transferi referans alınan çevreye bağlı olarak ısı transferi ile transfer alanı arasındaki fonksiyonla tanımlanır. Bu tanımlamaya göre ısı etkisi ile ekserji transferi;

$$\dot{E}x = \int_A \left(\frac{T - T_0}{T} \right) \dot{Q}_i dA \quad (4.4)$$

ifade edilir. Burada A ısı transfer alanı, T_0 çevre sıcaklığı, T ısı kaynağının sıcaklığıdır. Düzenli sıcaklık dağılımı olması durumunda $\int_A \dot{Q}dA = \dot{Q}_A$ ve denklem (4.4) aşağıdaki duruma gelir [118].

$$\dot{E}x_Q = \dot{Q}_A \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \quad (4.5)$$

4.1.3 Materyal Akışları ile Birleştirilmiş Ekserji Transferi

Materyal 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.

4.1.3.1 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 [3, 119]. Herhangi bir durumda sistemin fiziksel ekserjisi;

$$\dot{E}x_{fiz} = (H - H_0) - T_0(S - S_0) \quad (4.6)$$

dir. 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 İki bileşenden oluşmaktadır.

$$\dot{E}x_{fiz} = \dot{E}x_{\Delta T} + \dot{E}x_{\Delta P} \quad (4.7)$$

Denklem (4.7) 'deki birinci terim $\dot{E}x_{\Delta T}$, fiziksel ekserjinin ısı bileşeni olup ürün ve çevre sıcaklığı arasındaki farkın integrasyonu olarak ortaya çıkmaktadır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\dot{E}x_{\Delta T} = \left[- \int_{T_1}^{T_0} \frac{T - T_0}{T} dh \right] \quad (4.8)$$

Denklem (4.7) 'deki ikinci terim $E x_{\Delta P}$ ise, basınç bileşeni olup basınç farkından dolayı meydana gelmektedir. Basınç bileşeni aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\dot{E}x_{\Delta P} = T_0 (s_0 - s_1) - (h_0 - h_1) \quad (4.9)$$

İdeal gazlar için fiziksel ekserjilerin hesaplanmasında mükemmel gaz kanunları ve sabit özgül ısıları göz önüne alınmalıdır [120]. Herhangi bir durumda ideal gaz için fiziksel ekserji;

$$\dot{E}x_{fiz} = C_p \left\{ (T - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right\} + RT_0 \ln(P/P_0) \quad (4.10)$$

dir. Burada C_p gazın sabit özgül ısı kapasitesi, R gaz sabitidir. Sabit özgül ısılarda katı ve sıvılar için fiziksel ekserji;

$$\dot{E}x_{fiz} = C_p \left\{ (T - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right\} - v_m (P - P_0) \quad (4.11)$$

dir. Burada v_m özgül hacim ve T_0 referans sıcaklığı olarak tanımlanmıştır [3].

4.1.3.2 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 iki şekilde uygulanır.

4.1.3.2.1 Standart Kimyasal Ekserji

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. Kotas'ın "The exergy method of thermal plant analysis" kitabında malzemelerin standart ekserji değerleri verilmiştir [112].

4.1.3.2.2 Gaz Karışımlarının Kimyasal Ekserjileri

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;

$$\dot{E}x_{kim} = RT_0 \ln(P_{00} / P_0) \quad (4.12)$$

dir [106]. Burada P_{00} referans durumlarda parçaların kısmi basınçlarıdır. Referans olmayan saf bileşenlerin kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}x_{kim} = -\Delta G_0 - \sum_i x_i \overset{g}{E}_{kim,i} + \sum_j x_j \overset{g}{E}_{kim,j} \quad (4.13)$$

dir. Burada ΔG_0 maddenin Gibbs fonksiyonudur. Sabit sıcaklık ve basınçta herhangi bir kimyasal reaksiyonun belirli yönlerde ilerleyebilme yönündeki doğal eğiliminin reaksiyonu olan (ΔG_0) gibbs fonksiyonu;

$$\Delta G_0 = \sum V_k \Delta_{gk} - \sum V_j \Delta_{gj} \quad (4.14)$$

dir. Burada V_k , V_j ve ΔG_k , ΔG_i 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;

$$e_{kim} = \varphi.NCV \quad (4.15)$$

dir. Burada φ atomik bileşenlere bağlı hesaplanır. Fuel oil gibi petrol türevleri için φ 1.04 ve 1.08 değerleri arasındadır [81].

4.1.4 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;

$$\dot{I} = \sum_g \dot{E}x_g - \sum_{\varphi} \dot{E}x_{\varphi} \quad (4.16)$$

dir. Tersinmezlikleri hesaplamannın başka bir yöntemi de “Gouy-stodola” tarafından yapılmıştır. Burada, entropi artışları çevresel sıcaklığa bağlı arttığı ifade edilmiştir. Buna göre tersinmezlik;

$$\dot{I} = T_0 \sum_{\varphi} \dot{S}_{\varphi} - \sum_g \dot{S}_g = T_0 \Delta \dot{S} \quad (4.17)$$

dir. Burada T_0 referans alınan çevre sıcaklığını, Δs entropi değişimini ifade etmektedir [118].

4.1.5 Ekserji Verimliliği

Isıl sistemlerin ekserji verimliliği; basit verimlilik, rasyonel verimlilik, geçişli ekserji ile verimlilik olmak üzere üç farklı şekilde hesaplanır.

3.1.5.1 Basit (Temel) Verimlilik

Ekserji veriminin temel formudur. Basit verimlilik formu, giren ve çıkan materyallerin ekserji dengesinin kurulması ile oluşturulur. Basit verimliliğin en kısa tanımı; toplam çıkan ekserji akışının, toplam giren ekserji akışına oranıdır.

$$\eta_u = \frac{\dot{E}x_c}{\dot{E}x_g} \quad (4.18)$$

Basit verimlilik, bir termodinamik sistemin tüm ünitelerinde kullanılabilir. Basit verimlilik giren ekserji akışının bir üniteden diğerine transfer edildiği ısı sistemde, sistemin termodinamik yeterliliğinin iyi bir görünümünü verir. Ancak bu verimlilik güç istasyonları gibi ekserji transferinin olmadığı kısımlarda fabrikaların proses veya ünitelerin değerlendirilmesinde yanlış bir etki verir. Basit (temel) verimliliğin duyarlılığı; transfer edilmeyen ekserjinin fabrika proseslerinde veya ünitelerinde azalması ile değişir [118,121].

4.1.5.2 Rasyonel Verimlilik

Rasyonel verimlilik, 1995 yılında Kotas tarafından; arzulanan (istenilen) ekserji çıkışının kullanılan ekserjiye oranı olarak tanımlanmıştır [118,86]. Rasyonel verimlilik;

$$\psi = \frac{\dot{E}x_{d\zeta}}{\dot{E}x_k} \quad (4.19)$$

dir. $E x_{d\zeta}$ sistemden transfer edilen ekserjilerin toplamıdır. Ayrıca her ürün sistem tarafından üretilmektedir. Arzulanan (istenilen) çıkış, sistem fonksiyonlarının denemeleri yolu ile belirlenmiştir. Arzulanan çıkışın sürekliliğine dikkat edilmelidir. $E x_k$ proses için gerekli olan ekserji girişi olarak tanımlanır. Eğer $E x_{d\zeta}$ ve $E x_k$ bir kontrol yüzeyinde doğru tanımlanırsa, ortaya çıkan tersinmezliklerin tamamı, göz önünde bulundurulmuş prosesle ilgilidir. Bu durumda sisteme giren ekserji çıkan ekserji ile tersinmezliğin toplamına eşittir.

$$\dot{E}x_k = \dot{E}x_{d\zeta} + I \quad (4.20)$$

Eşitlik (4.20) kullanılan ekserjinin arzulanan çıkış için, kullanılabilir. Eşitlik (4.20) ile (4.19) birleştirilerek, rasyonelliğin alternatif formu elde edilebilir [118,123].

$$\psi = 1 - \left(\frac{I}{\dot{E}x_k} \right) \quad (4.21)$$

Rasyonel verimlilik her sistem için kullanılabilir. Çünkü rasyonel verimliliğe bağlı olarak elde edilemeyen üretim miktarları bu yolla belirlenebilir.

4.1.5.3 Geçişli Ekserji ile Verimlilik

Kostenko tarafından açıklanan, Brodyansky, Sorin ve Lee Goff tarafından daha da geliştirilen geçişli ekserji ile verimlilik basit verimliliğin gelişmiş bir formudur. Bu verimin hesaplanmasında giren ve çıkan akışkanların ekserjisinden, transfer edilmeyen parçaların ekserjisi çıkarılır. Verimlilik; geçişli ekserji ile aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [9,118].

$$\eta_u = \frac{\dot{E}x_\zeta - Ex_{tr}}{\dot{E}x_g - Ex_{tr}} \quad (4.22)$$

Burada Ex_{tr} geçişli ekserjidir. 1994 yılında (Sorin) tarafından açıklanmıştır. Geçişli ekserji; bir sistemde ısıl ve kimyasal etkileri gösteren, ekserjinin bir parçası olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

4.2 Eksergoekonomik Analiz

Eksergoekonomik analiz metodolojisine yönelik yapılan literatür incelemelerinde, ekserjetik maliyet hesaplamalarına ilişkin yöntem ve uygulamalarda farklı yaklaşımlar olduğu ve bu çalışmaların çoğunlukla güç santralleri üzerinde yapıldığı gözlenmiştir [11,58,124–128]. Bu çalışmalarda analize esas olmak üzere çoğunlukla Speco yaklaşımının temel alındığı belirlenmiştir. Bu yaklaşıma göre; bir elemanın ekserjetik verimi, ürün ve yakıt arasında tanımlanmıştır. Özellikle güç santrallerini hedef alan bu çalışmalarda ısıl sistemlerin verimliliklerinin değerlendirmesi için sistemdeki her elemanın tam maliyet ve ekserjetik veriminin tanımlanması gerekir. Eksergoekonomik analiz çalışmalarında yaklaşık maliyet eşitlikleri ve verimliliklerin formülasyonu için farklı yaklaşımlar önerilmiştir [129-134]. Bu yaklaşımlar iki grupta toplanabilir:

- a.. Eksergoekonomik hesaplama metodları; enerji sistemlerinin tekrarlayan optimizasyonu ve sistem veya elemanların değerlendirilmesinde, ürün akışlarının maliyetlerini hedefler.
- b. Lagrange'a dayanan yaklaşımlar; sınırsal maliyetlerin hesaplanmasını ve tüm sistemin optimizasyonunu hedef alır.

Bu temel yaklaşımlar bu alanda yapılan tüm çalışmaları özetlemektedir. Bu çalışmada, yukarıda verilen iki temel yaklaşımdan yararlanılarak çimento üretim hattı üzerinde yer alan döner fırın bölümü gibi ısıl sistemlerde ürün akışlarının ekserjetik maliyetini hesaplamaya yönelik yeni bir yaklaşım oluşturulmuştur. Bu yaklaşıma PRECO (Product Exergetic Cost) adı verilmiştir.

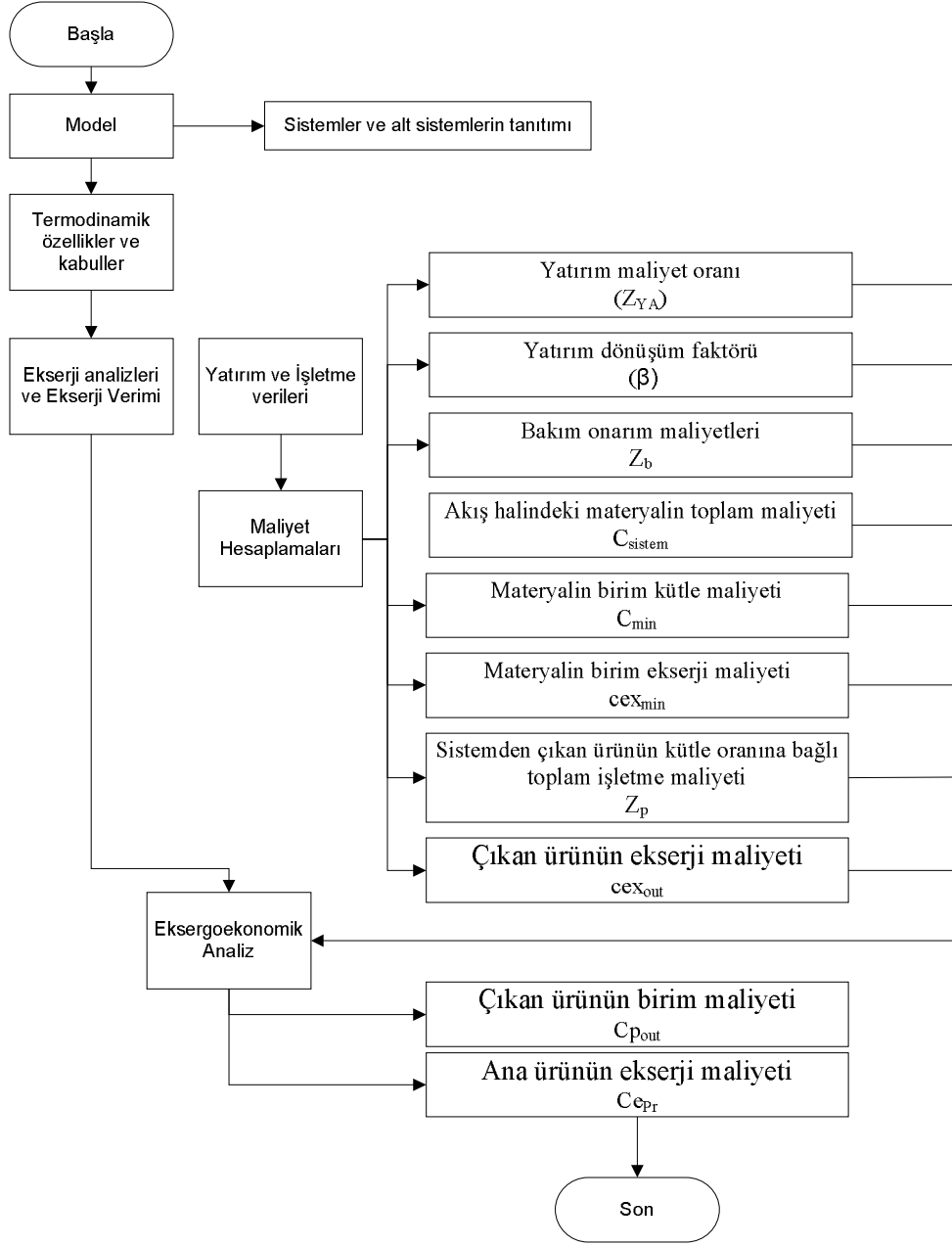
Eksergoekonomik analizlerde, özellikle güç santrallerinde uygulanan metodoloji; sistemden elde edilen ürünün eksergoekonomik maliyeti için, sistemin yatırım bedelinin de hesaba katıldığı, giren ve çıkan ekserjiye bağlı olarak maliyetin yakıt maliyetleri cinsinden hesaplanmasıdır.

Özellikle tek akışkanlı güç sistemlerinde bu yaklaşım geçerli olabilir. Ancak sanayi proseslerinde ısı sistemlerinin ürün maliyetlerini hesaplamada bu yaklaşımın yeterli olmadığı gözlenmiştir. Döner fırın gibi ısı sistemlerinde ürünün yanında giren ve çıkan materyallerin ekserjetik maliyetleri, sistemde elde edilen ürünün ekserji maliyetini doğrudan etkileyecektir. Ayrıca ekonomik bir ömre sahip tesislerde, sistemin yatırım bedeli çalışma yapılan yıla göre hesaplanmalıdır. Hesaplanan yatırım bedeli, sisteme giren ve çıkan tüm materyallerin ekserjetik maliyet hesaplamalarında işleme katılmalıdır. Bu da sistemin ekserjetik maliyet toplamını ve elde edilen ürünün ekserjetik maliyetini etkileyecektir. Bu çalışmada sanayi tesislerinde ısı sistemlerinin eksergoekonomik analizlerinin yapılabilmesi için oluşturulan PRECO eksergoekonomik modelin bir metodolojisi oluşturulmuştur. Bu modelin akış şeması Şekil 4.3 'de verilmiştir.

Isı sistemleri için önerilen bu metodolojinin uygulanmasından önce üzerinde çalışılan sistemin bütünlüğünü içeren model oluşturulmalıdır. Sistemin üzerinde çalışma yapılacak alt sistemler ve elemanlar tanımlanmalı, bunlara yönelik termodinamik değerlendirmeleri için kabuller yapılmalı, sistem veya alt sistemlerin sınırları belirlenmeli ve sistem termodinamik açıdan ifade edilmelidir.

Tanımlanan sistemde veya alt sistemlerde giren ve çıkan materyal akışlarının kütleli debileri, termodinamik özellikleri ve çevre parametreleri belirlenmelidir. Sistemin bu parametrelere bağlı olarak enerji, ekserji analizleri yapılmalı ve sistemin enerji ve ekserji verimleri hesaplanmalıdır.

Eksergoekonomik analizlerin yapılabilmesi için sistemin ve alt sistemlerin yatırım maliyetleri, yatırım maliyet oranları belirlenmelidir.



Şekil 4.3 PRECO Eksergoekonomik analiz akış şeması

Yatırım maliyet oranı; yatırım dönüşüm oranı, yıllık çalışma süresi ve prosesin toplam maliyetinin bir fonksiyonudur. Yatırım maliyet oranı (Z_{cc});

$$Z_{cc} = \frac{\beta}{H_{yu}} \cdot (C_a) \quad (4.23)$$

dir. Burada β yatırım dönüşüm oranını, H_{y11} yıllık çalışma süresini C_a proses toplam maliyetini ifade eder. Yatırım dönüşüm faktörünün hesaplanabilmesi için tesisin ekonomik ömrü ve hesaplama yapılan yıla ait yıllık ortalama faiz oranları dikkate alınmalıdır. Yatırım dönüşüm faktörü (β);

$$\beta = \frac{I_r \cdot (I_r + 1)^n}{(1 + I_r) - 1} \quad (4.24)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Burada n tesis ömrü, I_r yıllık ortalama faiz oranıdır. Bu çalışmada güncel ve geçmiş yıllara ait faiz oranları için Merkez Bankası verileri kullanılmıştır.

Sistemde veya alt sistemlerde materyal akışlarına etki eden elemanların (fan, motor vb.) taşıdıkları materyal birim kütleyle bağlı yatırım maliyetleri, yıllık bakım onarım giderleri hesaplanmalıdır. Bakım onarım maliyetleri (Z_m), bakım onarım giderler (Z_b), yedek parça giderleri (Z_s), ve nakil montaj giderlerinin (Z_f) toplamıdır. Bu giderler işletme bilgilerinden alınmalıdır. Ancak bu bilgilere ulaşılama durumunda geliştirilen bağıntılar kullanılabilir. Bakım onarım maliyeti;

$$Z_m = Z_b + Z_s + Z_f \quad (4.25)$$

$$Z_b = 0,13 \frac{C_y}{n} \quad (4.26a)$$

$$Z_s = 0,53 \frac{C_y}{n} \quad (4.26b)$$

$$Z_f = 0,02 \frac{C_y}{n} \quad (4.26c)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada C_y bakım onarım gerektiren elemanın yatırım maliyetidir. Özellikle yedek parça giderleri sistemin özelliğine göre işleme katılıp katılmayacağı sorgulanmalıdır. Sistemin hesaplanan bakım onarım giderleri, işletmenin yıllık bütçe harcamaları ile karşılaştırılmalıdır. Hesaplanan elemanların

maliyetleri, bakım maliyet toplamları ile birlikte yatırım maliyetine eklenmelidir. Bu durumda her eleman için toplam maliyet;

$$C_a = C_{sis} + Z_{bm} \quad (4.27)$$

dir. Burada C_{sis} sistemin ilk yatırım maliyetidir. Denklem 4.23 ile 4.25 birleştirilirse, sistemin yatırım maliyeti;

$$Z_{cc} = \frac{\beta}{H_{yu}} \cdot (C_{sis} + Z_{bm}) \quad (4.28)$$

dir. Bu tür ısı sistemlerinde akış halindeki her bir materyal ürün için prosesin genel yatırım maliyetinin etkisi değerlendirilmelidir. Bu özellikle sisteme kontrolsüz giren sızıntı hava gibi materyal akışlarının maliyetlerinin belirlenmesinde de geçerlidir. Giren materyalin birim yatırım maliyeti;

$$\chi = \frac{\dot{m}_m}{\sum \dot{m}_g} \quad \Longrightarrow \quad C_c = (Z_{cc} \cdot \chi) \quad (4.29)$$

dir. Burada \dot{m}_m giren materyalin kütleini, $\sum \dot{m}_g$ sisteme giren toplam kütleini, χ giren maddenin yüzdesini, C_c akış halindeki materyalin birim yatırım maliyetini ifade etmektedir. Materyalin birim kütle maliyeti;

$$C_{m_g} = C_{rm} + C_c \quad (4.30)$$

bağıntısı ile hesaplanır. C_{m_g} sisteme giren materyalin birim maliyeti, C_{rm} giren maliyetin birim hammadde maliyetidir. Bu sisteme giren her materyal için ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Bulunan maliyete bağlı olarak birim ekserjinin maliyeti birim kütleinin ekserjisine bağlı olarak;

$$Cex_{m_g} = \frac{C_{m_g}}{ex} \quad (4.31)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Cex_{m_g} sisteme giren materyalin birim ekserji maliyetini ifade eder. Sisteme giren her bir materyal için ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

Endüstriyel uygulamalarda termal sistemden çıkan ürünlerin ekserji maliyeti; giren ekserji maliyeti, sistemin ekserji verimi ve ürünün çevreye bağlı ısıl değişimi arasındaki fonksiyon ile işletme maliyeti ve ürünün çıkan toplam ekserjisi arasındaki fonksiyonun toplamına bağlıdır. Sistemde veya alt sistemlerde materyal akışlarına etki eden elemanların (fan, motor vb.) taşıdıkları çıkan ürün için birim kütleyle bağlı elektrik tüketim maliyetleri işletme maliyetini verir. Bu çalışmada çıkan ürünün ekserji maliyeti için Kotas modeli geliştirilmiştir. Sistemin çıkış materyallerinin maliyet hesaplamaları çıkış ekserji maliyetleri hesaplandıktan sonra yapılır. Bunun için çıkan ekserji maliyeti;

$$Cex_{\zeta} = \frac{Cex_{m_{\zeta}}}{\mu_{11} \cdot \xi_T} + \frac{Z_P}{\Sigma \dot{E}x_P} \quad (4.32)$$

$$Cex_{\zeta} = \frac{Cex_{m_{\zeta}}}{\mu_{11} \cdot \left(\frac{(T_1 - T_0)}{1 - \frac{T_m \cdot (T_1 - T_0)}{T_1}} \right)} + \frac{Z_P}{\Sigma \dot{E}x_P} \quad (4.33)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada $Ce_{x_{m_{\zeta}}}$ çıkan ürünün oluşumuna katkı sağlayan giren ürünlerin birim maliyet toplamı, Z_P ürünün işletme maliyet oranı, μ_{11} sistemin ekserji verimi, ΣE_x ürünün toplam ekserjisi, T_1 çıkan ürünün sıcaklığı, T_0 referans alınan ölü hal sıcaklığı, T_m birim Kelvin ve ξ_T ürün maliyeti sıcaklık faktörüdür. Ürün maliyet sıcaklık faktörü, sistemin verimi ile doğru orantılı, maliyeti ile ters orantılı bir faktördür. Sistemden farklı sıcaklıklarda çıkan her ürün için, ürün maliyet sıcaklık faktörü ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Çıkan ürünün birim maliyeti, sistemin çıkan ürünün ekserjisinin birim kütle ekserjisi ile çarpımına eşittir. Çıkan ürünün birim maliyeti;

$$Cex_{p_{\zeta}} = ex \cdot Cex_{\zeta} \quad (4.34)$$

dir. Burada ex ürünün birim kütlenin ekserjisi, Cex_c ürünün birim kütle maliyetidir.

Sistemde üretilen ana ürün maliyeti sistemden çıkan ürünlerin toplam ekserjetik maliyetinin sistemden çıkan ana ürünün toplam külesine oranıdır. Sistemde üretilen ana ürünün birim kütle başına ekserji maliyeti ise;

$$Ce_{pr} = \frac{\sum Cex_{pc}}{\dot{m}_p} \quad (4.35)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada Ce_{pr} üretilen ana ürünün ekserji maliyeti, $\sum Cex_{pc}$ sistemden çıkan ürünlerin toplam ekserjetik maliyetidir. Özellikle optimizasyon değerlendirmesinde elde edilen maliyetin ürünün eksergonomik maliyeti ile karşılaştırılması için “ekserjetik katsayı” adı altında yeni bir kavram türetilmiştir. Sistemde üretilen ürünün ekserjetik katsayısı;

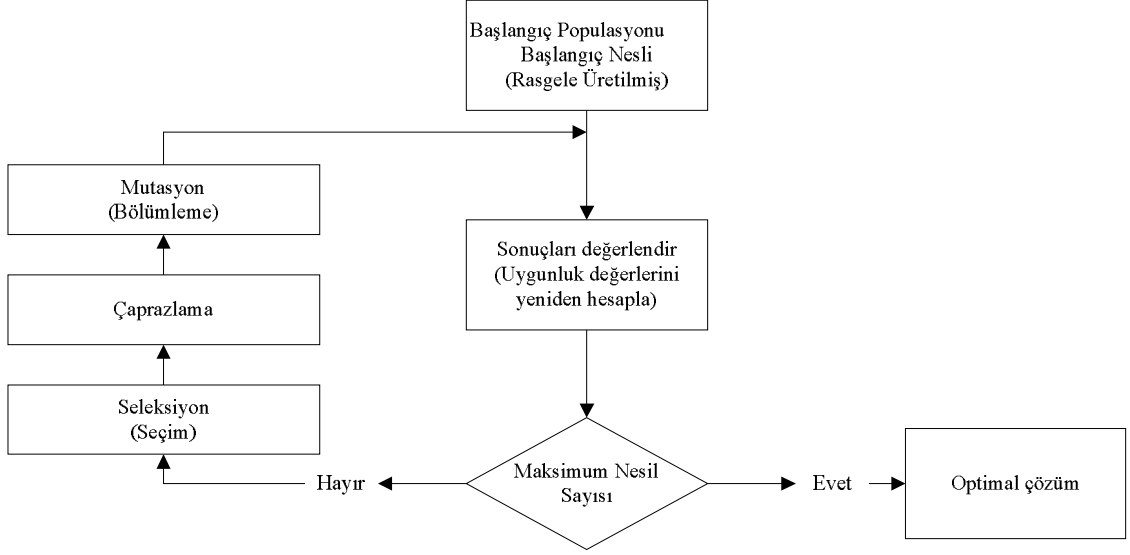
$$k_{cex} = \frac{Ce_{pr}}{\sum Cex_g} \quad (4.36)$$

dır. Burada Ce_{pr} ana ürünün ekserjetik maliyeti, $\sum Cex_g$ giren toplam hammaddenin ekserjetik maliyetidir.

4.3 Genetik Algoritma

Genetik Algoritma en iyi olanın hayatta kalma ilkesine dayanan, doğal seçim mekanizmasını temel alan ve bir bilgisayarda bu ilkelerin simülasyonunun yapılmasıyla sonuca ulaşan bir optimizasyon yöntemidir. Bu yöntemde çözümleme ilk olarak bireyin popülasyonu (nesil) diye tabir edilen bir çözüm seti ile başlatılır. İkili dizinin temsil ettiği her birey parametre uzayında bir noktayı temsil eder. Her nesilde her bir birey için amaç fonksiyonunun değeri onun uygunluğu olarak değerlendirilir ve daha uygun olan bireyler seçilerek yeni bir popülasyon elde edilir. Böylece, bireylerin uygunluğuna dayalı yeni çözümler oluşturulur. Yüksek uygunluk değerine sahip bireyler daha sıklıkla seçildiği için daha uygun olan bireylerin

popülasyona katılması yönünde baskı vardır. Birkaç nesil sonra en iyi bireyin optimal çözümü temsil etmesi umulur. Genetik algoritmanın akış şeması Şekil 4.4 'de verilmiştir [135].



Şekil 4.4 Genetik algoritmanın akış şeması

4.3.1 Genetik Algoritmanın Aşamaları

Genetik algoritmaların işleme adımları sırasıyla aşağıdaki gibi açıklanabilir [82,136]:

- Arama uzayındaki tüm mümkün çözümler dizi olarak kodlanır.
- Genellikle rastsal bir çözüm kümesi seçilir ve başlangıç popülasyonu olarak kabul edilir.
- Her bir dizi için bir uygunluk değeri hesaplanır, bulunan uygunluk değerleri dizilerin çözüm kalitesini gösterir.
- Bir grup dizi belirli bir olasılık değerine göre rastsal olarak seçilip çoğalma işlemi gerçekleştirilir.
- Yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulur.

- 1) Seçim: İki ebeveyn kromozomun uyumluluğuna göre seçimi (daha iyi uyum seçilme şansını artırır.),
 - 2) Çaprazlama: Yeni bir fert oluşturmak için ebeveynlerin bir çaprazlama olasılığına göre çaprazlanmasıdır. Eğer çaprazlama yapılmazsa yeni fert anne veya babanın kopyası olacaktır.
 - 3) Mutasyon: Yeni ferden mutasyon olasılığına göre kromozom içindeki konumu (lokus) değiştirilir.
 - 4) Ekleme: Yeni bireyin yeni popülasyona eklenmesidir [14].
- f. Önceden belirlenen kuşak sayısı boyunca yukarıdaki işlemler devam ettirilir.
- g. İterasyon, belirlenen kuşak sayısına ulaşıncaya işlem sona erdirilir. Amaç fonksiyonuna göre en uygun olan dizi seçilir.

Görüldüğü gibi genetik algoritmanın yapısı oldukça geneldir ve herhangi bir optimizasyon problemine uygulanabilir. Kromozomların tanımlanması genellikle ikili düzendeki sayılarla yapılır. Çaprazlama işlemi için kullanılan bireyler iyi bireylerden seçilir. Genetik algoritma kullanılarak bir problem çözülecekse, algoritmanın ne zaman sonlanacağına kullanıcı karar vermektedir. Genetik algoritmanın belli bir sonlanma kriteri yoktur. Sonucun yeterince iyi olması veya yakınsamanın sağlanması algoritmanın durması için kriter olarak kullanılabilir [47, 137].

4.3.2 Arama ve Hesaplama

Genetik algoritmaların nasıl arama yaptığı alt dizi kavramıyla açıklanmaktadır. Alt diziler, genetik algoritmaların davranışlarını açıklamak için kullanılan teorik yapılardır. Bir alt dizi, belirli dizi kümeleri arasındaki benzerliği tanımlayan bir dizidir. Alt diziler, {0, 1, *} alfabesi kullanılarak tanımlanır. Örneğin H alt dizisi, ilk konumunda 0, ikinci ve dördüncü konumunda 1 değerini alan kromozomlar kümesinden oluşsun. Bu durumda H alt dizisi;

$$H = 0 1 * 1 *$$

şeklinde tanımlanır. * sembolü dizinin o konumunun hangi değeri alıp almadığının önemli olmadığı anlamındadır. Dizi * konumunda 0 veya 1 değeri alabilir. Eğer bir x dizisi, H alt dizinin kalıbına uyarsa x dizisine “H ’nin bir örneğidir” denir. Alt dizilerin iki özelliği mevcuttur. Bunlar;

a. Alt dizi derecesi: Bir H alt dizisinin derecesi $o(H)$ ile gösterilir ve mevcut alt dizi kalıbında bulunan sabit konumların sayısıdır. Bu sayı ikili alfabede 0 ve 1 değerlerinin sayısının toplamına eşittir.

b. Alt dizi uzunluğu: Bir H alt dizisinin uzunluğu $\delta(H)$ ile gösterilir ve mevcut alt dizi kalıbında bulunan belirli ilk ve son konumlar arasındaki uzaklıktır [82,138].

Alt dizi derecesi ve alt dizi uzunluğu kavramlarının genetik algoritmaların temel teoreminde son derece önemli bir yeri vardır. Alt dizi derecesi düşük, alt dizi uzunluğu kısa olan diziler “yapı blokları” olarak adlandırılır. John Holland, genetik algoritmaların işleyişinde uygun yapı bloklarının tanımlanmasını ve bu yapı bloklarının daha uygun yapı blokları elde etmek amacıyla birleştirilmesini önermektedir. Bu fikir yapı blokları hipotezi olarak bilinmektedir. Genetik algoritmanın temel teoremi ise şöyle açıklanmaktadır [82]:

Popülasyon ortalamasının üstünde uyum gücü gösteren, kısa uzunluğa ve düşük dereceye sahip alt diziler zamanın ilerlemesiyle üstsel olarak çoğalır. Bu çoğalma, genetik işlemler aracılığı ile gerçekleşmektedir ve sonucunda ana-babadan daha üstün özellikler taşıyan bireyler ortaya çıkmaktadır. Bu çözüm kalitesinin kuşaktan kuşağa artması iki nedene bağlanmaktadır. Bu nedenler şöyle açıklanabilir [82,139]:

a. Başarısız olan bireylerin üreme şansları azaltıldığı için kötüye gidiş zorlaşmaktadır.

b. Genetik algoritmaların yapısı kötüye gidişi engellemekle kalmamakta, genetik algoritmaların temel teoremi uyarınca, zaman içinde hızlı bir iyiye gidiş de sağlayabilmektedir.

Genetik algoritmaların işleme adımları incelendiğinde bu nedenler daha iyi anlaşılacaktır. Genetik algoritmalar yapısı gereği, kötü bireyleri yani uygun olmayan çözümleri, operatörleri sayesinde elemektedir. Bu işlemler bir döngü içerisinde durdurma kriteri sağlanana kadar devam etmektedir.

Genetik algortmada, bir popülasyondaki her bir birey genellikle sabit uzunluktaki bir ikili dizi olarak kodlanır. Dizinini uzunluğu alan parametrelerine ve istenen kesinliğe bağlıdır [139,140]. Örneğin alan parametresi θ 'nın aralığı (-2.5) ise ve gerekli kesinlik ondalık noktadan sonra altı basamak ise (-2.5) aralığı 7 milyon eşit aralığına bölünmelidir. Bu da dizi uzunluğunun 23 bit olması anlamına gelir. Bunun nedeni;

$$4\ 194\ 304=2^{22}<7\ 000\ 000<2^{23}=8\ 388\ 608$$

olmasıdır. $\langle b_{22}\ b_{21}\dots\ b_0 \rangle$ şeklindeki ikili dizinin gerçek sayıya dönüştürülmesi iki adımda yapılır:

a. İkili dizi ... $\langle b_{22}\ b_{21}\dots\ b_0 \rangle$ 2 tabanından 10 tabanına dönüştürülür.

$$\acute{e} = \sum_{i=0}^{22} b_i 2^i \quad (4.36)$$

b. \acute{e} 'ye karşılık gelen gerçek değer hesaplanır.

$$\theta = 2,0 + \theta' \frac{7}{2^{23} - 1} \quad (4.37)$$

Parametre uzayı R^p 'nin boyutu p , 1 'den büyükse her bir parametrenin dizilerini tek bir dizi halinde birleştirebilir ve bunu ayrıca başlı başına bir parametre vektörü olarak çözebiliriz. Uygunluk değerleri $S(\theta)$ 'nın değerleri ile ilişkilidir. Değerlendirme süreci, uygunluk değerleri arasından seçilen potansiyel çözümlere değer vererek çevre rolü üstlenir. Popülasyonun değerlendirilmesine ilişkin genetik değerlendirmelerin yapılandırılması değerlendirme sürecinde olur.

4.3.3 Genetik Algoritmalarda Parametre Seçimi

Parametreler, genetik algoritma performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Optimal kontrol parametreleri bulmak için birçok çalışma yapılmıştır. Fakat tüm problemler için genel olarak kullanılabilen parametreler bulunamamıştır. Bu parametreler, kontrol parametreleri olarak adlandırılmaktadır. Kontrol parametreleri popülasyon büyüklüğü, çaprazlama olasılığı, mutasyon olasılığı, kuşak aralığı, seçim stratejisi ve fonksiyon ölçeklemesi olarak sayılabilir. Bu parametreler aşağıda açıklanmıştır [82].

4.3.3.1 Popülasyon Büyüklüğü: Genetik algoritma kullanıcısı tarafından verilen en önemli kararlardan birisidir. Bu değer çok küçük olduğunda, genetik algoritma yerel bir optimuma takılabilmektedir. Popülasyonun çok büyük olması ise çözüme ulaşma zamanını arttırmaktadır. Bu konuda Goldberg 1985 'de, yalnızca kromozom uzunluğuna bağlı bir popülasyon büyüklüğü hesaplama yöntemi önermiştir. Ayrıca Schaffer ve arkadaşları 1989 'da çok sayıda test fonksiyonları üzerinde yaptıkları araştırmalar sonucunda, 20–30 arası bir popülasyon büyüklüğünün iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [82,141].

4.3.3.2 Çaprazlama Olasılığı: Çaprazlamanın amacı, mevcut iyi kromozomların özelliklerini birleştirerek daha uygun kromozomlar yaratmaktır. Çaprazlanarak gen (bilgi) değişiminin yapılmasından önce dizilerin çaprazlamaya tutulma olasılığı belirlenmelidir. Literatürde bu oran % 50 ile % 95 aralığında uygulandığı görülmüştür. Çaprazlamanın artması, yapı bloklarının artmasına neden olmakta fakat aynı zamanda bazı iyi kromozomların da bozulma olasılığını arttırmaktadır. Çaprazlamada bir diğer önemli unsur ise ne tür bir çaprazlamanın yapılacağıdır [82,142].

4.3.3.3 Mutasyon Olasılığı: Mutasyonun amacı popülasyondaki genetik çeşitliliği korumaktır. Genetik algoritmada sistem belli döngü değerine geldikten

sonra diziler birbirlerine gitgide benzerler. Bu da çözüm uzayının daralmasına neden olur. Dizilere ne kadar çaprazlama operatörü uygulansa da dizi çeşitliliği sağlanamamaktadır. Bu durumda mutasyon olasılığı iyi belirlenmelidir. Mutasyon olasılığının yüksek olması çözüm uzayını çok genişleterek sistemin yanlış yerlerde aranmasına neden olur. Literatürde bu oran % 0.5 ile % 15 aralığında uygulandığı gözlemlenmiştir [82,142].

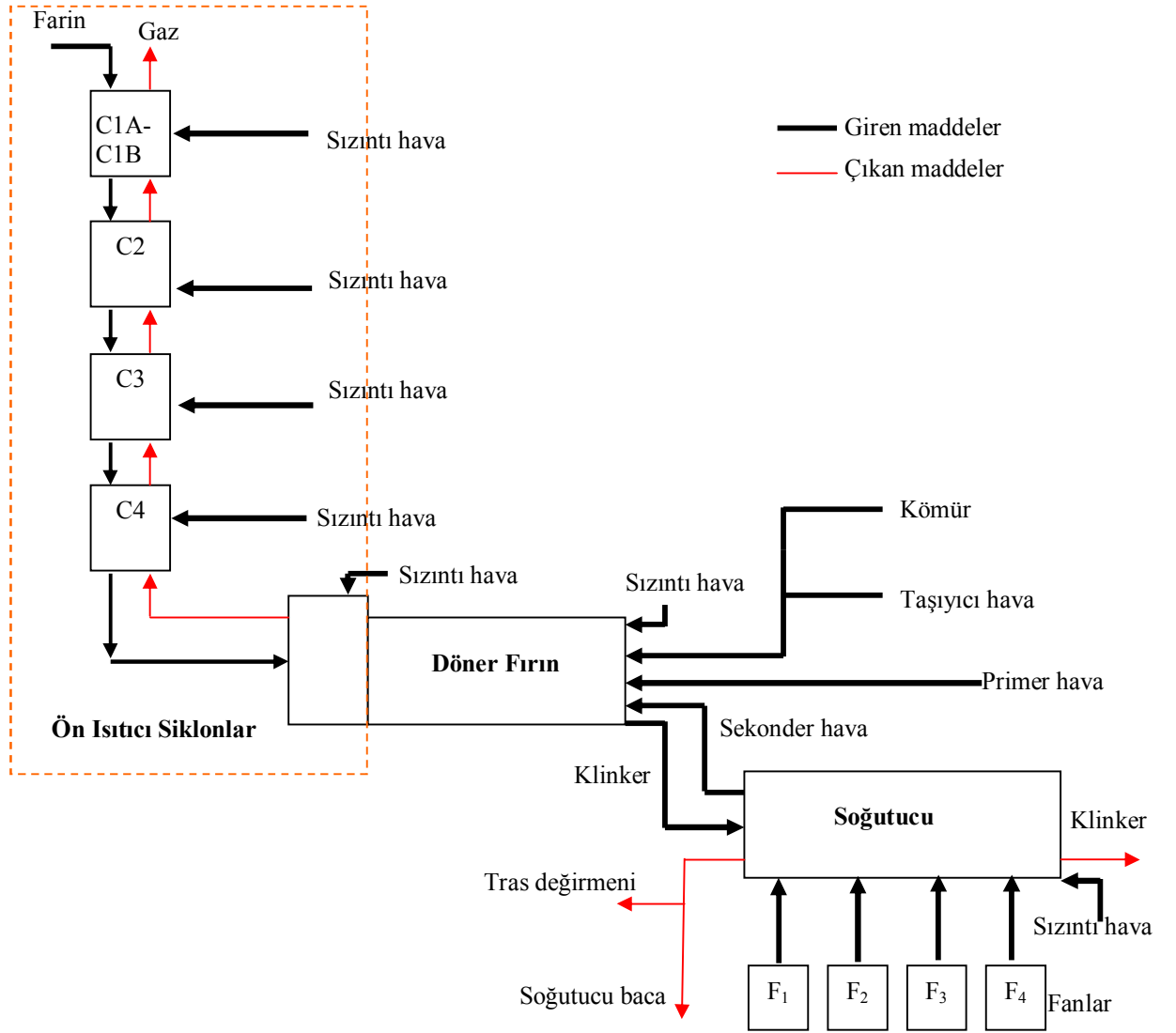
4.3.3.4 Kuşak Aralığı: Her kuşaktaki yeni kromozom oranına kuşak aralığı denmektedir. Genetik operatörler için kaç tane kromozomun seçildiğini gösterir. Yüksek bir değer birçok kromozomun yer değiştirdiği anlamına gelmektedir [82,141].

4.3.3.5 Seçim Stratejisi: Eski kuşağı yenilemenin çeşitli yöntemleri mevcuttur. Kuşaksal stratejide, mevcut popülasyondaki kromozomlar tamamen yavrular ile yer değiştirir. Popülasyonun en iyi kromozomu da yenilediğinden dolayı bir sonraki kuşağa aktarılamaz ve bu yüzden bu strateji en uygun (elitist) stratejisiyle beraber kullanılmaktadır. En uygun stratejisinde, popülasyondaki en iyi kromozomlar hiçbir zaman yenilenmemektedir. Bundan dolayı çoğalma için en iyi çözüm her zaman elverişlidir. Denge durumu stratejisinde ise, her kuşakta yalnızca birkaç kromozom yenilenmektedir. Genellikle, yeni kromozomlar popülasyona katıldığında en kötü kromozomlar yenilenir [82,141].

4.3.3.6 Fonksiyon Ölçeklemesi: Doğrusal ölçekleme, üstsöl ölçekleme gibi yöntemler mevcuttur. Probleme göre en uygun ölçekleme yönteminin seçilmesi genetik algoritmanın etkin işlemesi açısından önem taşımaktadır [82,141].

5. DÖNER FIRIN PROSESİ

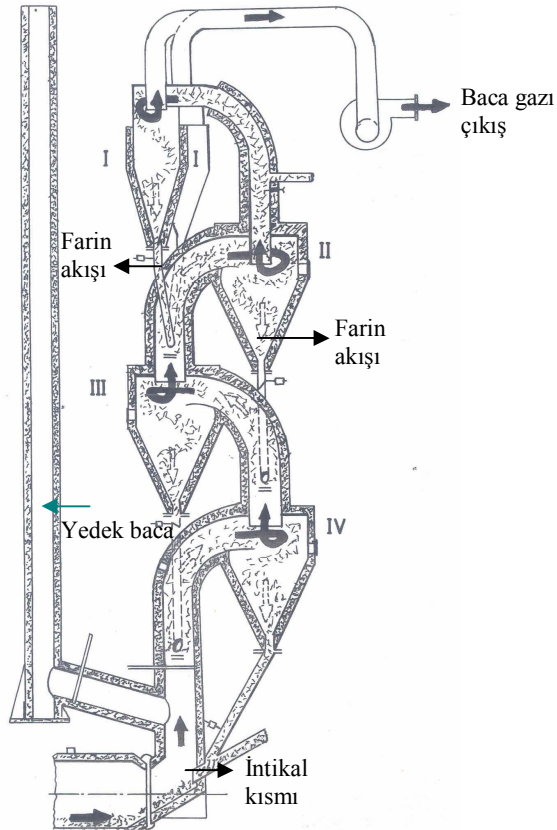
Çimento fabrikasında üretim hattının en önemli kısmı, ara ürün klinkerin üretildiği döner fırın bölümüdür. Bu bölümde, hammadde hazırlama bölümünden alınan farin, çimentonun ara ürünü olan klinkere dönüştürülür.



Şekil 5.1 Döner fırın bölümü akış şeması

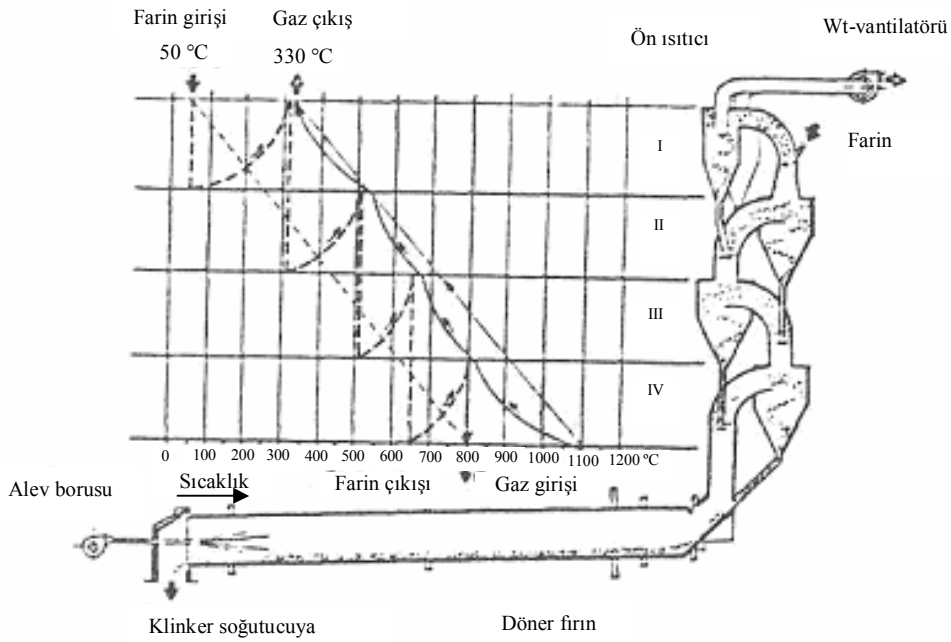
Döner fırın bölümü; ön ısıtıcı siklonlar, döner fırın ve soğutucu ünitesi olmak üzere üç alt üniteden oluşmaktadır. Çalışmanın yapıldığı fabrikanın döner fırın bölümüne ait akış şeması Şekil 5.1 'de verilmiştir. Hammadde hazırlama bölümünün farin silolarında 50–60°C sıcaklıkta bekletilen farin, üretim programına göre, döner fırın bölümünün girişinde yer alan ön ısıtıcı siklonlara gönderilir.

Döner fırın bölümünün ön ısıtıcı siklonlar ünitesi dört siklon ve bir intikal kısından oluşmaktadır. Ön ısıtıcı siklonlarda farin ve sıcak gazın kütle akışları, Şekil 5.2 'de de görüldüğü gibi özel bir akışa sahiptir. Bir ısı değiştirici özellik gösteren ön ısıtıcı siklonlarda, sıcak gaz ve farin arasında kütle akışına bağlı ısı değişimi gerçekleşir. Özellikle farindeki ısı değişimi klinker kalitesi açısından çok önemlidir.



Şekil 5.2 Ön ısıtıcı siklonlarda gaz ve farin akışları [107]

Farin sırasıyla bu dört siklondan geçerek intikal bölümüne doğru akar. Buna karşın döner fırından çıkan baca gazı, intikal odasından geçerek sırasıyla farinin ters istikametinde siklonlardan geçer ve siklon çıkışındaki baca gazı vantilatörüne gelir. Farindeki bu ısı değişimi her bir siklonda artarak devam eder ve özellikle 2 nci siklon çıkışından itibaren 560–600 °C sıcaklıkta farin kalsine olur. Kalsinasyon bir maddenin nemini ve karbondioksit gibi alkalileri uzaklaştırmak için o maddeyi erime noktasının altında ısıtma (kavurma) işlemidir. Ön ısıtıcı siklonlarda kalsine olan farinde alkaliler açığa çıkar, buda farinin kütlelerinde kalsinasyon kayıplarının oluşmasına neden olur. Bu çalışmada siklonlardaki kalsinasyon kayıpları ayrı ayrı hesaplanmış ve bir sonraki bölümde verilmiştir. Dördüncü siklondan sonra fırına doğru akışı devam eden farin, değirmenden çıkan gazın etkisiyle intikal girişinde 1100–1150 °C sıcaklığa ulaşır ve klinkere dönüşüm için döner fırına gönderilir. Bu akışa ait ürünlerin sıcaklık değişim grafiği Şekil 5.3 'de verilmiştir.



Şekil 5.3 Ön ısıtıcılarda gaz ve farinin sıcaklıkları [107]

Çalışma yapılan döner fırın ünitesi 3.8 m çapında, 52 m uzunluğunda silindirik bir yapıya sahiptir ve 2,5 devir/dk. hızla dönmektedir. Döner fırın içinde sinterleme işlemi sonucunda, Şekil 3.12 'de verilen kimyasal değişimler gerçekleşmekte ve fırın çıkışında klinker yapısına dönüşen ara ürünün sıcaklığı 1300–1400 °C 'ye ulaşmaktadır. Klinker yapısına dönüşen ürün, düşük akış debisi ile soğutucu bölümüne gönderilir.

Fabrikanın soğutucu ünitesi, ızgaralı tip klinker soğutucudur. Bu tip soğutucular, bir ızgara üzerinde havanın içine nüfus edebileceği klinker yatağının ızgara altından gönderilen basınçlı hava tarafından soğutulması ve oluşan basınç kuvvetlerinin dengesi ile çalışır. Bu tip soğutucularda, soğutucu çıkışında elde edilen sıcak gazların üretim hattı üzerinde değerlendirilmesi mümkündür. Ancak kullanılmayan ve 250 °C civarında soğutma bacası gazları verimi azaltmaktadır. Fabrikada gazın değerlendirilmesi için soğutucu baca (Multisiklon bacası) üzerinde reküpülâtör ünitesi kurulmuştur. Reküpülâtör ünitesinden elde edilen sıcak su, fabrika lojmanlarının ısıtma ve kullanım sıcak su ihtiyacını karşılamaktadır.

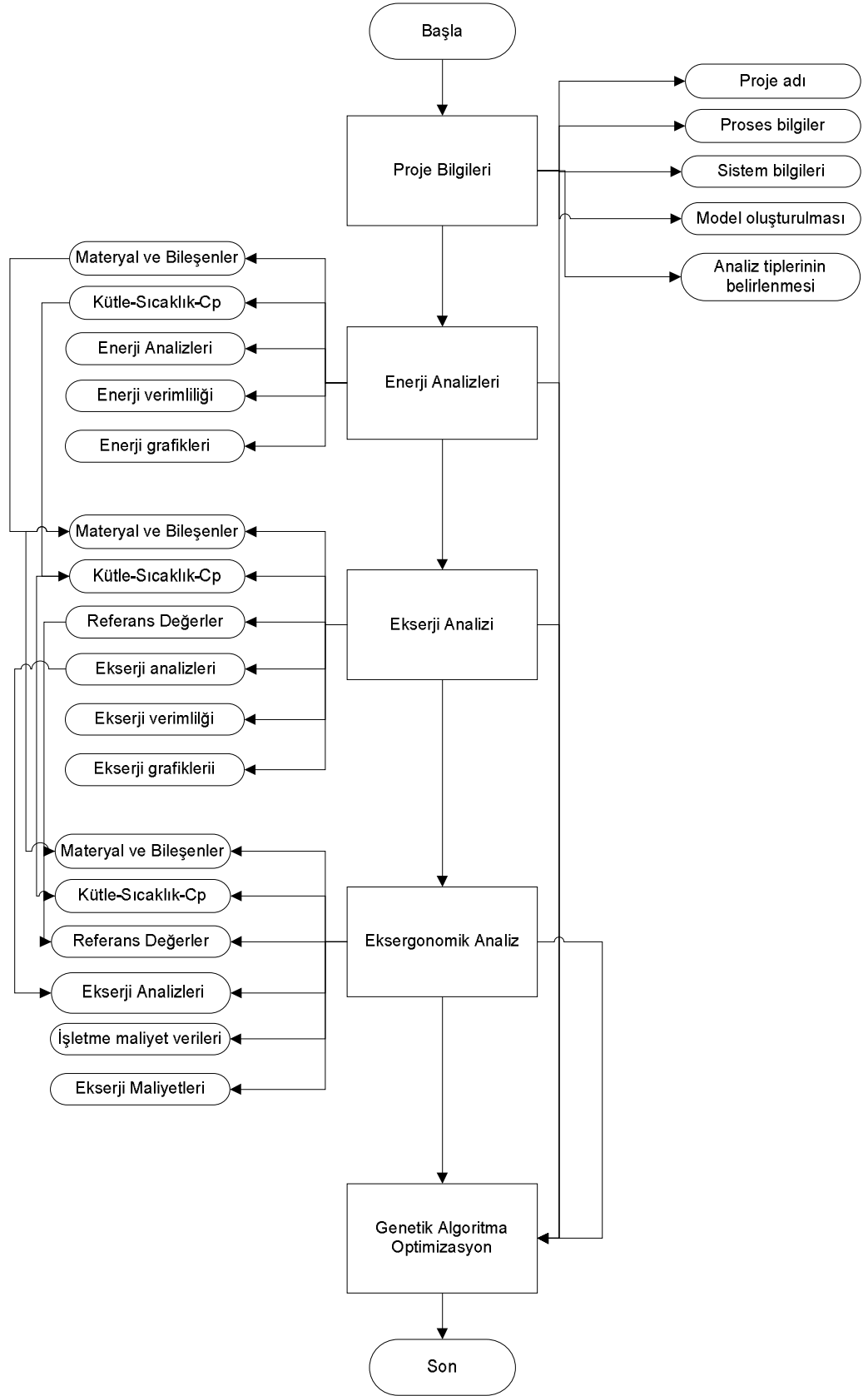
Soğutucu ünite; klinker ton başına, 2767.3 Nm³ kapasiteye sahip 3 adet fan yardımıyla döner fırından gelen yüksek sıcaklığa sahip klinker, 100 ile 120 °C sıcaklık aralığında soğutulur. Soğutma sırasında açığa çıkan sıcak havanın 958.2 Nm³/ton.Klin. bölümü sekonder hava olarak döner fırına, 566.9 Nm³/ton.Klin. bölümü tras değirmenine, geri kalan bölümü ise soğutucu bacaya gönderilir.

6. ENERJİ EKSERJİ EKSERGOEKONOMİK ANALİZLER VE GENETİK ALGORİTMA İLE EKSERGOEKONOMİK OPTİMİZASYON

Çimento sektöründe son yıllardaki teknolojik gelişmeler, ürün kalitesinin artırılmasının ötesinde, üretimde enerji maliyetlerinin ve çevre etkilerinin azaltılması üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu amaçla ön kalsinasyon sistemlerinin, yeni tip değirmenlerin, dinamik seperatörlerin, yakıcılar ve soğutucuların, değişik tipteki etkin filitrelerin sektördeki kullanımı artmıştır. Bunun sonucu olarak özgül enerji tüketimi değerleri, yakıtta % 5 ile % 10 aralığında, öğütmede % 10 ile % 20 aralığında, sınıflandırıcılarda ise % 15 ile % 20 aralığında azalmıştır [97, 143].

Bu tespitlerin dikkat çekmeye başladığı Türkiye çimento sektöründe de enerji tasarrufuna yönelik çalışmaların birçok yöntemle başlatıldığı görülmektedir. Özgül enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik bu uygulamalarda genelde enerji analizlerinin temel alındığı gözlenmiştir. Ancak bu analizler çimento sektöründe enerji kayıplarını ve bunların neden olduğu mali kayıpları yeterince tanımlayamamıştır. Aşağıdaki çalışmada da ifade edileceği gibi; üretim hattı üzerinde bulunan ısı bölümlerinin enerji verimlilikleri gerçekte yüksek bir orana sahip olmasına rağmen, oluşan yüksek kayıpların gözlemlenmesi, bölümlerde hesaplanan verimliliklerinin gerçekte bu olamayacağı düşüncesini ortaya çıkarmaktadır. Bu durumda üretim hattında bölümlerin ekserji analizi açısından incelenmesinin daha doğru sonuçlara ulaştıracağı değerlendirilmiştir.

Bu bölümde çimento fabrikasının döner fırın bölümünün eksergoekonomik optimizasyonu planlanmıştır. Bu amaçla yapılacak işlem basamaklarına göre bir işlem akış planı hazırlanmış ve bu planın akış şeması Şekil 6.1 'de verilmiştir. Bu plana göre, öncelikle bir çimento fabrikasının gerçek tüketim ve üretim verileri kullanılarak enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır.



Şekil 6.1 Eksergoekonomik optimizasyon işlem akış şeması

Analizlerde fabrikada 6 ile 12 Temmuz 2006 tarihi arasında yapılan ölçümler ile fabrikadan temin edilen veriler kullanılmıştır.

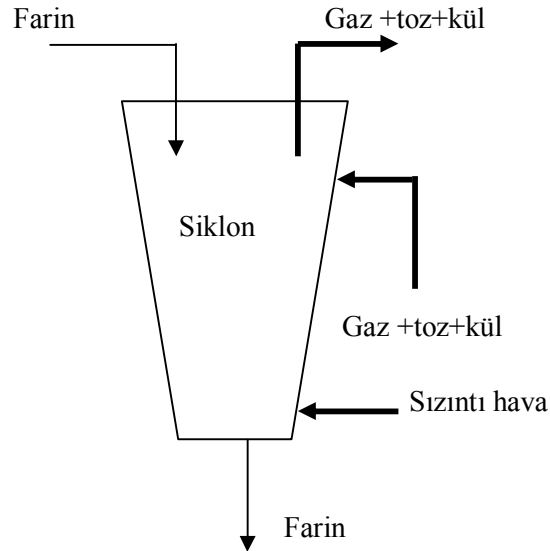
Konu ile ilgili yapılan benzer çalışmalarda ürün ve gaz akışlarında çoğunlukla hacimsel debinin kullanıldığı gözlenmiştir. Özellikle gazlarda sıcaklığa bağlı hacimsel değişim, hesaplamalarda farklı sonuçlar elde edilmesine neden olacak, bu durum sonuçlar ve yapılacak değerlendirmeler de yanıltıcı olacaktır. Bu çalışmada yapılan analizlerde ürünlerin akış debileri için, daha doğru sonuçlara götüreceği değerlendirilen kütleli debi kullanılmıştır. Bu amaçla ölçülen veya teorik olarak elde edilen akış debileri önce Nm^3/h 'den m^3/h 'e çevrilmiş, daha sonra her ürünün elementer analizi yapılarak bazı elementlerde yoğunluk dönüşümü, bazılarında ise Avagadro yasası ile gerçek kütleli debileri bulunmuştur.

Çimento fabrikasında üretim hattını oluşturan çimento değirmenleri, hammadde hazırlama, döner fırın, tras değirmeni, kömür hazırlama bölümleri üretim planına bağlı birbirinden farklı çalışmaktadır. Bu nedenle üretim hattını bütün olarak algılayıp bölüm üzerinde enerji ve ekserji analizi yapmak, bölümlerin üretim özellikleri ve çalıştırılma şartları nedeniyle mümkün değildir. Döner fırın dışında üretim hattı üzerinde bulunan ve enerji tüketen bölümlerin temel enerji kaynağı, döner fırından çıkan atık gaz ve tozlardır. Bunlar için yapılacak değerlendirmeler, döner fırının atık enerjisi üzerinde yapılacak değerlendirmeler olacaktır. Bu nedenle öncelikle döner fırın bölümünün verimlilik hesaplamaları yapılmalıdır.

Döner fırın sisteminde enerji ve ekserji analizlerinin yapılabilmesi için yapılacak ilk işlem bölümün kütle dengesinin oluşturulmasıdır. Bölümde kütleli denge için öncelikle bölümü oluşturan ön ısıtıcı siklonlar, döner fırın ve soğutucu ünitelerin ürün akışları dikkatle incelenmiş, ünitelerin her birine giren ve çıkan ürünler arasında kütleli denge aranmıştır. Ayrıca döner fırın ünitesinin kütle dengesi oluşturulurken yanma sonucu oluşan kül ve toz kayıpları da (geri beslenemeyen toz) dikkate alınmıştır. Ancak soğutucu ünitelerden çıkan gaz ile birlikte hareket eden toz değerleri, gaz akışındaki yüksek debi nedeniyle ihmal edilmiştir.

Ön ısıtıcı siklonlarda sızıntı hava ve oluşan kalsinasyon gazlarının hesaplanmasında, ön ısıtıcı kule çıkış gaz debisi, fabrikadan alınan ve her bir siklon, intikal ve fırın çıkışında ölçülen oksijen oranları, farin ve geri beslenemeyen toz debileri ile birlikte her bir siklonda oluşan farinin kızdırma kayıpları (KK) dikkate alınmıştır. Bölüme ön ısıtıcı siklonlardan giren farinde; fırından gelen atık gazla girdiği ısıl teması nedeniyle ve kimyasal yapısı gereği, C2 siklonundan itibaren kalsinasyon kayıpları (kızdırma kayıpları) oluşur. Farinin klinkere dönüşüm sürecinde bu kayıplar farinde kütle kaybına neden olur. Çalışma yapılan her gün için üretim hattı üzerindeki her üniteden numune alınmış ve kalsinasyon sonucu oluşan kütle kayıpları, fabrika laboratuvarında ölçülerek bulunmuştur. Yapılan ölçümlere göre kalsinasyon oranlarının % 33 ile % 40 arasında değiştiği belirlenmiştir. Döner fırın bölümünü oluşturan her ünite için kızdırma kayıpları ve kayıpların kütle debileri EK-A.1 'de verilmiştir.

Elde edilen bu veriler ve yapılan kabullere göre döner fırın bölümünde her bir ünitenin kütle dengesi ayrı ayrı oluşturulmuştur. Bölümün ilk ünitesi olan ön ısıtıcı siklon ünitesi, 4 alt siklon ve fırına giriş noktası olan intikal bölümünden oluşmaktadır.



Şekil 6.2 Siklonlarda kütle akışı

Dört siklon C1A-C1B, C2, C3, C4 kodları ile tanımlanmış ve kütle dengesi, çalışma yapılan günlerin günlük ortalamaları üzerinden yapılmıştır. Her bir siklona farin, gaz, toz ve sızıntı hava girerken, siklonlardan kalsinasyona uğramış farin, kalsinasyon gazları, fırından gelen gaz ve sızıntı havanın oluşturduğu gaz karışımı ile gazla birlikte hareket eden toz çıkmaktadır. Bir siklonun kütle akış şeması Şekil 6.2 'de verilmiştir.

EK-B.1 'de her bir siklon için oluşturulmuş kütle dengesi ayrı ayrı verilmiştir. Her bir siklona giren sızıntı hava miktarları, siklonlarda yapılan gaz ölçümlerindeki oksijen oranları dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Toz miktarı olarak, döner fırın bölümünden gaz ile birlikte elektro-filtreye gönderilen ve elektro-filtrede tutulan toz oranlarının saatlik ölçümlerinin gün ortalamaları alınmıştır. Birim Nm³ debideki gazda bulunan toz oranları Çizelge 6.1 'de verilmiştir.

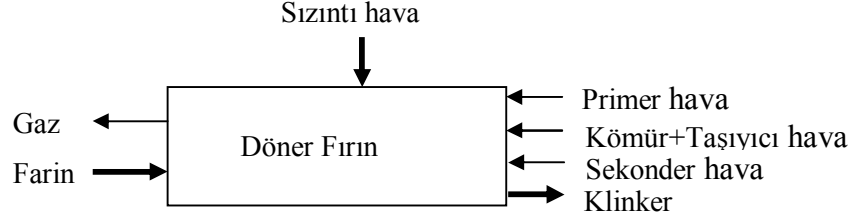
Çizelge 6.1 Baca gazı toz oranları

Günler	06	07	08	09	10	11	12
Toz oranı g/Nm ³	74.07	67.59	56.96	53.86	53.86	56.99	62.21

İntikal bölümünden çıkan kalsine olmuş farin döner fırın ünitesine gönderilir. Döner fırın ünitesi için fırına giren ve çıkan maddeler arasında da kütle sel denge incelenmiştir. Döner fırın ünitesinin kütle akışı Şekil 6.3 'de verilmiştir.

Fırına giren maddeler; yanma işlemi için giren kömür karışımı, kömürü getiren taşıyıcı hava, yanma işlemi için fırına alınan primer hava, soğutucu üniteden gelen sekonder hava, ön ısıtıcılardan gelen farin ile birlikte özellikle fırının ön tarafından giren sızıntı havadır. Fırını terk eden maddeler ise ön

ısıtıcılara giden gaz, gaz ile birlikte fırını terk eden toz ve kül, soğutucuya giden klinkerdir.



Şekil 6.3 Döner fırın ünitesi kütle akışı

Yanma havası primer hava, taşıyıcı hava, soğutucudan alınan sekonder hava ile fırın kafasındaki sızıntı havanın toplamından oluşmaktadır. Primer havanın hava debisi, alev borusu primer hava kanalında $2\ 500\ \text{Nm}^3/\text{h}$ olarak ölçülmüştür. Taşıyıcı hava debisi olarak fanın etiket değeri alınmış ve kg/h birimine dönüştürülmüştür. Sekonder hava debisi ortalama $958.2\ \text{Nm}^3/\text{ton.Klin.}$ olarak ölçülmüştür. Fırından çıkan külün kütlesi için günlük kömür karışımının kül oranları laboratuvar testleri ile ölçülmüş ve değerleri Çizelge 6.2 'de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Kömür karışımı kül oranı (%)

Günler	06	07	08	09	10	11	12
Kül oranı (%)	11.97	12.47	12.69	12.63	12.10	13.08	12.12

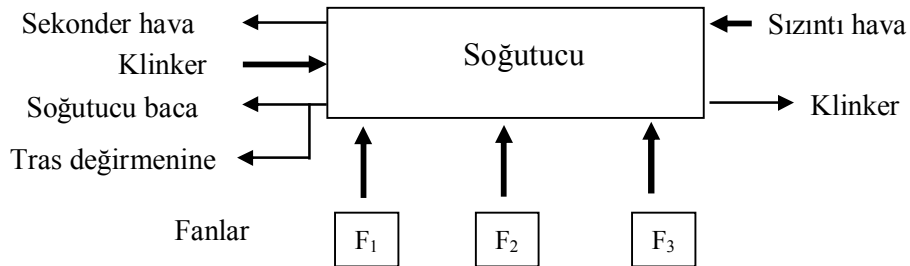
Sürekli akışlı açık bir sistem olarak değerlendirilen döner fırın ünitesinde giren ve çıkan maddelerin kütle dengesi, günlük ortalamalara bağlı olarak fabrikadan alınan verilere göre oluşturulmuştur. Oluşturulan kütlesele denge Çizelge 6.3 'de verilmiştir. Veriler incelendiğinde döner fırın ünitesinde sızıntı hava

girişinin % 2.2 oranına ulaştığı görülmüş, bu oranın ünitenin enerji ve ekserji verimlerini olumsuz etkileyeceği değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.3 Döner fırın ünitesinin kütle dengesi

		06.Tem	07.Tem	08.Tem	09.Tem	10.Tem	11.Tem	12.Tem
		<i>m</i> (kg/h)	<i>m</i> (kg/h)	<i>m</i> (kg/h)	<i>m</i> (kg/h)	<i>m</i> (kg/h)	<i>m</i> (kg/h)	<i>m</i> (kg/h)
Giren Madde.	Taşıyıcı hava	28 217.94	31 154.83	31 099.71	31 244.10	29 931.05	31 628.94	31 016.81
	Primer hava	3 214.52	3 549.08	3 542.80	3 559.25	3 409.67	3 603.09	3 533.36
	Yerli kömür+Petrokok	7 110.00	7 850.00	7 836.11	7 872.49	7 541.65	7 969.46	7 815.22
	Sızıntı hava	3 214.52	3 363.80	3 249.02	2 932.86	3 161.05	3 226.47	3 141.15
	Sekonder hava	52 477.14	53 770.54	52 071.37	47 293.58	51 033.12	51 985.75	51 387.42
	Farin	52 051.27	54 468.60	52 609.99	47 490.47	51 185.56	52 244.82	50 863.23
TOPLAM		146 285,39	154 156.85	150 409.01	140 392.76	146 262.10	150 658.52	147 757.19
Çıkan Madde.	Gaz	97 881.23	103 610.68	102 016.41	96 608.23	99 592.20	102 760.71	102 251.23
	Klinker	42 636.92	46 352.41	44 759.03	40 150.96	43 302.77	44 206.29	41 654.38
	Toz	4 915.94	3 214.86	2 638.68	2 638.68	2 454.46	2 648.90	2 904.07
	Kül	851.30	978.90	994.90	994.90	912.68	1 042.62	947.52
TOPLAM		146 285,39	154 156.85	150 409.01	140 392.76	146 262.10	150 658.52	147 757.19

Soğutucu ünite, döner fırın bölümünde farin akış yönünün son noktasıdır ve kütle akış şeması Şekil 6.4 'de verilmiştir. Soğutucu ünite; 1630–1690 K sıcaklık aralığında fırını terk eden klinker 3 'lü fan grubuyla soğutulur. Fan hava debileri üretilen klinkerin sıcaklık ve debisine bağlı olarak yaklaşık 2 767.3 Nm³/ton.Klin. olacak şekilde sürekli kontrol edilmektedir.



Şekil 6.4 Soğutucu ünite kütle akışı

Bu debi kontrollü fan klapeleri ile yapılmaktadır. Klinkerin soğutulmasında kullanılan fanlarda, 1 ve 2 nolu fanların klape açıklığının % 100, diğer 3 nolu fanın klape açıklığının % 20 olduğu tespit edilmiştir.

Döner fırın bölümü bir bütün olarak ele alınmış ve bölüme giren çıkan materyaller arasında da kütleli denge oluşturulmuştur. Soğutma fanlarından sağlanan hava debileri dahil olmak üzere bölümünün tümünü içeren kütleli denge Çizelge 6.4 'de verilmiştir. Döner fırın bölümüne giren sızıntı hava, sistemin her bir alt ünitesine giren sızıntı havaların toplamına eşittir.

Çizelge 6.4 Döner fırın bölümünün kütleli dengesi

		06.Tem	07.Tem	08.Tem	09.Tem	10.Tem	11.Tem	12.Tem
		\dot{m} (kg/h)	\dot{m} (kg/h)	\dot{m} (kg/h)	\dot{m} (kg/h)	\dot{m} (kg/h)	\dot{m} (kg/h)	\dot{m} (kg/h)
Giren Madde.	Taşıyıcı hava	28 217.94	31 154.83	31 099.71	31 244.10	29 931.05	31 628.94	31 016.81
	Primer hava	3 214.52	3 549.08	3 542.80	3 559.25	3 409.67	3 603.09	3 533.36
	Yerli kömür+Petrokok	7 110	7 850	7 836.11	7 872.49	7 541.65	7 969.46	7 815.22
	Sızıntı hava	35 035.30	25 535.58	24 856.77	22 634.97	24 739.57	25 219.18	24 796.81
	Fan hava	151 711.10	151 457.76	146 838.86	134 017.31	144 005.26	146 538.33	148 179.34
	Farin	69 750	69 790	67 540.00	61 710.00	66 210.00	67 500.00	68 250.00
	TOPLAM	295 038.86	289 337.24	281 714.25	261 038.13	275 837.20	282 459.00	283 591.54
Çıkan Madde.	Gaz	136 196.51	129 769.81	128 203.53	121 067.77	125 352.8	129 148.80	130 940.33
	Klinker	42 403.81	42 333	41 042.00	37 458.33	4 0250	40 958.00	41 416.67
	Toz	8 724.37	7 165.66	5 831.22	5 567.71	5 785.517	5 840.69	6 032.02
	Tras değir.	30 908.99	31 812.27	30 806.99	27 980.31	30 192.73	30 756.33	30 402.34
	S.baca	75 953.87	77 277.61	74 835.61	67 969.10	73 343.47	74 712.56	73 852.65
	Kül	851.30	978.90	994.90	994.90	912.676	1 042.62	947.52
	TOPLAM	295 038.86	289 337.24	281 714.25	261 038.13	275 837.20	282 459.00	283 591.54

Döner fırın bölümünde hem her ünite, hem de tüm bölüm için kütle dengeleri oluşturulduktan sonra termodinamiğin birinci yasasına göre döner fırın bölümünün enerji analizleri yapılmıştır.

6.1 Döner Fırın Bölümünün Enerji Analizleri

Döner fırın bölümü sürekli akış halindeki açık bir sistem olarak değerlendirilmiş ve bu değerlendirmeye göre bölümün enerji akışında enerjinin korunumu ilkesi aşağıdaki gibi yazılmıştır [144].

$$\left(\begin{array}{l} \text{Birim zamanda ısı veya} \\ \text{iş olarak döner fırın} \\ \text{bölümünün sınırlarını} \\ \text{geçen toplam enerji} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Birim zamanda kütle} \\ \text{ile birlikte döner fırın} \\ \text{bölümünden çıkan} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{Birim zamanda kütle} \\ \text{ile birlikte döner fırın} \\ \text{bölümüne giren} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\phi e_\phi - \sum \dot{m}_g e_g \quad (6.1)$$

Burada Q döner fırın bölümünün sınırlarından geçen net ısıyı, W döner fırın bölümünün sınırlarından giren net işi, e döner fırın bölümüne giren ve çıkan birim toplam enerjii ifade eder. Birim toplam enerji her maddenin sahip olduğu, entalpi, kinetik ve potansiyel enerjilerin toplamıdır. Bu ;

$$e = h + ke + pe \quad (6.2)$$

şeklinde ifade edilir. Denklem 6.1 ve 6.2 birleştirilirse enerjinin korunum ilkesi;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\phi (h_\phi + V_\phi^2/2 + gz_\phi) - \sum \dot{m}_g (h_g + V_g^2/2 + gz_g) \quad (6.3)$$

olur. Döner fırın bölümünde enerji analizlerinin yapılabilmesi için öncelikle aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Sisteme, kullanılan yakıttan farklı olarak, dışarıdan ısı verilmemektedir.
- Döner fırının dönmesini sağlayan elektrik enerjisi analize iş olarak dahil edilmiştir.
- Ön ısıtıcı siklonlar ile döner fırın ve soğutma üniteleri sürekli akış halindedir. Ünitelerde ve tüm bölümde, giren ve çıkan maddelerin kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiştir.

d. Bölümü oluşturan ünitelerin bağlantı ve boru hatlarındaki kayıplar göz önüne alınmamıştır.

Bu kabullere göre tekrar değerlendirilen döner fırın bölümünün enerji dengesi;

$$\sum \dot{m}_g h_g = \sum \dot{m}_\phi h_\phi + \sum \dot{Q}_{\text{kayıp}} \quad (6.4)$$

şeklinde ifade edilir. Bölümde her giren ve çıkan maddenin enerji yükünü hesaplayabilmek için her maddenin sahip olduğu sıcaklığa ait özgül ısı kapasitesinin bilinmesi gerekir. Sistemde toz, gaz, farin, klinker gibi bazı maddelerin ölçülen sıcaklıklarda sahip oldukları özgül ısı kapasitelerine ulaşamamıştır. Ulaşılan değerlerin ise normal şartlar için (20 °C) geçerli özgül ısı kapasiteleri olduğu belirlenmiştir. Krichoff kanununa göre özgül ısı kapasitesi, sıcaklığın bir fonksiyonudur ve bir maddede sıcaklık değişimi ile birlikte sahip olduğu özgül ısı kapasitesi değişir. Döner fırına giren ve çıkan maddelerin özgül ısı kapasitelerini (C_p) hesaplamak için deneysel olarak bulunmuş aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır [145–147].

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (kJ/kg.K) \quad (6.5)$$

Özgül ısı kapasitesinin hesabı için öncelikle döner fırın bölümüne giren ve çıkan tüm maddelerin elementer analizleri ve kütleli debiler hesaplanmıştır. Daha sonra Denklem 6.5 'den yararlanılarak giren ve çıkan her maddenin elementer bileşeninin özgül ısı kapasitesi bulunmuştur. Elementer bileşenlerin özgül ısı kapasiteleri bulunduktan sonra maddenin bileşimlerine ait kütle oranları dikkate alınarak maddenin özgül ısı kapasitesi hesaplanmıştır. Bu hesaplama ön ısıtıcı siklonlar ile döner fırın ve soğutma ünitelerinin hepsinde her madde için ayrı ayrı yapılmıştır. Analizlerde sadece fırında yanma olayı gerçekleştikten sonra ortaya çıkan kül için özgül ısı sabit kabul edilmiş ve fabrikadan alınan özgül ısı kapasitesi değeri kullanılmıştır. Sisteme giren sızıntı havanın özgül ısı kapasitesinin hesaplaması Çizelge 6.5 'de örnek olarak verilmiştir.

Çizelge 6.5 Sızıntı havanın özgül ısı kapasitesi

Madde	T K	Bileşen	m oranı %	\dot{m} kg/h	$C_{p,comp.}$ kJ/kgK	$\dot{m} * C_{p,comp.}$	C_p kJ/kgK
Sızıntı hava	295	N ₂	77.37	3 909.51	1.041	4 069.80	1.053
	295	O ₂	20.76	1 049.00	0.925	970.33	
	295	CO ₂	0.03	1.52	0.846	1.28	
	295	Ar	0.92	46.49	4.97	231.04	
	295	H ₂ O	0.01	0.51	4.181	2.11	
	295	Diğer	0.91	45.98	1.007	46.30	
TOPLAM				5 053.00		5 320.87	

Termodinamik kabuller ve ihtiyaç duyulan termodinamik özelliklere ait veriler belirlendikten sonra döner fırın bölümüne ait her ünite için ayrı ayrı enerji dengesi oluşturulmuştur. Ön ısıtıcı siklonların enerji analizinde; her siklonun analizi ayrı ayrı yapılmış, daha sonra siklonlar bir bütün olarak ele alınıp enerji dengesi tüm ünite için oluşturulmuştur. Ön Isıtıcı siklonların enerji analizleri EK C.1–7 'de verilmiştir. Bu analizlere göre; siklonlarda kg başına en düşük enerji girişi 761 kJ/kg olurken en yüksek enerji çıkışı 1 885.3 kJ/kg olmaktadır. Siklonlarda en yüksek enerji kaybı ise % 9 ile % 10.5 aralığında C4 siklonunda gerçekleşmektedir.

Ön ısıtıcı siklonlar ile soğutucu ünite arasında kalan döner fırın ünitesinin enerji analizinde; fırına giren çıkan maddelerin gün ortalama debileri dikkate alınarak ayrı ayrı incelenmiş ve döner fırın ünitesinin enerji dengesi oluşturulmuştur. Döner fırın ünitesinin enerji analizleri EK Ç.1-4 'de verilmiştir. Bu analizlere göre fırında birim klinkeri soğutucuya göndermek için gerekli enerji 2.59 ile 2.70 MJ/kg.Klin. aralığında gerçekleşmiştir. En yüksek nicel enerji kaybının % 24.22 ile 9 Temmuz 'da olduğu saptanmıştır.

1630–1690 K sıcaklıkta döner fırın ünitesini terk eden klinker soğutucu üniteye yüksek hava debili fanlar yardımıyla 383–403 K sıcaklık aralığına kadar soğutulmaktadır. Soğutucu üniteye giren çıkan maddelerin gün ortalama debileri

dikkate alınarak ayrı ayrı incelenmiş ve soğutucu ünitenin enerji dengesi oluşturulmuştur. Soğutucu ünitenin enerji analizleri EK D.1 'de verilmiştir. Analizlere göre soğutucu ünite; klinkeri soğutmak için birim klinker başına 3.79–4.18 MJ/kg.Klin. aralığında enerji harcanmaktadır. Böylece, 1630–1690 K aralığında sıcaklığa sahip klinker, soğutucu çıkışında 383–404 K sıcaklığına düşürülmektedir.

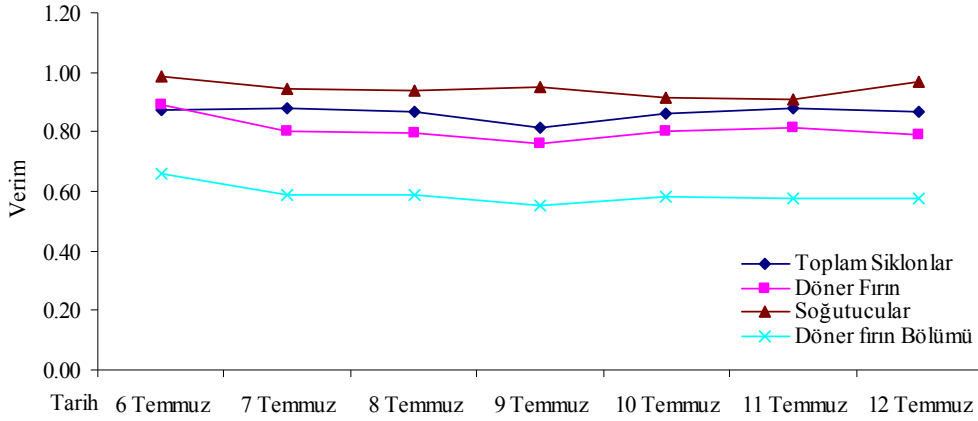
Döner fırın bölümünün her bir ünitesine yönelik enerji analizleri ayrı ayrı tamamladıktan sonra döner fırın bölümünün tümü için enerji dengesi oluşturulmuş ve bölümün enerji analizleri yapılmıştır. Döner fırın bölümü, C1A siklonundan başlar, farinin klinker dönüşümünü sağlayan döner fırın ünitesinden geçer ve klinkerin soğutulma işlevini gerçekleştiren soğutucu ünitenin çıkışında son bulur. Döner fırın bölümünde kütleli debilere bağlı akışın detaylı şeması Şekil 6.1 'de verilmiştir. Bu kütleli akışlara göre döner fırın bölümünün enerji analizleri her gün ortalaması için ayrı ayrı yapılmış ve enerji analizleri EK D.2-5 'de her gün için EK E.1 'de tüm bölüm için verilmiştir. Bu analizlere göre; fırına birim klinker başına 7.52–8.35 MJ/kg aralığında enerjinin girdiği, fırında enerjinin en yüksek nicel kaybının % 44.78 ortalama ile 09 Temmuz 'da, enerji en düşük nicel kaybının % 34.25 ile 06 Temmuz'da gerçekleştiği tespit edilmiştir.

6.2 Döner Fırın Bölümünün Enerji Verimi

Döner fırın bölümünde enerji verim hesaplamaları, farinin kütle akışındaki sıralamaya bağlı olarak öncelikle bölümü oluşturan her ünite ve alt kısım için ayrı ayrı yapılmış, daha sonra döner fırın bölümünün tümü için gerçekleştirilmiştir. Verimliliği, her ünite veya tüm bölüm için çıkan maddelerin toplam enerji değerinin her üniteye veya tüm bölüme giren maddelerin toplam enerji değerine oranı olarak tanımlamak mümkündür. Bunun formüsel ifadesi;

$$\eta_1 = \sum \frac{\dot{m}_\phi \cdot Q_\phi}{\dot{m}_g \cdot Q_g} \quad (6.6)$$

dir. Döner fırın üniteleri ve tüm bölüm için yapılan enerji analizlerine göre hesaplanan enerji verimlilikleri EK E.1 'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre oluşturulan döner fırın bölümü ve ünitelerin enerji verimi grafiği Şekil 6.5 'de verilmiştir.



Şekil 6.5 Döner fırın üniteleri ve bölümünün enerji verimleri

Döner fırın bölümünde ünitelerin verimliliği incelendiğinde soğutucu ünitenin % 90.7 ile % 98.5 aralığında en yüksek verime sahip olduğu, döner fırın ünitesinin % 75.8 ile % 81.6 aralığında en düşük verime sahip olduğu görülmektedir. Döner fırın bölümü bir bütün olarak değerlendirildiğinde, enerji veriminin günlük ortalamalarda % 55.2 ile % 65.7 aralığında değiştiği ve 7 günlük ortalama enerji veriminin % 58.79 olduğu tespit edilmiştir.

6.3 Döner Fırın Bölümünün Ekserji Analizi

Döner fırın bölümü ekserji analizinde de sürekli akış halindeki açık bir sistem olarak değerlendirilmiş ve termodinamiğin ikinci yasasına göre ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Döner fırın bölümünün ekserji analizlerini yapabilmek için öncelikle çevreye ait parametrelerin tanımlanması gerekir. Çevre parametreleri

referans sıcaklık ve basınçtır. Bunlardan referans sıcaklık dış ortam sıcaklığı olarak alınmış, referans basıncı ise $P_0 = 1$ atm olarak kabul edilmiştir.

Bir açık sistemin ekserji analizi yapılırken, sürekli akış hali göz önüne alınarak, sisteme giren ve çıkan materyaller arasında kimyasal olmayan reaksiyonların olması durumunda, atomik denge fiziksel akışla ilişkilendirilir ve analizlerde sadece fiziksel ekserji kullanılır. Ancak döner fırın bölümünde ikinci siklonda başlayan ve soğutucu çıkışına kadar devam eden kalsinasyon ve sinterleme işlemleri nedeniyle, kütle akışlarında kimyasal reaksiyonlara bağlı faz değişimleri oluşmaktadır. Bu nedenle döner fırın bölümünde atomik dengeye bağlı ekserji analizleri yapılırken, fiziksel ekserji yanında kimyasal reaksiyonlar sebebi ile kimyasal ekserji de dikkate alınmıştır.

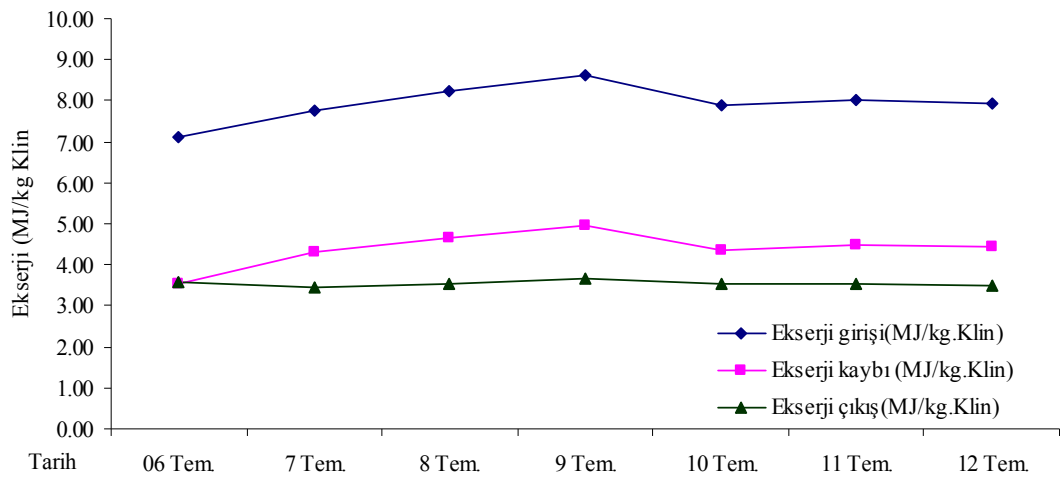
Döner fırın bölümünde ekserji transferi fiziksel ve kimyasal ekserjilere bağlı oluşmaktadır. Ekserji transferini, iş, ısı ilişkisi ve kütle akışına bağlı ortak ekserji akışı olarak üç farklı durumda tanımlamak ve bölümlenmek mümkündür. Döner fırın bölümünde; ön ısıtıcı siklonlarda kütle akışının çok hızlı gerçekleşmesi, kimyasal reaksiyonların ikinci siklondan başlayıp soğutucu bölümünün çıkışına kadar devam etmesi, ünitelerin bölümlenmesine imkan vermemektedir. Özellikle kimyasal reaksiyonlar sebebiyle ekserji analizlerinin üniteler için ayrı ayrı yapılmasının yararlı olmayacağı değerlendirilmiştir. Bu nedenle ön ısıtıcı siklonlar ile döner fırın ve soğutma üniteleri bir bütün olarak kabul edilmiş ve ekserji analizleri tüm bölüm için yapılmıştır. Bölümün ekserji analizlerinin yapılabilmesi için aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

a. Baca gazları ideal gaz karışımı olarak kabul edilmiştir.

b. Döner fırın bölümü sürekli akış halindedir. Bölüme giren ve çıkan maddelerin kinetik ve potansiyel ekserji değişimleri ihmal edilmiştir.

Bu bölümde kimyasal ekserjinin hesabında bölüme giren ve çıkan her malzemenin elementer analizi yapılarak kütleli debideki dağılım miktarı ve her bir elementer bileşenin sıcaklık dağılımına göre ideal gaz sabiti hesaplanmıştır. Ayrıca Denklem 6.5 'den yararlanılarak Çizelge 6.5 'de olduğu gibi maddelerin her bir bileşenin özgül ısı kapasitesi hesaplanmıştır.

Döner fırın bölümünün ekserji analizleri her gün ortalaması için ayrı ayrı yapılmış ve bu analizler EK F.1-14 'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde döner fırın bölümünde birim klinker başına en düşük ekserji girdisinin 7.13 MJ/kg.Klin., en yüksek ekserji girdisinin 8.62 MJ/kg.Klin. olduğu görülmüştür. Bu verilere göre döner fırın bölümünde birim klinker başına oluşan ekserji kaybı 3.54–4.94 MJ/kg.Klin. aralığında bulunmuştur. Döner fırın bölümünde birim klinker için giren ve çıkan birim kütle ortalama toplam ekserji akışı Şekil 6.6 'de verilmiştir.



Şekil 6.6 Döner fırın bölümünde ekserji akışı

6.4 Döner Fırın Bölümünün Ekserji Verimi

Ön ısıtıcı siklonlar ile döner fırın ve soğutma ünitelerinden oluşan döner fırın bölümünün ekserji verimini, bölümden çıkan maddelerin toplam ekserjisinin giren maddelerin toplam ekserjisine oranı olarak tanımlamak mümkündür.

Döner fırın bölümünün ekserji verimi; EK-G.1 'de verilen analizlere göre Denklem 4.19 ve 4.20 'den yararlanılarak hesaplanmış ve bulunan verim değerleri Çizelge 6.6 'da verilmiştir. Döner fırın prosesinin günlük ortalamalara bağlı ekserji verimi % 42.6 ile % 50.4 aralığında bulunmuş, yedi günlük çalışma verilerine göre ortalama ekserji verimi ise % 44.8 olarak hesaplanmıştır. Tersinmezliklerden

kaynaklanan ekserji tüketiminin günlük ortalamalara göre oranı % 49.6 ile % 56.8 aralığında değiştiği, 7 günlük ortalama ekserji tüketiminin ise % 55.2 olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.6 Döner fırın bölümünün ekserji verimi

Tarih	$\dot{E}x_g$	$\dot{E}x_\zeta$	\dot{I}	η_{II}
	kJ/h	kJ/h	kJ/h	
06.Tem.06	302 209 743.1	152 253 178.6	149 956 564.5	0.504
07.Tem.06	328 983 249.2	145 632 729.3	183 350 519.9	0.443
08.Tem.06	337 250 289.1	145 831 710.7	191 418 578.4	0.432
09.Tem.06	322 551 832.9	137 438 605.5	185 113 227.3	0.426
10.Tem.06	317 008 326.8	141 765 036.6	175 243 290.2	0.447
11.Tem.06	328 798 648.5	144 673 813.6	184 124 834.9	0.440
12.Tem.06	328 954 425.1	145 017 409.3	183 937 015.8	0.441

6.5 Döner Fırın Bölümünün Eksergoekonomik Analizi

Bu bölümde metodolojisi tezin üçüncü bölümünde verilen PRECO eksergoekonomik analiz yöntemi, döner fırın bölümü üzerinde uygulanmıştır. Döner fırın bölümü bir bütün kabul edilmiş eksergoekonomik analiz için geliştirilen PRECO yönteminin uygulama basamakları tek tek gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle döner fırın bölümünün modeli oluşturulmuş ve oluşturulan model Şekil 5.1 'de verilmiştir. Eksergoekoekonomik analiz için de ön ısıtıcı siklonlar, döner fırın ve soğutucu ünitelerinden oluşan döner fırın bölümü sürekli akışlı açık bir sistem olarak değerlendirilmiş ve bölüm siklon girişinden soğutucu klinker çıkışına kadar bir bütün olarak değerlendirilmiştir.

Döner fırın bölümüne giren ve çıkan materyal akışlarının kütleli debileri, termodinamik özellikleri ve çevre parametreleri Bölüm 5.1 ve 5.2 'de detaylı olarak

verilmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak bölümün enerji, ekserji analizleri yapılmış ve tüm bölümün enerji ve ekserji verimleri hesaplanmıştır.

Çimento fabrikasının ilk yatırım bedeli 60 Milyon \$, döner fırının bölümünün yatırım bedeli ise 26.4 Milyon \$ 'dır. Döner fırının 2006 yılı toplam çalışma saati 8405 saat, yıllık faiz oranı ortalaması % 15, değirmenin ömrü 20 yıl olarak alınmıştır. 2006 yılı döner fırın sisteminin yatırım dönüşüm oranı (β) Denklem 4.24 'ten yararlanılarak hesaplanmış, buna bağlı olarak hesaplanan sistemin yatırım dönüşüm oranı 0.16 olarak bulunmuştur. Yatırım maliyet oranı (Z_{YA}) ise sistemin bakım onarım maliyeti bulunduktan sonra hesaplanmıştır.

Döner fırın bölümünde materyal akışlarına etki eden elemanların (fan, motor vb.) taşıdıkları materyalin birim kütlesine bağlı maliyetleri, yıllık bakım onarım giderleri hesaplanmış ve bulunan değere birim kütleye bağlı elektrik tüketim maliyetleri de ilave edilmiştir.

Döner fırın bölümünün materyal akışına etki eden elemanlar ile bölümün bakım onarım maliyeti hesaplanmıştır. Fabrikaya ait işletme maliyetleri gizlilik nedeniyle temin edilememiştir. Bu nedenle hesaplama yoluna gidilmiştir. Bölümün bakım onarım, yedek parça ve montaj ve demontaj maliyetleri, (4.26a – 4.26c) denklemleri kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.7 'de verilmiştir. Döner fırın bölümünün yedek parça giderleri fabrikadan temin edilemediği için hesaplanan maliyetler işleme tamamıyla katılmıştır. Elektrik ve kontrol panoları ile küçük kapasiteli motorlar, hesaplamalarda diğer olarak tanımlanmıştır.

Çimento fabrikasının döner fırın bölümünde materyal akışına etki eden oldukça fazla eleman bulunmaktadır. Bu elemanlar 5 385.73 kWh elektrik tüketilmektedir. 2006 yılı elektriğin birim tüketim maliyeti 0.0952 \$/kWh 'dir. Bu elemanların tüketimlerle beraber yatırım maliyetine katkıları 113 450.51 \$ 'dır. Döner fırın bölümünde materyal akışlarına etki eden tüm elemanların neden olduğu işletme maliyeti 641.12 \$ olarak hesaplanmış, bu hesaplamalara ilişkin tüm detaylar EK G.1 'de verilmiştir.

Çizelge 6.7 Bakım onarım maliyetleri

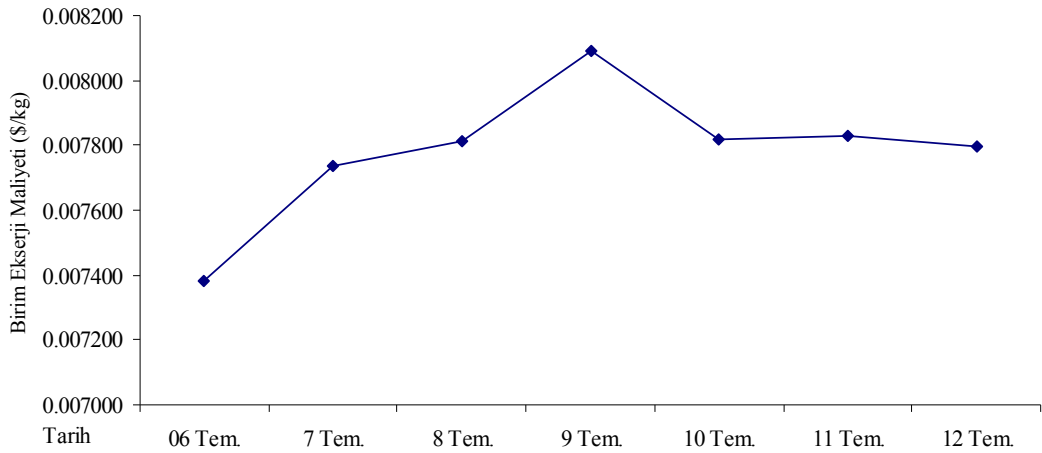
Malzeme adı	Yatırım maliyeti \$	Ömür	Bakım onarım maliyeti \$	Yedek parça maliyeti \$	Nakil montaj demontaj maliyeti \$	Toplam bakım onarım maliyeti \$
Soğutma 1.Kamara fanı	6 600	20	42.9	174.9	6.6	224.4
Soğutma 2.Kamara fanı	6 000	20	39	159	6	204
Soğutma 3. Kamara fanı	5 500	20	35.75	145.75	5.5	187
Multisiklon filitre fanı	17 000	20	110.5	450.5	17	578
Elektrofilitre fanı	17 000	20	110.5	450.5	17	578
Primer fan	6 000	20	39	159	6	204
Abgaz vantilatörü	15 000	20	97.5	397.5	15	510
Kömür fanı	6 000	20	39	159	6	204
Farin	10 000	20	65	265	10	340
Diğer*	20 000	20	130	530	20	680

*Döner fırın bölümünde akışı etkileyen fanlar dışındaki fan ve motorlar. (Kontrol odası, reküpülötör vb motorlar)

Prosesin yatırım maliyetine etki eden elemanların toplam maliyeti eklenerek bölümün yatırım maliyet oranı (Z_{YA}) hesaplanmıştır. Bu hesaplamada Denklem 4.23 'ten yararlanılmış ve yatırım maliyet oranı (Z_{YA}) 503.97 \$ olarak bulunmuştur.

Döner fırın bölümünde bölüme akış halinde giren her bir maddenin maliyetinde; ürün maliyeti yanında, yatırım maliyet oranının etkisi vardır. Bu duruma özellikle sisteme kontrolsüz giren sızıntı hava örnek verilebilir. Sıfır \$ hammadde maliyetine sahip olan sızıntı havanın birim maliyeti; yatırım maliyet oranına bağlıdır. Bunun için bölüme giren her madde kütle oranı kadar yatırım maliyet oranından pay alır. Döner fırın sistemine giren her bir maddenin toplam maliyeti Denklem 4.29 'dan, birim kütle maliyeti Denklem 3.30 'dan yararlanılarak hesaplanmıştır. Bölüme giren ürünlerden farin ve kömür karışımının hammadde maliyetleri, farin değirmeninden ve kömür değirmeninden çıkan ürün maliyeti olarak alınmıştır.

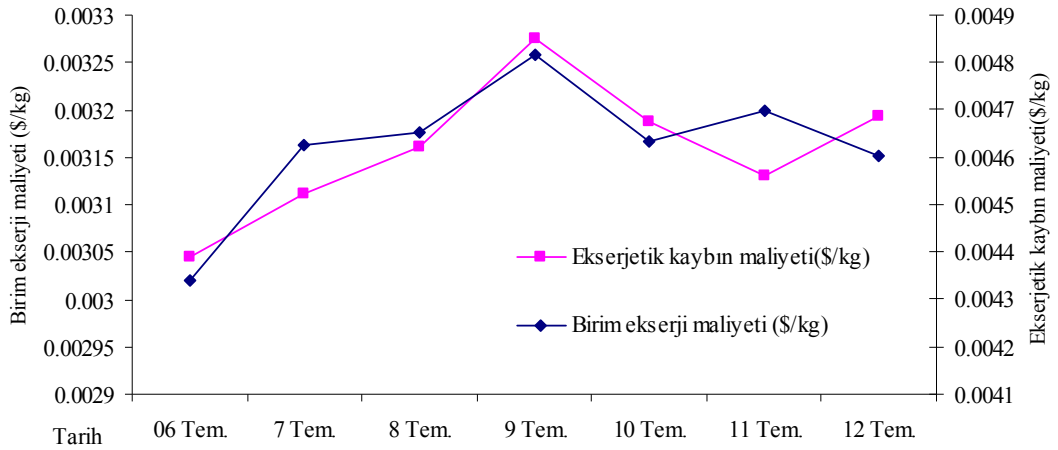
Bölüm 6.3 'te döner fırın bölümünün ekserji analizlerinden bölüme giren her bir maddenin toplam ekserjisi alınmış ve her bir maddenin birim kütle ekserjisi (ex) hesaplanmıştır. Döner fırın bölümüne giren her bir maddenin birim ekserji maliyeti (Cex_{m_g}), hesaplanan birim kütle ekserjisi ve ürünün toplam birim maliyetine bağlı olarak çalışma yapılan her gün ortalaması için Denklem 4.31 'den yararlanılarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Daha sonra bölüme giren her bir maddenin toplam ekserji maliyeti, maddenin toplam kütlesine bağlı olarak ayrı ayrı hesaplanmış ve bulunan her bir maddenin ekserji maliyetlerinin toplanmasıyla bölüme giren toplam ekserji maliyeti bulunmuştur. Döner fırına giren maddelerin ekserji maliyetleri EK-Ğ.1-4 'de verilmiştir. Bu verilere göre oluşturulan giren ürünlerin birim kütle ekserji maliyeti grafiği Şekil 6.7 'de verilmiştir.



Şekil 6.7 Giren birim kütle ekserji maliyeti

Analizlere göre, 261.04 tonla en düşük kütle girişine sahip 09 Temmuz günü için birim ekserji maliyeti 0.00809 \$/kg ile en yüksek değere sahiptir. Grafikten de anlaşılacağı gibi bu analizde doğrusal bir değişimden söz etmenin; maliyetleri pek çok parametrenin etkilemesinden dolayı mümkün olmadığı değerlendirilmiştir.

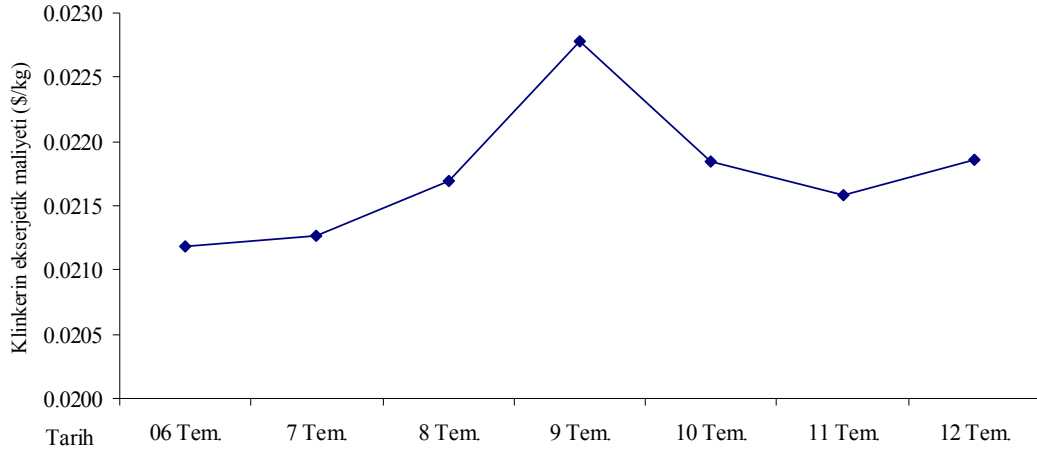
Döner fırın bölümünden çıkan maddeler sırasıyla ön ısıtıcı siklonlardan çıkan sıcak gaz ve gaz ile birlikte çıkan toz ve kül, soğutucu bölümden çıkan ana ürün klinker, soğutucudan çıkan bir kısmı tras değirmene, bir kısmı reküpülátöre gönderilen sıcak gazdır. Ana ürün klinkerin üretim maliyetinin hesaplanması için öncelikle her çıkan ürünün birim ekserji maliyetini ve ürün ekserji maliyetini hesaplamak gerekir. Çıkan ekserji maliyetinin hesaplanabilmesi içinde her ürün için ürün maliyeti sıcaklık faktörünün hesaplanması gerekir. Denklem 4.33 göre her ürün için maliyeti sıcaklık faktörü hesaplandıktan sonra Denklem 4.32 'den yararlanılarak her ürünün birim ekserji maliyeti hesaplanmış ve bu yapılan hesaplamalar EK H.1-4 'de verilmiştir. Döner fırın bölümünden çıkan ürünlerin birim kütle ekserji maliyeti ve ürünlerde ekserji kaybının neden olduğu maliyet kayıpları hesaplanmış ve bu hesaplamalar Şekil 6.8 'de verilmiştir.



Şekil 6.8 Ekserji ve ekserjetik kaybın maliyetleri

Bu analizlere göre en yüksek maliyet kaybının % 59.51 oranında 0.004815 \$/kg ile 09 Temmuz tarihinde gerçekleştiği görülmektedir. Döner fırından çıkan ana ürün klinkerin maliyeti, çalışma yapılan her gün için Denklem 4.35 'ten yararlanılarak hesaplanmış ve bulunan klinkerin maliyetleri EK H.1-4 'de verilmiştir.

Bu verilere göre klinker maliyeti 0.02118–0.02278 \$/kg aralığında hesaplanmış, bulunan klinkerin birim kütle maliyetleri Şekil 6.9 'da verilmiştir.



Şekil 6.9 Klinkerin birim kütle maliyeti

6.7 Döner Fırın Bölümünün Eksergoekonomik Optimizasyonu

Isıl sistemlere ait optimizasyon problemlerinin çözümlenmesinde öncelikle optimizasyonun temel hedefleri belirlenmelidir. Bu tür sistemlerde iki yaklaşımın öne çıktığı görülmüştür. Birinci yaklaşım sistemde fiziksel boyutlandırmalara ilişkin optimizasyon yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda sistemde istenen hedeflerin optimize edilmesi için, imalat ölçüleri ve imal edildiği malzeme özellikleri dikkate alınarak işlemler yapılır. İkinci yaklaşımda ise hedefe ulaşmak için optimizasyon parametreleri olarak imalat özellikleri yerine sistemin ürün akışları, akış özellikleri (termodinamik, akışkanlar dinamiği, kütle transferi) dikkate alınır. Döner fırının eksergoekonomik optimizasyonunda çalışan sistemde imalat değişikliği söz konusu olamayacağı değerlendirildiği için bu çalışmada ikinci yaklaşım temel alınmıştır.

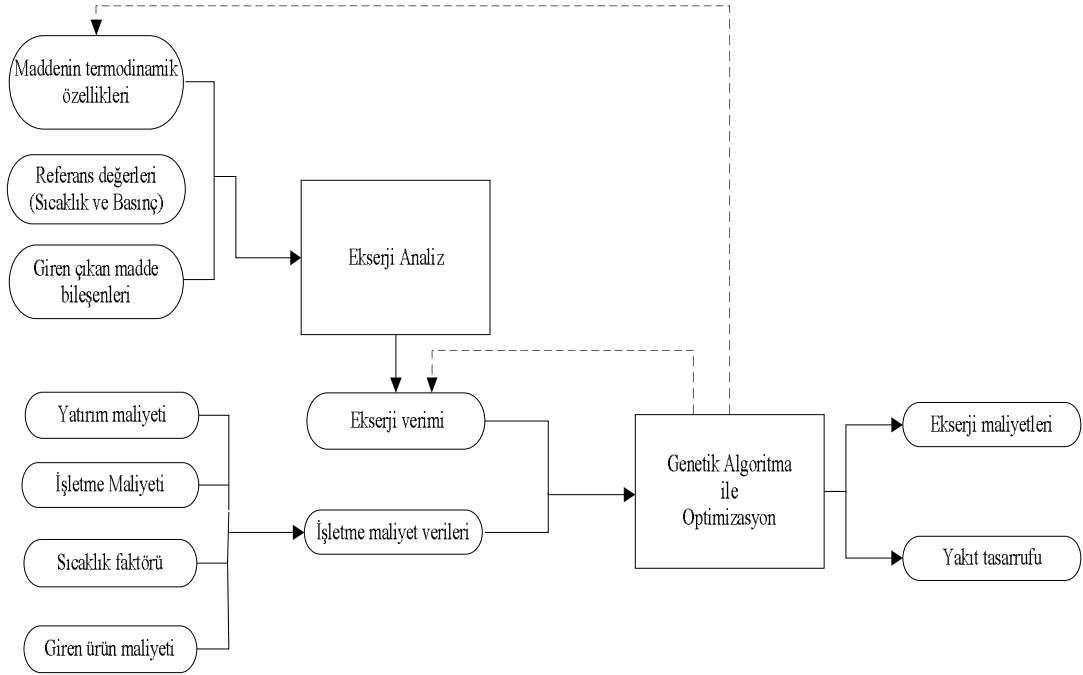
Bir sistemde belirlenen hedeflere yönelik optimizasyon çalışmasının yapılmasında öncelikle aşağıdaki aşamaların sonuçlandırılması gerekir.

- a. Sistemde karar değişkenlerinin saptanması gerekir. Karar değişkenleri problemdeki kontrol edilebilir unsurları temsil eden ve çözüm sonunda değerleri elde edilecek olan değişkenlerdir.
- b. Sistemi ifade edecek parametreleri belirlenmelidir. Bu parametreler kontrol edilemeyen ya da çevresel faktörler olarak bilinen unsurları ifade eden sabit değerli katsayılardır.
- c. Amaç (karar) fonksiyonu veya fonksiyonları oluşturulmalıdır. Amaç fonksiyonu ulaşılmak istenen amacı (maksimum ya da minimum yapılmak istenen değeri) tanımlayan ve karar değişkenlerinin fonksiyonu olarak ifade edilen matematiksel bir fonksiyondur. Amaç fonksiyonunda karar değişkenlerinin önündeki katsayılara amaç fonksiyonlarının katsayıları denir ve bir birimin katkısını ifade eder.
- d. Kısıtlar (sınırlar) oluşturulmalıdır. Karar değişkenlerinin amaca ulaşmak için kullanılacak parametrelerin alabileceği değerler ile ilgili sınırlamaları belirtir. Bu sınırların veya kısıtlamalarının modele doğru yazılması her modelin gerçeğe yakın çözümünü açısından önemlidir.

Bu bölümde uygulanan eksergoekonomik optimizasyonun temel hedefi döner fırın bölümünde klinker maliyetlerinin azaltılması ve döner fırın sisteminde ekserjetik verimin yükseltilmesi olarak belirlenmiştir. Temel amaç döner fırın bölümünün termodinamik parametreleri ve özellikle giren ve çıkan ürünlerin sıcaklık parametrelerini dikkate alarak maksimum ekserji veriminde minimum maliyetin sağlanması olarak belirlenmiştir. Bu nedenle öncelikle döner fırının verimin etkileyen karar değişkenleri saptanmıştır. Bunun için döner fırının bölümünün eksergoekonomik analizinde, elde edilen klinker maliyetini veren ekserji analizleri dahil olmak üzere tüm parametreleri kapsayan hesap akışları, Excel sayfaları olarak hazırlanmış ve hazırlanan sayfalar EK I.1-7 'de verilmiştir.

Döner fırın prosesinin eksergoekonomik optimizasyonunda genetik algoritma yöntemi kullanılacağı Bölüm 4 'de ifade edilmiş ve genetik algoritmanın aşamaları detaylı olarak verilmiştir. Genetik algoritma uygulamalarında pek çok uygulama yöntemi ve programının kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmada modeFrontier optimizasyon programı kullanılarak döner fırın bölümünün eksergoekonomik

optimizasyonu yapılmıştır. Döner fırın bölümünün optimizasyon akış şeması Şekil 6.10 'da verilmiştir.



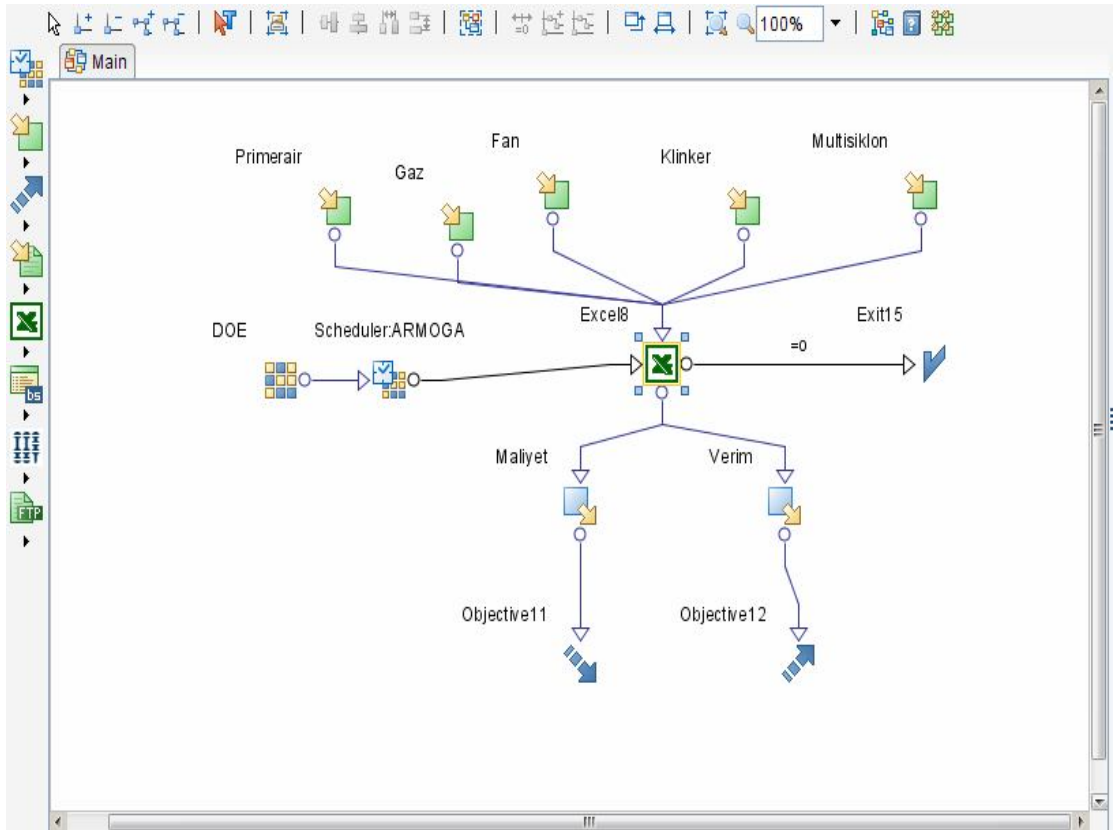
Şekil 6.10 Döner fırın bölümünün optimizasyon akış şeması

EK I.1-7 'de tablo haline getirilen döner fırın bölümünün eksergoekonomik analizi excel çalışma sayfasında sisteme giren ve çıkan tüm ürünlere ait hesaplamalar formüllerle kodlanmıştır. ModeFrontier programında excel formatı kullanılmış ve karar fonksiyonları olarak excel çalışma sayfasında hedef seçilen verim ve maliyet hücrelerinde verilen fonksiyonlar tanımlanmıştır. Çalışmada yedi günlük eksergoekonomik analizler, arama uzayındaki mümkün çözümler olarak değerlendirilmiştir.

Genetik çözülemeye geçmeden önce optimizasyonun sabitleri ile değişkenleri belirlenmiştir. Döner fırın sisteminin optimizasyon akışında görüleceği gibi ekserji verimi ve maliyetler eksergoekonomik verileri etkileyecektir. Dolayısıyla ekserji verimini etkileyen termodinamik parametreler eksergoekonomik

verileri yani ürün maliyetini doğrudan etkileyecektir. Döner fırın sisteminde kontrol edilebilir değişkenler ve kontrol edilemeyen değişkenler belirlenmiştir.

Döner fırın sisteminde basınç, referans çevre şartları, sızıntı havanın termodinamik parametreleri kontrol edilemeyen değişkenler olarak ele alınmıştır. Ayrıca sistemde ürünlerin akış parametrelerinin sabit özgül ısı altında gerçekleştiği kabul edilmiştir. Sisteme giren ve çıkan tüm ürünlerin sıcaklık ve kütle verileri, kontrol edilebilir değişkenler olarak ele alınmıştır. Kütle akışları talebe bağlı parametrelerdir. Bu nedenle optimizasyon çözümlerinde göz önüne alınmamıştır. Ancak sıcaklık parametreleri amaca yönelik uyarlanabilir girdiler olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 6.11 Döner fırının genetik optimizasyon modeli

Programda öncelikle analizin bir akış modeli oluşturulmuştur. Bu modelde, giriş değişkenleri olacak karar değişkenleri, hedef değişkenleri olan verim ve maliyet parametreleri, hedef değişkenlerin amaçları, başlangıç popülasyonu ifade eden (DOE) design of experiments properties parametreleri tanımlanmıştır.

(DOE) Desing of Experiments properties sınırlı sayıda test sürecinden kazanılan bilgilerden uygun olacak maksimum bilginin çıkartılması için kullanılan bir metodolojidir. İngiliz bilim adamı Sir R.A. Fisher tarafından geliştirilen bu yöntem, deneyleri analiz ve dizayn etmekte güçlü bir araçtır.

The screenshot displays the 'Sobol' DOE sequence configuration. The 'Parameters' section shows 'Number of Designs' set to 16. Below, the 'DOE Designs Table' contains 16 rows of data for various categories.

M	CATEGORY	Fan	Gaz	Klinker	Multisiklon	Primerair
0	SOBOL	2.9750E2	6.5000E2	3.7750E2	5.7500E2	3.0750E2
1	SOBOL	2.9625E2	6.3500E2	3.7625E2	5.6250E2	3.0125E2
2	SOBOL	2.9875E2	6.6500E2	3.7875E2	5.8750E2	3.1375E2
3	SOBOL	2.9688E2	6.5750E2	3.7688E2	5.6875E2	3.0438E2
4	SOBOL	2.9938E2	6.2750E2	3.7938E2	5.9375E2	3.1688E2
5	SOBOL	2.9562E2	6.7250E2	3.7562E2	5.5625E2	2.9812E2
6	SOBOL	2.9812E2	6.4250E2	3.7812E2	5.8125E2	3.1062E2
7	SOBOL	2.9656E2	6.7625E2	3.7969E2	5.7812E2	3.1531E2
8	SOBOL	2.9906E2	6.4625E2	3.7719E2	5.5312E2	3.0281E2
9	SOBOL	2.9531E2	6.6125E2	3.7844E2	5.9062E2	3.0906E2
10	SOBOL	2.9781E2	6.3125E2	3.7594E2	5.6562E2	2.9656E2
11	SOBOL	2.9594E2	6.3875E2	3.7781E2	5.9688E2	3.1219E2
12	SOBOL	2.9844E2	6.6875E2	3.7531E2	5.7188E2	2.9969E2
13	SOBOL	2.9719E2	6.2375E2	3.7906E2	5.8438E2	3.1844E2
14	SOBOL	2.9969E2	6.5375E2	3.7656E2	5.5938E2	3.0594E2
15	SOBOL	2.9734E2	6.4812E2	3.7578E2	5.9219E2	3.0047E2

N. Designs:16 N. Error Des.:0 N. UnFeasible Des.:0

Şekil 6.12 Başlangıç popülasyonu

DOE metodolojileri farklı uygulamalarda kullanıldığı görülmüştür. DOE metodolojileri optimizasyon algoritmalarında ise dizaynların başlangıç popülasyonunu oluşturmada kullanılırlar. Bu verilere göre oluşturulan optimizasyon modeli Şekil 6.11 'de verilmiştir.

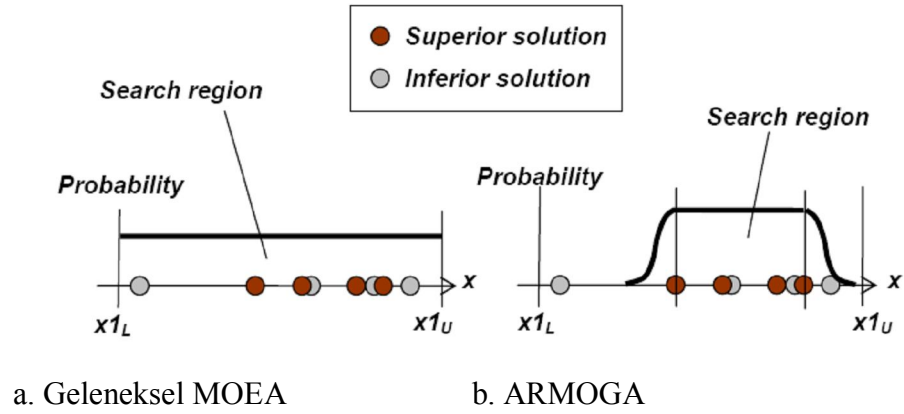
Modellemede kullanılan DOE parametrelerinde uzay dosyası olarak Sobol dizimi tercih edilmiştir. Sobol dizimi çok amaçlı genetik algoritmalar için önerilen başlangıç dizayn jenerasyonudur.

Sobol dizayn uzayında düzenli örneğin tekrarını amaçlayan, gelişigüzel dizinin davranışını taklit eden, belirleyici bir algoritmadır. Ancak bu durumda, gelişigüzel örneğin grup etkileri de azalır. Bu tip dizi, yarı random (random gibi) olarak isimlendirilir. Tecrübeler bu tip dizinde dizayn uzayının tek davranışla kaplandığını ve her birinin azami korunduğunu gösterir.

Sobol dizimi 2–20 değişkenle en iyi çalışan dizi yapısıdır. Bu çalışmada, dizimde başlangıç popülasyonu için dizayn sayısı 16 olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre oluşturulan başlangıç popülasyonu Şekil 6.12 'de verilmiştir.

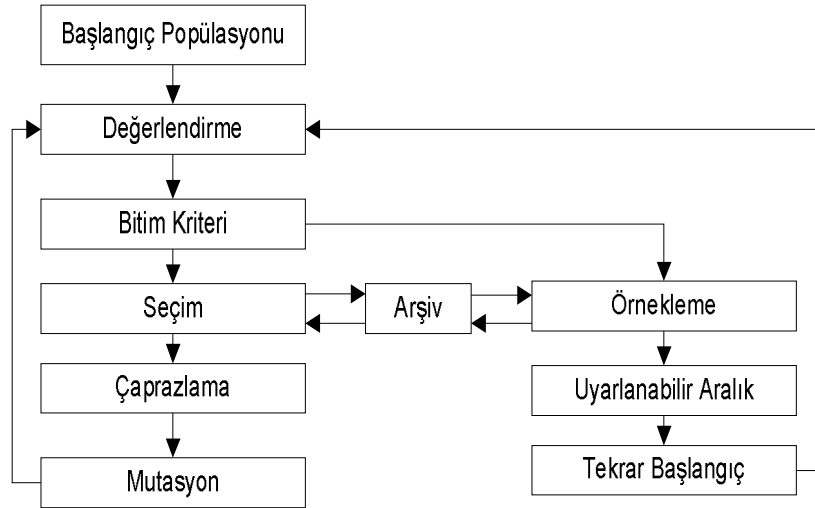
Optimizasyon problemlerinde, değerlendirme araçlarının çok zaman alması nedeniyle değerlendirme sayısının sınırlanması yaygın olarak kullanılır. Optimizasyonda uyarlama aralığının belirlenmesiyle dizayn problemlerinin etkili çözümünün yapılabileceği araştırılmış, bu amaçla (ARMOGA- Adaptive Range Multi-Objective Algorithm) uyarlanabilir aralıklı çok amaçlı genetik algoritma geliştirilmiştir. Bu özellikleri nedeniyle bu çalışmada ARMOGA genetik algoritma yöntemi seçilmiştir.

ARMOGA fazla zaman isteyen verimli değerlendirme araştırmaları için dizayn edilmiş çok amaçlı algoritmalarıdır. ARMOGA uyarlanabilir aralığı, seçinciliği, arşivlemeyi, uygun bölüşmeyi ve kısıtlı yürütme tekniğini içeren gerçek kodlamalara dayanır.



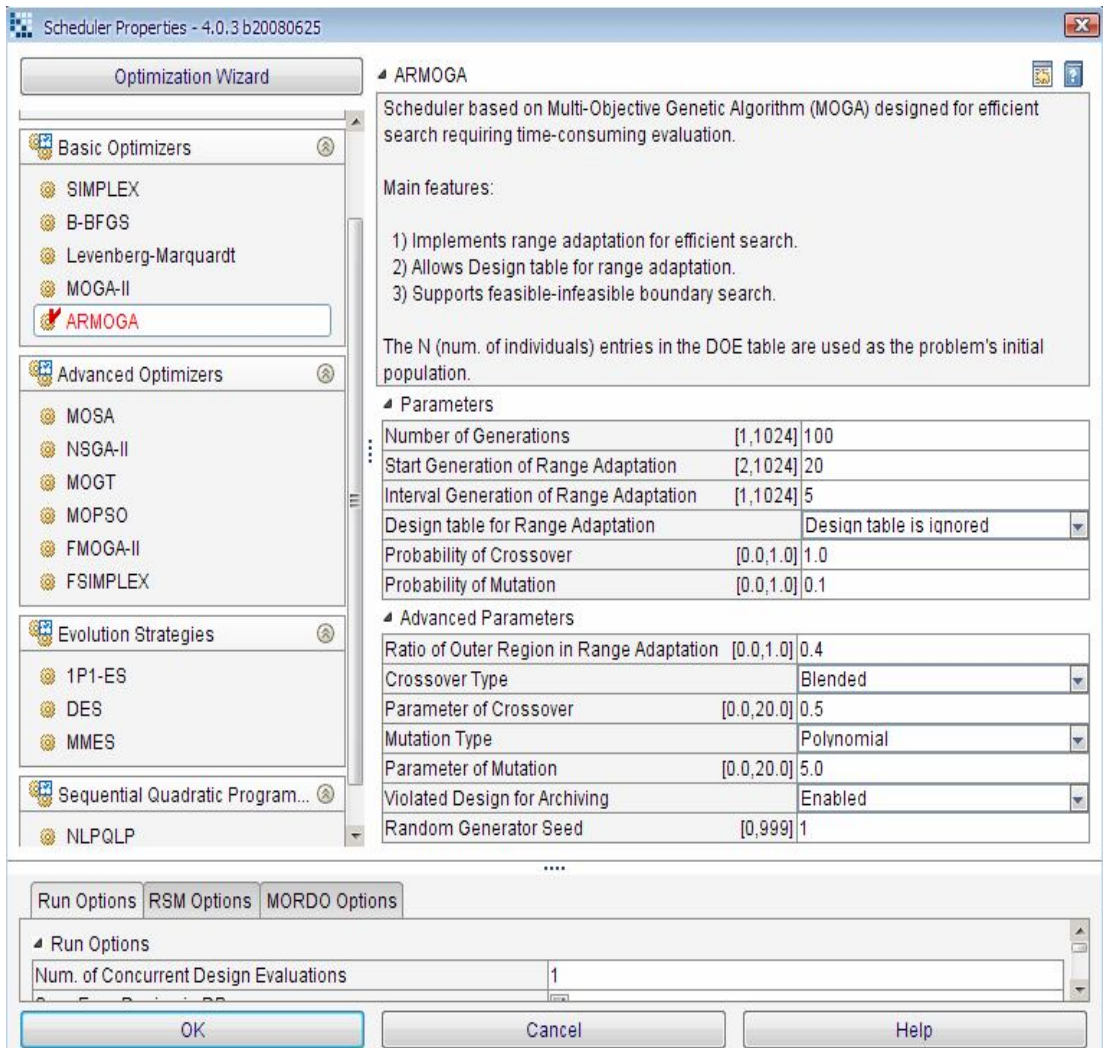
Şekil 6.13 Uyarlanabilir aralıklar (Dizayn aralıkları)

ARMOGA'nın temel özelliği; verimli araştırma için uyarlanabilir aralığı tanımlar, uyarlanan aralık için dizayn tabloları oluşturur, olası ve olası olmayan sınırların araştırılmasını sağlar. Geleneksel çok amaçlı algoritmalar ile ARMOGA arasındaki fark Şekil 6.13 'de verilmiştir.



Şekil 6.14 ARMOGA akış şeması

Geleneksel optimizasyonda karar fonksiyonuna bağılı oluşturulan arama bölgesi olası ve olası olmayan sınırları değerlendirmeden uç sınırları belirler ve araştırmacıyı bu olasılıkları tek tek deneme arayışına sokar. ARMOGA'nın çözüm uzayı ise olası ve olası olmayan parametrelerde uygun çözümleri sınırlar ve bu sınırlar içerisinde en iyi çözümlerin yığılımını verir. Uyarlanabilir dizi her jenerasyona uygulanır. Yeni karar uzayı en iyi seçilen istatistiğe bağılı olarak tanımlanır.



Şekil 6.15 Optimizasyon yöntemi ve parametreleri

Başlangıç popülasyonu yeni karar uzayında gelişigüzel üretilir. Bu popülasyonun uygunluk değerleri değerlendirildikten sonra, nesil sayısına bağlı olarak iyi kromozonlar seçilir ve çaprazlama işlemine tutulur. Mutasyonla oluşturulan yeni nesil tekrar değerlendirilmeye tabi tutulur. ARMOGA’da yaratılan tüm jenerasyonlar genetik operatörlerle yeni dizayn uzayına taşınır. Bu dizayn uzayında tüm jenerasyonların, örnekleme ile uyarlama aralıkları kontrol edilir. Örnekleme uygun olmayanlar tekrar mutasyon işlemleri için geri gönderilir. Dizayn uzayına alınan uygun jenerasyonlar arasında en iyiler tercih edilir. Bu en iyiler, bir sonraki neslin oluşumunda başlangıç kabul edilir, genetik çözümleme üretilen nesil sayısı kadar devam eder. Şekil 6.14 ’de ARMOGA’nın akış şeması verilmiştir.

Döner fırın optimizasyonu için, ARMOGA’da jenerasyon sayısı 100, uyarlama aralığının başlangıç jenerasyonu 20, uyarlama aralığının jenerasyon arası 5, geçiş olasılığı 1, ikili dizimler için de mutasyon olasılığı 0.1 olarak seçilmiştir. Seçilen genetik optimizasyon yöntemi ve parametreleri Şekil 6.15 ’de verilmiştir.

Optimizasyonda girdi verileri olarak seçilen döner fırının verimini ve klinker maliyetini etkileyecek her girdi ürün için sıcaklık limit değerleri belirlenmiştir. Bu değerler Çizelge 6.8 ’de verilmiştir.

Çizelge 6.8 Optimizasyonda girdi verilerinin sınır değerleri

Ürün Adı	Farin	Gaz	Klinker	P.hava	M.siklon	Fan
T _{ürün,alt} (K)	323	620	375	295	550	295
T _{ürün,üst} (K)	333	680	390	320	700	300

Optimizasyonda iki amaç belirlenmiştir. Bunlar ekserjetik veriminin maksimize edilmesi, klinker maliyetinin minimize edilmesidir. Bu amaçların gerçekleşmesi için girdi değişkenlerine bağlı karar fonksiyonlar tanımlanmıştır.

$$\text{Min(Maliyet)} \quad f(x_1) = \sum_{\min}^{\text{maks}} (T_f(x_1); T_g(x_1); T_k(x_1); T_{ph}(x_1); T_{Ms}(x_1)) \quad (5.1)$$

$$\text{Max(Maliyet)} \quad f(x_2) = \sum_{\min}^{\text{maks.}} (T_f(x_2); T_g(x_2); T_k(x_2); T_{ph}(x_2); T_{Ms}(x_2)) \quad (5.2)$$

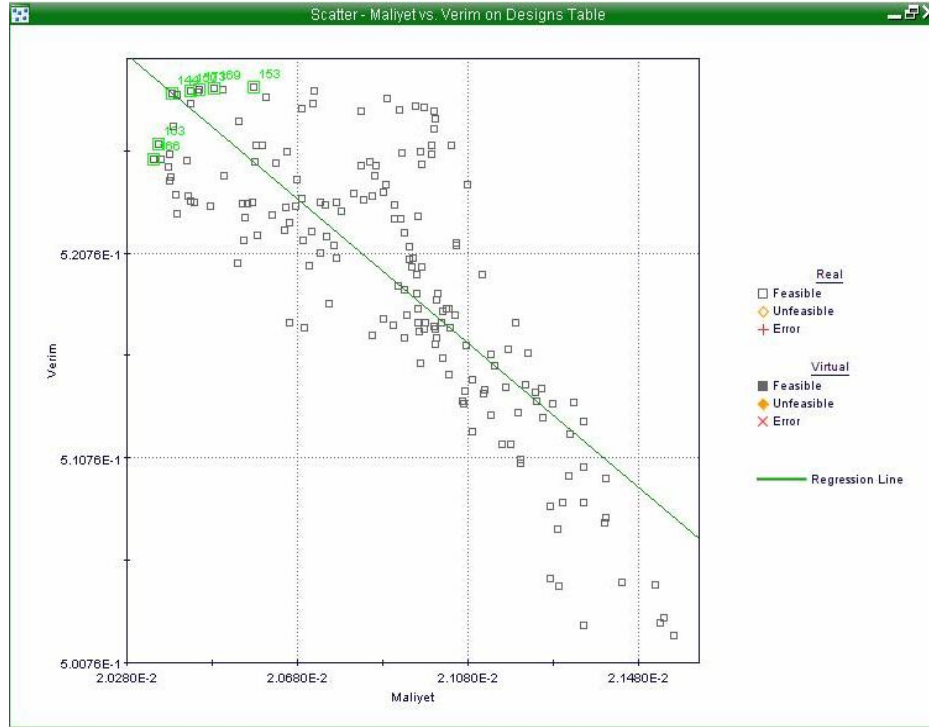
Genetik algoritmalarda çözüm uzayında popülasyon üretimi, üretilen popülasyonda en iyi çözüme ulaşıncaya kadar devam eder. Eğer çözüm kümesinde sınırlama oluşturulmaz ise algoritma ulaşacağı mükemmelliğe kadar işlemi devam ettirecektir. Gerçek durumda bu sonsuzluğu ifade eder. Bu hem olumlu hem de olumsuz değerlendirilebilir. Bu tür ısı sistemlerinde sonuçların tek parametreye indirilmesi uygulanabilirlik problemi yaratır. Ancak sınırlamaların oluşturulması en iyi seçeneğinin birden fazla oluşturulması anlamına gelir. Bu da en iyiler arasında seçimi daha rahat uygulama olanağı tanır.

ARMOGA programında döner fırının optimizasyonu için çözüm uzayı 175 jenerasyon ile sınırlandırılmıştır. Programda çözüm uzayında elde edilen her jenerasyon dizayn tablosunda yeni nesil olarak yer almıştır. Programda elde edilen 175 jenerasyonun hepsi sıfır hata oranı ile uygun bulunmuştur. Tüm çözümlenmeler yapıldıktan sonra verim ve maliyet hedefleri için en iyi çözümlenmeler aranmıştır. Bu en iyi çözümlenmeler dizayn tablosunda (true) olarak kodlanmıştır. Optimizasyonun çözüm uzayı EK İ.1 'de verilmiştir.

ARMOGA programında program kendi oluşturduğu çözüm uzayında en iyi jenerasyonları belirleyebilir. 06 Temmuz verilerine göre yapılan optimizasyonun tüm çözüm uzayında en iyi maliyet ve verim nesilleri olarak 7 jenerasyon seçilmiştir. Çözüm uzayında en iyi jenerasyonlara ait parametreler EK J.1 'de verilmiştir.

Dizayn tablosunda üretilen tüm jenerasyonların hedef maliyet ve verimleri regresyon çizgisinin etrafında başlangıç popülasyonu ile başlayıp en iyilerin de toplandığı noktaya doğru dağınık bir yapı gözlenmektedir. 06 Temmuz verilerinde optimizasyon ile ulaşılan sonuçlar Şekil 6.16 'da bu dağılıma örnek olarak verilmiştir. Şekilde de görüleceği gibi bu dağılımda en iyiler, regresyon çizgisi

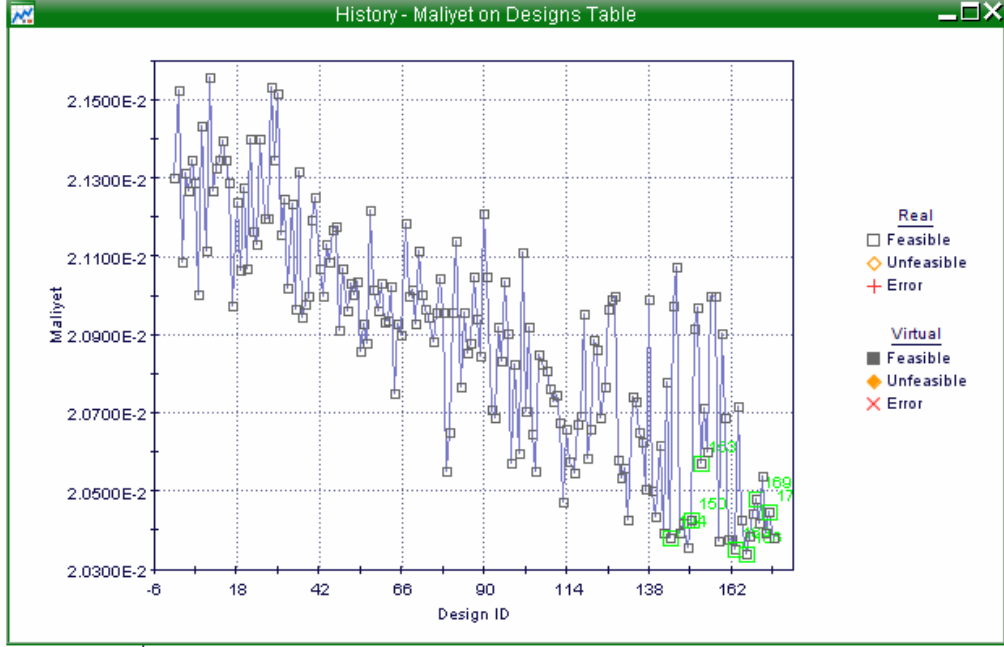
etrafında toplanmaya yönelik dağılım gösterirler. Şekilde en iyi jenerasyonlar iç içe çerçeveli olarak verilmiştir.



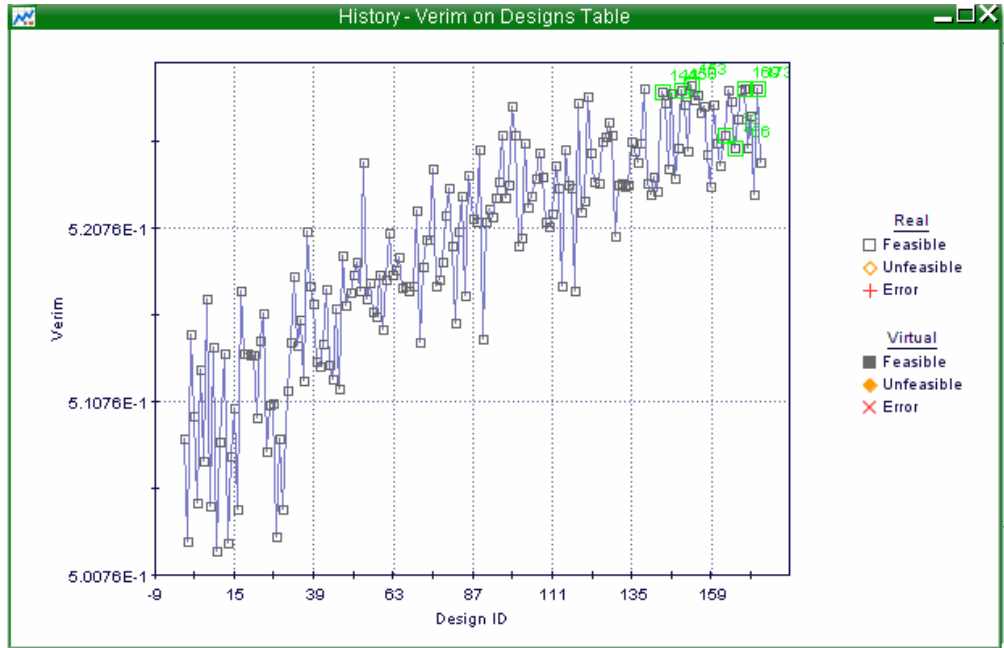
Şekil 6.16 Hedef maliyet ve verim dağılımı

Algoritma yapısı gereği, verim ve maliyet akışlarında başlangıç jenerasyonundan en iyiye doğru sürekli bir arayış içindedir. Bu arayış her jenerasyon için bir değeri ifade eder. 175 jenerasyon sonrası hedef maliyet ve verim grafiğinin sonuçları sırasıyla Şekil 6.17-18 'de verilmiştir. Grafik akışında görüleceği gibi hedef maliyetlerde amaçlar doğrultusunda düşüş gözlenirken hedef verimde yükselme gözlenmektedir. EK J.1 'de verilen 175 jenerasyon arasında en iyi 7 jenerasyonun üretim maliyet ve verim değerleri ile karşılaştırılarak durumları incelenmiştir. En iyilerde hedeflenen klinker maliyetinin 0.203 ile 0.205 \$/kg aralığında, döner fırının veriminin % 52.54 ile % 52.9 arasında değiştiği gözlenmiştir.

Bulunan hedef maliyet ve verim değerlerinde, mevcut klinker maliyetine ve firm verimine göre dikkate değer değişimler olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.17 Hedef maliyet dağılımı

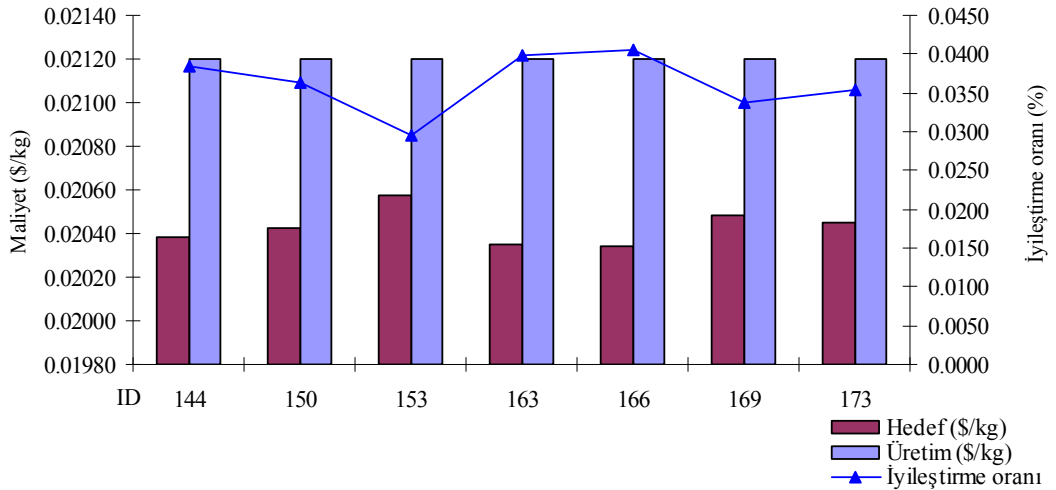


Şekil 6.18 Hedef verim dağılımları

Çizelge 6.9 Maliyet ve verim iyileştirme oranları

ID	Hedef maliyet \$/kg	Üretim maliyeti \$/kg	Maliyet iyileştirme oranı	Hedef verim	Fırının verimi	Verim iyileştirme oranı
144	0.02038	0.0212	0.0385	0.528632	0.49	0.0788
150	0.02043	0.0212	0.0364	0.528729	0.49	0.0790
153	0.02058	0.0212	0.0295	0.528962	0.49	0.0795
163	0.02035	0.0212	0.0399	0.526156	0.49	0.0738
166	0.02034	0.0212	0.0405	0.525406	0.49	0.0723
169	0.02048	0.0212	0.0338	0.528868	0.49	0.0793
173	0.02045	0.0212	0.0355	0.528836	0.49	0.0793

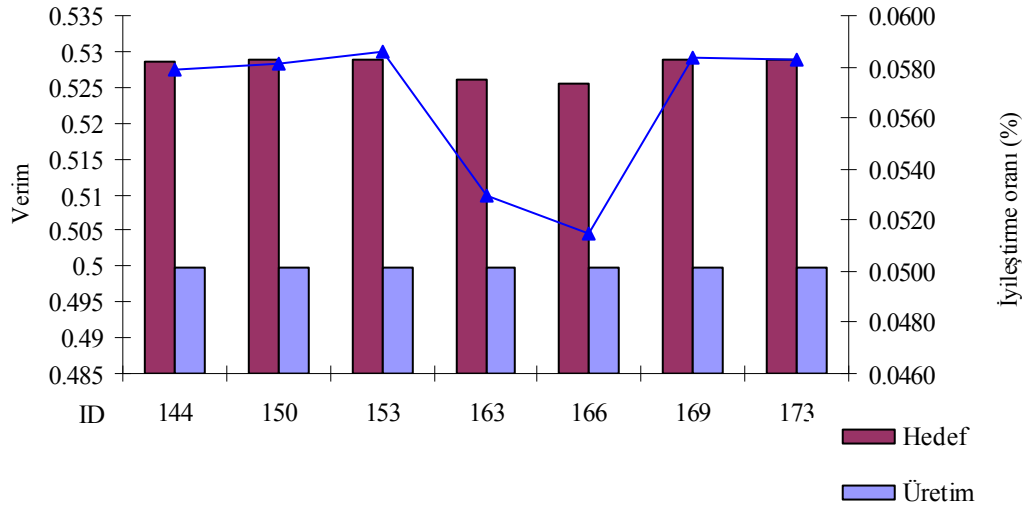
Bu değişimler iyileştirme oranları olarak tanımlanmış ve hesaplanan maliyet ve verim iyileştirme oranları Çizelge 6.9 'da verilmiştir. Döner fırın bölümünde hedef maliyet ve verim ile üretim maliyet ve verim değerleri arasındaki karşılaştırmalar ve buna bağlı oluşan iyileştirme oranlarının akışı Şekil 6.19–20 'de verilmiştir.



Şekil 6.19 Üretim ve hedef maliyet dağılımı

Bu maliyet ve verim grafikleri incelendiğinde; maliyet ve verimde en yüksek jenerasyonunun 0.02058 \$/kg maliyet ve % 52.90 verim oranı ile 153 'ncü jenerasyonda olduğu saptanmıştır. En düşük maliyet değişimi ise 0.02034 \$/kg maliyet ve % 52.54 verim ile 166 'ncı jenerasyonda olduğu görülmüştür.

Bu iki nesil arasında maliyetin değişim oranının % 2.95 ile 4.05 aralığında, verim değişim oranının ise % 7.25 ile 7.95 arasında değiştiği görülmüştür. İşletme açısından en uygun parametreler bu değerler arasında değerlendirilebilir.

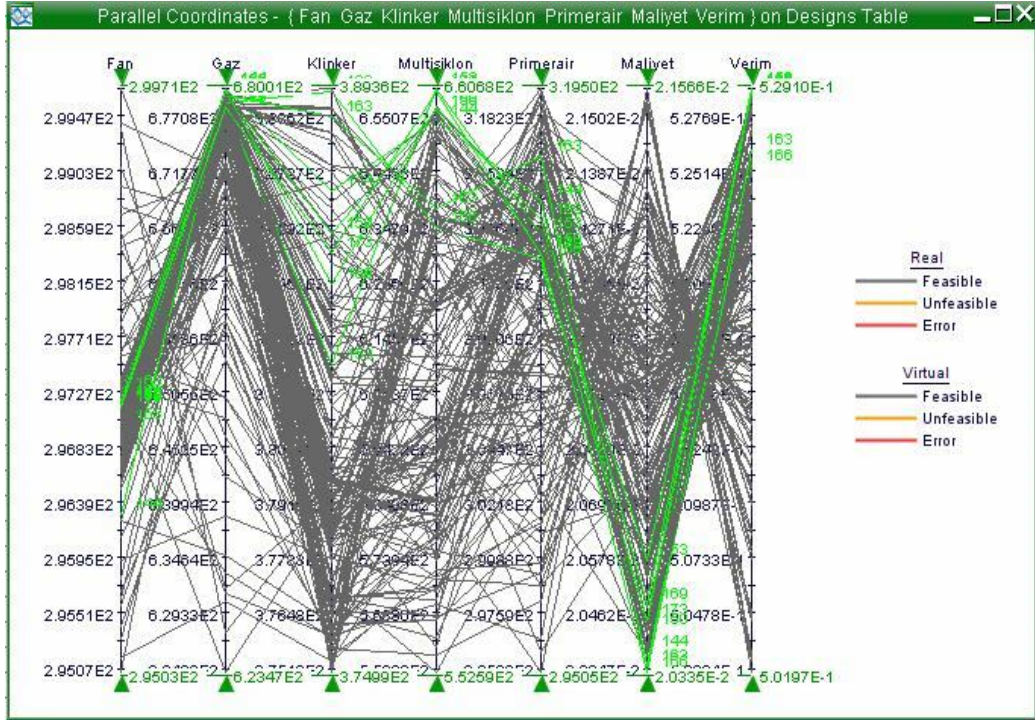


Şekil 6.20 Üretim ve hedef verim dağılımı

Geleneksel optimizasyon hesaplamalarında karar fonksiyonunda değişkenlerdeki sınırlamalar ve değişkenlere ait parametrelerdeki kısıtlamalar nedeniyle ulaşılan hedeflerde sabit sonuçlar yaratır. Oysa uygulamalarda daha geniş bir tercih ortamı yaratılabilir. Bu da sonuçlar üzerinde girdilere bağlı tercihler yapılmasıyla mümkün olur.

ModeFrontier programında bu yaklaşım girdiler ve hedefler arasında oluşturulan paralel koordinat grafiğinde mümkün olmaktadır. Şekil 6.21 'de tüm jenerasyonun paralel koordinatları verilmiştir.

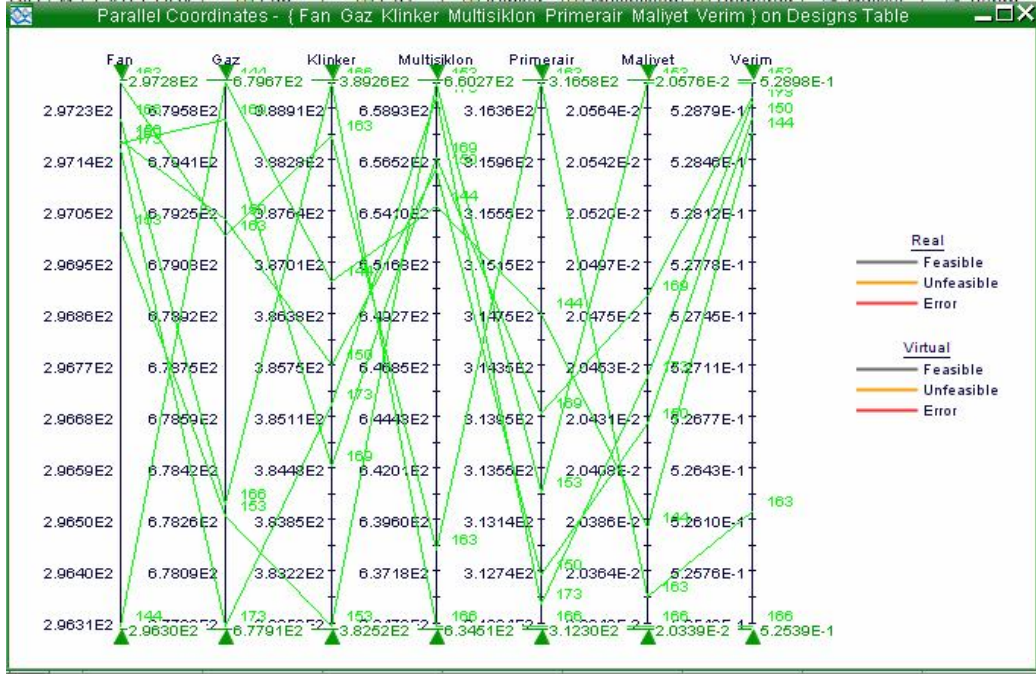
Bu grafikte 175 jenerasyonun her girdi ve hedef sonuçlar için akış eğrileri verilmektedir. Akış eğrileri üzerinde yer alan numaralar en iyi jenerasyonları tanımlamaktadır. Bu eğriler üzerinde en iyilerin parametrelerini değerlendirmek mümkün değildir.



Şekil 6.21 Girdi ve hedef parametrelerinin paralel koordinat grafiği

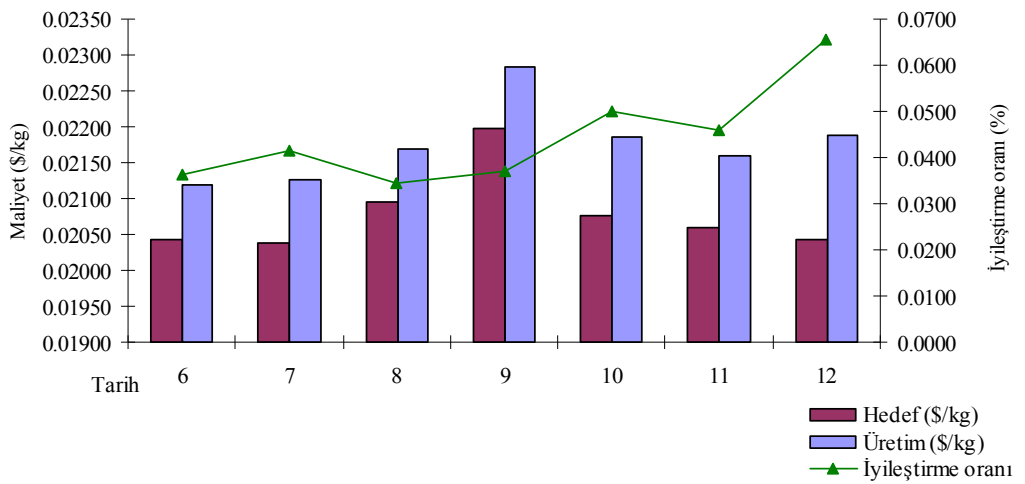
Tüm jenerasyonun paralel koordinatları sadece en iyilerin kalacağı şekilde sadeleştirilmiş ve en iyilerin paralel koordinat grafiği Şekil 6.22 'de verilmiştir. Her iyi nesil için girdi parametreleri ve hedef parametreleri arasında akış eğrileri görülebilir. Grafikte her nesilin kodu tanımlanmıştır. Girdiler ile hedeflerin isimlerinin yer aldığı çizgilerin her iki uç noktalarında hareketli oklar ile tercihlerimize en uygun nesil seçilebilir. Böylece optimizasyonda hem girdi hem de çıktı parametreleri kontrol edilebilir.

Bu çalışmada genetik algoritma ile optimizasyon çalışması yedi günlük tüm eksergoekonomik analiz sonuçlarına uygulanmıştır.



Şekil 6.22 En iyi nesillerin paralel koordinat grafiği

Bu çalışmalarda yukarıda anlatılan akış planı ve 06 Temmuz tarihine ait optimizasyon uygulaması takip edilmiştir.



Şekil 6.23 Ortalama üretim ve hedef maliyet dağılımı

Ancak yukarıda verilen 06 Temmuz tarihine ait optimizasyon uygulamasında mutasyon tipi parabol seçilmiştir. 07–12 Temmuz sonuçlarında mutasyon tipi olarak randam tipi seçilmiştir.

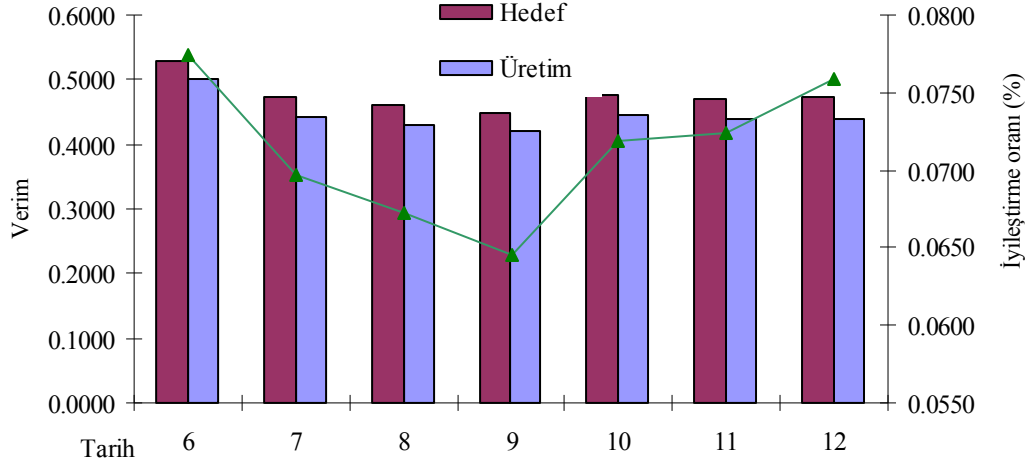
Çizelge 6.10 Ortalama maliyet ve verim iyileştirme oranları

ID	Hedef maliyet \$/kg	Üretim maliyeti \$/kg	Maliyet iyileştirme oranı	Hedef verim	Fırının verimi	Verim iyileştirme oranı
6	0.02043	0.02120	0.0363	0.5279	0.4997	0.0774
7	0.02038	0.02126	0.0416	0.4738	0.4430	0.0696
8	0.02095	0.02170	0.0345	0.4603	0.4313	0.0672
9	0.02198	0.02283	0.0372	0.4477	0.4206	0.0645
10	0.02076	0.02186	0.0500	0.4772	0.4451	0.0719
11	0.02059	0.02159	0.0459	0.4708	0.4388	0.0724
12	0.02044	0.02187	0.0654	0.4724	0.4391	0.0758
ort	0.02079	0.02176	0.0444	0.4757	0.4454	0.0713

07–12 Temmuz sonuçlarına bağlı yapılan genetik algoritma ile optimizasyon uygulamalarında döner fırının ekserjetik verimi ve klinker maliyetine ilişkin elde edilen sonuçlar EK L.1-30 'da verilen grafiklerde de görülebilir. Bu sonuçlara ait değerlendirmeler sonuç bölümünde ifade edilmiştir. Optimizasyon sonuçlarına göre her gün için elde edilen en iyi jenerasyonlar EK K.1-3 'de verilmiştir. Yedi günlük süreçte yapılan optimizasyon sonucunda ulaşılan ortalama hedef maliyet ve verim değerleri ise Çizelge 6.10 ve Şekil 6.23–24 'de verilmiştir.

Üretim hedef maliyet ve verim dağılımları incelendiğinde; hedef maliyette en iyi iyileştirme oranına 12 Temmuz verilerinde % 6.54 oranı ile ulaşıldığını, hedef

verimde ise en iyi iyileştirme oranına 06 Temmuz verilerinde % 7.74 oranı ile ulaşıldığı gözlenmiştir.



Şekil 6.24 Ortalama üretim ve hedef verim dağılımı

Yedi günün ortalaması ise hedef maliyetin % 4.44 iyileştirme oranıyla 0.0209 \$/kg maliyet ve hedef verimin % 7.13 iyileştirme oranıyla % 47.57 olduğu tespit edilmiştir.

7. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde; döner fırın prosesine yönelik yapılan enerji, ekserji, eksergoekonomik analiz ve genetik algoritma ile optimizasyon sonucu elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Bölümün sonunda ise tez çalışmasında ulaşılan hedefler anlatılmıştır. Değerlendirme bölümü; enerji ve ekserji analizleri, eksergonomik analizler, genetik algoritma ile optimizasyon olmak üzere üç ayrı başlıkta ele alınmıştır.

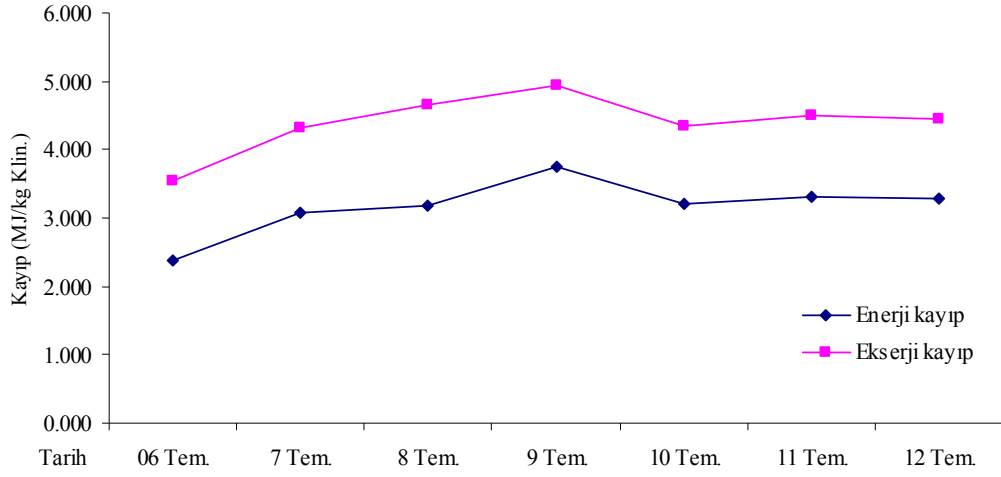
7.1 Enerji ve Ekserji Analizlerinin Değerlendirilmesi

Döner fırın bölümü bir bütün olarak değerlendirildiğinde, bölümün enerji verimi günlük ortalamalarda % 55.2 ile % 65.7 aralığında bulunmuş, yedi günlük ortalama ise % 58.79 olarak hesaplanmıştır.

Bölümün ekserji verimi; günlük ortalamalara bağlı olarak % 42.6 ile % 50.4 aralığında saptanmış ve yedi günlük çalışma verilerine göre, ortalama ekserji verimi % 44.8 olarak hesaplanmıştır.

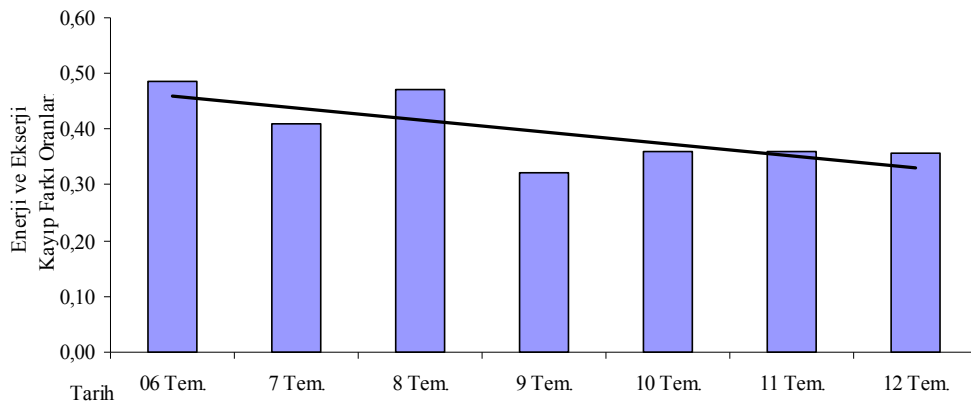
Enerji ve ekserji analiz sonuçlarının bir başka değerlendirme ölçütü, kayıpların değerlendirilmesi olarak düşünülebilir. Özellikle her iki analiz arasındaki değerlendirmenin sağlıklı yapılabilmesinde, kayıpların ifade ettiği potansiyelin tanımlanması önemlidir. Ekserjetik kayıplar, sistemlerin verimsizliğinin değerlendirilmesinde bir başka yaklaşım olarak kabul edilebilir. Gerçek kayıpların açıklanmasına yönelik olarak, enerjinin nicel ve nitel kayıpları arasında bir değerlendirme yapılması, sistemlerin verimsizliklerinin değerlendirilmesinde önemli bir parametre olabilir. Bu çalışmada kayıplara yönelik elde edilen sonuçlar, yukarıda ifade edilen yaklaşımı desteklemektedir. Döner fırın bölümünde üretilen birim

klinker başına enerji akışı ile nicel olarak tüketilen kayıplar ve ekserjetik akışla fırında oluşan ekserji kayıpları, Şekil 7.1 'de verilmiştir.



Şekil 7.1 Enerji ve ekserji kayıplarının dağılımı

Çimento sektöründe fabrikaların yaptırdıkları analizlerin pek çoğunun enerji analizleri olduğu görülmüştür.



Şekil 7.2 Kayıpların değişim oranı

Kayıp ve verimsizlik değerlendirmelerinde sistemlerin enerji analizlerini dikkate almaları gerçek verimsizlikler açısından önemli sapmalar yaratacağı değerlendirilmiştir.

Sistemlerdeki bu yanılığı, bu çalışmada da ele alınmış ve nicel ve nitel kayıpların değişim oranları yüzdesi Şekil 7.2 'de verilmiştir. Kayıpların değişim oranları incelendiğinde nitel kayıpların nicel kayıplara oranla % 30 ile % 50 oranında daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bölümün ekserjetik veriminin yükseltilmesi kayıpların azaltılması ile gerçekleşir ki bu da imento fabrikası için hem enerji tasarrufu hem de maliyetlerde tasarruf anlamına gelir. Oluşan ısı kayıpların sisteme tekrar kazandırılması ve döner fırın verimini yükseltmek için aşağıda bazı değerlendirmeler yapılmıştır.

Çimento retim hattının enerji ve ekserji verimliliği açısından en verimli bölüm n ısıtıcı siklonlardır. Siklonlarda farin akışı ile gaz akışı arasında siklonların yapısından dolayı zıt yönde türbülanslı akışlar oluşur. Bu akışların ve ürün emme basınçlarındaki dengesizliğin siklonlarda kayıpların oluşmasına neden olduğu değerlendirilmiştir.

n ısıtıcı siklonların farin çıkış noktalarında emme basınç kayıpları kemer oluşumundan da kaynaklanabilir. Özellikle türbülanslı akışın yarattığı savurma etkisi ile farinin bir kısmı siklonun dar çıkış noktasında yüzeyle yapışır. Bu yapışma yüzeyde toplanmalara dolayısı ile basınç ve enerji kayıplarının artmasına neden olur. Kemer oluşumuna karşı fabrikalarda farin akışı düzenli takip edilmelidir.

Ayrıca siklonlardan intikale kadar her ayrı siklonda dikkate değer sızıntı hava girişleri mevcuttur. Siklonlarda oluşan kayıpların en önemli nedenin sızıntı hava girişi olduğu değerlendirilmiştir. Sızıntı hava, gaz ısısının farine geçişinde kayıplara neden olur. Sızıntı hava girişinin olabileceği noktalar, siklon ile boru bağlantıları arasındaki noktalardır.

Siklonun cidar yapısını oluşturan katmanlar, içeriden dışarıya doğru, ateş tuğlası, izoleli tuğla, sac ve dış kaplama sacıdır. Siklonların bu cidar yapısında

izolasyon kalınlığı ve yeterliliği, malzeme ömrü ve özelliği değerlendirilememiştir. Enerji tasarrufu açısından yapılacak iyileştirme çalışmasında izolasyon yapısı ve türü değerlendirilmelidir.

Isıl kayıpların azaltılması ve fırın veriminin yükseltilmesi için fırına giren maddelerin sıcaklık ve kütle miktarları kontrol edilmelidir. Bu nedenle döner fırına giren yakıtın nem oranı, taşıyıcı hava sıcaklığı ve özellikle sekonder hava sıcaklığı fırın iç sıcaklığının kontrolü açısından çok önemlidir. Ayrıca sızıntı hava miktarı burada da önem kazanmıştır. Sızıntı hava girişinin özellikle döner fırın yakıcılarının olduğu bölümde gerçekleştiği değerlendirilmiştir. Bu bölümde oluşan girişlerin kapatılması için yakıcı çevresi izole edilmelidir.

Kömür tüketiminin yüksek olduğu fırın sisteminde, yakıt debisine bağlı yakma hava miktarı da yüksektir. Gereğinden fazla yakma havası kullanımı, sistemdeki basınç kayıplarını ve fırın çıkış gaz duyulur ısı kaybını arttırdığı değerlendirilmiştir. Diğer yandan, yakıtı bağlı özgül ısı tüketimi düşükçe gereken yakma havası miktarının da azalacağı açıktır. Dolayısıyla fırın çıkışında elde edilecek klinker için, asgari seviyede fırın sıcaklığı sağlayarak özgül ısı kapasitesini düşürmek, yakma hava miktarını düşürdüğu gibi yakıt tüketimini de düşürecektir. Bunun yanında sekonder hava miktarını düşürecek ve hava debisine bağlı sekonder sıcaklığını arttıracaktır. Burada bir başka parametre primer hava akışıdır. Primer hava sıcaklığının yükseltilmesi de özgül ısı kapasitesini etkileyecek ve yakıt tüketiminin azalmasına neden olacak önemli bir parametredir. Bu önlemlerin alınması durumunda fırın veriminin artacağı değerlendirilmiştir.

Döner fırından çıkan 1150–1550 °C sıcaklığına sahip klinkerin sıcaklığını 100 – 120 °C sıcaklığına düşürmek için kullanılan soğutucu ünitesinde, soğutma sonucu ortaya sıcak gaz çıkmaktadır. Çıkan gazın bir kısmı, sekonder hava olarak fırına, bir kısmı ısı kaynağı olarak kullanılmak üzere tras değerirmenine, kalan bölümü ise multi-siklon bacasına gönderilir. Bacadan atılan bu atık enerjiden istifade etmek amacıyla baca hattı üzerine kurulan reküperatör sistemi ile fabrikada, idari binalar ve lojmanların ısıtma ihtiyacı

karşılanmaktadır. Fakat yinede sistemde ciddi oranlarda atık enerji mevcuttur. Bu enerjilerden istifade edilmesi ile dolaylı olarak bölümün veriminin yükseltilmesi sağlanabilir.

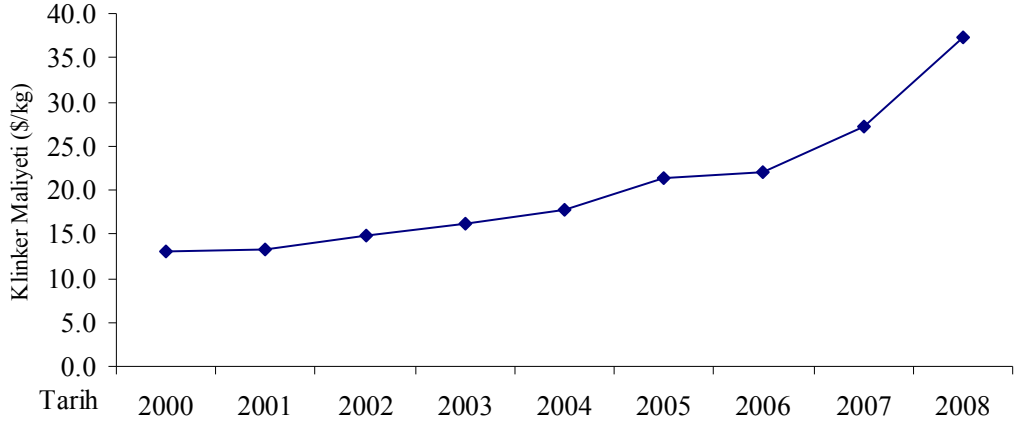
Soğutucu ısı veriminin en önemli parametreleri, sekonder hava sıcaklığı ve sıcak klinker ısıısının geri kazanılabilme oranıdır. Soğutucu ünite de klinker ısıısından geri kazanılan ve fırına gönderilen sıcak hava debisinin veya sıcaklığının artması sistemin veriminin artışıını olumlu etkileyecektir.

Döner fırın bölümünün enerji ve ekserji analiz sonuçlarına göre bölümde yüksek miktarda kayıpların olduğu hesaplanmıştır. Bu kayıpların yukarıda üniteler incelenirken ele alınan nedenlerden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Bu kayıplara başta sisteme giren sızıntı hava, soğutucudan gelen sekonder ve multi siklonlara giden havanın sıcaklık ve debileri, döner fırın mantosunda oluşan kayıplar neden olmaktadır. Bölümü oluşturan üniteleri birbirine bağlayan hatlardaki kayıplar ise, sistemin bütünü değerlendirildiğinde ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bölümün bağlantılarını oluşturan boru hatlarında yalıtım özellikleri de gözden geçirilmelidir.

7.2 Eksergoekonomik Analizlerin Değerlendirilmesi

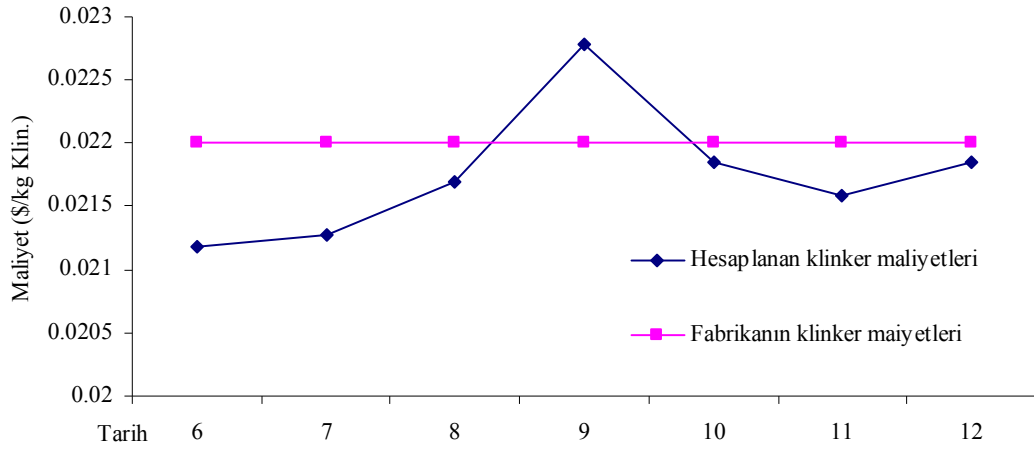
Çimentonun üretim sistemi gibi ısı akışa sahip endüstriyel üretim prosesleri için tezde önerilen eksergoekonomik analizin sonuçları oldukça memnuniyet vericidir.

Özellikle üretilen ürün maliyetini hedefleyen bu yaklaşımda sonuçların değerlendirilmesi, ürünün maliyeti ile analiz sonucu elde edilen maliyetlerin karşılaştırılması ile anlam kazanır. Analizler sonucu bulunan değerler fabrikanın üretim maliyetleri ile karşılaştırılmıştır. Fabrikadan günlük maliyet verileri ulaşılamamış, ancak yıllık ortalama maliyetleri alınabilmektedir. Bu maliyetlerin yıllara göre dağılımı Şekil 7.3 'de verilmiştir.



Şekil 7.3 2000–2008 yılları yıllık ortalama klinker maliyetleri

Şekilde de görüleceği gibi çalışma yapılan 2006 yılının yıllık ortalama klinker maliyeti 22 \$/kg 'dır. Analizlerde bulunan klinker maliyetleri ortalama maliyet ile karşılaştırılmış ve bu verilere göre oluşturulan grafik Şekil 7.4 'de verilmiştir.



Şekil 7.4 Klinker maliyet karşılaştırması

Bulunan klinker maliyetlerinin yıllık ortalamadan 6 gün için % 0.67 ile % 3.71 oranında bir sapma ile 0.022 \$/kg 'ın altında kaldığı bir gün için ise % 3.55 oranında bir sapma ile 0.22 \$/kg 'ın üstünde kaldığı hesaplanmıştır.

Eksergoekonomik analizlere göre yedi günlük ortalama ekserjetik ürün maliyeti 0.0217 \$/kg olarak hesaplanmıştır. Fabrika maliyeti ile karşılaştırıldığında iki değer arasında % 1.16 'lık bir fark bulunmaktadır.

Eksergoekonomik analizlerle verimsizliğin değerlendirmeleri yapılabildiği gibi, ürün maliyetinin azaltılmasında termodinamik parametrelerin etkileri de değerlendirilebilir. Bu açıdan döner fırın değerlendirildiğinde fırına giren ve çıkan ürünlerin sıcaklıklarının önemli olduğu ve bunlardan özellikle klinkerin, sistemden çıkan gazın, fırına yakıtla birlikte giren primer, sekonder, taşıyıcı ve sızıntı havaların sıcaklıkları sayılabilir. Sistemden maksimum verimin alınabilmesi için bu parametrelerde optimum çalışma sıcaklıklarının belirlenmesi gerekir.

Eksergoekonomik analizler verimsizliğin bir başka değerlendirme parametresi kayıpların maliyete etkilerinin değerlendirilmesidir. Döner fırın sisteminde bölüme giren ve çıkan ekserjetik maliyetler incelendiğinde; yedi günlük verilere göre sistemdeki ekserjetik kayıp 0.324\$/kg 'dır. Bu birim klinker başına önemli bir kayıptır. Sistemin ekserjetik veriminde yapılacak iyileştirmeler bu maliyetin azalmasına neden olacaktır.

Bu çalışmada eksergoekonomik analizlerde ürün maliyetinin yakalanmasında en önemli parametre ürün sıcaklık faktörüdür. Bu parametre her ürün açısından sıcaklık parametrelerine bağlıdır. Optimum ürün sıcaklıkları bu faktörü etkileyecektir. Bu tür maliyet hesaplamalarında, ürün sıcaklıklarında stabilitenin sağlanması sonuçlar açısından önemlidir. Bu değerlendirme ile beraber bölümün bulunduğu ortam sıcaklığının etkileri de bu analizlerle ortaya çıkmıştır.

7.3 Genetik Algoritma ile Optimizasyonun Değerlendirilmesi

Eksergoekonomik analiz sonuçlarına göre döner fırın bölümünün ekserji verimini yükseltmesi, ürün maliyetlerinin azaltılması amacıyla optimizasyon çalışmalarında öncelikle doğrusal optimizasyon yöntemleri araştırılmıştır. Bu amaçla karar fonksiyonları oluşturulmuştur. Aşağıda bu amaçla oluşturulmuş bir karar fonksiyonu görülmektedir.

$$\text{Min } c_p(x) = c_F \left(\frac{a \cdot C_{YA}}{C_{i\text{şşl}} \cdot \eta_{II}(x)} \right) + \sum_{i=1}^n c_{in} \left(\frac{\sum_{i=1}^n e_{in} \cdot a}{e_{pr} \cdot \eta_{II}(x)} \right) \quad (7.1)$$

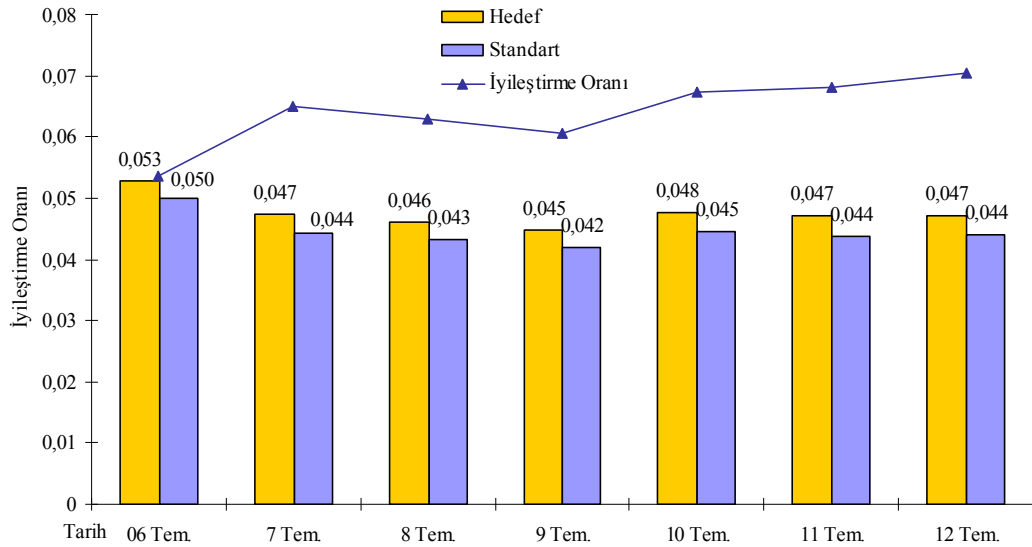
Bu fonksiyonda ekserji verimi değişken kabul edilmiştir. Benzer bütün çalışmalarda bu tür amaçla karar fonksiyonları oluşturulmuştur. Ancak döner fırın gibi verimi etkileyen pek çok parametrenin olduğu sistemlerde verimliliği ve maliyeti tek bir parametreye bağlı olarak tanımlamak, uygulamada çok sağlıklı sonuçlar vermeyeceği değerlendirilmiştir. Yapay zeka teknikleri bu tür problemlerin çözümlemelerinde oldukça kolay hareket ortamı yaratmaktadır.

Döner fırın bölümünde sistemin ekserjetik verimini doğrudan etkileyen beş parametre belirlenmiş ve optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritma kullanılmıştır. Genetik algoritmalar, oluşturdukları yeni nesiller ile çözüm uzayında analistlere birden fazla tercih parametreleri yaratırlar. Böylece en iyi popülasyonun oluşturulması için proste uygulanabilir parametrelere sahip nesiller arasında hareket kolaylığı sağlarlar. Bu döner fırın bölümünün optimizasyonunda da görülebilir.

Bu çalışmada tercih edilen ARMOGA genetik algoritma yöntemi, döner fırın gibi termal sistemlerin çözüm uzayının oluşturulmasında rahatlıkla kullanılabilir. Çalışmada kullanılan mode Frontier programının genetik algoritma ara yüzünde excel tabanını desteklemesi de ayrı bir avantaj durum olarak değerlendirilmiştir. Bu avantaj durum, yeni karar fonksiyonları türetmek yerine analizde kullanılan ekserjetik verim ve eksergoekonomik analiz bağıntılarını bir tür karar fonksiyonları olarak değerlendirmesidir. Böylece belirlenen değişkenlerin etkileri bu

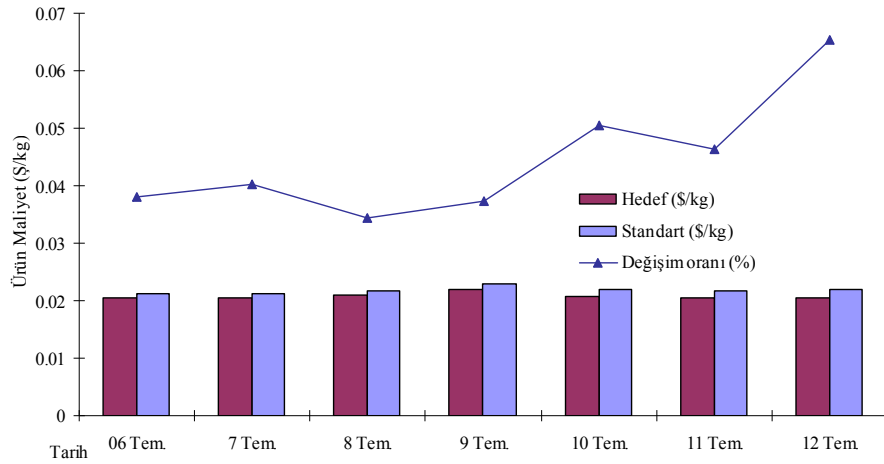
fonksiyonlarla hesaplanabilir. Bu çalışmada incelenen elde edilen döner fırın sisteminin genetik algoritma ile optimizasyonu sonuçları bu değerlendirmeleri desteklemektedir.

Döner fırın bölümünün genetik algoritma ile optimizasyonunda; her gün için 175 iterasyon sayısına bağlı olarak elde edilen çözüm uzaylarında en iyilerin ortalamaları alınmış ve bu yedi günün ortalama sonuçlarına göre, hedef maliyet ve verim ortalama sonucu elde edilmiştir. Yedi günün ortalama hedef maliyeti % 4.44 iyileştirme oranıyla 0.0209 \$/kg, ortalama hedef verimi ise, % 7.13 iyileştirme oranıyla % 47.57 olarak hesaplanmıştır. Klinker maliyeti ve döner fırın bölümünün verimindeki iyileştirme oranları Şekil 7.5–6 'da verilmiştir.



Şekil 7.5 Hedef ve standart ekserjetik verim

Genetik algoritma sonuçlarına göre hedef maliyet ve verim dağılımları incelendiğinde seçilen karar değişkenlerinin etkileri görülmektedir. Bu parametrelerde en önemli değişkenin primer hava ile döner fırını terk eden gazın olduğu görülmüştür.



Şekil 7.6 Hedef ve standart maliyet

Döner fırını terk eden gaz sıcaklığının kontrolü sistemdeki diğer ürün sıcaklıklarının kontrolüne bağlı olarak fan kontrolleri ile yapılabilir.

Döner fırın ünitesinin yakıcı bölümü ile sisteme verilen primer havanın sıcaklığının yükseltilmesi yakıt tüketimi açısından da önemlidir. Döner fırın sisteminde, soğutma hattından elde edilen sıcak gazın bir bölümü, bir hava ısıtma eşanjörü yardımıyla primer havanın ısıtılmasında kullanılabilir. Böylece hem ısı geri kazanımı sağlanır, hem de yakıt tasarrufu elde edilmiş olur.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir çimento fabrikasının döner fırın bölümünün eksergoekonomik analizleri ve optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmada ulaşılan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- a. Enerji tüketiminin bu kadar yoğun olduğu çimento sektöründe, sürdürülebilir enerji yaklaşımı ile gereksinimi olan enerjinin en az finansmanla, en az çevresel ve sosyal maliyetle ve sürekli olarak teminine olanak sağlayan politikaların oluşturulması için öncelikle etkin bir enerji yönetimi oluşturulmalıdır.
- b. Enerji yönetimleri tarafından verimlilik analizleri, termodinamiğin ikinci yasasına göre yapılmalıdır. Çimento fabrikalarında enerji verimliliğinin artırılması, enerji tasarruf potansiyelinin belirlenmesi, üretim teknolojisinin geliştirilmesi ve güncelleştirilmesi gibi çalışmaların yapılması, enerji maliyetlerinin yüksek olduğu bu sektörlerde önemli oranda mali ve enerji tasarrufu sağlayacağı kaçınılmazdır.
- c. Üretilen klinker ve çimento gibi ara ve ana ürün maliyetlerinin hesaplanmasında genelde kullanılan maliyet muhasebesi yöntemlerinden farklı olarak, bu çalışmada önerilen eksergoekonomik analiz yönteminin de rahatlıkla kullanılabilceği görülmüştür. Bu yöntemde, enerjinin ve verimliliğin ürün maliyetlerine olan etkisi, daha net biçimde görülebilecektir. Ayrıca verimlilik analizlerinde tasarruf potansiyellerine bağlı geri dönüşümün ürün maliyetlerine olan etkileri de daha iyi değerlendirilebilecektir.
- d. Önerilen PRECO eksergoekonomik analiz yöntemi, bu tür ısı sistemlerinde kayıpların maliyetini de değerlendirme fırsatı yaratmaktadır. İyileştirme çalışmalarında verimsizliğin giderilme oranına bağlı olarak kayıpların maliyetinde sağlanabilecek azaltılma oranları da belirlenebilecektir.
- e. Uygulama alanı hızla yayılan genetik algoritma ile optimizasyon tekniklerinin bu tür eksergoekonomik analizlerde de rahatlıkla kullanılabilceği görülmüştür.
- f. Çalışmada kullanılan (ARMOGA genetik algoritma yönteminin, bu tür karmaşık enerji problemlerin çözümünde de rahatlıkla kullanılabilceği görülmüştür.

g. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, bu tür yoğun enerji tüketen sistemlerde enerjiye bağlı maliyetlerin hesaplanması yanında kayıp maliyetlerinin belirlenmesine yönelik yaklaşımlar geliştirilmeli ve kayıpların optimizasyonu değerlendirilmelidir. Bu tür incelemeler özellikle sistemlerde verimsizlik nedeniyle maliyet artışlarının olduğu bölümlere odaklanılmasını sağlayacaktır.

h. Günümüzde bu tür sistemlerin küresel ısınma ve çevresel parametreler üzerindeki etkileri bir çok boyutta ele alınmaktadır. Yapılacak çalışmalarda bu ve benzeri sistemlerin çevreyi etkileme parametreleri, verim ve maliyet değişimlerinde çevresel değişimler incenebilir.

1. Önerilen Preco eksergoekonomik analiz yöntemi ile genetik optimizasyon yöntemlerinin benzer sektörlerde de uygulamaları yapılmalıdır.

Rekabet koşullarının yoğun yaşandığı piyasa ekonomilerinde, sanayi kuruluşlarının varlıklarını devam ettirebilmeleri, enerji girdilerinde süreklilik, kalite, verimli üretim ve düşük maliyetin sağlanması ile gerçekleşebilir. Sonuç olarak; bu çalışmada ileri sürülen analiz ve optimizasyona yönelik yaklaşımlar, sürdürülebilir enerji yaklaşımı ile gereksinimi olan enerjinin en az finansmanla, en az çevresel ve sosyal maliyetle ve sürekli olarak teminine olanak sağlayan politikaların oluşturulmasında çok yararlı katkılar sağlayacaktır.

EKLER

Çizelge A-1 Kalsinasyon gazları ve kızdırma kayıpları(KK)

EK-A

Ünite	KK	\dot{m} (kg/h)	Kütle kaybı (kg/h)	KK	\dot{m} (kg/h)	Kütle kaybı (kg/h)
06.Tem.06				07.Tem.06		
Farin	0.400	69 750		0.330	69 790	
C1A-C1B	0.381	68 430.41	1 319.59	0.314	68 700.71	1 089.29
C2	0.369	67 631.43	798.97	0.305	68 038.96	661.75
C3	0.339	65 554.97	2 076.47	0.279	66 315.55	1 723.41
C4	0.277	61 522.45	4 032.52	0.229	62 950.12	3 365.42
İntikal	0.175	55 243.83	6 278.62	0.144	57 650.06	5 300.06
Fırın	0.002	45 688.14	9 555.69	0.002	49 423.24	8 226.82
Soğutucu	0.000	42 403.81	3 284.33	0.000	42 333	7 090.24
08.Tem.06				09.Tem.06		
Farin	0.330	67 540		0.340	61 710	
C1A-C1B	0.314	66 485.83	1 054.17	0.324	60 717.64	992.36
C2	0.305	65 845.41	640.42	0.314	60 115.05	602.58
C3	0.279	64 177.56	1 667.85	0.288	58 546.21	1 568.84
C4	0.229	60 920.64	3 256.92	0.236	55 485.04	3 061.18
İntikal	0.144	55 791.45	5 129.19	0.149	50 671.94	4 813.10
Fırın	0.002	47 829.86	7 961.59	0.002	43 221.79	7 450.14
Soğutucu	0.000	41 042	6 787.86	0.000	37 458.33	5 763.46
10.Tem.06				11.Tem.06		
Farin	0.340	66 210		0.340	67 500	
C1A-C1B	0.324	65145.27	1 064.73	0.324	66 414.53	1 085.47
C2	0.314	64498.75	646.52	0.314	65 755.41	659.12
C3	0.288	62815.51	1 683.24	0.288	64 039.37	1 716.04
C4	0.236	59531.1	3 284.40	0.236	60 690.98	3 348.39
İntikal	0.149	54367.02	5 164.08	0.149	55 426.28	5 264.70
Fırın	0.002	46373.6	7 993.42	0.002	47 277.12	8 149.16
Soğutucu	0.000	40250	6 123.60	0.000	40 958	6 319.12
12.Tem.06						
Farin	0.400	68 250				
C1A-C1B	0.381	66 958.78	1 291.22			
C2	0.369	66 176.99	781.79			
C3	0.339	64 145.18	2 031.81			
C4	0.277	60 199.39	3 945.80			
İntikal	0.175	54 055.8	6 143.59			
Fırın	0.002	44 705.6	9 350.19			
Soğutucu	0.000	41 416.67	3 288.93			

Çizelge B-1 Ön ısıtıcı siklonlara giren maddelerin kütesel debileri

	GİREN MADDELER (kg/h)						ÇIKAN MADDELER (kg/h)					
		C1A-C1B	C2	C3	C4	İNTİKAL		C1A-C1B	C2	C3	C4	İNTİKAL
06. Tem	Farin	69 750	65 083.937	64 371.617	62 272.617	58 245.771	Farin	65 083.937	64 371.617	62 272.617	58 245.771	52051.272
	Gaz	1 169 86.3	112 950.94	108 023.89	103 010.86	97 881.229	Gaz	126 469.26	116 986.3	112 950.94	108 023.89	103010.86
	Toz	9 245.17	8 840.83	8 428.16	8 075.20	5 767.24	Toz	9 575.67	9 245.17	8 840.83	8 428.16	8075.20
	Sızıntı hava	5 147.397	3 727.38	3 240.72	1 339.14	1 243.09	TOPLAM	201 128.87	190 603.09	184 064.38	174 697.82	163137.34
	TOPLAM	201 128.87	190 603.09	184 064.38	174 697.82	163 137.34						
07. Tem	Farin	69 790	65 396.693	64 805.644	63 063.595	59 701.964	Farin	65 396.693	64 805.644	63 063.595	59 701.964	54468.6
	Gaz	120 497.77	116 479.28	111 776.65	107 308.83	103 610.68	Gaz	129 769.81	120 497.77	116 479.28	111 776.65	107308.83
	Toz	7 872.94	7 555.08	7 253.10	7 003.14	4 193.75	Toz	8 144.55	7 872.94	7 555.08	7 253.10	7003.14
	Sızıntı hava	5 150.349	3 745.29	3 262.57	1 356.15	1 274.17	TOPLAM	203 311.06	193 176.35	187 097.96	178 731.71	168780.57
	TOPLAM	203 311.06	193 176.35	187 097.96	178 731.71	168 780.57						
08. Tem	Farin	67 540	63 181.811	62 612.097	60 925.609	57 672.479	Farin	63 181.811	62 612.097	60 925.609	57 672.479	52609.986
	Gaz	119 084.33	115 164.02	110 461.53	106 132.68	102 016.41	Gaz	128 203.53	119 084.33	115 164.02	110 461.53	106132.68
	Toz	6 559.51	6 291.67	6 045.11	5 810.65	3 633.57	Toz	6 782.81	6 559.51	6 291.67	6 045.11	5810.65
	Sızıntı hava	4 984.3039	3 618.45	3 262.57	1 310.17	1 230.86	TOPLAM	198 168.15	188 255.94	182 381.30	174 179.11	164553.31
	TOPLAM	198 168.15	188 255.94	182 381.30	174 179.11	164 553.31						
09. Tem	Farin	61 710	57 413.619	56 881.744	55 294.262	52 236.88	Farin	57 413.619	56 881.744	55 294.262	52 236.88	47490.474
	Gaz	112 421.21	108 841.73	104 619.51	100 600.45	96 608.23	Gaz	121 067.77	112 421.21	108 841.73	104 619.51	100600.45
	Toz	6 199.41	5 958.92	5 730.00	5 502.61	3 633.57	Toz	6 403.29	6 199.41	5 958.92	5 730.00	5502.61
	Sızıntı hava	4 554.0627	3 288.10	2 863.65	1 189.08	1 114.85	TOPLAM	184 884.68	175 502.36	170 094.91	162 586.40	153593.53
	TOPLAM	184 884.68	175 502.36	170 094.91	162 586.40	153 593.53						
10. Tem	Farin	66 210	61 841.254	61 265.438	59 563.554	56 282.945	Farin	61 841.254	61 265.438	59 563.554	56 282.945	51185.559
	Gaz	116 317.7	112 458.76	107 919.4	103 585.35	9 9592.2	Gaz	125 352.8	116 317.7	112 458.76	107 919.4	103585.35
	Toz	6 405.43	6 146.87	5 900.01	5 672.57	3 367.13	Toz	6 625.22	6 405.43	6 146.87	5 900.01	5672.57
	Sızıntı hava	4 886.1528	3 541.67	3 084.34	1 280.88	1 201.20	TOPLAM	193 819.28	183 988.56	178 169.19	170 102.36	160443.48
	TOPLAM	193 819.28	183 988.56	178 169.19	170 102.36	160 443.48						
11. Tem	Farin	67 500	63 110.51	62 522.097	60 787.417	57 442.817	Farin	63 110.51	62 522.097	60 787.417	57 442.817	52244.817
	Gaz	120 002.32	116 063.32	111 432.17	107 023.14	102 760.71	Gaz	129 148.8	120 002.32	116 063.32	111 432.17	107023.14
	Toz	6 610.73	6 346.95	6 095.82	5 853.04	3 691.52	Toz	6 835.09	6 610.73	6 346.95	6 095.82	5853.04
	Sızıntı hava	4 981.352	3 614.36	3 147.60	1 307.20	1 225.95	TOPLAM	199 094.40	189 135.15	183 197.69	174 970.81	165121.01
	TOPLAM	199 094.40	189 135.15	183 197.69	174 970.81	165 121.01						
12. Tem	Farin	68 250	63 612.316	62 917.177	60862.832	56 922.707	Farin	63 612.316	62 917.177	60 862.832	56 922.707	50863.233
	Gaz	121 497.02	117 440.15	112 500.08	107553.12	102 251.23	Gaz	130 940.33	121 497.02	117 440.15	112 500.08	107553.12
	Toz	6 689.16	6 407.78	6 126.01	5824.03	3 851.59	Toz	6 920.23	6 689.16	6 407.78	6 126.01	5824.03
	Sızıntı hava	5 036.7003	3 643.10	3 167.49	1308.82	1 214.85	TOPLAM	201 472.87	191 103.35	184 710.77	175 548.80	164240.38
	TOPLAM	201 472.87	191 103.35	184 710.77	175548.80	164 240.38						

Çizelge C.1 Ön ısıtıcı siklonların enerji analizi

EK-C

06 Temmuz 2006										
Kısım	Giren madde	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
CIA - C1B Siklon	Farin	331	0.84	69 750	19 393.29	Farin	631	1.02	65 083.9	41 889.32
	Gaz	829	1.274	116 986.3	123 554.61	Gaz	627	1.164	126 469.3	92 300.801
	Toz	829	1.12	9 245.17	8 583.96	Toz	627	1.02	9575.7	6 124.03
	Sızıntı hava	295	1.05	5 147.40	1 594.41	Isı kaybı				12 812.11
	Toplam			201 128.9	153 126.26	Toplam			201 128.9	153 126.26
C2 Siklon	Farin	631	1.02	65 083.94	41 889.32	Farin	843	1.09	64 371.62	59 149.148
	Gaz	982	1.27	112 950.9	140 865.64	Gaz	829	1.274	116 986.3	123 554.61
	Toz	982	1.19	8 840.83	10 331.21	Toz	829	1.12	9 245.17	8 583.9579
	Sızıntı hava	295	1.05	3 727.38	1 154.56	Isı kaybı				2 953.02
	Toplam			190 603.1	194 240.73	Toplam			190 603.1	194 240.73
C3 Siklon	Farin	843	1.09	64 371.62	59 149.148	Farin	995	1.14	62 272.62	70 635.829
	Gaz	1101	1.302	108 023.9	154 852.46	Gaz	982	1.27	112 950.9	140 865.64
	Toz	1101	1.25	8 428.16	11 599.26	Toz	982	1.19	8 840.83	10 331.211
	Sızıntı hava	295	1.05	3 240.72	1 003.81	Isı kaybı				4 771.99
	Toplam			184 064.4	226 604.68	Toplam			184 064.4	226 604.68
C4 Siklon	Farin	995	1.14	62 272.62	70 635.83	Farin	1093	1.16	58 245.78	73 848.648
	Gaz	1301	1.35	103 010.9	180 923.13	Gaz	1101	1.302	108 023	154 852.46
	Toz	1301	1.34	8 075.2	14 077.82	Toz	1101	1.25	8 428.15	11 599.26
	Sızıntı hava	295	1.05	1 339.14	414.8	Isı kaybı				25 751.21
	Toplam			174 697.8	266 051.58	Toplam			174 697.8	266 051.58
İntikal	Farin	1093	1.16	58 245.77	73 848.65	Farin	1393	1.24	52 051.27	89 909.2
	Gaz	1586	1.417	97 881.23	219 974.55	Gaz	1301	1.35	103 010.7	180 923.13
	Toz	1586	1.46	5 767.24	13 354.4	Toz	1301	1.339	8 075.2	14 070.726
	Sızıntı hava	295	1.05	1 243.09	385.05	Isı kaybı				22 659.59
	Toplam			163 137.3	307 562.65	Toplam			163 137.3	307 562.65
Tüm siklon.	Farin	331	0.84	69 750	15 909.47	Farin	1093	1.16	58 245.77	73 848.65
	Gaz	1301	1.35	97 881.23	163 144.85	Gaz	627	1.164	122 840.1	89 652.141
	Toz	1301	1.34	5 767.244	10 054.27	Toz	627	1.02	5 767.24	4 770.17
	Sızıntı hava	295	1.05	13 454.64	4 167.57	Isı kaybı				25 005.2
	Toplam			186 853.1	193 276.16	Toplam			186 853.1	193 276.16

Çizelge C.2 Ön ısıtıcı siklonların enerji analizi

EK-C

07 Temmuz 2006										
Kısım	Giren madde	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
C1A - C1B Siklon	Farin	329	0.842	69 790	19 333.09	Farin	703	1.05	65 396.69	48 272.57
	Gaz	821	1.277	120 497.77	126 331.91	Gaz	623	1.163	129 769.81	94 024.59
	Toz	821	1.122	7 872.94	7 252.25	Toz	623	1.021	8 144.55	5 180.61
	Sızıntı hava	295	1.05	5 150.35	1 595.32	Isı kaybı				7 034.80
	Toplam			203 311.06	154 512.57	Toplam			201 128.87	154 512.57
C2 Siklon	Farin	703	1.05	65 396.69	48 272.57	Farin	839	1.094	64 805.64	59 482.897
	Gaz	977	1.268	116 479.28	144 298.73	Gaz	821	1.277	120 497.77	126 331.91
	Toz	977	1.195	7 555.08	8 820.67	Toz	821	1.122	7 872.94	7 252.25
	Sızıntı hava	295	1.05	3 745.29	1160.1	Isı kaybı				9 485.02
	Toplam			193 176.35	202 552.08	Toplam			193 176.35	202 552.08
C3 Siklon	Farin	839	1.094	64 805.64	59 482.9	Farin	994	1.14	63 063.6	71 461.14
	Gaz	1100	1.302	111 776.65	160 086.52	Gaz	977	1.268	116 479.28	144 298.73
	Toz	1100	1.251	7 253.1	9 980.99	Toz	977	1.195	7 555.08	8 820.67
	Sızıntı hava	295	1.05	3 262.57	1 010.58	Isı kaybı				5 980.44
	Toplam			187 097.96	230 560.99	Toplam			187 097.96	230 560.99
C4 Siklon	Farin	994	1.14	63 063.6	71 461.14	Farin	1058	1.158	59 701.96	73 144.7
	Gaz	1280	1.345	107 308.83	184 742.88	Gaz	1100	1.302	111 776.65	160 086.52
	Toz	1280	1.333	7 003.14	11 949.04	Toz	1100	1.251	7 253.10	9 980.99
	Sızıntı hava	295	1.05	1 356.15	420.07	Isı kaybı				25 360.92
	Toplam			178 731.71	268 573.13	Toplam			178 731.71	268 573.13
İntikal	Farin	1058	1.158	59 701.96	73 144.7	Farin	1093	1.168	54 468.6	69 535.92
	Gaz	1324	1.356	103 610.68	186 016.81	Gaz	1280	1.345	107 308.83	184 742.88
	Toz	1324	1.352	4 193.75	7 507.02	Toz	1280	1.333	7 003.14	11 949.04
	Sızıntı hava	295	1.05	1 274.17	394.67	Isı kaybı				835.37
	Toplam			168 780.57	267 063.21	Toplam			168 780.57	266 227.84
Tüm siklon.	Farin	329	0.842	69 790	15 909.47	Farin	1093	1.168	54 468.6	69 535.92
	Gaz	1280	1.345	103 610.68	163 144.85	Gaz	623	1.163	129 769.81	94 024.59
	Toz	1280	1.34	4 193.75	7 193.13	Toz	623	1.02	8 144.6	4 770.17
	Sızıntı hava	295	1.05	14 788.53	4 580.75	Isı kaybı				22 497.5
	Toplam			192 382.96	190 828.19	Toplam			192 382.96	190 828.19

Çizelge C.3 Ön ısıtıcı siklonların enerji analizi

EK-C

08 Temmuz 2006										
Kısım	Giren madde	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
C1A - C1B Siklon	Farin	329.5	0.842	67 540.00	18 738.23	Farin	698	1.048	63 181.81	46 217.75
	Gaz	818	1.278	119 084.33	124 491.24	Gaz	625	1.163	128 203.53	93 187.94
	Toz	818	1.12	6 559.51	6 009.56	Toz	625	1.022	6 782.81	4 332.52
	Sızıntı hava	294	1.05	4 984.30	1 538.65	Isı kaybı				7 039.48
	Toplam			198 168.15	150 777.69	Toplam			198 168.15	150 777.69
C2 Siklon	Farin	698	1.048	63 181.81	46 217.75	Farin	838	1.094	6 2612.1	57 401.02
	Gaz	976	1.268	115 164.02	142 523.31	Gaz	818	1.278	119 084.33	124 491.24
	Toz	976	1.195	6 291.67	7 338.1	Toz	818	1.12	6 559.51	6 009.56
	Sızıntı hava	294	1.05	3 618.45	1 117.01	Isı kaybı				9 294.34
	Toplam			188 255.94	197 196.16	Toplam			188 255.94	197 196.16
C3 Siklon	Farin	838	1.094	62 612.1	57 401.02	Farin	991	1.139	60 925.61	68 769.72
	Gaz	1097	1.301	110 461.53	157 650.36	Gaz	976	1.268	115 164.02	142 523.31
	Toz	1097	1.25	6 045.11	8 289.35	Toz	976	1.195	6 291.67	7 338.1
	Sızıntı hava	294	1.05	3 262.57	1 007.15	Isı kaybı				5 716.76
	Toplam			182 381.3	224 347.88	Toplam			182 381.3	224 347.88
C4 Siklon	Farin	991	1.139	60 925.61	68 769.72	Farin	1048	1.155	57 672.48	69 809.08
	Gaz	1267	1.342	106 132.68	180 458.88	Gaz	1097	1.301	11 0461.53	157 650.36
	Toz	1267	1.327	5 810.65	9 769.5	Toz	1097	1.25	6 045.11	8 289.35
	Sızıntı hava	294	1.05	1 310.18	404.45	Isı kaybı				23 653.76
	Toplam			174 179.11	259 402.55	Toplam			174 179.11	259 402.55
İntikal	Farin	1048	1.155	57 672.48	69 809.08	Farin	1091	1.167	52 609.99	66 982.88
	Gaz	1322	1.355	102 016.41	182 743.01	Gaz	1267	1.342	106 132.68	180 458.88
	Toz	1322	1.352	3 633.57	6 494.45	Toz	1267	1.327	5 810.65	9 769.5
	Sızıntı hava	294	1.05	1 230.86	379.97	Isı kaybı				2 215.24
	Toplam			164 553.31	259 426.49	Toplam			164 553.31	259 426.49
Tüm siklon.	Farin	329.5	0.842	67 540	15 909.47	Farin	1091	1.167	52 609.99	66 982.877
	Gaz	1267	1.342	102 016.41	163 144.85	Gaz	625	1.163	12 824.69	93 219.43
	Toz	1267	1.34	3 633.57	6 169.08	Toz	625	1.022	6 782.81	4 770.17
	Sızıntı hava	294	1.05	14 449.66	4 460.61	Isı kaybı				24 711.46
	Toplam			187 639.64	189 683.94	Toplam			187 639.64	189 683.94

Çizelge C.4 Ön ısıtıcı siklonların enerji analizi

EK-C

09 Temmuz 2006										
Kısım	Giren madde	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
C1A - C1B Siklon	Farin	330.9	0.844	61 710.00	17 232.58	Farin	708.6	1.052	57 413.62	42 796.31
	Gaz	832	1.272	112 421.21	118 975.82	Gaz	634	1.166	121 067.77	89 498.63
	Toz	832	1.127	6 199.41	5 812.96	Toz	634	1.027	6 403.29	4 169.30
	Sızıntı hava	295	1.05	4 554.06	1 410.62	Isı kaybı				6 967.75
	Toplam			184 884.7	143 431.98	Toplam			184 884.68	143 431.98
C2 Siklon	Farin	708.6	1.052	57 413.62	42 796.31	Farin	841.2	1.094	56 881.74	52 345.36
	Gaz	980	1.269	108 841.7	135 357.75	Gaz	832	1.272	112 421.21	118 975.82
	Toz	980	1.196	5 958.92	6 984.33	Toz	832	1.127	6 199.41	5 812.96
	Sızıntı hava	295	1.05	3 288.1	1 018.49	Isı kaybı				9 022.73
	Toplam			175 502.4	186 156.87	Toplam			175 502.36	186 156.87
C3 Siklon	Farin	841.2	1.094	56 881.74	52 345.36	Farin	973.1	1.134	55 294.26	61 013.91
	Gaz	1076	1.295	104 619.5	145 778.92	Gaz	980	1.269	108 841.73	135 357.75
	Toz	1076	1.241	5 730	7 651.36	Toz	980	1.196	5 958.92	6 984.33
	Sızıntı hava	295	1.05	2 863.65	887.01	Isı kaybı				3 306.68
	Toplam			170 094.9	206 662.66	Toplam			170 094.91	206 662.66
C4 Siklon	Farin	973.1	1.134	55 294.26	61 013.91	Farin	1029.3	1.155	52 236.88	62 102.51
	Gaz	1243	1.342	100 600.5	167 812.21	Gaz	1076	1.295	104 619.51	145 778.92
	Toz	1243	1.327	5 502.6	9 076.34	Toz	1076	1.241	5 730	7 651.36
	Sızıntı hava	295	1.05	1 189.07	368.32	Isı kaybı				22 737.98
	Toplam			162 586.4	238 270.78	Toplam			162 586.4	238 270.78
İntikal	Farin	1029.3	1.155	52 236.88	62 102.51	Farin	1083	1.165	47 490.47	59 918.49
	Gaz	1311.9	1.353	96 608.23	171 472.82	Gaz	1243	1.342	100 600.45	167 812.21
	Toz	1311.9	1.347	3 633.57	6 420.74	Toz	1243	1.327	5 502.61	9 076.34
	Sızıntı Hava	295	1.05	1 114.85	345.32	Isı kaybı				3 534.35
	Toplam			153 593.53	240 341.39	Toplam			153 593.53	236 807.05
Tüm siklon.	Farin	330.9	0.844	61 710	15 909.47	Farin	1083	1.165	47 490.47	59 918.49
	Gaz	1243	1.342	96 608.23	163 144.85	Gaz	634	1.166	121 227.1	89 616.40
	Toz	1243	1.34	3 633.57	6 052.15	Toz	634	1.027	6 403.29	4 770.17
	Sızıntı hava	295	1.05	13 169.05	4 079.11	Isı kaybı				34 880.51
	Toplam			175 120.86	189 185.58	Toplam			175 120.86	154 305.07

Çizelge C.5 Ön ısıtıcı siklonların enerji analizi

10 Temmuz 2006										
Kısım	Giren madde	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
C1A - C1B Siklon	Farin	330.7	0.844	66 210.00	18 480.25	Farin	710.9	1.053	61 841.25	46 292.71
	Gaz	835	1.271	116 317.7	123 446.23	Gaz	633	1.166	125 352.80	92 520.14
	Toz	835	1.128	6 405.43	6 033.14	Toz	633	1.027	6 625.22	4 307.00
	Sızıntı hava	295	1.05	4 886.15	1 513.49	Isı kaybı				7 039.48
	Toplam			193 819.28	149 473.11	Toplam			193 819.28	149 473.11
C2 Siklon	Farin	710.9	1.053	61 841.25	46 292.71	Farin	846	1.096	61 265.438	56 806.29
	Gaz	986	1.271	112 458.76	14 0934.00	Gaz	835	1.271	116 317.7	123 446.23
	Toz	986	1.199	6 146.87	7 266.92	Toz	835	1.128	6 405.43	6 033.14
	Sızıntı hava	295	1.05	3 541.67	1 097.03	Isı kaybı				9 294.34
	Toplam			183 988.56	195 590.66	Toplam			183 988.56	195 590.66
C3 Siklon	Farin	846	1.096	61 265.44	56 806.29	Farin	991.4	1.139	59 563.55	67 256.66
	Gaz	1097	1.301	107 919.4	154 022.24	Gaz	986	1.271	112 458.76	140 934.00
	Toz	1097	1.25	5 900.01	8 090.39	Toz	986	1.199	6 146.87	7 266.92
	Sızıntı hava	295	1.05	3 084.34	955.37	Isı kaybı				5 716.76
	Toplam			178 169.19	219 874.31	Toplam			178 169.19	219 874.31
C4 Siklon	Farin	991.4	1.139	59 563.55	67 256.66	Farin	1045	1.154	56 282.95	67 867.64
	Gaz	1263	1.341	103 585.35	175 440.74	Gaz	1097	1.301	107 919.4	154 022.24
	Toz	1263	1.325	5 672.57	9 492.91	Toz	1097	1.25	5 900.01	8 090.39
	Sızıntı hava	295	1.05	1 280.88	396.75	Isı kaybı				2 365.38
	Toplam			170 102.36	252 587.06	Toplam			170 102.36	252 587.06
İntikal	Farin	1045	1.154	56 282.95	67 867.64	Farin	1093	1.168	51 185.56	65 344.71
	Gaz	1324.7	1.356	99 592.2	178 893.13	Gaz	1263	1.341	103 585.35	175 440.74
	Toz	1324.7	1.347	3 367.13	6 008.09	Toz	1263	1.325	5 672.57	9 492.91
	Sızıntı hava	295	1.05	1 201.2	372.07	Isı kaybı				2 215.24
	Toplam			160 443.48	253 140.94	Toplam			160 443.48	253 140.94
Tüm siklon.	Farin	330.7	0.844	66 210	15 909.47	Farin	1093	1.168	51 185.56	65 344.71
	Gaz	1263	1.356	99 592.2	163 144.85	Gaz	633	1.166	125 425.77	92 574.00
	Toz	1263	1.347	3 367.13	5 728.37	Toz	633	1.027	6 625.22	4 770.17
	Sızıntı hava	295	1.05	14 067.22	4 357.32	Isı kaybı				2 471.15
	Toplam			183 236.55	189 140.01	Toplam			183 236.55	189 140.01

Çizelge C.6 Ön ısıtıcı siklonların enerji analizi

EK-C

11 Temmuz 2006										
Kısım	Giren madde	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
C1A - C1B Siklon	Farin	330.3	0.843	67 500.00	18 799.75	Farin	710.9	1.053	63 110.51	47 242.85
	Gaz	834	1.272	120 002.32	127 304.22	Gaz	631	1.165	129 148.80	94 939.22
	Toz	834	1.128	6 610.73	6 219.06	Toz	631	1.026	6 835.09	4 425.08
	Sızıntı hava	296	1.05	4 981.35	1 548.20	Isı kaybı				7 039.48
	Toplam			199 094.40	153 871.23	Toplam			199 094.40	146 607.15
C2 Siklon	Farin	710.9	1.053	63 110.51	47 242.85	Farin	846.0	1.096	62 522.1	57 971.49
	Gaz	984	1.27	116 063.32	145 042.01	Gaz	834	1.272	120 002.32	127 304.22
	Toz	984	1.198	6 346.95	7 481.99	Toz	834	1.128	6 610.73	6 219.06
	Sızıntı hava	296	1.05	3 614.36	1 123.34	Isı kaybı				9 294.35
	Toplam			189 135.15	200 890.19	Toplam			189 135.15	200 890.19
C3 Siklon	Farin	846.0	1.096	62 522.1	57 971.49	Farin	991.3	1.139	60 787.42	68 638.59
	Gaz	1097	1.301	111 432.17	159 035.66	Gaz	984	1.27	116 063.32	145 042.01
	Toz	1097	1.25	6 095.82	8 358.90	Toz	984	1.198	6 346.95	7 481.99
	Sızıntı hava	296	1.05	3 147.6	978.28	Isı kaybı				5 716.76
	Toplam			183 197.69	226 344.32	Toplam			183 197.69	221 162.59
C4 Siklon	Farin	991.3	1.139	60 787.42	68 638.59	Farin	1045	1.154	57 442.817	69 266.25
	Gaz	1306	1.351	107 023.14	188 832.28	Gaz	1097	1.301	111 432.17	159 035.66
	Toz	1306	1.344	5 853.05	10 273.64	Toz	1097	1.25	6 095.82	8 358.90
	Sızıntı hava	296	1.05	1 307.20	406.28	Isı kaybı				2 365.38
	Toplam			174 970.81	268 150.79	Toplam			174 970.81	236 660.81
İntikal	Farin	1044	1.154	57 442.81	69 266.25	Farin	1095	1.168	52 244.82	66 819.03
	Gaz	1367	1.356	102 760.71	190 482.60	Gaz	1306	1.351	107 023.14	188 832.28
	Toz	1367	1.354	3 691.52	6 832.70	Toz	1306	1.344	5 853.04	10 273.64
	Sızıntı hava	296	1.05	1 225.96	381.03	Isı kaybı				2 215.24
	Toplam			165 121.01	266 962.58	Toplam			165 121.01	265 924.95
Tüm Siklon.	Farin	330.4	0.843	67 500	15 909.47	Farin	1095	1.168	52244.817	66 819.03
	Gaz	1306	1.356	102 760.71	163 144.85	Gaz	631	1.165	129 197.02	94 974.66
	Toz	1306	1.354	3 691.52	6 527.80	Toz	631	1.026	6 835.09	4 770.17
	Sızıntı hava	296	1.05	14 324.69	4 452.11	Isı kaybı				2 471.15
	Toplam			188 276.93	190 034.23	Toplam			188 276.93	166 563.87

Çizelge C.7 Ön ısıtıcı siklonların enerji analizi

EK-C

12 Temmuz 2006										
Kısım	Giren madde	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
C1A - C1B Siklon	Farin	328.9	0.842	68 250.00	18 903.18	Farin	703.1	1.053	63 612.32	47 096.56
	Gaz	825	1.275	121 497.02	127 799.67	Gaz	622	1.163	130 940.33	94 720.40
	Toz	825	1.123	6 689.16	6 197.34	Toz	622	1.021	6 920.23	4 394.77
	Sızıntı hava	297	1.05	5 036.70	1 570.69	Isı kaybı				7 039.48
	Toplam			201 472.87	154 470.89	Toplam			201 472.87	154 470.89
C2 Siklon	Farin	703.1	1.053	63 612.316	47 096.56	Farin	841.2	1.094	62 917.18	57 899.46
	Gaz	980	1.269	117 440.15	146 050.92	Gaz	825	1.275	121 497.02	127 799.67
	Toz	980	1.196	6 407.78	7 510.43	Toz	825	1.123	6 689.16	6 197.34
	Sızıntı hava	297	1.05	3643.11	1 136.10	Isı kaybı				9 294.35
	Toplam			191 103.35	201 794.02	Toplam			191 103.35	201 794.02
C3 Siklon	Farin	841.2	1.094	62 917.18	57 899.46	Farin	993.1	1.139	60 862.83	68 844.62
	Gaz	1099	1.301	112 500.08	160 852.51	Gaz	980	1.269	117 440.15	146 050.92
	Toz	1099	1.251	6 126.01	8 422.34	Toz	980	1.196	6 407.78	7 510.43
	Sızıntı hava	297	1.05	3 167.49	987.78	Isı kaybı				5 716.76
	Toplam			184 710.77	228 162.09	Toplam			184 710.77	228 162.09
C4 Siklon	Farin	993.1	1.139	60 862.83	68 844.62	Farin	1075	1.163	56 922.71	71 135.87
	Gaz	1301	1.35	107 553.12	188 900.92	Gaz	1099	1.301	112 500.08	160 852.51
	Toz	1301	1.342	5 824.02	10 168.41	Toz	1099	1.251	6 126.01	8 422.34
	Sızıntı hava	297	1.05	1 308.82	408.16	Isı kaybı				2 365.38
	Toplam			175 548.8	268 322.1	Toplam			175 548.8	268 322.10
İntikal	Farin	1074	1.163	56 922.71	71 135.87	Farin	1095	1.168	50 863.23	65 052.04
	Gaz	1347	1.361	102 251.23	187 486.91	Gaz	1301	1.350	107 553.12	188 900.92
	Toz	1347	1.363	3 851.59	7 072.61	Toz	1301	1.342	5 824.03	10 168.41
	Sızıntı hava	297	1.05	1 214.86	378.85	Isı kaybı				2 215.24
	Toplam			164 240.38	266 074.25	Toplam			164 240.38	266 074.25
Tüm siklon.	Farin	328.9	0.842	68 250	15 909.47	Farin	1095	1.168	50 863.23	65 052.04
	Gaz	1301	1.361	102 251.23	163 144.85	Gaz	622	1.163	130 999.65	94 763.31
	Toz	1301	1.363	3 851.59	6 829.88	Toz	622	1.021	6 920.23	4 770.17
	Sızıntı hava	297	1.05	14 430.29	4 500.09	Isı kaybı				2 471.15
	Toplam			188 783.11	190 384.28	Toplam			188 783.11	190 384.28

Çizelge Ç.1 Döner fırın ünitesinin enerji analizi

EK-Ç

06 Temmuz 2006										
Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	
Taşıyıcı hava	369	1.055	28 217.94	10985.10	Gaz	1586	1.417	97 881.23	219 974.55	
Primer hava	295	1.05	3 214.52	995.7	Klinker	1632	1.599	42 636.92	111 263.93	
Yerli Kömür+ Petrokok yanma ısısı				201 207.96	Toz	1586	1.363	1 586	1.460	
Yerli Kömür+ Petrokok duyulur ısısı	369	1.054	7 110.00	2 765.26	Kül	1586	1.300	851.30	1 755.22	
Sızıntı hava	295	1.05	3 214.52	995.7	Isı kaybı				42 179.73	
Sekonder hava	1217	1.231	52 477.14	78 617.43	TOPLAM				146 285.39	386 556.59
Farin	1393	1.249	52 051.27	90 561.77						
Isıya dötüşen elektrik enerjisi				427.68						
TOPLAM			146 285.39	386 556.6						
07 Temmuz 2006										
Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	
Taşıyıcı hava	368	1.055	31 154.83	12 095.55	Gaz	1324	1.356	103 610.68	186 016.81	
Primer hava	295	1.05	3 549.08	1 099.33	Klinker	1689	1.625	46 352.41	127 219.99	
Yerli Kömür+ Petrokok Yanma ısısı				227 441.1		1324	1.352	3 214.86	5 754.75	
Yerli kömür+ Petrokok duyulur ısısı	368	1.054	7 850.00	3 044.80	Kül	1324	1.300	978.90	1 684.87	
Sızıntı hava	295	1.05	3 363.80	1 041.94	Isı kaybı				78 732.31	
Sekonder hava	1281	1.23	53 770.54	84 722.47	TOPLAM				154 156.85	399 408.73
Farin	1093	1.168	54 468.60	69 535.92						
Isıya dötüşen elektrik enerjisi				427.68						
TOPLAM			154 156.85	399 408.7						

Çizelge Ç.2 Döner fırın ünitesinin enerji analizi

EK-Ç

08 Temmuz 2006										
Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	
Taşıyıcı hava	369	1.055	31 099.7	12 106.96	Gaz	1322	1.355	102 016.41	182 743.01	
Primer hava	294	1.05	3 542.80	1 093.66	Klinker	1685	1.623	44 759.03	122 404.97	
Yerli kömür+ Petrokok yanma ısısı				226 125.21	Toz	1322	1.352	2 638.68	4 716.22	
Yerli kömür+ Petrokok duyulur ısısı	369	1.054	7 836.11	3 047.67	Kül	1322	1.300	994.90	1 709.83	
Sızıntı hava	294	1.05	3 249.02	1 002.97	Isı kaybı				80 807.54	
Sekonder hava	1275	1.229	52 071.37	81 594.53	TOPLAM				150 409	392 381.57
Farin	1091	1.167	52 609.99	66 982.88						
Isıya dönuşen elektrik enerjisi				427.68						
TOPLAM			150 409	392 381.57						
09 Temmuz 2006										
Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	
Taşıyıcı hava	365	1.055	31 244.10	12 031.32	Gaz	1312	1.353	96 608.23	171 472.82	
Primer hava	295	1.050	3 559.25	1 102.48	Klinker	1686	1.623	40 150.96	109 868.21	
Yerli Kömür+ Petrokok yanma ısısı				230 217.13	Toz	1312	1.347	2 638.68	4 662.70	
Yerli Kömür+ Petrokok duyulur ısısı	365	1.053	7 872.49	3 025.75	Kül	1312	1.300	994.90	1 696.70	
Sızıntı hava	295	1.050	2 932.86	908.45	Isı kaybı				91 943.64	
Sekonder hava	1243	1.225	47 293.58	72 012.76	TOPLAM				140 392.7	379 644.07
Farin	1083	1.165	47 490.47	59 918.49						
Isıya dönuşen elektrik enerjisi				427.68						
TOPLAM			140 392.7	379 644.07						

Çizelge Ç.3 Döner fırın ünitesinin enerji analizi

EK-Ç

10 Temmuz 2006										
Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	
Taşıyıcı hava	366	1.055	29 931.1	11557.28	Gaz	1325	1.356	99592.20	178893.13	
Primer hava	295	1.050	3 409.67	1056.15	Klinker	1681	1.621	43302.77	117995.76	
Yerli Kömür+ Petrokok yanma ısısı				220068.34	Toz	1325	1,347	2454,46	4379.57	
Yerli Kömür+ Petrokok duyulur ısısı	366	1.054	7 541.65	2909.30	Kül	1325	1.300	912.68	1571.70	
Sızıntı hava	295	1.050	3 161.05	979.14	Isı kaybı				75896.46	
Sekonder hava	1225	1.222	51 033.1	76394.04	TOPLAM				146262.10	378736.62
Farin	1093	1.168	51 185.6	65344.71						
Isıya dönüşen elektrik enerjisi				427.68						
Taşıyıcı hava			146 262.1	378736.62						
11 Temmuz 2006										
Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	
Taşıyıcı hava	369	1.055	31 628.94	12 312.99	Gaz	1367	1.356	102 760.71	190 482.60	
Primer hava	296	1.050	3 603.09	1 119.84	Klinker	1692	1.626	44 206.29	121 619.98	
Yerli Kömür+ Petrokok yanma ısısı				228 272.18	Toz	1367	1,354	2 648.90	4 902.90	
Yerli Kömür+ Petrokok duyulur ısısı	369	1.054	7 969.46	3 099.53	Kül	1367	1.300	1 042.62	1 852.84	
Sızıntı hava	296	1.050	3 226.47	1 002.79	Isı kaybı				72 015.77	
Sekonder hava	1225	1.222	51 985.75	77 820.06	TOPLAM				150 658.52	390 874.09
Farin	1095	1.168	52 244.82	66 819.03						
Isıya dönüşen elektrik enerjisi				427.68						
TOPLAM			150 658.52	390 874.09						

Çizelge Ç.4 Döner fırın ünitesinin enerji analizi

EK-Ç

12 Temmuz 2006										
Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kg K	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	
Taşıyıcı Hava	369	1.055	31 016.81	12 074.69	Gaz	1347	1.361	102 251.23	187 486.91	
Primer Hava	297	1.050	3 533.36	1101.88	Klinker	1681	1.626	41 654.38	113 854.15	
Yerli Kömür+ Petrokok Yanma Isısı				227 956.48	Toz	1347	1,363	2 904.07	5 332.70	
Yerli Kömür+ Petrokok Duyulur Isısı	369	1.054	7 815.22	3 039.54	Kül	1347	1.300	947.52	1 659.49	
Sızıntı Hava	297	1.050	3 141.15	979.57	Isı kaybı				83 329.38	
Sekonder Hava	1282	1.230	51 387.42	81 030.76	TOPLAM				147 757.19	391 662.64
Farin	1095	1.168	50 863.23	65 052.04						
Isıya Dönüşen Elektrik Enerjisi				427.68						
TOPLAM			147 757.19	391 662.64						

Çizelge D.1 Soğutucu ünitenin enerji analizi

Tarih	Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
06. Tem	Klinker	1632	1.599	42 636.92	111 263.93	Klinker	383	0.943	42 403.81	15 314.94
	1.Nolu Fan	298	1.050	151 711.10	47 470.40	Gaz	1217	1.221	52 477.14	77 978.78
	2.Nolu Fan	298	1.050			Tras değir.	577	1.089	30 908.99	19 421.75
	3.Nolu Fan	298	1.050			S.baca	556	1.085	75 953.87	45 819.93
	4.Nolu Fan	298	1.050			Isı kaybı				2 489.77
	Sızıntı hava	295	1.050	7 395.80	2 290.85	Toplam			201 128.87	161 025.19
	Toplam			201 743.82	161 025.19					
07. Tem	Klinker	1689	1.625	46 352.41	127 219.99	Klinker	386	0.946	42 333.00	15 458.15
	1.Nolu Fan	298	1.050	151 457.76	47 391.13	Gaz	1281	1.23	53 770.54	84 722.47
	2.Nolu Fan	298	1.050			Tras değir.	563	1.086	31 812.27	19 450.59
	3.Nolu Fan	298	1.050			S.baca	563	1.086	77 277.61	47 248.92
	4.Nolu Fan	298	1.050			Isı kaybı				10 017.94
	Sızıntı hava	295	1.050	7 383.24	2 286.96	Toplam			201 128.7	176 898.1
	TOPLAM			205 193.42	176 898.08					
08. Tem	Klinker	1685	1.623	44 759.03	122 404.97	Klinker	388	0.948	41 042.00	15 096.23
	1.Nolu Fan	297	1.050	146 838.86	45 791.70	Gaz	1275	1.229	52 071.37	81 594.53
	2.Nolu Fan	297	1.050			Tras değir.	569	1.088	30 806.99	19 071.75
	3.Nolu Fan	297	1.050			S.baca	569	1.088	74 835.61	46 328.63
	4.Nolu Fan	297	1.050			Isı kaybı				8 315.23
	Sızıntı hava	294	1.050	7 158.08	2 209.70	Toplam			198 755.97	170 406.37
	TOPLAM			198 755.97	170 406.37					
09. Tem	Klinker	1686	1.623	40 150.96	109 868.21	Klinker	404	0.963	37 458.33	14 573.24
	1.Nolu Fan	298	1.050	134 017.31	41 934.02	Gaz	1243	1.225	47 293.58	72 012.76
	2.Nolu Fan	298	1.050			Tras değir.	558	1.085	27 980.31	16 940.12
	3.Nolu Fan	298	1.050			S.baca	558	1.085	67 969.10	41 150.53
	4.Nolu Fan	298	1.050			Isı kaybı				9 149.19
	Sızıntı hava	295	1.050	6 533.06	2 023.62	Toplam			180 701.33	153 825.84
	TOPLAM			180 701.33	153 825.84					
10. Tem	Klinker	1681	1.621	43 302.77	117 995.76	Klinker	391	0.951	40 250.00	14 966.60
	1.Nolu Fan	298	1.050	144 005.26	45 059.25	Gaz	1225	1.222	51 033.12	76 394.04
	2.Nolu Fan	298	1.050			Tras değir.	535	1.08	30 192.73	17 445.36
	3.Nolu Fan	298	1.050			S.baca	535	1.08	73 343.47	42 377.86
	4.Nolu Fan	298	1.050			Isı kaybı				14 197.77
	Sızıntı hava	295	1.050	7 511.30	2 326.62	Toplam			194 819.33	165 381.63
	TOPLAM			194 819.33	165 381.63					
11. Tem	Klinker	1692	1.626	44 206.29	121 619.98	Klinker	394	0.954	40 958.00	15 395.13
	1.Nolu Fan	299	1.050	146 538.33	46 005.71	Gaz	1225	1.222	51 985.75	77 820.06
	2.Nolu Fan	299	1.050			Tras değir.	535	1.08	30 756.33	17 771.01
	3.Nolu Fan	299	1.050			S.baca	535	1.08	74 712.56	43 168.91
	4.Nolu Fan	299	1.050			Isı kaybı				15 853.80
	Sızıntı hava	296	1.050	7 668.02	2 383.22	Toplam			198 412.63	170 008.91
	TOPLAM			198 412.63	170 008.91					
12. Tem	Klinker	1681	1.626	41 654.38	113 854.15	Klinker	386	0.954	41 416.67	15 251.44
	1.Nolu Fan	300	1.050	148 179.34	46 676.49	Gaz	1282	1.23	51 387.42	81 030.76
	2.Nolu Fan	300	1.050			Tras değir.	541	1.08	30 402.34	17 763.48
	3.Nolu Fan	300	1.050			S.baca	541	1.08	73 852.65	43 150.63
	4.Nolu Fan	300	1.050			Isı kaybı				5 587.57
	Sızıntı hava	297	1.050	7 225.37	2 253.23	Toplam			197 059.08	162 783.88
	TOPLAM			197 059.08	162 783.88					

Çizelge D.2 Döner fırın bölümünün enerji analizi

EK-D

06. Tem									
Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
Taşıyıcı hava	369	1.05	28 217.94	10 953.86	Gaz	627	1.247	136 196.51	106 487.83
Primer hava	295	1.05	3 214.52	995.70	Klinker	383	0.943	42 403.81	15 314.94
Yerli kömür+Petrokok yanma ısı				201 207.96	Toz	627	1.024	8 724.37	5 601.46
Yerli kömür+Petrokok duyulur ısı	369	1.05	7 110.00	2 765.26	Tras değir.	577	1.089	30 908.99	19 421.75
Sızıntı hava	295	1.05	35 035.30	10 852.18	S.baca	556	1.085	75 953.87	45 819.93
Fan hava	298	1.05	151 711.10	47 470.40	Kül	627	1.3	851.30	693.90
Farin	331	0.84	69 750.00	19 393.29	Isı kaybı				100 726.52
Isıya dönüşen elektrik enerjisi				427.68	TOPLAM			295 038.86	294 066.34
TOPLAM			295 038.86	294 066.34					

07. Tem									
Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
Taşıyıcı hava	368	1.06	31 154.83	12 095.55	Gaz	623	1.247	129 769.81	100 815.70
Primer hava	295	1.05	3 549.08	1 099.33	Klinker	386	0.946	42 333.00	15 458.15
Yerli kömür+Petrokok yanma ısı				227 441.05	Toz	623	1.021	7 165.66	4 557.95
Yerli kömür+Petrokok duyulur ısı	368	1.05	7 850.00	3 044.80	Tras değir.	563	1.086	31 812.27	19 450.59
Sızıntı hava	295	1.05	25 535.58	7 909.65	S.baca	563	1.086	77 277.61	47 248.92
Fan hava	298	1.05	151 457.76	47 391.13	Kül	623	1.3	978.90	792.81
Farin	329	0.84	69 790.00	19 333.09	Isı kaybı				130 418.14
Isıya dönüşen elektrik enerjisi				427.68	TOPLAM			289 337.24	318 742.27
TOPLAM			289 337.24	318 742.27					

Çizelge D.3 Döner fırın bölümünün enerji analizi

EK-D

08.Tem									
Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
Taşıyıcı hava	369	1.06	31 099.71	12 106.96	Gaz	625	1.247	128 203.53	99 918.63
Primer hava	294	1.05	3 542.80	1 093.66	Klinker	388	0.948	41 042.00	15 096.23
Yerli kömür+Petrokok yanma ısısı				226 125.21	Toz	625	1.022	5 831.22	3 724.69
Yerli kömür+Petrokok duyulur ısısı	369	1.05	7 836.11	3 047.67	Tras değir.	569	1.088	30 806.99	19 071.75
Sızıntı hava	294	1.05	24 856.77	7 673.28	S.baca	569	1.088	74 835.61	46 328.63
Fan hava	297	1.05	146 838.86	45 791.70	Kül	625	1.3	994.90	808.35
Farin	330	0.84	67 540.00	18 738.23	Isı kaybı				130 056.11
Isıya dönüşen elektrik enerjisi				427.68	TOPLAM			281 714.25	315 004.40
TOPLAM			281 714.25	315 004.40	TOPLAM			281 714.25	315 004.40

09.Tem									
Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
Taşıyıcı hava	365	1.06	31 244.10	12 031.32	Gaz	634	1.247	12 1067.77	95 715.94
Primer hava	295	1.05	3 559.25	1 102.48	Klinker	404	0.963	3 7458.33	14 573.24
Yerli kömür+Petrokok yanma ısısı				230 217.13	Toz	634	1.027	5 567.71	3 625.24
Yerli kömür+Petrokok duyulur ısısı	365	1.05	7 872.49	3 025.75	Tras değir.	558	1.085	27 980.31	16 940.12
Sızıntı hava	295	1.05	22 634.97	7 011.18	S.baca	558	1.085	6 7969.1	41 150.53
Fan hava	298	1.05	134 017.31	41 934.02	Kül	634	1.3	994.90	819.99
Farin	331	0.84	61 710.00	17 232.58	Isı kaybı				140 157.08
Isıya dönüşen elektrik enerjisi				427.68	TOPLAM			261 038.13	312 982.14
TOPLAM			261 038.13	312 982.14	TOPLAM			261 038.13	312 982.14

Çizelge D.4 Döner fırın bölümünün enerji analizi

10. Tem									
Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
Taşıyıcı hava	366	1.06	29 931.05	11 557.28	Gaz	633	1.247	125 352.80	98 947.36
Primer hava	295	1.05	3 409.67	1 056.15	Klinker	391	0.951	40 250.00	14 966.60
Yerli kömür+Petrokok yanma ısısı				220 068.34	Toz	633	1.027	5 785.52	3 761.11
Yerli kömür+Petrokok duyulur ısısı	366	1.05	7 541.65	2 909.30	Tras Değir.	535	1.080	30 192.73	17 445.36
Sızıntı hava	295	1.05	24 739.57	7 663.08	S.Baca	535	1.08	73 343.47	42 377.86
Fan hava	298	1.05	144 005.26	45 059.25	Kül	633	1.3	912.68	751.04
Farin	331	0.84	66 210.00	18 480.25	Isı Kaybı				128 971.99
Isıya dönüşen elektrik enerjisi				427.68	TOPLAM			275 837.20	307 221.32
TOPLAM				275 837.20				307 221.32	

11. Tem									
Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
Taşıyıcı hava	369	1.06	31 628.94	12 312.99	Gaz	631	1.247	129 148.80	101 621.64
Primer hava	296	1.05	3 603.09	1 119.84	Klinker	394	0.954	40 958.00	15 395.13
Yerli kömür+Petrokok yanma ısısı				228 272.18	Toz	631	1.026	5 840.69	3 781.30
Yerli kömür+Petrokok duyulur ısısı	369	1.05	7 969.46	3 099.53	Tras değir.	535	1.080	30 756.33	17 771.01
Sızıntı hava	296	1.05	25 219.18	7 838.12	S.baca	535	1.08	74 712.56	43 168.91
Fan hava	299	1.05	146 538.33	46 005.71	Kül	631	1.3	1 042.62	855.26
Farin	330	0.84	67 500.00	18 799.75	Isı kaybı				135 282.54
Isıya dönüşen Elektrik enerjisi				427.68	TOPLAM			282 459.00	317 875.79
TOPLAM				282 459.00				317 875.79	

Çizelge D.5 Döner fırın bölümünün enerji analizi

EK-D

12. Tem									
Giren madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h	Çıkan madde.	T K	Cp kJ/kgK	\dot{m} kg/h	\dot{Q}_h MJ/h
Taşıyıcı hava	369	1.06	31 016.81	12 074.69	Gaz	622	1.247	130 940.33	101 561.77
Primer hava	297	1.05	3 533.36	1 101.88	Klinker	386	0.954	41 416.67	15 251.44
Yerli kömür+Petrokok yanma ısısı				227 956.48	Toz	622	1.021	6 032.02	3 830.71
Yerli kömür+Petrokok duyulur ısısı	369	1.05	7 815.22	3 039.54	Tras değir.	541	1.080	30 402.34	17 763.48
Sızıntı hava	297	1.05	24 796.81	7 732.88	S.baca	541	1.08	73 852.65	43 150.63
Fan hava	300	1.05	148 179.34	46 676.49	Kül	622	1.3	947.52	766.16
Farin	329	0.84	68 250.00	18 903.18	Isı kaybı				135 588.63
Isıya döntüşen Elektrik enerjisi				427.68	TOPLAM			283 591.54	317 912.83
TOPLAM			283 591.54	317 912.83					

Çizelge E.1 Döner fırın bölümünün enerji analizi ve sonuçları

EK-E

Tarih	Bölüm	Bölümün Adı	\dot{E}_g kJ/h	$\dot{E}_ç$ kJ/h	Isı Kaybı kJ/h	η_I
06.Tem	Üniteler	Siklonlar	193 276 159.4	16 827 0961.6	25 005 197.84	0.871
		Döner fırın	386 556 594.30	344 376 860.6	42 179 733.7	0.891
		Soğutucu	161 025 185	15 853 5411.7	2 489 773.26	0.985
	Döner fırın bölümü		294 066 339.5	193 339 822.3	100 726 517.2	0.657
07.Tem	Üniteler	Siklonlar	190 828 191.7	168 330 682.9	22 497 508.8	0.882
		Döner fırın	399 408 733.66	320 676 426.3	78 732 307.4	0.803
		Soğutucu	176 898 079	166 880 134.4	10 017 944.61	0.943
	Döner fırın bölümü		318 742 268.1	188 324 125.9	130 418 142.2	0.591
08.Tem	Üniteler	Siklonlar	189 683 936.1	164 972 477.8	24 711 458.3	0.870
		Döner fırın	392 381 567.08	311 574 030.8	80 807 536.32	0.794
		Soğutucu	170 406 369.9	162 091 139.6	8 315 230.3	0.951
	Döner fırın bölümü		315 004 397.1	184 948 284.1	130 056 113	0.587
09.Tem	Üniteler	Siklonlar	189 185 584.6	154 305 070.5	34 880 514.04	0.816
		Döner fırın	379 644 066.31	287 700 424.5	91 943 641.85	0.758
		Soğutucu	153 825 836.5	144 676 651.4	9 149 185.109	0.941
	Döner fırın bölümü		312 982 141.6	172 825 063.9	140 157 077.7	0.552
10.Tem	Üniteler	Siklonlar	189 140 012.7	162 688 888.2	26 451 124.53	0.860
		Döner fırın	378 736 619.80	302 840 154.9	75 896 464.9	0.800
		Soğutucu	165 381 628.9	151 183 855.5	14 197 773.45	0.914
	Döner fırın bölümü		307 221 318.4	178 249 332.1	128 971 986.3	0.580
11.Tem	Üniteler	Siklonlar	190 034 235	166 563 869.7	23 470 365.23	0.876
		Döner fırın	390 874 094.76	318 858 322.9	72 015 771.87	0.816
		Soğutucu	170 008 911.2	154 155 115.3	15 853 795.94	0.907
	Döner fırın bölümü		317 875 793.4	182 593 248.5	135 282 544.9	0.574
12.Tem	Üniteler	Siklonlar	190 384 279.6	164 585 523.2	25 798 756.38	0.864
		Döner fırın	391 662 637.96	308 333 257.3	83 329 380.71	0.787
		Soğutucu	162 783 878.2	157 196 313	5 587 565.19	0.966
	Döner fırın bölümü		317 912 827	182 324 194.5	135 588 632.5	0.574

Çizelge F.1 Döner fırın bölümünün ekserji analizi

06 Temmuz (GİREN MADDE)		Mol Kütle	Cp	Cp0	R	Poo	T1	m oranı	m	(H-H0)	(S-S0)	Ẃfiz	Ẃkim	Ẃtoplam
Nu.	Maddenin Adı	gr	kJ/KgK	kJ/KgK	kJ/KgK	Pa.	K	%	kg/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h
1.	Taşıyıcı Hava		1.052	1.050		403.16	369	1.00	28 217.94			276 268.47	13 259 244.07	13 535 512.53
	N2	28	1.043	1.041	0.297	403.16	369	0.77	21 832.22	1 698 419.10	5 097.32	194 709.84	10 564 646.38	10 759 356.22
	O2	32	0.934	0.920	0.260	403.16	369	0.21	5 858.04	429 726.18	1 224.49	68 502.34	2 481 619.05	2 550 121.39
	CO2	44	0.916	0.846	0.189	403.16	369	0.00	8.47	749.56	1.74	237.51	2 607.46	2 844.97
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	403.16	369	0.01	259.61	9 547.75	288.78	10 286.70	88 092.92	98 379.61
	H2O	18	2.005	1.868	0.462	403.16	369	0.00	2.82	533.13	1.27	159.49	2 123.29	2 282.78
	Diğer		1.011	1.007	0.287	403.16	369	0.01	256.78	19 512.08	58.10	2 372.58	120 154.98	122 527.56
	Primer hava		1.050			17040.26	295	1.00	3 214.52			0.00	487 225.03	487 225.03
2.	N2	28	1.041	1.041	0.297	17040.26	295	0.77	2 487.07	0.00	0.00	0.00	388 209.17	388 209.17
	O2	32	0.920	0.920	0.260	17040.26	295	0.21	667.33	0.00	0.00	0.00	91 189.73	91 189.73
	CO2	44	0.846	0.846	0.189	17040.26	295	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	95.81	95.81
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	17040.26	295	0.01	29.57	0.00	0.00	0.00	3 237.07	3 237.07
	H2O	18	1.868	1.868	0.462	17040.26	295	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	78.02	78.02
	Diğer		1.007	1.007	0.287	17040.26	295	0.01	29.25	0.00	0.00	0.00	4 415.22	4 415.22
	Yerli kömür+Petrokok Yanma ısısı													201 207 956.38
	Yerli kömür+Petrokok Duyulur ısısı		1.054	1.041		403.16	369	1.00	7 110.00			91 029.29	4 809 471.75	4 900 501.04
4.	C2	12	0.033	0.025	0.349	403.16	369	0.67	4 730.28	22 714.82	34.94	12 408.00	2 691 564.40	2 703 972.41
	H2	2	14.468	14.438	4.157	403.16	369	0.04	258.09	278 568.65	835.75	32 023.70	1 749 236.27	1 781 259.97
	N2	14	1.043	1.041	0.297	403.16	369	0.02	114.47	8 905.18	26.73	1 020.91	55 392.58	56 413.49
	S2	32	5.991	5.518	0.349	403.16	369	0.01	86.74	50 559.22	116.31	16 246.74	49 356.81	65 603.55
	O2	16	0.934	0.920	0.260	403.16	369	0.04	274.45	20 136.48	57.37	3 212.62	116 262.17	119 474.79
	KÜL		1.300	1.300		403.16	369	0.20	1 449.73	139 463.93	421.82	15 025.77	0.00	15 025.77
	NEM	18	2.005	1.868	0.462	403.16	369	0.03	196.24	37 075.38	88.08	11 091.55	147 659.51	158 751.07
	Sızıntı hava		1.050			964.04	295	1.00	35 035.30			0.00	13 865 747.98	13 865 747.98
5.	N2	28	1.041	1.041	0.297	964.04	295	0.77	27 106.81	0.00	0.00	0.00	11 047 894.09	11 047 894.09
	O2	32	0.920	0.920	0.260	964.04	295	0.21	7 273.33	0.00	0.00	0.00	2 595 133.19	2 595 133.19
	CO2	44	0.846	0.846	0.189	964.04	295	0.00	10.51	0.00	0.00	0.00	2 726.73	2 726.73
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	964.04	295	0.01	322.32	0.00	0.00	0.00	92 122.46	92 122.46
	H2O	18	1.868	1.868	0.462	964.04	295	0.00	3.50	0.00	0.00	0.00	2 220.41	2 220.41
	Diğer		1.007	1.007	0.287	964.04	295	0.01	318.82	0.00	0.00	0.00	125 651.10	12 565.10
	Fan hava		1.167			901.05	298	1.00	151 711.10			5 914.84	60 913 616.52	60 919 531.36
	N2	28	1.410	1.410	0.297	901.05	298	0.77	117 378.88	496 653.51	1 675.07	2 508.37	48 534 502.80	48 537 011.16
O2	32	0.920	0.920	0.260	901.05	298	0.21	31 495.22	89 695.25	293.12	3 226.26	11 400 679.43	11 403 905.68	
6.	CO2	44	0.849	0.846	0.189	901.05	298	0.00	45.51	158.20	0.39	42.88	11 978.80	12 021.68
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	901.05	298	0.01	1 395.74	20 810.52	70.19	105.10	404 703.17	404 808.27
	H2O	18	1.870	1.868	0.462	901.05	298	0.00	15.17	95.87	0.29	11.17	9 754.49	9 765.66
	Diğer		1.007	1.007	0.287	901.05	298	0.01	1 380.57	4 170.29	14.07	21.06	551 997.84	552 018.91
	Farin		0.840			6332.58	331	1.00	52 051.27			778 109.69	6 515 159.10	7 293 268.80
	SiO2	46	0.693	0.640	0.181	6332.58	331	0.18	9 190.01	372 958.01	733.31	156 632.04	1 358 622.82	1 515 254.86
	Al2O3	100	2.028	1.872	0.112	6332.58	331	0.05	2 548.84	303 383.58	595.18	127 805.41	233 493.14	361 298.55
	Fe2O3	160	4.186	3.933	0.052	6332.58	331	0.03	1 327.20	299 059.30	639.70	110 349.17	56 410.16	166 759.33
7.	CaO	56	0.597	0.575	0.148	6332.58	331	0.72	37 331.98	1 044 633.09	2 566.22	287 598.72	4 519 141.72	4 806 740.44
	MgO	40	0.374	0.352	0.208	6332.58	331	0.01	655.45	13 078.87	28.23	4 752.20	111 434.91	116 187.11
	SO3	80	0.604	0.592	0.104	6332.58	331	0.00	15.52	391.00	1.08	72.71	1 319.43	1 392.13
	K2O	46	4.360	3.861	0.181	6332.58	331	0.01	447.85	136 220.94	224.83	69 895.41	66 209.11	136 104.52
	Na2O	62	4.396	4.028	0.134	6332.58	331	0.00	124.00	33 084.66	62.76	14 569.30	13 600.79	28 170.09
	h2o	18	1.908	1.868	0.462	6332.58	331	0.01	410.42	33 033.50	90.17	6 434.74	154 927.03	161 361.77
	1 Atm = 101325 Pa												TOPLAM	302 209 743.12

Çizelge F.2 Döner fırın bölümünün ekserji analizi

06 Temmuz (ÇIKAN MADDE)		Mol kütle gr	Cp kJ/KgK	Cp0 kJ/KgK	R kJ/KgK	Poo Pa.	Tı K	m oranı %	m kg/h	(H-H0) kJ/h	(S-S0) kJ/h	Ẃ _{fiz} kJ/h	Ẃ _{kim} kJ/h	Ẃ _{topl} kJ/h	
Nu.	Maddenin Adı														
	gaz		1.164			101.325	330	1.00	135 345.21				21 119 673.23	63.997 251.31	
1	N2	28	1.08121	1.0411	0.297	101.325	330	0.6890	93 252.85	93 252.85	34 577 613.06	76 019.83	12 151 762.14	46760041.71	
	O2	32	1.01056	0.9195	0.25983	101.325	330	0.0127	1 718.88	1 718.88	622 869.68	1 309.67	236 515.62	754544.37	
	CO2	44	1.0908	0.84575	0.189	101.325	330	0.2244	30 371.47	30 371.47	13 194 438.10	24 978.46	5 825 793.05	9693766.65	
	Ar	40	4.97	4.97	0.208	101.325	330	0.0082	1 109.83	1 109.83	1 831 265.09	4 158.80	604 419.53	390247.66	
	H2O	18	2.046	1.868	0.46152	101.325	330	0.0586	7 931.23	7 931.23	5 803 930.85	12 234.91	2 194 631.53	6184148.55	
	Diğer		1.059	1.0069	0.29	101.325	330	0.0001	13.53	13.53	4 966.59	10.81	1 778.61	6562.57	
	SO2	64	0.71	0.59	0.1299116	101.325	330	0.0070	947.42	947.42	253 334.43	503.60	104 772.74	207939.80	
	Klinker		0.94			101.325	149.90	1.0000	42 403.81					1 745 711.65	7.243.141.77
2	3CaO	168	0.622	0.570	0.049	101.325	149.90	0.3961	16 798.15	16 798.15	1 177 147.48	2 727.67	372 485.10	1582231.70	
	SiO2	60	0.753	0.640	0.18	101.325	149.90	0.1415	5 999.34	5 999.34	597 528.36	1 179.34	249 623.69	2075814.18	
	2CaO	112	0.622	0.570	0.074	101.325	149.90	0.1563	6 626.83	6 626.83	464 381.62	1 076.06	146 944.40	942648.69	
	SiO2	60	0.753	0.640	0.18	101.325	149.90	0.0837	3 550.09	3 550.09	353 585.08	697.87	147 713.84	1228354.95	
	3CaO	168	0.622	0.570	0.049	101.325	149.90	0.0690	2 923.96	2 923.96	204 899.73	474.79	64 836.48	275410.56	
	Al2O3	100	2.195	1.872	0.112	101.325	149.90	0.0410	1 740.45	1 740.45	502 025.54	997.33	207 814.43	374708.24	
	4CaO	224	0.622	0.570	0.037	101.325	149.90	0.0417	1 766.24	1 766.24	123 771.13	286.80	39 164.93	125621.57	
	Al2O3	100	2.195	1.872	0.112	101.325	149.90	0.0186	788.50	788.50	227 439.07	451.83	94 148.84	169758.88	
	Fe2O3	160	4.476	3.933	0.051	101.325	149.90	0.0298	1 261.60	1 261.60	699 019.07	1 474.18	264 134.64	123681.47	
	MgO	40	0.395	0.352	0.207	101.325	149.90	0.0117	494.36	494.36	23 454.80	50.98	8 416.45	196708.91	
	K2O	46	4.860	3.861	0.18	101.325	149.90	0.0083	352.70	352.70	254 784.22	447.49	122 775.74	122036.22	
	Na2O	30	4.773	4.028	0.134	101.325	149.90	0.0024	101.58	101.58	64 993.57	126.58	27 653.08	26166.41	
	toz		1.020			101.325	330	1.0000	9 575.67					2 495 319.58	1.403.770.66
	3	3CaO	168	0.714	0.049	0.049	101.325	330	0.4053	3 880.67	3 880.67	1 681 194.08	2 089.10	1 064 909.47	321256.04
		SiO2	60	0.943	0.640	0.18	101.325	330	0.1447	1 385.95	1 385.95	557 791.79	985.40	267 097.32	421472.94
2CaO		112	0.714	0.570	0.074	101.325	330	0.1628	1 558.83	1 558.83	435 736.68	839.17	188 180.50	194885.45	
SiO2		60	0.943	0.640	0.18	101.325	330	0.0872	835.09	835.09	336 090.19	593.74	160 936.02	253953.04	
3CaO		168	0.714	0.049	0.049	101.325	330	0.0690	660.29	660.29	286 053.92	355.46	181 193.55	54661.48	
Al2O3		100	2.637	1.872	0.112	101.325	330	0.0410	393.03	393.03	432 789.93	781.43	202 267.06	74369.36	
4CaO		224	0.714	0.570	0.037	101.325	330	0.0417	398.85	398.85	111 490.97	214.72	48 149.32	24932.45	
Al2O3		100	2.637	1.872	0.112	101.325	330	0.0186	178.06	178.06	196 072.37	354.02	91 635.64	33692.50	
Fe2O3		160	5.392	3.933	0.051	101.325	330	0.0298	284.90	284.90	632 625.53	1 158.22	290 950.69	24547.39	
Tras değir.			1.09			101.325	885.176	1.0000	30 908.99					3 241 806.94	12.727.208.34
4	N2	28	1.0684	1.0411	0.297	101.325	885.176	0.7737	23 914.29	24 433.04	7 558 171.53	17 512.48	2 391 989.55	10140733.12	
	O2	32	0.9961	0.9195	0.25983	101.325	885.176	0.2076	6 416.71	6 555.90	1 989 696.68	4 380.98	697 306.90	2382042.48	
	CO2	44	1.0662	0.84575	0.189	101.325	885.176	0.0003	9.27	9.47	3 464.59	6.78	1 465.55	2502.83	
	Ar	40	4.97	4.97	0.208	101.325	885.176	0.0092	284.36	290.53	407 190.99	968.69	121 427.04	84558.13	
	H2O	18	2.046	1.868	0.46152	101.325	885.176	0.0001	3.09	3.16	1 987.87	4.33	709.17	2038.09	
	Diğer		1.0489	1.0069	0.29	101.325	885.176	0.0091	281.27	287.37	88 562.61	202.22	28 908.73	115333.68	
	S.baca		1.09			101.325	844.518	1.0000	75953.87					6 916 855.28	30.914.694.24
	N2	28	1.0662	1.0411	0.297	101.325	844.518	0.7737	58 765.52	58 765.52	16 788 291.79	39 710.80	5 073 605.66	24632083.92	
O2	32	0.9961	0.9195	0.25983	101.325	844.518	0.2076	15 768.03	15 768.03	4 455 714.51	9 954.69	1 519 081.54	5786058.31		
5	CO2	44	1.0662	0.84575	0.189	101.325	844.518	0.0003	22.79	22.79	7 822.74	15.40	3 280.40	6079.44	
	Ar	40	4.97	4.97	0.208	101.325	844.518	0.0092	698.78	698.78	906 430.88	2 201.11	257 103.68	205393.73	
	H2O	18	2.046	1.868	0.46152	101.325	844.518	0.0001	7.60	7.60	4 454.82	9.85	1 549.29	4950.57	
	Diğer		1.0489	1.0069	0.29	101.325	844.518	0.0091	691.18	691.18	197 783.25	459.49	62 234.71	280148.27	
	kül		1.300			101.325	330		851.30				447 745.60	0.00	447745.60
													GENEL TOPLAM	152253178.6	

Çizelge F.3 Döner fırın bölümünün ekserji analizi

07 Temmuz (GİREN MADDE)		Mol Kütle	Cp	Cp0	R	Poo	T1	m oranı	m	(H-H0)	(S-S0)	$\dot{E}x_{fiz}$	$\dot{E}x_{kim}$	$\dot{E}x_{toplam}$	
Nu.	Maddenin Adı	gr	kJ/KgK	kJ/KgK	kJ/KgK	Pa.	K	%	kg/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	
1.	Taşıyıcı Hava					403.16	368	1.0000	3 1154.83			297 576.57	14 639 249.78	14 936 826.35	
	N ₂	28	1.043	1.041	0.2968	403.16	368	0.7737	24 104.49	1 849 511.87	5 559.29	209 521.89	11 664 201.70	11 873 723.59	
	O ₂	32	0.934	0.920	0.2598	403.16	368	0.2076	6 467.74	467 887.70	1 335.22	73 996.40	2 739 902.89	2 813 899.29	
	CO ₂	44	0.915	0.846	0.1889	403.16	368	0.0003	9.35	815.92	1.89	257.98	2 878.84	3 136.82	
	Ar	40	4.970	4.970	0.2081	403.16	368	0.0092	286.62	103 990.20	314.97	11 073.19	97 261.52	108 334.71	
	H ₂ O	18	2.004	1.868	0.4615	403.16	368	0.0001	3.12	580.53	1.38	173.34	2 344.28	2 517.61	
	Diğer		1.011	1.007	0.2870	403.16	368	0.0091	283.51	21 245.85	63.36	2 553.77	132 660.56	135 214.32	
	Primer hava					17040.26	295	1.0000	3 549.08				0.00	537 934.81	537 934.81
2.	N ₂	28	1.041	1.041	0.2968	17040.26	295	0.7737	2 745.92	0.00	0.00	0.00	428 613.50	428 613.50	
	O ₂	32	0.920	0.920	0.2598	17040.26	295	0.2076	736.79	0.00	0.00	0.00	100 680.65	100 680.65	
	CO ₂	44	0.846	0.846	0.1889	17040.26	295	0.0003	1.06	0.00	0.00	0.00	105.79	105.79	
	Ar	40	4.970	4.970	0.2081	17040.26	295	0.0092	32.65	0.00	0.00	0.00	3 573.98	3 573.98	
	H ₂ O	18	1.868	1.868	0.4615	17040.26	295	0.0001	0.35	0.00	0.00	0.00	86.14	86.14	
	Diğer		1.007	1.007	0.2870	17040.26	295	0.0091	32.30	0.00	0.00	0.00	4 874.75	4 874.75	
	3	Yerli kömür+Petrokok Yanma ısısı													227 441 051.28
	4	Yerli kömür+Petrokok Duyulur ısısı				403.16	368	1.0000	7850.00				98 608.37	5 284 490.93	5 383 099.30
5.	C2	12	0.033	0.025	0.3460	403.16	368	0.6653	5 222.61	24 906.60	38.11	13 665.04	2 946 154.40	2 959 819.44	
	H2	2	14.467	14.438	4.1570	403.16	368	0.0363	284.96	303 397.17	911.52	34 499.89	1 931 294.62	1 965 794.51	
	N2	14	1.043	1.041	0.2968	403.16	368	0.0161	126.39	9 697.39	29.15	1 098.57	61 157.77	62 256.34	
	S2	32	5.985	5.518	0.3490	403.16	368	0.0122	95.77	55 036.15	126.74	17 649.26	54 493.81	72 143.07	
	O2	16	0.934	0.920	0.2598	403.16	368	0.0386	303.01	21 920.27	62.55	3 466.69	128 362.59	131 829.28	
	KÜL		1.300	1.300		403.16	368	0.2039	1 600.62	151 898.36	460.08	16 174.60	0.00	16 174.60	
	NEM	18	2.004	1.868	0.4615	403.16	368	0.0276	216.66	40 372.08	95.99	12 054.33	163 027.73	175 082.06	
	Sızıntı hava					964.04	295	1.0000	25 535.58				0.00	10 106 089.84	1 010 6089.84
6.	N ₂	28	1.041	1.041	0.2968	964.04	295	0.7737	19 756.88	0.00	0.00	0.00	8 052 289.03	805 2289.03	
	O ₂	32	0.920	0.920	0.2598	964.04	295	0.2076	5 301.19	0.00	0.00	0.00	1 891 470.20	189 1470.20	
	CO ₂	44	0.846	0.846	0.1889	964.04	295	0.0003	7.66	0.00	0.00	0.00	1 987.39	1987.39	
	Ar	40	4.970	4.970	0.2081	964.04	295	0.0092	234.93	0.00	0.00	0.00	67 143.72	6 7143.72	
	H ₂ O	18	1.868	1.868	0.4615	964.04	295	0.0001	2.55	0.00	0.00	0.00	1 618.35	1618.35	
	Diğer		1.007	1.007	0.2870	964.04	295	0.0091	232.37	0.00	0.00	0.00	91 581.16	9 1581.16	
	Fan hava					901.05	298	1.0000	151 457.76				5 904.96	60 811 897.80	60 817 802.76
	N2	28	1.410	1.410	0.2968	901.05	298	0.7737	117 182.87	495 824.15	1 672.27	2 504.18	484 53 455.77	48 455 959.94	
7.	O2	32	0.920	0.920	0.2598	901.05	298	0.2076	31 442.63	89 545.47	292.63	3 220.87	1 138 1641.60	11 384 862.48	
	CO2	44	0.849	0.846	0.1889	901.05	298	0.0003	45.44	157.94	0.39	42.81	11 958.80	12 001.60	
	Ar	40	4.970	4.970	0.2081	901.05	298	0.0092	1 393.41	20 775.76	70.07	104.93	404 027.36	404 132.29	
	H2O	18	1.870	1.868	0.4615	901.05	298	0.0001	15.15	95.71	0.29	11.15	9 738.20	9 749.35	
	Diğer		1.007	1.007	0.2870	901.05	298	0.0091	1 378.27	4 163.33	14.04	21.03	551 076.07	551 097.10	
	Faın					6332.58	329	1.000	69 790.00				1 024 962.80	8 735 482.01	9 760 444.81
	SiO2	46	0.693	0.640	0.1807	6332.58	329	0.177	12 321.90	482 981.46	931.46	208 199.93	1 821 632.45	2 029 832.37	
	Al2O3	100	2.020	1.872	0.1120	6332.58	329	0.049	3 417.47	383 918.64	753.03	161 775.54	313 066.05	474 841.59	
Fe2O3	160	4.173	3.933	0.0520	6332.58	329	0.025	1 779.50	378 467.82	810.03	139 508.88	75 634.37	215 143.25		
CaO	56	0.598	0.575	0.1480	6332.58	329	0.717	50 054.48	1 357 327.24	3 265.12	394 117.68	6 059 235.17	6 453 352.84		
MgO	40	0.373	0.352	0.2079	6332.58	329	0.013	878.82	16 589.57	35.76	6 041.14	149 411.18	155 452.33		
SO3	80	0.604	0.592	0.1039	6332.58	329	0.000	20.81	501.05	1.37	96.56	1 769.08	1 865.63		
K2O	46	4.336	3.861	0.1807	6332.58	329	0.009	600.48	172 666.61	284.01	88 882.35	88 772.74	177 655.08		
Na2O	62	4.378	4.028	0.1341	6332.58	329	0.002	166.26	41 913.41	79.40	18 491.13	18 235.85	36 726.98		
h2o	18	1.905	1.868	0.4615	6332.58	329	0.008	550.28	41 575.68	114.33	7 849.60	207 725.13	215 574.74		
1 Atm = 101325 Pa													TOPLAM	328 983 249.15	

Çizelge F.4 Döner fırın bölümünün ekserji analizi

07 Temmuz (ÇIKAN MADDE)		Mol kütle gr	Cp kJ/KgK	Cp ₀ kJ/KgK	R kJ/KgK	Poo Pa.	T ₁ K	m oranı %	m kg/h	(H-H ₀) kJ/h	(S-S ₀) kJ/h	Ẋ _{fz} kJ/h	Ẋ _{kim} kJ/h	Ẋ _{topl} kJ/h
Nu.	Maddenin Adı													
1	gaz		1.247			330	623	1.00	129 769.81			17 327 704.15	61 360 955.59	78 688 659.74
	N ₂	28	1.009	1.041	0.297	330	623	0.6890	89 411.40	28 768 710.57	67 472.37	8 864 361.84	44 833 813.70	53 698 175.54
	O ₂	32	1.011	0.920	0.260	330	623	0.0127	1 648.08	590 549.34	1 245.07	223 255.14	723 461.76	946 716.90
	CO ₂	44	1.089	0.846	0.189	330	623	0.2244	29 120.35	12 494 822.82	23 711.37	5 499 967.67	9 294 442.69	14 794 410.36
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	330	623	0.0082	1 064.11	1 734 673.60	3 953.63	568 351.56	374 171.84	942 523.40
	H ₂ O	18	2.046	1.868	0.462	330	623	0.0586	7 604.51	5 502 609.05	11 631.33	2 071 365.97	5 929 399.42	8 000 765.39
	Diğer		1.057	1.007	0.287	330	623	0.0001	12.98	4 686.98	10.25	1 663.37	6 292.23	7 955.60
	SO ₂	64	0.704	0.592	0.130	330	623	0.0070	908.39	239 771.01	478.08	98 738.60	199 373.95	298 112.55
2	Klinker		0.946			149.90	386	1.0000	42 333.00			1 810 798.33	7 231 046.08	9 041 844.41
	3CaO	168	0.624	0.570	0.049	149.90	386	0.3961	16 770.10	1 219 421.24	2 813.52	389 433.32	1 579 589.45	1 969 022.77
	SiO ₂	60	0.756	0.640	0.180	149.90	386	0.1415	5 989.32	616 996.03	1 217.39	257 866.64	2 072 347.67	2 330 214.32
	2CaO	112	0.624	0.570	0.074	149.90	386	0.1563	6 615.76	481 058.51	1 109.93	153 630.43	941 074.51	1 094 704.94
	SiO ₂	60	0.756	0.640	0.180	149.90	386	0.0837	3 544.16	365 104.99	720.38	152 591.58	1 226 303.66	1 378 895.24
	3CaO	168	0.624	0.570	0.049	149.90	386	0.0690	2 919.08	212 258.09	489.73	67 786.56	274 950.63	342 737.20
	Al ₂ O ₃	100	2.203	1.872	0.112	149.90	386	0.0410	1 737.55	517 994.49	1 029.16	214 393.70	374 082.50	588 476.19
	4CaO	224	0.624	0.570	0.037	149.90	386	0.0417	1 763.29	128 216.01	295.83	40 946.95	125 411.79	166 358.74
	Al ₂ O ₃	100	2.203	1.872	0.112	149.90	386	0.0186	787.18	234 673.69	466.25	97 129.53	169 475.39	266 604.92
	Fe ₂ O ₃	160	4.491	3.933	0.051	149.90	386	0.0298	1 259.49	722 056.70	1 520.79	273 424.24	123 474.93	396 899.16
	MgO	40	0.397	0.352	0.207	149.90	386	0.0117	493.53	24 381.47	52.68	8 841.25	196 380.42	205 221.66
	K ₂ O	46	4.883	3.861	0.180	149.90	386	0.0083	352.11	262 618.53	462.27	126 249.38	121 832.42	248 081.80
	Na ₂ O	30	4.791	4.028	0.134	149.90	386	0.0024	101.41	67 041.82	130.63	28 504.76	26 122.71	54 627.47
	3	toz		1.021			330	623	1.0000	7 165.66			1 845 904.53	1 050 468.40	2 896 372.92
3CaO		168	0.713	0.640	0.049	330	623	0.4053	2 903.98	1 247 966.71	1 547.87	791 344.25	240 402.03	1 031 746.29
SiO ₂		60	0.940	0.640	0.180	330	623	0.1447	1 037.13	411 555.77	728.81	196 556.22	315 396.26	511 952.48
2CaO		112	0.713	0.570	0.074	330	623	0.1628	1 166.50	322 011.82	621.77	138 590.54	145 836.50	284 427.04
SiO ₂		60	0.940	0.640	0.180	330	623	0.0872	624.91	247 977.58	439.14	118 432.40	190 037.91	308 470.31
3CaO		168	0.713	0.640	0.049	330	623	0.0690	494.11	212 340.60	263.37	134 646.63	40 904.23	175 550.86
Al ₂ O ₃		100	2.632	1.872	0.112	330	623	0.0410	294.11	319 846.51	578.70	149 130.45	55 652.01	204 782.45
4CaO		224	0.713	0.570	0.037	330	623	0.0417	298.47	82 392.45	159.09	35 460.85	18 657.43	54 118.28
Al ₂ O ₃		100	2.632	1.872	0.112	330	623	0.0186	133.25	144 904.17	262.18	67 562.48	25 212.74	92 775.22
Fe ₂ O ₃		160	5.379	3.933	0.051	330	623	0.0298	213.19	467 080.97	857.29	214 180.70	18 369.28	232 549.99
4	Tras değir.		1.086			885.176	563	1.0000	31 812.27			2 991 803.89	12 727 208.34	15 719 012.23
	N ₂	28	1.068	1.041	0.297	885.176	563	0.7737	24 433.04	7 181 707.32	16 858.66	2 208 402.92	10 140 733.12	12 349 136.04
	O ₂	32	0.992	0.920	0.260	885.176	563	0.2076	6 555.90	1 882 769.98	4 202.78	642 948.61	2 382 042.48	3 024 991.09
	CO ₂	44	1.058	0.846	0.189	885.176	563	0.0003	9.47	3 278.38	6.48	1 367.69	2 502.83	3 870.53
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	885.176	563	0.0092	290.53	386 975.84	933.22	111 674.64	84 558.13	196 232.77
	H ₂ O	18	2.046	1.868	0.462	885.176	563	0.0001	3.16	1 897.41	4.18	665.53	2 038.09	2 703.62
	Diğer		1.048	1.007	0.287	885.176	563	0.0091	287.37	84 148.50	194.59	26 744.49	115 333.68	142 078.17
	S.baca		1.086			844.518	563	1.0000	77 277.61			7 321 195.54	31 453 480.27	38 774 675.81
5	N ₂	28	1.068	1.041	0.297	844.518	563	0.7737	59 789.69	17 574 241.33	41 254.56	5 404 147.54	25 061 375.66	30 465 523.19
	O ₂	32	0.992	0.920	0.260	844.518	563	0.2076	16 042.83	4 607 296.37	10 284.57	1 573 349.28	5 886 878.27	7 460 227.55
	CO ₂	44	1.058	0.846	0.189	844.518	563	0.0003	23.18	8 022.46	15.85	3 346.86	6 185.40	9 532.26
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	844.518	563	0.0092	710.95	946 962.39	2 283.68	273 277.23	208 973.36	482 250.59
	H ₂ O	18	2.046	1.868	0.462	844.518	563	0.0001	7.73	4 643.13	10.22	1 628.61	5 036.85	6 665.46
	Diğer		1.048	1.007	0.287	844.518	563	0.0091	703.23	205 918.45	476.18	65 446.02	285 030.74	350 476.76
6	kül		1.300			330	623		978.90			512 164.19	0.00	512 164.19
												TOPLAM		145 632 729.30

Çizelge F.5 Döner fırın bölümünün ekserji analizi

08 Temmuz (GİREN MADDE)		Mol Kütle	Cp	Cp ₀	R	P ₀₀	T ₁	m oranı	m	(H-H ₀)	(S-S ₀)	Ẋ _{fız}	Ẋ _{kim}	Ẋ _{toplam}
Nu.	Maddenin Adı	gr	kJ/KgK	kJ/KgK	kJ/KgK	Pa.	K	%	kg/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h
Taşıyıcı Hava			1.055	1.050		403.16	369	1.0000	31 099.71			311 878.75	14 563 817.05	14 875 695.80
1.	N ₂	28	1.043	1.041	0.297	403.16	369	0.7737	24 061.85	1 896 780.67	5 703.12	220 064.63	11 604 098.72	11 824 163.35
	O ₂	32	0.934	0.919	0.260	403.16	369	0.2076	6 456.30	479 833.96	1 370.07	77 032.85	2 725 784.79	2 802 817.64
	CO ₂	44	0.916	0.845	0.189	403.16	369	0.0003	9.33	836.88	1.94	265.92	2 864.01	3 129.93
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	403.16	369	0.0092	286.12	106 650.25	323.10	11 657.92	96 760.35	108 418.27
	H ₂ O	18	2.005	1.867	0.462	403.16	369	0.0001	3.11	594.12	1.42	177.49	2 332.20	2 509.69
	Diğer		1.011	1.007	0.287	403.16	369	0.0091	283.01	21 791.39	65.00	2 679.93	131 976.99	134 656.92
Primer hava			1.050			17040.26	294	1.0000	3 542.80			0.00	535 162.84	535 162.84
2.	N ₂	28	1.041	1.041	0.297	17040.26	294	0.7737	2 741.07	0.00	0.00	0.00	426 404.86	426 404.86
	O ₂	32	0.919	0.919	0.260	17040.26	294	0.2076	735.49	0.00	0.00	0.00	100 161.84	100 161.84
	CO ₂	44	0.845	0.845	0.189	17040.26	294	0.0003	1.06	0.00	0.00	0.00	105.24	105.24
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	17040.26	294	0.0092	32.59	0.00	0.00	0.00	3 555.56	3 555.56
	H ₂ O	18	1.867	1.867	0.462	17040.26	294	0.0001	0.35	0.00	0.00	0.00	85.70	85.70
	Diğer		1.007	1.007	0.287	17040.26	294	0.0091	32.24	0.00	0.00	0.00	4 849.63	4 849.63
3	Yerli kömür+Petrokok Yanma ısısı													226 125 211.34
4	Yerli kömür+Petrokok Duyulur ısısı		1.054	1.041		403.16	369	1.0000	7 836.11			101 902.55	5 257 260.45	5 359 163.00
	C2	12	0.033	0.025	0.346	403.16	369	0.6653	5 213.37	25 164.92	39.09	13 672.27	2 930 973.15	2 944 645.42
	H2	2	14.467	14.438	4.157	403.16	369	0.0363	284.45	311 116.00	935.04	36 212.86	1 921 342.84	1 957 555.71
	N2	14	1.043	1.041	0.297	403.16	369	0.0161	126.16	9 942.43	29.90	1 151.56	60 842.63	61 994.19
	S2	32	5.985	5.511	0.349	403.16	369	0.0122	95.60	56 235.22	130.01	18 013.30	54 213.00	72 226.30
	O2	16	0.934	0.919	0.260	403.16	369	0.0386	302.47	22 450.92	64.17	3 585.18	127 701.15	131 286.33
	KÜL		1.300	1.300		403.16	369	0.2039	1 597.78	155 783.88	471.96	17 028.71	0.00	17 028.71
	NEM	18	2.004	1.867	0.462	403.16	369	0.0276	216.28	41 188.91	98.47	12 238.67	162 187.67	174 426.34
	Sızıntı hava			1.050			964.04	294	1.0000	24 856.77			0.00	9 804 092.49	9 804 092.49
5.	N ₂	28	1.041	1.041	0.297	964.04	294	0.7737	19 231.68	0.00	0.00	0.00	7 811 664.81	7 811 664.81
	O ₂	32	0.919	0.919	0.260	964.04	294	0.2076	5 160.26	0.00	0.00	0.00	1 834 947.95	1 834 947.95
	CO ₂	44	0.845	0.845	0.189	964.04	294	0.0003	7.46	0.00	0.00	0.00	1 928.00	1 928.00
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	964.04	294	0.0092	228.68	0.00	0.00	0.00	65 137.28	65 137.28
	H ₂ O	18	1.867	1.867	0.462	964.04	294	0.0001	2.49	0.00	0.00	0.00	1 569.99	1 569.99
	Diğer		1.007	1.007	0.287	964.04	294	0.0091	226.20	0.00	0.00	0.00	88 844.47	88 844.47
6	Fan hava		1.050			901.05	297	1.0000	146 838.86			12 346 792.36	58 757 504.27	71 104 296.63
6.	N ₂	28	1.411	1.041	0.297	901.05	297	0.7737	113 609.22	12 821 814.39	1 626.99	12 343 479.23	46 816 564.48	59 160 043.71
	O ₂	32	0.920	0.919	0.260	901.05	297	0.2076	30 483.75	86 796.37	284.63	3 114.89	10 997 138.38	11 000 253.27
	CO ₂	44	0.848	0.845	0.189	901.05	297	0.0003	44.05	152.84	0.38	41.36	1 154.79	1 159.16
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	901.05	297	0.0092	1 350.92	20 142.18	68.16	102.07	39 037.20	390 480.27
	H ₂ O	18	1.870	1.867	0.462	901.05	297	0.0001	14.68	92.72	0.28	10.78	9 409.22	9 420.00
	Diğer		1.007	1.007	0.287	901.05	297	0.0091	1 336.23	4 060.09	13.66	44.03	532 459.20	532 503.23
7.	Farin			0.842		6332.58	329.5	1.000	67 540.00			1 021 470.35	8 425 196.64	9 446 666.99
	SiO ₂	46	0.690	0.638	0.181	6332.58	329.5	0.177	11 924.65	474 398.19	937.96	198 636.61	1 756 927.84	1 955 564.45
	Al ₂ O ₃	100	2.020	1.867	0.112	6332.58	329.5	0.049	3 307.29	385 934.60	761.58	162 029.92	301 945.90	463 975.82
	Fe ₂ O ₃	160	4.173	3.925	0.052	6332.58	329.5	0.025	1 722.13	380 682.99	819.23	139 829.11	72 947.83	212 776.94
	CaO	56	0.598	0.574	0.148	6332.58	329.5	0.717	48 440.74	1 370 146.37	3 302.20	399 298.59	5 844 010.41	6 243 308.99
	MgO	40	0.373	0.351	0.208	6332.58	329.5	0.013	850.49	16 762.76	36.16	6 130.69	144 104.08	150 234.77
	SO ₃	80	0.604	0.592	0.104	6332.58	329.5	0.000	20.14	502.90	1.39	95.20	1 706.24	1 801.44
	K ₂ O	46	4.336	3.844	0.181	6332.58	329.5	0.009	581.12	173 507.90	287.24	89 059.23	85 619.52	174 678.75
	Na ₂ O	62	4.378	4.016	0.134	6332.58	329.5	0.002	160.90	42 130.07	80.30	18 522.05	17 588.11	36 110.16
	h ₂ o	18	1.905	1.867	0.462	6332.58	329.5	0.008	532.54	41 862.48	115.62	7 868.96	200 346.71	208 215.66
1 Atm = 101325 Pa													TOPLAM	337 250 289.09

Çizelge F.6 Döner fırın bölümünün ekserji analizi

08 Temmuz (ÇIKAN MADDE)		Mol kütle gr	Cp kJ/KgK	Cp0 kJ/KgK	R kJ/KgK	Poo Pa.	T1 K	m oranı %	m kg/h	(H-H0) kJ/h	(S-S0) kJ/h	E _{üz} kJ/h	E _{kim} kJ/h	E _{topl} kJ/h	
Nu.	Maddenin Adı														
	gaz		1.247			330	625	1.00	128 203.53			20 171 616.20	60 414 856.83	80 586 473.03	
1	N2	28	1.088	1.041	0.297	330	625	0.6890	88 332.24	33 000 766.42	72 446.74	11 701 425.72	44 142 540.00	55 843 965.72	
	O2	32	1.010	0.919	0.260	330	625	0.0127	1 628.18	587 687.48	1 240.21	223 065.57	712 307.00	935 372.57	
	CO2	44	1.090	0.845	0.189	330	625	0.2244	28 768.87	12 454 281.30	23 649.38	5 501 364.64	9 151 135.59	14 652 500.23	
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	330	625	0.0082	1 051.27	1 729 411.09	3 940.40	570 932.77	368 402.64	939 335.41	
	H2O	18	2.046	1.867	0.462	330	625	0.0586	7 512.73	5 482 737.26	11 592.41	2 074 569.86	5 837 976.50	7 912 546.36	
	Diğer			1.057	1.007	0.287	330	625	0.0001	12.82	4 674.33	10.22	1 669.69	6 195.21	7 864.90
	SO2	64	0.704	0.592	0.130	330	625	0.0070	897.42	238 671.91	476.48	98 587.96	196 299.89	294 887.85	
2	Klinker		0.948			149.90	388	1.0000	41 042.00			1 794 453.20	6 986 761.41	8 781 214.61	
	3CaO	168	0.624	0.570	0.049	149.90	388	0.3961	16 258.68	1 211 791.67	2 814.60	384 300.06	1 526 226.56	1 910 526.63	
	SiO2	60	0.758	0.640	0.180	149.90	388	0.1415	5 806.67	615 181.86	1 221.08	256 185.39	2 002 338.06	2 258 523.45	
	2CaO	112	0.624	0.570	0.074	149.90	388	0.1563	6 414.01	478 048.66	1 110.35	151 605.38	909 282.42	1 060 887.79	
	SiO2	60	0.758	0.640	0.180	149.90	388	0.0837	3 436.07	364 031.47	722.57	151 596.70	1 184 875.74	1 336 472.44	
	3CaO	168	0.624	0.570	0.049	149.90	388	0.0690	2 830.06	210 930.05	489.92	66 893.04	265 662.04	332 555.09	
	Al2O3	100	2.209	1.872	0.112	149.90	388	0.0410	1 684.56	516 694.89	1 032.35	213 182.84	361 444.96	574 627.79	
	4CaO	224	0.624	0.570	0.037	149.90	388	0.0417	1 709.52	127 413.80	295.94	40 407.22	121 175.03	161 582.25	
	Al2O3	100	2.209	1.872	0.112	149.90	388	0.0186	763.18	234 084.91	467.70	96 580.95	163 750.04	260 331.00	
	Fe2O3	160	4.500	3.933	0.051	149.90	388	0.0298	1 221.08	720 070.97	1 524.42	271 891.47	119 303.60	391 195.08	
	MgO	40	0.397	0.352	0.207	149.90	388	0.0117	478.48	24 186.27	52.70	8 692.78	189 746.15	198 438.93	
	K2O	46	4.898	3.861	0.180	149.90	388	0.0083	341.37	261 248.29	463.87	124 871.64	117 716.59	242 588.23	
	Na2O	30	4.802	4.028	0.134	149.90	388	0.0024	98.32	66 755.09	130.98	28 245.72	25 240.21	53 485.93	
	3	toz		1.022			330	625	1.0000	5 831.22			1 511 202.75	851 945.70	2 363 148.45
	3CaO	168	0.713	0.640	0.049	330	625	0.4053	2 363.18	1 019 048.08	1 270.74	645 450.56	194 969.67	840 420.23	
	SiO2	60	0.941	0.640	0.180	330	625	0.1447	843.99	337 567.59	598.96	161 472.99	255 791.11	417 264.10	
	2CaO	112	0.713	0.570	0.074	330	625	0.1628	949.27	263 939.47	510.45	113 868.58	118 275.60	232 144.18	
	SiO2	60	0.941	0.640	0.180	330	625	0.0872	508.54	203 396.96	360.90	97 293.45	154 123.61	251 417.06	
	3CaO	168	0.713	0.640	0.049	330	625	0.0690	402.09	173 390.27	216.22	109 822.93	33 173.94	142 996.87	
	Al2O3	100	2.634	1.872	0.112	330	625	0.0410	239.34	262 289.77	475.45	122 507.85	45 134.62	167 642.47	
	4CaO	224	0.713	0.570	0.037	330	625	0.0417	242.89	67 533.60	130.61	29 135.30	15 131.46	44 266.76	
Al2O3	100	2.634	1.872	0.112	330	625	0.0186	108.43	118 828.50	215.40	55 501.30	20 447.91	75 949.22		
Fe2O3	160	5.385	3.933	0.051	330	625	0.0298	173.49	383 297.52	704.58	176 149.79	14 897.77	191 047.56		
4	Tras değir.		1.088			885.176	569	1.0000	30 806.99			3 127 509.98	12 684 065.26	15 811 575.24	
	N2	28	1.069	1.041	0.297	885.176	569	0.7737	24 433.04	7 380 192.02	17 243.11	2 310 717.49	10 106 357.76	12 417 075.24	
	O2	32	0.994	0.919	0.260	885.176	569	0.2076	6 555.90	1 934 722.20	4 301.59	670 054.16	2 373 967.76	3 044 021.92	
	CO2	44	1.061	0.845	0.189	885.176	569	0.0003	9.47	3 368.85	6.64	1 416.78	2 494.35	3 911.13	
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	885.176	569	0.0092	290.53	397 083.41	953.43	116 773.72	84 271.49	201 045.21	
	H2O	18	2.046	1.867	0.462	885.176	569	0.0001	3.16	1 942.82	4.27	688.53	2 031.18	2 719.71	
	Diğer			1.048	1.007	0.287	885.176	569	0.0091	287.37	86 339.56	198.91	27 859.30	114 943.72	142 802.02
	S.baca			1.088			844.518	569	1.0000	74 835.61			7 411 433.35	30 356 286.29	37 767 719.64
	N2	28	1.069	1.041	0.297	844.518	569	0.7737	57 900.32	17 489 249.14	40 861.95	5 475 835.01	24 187 157.91	29 662 992.93	
	O2	32	0.994	0.919	0.260	844.518	569	0.2076	15 535.87	4 584 818.18	10 193.72	1 587 864.40	5 681 525.88	7 269 390.27	
	CO2	44	1.061	0.845	0.189	844.518	569	0.0003	22.45	7 983.35	15.73	3 357.43	5 969.63	9 327.06	
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	844.518	569	0.0092	688.49	940 990.52	2 259.41	276 725.14	201 683.73	478 408.87	
	H2O	18	2.046	1.867	0.462	844.518	569	0.0001	7.48	4 604.02	10.11	1 631.64	4 861.15	6 492.79	
	Diğer			1.048	1.007	0.287	844.518	569	0.0091	681.00	204 603.63	471.37	66 019.73	275 087.99	341 107.72
6	kül		1.300			330	625		994.90			521 579.71	0.00	521 579.71	
													TOPLAM	145 831 710.68	

Çizelge F.7 Döner fırın bölümünün ekserji analizi

09 Temmuz (GİREN MADDE)		Mol Kütle	Cp	Cp0	R	Poo	T1	m oranı	m	(H-H0)	(S-S0)	$\dot{E}x_{fz}$	$\dot{E}x_{kim}$	$\dot{E}x_{toplam}$
Nu.	Maddenin Adı	gr	kJ/KgK	kJ/KgK	kJ/KgK	Pa.	K	%	kg/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h
Taşıyıcı Hava			1.055	1.050		403.16	365	1.0000	31 244.10			276 233.16	14 681 200.25	14 957 433.41
1.	N ₂	28	1.043	1.041	0.297	403.16	365	0.7737	24 173.56	1 777 578.78	5 367.89	194 050.29	11 697 626.82	11 891 677.11
	O ₂	32	0.933	0.920	0.260	403.16	365	0.2076	6 486.28	449 213.52	1 288.40	69 135.24	2 747 754.40	2 816 889.63
	CO ₂	44	0.913	0.846	0.189	403.16	365	0.0003	9.37	783.29	1.82	246.05	2 887.09	3 133.14
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	403.16	365	0.0092	287.45	100 002.38	304.18	10 268.83	97 540.23	107 809.06
	H ₂ O	18	1.999	1.868	0.462	403.16	365	0.0001	3.12	557.94	1.33	165.64	2 351.00	2 516.63
	Diğer		1.011	1.007	0.287	403.16	365	0.0091	284.32	20 413.42	61.17	2 367.11	133 040.71	135 407.82
	Primer hava		1.050			17040.26	295	1.0000	3 559.25				0.00	539 476.21	539 476.21
2.	N ₂	28	1.041	1.041	0.297	17040.26	295	0.7737	2 753.79	0.00	0.00	0.00	429 841.65	429 841.65
	O ₂	32	0.920	0.920	0.260	17040.26	295	0.2076	738.90	0.00	0.00	0.00	100 969.14	100 969.14
	CO ₂	44	0.846	0.846	0.189	17040.26	295	0.0003	1.07	0.00	0.00	0.00	106.09	106.09
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	17040.26	295	0.0092	32.75	0.00	0.00	0.00	3 584.22	3 584.22
	H ₂ O	18	1.868	1.868	0.462	17040.26	295	0.0001	0.36	0.00	0.00	0.00	86.39	86.39
	Diğer		1.007	1.007	0.287	17040.26	295	0.0091	32.39	0.00	0.00	0.00	4 888.72	4 888.72
	Yerli kömür+Petrokok Yanma ısısı													
4	Yerli kömür+Petrokok Duyulu ısısı		1.053	1.041		403.16	365	1.0000	7 872.49			93 265.46	5 299 633.55	5 392 899.01
3.	C2	12	0.033	0.025	0.346	403.16	365	0.6653	5 237.57	24 459.45	36.80	13 603.04	2 954 596.56	2 968 199.60
	H2	2	14.466	14.438	4.157	403.16	365	0.0363	285.77	291 738.44	880.21	32 075.50	1 936 828.71	1 968 904.21
	N2	14	1.043	1.041	0.297	403.16	365	0.0161	126.75	9 320.23	28.15	1 017.45	61 333.02	62 350.47
	S2	32	5.966	5.518	0.349	403.16	365	0.0122	96.04	52 803.31	122.00	16 811.97	54 649.96	71 461.93
	O2	16	0.933	0.920	0.260	403.16	365	0.0386	303.88	21 045.39	60.36	3 238.95	128 730.41	131 969.36
	KÜL		1.300	1.300		403.16	365	0.2039	1 605.20	146 073.34	444.32	14 999.67	0.00	14 999.67
	NEM	18	1.999	1.868	0.462	403.16	365	0.0276	217.28	38 800.93	92.48	11 518.89	163 494.89	175 013.78
	Sızıntı hava		1.050			964.04	295	1.0000	22 634.97			0.00	8 958 131.05	8 958 131.05
	5.	N ₂	28	1.041	1.041	0.297	964.04	295	0.7737	17 512.68	0.00	0.00	0.00	7 137 623.11	7 137 623.11
O ₂		32	0.920	0.920	0.260	964.04	295	0.2076	4 699.02	0.00	0.00	0.00	1 676 616.60	1 676 616.60
CO ₂		44	0.846	0.846	0.189	964.04	295	0.0003	6.79	0.00	0.00	0.00	1 761.64	1 761.64
Ar		40	4.970	4.970	0.208	964.04	295	0.0092	208.24	0.00	0.00	0.00	59 516.81	59 516.81
H ₂ O		18	1.868	1.868	0.462	964.04	295	0.0001	2.26	0.00	0.00	0.00	1 434.52	1 434.52
Diğer			1.007	1.007	0.287	964.04	295	0.0091	205.98	0.00	0.00	0.00	81 178.39	81 178.39
Fan hava			1.050			901.05	298	1.0000	134 017.31			5 225.00	53 809 371.78	53 814 596.79
6.	N ₂	28	1.410	1.410	0.297	901.05	298	0.7737	103 689.19	438 729.71	1 479.71	2 215.82	42 874 011.66	42 876 227.48
	O ₂	32	0.920	0.920	0.260	901.05	298	0.2076	27 821.99	79 234.26	258.93	2 849.99	10 071 038.84	10 073 888.82
	CO ₂	44	0.849	0.846	0.189	901.05	298	0.0003	40.21	139.75	0.35	37.88	10 581.73	10 619.61
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	901.05	298	0.0092	1 232.96	18 383.42	62.00	92.85	357 503.37	357 596.22
	H ₂ O	18	1.870	1.868	0.462	901.05	298	0.0001	13.40	84.69	0.25	9.87	8 616.84	8 626.71
	Diğer		1.007	1.007	0.287	901.05	298	0.0091	1 219.56	3 683.92	12.42	18.61	487 619.33	487 637.94
	Farin		0.844			6332.58	331	1.000	61 710.00			948 046.39	7 724 123.72	8 672 170.12
7.	SiO ₂	46	0.693	0.640	0.181	6332.58	331	0.177	10 895.32	441 154.34	866.33	185 587.25	1 610 731.31	1 796 318.56
	Al ₂ O ₃	100	2.028	1.872	0.112	6332.58	331	0.049	3 021.81	358 859.88	703.14	151 432.16	276 820.54	428 252.71
	Fe ₂ O ₃	160	4.186	3.933	0.052	6332.58	331	0.025	1 573.48	353 671.84	755.73	130 730.05	66 877.73	197 607.78
	CaO	56	0.599	0.575	0.148	6332.58	331	0.717	44 259.37	1 264 217.68	3 041.88	366 863.69	5 357 721.77	5 724 585.46
	MgO	40	0.374	0.352	0.208	6332.58	331	0.013	777.08	15 466.92	33.35	5 629.80	132 112.97	137 742.77
	SO ₃	80	0.605	0.592	0.104	6332.58	331	0.000	18.40	469.87	1.28	93.04	1 564.26	1 657.30
	K ₂ O	46	4.360	3.861	0.181	6332.58	331	0.009	530.96	161 188.55	265.62	82 831.69	78 494.99	161 326.68
	Na ₂ O	62	4.396	4.028	0.134	6332.58	331	0.002	147.01	39 137.43	74.15	17 263.42	16 124.58	33 388.00
	h ₂ o	18	1.908	1.868	0.462	6332.58	331	0.008	486.57	39 039.02	106.52	7 615.29	183 675.57	191 290.86
	1 Atm = 101325 Pa													TOPLAM	322 551 832.85

Çizelge F.8 Döner fırın bölümünün ekserji analizi

09 Temmuz (ÇIKAN MADDE)		Mol kütle gr	Cp kJ/KgK	Cp ₀ kJ/KgK	R kJ/KgK	P _{oo} Pa.	T ₁ K	m oranı %	m kg/h	(H-H ₀) kJ/h	(S-S ₀) kJ/h	Ẋ _{fiz} kJ/h	Ẋ _{kim} kJ/h	Ẋ _{toplam} kJ/h
Nu.	Maddenin Adı													
1	gaz		1.247			330	634	1.00	121 067.77			19 516 066.12	57 246 244.30	76 762 310.42
	N ₂	28	1.083	1.041	0.297	330	634	0.6890	83 415.70	31 646 037.51	69 104.65	11 260 165.61	41 827 370.97	53 087 536.58
	O ₂	32	1.013	0.919	0.260	330	634	0.0127	1 537.56	569 996.35	1 191.08	218 629.22	674 948.23	893 577.45
	CO ₂	44	1.094	0.845	0.189	330	634	0.2244	27 167.61	12 066 653.93	22 730.72	5 361 092.36	8 671 180.75	14 032 273.11
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	330	634	0.0082	992.76	1 672 624.71	3 774.87	559 037.99	349 080.82	908 118.81
	H ₂ O	18	2.046	1.867	0.462	330	634	0.0586	7 094.57	5 294 962.68	11 105.42	2 018 863.46	5 531 788.81	7 550 652.28
	Diğer		1.059	1.007	0.287	330	634	0.0001	12.11	4 533.72	9.81	1 639.61	5 870.29	7 509.89
	SO ₂	64	0.707	0.592	0.130	330	634	0.0070	847.47	231 867.31	458.40	96 637.87	186 004.43	282 642.30
2	Klinker		0.963			149.90	404	1.0000	37 458.33			1 944 147.95	6 398 386.84	8 342 534.79
	3CaO	168	0.632	0.570	0.049	149.90	404	0.3961	14 839.02	1 293 635.68	2 948.89	423 711.69	1 397 698.79	1 821 410.48
	SiO ₂	60	0.774	0.640	0.180	149.90	404	0.1415	5 299.65	656 605.23	1 289.81	276 111.80	1 833 715.61	2 109 827.42
	2CaO	112	0.632	0.570	0.074	149.90	404	0.1563	5 853.95	510 335.91	1 163.33	167 153.16	832 709.22	999 862.39
	SiO ₂	60	0.774	0.640	0.180	149.90	404	0.0837	3 136.05	388 543.58	763.24	163 388.08	1 085 094.07	1 248 482.15
	3CaO	168	0.632	0.570	0.049	149.90	404	0.0690	2 582.95	225 176.20	513.30	73 753.21	243 289.91	317 043.12
	Al ₂ O ₃	100	2.250	1.872	0.112	149.90	404	0.0410	1 537.47	548 507.36	1 087.74	227 623.43	331 006.68	558 630.11
	4CaO	224	0.632	0.570	0.037	149.90	404	0.0417	1 560.25	136 019.28	310.06	44 551.15	110 970.55	155 521.70
	Al ₂ O ₃	100	2.250	1.872	0.112	149.90	404	0.0186	696.54	248 497.32	492.79	103 123.16	149 960.20	253 083.36
	Fe ₂ O ₃	160	4.576	3.933	0.051	149.90	404	0.0298	1 114.46	767 273.03	1 603.57	294 219.05	109 256.72	403 475.76
	MgO	40	0.402	0.352	0.207	149.90	404	0.0117	436.70	25 576.74	55.20	9 292.41	173 767.10	183 059.50
	K ₂ O	46	5.013	3.861	0.180	149.90	404	0.0083	311.56	276 125.80	491.11	131 247.23	107 803.35	239 050.58
	Na ₂ O	30	4.891	4.028	0.134	149.90	404	0.0024	89.74	70 686.00	138.01	29 973.56	23 114.66	53 088.22
	3	toz		1.027			330	634	1.0000	5 567.71			1 479 896.60	816 213.44	2 296 110.04
3CaO		168	0.716	0.049	0.049	330	634	0.4053	2 256.39	991 658.04	1 236.03	627 028.22	186 792.26	813 820.48
SiO ₂		60	0.947	0.640	0.180	330	634	0.1447	805.85	331 687.54	583.86	159 448.69	245 062.74	404 511.43
2CaO		112	0.716	0.570	0.074	330	634	0.1628	906.37	259 035.62	496.50	112 566.99	113 314.89	225 881.88
SiO ₂		60	0.947	0.640	0.180	330	634	0.0872	485.56	199 854.01	351.80	96 073.73	147 659.37	243 733.10
3CaO		168	0.716	0.049	0.049	330	634	0.0690	383.92	168 729.88	210.31	106 688.38	31 782.56	138 470.95
Al ₂ O ₃		100	2.646	1.872	0.112	330	634	0.0410	228.53	257 165.24	462.62	120 691.29	43 241.58	163 932.88
4CaO		224	0.716	0.570	0.037	330	634	0.0417	231.91	66 278.87	127.04	28 802.26	14 496.81	43 299.08
Al ₂ O ₃		100	2.646	1.872	0.112	330	634	0.0186	103.53	116 506.87	209.59	54 678.32	19 590.29	74 268.61
Fe ₂ O ₃	160	5.413	3.933	0.051	330	634	0.0298	165.65	376 293.86	686.02	173 918.71	14 272.93	188 191.63	
4	Tras değir.		1.085			885.176	558	1.0000	27 980.31			2 892 352.07	12 727 208.34	15 619 560.41
	N ₂	28	1.066	1.041	0.297	885.176	558	0.7737	24 433.04	7 029 325.80	16 601.05	2 132 016.39	10 140 733.12	12 272 749.51
	O ₂	32	0.990	0.919	0.260	885.176	558	0.2076	6 555.90	1 844 962.12	4 138.51	624 102.52	2 382 042.48	3 006 145.00
	CO ₂	44	1.055	0.845	0.189	885.176	558	0.0003	9.47	3 215.34	6.37	1 336.38	2 502.83	3 839.21
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	885.176	558	0.0092	290.53	379 756.14	920.34	108 254.81	84 558.13	192 812.94
	H ₂ O	18	2.046	1.867	0.462	885.176	558	0.0001	3.16	1 865.85	4.12	650.97	2 038.09	2 689.06
	Diğer		1.047	1.007	0.287	885.176	558	0.0091	287.37	82 581.29	191.83	25 991.00	115 333.68	141 324.68
	S.baca		1.085			844.518	558	1.0000	67 969.10			6 225 265.93	27 664 738.81	33 890 004.75
5	N ₂	28	1.066	1.041	0.297	844.518	558	0.7737	52 587.70	15 129 355.40	35 730.76	4 588 780.58	22 042 597.70	26 631 378.27
	O ₂	32	0.990	0.919	0.260	844.518	558	0.2076	14 110.39	3 970 948.05	8 907.39	1 343 268.06	5 177 772.01	6 521 040.06
	CO ₂	44	1.055	0.845	0.189	844.518	558	0.0003	20.39	6 920.45	13.71	2 876.31	5 440.33	8 316.65
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	844.518	558	0.0092	625.32	817 356.56	1 980.87	232 998.94	183 801.39	416 800.33
	H ₂ O	18	2.046	1.867	0.462	844.518	558	0.0001	6.80	4 015.91	8.86	1 401.10	4 430.13	5 831.24
	Diğer		1.047	1.007	0.287	844.518	558	0.0091	618.52	177 741.32	412.88	55 940.94	250 697.25	306 638.19
6	kül		1.300			330	634		994.90			528 085.10	0.00	528 085.10
													TOPLAM	137 438 605.51

Çizelge F.9 Döner fırın bölümünün ekserji analizi

10 Temmuz (GİREN MADDE)		Mol Kütle	Cp	Cp ₀	R	P ₀₀	T ₁	m oranı	m	(H-H ₀)	(S-S ₀)	$\dot{E}x_{fiz}$	$\dot{E}x_{kim}$	$\dot{E}x_{toplam}$	
Nu.	Maddenin Adı	gr	kJ/KgK	kJ/KgK	kJ/KgK	Pa.	K	%	kg/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	
1.	Taşıyıcı Hava		1.055	1.050		403.16	295	1.0000	29 931.05			271 641.38	14 064 212.78	14 335 854.17	
	N ₂	28	1.043	1.041	0.297	403.16	295	0.7737	23 157.65	1 727 534.48	5 208.68	190 973.75	11 206 026.07	11 396 999.82	
	O ₂	32	0.933	0.920	0.260	403.16	295	0.2076	6 213.69	436 723.06	1 250.46	67 836.41	2 632 278.14	2 700 114.55	
	CO ₂	44	0.913	0.846	0.189	403.16	295	0.0003	8 98	761.52	1.77	239.73	2 765.76	3 005.49	
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	403.16	295	0.0092	275.37	97 168.28	295.14	10 101.25	93 441.04	103 542.29	
	H ₂ O	18	2.001	1.868	0.462	403.16	295	0.0001	2.99	542.23	1.29	161.28	2 252.19	2 413.47	
	Diğer		1.011	1.007	0.287	403.16	295	0.0091	272.37	19 840.73	59.36	2 328.96	127 449.58	129 778.54	
2	Primer hava		1.050			17040.26	295	1.0000	3 409.67			0.00	516 804.35	516 804.35	
	N ₂	28	1.041	1.041	0.297	17040.26	295	0.7737	2 638.06	0.00	0.00	0.00	411 777.26	411 777.26	
	O ₂	32	0.920	0.920	0.260	17040.26	295	0.2076	707.85	0.00	0.00	0.00	96 725.84	96 725.84	
	CO ₂	44	0.846	0.846	0.189	17040.26	295	0.0003	1.02	0.00	0.00	0.00	101.63	101.63	
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	17040.26	295	0.0092	31.37	0.00	0.00	0.00	3 433.59	3 433.59	
	H ₂ O	18	1.868	1.868	0.462	17040.26	295	0.0001	0.34	0.00	0.00	0.00	82.76	82.76	
	Diğer		1.007	1.007	0.287	17040.26	295	0.0091	31.03	0.00	0.00	0.00	4 683.27	4 683.27	
3	Yerli kömür+Petrokok Yanma ısısı						295							220 068 337.68	
4	Yerli kömür+Petrokok Duyulur ısısı		1.054	1.041		403.16	295	1.0000	7 541.65			91 116.10	5 076 912.83	5 168 028.93	
	C2	12	0.033	0.025	0.346	403.16	295	0.6653	5 017.46	23 597.10	35.71	13 063.30	2 830 427.62	2 843 490.92	
	H2	2	14.466	14.438	4.157	403.16	295	0.0363	273.76	283 478.25	854.08	31 524.49	1 855 432.16	1 886 956.66	
	N2	14	1.043	1.041	0.297	403.16	295	0.0161	121.42	9 057.83	27.31	1 001.32	58 755.46	59 756.77	
	S2	32	5.972	5.518	0.349	403.16	295	0.0122	92.01	51 335.18	118.50	16 378.24	52 353.26	68 731.50	
	O2	16	0.933	0.920	0.260	403.16	295	0.0386	291.11	20 460.22	58.58	3 178.10	123 320.43	126 498.53	
	KÜL		1.300	1.300		403.16	295	0.2039	1 537.74	141 933.57	431.11	14 754.89	0.00	14 754.89	
	NEM	18	2.001	1.868	0.462	403.16	295	0.0276	208.15	37 708.27	89.81	11 215.76	156 623.90	167 839.67	
	5	Sızıntı hava		1.050			964.04	295	1.0000	24 739.57			0.00	9 791 057.80	9 791 057.80
		N ₂	28	1.041	1.041	0.297	964.04	295	0.7737	19 141.01	0.00	0.00	0.00	7 801 279.08	7 801 279.08
O ₂		32	0.920	0.920	0.260	964.04	295	0.2076	5 135.93	0.00	0.00	0.00	1 832 508.36	1 832 508.36	
CO ₂		44	0.846	0.846	0.189	964.04	295	0.0003	7.42	0.00	0.00	0.00	1 925.43	1 925.43	
Ar		40	4.970	4.970	0.208	964.04	295	0.0092	227.60	0.00	0.00	0.00	65 050.68	65 050.68	
H ₂ O		18	1.868	1.868	0.462	964.04	295	0.0001	2.47	0.00	0.00	0.00	1 567.91	1 567.91	
Diğer			1.007	1.007	0.287	964.04	295	0.0091	225.13	0.00	0.00	0.00	88 726.35	88 726.35	
6	Fan hava		1.050			901.05	295	1.0000	144 005.26			4 990.88	57 819 641.57	57 824 632.44	
	N ₂	28	1.041	1.041	0.297	901.05	295	0.7737	111 416.87	347 968.26	1 173.60	1 757.43	46 069 298.06	46 071 055.48	
	O ₂	32	0.920	0.920	0.260	901.05	295	0.2076	29 895.49	85 139.37	278.23	3 062.39	10 821 606.66	10 824 669.04	
	CO ₂	44	0.849	0.846	0.189	901.05	295	0.0003	43.20	150.17	0.37	40.70	11 370.36	11 411.06	
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	901.05	295	0.0092	1 324.85	19 753.49	66.62	99.77	384 147.15	384 246.91	
	H ₂ O	18	1.870	1.868	0.462	901.05	295	0.0001	14.40	91.00	0.27	10.60	9 259.03	9 269.64	
	Diğer		1.007	1.007	0.287	901.05	295	0.0091	1 310.45	3 958.47	13.35	19.99	523 960.31	523 980.30	
7	Farin		0.844			6332.58	295	1.000	66 210.00			1 016 231.27	8 287 380.19	9 303 611.46	
	SiO ₂	46	0.693	0.640	0.181	6332.58	295	0.177	11 689.83	472 025.52	925.58	198 980.11	1 728 188.63	1 927 168.74	
	Al ₂ O ₃	100	2.028	1.872	0.112	6332.58	295	0.049	3 242.17	383 974.61	751.23	162 360.84	297 006.78	459 367.61	
	Fe ₂ O ₃	160	4.186	3.933	0.052	6332.58	295	0.025	1 688.22	378 329.43	807.42	140 140.56	71 754.57	211 895.13	
	CaO	56	0.599	0.575	0.148	6332.58	295	0.717	47 486.84	1 351 847.11	3 249.91	393 122.76	5 748 416.11	6 141 538.87	
	MgO	40	0.374	0.352	0.208	6332.58	295	0.013	833.74	16 544.81	35.63	6 034.93	141 746.88	147 781.81	
	SO ₃	80	0.605	0.592	0.104	6332.58	295	0.000	19.74	502.22	1.36	99.62	1 678.33	1 777.95	
	K ₂ O	46	4.360	3.861	0.181	6332.58	295	0.009	569.67	172 544.56	283.78	88 828.85	84 218.98	173 047.83	
	Na ₂ O	62	4.396	4.028	0.134	6332.58	295	0.002	157.73	41 880.26	79.22	18 510.27	17 300.41	35 810.68	
	h ₂ o	18	1.908	1.868	0.462	6332.58	295	0.008	522.05	41 726.15	113.81	8 153.33	197 069.51	205 222.84	
1 Atm = 101325 Pa													TOPLAM	317 008 326.83	

Çizelge F.10 Döner fırın bölümünün ekserji analizi

10 Temmuz (ÇIKAN MADDE)		Mol kütle	Cp	Cp ₀	R	Poo	T ₁	m oranı	m	(H-H ₀)	(S-S ₀)	Ẃ _{fi}	Ẃ _{kim}	Ẃ _{topl}	
Nu.	Maddenin Adı	gr	kJ/KgK	kJ/KgK	kJ/KgK	Pa.	K	%	kg/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	
	gaz		1.247			330	633	1.00	125 352.80			20 115 570.07	59 272 395.45	79 387 965.52	
1	N ₂	28	1.083	1.041	0.297	330	633	0.6890	86 368.08	32 660 009.56	71 387.72	11 600 631.91	43 307 792.56	54 908 424.47	
	O ₂	32	1.012	0.919	0.260	330	633	0.0127	1 591.98	588 276.50	1 230.35	225 324.23	698 837.09	924 161.32	
	CO ₂	44	1.093	0.845	0.189	330	633	0.2244	28 129.17	12 455 851.99	23 478.09	5 529 815.50	8 978 085.13	14 507 900.62	
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	330	633	0.0082	1 027.89	1 726 716.31	3 900.41	576 094.66	361 436.05	937 530.71	
	H ₂ O	18	2.046	1.867	0.462	330	633	0.0586	7 345.67	5 467 341.27	11 474.76	2 082 287.70	5 727 578.78	7 809 866.48	
	Diğer		1.059	1.007	0.287	330	633	0.0001	12.54	4 679.00	10.13	1 689.32	6 078.06	7 767.38	
	SO ₂	64	0.707	0.592	0.130	330	633	0.0070	877.47	239 453.56	473.65	99 726.75	192 587.80	292 314.55	
2	Klinker		0.951			149.90	391	1.0000	40 250.00			1 819 330.51	6 875 241.65	8 694 572.16	
	3CaO	168	0.626	0.570	0.049	149.90	391	0.3961	15 944.93	1 221 636.58	2 812.12	392 062.08	1 501 865.57	1 893 927.65	
	SiO ₂	60	0.761	0.640	0.180	149.90	391	0.1415	5 694.62	619 295.30	1 220.92	259 125.17	1 970 377.58	2 229 502.75	
	2CaO	112	0.626	0.570	0.074	149.90	391	0.1563	6 290.23	481 932.46	1 109.37	154 667.47	894 768.83	1 049 436.30	
	SiO ₂	60	0.761	0.640	0.180	149.90	391	0.0837	3 369.77	366 465.58	722.47	153 336.31	1 165 963.25	1 319 299.56	
	3CaO	168	0.626	0.570	0.049	149.90	391	0.0690	2 775.45	212 643.71	489.49	68 244.14	261 421.66	329 665.79	
	Al ₂ O ₃	100	2.216	1.872	0.112	149.90	391	0.0410	1 652.05	519 101.25	1 031.41	214 836.22	355 675.72	570 511.94	
	4CaO	224	0.626	0.570	0.037	149.90	391	0.0417	1 676.53	128 448.94	295.68	41 223.35	119 240.89	160 464.24	
	Al ₂ O ₃	100	2.216	1.872	0.112	149.90	391	0.0186	748.45	235 175.10	467.27	97 330.01	161 136.34	258 466.34	
	Fe ₂ O ₃	160	4.515	3.933	0.051	149.90	391	0.0298	1 197.52	724 655.68	1 523.27	275 290.64	117 399.33	392 689.97	
	MgO	40	0.398	0.352	0.207	149.90	391	0.0117	469.25	24 296.71	52.62	8 774.85	186 717.50	195 492.35	
	K ₂ O	46	4.921	3.861	0.180	149.90	391	0.0083	334.78	262 844.33	464.15	125 921.25	115 837.65	241 758.90	
	Na ₂ O	30	4.820	4.028	0.134	149.90	391	0.0024	96.42	67 146.23	130.94	28 519.02	24 837.34	53 356.36	
	3	toz		1.027			330	633	1.0000	5 785.52			1 533 723.54	848 143.03	2 381 866.57
	3CaO	168	0.716	0.640	0.049	330	633	0.4053	2 344.66	1 028 772.10	1 281.74	650 660.02	194 099.42	844 759.44	
	SiO ₂	60	0.946	0.640	0.180	330	633	0.1447	837.38	343 339.82	604.81	164 921.01	254 649.39	419 570.40	
	2CaO	112	0.716	0.570	0.074	330	633	0.1628	941.83	268 494.53	514.86	116 610.19	117 747.68	234 357.86	
	SiO ₂	60	0.946	0.640	0.180	330	633	0.0872	504.55	206 874.94	364.42	99 371.01	153 435.68	252 806.69	
	3CaO	168	0.716	0.640	0.049	330	633	0.0690	398.94	175 044.80	218.09	110 709.32	33 025.87	143 735.19	
	Al ₂ O ₃	100	2.645	1.872	0.112	330	633	0.0410	237.47	266 446.69	479.55	124 980.07	44 933.16	169 913.23	
	4CaO	224	0.716	0.570	0.037	330	633	0.0417	240.98	68 699.10	131.74	29 836.79	15 063.92	44 900.71	
	Al ₂ O ₃	100	2.645	1.872	0.112	330	633	0.0186	107.58	120 711.76	217.26	56 621.32	20 356.65	76 977.97	
Fe ₂ O ₃	160	5.410	3.933	0.051	330	633	0.0298	172.13	389 755.54	710.99	180 013.83	14 831.27	194 845.10		
4	Tras değir.		1.080			885.176	535	1.0000	30 192.73			2 479 275.16	12 727 208.34	15 206 483.50	
	N ₂	28	1.062	1.041	0.297	885.176	535	0.7737	24 433.04	6 381 911.43	15 450.92	1 823 891.36	10 140 733.12	11 964 624.49	
	O ₂	32	0.983	0.919	0.260	885.176	535	0.2076	6 555.90	1 670 370.69	3 837.10	538 424.78	2 382 042.48	2 920 467.26	
	CO ₂	44	1.041	0.845	0.189	885.176	535	0.0003	9.47	2 915.56	5.87	1 183.64	2 502.83	3 686.47	
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	885.176	535	0.0092	290.53	346 545.52	859.56	92 973.89	845 58.13	177 532.02	
	H ₂ O	18	2.046	1.867	0.462	885.176	535	0.0001	3.16	1 717.25	3.85	582.60	2 038.09	2 620.69	
	Diğer		1.042	1.007	0.287	885.176	535	0.0091	287.37	74 785.16	178.19	22 218.89	115 333.68	137 552.57	
	S.baca		1.080			844.518	535	1.0000	73 343.47			5 758 129.16	29 852 210.48	35 610 339.64	
5	N ₂	28	1.062	1.041	0.297	844.518	535	0.7737	56 745.85	14 822 021.72	35 884.83	4 235 996.96	23 785 522.45	28 021 519.40	
	O ₂	32	0.983	0.919	0.260	844.518	535	0.2076	15 226.11	3 879 444.41	8 911.70	1 250 494.29	5 587 182.33	6 837 676.62	
	CO ₂	44	1.041	0.845	0.189	844.518	535	0.0003	22.00	6 771.40	13.64	2 749.01	5 870.50	8 619.51	
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	844.518	535	0.0092	674.76	804 853.74	1 996.34	215 932.33	198 334.70	414 267.04	
	H ₂ O	18	2.046	1.867	0.462	844.518	535	0.0001	7.33	3 988.32	8.93	1 353.08	4 780.43	6 133.51	
	Diğer		1.042	1.007	0.287	844.518	535	0.0091	667.43	173 688.92	413.85	51 603.49	270 520.07	322 123.56	
	kül		1.300			330	633		912.68				483 809.23	0.00	483 809.23
													TOPLAM		141 765 036.62

Çizelge F.11 Döner fırın bölümünün ekserji analizi

11 Temmuz (GİREN MADDE)		Mol Kütle	Cp	Cp ₀	R	Poo	T ₁	m oranı	m	(H-H ₀)	(S-S ₀)	$\dot{E}x_{fiz}$	$\dot{E}x_{kim}$	$\dot{E}x_{toplam}$
Nu.	Maddenin Adı	gr	kJ/KgK	kJ/KgK	kJ/KgK	Pa.	K	%	kg/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h
1.	Taşıyıcı Hava		1.055	1.050		403.16	369	1.0000	31 628.94			302 409.31	14 912 409.14	15 214 818.44
	N ₂	28	1.043	1.041	0.297	403.16	369	0.7737	24 471.31	1 878 392.80	5 627.10	212 771.00	11 881 848.50	12 094 619.50
	O ₂	32	0.934	0.920	0.260	403.16	369	0.2076	6 566.17	475 536.71	1 351.81	75 400.80	2 791 027.78	2 866 428.58
	CO ₂	44	0.916	0.847	0.189	403.16	369	0.0003	9.49	829.20	1.92	262.01	2 932.56	3 194.57
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	403.16	369	0.0092	290.99	105 572.72	318.80	11 208.92	99 076.36	110 285.28
	H ₂ O	18	2.001	1.869	0.462	403.16	369	0.0001	3.16	585.24	1.39	172.38	2 388.02	2 560.40
	Diğer		1.011	1.007	0.287	403.16	369	0.0091	287.82	21 579.20	64.14	2 594.20	135 135.92	137 730.12
2.	Primer hava		1.050			17040.26	296	1.0000	3 603.09			0.00	547 972.22	547 972.22
	N ₂	28	1.041	1.041	0.297	17040.26	296	0.7737	2 787.71	0.00	0.00	0.00	436 611.07	436 611.07
	O ₂	32	0.920	0.920	0.260	17040.26	296	0.2076	748.00	0.00	0.00	0.00	102 559.26	102 559.26
	CO ₂	44	0.847	0.847	0.189	17040.26	296	0.0003	1.08	0.00	0.00	0.00	107.76	107.76
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	17040.26	296	0.0092	33.15	0.00	0.00	0.00	3 640.67	3 640.67
	H ₂ O	18	1.869	1.869	0.462	17040.26	296	0.0001	0.36	0.00	0.00	0.00	87.75	87.75
	Diğer		1.007	1.007	0.287	17040.26	296	0.0091	32.79	0.00	0.00	0.00	4 965.71	4 965.71
3.	Yerli kömür+Petrokok Yanma ısısı													228 272 176.43
4.	Yerli kömür+Petrokok Duyulur ısısı		1.054	1.041		403.16	369	1.0000	7 969.46			99 818.08	6 146 034.76	6 245 852.84
	C2	12	0.033	0.025	0.346	403.16	369	0.6653	5 302.08	25 328.04	38.57	13 911.44	3 001 127.43	3 015 038.87
	H2	2	14.468	14.438	4.157	403.16	369	0.0363	289.29	308 031.12	922.61	34 939.36	1 967 331.13	2 002 270.49
	N2	14	1.043	1.041	0.297	403.16	369	0.0161	128.31	9 848.81	29.50	1 115.60	62 298.93	63 414.53
	S2	32	5.991	5.524	0.349	403.16	369	0.0122	97.23	55 961.67	128.40	17 954.58	55 510.62	73 465.20
	O2	16	0.934	0.920	0.260	403.16	369	0.0386	307.62	22 278.62	63.33	3 532.48	130 757.74	134 290.23
	KÜL		1.300	1.300	0.287	403.16	369	0.2039	1 624.97	154 209.93	465.67	16 372.85	762 939.21	779 312.06
	NEM	18	2.001	1.869	0.462	403.16	369	0.0276	219.96	40 704.51	97.00	11 991.76	166 069.71	178 061.47
	5.	Sızıntı hava		1.050			964.04	296	1.0000	25 219.18			0.00	10 014 705.79	10 014 705.79
N ₂		28	1.041	1.041	0.297	964.04	296	0.7737	19 512.08	0.00	0.00	0.00	7 979 476.41	7 979 476.41
O ₂		32	0.920	0.920	0.260	964.04	296	0.2076	5 235.50	0.00	0.00	0.00	1 874 366.63	1 874 366.63
CO ₂		44	0.847	0.847	0.189	964.04	296	0.0003	7.57	0.00	0.00	0.00	1 969.41	1 969.41
Ar		40	4.970	4.970	0.208	964.04	296	0.0092	232.02	0.00	0.00	0.00	66 536.57	66 536.57
H ₂ O		18	1.869	1.869	0.462	964.04	296	0.0001	2.52	0.00	0.00	0.00	1 603.72	1 603.72
Diğer			1.007	1.007	0.287	964.04	296	0.0091	229.49	0.00	0.00	0.00	90 753.04	90 753.04
6.	Fan hava		1.050			901.05	299	1.0000	146 538.33			6 402.37	59 036 139.07	59 042 541.44
	N ₂	28	1.041	1.041	0.297	901.05	299	0.7737	113 376.70	355 458.64	1 190.32	3 124.85	47 038 573.97	47 041 698.83
	O ₂	32	0.920	0.920	0.260	901.05	299	0.2076	30 421.36	86 655.23	282.20	3 124.01	11 049 288.07	11 052 412.07
	CO ₂	44	0.849	0.847	0.189	901.05	299	0.0003	43.96	140.53	0.38	29.13	11 609.59	11 638.72
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	901.05	299	0.0092	1 348.15	20 100.96	67.57	101.18	392 229.42	392 330.60
	H ₂ O	18	1.871	1.869	0.462	901.05	299	0.0001	14.65	92.67	0.28	10.82	9 453.84	9 464.66
	Diğer		1.007	1.007	0.287	901.05	299	0.0091	1 333.50	4 020.21	13.54	12.38	534 984.18	534 996.57
7.	Farin		0.843			6332.58	330	1.000	67 500.00			983 094.11	8 477 487.21	9 460 581.31
	SiO ₂	46	0.691	0.641	0.181	6332.58	330	0.177	11 917.58	459 544.87	905.03	191 655.20	1 767 832.13	1 959 487.33
	Al ₂ O ₃	100	2.024	1.877	0.112	6332.58	330	0.049	3 305.33	373 859.17	735.23	156 230.77	303 819.92	460 050.69
	Fe ₂ O ₃	160	4.180	3.941	0.052	6332.58	330	0.025	1 721.11	369 134.40	790.65	135 102.65	73 400.57	208 503.22
	CaO	56	0.598	0.575	0.148	6332.58	330	0.717	48 412.05	1 325 057.53	3 181.65	383 288.54	5 880 280.97	6 263 569.51
	MgO	40	0.373	0.353	0.208	6332.58	330	0.013	849.99	15 933.63	34.84	5 620.01	144 998.46	150 618.46
	SO ₃	80	0.604	0.593	0.104	6332.58	330	0.000	20.13	483.58	1.34	88.09	1 716.83	1 804.92
	K ₂ O	46	4.348	3.877	0.181	6332.58	330	0.009	580.77	167 799.08	277.52	85 653.10	86 150.91	171 804.01
	Na ₂ O	62	4.387	4.039	0.134	6332.58	330	0.002	160.80	40 820.21	77.53	17 872.22	17 697.27	35 569.49
	h ₂ o	18	1.905	1.869	0.462	6332.58	330	0.008	532.23	40 565.82	111.43	7 583.54	201 590.15	209 173.69
1 Atm = 101325 Pa													TOPLAM	328 798 648.48

Çizelge F.12 Döner fırın bölümünün ekserji analizi

11 Temmuz (ÇIKAN MADDE)		Mol kütle gr	Cp kJ/KgK	Cp0 kJ/KgK	R kJ/KgK	Poo Pa.	T1 K	m oranı %	m kg/h	(H-H0) kJ/h	(S-S0) kJ/h	$\dot{E}x_{fiz}$ kJ/h	$\dot{E}x_{kim}$ kJ/h	$\dot{E}x_{toplam}$ kJ/h	
Nu.	Maddenin Adı														
	gaz		1.247			330	631	1.00	129 148.80			20 413 749.47	61 274 322.02	81 688 071.49	
1	N2	28	1.082	1.041	0.297	330	631	0.6890	88 983.53	33 338 954.95	72 887.69	11 764 198.99	44 770 514.28	56 534 713.28	
	O2	32	1.012	0.920	0.260	330	631	0.0127	1 640.19	600 585.81	1 256.04	228 798.88	722 440.32	951 239.21	
	CO2	44	1.092	0.847	0.189	330	631	0.2244	28 980.99	12 712 558.36	23 964.04	5 619 202.03	9 281 320.16	14 900 522.19	
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	330	631	0.0082	1 059.02	1 763 215.67	3 984.06	583 934.20	373 643.56	957 577.76	
	H2O	18	2.046	1.869	0.462	330	631	0.0586	7 568.12	5 584 222.05	11 720.84	2 114 853.17	5 921 027.89	8 035 881.06	
	Diğer			1.058	1.007	0.287	330	631	0.0001	12.91	4 776.28	10.35	1 713.51	6 283.34	7 996.86
	SO2	64	0.706	0.593	0.130	330	631	0.0070	9 04.04	244 053.27	483.12	101 048.68	199 092.46	300 141.14	
2	Klinker		0.954			149.90	394	1.0000	409 58.00			1 884 955.74	7 019 893.43	8 904 849.17	
3	3CaO	168	0.627	0.571	0.049	149.90	394	0.3961	162 25.40	1 265 938.16	2 909.48	404 730.82	1 533 464.10	1 938 194.93	
	SiO2	60	0.764	0.641	0.180	149.90	394	0.1415	5 794.79	644 843.76	1 266.15	270 064.53	2 011 833.37	2 281 897.90	
	2CaO	112	0.627	0.571	0.074	149.90	394	0.1563	6 400.88	499 409.31	1 147.78	159 665.26	913 594.34	1 073 259.60	
	SiO2	60	0.764	0.641	0.180	149.90	394	0.0837	3 429.04	381 583.78	749.24	159 809.63	1 190 494.56	1 350 304.19	
	3CaO	168	0.627	0.571	0.049	149.90	394	0.0690	2 824.27	220 355.04	506.44	70 449.32	266 921.84	337 371.16	
	Al2O3	100	2.224	1.877	0.112	149.90	394	0.0410	1 681.11	539 072.08	1 069.26	222 570.28	363 158.97	585 729.25	
	4CaO	224	0.627	0.571	0.037	149.90	394	0.0417	1 706.02	133 107.03	305.92	42 555.41	121 749.66	164 305.07	
	Al2O3	100	2.224	1.877	0.112	149.90	394	0.0186	761.62	244 222.74	484.42	100 833.87	164 526.57	265 360.43	
	Fe2O3	160	4.529	3.941	0.051	149.90	394	0.0298	1 218.59	752 951.56	1 578.38	285 751.43	119 869.36	405 620.78	
	MgO	40	0.399	0.353	0.207	149.90	394	0.0117	477.50	25 172.95	54.49	9 044.49	190 645.95	199 690.44	
	K2O	46	4.943	3.877	0.180	149.90	394	0.0083	340.67	272 521.32	481.59	129 969.42	118 274.81	248 244.23	
	Na2O	30	4.837	4.039	0.134	149.90	394	0.0024	98.12	69 688.66	135.73	29 511.29	25 359.90	54 871.19	
	3	toz		1.026			330	631	1.0000	5 840.69			1 107 837.75	859 133.62	1 966 971.37
3	3CaO	168	0.715	0.571	0.049	330	631	0.4053	2 367.02	667 851.22	1 281.07	288 654.92	196 614.64	485 269.56	
	SiO2	60	0.945	0.641	0.180	330	631	0.1447	845.36	343 689.89	604.70	164 698.63	257 949.24	422 647.87	
	2CaO	112	0.715	0.571	0.074	330	631	0.1628	950.81	268 270.05	514.59	115 950.18	119 273.50	235 223.68	
	SiO2	60	0.945	0.641	0.180	330	631	0.0872	509.36	207 085.87	364.35	99 237.02	155 423.96	254 660.98	
	3CaO	168	0.715	0.571	0.049	330	631	0.0690	402.75	113 634.39	217.97	49 114.42	33 453.84	82 568.25	
	Al2O3	100	2.642	1.877	0.112	330	631	0.0410	239.73	266 462.04	479.42	124 552.49	45 515.42	170 067.91	
	4CaO	224	0.716	0.571	0.037	330	631	0.0417	243.28	68 795.17	131.85	29 766.92	15 259.12	45 026.04	
	Al2O3	100	2.642	1.877	0.112	330	631	0.0186	108.61	120 718.72	217.20	56 427.61	20 620.44	77 048.05	
Fe2O3	160	5.404	3.941	0.051	330	631	0.0298	173.77	389 839.29	710.82	179 435.58	15 023.46	194 459.04		
4	Tras değir.		1.080			885.176	535	1.0000	30 756.33			2 459 836.06	12 770 351.42	15 230 187.48	
4	N2	28	1.062	1.041	0.297	885.176	535	0.7737	24 433.04	6 356 763.00	15 363.08	1 809 291.17	10 175 108.49	11 984 399.66	
	O2	32	0.983	0.920	0.260	885.176	535	0.2076	6 555.90	1 663 955.09	3 815.29	534 628.75	2 390 117.20	2 924 745.95	
	CO2	44	1.041	0.847	0.189	885.176	535	0.0003	9.47	2 901.67	5.84	1 173.75	2 511.32	3 685.07	
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	885.176	535	0.0092	290.53	345 101.59	854.68	92 116.77	84 844.77	176 961.54	
	H2O	18	2.046	1.869	0.462	885.176	535	0.0001	3.16	1 709.86	3.82	577.83	2 045.00	2 622.83	
	Diğer			1.042	1.007	0.287	885.176	535	0.0091	287.37	74 492.41	177.18	22 047.79	115 724.64	137 772.43
	S.baca			1.080			844.518	535	1.0000	74 712.56			5 819 624.44	30 512 536.55	36 332 160.99
5	N2	28	1.062	1.041	0.297	844.518	535	0.7737	57 805.11	15 039 202.77	36 346.88	4 280 527.18	24 311 654.36	28 592 181.53	
	O2	32	0.983	0.920	0.260	844.518	535	0.2076	15 510.33	3 936 682.55	9 026.44	1 264 856.05	5 710 769.90	6 975 625.95	
	CO2	44	1.041	0.847	0.189	844.518	535	0.0003	22.41	6 864.94	13.81	2 776.94	6 000.36	8 777.30	
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	844.518	535	0.0092	687.36	816 461.57	2 022.05	217 935.26	202 721.84	420 657.09	
	H2O	18	2.046	1.869	0.462	844.518	535	0.0001	7.47	4 045.28	9.05	1 367.07	4 886.17	6 253.24	
	Diğer			1.042	1.007	0.287	844.518	535	0.0091	679.88	176 238.51	419.18	52 161.95	276 503.93	328 665.88
	6	kül		1.300			330	631		1 042.62			551 573.11	0.00	551 573.11
													TOPLAM	144 673 813.61	

Çizelge F.13 Döner fırın bölümünün ekserji analizi

12 Temmuz (GİREN MADDE)		Mol	Cp	Cp ₀	R	P _{oo}	T ₁	m	m	(H-H ₀)	(S-S ₀)	$\dot{E}x_{fz}$	$\dot{E}x_{kim}$	$\dot{E}x_{toplam}$
Nu.	Maddenin Adı	Kütle gr	kJ/KgK	kJ/KgK	kJ/KgK	Pa.	K	orani %	kg/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h	kJ/h
	Taşıyıcı Hava		1.055	1.050		403.16	369	1.0000	31 016.81			289 533.28	14 673 208.06	14 962 741.34
1.	N ₂	28	1.043	1.041	0.297	403.16	369	0.7737	23 997.71	1 817 055.98	5 433.77	203 226.64	11 691 258.84	11 894 485.48
	O ₂	32	0.934	0.920	0.260	403.16	369	0.2076	6 439.09	460 412.07	1 305.37	72 718.37	2 746 258.57	2 818 976.94
	CO ₂	44	0.916	0.847	0.189	403.16	369	0.0003	9.31	805.27	1.85	255.72	2 885.52	3 141.24
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	403.16	369	0.0092	285.35	102 111.31	307.84	10 681.75	97 487.13	108 168.89
	H ₂ O	18	2.001	1.869	0.462	403.16	369	0.0001	3.10	568.12	1.35	168.09	2 349.72	2 517.81
	Diğer	1.011	1.007	0.287	403.16	369	0.0091	282.25	20 877.37	61.93	2 482.70	132 968.29	135 450.98	
		Primer hava		1.050			17040.26	297	1.0000	3 533.36			0.00	539 182.53	539 182.53
2.	N ₂	28	1.041	1.041	0.297	17040.26	297	0.7737	2 733.76	0.00	0.00	0.00	429 607.65	429 607.65
	O ₂	32	0.920	0.920	0.260	17040.26	297	0.2076	733.52	0.00	0.00	0.00	100 914.17	100 914.17
	CO ₂	44	0.847	0.847	0.189	17040.26	297	0.0003	1.06	0.00	0.00	0.00	106.03	106.03
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	17040.26	297	0.0092	32.51	0.00	0.00	0.00	3 582.27	3 582.27
	H ₂ O	18	1.869	1.869	0.462	17040.26	297	0.0001	0.35	0.00	0.00	0.00	86.34	86.34
	Diğer	1.007	1.007	0.287	17040.26	297	0.0091	32.15	0.00	0.00	0.00	4 886.06	4 886.06	
		Yerli kömür+Petrokok Yanma ısısı												
4	Yerli kömür+Petrokok Duyulur ısısı		1.054	1.041		403.16	369	1.0000	7 815.22			96 315.47	6 047 449.88	6 143 765.35
	C2	12	0.033	0.025	0.346	403.16	369	0.6653	5 199.47	24 707.87	37.24	13 646.27	2 952 988.13	2 966 634.40
	H2	2	14.468	14.438	4.157	403.16	369	0.0363	283.69	297 973.60	890.91	33 373.62	1 935 774.34	1 969 147.96
	N2	14	1.043	1.041	0.297	403.16	369	0.0161	125.83	9 527.21	28.49	1 065.56	61 299.63	62 365.19
	S2	32	5.991	5.524	0.349	403.16	369	0.0122	95.35	54 351.93	123.99	17 526.67	54 620.21	72 146.87
	O2	16	0.934	0.920	0.260	403.16	369	0.0386	301.67	21 570.04	61.16	3 406.81	128 660.33	132 067.15
	KÜL		1.300	1.300	0.287	403.16	369	0.2039	1 593.52	149 153.86	449.67	15 602.82	750 701.36	766 304.18
	NEM	18	2.001	1.869	0.462	403.16	369	0.0276	215.70	39 513.64	93.67	11 693.71	163 405.88	175 099.59
		Sızıntı hava		1.050			964.04	297	1.0000	24 796.81			0.00	9 880 243.48	9 880 243.48
5.	N ₂	28	1.041	1.041	0.297	964.04	297	0.7737	19 185.29	0.00	0.00	0.00	7 872 340.08	7 872 340.08
	O ₂	32	0.920	0.920	0.260	964.04	297	0.2076	5 147.82	0.00	0.00	0.00	1 849 200.47	1 849 200.47
	CO ₂	44	0.847	0.847	0.189	964.04	297	0.0003	7.44	0.00	0.00	0.00	1 942.97	1 942.97
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	964.04	297	0.0092	228.13	0.00	0.00	0.00	65 643.22	65 643.22
	H ₂ O	18	1.869	1.869	0.462	964.04	297	0.0001	2.48	0.00	0.00	0.00	1 582.19	1 582.19
	Diğer	1.007	1.007	0.287	964.04	297	0.0091	225.65	0.00	0.00	0.00	89 534.55	89 534.55	
		Fan hava		1.050			901.05	300	1.0000	148 179.34			3 377.64	59 898 937.85	59 902 315.48
6.	N ₂	28	1.041	1.041	0.297	901.05	300	0.7737	114 646.36	355 316.57	1 199.48	-927.80	47 726 031.26	47 725 103.46
	O ₂	32	0.920	0.920	0.260	901.05	300	0.2076	30 762.03	88 557.74	284.44	4 080.47	11 210 770.72	11 214 851.18
	CO ₂	44	0.851	0.847	0.189	901.05	300	0.0003	44.45	168.94	0.38	56.02	11 779.26	11 835.28
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	901.05	300	0.0092	1 363.25	20 326.06	68.09	101.97	397 961.76	398 063.73
	H ₂ O	18	1.872	1.869	0.462	901.05	300	0.0001	14.82	97.30	0.28	14.50	9 592.00	9 606.50
	Diğer	1.007	1.007	0.287	901.05	300	0.0091	1 348.43	4 105.65	13.65	52.48	542 802.85	542 855.32	
		Farin		0.842			6332.58	329	1.000	68 250.00			969 059.89	8 600 639.89	9 569 699.78
7.	SiO ₂	46	0.690	0.641	0.181	6332.58	329	0.177	12 050.00	440 950.84	849.34	188 697.79	1 793 513.48	1 982 211.27
	Al ₂ O ₃	100	2.020	1.877	0.112	6332.58	329	0.049	3 342.06	357 584.19	689.62	152 767.27	308 233.52	461 000.79
	Fe ₂ O ₃	160	4.173	3.941	0.052	6332.58	329	0.025	1 740.23	351 876.50	741.82	131 555.30	74 466.87	206 022.16
	CaO	56	0.598	0.575	0.148	6332.58	329	0.717	48 949.96	1 269 404.89	2 990.18	381 321.41	5 965 703.97	6 347 025.38
	MgO	40	0.373	0.353	0.208	6332.58	329	0.013	859.43	15 344.82	32.75	5 619.13	147 104.85	152 723.98
	SO ₃	80	0.604	0.593	0.104	6332.58	329	0.000	20.35	459.15	1.26	86.20	1 741.77	1 827.97
	K ₂ O	46	4.336	3.877	0.181	6332.58	329	0.009	587.23	161 385.41	260.10	84 135.95	87 402.43	171 538.38
	Na ₂ O	62	4.378	4.039	0.134	6332.58	329	0.002	162.59	39 106.74	72.71	17 511.30	17 954.36	35 465.65
	h ₂ o	18	1.905	1.869	0.462	6332.58	329	0.008	538.14	38 461.13	104.70	7 365.54	204 518.66	211 884.19
		1 Atm = 101325 Pa												TOPLAM	328 954 425.06

Çizelge F.14 Döner fırın bölümünün ekserji analizi

12 Temmuz (ÇIKAN MADDE)		Mol kütle gr	Cp kJ/KgK	Cp ₀ kJ/KgK	R kJ/KgK	Poo Pa.	T ₁ K	m oranı %	m kg/h	(H-H ₀) kJ/h	(S-S ₀) kJ/h	Ẃ _{üz} kJ/h	Ẃ _{kim} kJ/h	Ẃ _{toplam} kJ/h
Nu.	Maddenin Adı													
	gaz		1.247			330	622	1.00	130 940.33			19 748 595.10	62 334 187.45	82 082 782.56
1	N ₂	28	1.080	1.041	0.297	330	622	0.6890	90 217.89	32 712 696.21	72 028.97	11 320 093.59	45 544 912.41	56 865 006.01
	O ₂	32	1.009	0.920	0.260	330	622	0.0127	1 662.94	589 639.93	1 240.52	221 205.45	734 936.42	956 141.87
	CO ₂	44	1.089	0.847	0.189	330	622	0.2244	29 383.01	12 509 346.63	23 648.90	5 485 621.87	9 441 859.69	14 927 481.56
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	330	622	0.0082	1 073.71	1 734 311.25	3 944.67	562 745.25	380 106.49	942 851.74
	H ₂ O	18	2.046	1.869	0.462	330	622	0.0586	7 673.10	5 506 053.32	11 604.95	2 059 382.83	6 023 444.24	8 082 827.08
	Diğer		1.056	1.007	0.287	330	622	0.0001	13.09	4 687.02	10.22	1 650.51	6 392.03	8 042.53
	SO ₂	64	0.703	0.593	0.130	330	622	0.0070	916.58	239 360.89	476.31	97 895.60	202 536.17	300 431.78
2	Klinker		0.954			149.90	386	1.0000	41 416.67			1 746 932.60	7 122 487.46	8 869 420.07
	3CaO	168	0.624	0.571	0.049	149.90	386	0.3961	16 407.10	1 169 448.93	2 683.44	372 466.82	1 555 875.31	1 928 342.12
	SiO ₂	60	0.756	0.641	0.180	149.90	386	0.1415	5 859.68	594 399.97	1 161.10	249 551.94	2 041 235.83	2 290 787.76
	2CaO	112	0.627	0.571	0.074	149.90	386	0.1563	6 472.56	468 839.79	1 063.70	152 920.84	926 946.30	1 079 867.14
	SiO ₂	60	0.756	0.641	0.180	149.90	386	0.0837	3 467.44	351 733.86	687.08	147 671.39	1 207 893.34	1 355 564.73
	3CaO	168	0.624	0.571	0.049	149.90	386	0.0690	2 855.90	203 559.68	467.09	64 833.29	270 822.84	335 656.14
	Al ₂ O ₃	100	2.203	1.877	0.112	149.90	386	0.0410	1 699.94	497 893.13	981.57	206 365.51	368 466.45	574 831.96
	4CaO	224	0.624	0.571	0.037	149.90	386	0.0417	1 725.12	122 961.67	282.15	39 163.01	123 529.00	162 692.01
	Al ₂ O ₃	100	2.203	1.877	0.112	149.90	386	0.0186	770.14	225 566.91	444.70	93 492.41	166 931.08	260 423.49
	Fe ₂ O ₃	160	4.491	3.941	0.051	149.90	386	0.0298	1 232.23	693 806.72	1 450.48	263 014.84	121 621.22	384 636.06
	MgO	40	0.396	0.353	0.207	149.90	386	0.0117	482.85	23 184.01	50.12	8 299.35	193 432.19	201 731.54
	K ₂ O	46	4.883	3.877	0.180	149.90	386	0.0083	344.49	252 636.81	440.90	121 690.60	120 003.37	241 693.97
	Na ₂ O	30	4.791	4.039	0.134	149.90	386	0.0024	99.22	64 467.19	124.59	27 462.61	25 730.53	53 193.14
	3	toz		1.021			330	622	1.0000	6 032.02			1 099 637.29	890 275.62	1 989 912.91
	3CaO	168	0.712	0.571	0.049	330	622	0.4053	2 444.56	668 041.30	1 286.61	285 918.19	203 741.56	489 659.75
	SiO ₂	60	0.939	0.641	0.180	330	622	0.1447	873.06	343 705.64	606.00	163 722.89	267 299.42	431 022.31
	2CaO	112	0.712	0.571	0.074	330	622	0.1628	981.96	268 346.40	516.82	114 850.86	123 596.94	238 447.80
	SiO ₂	60	0.939	0.641	0.180	330	622	0.0872	526.05	207 095.36	365.14	98 649.10	161 057.79	259 706.89
	3CaO	168	0.712	0.571	0.049	330	622	0.0690	415.94	113 666.73	218.92	48 648.77	34 666.47	83 315.24
	Al ₂ O ₃	100	2.630	1.877	0.112	330	622	0.0410	247.58	266 991.39	481.33	124 036.23	47 165.27	171 201.50
	4CaO	224	0.712	0.571	0.037	330	622	0.0417	251.25	68 661.19	132.24	29 386.63	15 812.24	45 198.87
	Al ₂ O ₃	100	2.630	1.877	0.112	330	622	0.0186	112.17	120 958.53	218.06	56 193.72	21 367.89	77 561.61
	Fe ₂ O ₃	160	5.376	3.941	0.051	330	622	0.0298	179.47	390 048.76	713.19	178 230.90	15 568.03	193 798.93
4	Tras değir.		1.080			885.176	541	1.0000	30 402.34			2 546 798.77	12 813 494.50	15 360 293.26
	N ₂	28	1.063	1.041	0.297	885.176	541	0.7737	24 433.04	6 501 333.27	15 580.83	1 873 826.03	10 209 483.86	12 083 309.89
	O ₂	32	0.985	0.920	0.260	885.176	541	0.2076	6 555.90	1 703 410.58	3 872.99	553 133.39	2 398 191.92	2 951 325.31
	CO ₂	44	1.045	0.847	0.189	885.176	541	0.0003	9.47	2 971.27	5.93	1 208.66	2 519.80	3 728.46
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	885.176	541	0.0092	290.53	352 321.28	865.91	95 145.40	85 131.41	180 276.81
	H ₂ O	18	2.046	1.869	0.462	885.176	541	0.0001	3.16	1 742.72	3.87	591.94	2 051.91	2 643.85
	Diğer		1.044	1.007	0.287	885.176	541	0.0091	287.37	76 308.74	179.85	22 893.34	116 115.60	139 008.95
	S.baca		1.080			844.518	541	1.0000	73 852.65			5 956 017.13	30 263 249.82	36 219 266.95
	N ₂	28	1.063	1.041	0.297	844.518	541	0.7737	57 139.80	15 204 205.70	36 437.78	4 382 183.66	24 113 028.69	28 495 212.35
	O ₂	32	0.985	0.920	0.260	844.518	541	0.2076	15 331.81	3 983 645.16	9 057.48	1 293 573.72	5 664 113.04	6 957 686.75
	CO ₂	44	1.045	0.847	0.189	844.518	541	0.0003	22.16	6 948.70	13.88	2 826.60	5 951.34	8 777.94
	Ar	40	4.970	4.970	0.208	844.518	541	0.0092	679.44	823 948.73	2 025.05	222 509.78	201 065.60	423 575.39
	H ₂ O	18	2.046	1.869	0.462	844.518	541	0.0001	7.39	4 075.58	9.06	1 384.33	4 846.25	6 230.58
	Diğer		1.044	1.007	0.287	844.518	541	0.0091	672.06	178 457.83	420.60	53 539.04	274 244.90	327 783.94
6	kul		1.300			330	622		947.52			495 733.54	0.00	495 733.54
													TOPLAM	145 017 409.28

Çizelge G.1 Döner fırın bölümünde materyal akışlarına etki eden elemanların işletme maliyetleri

Elemanlar	Adet	Birim fiyatı \$	n (Ömür yılı)	Bakım onarım maliyeti \$	Vant. gücü kW	Klape açıklığı %	Cosφ	Net güç kW	Birim maliyet \$	Top tük. maliyeti \$	Toplam yatırım maliyeti \$
Soğutma 1.Kamara fanı	1	6 600	20	224.4	37.6	99	0.78	29.328	0.0952	3.57952	6 827.98
Soğutma 2.Kamara fanı	1	6 000	20	204	19.2	90	0.71	13.632	0.0952	1.82784	6 205.83
Soğutma 3. Kamara fanı	1	5 500	20	187	18.8	84	0.7	13.16	0.0952	1.78976	5 688.79
Multisiklon filitre fanı	1	17 000	20	578	164.4	80	0.8	131.52	0.0952	15.65088	17 593.65
Elektrofilitre fanı	1	17 000	20	578	200	80	0.8	160	0.0952	19.04	17 597.04
Primer fan	1	6 000	20	204	25.6	100	0.8	20.48	0.0952	2.43712	6 206.44
Abgaz vantilatörü	1	15 000	20	510	1 637.5	75	0.8	1310	0.0952	155.89	15 665.89
kömür	1	6 000	20	204	85.6	85	0.83	71.048	0.0952	8.14912	6 212.15
Farin	1	10 000	20	340	304.2	100	0.8	243.36	0.0952	28.95984	10 368.96
Diğer		20 000	20	680	4 241.5	100	0.8	3 393.2	0.0952	403.7908	21 083.79
TOPLAM		109 100	20	3 709.4	6 734.4			5 385.728		641.1149	113 450.51

Çizelge Ğ.1 Döner fırın bölümünde giren maddelerin ekserji maliyetleri

06 Temmuz 2006 (Giren Madde)	\dot{m} oranı %	\dot{m} kg/h	Z_{YA} \$	Z_{YA} Oranı \$	C_c \$	C_{rm} \$	C_{mg} \$	$\dot{E}x_g$ kJ	ex kJ/kg	Cex_{m_g} \$	Cex_g \$
Maddenin Adı											
Taşıyıcı hava	0.096	28 217.94	503.97	48.20	0.001708	0.000	0.00170813	13 535 512.53	479.68	3.561E-06	48.20
Primer hava	0.011	3 214.52		5.49	0.001708	0.000	0.00170813	487 225.03	151.57	1.127E-05	5.49
Yerli kömür+Petrokok	0.024	7 110.00		12.14	0.001708	0.080	0.08170813	206 108 457.41	28 988.53	2.819E-06	580.94
Sızıntı hava	0.119	35 035.30		59.84	0.001708	0.000	0.00170813	13 865 747.98	395.77	4.316E-06	59.84
Fan hava	0.514	151 711.10		259.14	0.001708	0.000	0.00170813	60 919 531.36	401.55	4.254E-06	259.14
Farin	0.236	69 750.00		119.14	0.001708	0.016	0.01755961	7 293 268.80	104.56	0.0001679	1224.78
TOPLAM		295 038.86			503.97				302 209 743.12			2178.41

07 Temmuz 2006 (Giren Madde)	\dot{m} oranı %	\dot{m} kg/h	Z_{YA} \$	Z_{YA} Oranı \$	C_c \$	C_{rm} \$	C_{mg} \$	$\dot{E}x_g$ kJ	ex kJ/kg	Cex_{m_g} \$	Cex_g \$
Maddenin Adı											
Taşıyıcı hava	0.096	31 154.83	503.97	48.20	0.001547	0.000	0.00154711	14 936 826.35	479.44	3.227E-06	48.20
Primer hava	0.011	3 549.08		5.49	0.001547	0.000	0.00154711	537 934.81	151.57	1.021E-05	5.49
Yerli kömür+Petrokok	0.024	7 850.00		12.14	0.001547	0.080	0.08154711	232 824 150.58	29 659.13	2.749E-06	640.14
Sızıntı hava	0.119	25 535.58		59.84	0.002344	0.000	0.00234359	10 106 089.84	395.77	5.922E-06	59.84
Fan hava	0.514	151 457.76		259.14	0.001711	0.000	0.00171099	60 817 802.76	401.55	4.261E-06	259.14
Farin	0.236	69 790.00		119.14	0.001707	0.016	0.01755863	9 760 444.81	139.85	0.0001255	1225.42
TOPLAM		289 337.24			503.97				328 983 249.15			2238.24

Çizelge Ğ.2 Döner fırın bölümünde giren maddelerin ekserji maliyetleri

08 Temmuz 2006 (Giren Madde)	\dot{m} oranı %	\dot{m} kg/h	Z_{YA} \$	Z_{YA} Oranı \$	C_c \$	C_{rm} \$	C_{mg} \$	$\dot{E}x_g$ kJ	ex kJ/kg	Cex_{m_g} \$	Cex_g \$
Maddenin Adı											
Taşıyıcı hava	0.096	31 099.71	503.97	48.20	0.00155	0.000	0.00154985	14 875 695.80	478.32	3.24E-06	48.20
Primer hava	0.011	3 542.80		5.49	0.00155	0.000	0.00154985	535 162.84	151.06	1.026E-05	5.49
Yerli kömür+Petrokok	0.024	7 836.11		12.14	0.00155	0.080	0.08154985	231 484 374.33	29 540.71	2.761E-06	639.03
Sızıntı hava	0.119	24 856.77		59.84	0.002408	0.000	0.00240759	9 804 092.49	394.42	6.104E-06	59.84
Fan hava	0.514	146 838.86		259.14	0.001765	0.000	0.00176481	71 104 296.63	484.23	3.645E-06	259.14
Farin	0.236	67 540.00		119.14	0.001764	0.016	0.0176155	9 446 666.99	139.87	0.0001259	1189.75
TOPLAM		281 714.25			503.97				337 250 289.09			2201.46

09 Temmuz 2006 (Giren Madde)	\dot{m} oranı %	\dot{m} kg/h	Z_{YA} \$	Z_{YA} Oranı \$	C_c \$	C_{rm} \$	C_{mg} \$	$\dot{E}x_g$ kJ	ex kJ/kg	Cex_{m_g} \$	Cex_g \$
Maddenin Adı											
Taşıyıcı hava	0.096	31 244.10	503.97	48.20	0.001543	0.000	0.00154269	14 957 433.41	478.73	3.222E-06	48.20
Primer hava	0.011	3 559.25		5.49	0.001543	0.000	0.00154269	539 476.21	151.57	1.018E-05	5.49
Yerli kömür+Petrokok	0.024	7 872.49		12.14	0.001543	0.080	0.08154269	235 610 025.28	29 928.26	2.725E-06	641.94
Sızıntı hava	0.119	22 634.97		59.84	0.002644	0.000	0.00264391	8 958 131.05	395.77	6.681E-06	59.84
Fan hava	0.514	134 017.31		259.14	0.001934	0.000	0.00193365	53 814 596.79	401.55	4.815E-06	259.14
Farin	0.236	61 710.00		119.14	0.001931	0.016	0.01778216	8 672 170.12	140.53	0.0001265	1097.34
TOPLAM		261 038.13			503.97				322 551 832.85			2111.96

Çizelge Ğ.3 Döner fırın bölümünde giren maddelerin ekserji maliyetleri

10 Temmuz 2006 (Giren Madde)	\dot{m} oranı %	\dot{m} kg/h	Z_{YA} \$	Z_{YA} Oranı \$	C_c \$	C_{rm} \$	C_{mg} \$	$\dot{E}x_g$ kJ	ex kJ/kg	Cex_{m_g} \$	Cex_g \$
Maddenin Adı											
Taşıyıcı hava	0.096	29 931.049	503.97	48.20	0.00161	0.000	0.00161037	14 335 854.17	478.96	3.362E-06	48.20
Primer hava	0.011	3 409.670		5.49	0.00161	0.000	0.00161037	516 804.35	151.57	1.062E-05	5.49
Yerli kömür+Petrokok	0.024	7 541.647		12.14	0.00161	0.080	0.08161037	225 236 366.61	29 865.67	2.733E-06	615.48
Sızıntı hava	0.119	24 739.570		59.84	0.002419	0.000	0.002419	9 791 057.80	395.77	6.112E-06	59.84
Fan hava	0.514	144 005.26		259.14	0.0018	0.000	0.00179954	57 824 632.44	401.55	4.482E-06	259.14
Farin	0.236	66 210.000		119.14	0.001799	0.016	0.01765094	9 303 611.46	140.52	0.0001256	1168.67
TOPLAM		275 837.20			503.97			317 008 326.83			

11 Temmuz 2006 (Giren Madde)	\dot{m} oranı %	\dot{m} kg/h	Z_{YA} \$	Z_{YA} Oranı \$	C_c \$	C_{rm} \$	C_{mg} \$	$\dot{E}x_g$ kJ	ex kJ/kg	Cex_{m_g} \$	Cex_g \$
Maddenin Adı											
Taşıyıcı hava	0.096	31 628.94	503.97	48.20	0.001524	0.000	0.00152392	15 214 818.44	481.04	3.168E-06	48.20
Primer hava	0.011	3 603.09		5.49	0.001524	0.000	0.00152392	547 972.22	152.08	1.002E-05	5.49
Yerli kömür+Petrokok	0.024	7 969.46		12.14	0.001524	0.080	0.08152392	234 518 029.27	29 427.09	2.77E-06	649.70
Sızıntı hava	0.119	25 219.18		59.84	0.002373	0.000	0.00237299	10 014 705.79	397.11	5.976E-06	59.84
Fan hava	0.514	146 538.33		259.14	0.001768	0.000	0.00176843	59 042 541.44	402.92	4.389E-06	259.14
Farin	0.236	67 500.00		119.14	0.001765	0.016	0.01761655	9 460 581.31	140.16	0.0001257	1189.12
TOPLAM		282 459			503.97			328 798 648.48			

Çizelge Ğ.4 Döner fırın bölümünde giren maddelerin ekserji maliyetleri

12 Temmuz 2006 (Giren Madde)	\dot{m} oranı %	\dot{m} kg/h	Z_{YA} \$	Z_{YA} Oranı \$	C_c \$	C_{rm} \$	C_{mg} \$	$\dot{E}x_g$ kJ	ex kJ/kg	Cex_{m_g} \$	Cex_g \$
Taşıyıcı hava	0.096	31 016.81	503.97	48.20	0.001554	0.000	0.00155399	14 962 741.34	482.41	3.221E-06	48.20
Primer hava	0.011	3 533.36		5.49	0.001554	0.000	0.00155399	539 182.53	152.60	1.018E-05	5.49
Yerli kömür+Petrokok	0.024	7 815.22		12.14	0.001554	0.080	0.08155399	234 100 242.45	29 954.39	2.723E-06	637.36
Sızıntı hava	0.119	24 796.81		59.84	0.002413	0.000	0.00241341	9 880 243.48	398.45	6.057E-06	59.84
Fan hava	0.514	148 179.34		259.14	0.001749	0.000	0.00174884	59 902 315.48	404.26	4.326E-06	259.14
Farin	0.236	68 250.00		119.14	0.001746	0.016	0.01759715	9 569 699.78	140.22	0.0001255	1201.01
TOPLAM		283 591.54			503.97				328 954 425.06			2211.05

Çizelge H.1 Döner fırın bölümünde klinker ve çıkan maddelerin ekserji maliyetleri

06 Temmuz 2006 (Çıkan Madde)	\dot{m} oranı %	\dot{m} kg/h	Cex_{mg} \$/kg	η_{II}	Z_P \$	$\dot{E}x_{\zeta}$ kJ/h	ξ_T	$Cex_{m\zeta}$ \$/kg	$Cex_{m\zeta}$ (Toplam) \$	$Cex_{klin.}$ \$/kg
Maddenin Adı										
Gaz	0.46	136 196.51	0.000173915	0.5038	295.9529	85 116 925	705.6407	3.96623E-06	337.5930386	0.021184
Klinker	0.1437	42 403.81	0.001070934	0.5038	92.14283	8 988 853	114.2508	2.88565E-05	259.3865439	
Toz	0.0296	8 724.37	0.001070934	0.5038	18.95791	3 899 090	705.6407	7.8746E-06	30.70376743	
Tras Değir.	0.1048	30 908.99	0.000173915	0.5038	67.16475	15 969 015	551.5729	4.8318E-06	77.15910889	
S.Baca	0.2574	75 953.87	0.000173915	0.5038	165.0466	37 831 550	491.9186	5.06443E-06	191.5951261	
Kül	0.0028854	851.30	2.81864E-06	0.5038	1.849873	447 745.6	705.6407	4.13945E-06	1.853422589	
		295 038.86							898.2910076	

07 Temmuz 2006 (Çıkan Madde)	\dot{m} oranı %	\dot{m} kg/h	Cex_{mg} \$/kg	η_{II}	Z_P \$	$\dot{E}x_{\zeta}$ kJ/h	ξ_T	$Cex_{m\zeta}$ \$/kg	$Cex_{m\zeta}$ (Toplam) \$	$Cex_{klin.}$ \$/kg
Maddenin Adı										
Gaz	0.449	129 769.81	0.0001315	0.4427	287.54	78 688 659.74	692.69	4.08313E-06	321.30	0.0213
Klinker	0.146	42 333.00	0.0010709	0.4427	93.80	9 041 844.41	119.07	3.06917E-05	277.51	
Toz	0.025	7 165.66	0.0010709	0.4427	15.88	2 896 372.92	692.69	8.97444E-06	25.99	
Tras Değir.	0.110	31 812.27	0.0001315	0.4427	70.49	15 719 012.23	511.47	5.06526E-06	79.62	
S.Baca	0.267	77 277.61	0.0001315	0.4427	171.23	38 774 675.81	511.47	4.99698E-06	193.76	
Kül	0.003	978.90	0.0000027	0.4427	2.17	512 164.19	692.69	4.24402E-06	2.17	
		289 337.24							900.35	

Çizelge H.2 Döner fırın bölümünde klinker ve çıkan maddelerin ekserji maliyetleri

08 Temmuz 2006 (Çıkan Madde)	\dot{m} oranı %	\dot{m} kg/h	Cex_{mg} \$/kg	η_{II}	Z_P \$	$\dot{E}x_{\zeta}$ kJ/h	ξ_r	$Cex_{m\zeta}$ \$/kg	$Cex_{m\zeta}$ (Toplam) \$	$Cex_{klin.}$ \$/kg
Maddenin Adı										
Gaz	0.455	128 203.53	0.00013163	0.4324	291.76	80 586 473.03	703.66	4.05308E-06	326.62	0.02169
Klinker	0.146	41 042.00	0.001070934	0.4324	93.40	8 781 214.61	124.05	3.06007E-05	268.71	
Toz	0.021	5 831.22	0.001070934	0.4324	13.27	2 363 148.45	703.66	9.13527E-06	21.59	
Tras Değir.	0.109	30 806.99	0.00013163	0.4324	70.11	15 811 575.24	532.23	5.006E-06	79.15	
S.Baca	0.266	74 835.61	0.00013163	0.4324	170.31	37 767 719.64	532.23	5.0813E-06	191.91	
Kül	0.004	994.90	2.76059E-06	0.4324	2.26	521 579.71	703.66	4.35002E-06	2.27	
		281 714.25							890.25	

09 Temmuz 2006 (Çıkan Madde)	\dot{m} oranı %	\dot{m} kg/h	Cex_{mg} \$/kg	η_{II}	Z_P \$	$\dot{E}x_{\zeta}$ kJ/h	ξ_r	$Cex_{m\zeta}$ \$/kg	$Cex_{m\zeta}$ (Toplam) \$	$Cex_{klin.}$ \$/kg
Maddenin Adı										
Gaz	0.464	121 067.77	0.000132836	0.4261	297.34	76 762 310.42	728.56	4.30148E-06	330.19	0.02278
Klinker	0.143	37 458.33	0.001070934	0.4261	92.00	8 342 534.79	149.27	2.78648E-05	232.46	
Toz	0.021	5 567.71	0.001070934	0.4261	13.67	2 296 110.04	728.56	9.40521E-06	21.60	
Tras Değir.	0.107	27 980.31	0.000132836	0.4261	68.72	15 619 560.41	497.47	5.02629E-06	78.51	
S.Baca	0.260	67 969.10	0.000132836	0.4261	166.93	33 890 004.75	497.47	5.55241E-06	188.17	
Kül	0.004	994.90	2.72461E-06	0.4261	2.44	528 085.10	728.56	4.63584E-06	2.45	
		261 038.13							853.38	

Çizelge H.3 Döner fırın bölümünde klinker ve çıkan maddelerin ekserji maliyetleri

10 Temmuz 2006 (Çıkan Madde)	\dot{m} oranı %	\dot{m} kg/h	Cex_{mg} \$/kg	η_{II}	Z_P \$	$\dot{E}x_{\zeta}$ kJ/h	ξ_T	$Cex_{m\zeta}$ \$/kg	$Cex_{m\zeta}$ (Toplam) \$	$Cex_{klin.}$ \$/kg
Maddenin Adı										
Gaz	0.454	125 352.80	0.000131731	0.4472	291.35	79 387 965.52	725.27	4.07612E-06	323.60	0.02184
Klinker	0.146	40 250.00	0.001070934	0.4472	93.55	8 694 572.16	127.24	2.95805E-05	257.19	
Toz	0.021	5 785.52	0.001070934	0.4472	13.45	2 381 866.57	725.27	8.94749E-06	21.31	
Tras Değir.	0.109	30 192.73	0.000131731	0.4472	70.18	15 206 483.50	435.25	5.29162E-06	80.47	
S.Baca	0.266	73 343.47	0.000131731	0.4472	170.47	35 610 339.64	435.25	5.46383E-06	194.57	
Kül	0.003	912.68	2.73258E-06	0.4472	2.12	483 809.23	725.27	4.39298E-06	2.13	
		275 837.20							879.26	

11 Temmuz 2006 (Çıkan Madde)	\dot{m} oranı %	\dot{m} kg/h	Cex_{mg} \$/kg	η_{II}	Z_P \$	$\dot{E}x_{\zeta}$ kJ/h	ξ_T	$Cex_{m\zeta}$ \$/kg	$Cex_{m\zeta}$ (Toplam) \$	$Cex_{klin.}$ \$/kg
Maddenin Adı										
Gaz	0.457	129 148.80	0.000131755	0.4400	293.14	81.688.071.49	714.14	4.00779E-06	327.39	0.02158
Klinker	0.145	40 958.00	0.001070934	0.4400	92.96	8.904.849.17	130.45	2.90981E-05	259.11	
Toz	0.021	5 840.69	0.001070934	0.4400	13.26	1.966.971.37	714.14	1.0148E-05	19.96	
Tras Değir.	0.109	30 756.33	0.000131755	0.4400	69.81	15.230.187.48	431.98	5.27682E-06	80.37	
S.Baca	0.265	74 712.56	0.000131755	0.4400	169.58	36.332.160.99	431.98	5.36067E-06	194.76	
Kül	0.004	1 042.62	2.77037E-06	0.4400	2.37	551.573.11	714.14	4.29926E-06	2.37	
		282 459.00							883.97	

Çizelge H.4 Döner fırın bölümünde klinker ve çıkan maddelerin ekserji maliyetleri

12 Temmuz 2006 (Çıkan Madde)	\dot{m} oranı %	\dot{m} kg/h	Cex_{mg} \$/kg	η_{II}	Z_P \$	$\dot{E}x_{\phi}$ kJ/h	ξ_T	$Cex_{m\phi}$ \$/kg	$Cex_{m\phi}$ (Toplam) \$	$Cex_{klin.}$ \$/kg
Maddenin Adı										
Gaz	0.462	130 940.33	0.000131493	0.4408	296.02	82 082 782.56	680.64	4.04455E-06	331.9875298	0.02185
Klinker	0.146	41 416.67	0.001070934	0.4408	93.63	8 869 420.07	115.67	3.15584E-05	279.9048289	
Toz	0.021	6 032.02	0.001070934	0.4408	13.64	1 989 912.91	680.64	1.0422E-05	20.73882496	
Tras Değir.	0.107	30 402.34	0.000131493	0.4408	68.73	15 360 293.26	444.46	5.14566E-06	79.03880483	
S.Baca	0.260	73 852.65	0.000131493	0.4408	166.96	36 219 266.95	444.46	5.28076E-06	191.2652765	
Kül	0.003	947.52	2.72261E-06	0.4408	2.14	495 733.54	680.64	4.33005E-06	2.146549838	
		283 591.54							905.0818148	

Çizelge I.1 Eksergoekonomik analiz akış tablosu (09 Temmuz)

ÖZET TABLO

No	Madde Adı	Yıl	Q1	Q2	Q3	Q4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Değişim	Yükseklik	Genişlik	Ortalama	Değişim	Yükseklik	Genişlik	Ortalama	Değişim	Yükseklik	Genişlik	Ortalama	Değişim	Yükseklik	Genişlik	Ortalama	Değişim	Yükseklik	Genişlik
1	Yapısal Değişim	2010	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	...	2011	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	...	2012	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4	...	2013	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5	...	2014	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	...	2015	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7	...	2016	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	...	2017	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
9	...	2018	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
10	...	2019	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
11	...	2020	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

ÖZET TABLO (Devamı)

No	Madde Adı	Yıl	Q1	Q2	Q3	Q4	Ortalama	En Düşük	En Yüksek	Değişim	Yükseklik	Genişlik	Ortalama	Değişim	Yükseklik	Genişlik	Ortalama	Değişim	Yükseklik	Genişlik	Ortalama	Değişim	Yükseklik	Genişlik	Ortalama	Değişim	Yükseklik	Genişlik
12	...	2021	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
13	...	2022	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
14	...	2023	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
15	...	2024	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
16	...	2025	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
17	...	2026	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
18	...	2027	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
19	...	2028	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
20	...	2029	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
21	...	2030	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Çizelge I.1 Eksergoekonomik analiz akış tablosu (10 Temmuz)

İTİFAK WOOD KURUMU

No	Hesaplar Adı	Miktar	Q1	Q2	Q3	Q4	Yıl	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	T40	T41	T42	T43	T44	T45	T46	T47	T48	T49	T50	T51	T52	T53	T54	T55	T56	T57	T58	T59	T60	T61	T62	T63	T64	T65	T66	T67	T68	T69	T70	T71	T72	T73	T74	T75	T76	T77	T78	T79	T80	T81	T82	T83	T84	T85	T86	T87	T88	T89	T90	T91	T92	T93	T94	T95	T96	T97	T98	T99	T100	T101	T102	T103	T104	T105	T106	T107	T108	T109	T110	T111	T112	T113	T114	T115	T116	T117	T118	T119	T120	T121	T122	T123	T124	T125	T126	T127	T128	T129	T130	T131	T132	T133	T134	T135	T136	T137	T138	T139	T140	T141	T142	T143	T144	T145	T146	T147	T148	T149	T150	T151	T152	T153	T154	T155	T156	T157	T158	T159	T160	T161	T162	T163	T164	T165	T166	T167	T168	T169	T170	T171	T172	T173	T174	T175	T176	T177	T178	T179	T180	T181	T182	T183	T184	T185	T186	T187	T188	T189	T190	T191	T192	T193	T194	T195	T196	T197	T198	T199	T200	T201	T202	T203	T204	T205	T206	T207	T208	T209	T210	T211	T212	T213	T214	T215	T216	T217	T218	T219	T220	T221	T222	T223	T224	T225	T226	T227	T228	T229	T230	T231	T232	T233	T234	T235	T236	T237	T238	T239	T240	T241	T242	T243	T244	T245	T246	T247	T248	T249	T250	T251	T252	T253	T254	T255	T256	T257	T258	T259	T260	T261	T262	T263	T264	T265	T266	T267	T268	T269	T270	T271	T272	T273	T274	T275	T276	T277	T278	T279	T280	T281	T282	T283	T284	T285	T286	T287	T288	T289	T290	T291	T292	T293	T294	T295	T296	T297	T298	T299	T300	T301	T302	T303	T304	T305	T306	T307	T308	T309	T310	T311	T312	T313	T314	T315	T316	T317	T318	T319	T320	T321	T322	T323	T324	T325	T326	T327	T328	T329	T330	T331	T332	T333	T334	T335	T336	T337	T338	T339	T340	T341	T342	T343	T344	T345	T346	T347	T348	T349	T350	T351	T352	T353	T354	T355	T356	T357	T358	T359	T360	T361	T362	T363	T364	T365	T366	T367	T368	T369	T370	T371	T372	T373	T374	T375	T376	T377	T378	T379	T380	T381	T382	T383	T384	T385	T386	T387	T388	T389	T390	T391	T392	T393	T394	T395	T396	T397	T398	T399	T400	T401	T402	T403	T404	T405	T406	T407	T408	T409	T410	T411	T412	T413	T414	T415	T416	T417	T418	T419	T420	T421	T422	T423	T424	T425	T426	T427	T428	T429	T430	T431	T432	T433	T434	T435	T436	T437	T438	T439	T440	T441	T442	T443	T444	T445	T446	T447	T448	T449	T450	T451	T452	T453	T454	T455	T456	T457	T458	T459	T460	T461	T462	T463	T464	T465	T466	T467	T468	T469	T470	T471	T472	T473	T474	T475	T476	T477	T478	T479	T480	T481	T482	T483	T484	T485	T486	T487	T488	T489	T490	T491	T492	T493	T494	T495	T496	T497	T498	T499	T500	T501	T502	T503	T504	T505	T506	T507	T508	T509	T510	T511	T512	T513	T514	T515	T516	T517	T518	T519	T520	T521	T522	T523	T524	T525	T526	T527	T528	T529	T530	T531	T532	T533	T534	T535	T536	T537	T538	T539	T540	T541	T542	T543	T544	T545	T546	T547	T548	T549	T550	T551	T552	T553	T554	T555	T556	T557	T558	T559	T560	T561	T562	T563	T564	T565	T566	T567	T568	T569	T570	T571	T572	T573	T574	T575	T576	T577	T578	T579	T580	T581	T582	T583	T584	T585	T586	T587	T588	T589	T590	T591	T592	T593	T594	T595	T596	T597	T598	T599	T600	T601	T602	T603	T604	T605	T606	T607	T608	T609	T610	T611	T612	T613	T614	T615	T616	T617	T618	T619	T620	T621	T622	T623	T624	T625	T626	T627	T628	T629	T630	T631	T632	T633	T634	T635	T636	T637	T638	T639	T640	T641	T642	T643	T644	T645	T646	T647	T648	T649	T650	T651	T652	T653	T654	T655	T656	T657	T658	T659	T660	T661	T662	T663	T664	T665	T666	T667	T668	T669	T670	T671	T672	T673	T674	T675	T676	T677	T678	T679	T680	T681	T682	T683	T684	T685	T686	T687	T688	T689	T690	T691	T692	T693	T694	T695	T696	T697	T698	T699	T700	T701	T702	T703	T704	T705	T706	T707	T708	T709	T710	T711	T712	T713	T714	T715	T716	T717	T718	T719	T720	T721	T722	T723	T724	T725	T726	T727	T728	T729	T730	T731	T732	T733	T734	T735	T736	T737	T738	T739	T740	T741	T742	T743	T744	T745	T746	T747	T748	T749	T750	T751	T752	T753	T754	T755	T756	T757	T758	T759	T760	T761	T762	T763	T764	T765	T766	T767	T768	T769	T770	T771	T772	T773	T774	T775	T776	T777	T778	T779	T780	T781	T782	T783	T784	T785	T786	T787	T788	T789	T790	T791	T792	T793	T794	T795	T796	T797	T798	T799	T800	T801	T802	T803	T804	T805	T806	T807	T808	T809	T810	T811	T812	T813	T814	T815	T816	T817	T818	T819	T820	T821	T822	T823	T824	T825	T826	T827	T828	T829	T830	T831	T832	T833	T834	T835	T836	T837	T838	T839	T840	T841	T842	T843	T844	T845	T846	T847	T848	T849	T850	T851	T852	T853	T854	T855	T856	T857	T858	T859	T860	T861	T862	T863	T864	T865	T866	T867	T868	T869	T870	T871	T872	T873	T874	T875	T876	T877	T878	T879	T880	T881	T882	T883	T884	T885	T886	T887	T888	T889	T890	T891	T892	T893	T894	T895	T896	T897	T898	T899	T900	T901	T902	T903	T904	T905	T906	T907	T908	T909	T910	T911	T912	T913	T914	T915	T916	T917	T918	T919	T920	T921	T922	T923	T924	T925	T926	T927	T928	T929	T930	T931	T932	T933	T934	T935	T936	T937	T938	T939	T940	T941
----	--------------	--------	----	----	----	----	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Çizelge İ-1 Genetik çözümleme dizayn tablosu

ID	MARKED	CATEGORY	T _{fan} K	T _{gaz} K	T _{klinker} K	T _{Multisiklon} K	T _{Primerhava} K	Maliyet	Verim	Objective11	Objective12	ERROR	VIRTUAL	FEASIBLE
0	false	ARMOGA	297.5	650.0	377.5	575.0	307.5	0.0213	0.5086	0.0213	0.5086	false	false	true
1	false	ARMOGA	296.3	635.0	376.3	562.5	301.3	0.0215	0.5027	0.0215	0.5027	false	false	true
2	false	ARMOGA	298.8	665.0	378.8	587.5	313.8	0.0211	0.5146	0.0211	0.5146	false	false	true
3	false	ARMOGA	296.9	657.5	376.9	568.8	304.4	0.0213	0.5099	0.0213	0.5099	false	false	true
4	false	ARMOGA	299.4	627.5	379.4	593.8	316.9	0.0213	0.5049	0.0213	0.5049	false	false	true
5	false	ARMOGA	295.6	672.5	375.6	556.3	298.1	0.0213	0.5126	0.0213	0.5126	false	false	true
6	false	ARMOGA	298.1	642.5	378.1	581.3	310.6	0.0213	0.5074	0.0213	0.5074	false	false	true
7	false	ARMOGA	296.6	676.3	379.7	578.1	315.3	0.0210	0.5167	0.0210	0.5167	false	false	true
8	false	ARMOGA	299.1	646.3	377.2	553.1	302.8	0.0214	0.5047	0.0214	0.5047	false	false	true
9	false	ARMOGA	295.3	661.3	378.4	590.6	309.1	0.0211	0.5140	0.0211	0.5140	false	false	true
10	false	ARMOGA	297.8	631.3	375.9	565.6	296.6	0.0216	0.5021	0.0216	0.5021	false	false	true
11	false	ARMOGA	295.9	638.8	377.8	596.9	312.2	0.0213	0.5084	0.0213	0.5084	false	false	true
12	false	ARMOGA	298.4	668.8	375.3	571.9	299.7	0.0213	0.5135	0.0213	0.5135	false	false	true
13	false	ARMOGA	297.2	623.8	379.1	584.4	318.4	0.0213	0.5026	0.0213	0.5026	false	false	true
14	false	ARMOGA	299.7	653.8	376.6	559.4	305.9	0.0214	0.5076	0.0214	0.5076	false	false	true
15	false	ARMOGA	297.3	648.1	375.8	592.2	300.5	0.0213	0.5103	0.0213	0.5103	false	false	true
16	false	ARMOGA	298.5	631.8	379.3	582.1	316.5	0.0213	0.5045	0.0213	0.5045	false	false	true
17	false	ARMOGA	297.4	672.0	379.8	590.9	315.7	0.0210	0.5171	0.0210	0.5171	false	false	true
18	false	ARMOGA	296.9	670.4	376.8	568.1	304.0	0.0212	0.5136	0.0212	0.5136	false	false	true
19	false	ARMOGA	296.5	665.4	379.7	578.7	315.7	0.0211	0.5136	0.0211	0.5136	false	false	true
20	false	ARMOGA	297.0	666.2	376.0	577.0	306.4	0.0213	0.5135	0.0213	0.5135	false	false	true
21	false	ARMOGA	296.9	658.2	379.4	593.3	309.3	0.0211	0.5135	0.0211	0.5135	false	false	true
22	false	ARMOGA	296.1	656.6	375.4	570.4	305.3	0.0214	0.5098	0.0214	0.5098	false	false	true
23	false	ARMOGA	299.4	671.7	377.8	570.3	298.8	0.0212	0.5142	0.0212	0.5142	false	false	true
24	false	ARMOGA	298.2	668.4	377.4	589.9	315.1	0.0211	0.5159	0.0211	0.5159	false	false	true
25	false	ARMOGA	298.4	644.7	376.0	580.9	295.2	0.0214	0.5079	0.0214	0.5079	false	false	true

Çizelge İ-1'in devamı

ID	MARKED	CATEGORY	T _{fan} K	T _{gaz} K	T _{klinker} K	T _{Multisiklon} K	T _{Primerhava} K	Maliyet	Verim	Objective11	Objective12	ERROR	VIRTUAL	FEASIBLE
26	false	ARMOGA	297.8	650.0	378.3	589.2	309.1	0.0212	0.5106	0.0212	0.5106	false	false	true
27	false	ARMOGA	295.7	653.7	378.3	582.6	310.6	0.0212	0.5107	0.0212	0.5107	false	false	true
28	false	ARMOGA	297.1	633.2	375.9	568.3	301.6	0.0215	0.5030	0.0215	0.5030	false	false	true
29	false	ARMOGA	297.6	655.5	376.9	563.1	299.3	0.0213	0.5086	0.0213	0.5086	false	false	true
30	false	ARMOGA	295.2	630.6	375.3	585.9	304.2	0.0215	0.5046	0.0215	0.5046	false	false	true
31	false	ARMOGA	298.0	661.9	379.0	570.3	301.4	0.0212	0.5114	0.0212	0.5114	false	false	true
32	false	ARMOGA	298.5	674.7	376.5	563.6	311.2	0.0212	0.5142	0.0212	0.5142	false	false	true
33	false	ARMOGA	297.3	671.2	378.5	599.2	304.2	0.0210	0.5180	0.0210	0.5180	false	false	true
34	false	ARMOGA	298.0	667.4	376.5	578.2	315.2	0.0212	0.5140	0.0212	0.5140	false	false	true
35	false	ARMOGA	297.0	666.4	380.6	590.4	315.6	0.0210	0.5155	0.0210	0.5155	false	false	true
36	false	ARMOGA	298.9	667.5	376.2	562.8	317.9	0.0213	0.5120	0.0213	0.5120	false	false	true
37	false	ARMOGA	296.9	679.7	378.9	600.0	306.0	0.0209	0.5206	0.0209	0.5206	false	false	true
38	false	ARMOGA	297.4	676.0	379.7	584.3	309.0	0.0210	0.5174	0.0210	0.5174	false	false	true
39	false	ARMOGA	296.6	672.2	379.7	584.8	315.2	0.0210	0.5164	0.0210	0.5164	false	false	true
40	false	ARMOGA	297.1	657.5	377.4	592.1	303.7	0.0212	0.5130	0.0212	0.5130	false	false	true
41	false	ARMOGA	297.9	668.5	376.9	566.5	310.2	0.0213	0.5128	0.0213	0.5128	false	false	true
42	false	ARMOGA	295.6	660.0	379.2	594.0	309.0	0.0211	0.5141	0.0211	0.5141	false	false	true
43	false	ARMOGA	296.7	672.8	379.3	590.0	312.5	0.0210	0.5172	0.0210	0.5172	false	false	true
44	false	ARMOGA	296.9	664.7	378.8	575.4	299.2	0.0211	0.5129	0.0211	0.5129	false	false	true
45	false	ARMOGA	297.6	662.5	380.0	573.6	317.9	0.0211	0.5121	0.0211	0.5121	false	false	true
46	false	ARMOGA	296.8	674.8	376.9	577.9	304.0	0.0212	0.5161	0.0212	0.5161	false	false	true
47	false	ARMOGA	295.4	657.3	378.4	580.9	309.0	0.0212	0.5115	0.0212	0.5115	false	false	true
48	false	ARMOGA	296.7	672.2	379.9	605.6	310.7	0.0209	0.5192	0.0209	0.5192	false	false	true
49	false	ARMOGA	296.7	676.7	378.6	574.6	310.7	0.0211	0.5163	0.0211	0.5163	false	false	true
50	false	ARMOGA	297.4	671.3	380.0	591.4	304.9	0.0210	0.5170	0.0210	0.5170	false	false	true
51	false	ARMOGA	297.3	671.8	378.3	598.7	315.0	0.0210	0.5181	0.0210	0.5181	false	false	true
52	false	ARMOGA	295.8	676.1	378.5	594.8	317.7	0.0210	0.5188	0.0210	0.5188	false	false	true
53	false	ARMOGA	296.9	669.9	378.6	595.7	306.7	0.0210	0.5172	0.0210	0.5172	false	false	true
54	false	ARMOGA	297.2	677.1	378.7	633.5	315.3	0.0209	0.5246	0.0209	0.5246	false	false	true

Çizelge İ-1'in devamı

ID	MARKED	CATEGORY	T _{fan} K	T _{gaz} K	T _{klinker} K	T _{Multisiklon} K	T _{Primerhava} K	Maliyet	Verim	Objective11	Objective12	ERROR	VIRTUAL	FEASIBLE
55	false	ARMOGA	297.0	668.9	380.8	593.8	307.0	0.0209	0.5167	0.0209	0.5167	false	false	true
56	false	ARMOGA	296.6	676.4	381.5	584.3	303.2	0.0209	0.5176	0.0209	0.5176	false	false	true
57	false	ARMOGA	297.6	674.3	376.1	577.8	309.8	0.0212	0.5159	0.0212	0.5159	false	false	true
58	false	ARMOGA	296.3	670.1	379.7	584.4	315.7	0.0210	0.5157	0.0210	0.5157	false	false	true
59	false	ARMOGA	297.4	678.2	379.8	584.7	315.4	0.0210	0.5181	0.0210	0.5181	false	false	true
60	false	ARMOGA	296.7	664.8	379.6	589.9	314.8	0.0210	0.5149	0.0210	0.5149	false	false	true
61	false	ARMOGA	296.9	674.4	380.3	590.5	309.5	0.0209	0.5178	0.0209	0.5178	false	false	true
62	false	ARMOGA	296.8	679.3	379.0	600.2	303.7	0.0209	0.5205	0.0209	0.5205	false	false	true
63	false	ARMOGA	298.7	671.5	378.4	599.0	306.5	0.0210	0.5181	0.0210	0.5181	false	false	true
64	false	ARMOGA	297.0	674.9	383.6	592.6	316.9	0.0208	0.5183	0.0208	0.5183	false	false	true
65	false	ARMOGA	297.0	675.4	379.8	597.6	310.8	0.0209	0.5191	0.0209	0.5191	false	false	true
66	false	ARMOGA	297.0	668.1	381.0	600.0	308.6	0.0209	0.5173	0.0209	0.5173	false	false	true
67	false	ARMOGA	297.3	672.6	375.9	592.6	313.4	0.0212	0.5174	0.0212	0.5174	false	false	true
68	false	ARMOGA	296.7	676.2	379.5	581.6	306.7	0.0210	0.5171	0.0210	0.5171	false	false	true
69	false	ARMOGA	297.6	669.7	378.8	598.4	309.0	0.0210	0.5174	0.0210	0.5174	false	false	true
70	false	ARMOGA	297.2	679.7	378.7	608.7	307.6	0.0209	0.5218	0.0209	0.5218	false	false	true
71	false	ARMOGA	296.7	676.7	379.1	557.8	311.4	0.0211	0.5141	0.0211	0.5141	false	false	true
72	false	ARMOGA	296.5	672.5	378.6	600.2	301.5	0.0210	0.5185	0.0210	0.5185	false	false	true
73	false	ARMOGA	297.8	678.6	378.7	598.8	317.3	0.0210	0.5201	0.0210	0.5201	false	false	true
74	false	ARMOGA	297.9	678.5	379.1	599.0	299.7	0.0209	0.5201	0.0209	0.5201	false	false	true
75	false	ARMOGA	296.9	675.1	378.4	634.8	319.4	0.0209	0.5242	0.0209	0.5242	false	false	true
76	false	ARMOGA	297.2	676.4	380.1	583.6	305.6	0.0210	0.5174	0.0210	0.5174	false	false	true
77	false	ARMOGA	297.0	671.7	378.1	596.8	316.5	0.0210	0.5178	0.0210	0.5178	false	false	true
78	false	ARMOGA	295.0	674.1	379.4	598.8	305.4	0.0210	0.5188	0.0210	0.5188	false	false	true
79	false	ARMOGA	296.9	677.0	386.4	610.2	313.4	0.0206	0.5215	0.0206	0.5215	false	false	true
80	false	ARMOGA	297.2	678.2	383.4	619.8	317.4	0.0207	0.5231	0.0207	0.5231	false	false	true
81	false	ARMOGA	297.0	673.8	378.9	606.3	314.7	0.0210	0.5198	0.0210	0.5198	false	false	true
82	false	ARMOGA	296.7	676.5	378.0	567.9	308.6	0.0211	0.5153	0.0211	0.5153	false	false	true
83	false	ARMOGA	297.1	679.6	382.3	599.2	298.7	0.0208	0.5206	0.0208	0.5206	false	false	true

Çizelge İ-1'in devamı

ID	MARKED	CATEGORY	T _{fan} K	T _{gaz} K	T _{klinker} K	T _{Multisiklon} K	T _{Primerhava} K	Maliyet	Verim	Objective11	Objective12	ERROR	VIRTUAL	FEASIBLE
84	false	ARMOGA	297.1	679.3	377.7	615.6	302.2	0.0210	0.5226	0.0210	0.5226	false	false	true
85	false	ARMOGA	296.7	676.9	382.5	577.4	308.7	0.0209	0.5168	0.0209	0.5168	false	false	true
86	false	ARMOGA	297.3	674.3	378.6	633.9	316.5	0.0209	0.5238	0.0209	0.5238	false	false	true
87	false	ARMOGA	296.8	665.7	376.5	634.4	318.1	0.0211	0.5213	0.0211	0.5213	false	false	true
88	false	ARMOGA	297.2	677.4	378.7	608.6	307.5	0.0209	0.5211	0.0209	0.5211	false	false	true
89	false	ARMOGA	297.2	679.4	378.7	633.6	315.4	0.0208	0.5253	0.0208	0.5253	false	false	true
90	false	ARMOGA	297.2	662.7	376.6	590.9	305.3	0.0212	0.5144	0.0212	0.5144	false	false	true
91	false	ARMOGA	297.1	676.9	376.7	610.4	319.2	0.0211	0.5212	0.0211	0.5212	false	false	true
92	false	ARMOGA	296.7	678.4	382.8	610.9	315.7	0.0207	0.5219	0.0207	0.5219	false	false	true
93	false	ARMOGA	297.3	678.3	383.4	608.0	305.4	0.0207	0.5214	0.0207	0.5214	false	false	true
94	false	ARMOGA	296.9	675.3	378.4	623.0	311.8	0.0209	0.5225	0.0209	0.5225	false	false	true
95	false	ARMOGA	297.2	679.5	379.7	620.4	313.4	0.0208	0.5234	0.0208	0.5234	false	false	true
96	false	ARMOGA	297.2	679.5	375.1	639.8	312.4	0.0210	0.5261	0.0210	0.5261	false	false	true
97	false	ARMOGA	297.2	679.5	378.8	614.2	316.4	0.0209	0.5225	0.0209	0.5225	false	false	true
98	false	ARMOGA	297.2	678.6	385.0	620.4	318.8	0.0206	0.5233	0.0206	0.5233	false	false	true
99	false	ARMOGA	297.2	679.2	378.2	651.1	312.1	0.0208	0.5278	0.0208	0.5278	false	false	true
100	false	ARMOGA	297.3	679.4	383.3	638.3	304.0	0.0206	0.5261	0.0206	0.5261	false	false	true
101	false	ARMOGA	297.0	679.6	376.4	594.5	310.2	0.0211	0.5198	0.0211	0.5198	false	false	true
102	false	ARMOGA	297.2	679.5	383.8	596.3	300.9	0.0207	0.5202	0.0207	0.5202	false	false	true
103	false	ARMOGA	297.1	679.5	377.2	636.5	312.7	0.0209	0.5257	0.0209	0.5257	false	false	true
104	false	ARMOGA	296.9	676.8	384.0	614.7	313.1	0.0206	0.5220	0.0206	0.5220	false	false	true
105	false	ARMOGA	297.2	678.5	385.8	615.3	319.2	0.0206	0.5226	0.0206	0.5226	false	false	true
106	false	ARMOGA	297.2	679.4	379.3	621.8	312.7	0.0209	0.5236	0.0209	0.5236	false	false	true
107	false	ARMOGA	297.2	679.5	379.1	632.2	316.2	0.0208	0.5251	0.0208	0.5251	false	false	true
108	false	ARMOGA	297.2	679.1	380.1	623.1	313.0	0.0208	0.5237	0.0208	0.5237	false	false	true
109	false	ARMOGA	297.2	678.8	382.1	605.4	312.1	0.0208	0.5212	0.0208	0.5212	false	false	true
110	false	ARMOGA	296.7	678.4	382.9	603.6	296.0	0.0207	0.5208	0.0207	0.5208	false	false	true
111	false	ARMOGA	297.1	679.7	382.2	606.5	318.4	0.0207	0.5216	0.0207	0.5216	false	false	true
112	false	ARMOGA	297.4	678.7	382.4	628.3	306.4	0.0207	0.5244	0.0207	0.5244	false	false	true

Çizelge İ-1'in devamı

ID	MARKED	CATEGORY	T _{fan} K	T _{gaz} K	T _{klinker} K	T _{Multisiklon} K	T _{Primerhava} K	Maliyet	Verim	Objective11	Objective12	ERROR	VIRTUAL	FEASIBLE
113	false	ARMOGA	296.7	677.7	387.3	620.2	312.6	0.0205	0.5231	0.0205	0.5231	false	false	true
114	false	ARMOGA	297.2	662.6	385.7	611.5	307.8	0.0207	0.5174	0.0207	0.5174	false	false	true
115	false	ARMOGA	296.9	677.4	383.9	637.0	309.6	0.0206	0.5253	0.0206	0.5253	false	false	true
116	false	ARMOGA	297.2	678.5	385.5	620.2	318.9	0.0206	0.5233	0.0206	0.5233	false	false	true
117	false	ARMOGA	297.2	678.3	383.0	620.0	318.9	0.0207	0.5231	0.0207	0.5231	false	false	true
118	false	ARMOGA	297.3	679.4	385.8	573.6	308.7	0.0207	0.5172	0.0207	0.5172	false	false	true
119	false	ARMOGA	297.2	678.0	375.8	655.6	308.8	0.0210	0.5280	0.0210	0.5280	false	false	true
120	false	ARMOGA	297.3	678.2	385.5	609.8	306.9	0.0206	0.5217	0.0206	0.5217	false	false	true
121	false	ARMOGA	297.2	678.6	383.7	613.5	317.7	0.0207	0.5223	0.0207	0.5223	false	false	true
122	false	ARMOGA	297.0	679.1	376.8	655.6	312.6	0.0209	0.5284	0.0209	0.5284	false	false	true
123	false	ARMOGA	297.2	679.6	378.5	632.0	312.2	0.0209	0.5251	0.0209	0.5251	false	false	true
124	false	ARMOGA	297.2	678.3	382.5	622.5	313.4	0.0207	0.5235	0.0207	0.5235	false	false	true
125	false	ARMOGA	297.2	679.1	381.0	620.4	317.0	0.0208	0.5233	0.0208	0.5233	false	false	true
126	false	ARMOGA	297.3	679.5	376.4	637.1	312.7	0.0210	0.5258	0.0210	0.5258	false	false	true
127	false	ARMOGA	297.0	679.5	375.9	639.3	312.5	0.0210	0.5261	0.0210	0.5261	false	false	true
128	false	ARMOGA	297.1	679.7	375.5	644.7	311.4	0.0210	0.5269	0.0210	0.5269	false	false	true
129	false	ARMOGA	297.0	676.9	383.6	643.4	310.2	0.0206	0.5261	0.0206	0.5261	false	false	true
130	false	ARMOGA	296.7	668.2	387.0	620.4	314.8	0.0205	0.5203	0.0205	0.5203	false	false	true
131	false	ARMOGA	297.2	678.4	385.3	620.3	316.6	0.0206	0.5232	0.0206	0.5232	false	false	true
132	false	ARMOGA	296.6	677.6	388.2	622.1	313.5	0.0204	0.5234	0.0204	0.5234	false	false	true
133	false	ARMOGA	297.3	678.4	381.6	620.7	312.6	0.0207	0.5232	0.0207	0.5232	false	false	true
134	false	ARMOGA	297.1	679.5	381.7	619.0	312.6	0.0207	0.5233	0.0207	0.5233	false	false	true
135	false	ARMOGA	297.0	677.0	382.2	641.0	310.0	0.0207	0.5258	0.0207	0.5258	false	false	true
136	false	ARMOGA	297.2	676.0	383.0	639.5	309.3	0.0206	0.5252	0.0206	0.5252	false	false	true
137	false	ARMOGA	297.3	678.4	385.8	629.4	313.6	0.0205	0.5246	0.0205	0.5246	false	false	true
138	false	ARMOGA	297.1	679.0	376.0	637.4	302.4	0.0210	0.5256	0.0210	0.5256	false	false	true
139	false	ARMOGA	297.2	679.5	384.1	656.5	314.2	0.0205	0.5288	0.0205	0.5288	false	false	true
140	false	ARMOGA	297.1	678.4	388.0	620.3	318.1	0.0204	0.5233	0.0204	0.5233	false	false	true
141	false	ARMOGA	296.8	676.6	384.3	620.3	313.3	0.0206	0.5227	0.0206	0.5227	false	false	true
142	false	ARMOGA	297.2	678.4	388.8	622.8	312.3	0.0204	0.5237	0.0204	0.5237	false	false	true
143	false	ARMOGA	296.7	677.7	380.9	619.9	313.8	0.0208	0.5229	0.0208	0.5229	false	false	true

Çizelge İ-1'in devamı

ID	MARKED	CATEGORY	T _{fan} K	T _{gaz} K	T _{klinker} K	T _{Multisiklon} K	T _{Primerhava} K	Maliyet	Verim	Objective11	Objective12	ERROR	VIRTUAL	FEASIBLE
144	true	ARMOGA	296.3	679.7	386.8	654.4	314.8	0.0204	0.5286	0.0204	0.5286	false	false	true
145	false	ARMOGA	297.2	679.1	375.5	653.2	311.5	0.0210	0.5280	0.0210	0.5280	false	false	true
146	false	ARMOGA	297.3	677.8	375.1	630.0	310.8	0.0211	0.5242	0.0211	0.5242	false	false	true
147	false	ARMOGA	297.0	679.1	386.5	655.0	311.5	0.0204	0.5285	0.0204	0.5285	false	false	true
148	false	ARMOGA	296.9	678.2	388.2	622.7	312.7	0.0204	0.5236	0.0204	0.5236	false	false	true
149	false	ARMOGA	297.0	677.8	388.8	636.1	313.5	0.0204	0.5254	0.0204	0.5254	false	false	true
150	true	ARMOGA	297.2	679.2	385.8	656.1	312.7	0.0204	0.5287	0.0204	0.5287	false	false	true
151	false	ARMOGA	297.2	679.5	376.5	651.5	313.5	0.0209	0.5279	0.0209	0.5279	false	false	true
152	false	ARMOGA	297.0	677.8	376.5	636.5	309.2	0.0210	0.5252	0.0210	0.5252	false	false	true
153	true	ARMOGA	297.0	678.3	382.6	660.1	313.4	0.0206	0.5290	0.0206	0.5290	false	false	true
154	false	ARMOGA	297.2	679.5	380.1	652.6	312.8	0.0207	0.5281	0.0207	0.5281	false	false	true
155	false	ARMOGA	296.6	679.2	382.2	655.0	305.3	0.0206	0.5285	0.0206	0.5285	false	false	true
156	false	ARMOGA	298.1	679.1	375.2	649.4	311.5	0.0210	0.5274	0.0210	0.5274	false	false	true
157	false	ARMOGA	297.0	679.7	375.1	650.9	312.5	0.0210	0.5278	0.0210	0.5278	false	false	true
158	false	ARMOGA	297.2	679.3	388.6	630.4	306.5	0.0204	0.5251	0.0204	0.5251	false	false	true
159	false	ARMOGA	297.2	667.3	378.4	643.5	312.3	0.0209	0.5232	0.0209	0.5232	false	false	true
160	false	ARMOGA	297.1	678.9	380.7	652.4	313.4	0.0207	0.5279	0.0207	0.5279	false	false	true
161	false	ARMOGA	297.0	678.4	388.2	636.3	312.9	0.0204	0.5257	0.0204	0.5257	false	false	true
162	false	ARMOGA	296.9	677.8	388.8	628.3	302.7	0.0204	0.5243	0.0204	0.5243	false	false	true
163	true	ARMOGA	297.3	679.2	388.6	638.2	316.6	0.0204	0.5262	0.0204	0.5262	false	false	true
164	false	ARMOGA	297.2	679.4	379.8	657.0	312.8	0.0207	0.5287	0.0207	0.5287	false	false	true
165	false	ARMOGA	297.2	679.3	386.0	651.7	312.7	0.0204	0.5281	0.0204	0.5281	false	false	true
166	true	ARMOGA	297.2	678.3	389.2	634.6	312.3	0.0203	0.5254	0.0203	0.5254	false	false	true
167	false	ARMOGA	297.2	679.3	387.4	644.3	312.7	0.0204	0.5270	0.0204	0.5270	false	false	true
168	false	ARMOGA	297.2	679.2	385.4	655.9	312.9	0.0204	0.5287	0.0204	0.5287	false	false	true
169	true	ARMOGA	297.2	679.5	384.5	656.6	314.0	0.0205	0.5289	0.0205	0.5289	false	false	true
170	false	ARMOGA	296.9	678.3	387.4	634.8	311.9	0.0204	0.5254	0.0204	0.5254	false	false	true
171	false	ARMOGA	297.3	678.4	384.0	648.1	313.7	0.0205	0.5272	0.0205	0.5272	false	false	true
172	false	ARMOGA	297.0	679.1	389.3	614.4	313.7	0.0204	0.5227	0.0204	0.5227	false	false	true
173	true	ARMOGA	297.2	677.9	385.3	659.5	312.5	0.0204	0.5288	0.0204	0.5288	false	false	true
174	false	ARMOGA	296.9	677.1	388.6	631.4	316.0	0.0204	0.5246	0.0204	0.5246	false	false	true

Çizelge J.1 Genetik çözümlene uzayında en iyi jenerasyonlar (06 Temmuz 2006)

ID	MARKED	CATEGORY	T _{fân} K	T _{gaz} K	T _{klinker} K	T _{Multisiklon} K	T _{Primerhava} K	Maliyet	Verim	Objective11	Objective12	ERROR	VIRTUAL	FEASIBLE
144	true	ARMOGA	296.3	679.7	386.8	654.4	314.8	0.0204	0.5286	0.0204	0.5286	false	false	true
150	true	ARMOGA	297.2	679.2	385.8	656.1	312.7	0.0204	0.5287	0.0204	0.5287	false	false	true
153	true	ARMOGA	297.0	678.3	382.6	660.1	313.4	0.0206	0.5290	0.0206	0.5290	false	false	true
163	true	ARMOGA	297.3	679.2	388.6	638.2	316.6	0.0204	0.5262	0.0204	0.5262	false	false	true
166	true	ARMOGA	297.2	678.3	389.2	634.6	312.3	0.0203	0.5254	0.0203	0.5254	false	false	true
169	true	ARMOGA	297.2	679.5	384.5	656.6	314.0	0.0205	0.5289	0.0205	0.5289	false	false	true
173	true	ARMOGA	297.2	677.9	385.3	659.5	312.5	0.0204	0.5288	0.0204	0.5288	false	false	true

Çizelge K.1 Genetik çözümleme uzayında en iyi jenerasyonlar (07-08 Temmuz 2006)

07 Temmuz

ID	MARKED	CATEGORY	T _{fan} K	T _{gaz} K	T _{klinker} K	T _{Multisiklon} K	T _{Primerhava} K	Maliyet	Verim	Objective11	Objective12	ERROR	VIRTUAL	FEASIBLE
109	true	ARMOGA	299.9	673.9	389.9	691.9	312.0	0.02039	0.4728	0.02039	0.4728	false	false	true
114	true	ARMOGA	299.9	678.4	389.6	692.2	296.8	0.02038	0.4739	0.02038	0.4739	false	false	true
119	true	ARMOGA	297.4	678.2	389.1	692.9	313.5	0.02040	0.4740	0.02040	0.4740	false	false	true
135	true	ARMOGA	298.5	679.1	389.2	693.0	307.0	0.02039	0.4742	0.02039	0.4742	false	false	true
136	true	ARMOGA	298.4	678.7	389.6	692.6	295.7	0.02038	0.4741	0.02038	0.4741	false	false	true
145	true	ARMOGA	298.6	679.4	389.9	693.2	305.1	0.02036	0.4743	0.02036	0.4743	false	false	true
146	true	ARMOGA	297.7	679.1	389.5	692.7	303.3	0.02038	0.4742	0.02038	0.4742	false	false	true
147	true	ARMOGA	297.8	678.9	389.9	692.8	305.9	0.02036	0.4741	0.02036	0.4741	false	false	true
148	true	ARMOGA	298.3	679.0	389.8	692.2	313.6	0.02036	0.4741	0.02036	0.4741	false	false	true
149	true	ARMOGA	298.7	674.2	389.9	692.6	311.9	0.02039	0.4729	0.02039	0.4729	false	false	true
156	true	ARMOGA	298.9	673.8	389.8	693.0	311.8	0.02039	0.4729	0.02039	0.4729	false	false	true
163	true	ARMOGA	299.0	679.7	389.3	693.0	313.6	0.02038	0.4744	0.02038	0.4744	false	false	true
167	true	ARMOGA	297.1	679.3	389.5	692.9	313.4	0.02038	0.4743	0.02038	0.4743	false	false	true

08 Temmuz

ID	MARKED	CATEGORY	T _{fan} K	T _{gaz} K	T _{klinker} K	T _{Multisiklon} K	T _{Primerhava} K	Maliyet	Verim	Objective11	Objective12	ERROR	VIRTUAL	FEASIBLE
99	true	ARMOGA	295.6	674.3	389.3	693.6	316.0	0.02097	0.4594	0.0210	0.4594	false	false	true
114	true	ARMOGA	298.4	674.1	389.9	694.8	317.1	0.02094	0.4595	0.0209	0.4595	false	false	true
129	true	ARMOGA	298.8	675.2	389.9	694.9	316.9	0.02093	0.4598	0.0209	0.4598	false	false	true
132	true	ARMOGA	298.6	679.5	389.5	694.1	303.9	0.02093	0.4607	0.0209	0.4607	false	false	true
150	true	ARMOGA	299.0	677.4	389.7	694.9	310.4	0.02093	0.4603	0.0209	0.4603	false	false	true
157	true	ARMOGA	298.7	678.0	389.0	694.5	310.9	0.02096	0.4604	0.0210	0.4604	false	false	true
165	true	ARMOGA	298.5	679.7	388.3	695.8	302.9	0.02099	0.4610	0.0210	0.4610	false	false	true
171	true	ARMOGA	296.7	679.0	389.7	694.6	317.7	0.02092	0.4607	0.0209	0.4607	false	false	true
173	true	ARMOGA	298.7	677.4	388.8	695.2	312.3	0.02098	0.4603	0.0210	0.4603	false	false	true
174	true	ARMOGA	298.8	678.6	388.8	693.5	309.2	0.02097	0.4604	0.0210	0.4604	false	false	true

Çizelge K.2 Genetik çözümleme uzayında en iyi jenerasyonlar (09-10 Temmuz 2006)

9

ID	MARKED	CATEGORY	T _{fân} K	T _{gaz} K	T _{klinker} K	T _{Multisiklon} K	T _{Primerhava} K	Maliyet	Verim	Objective11	Objective12	ERROR	VIRTUAL	FEASIBLE
141	true	ARMOGA	295.8	673.9	409.7	697.3	305.8	0.02197	0.4472	0.02197	0.4472	false	false	true
160	true	ARMOGA	295.2	678.5	408.6	692.4	297.2	0.02199	0.4476	0.02199	0.4476	false	false	true
162	true	ARMOGA	295.1	676.6	409.6	693.5	307.1	0.02197	0.4473	0.02197	0.4473	false	false	true
163	true	ARMOGA	295.2	677.9	409.3	686.4	306.9	0.02199	0.4467	0.02199	0.4467	false	false	true
164	true	ARMOGA	295.5	679.2	407.6	698.4	304.8	0.02201	0.4486	0.02201	0.4486	false	false	true
169	true	ARMOGA	295.1	680.0	409.1	693.5	304.5	0.02197	0.4482	0.02197	0.4482	false	false	true
172	true	ARMOGA	295.7	679.6	409.5	696.9	299.7	0.02195	0.4485	0.02195	0.4485	false	false	true

10

ID	MARKED	CATEGORY	T _{fân} K	T _{gaz} K	T _{klinker} K	T _{Multisiklon} K	T _{Primerhava} K	Maliyet	Verim	Objective11	Objective12	ERROR	VIRTUAL	FEASIBLE
134	true	ARMOGA	295.0	677.6	398.8	695.4	315.7	0.02078	0.4774	0.02078	0.4774	false	false	true
137	true	ARMOGA	297.2	676.0	399.2	695.2	306.2	0.02077	0.4770	0.02077	0.4770	false	false	true
138	true	ARMOGA	297.2	677.0	399.8	695.8	296.5	0.02074	0.4774	0.02074	0.4774	false	false	true
141	true	ARMOGA	296.5	677.4	399.2	688.5	300.8	0.02078	0.4764	0.02078	0.4764	false	false	true
142	true	ARMOGA	299.6	678.7	398.6	694.9	317.5	0.02078	0.4775	0.02078	0.4775	false	false	true
144	true	ARMOGA	298.1	679.0	399.8	694.8	317.3	0.02073	0.4776	0.02073	0.4776	false	false	true
156	true	ARMOGA	295.4	675.8	398.7	693.1	317.8	0.02079	0.4765	0.02079	0.4765	false	false	true
165	true	ARMOGA	298.4	678.6	399.6	695.0	317.4	0.02074	0.4775	0.02074	0.4775	false	false	true
171	true	ARMOGA	296.1	678.9	399.5	695.6	313.9	0.02074	0.4778	0.02074	0.4778	false	false	true
173	true	ARMOGA	295.0	677.7	399.4	694.4	299.5	0.02075	0.4773	0.02075	0.4773	false	false	true
174	true	ARMOGA	297.0	676.2	399.7	695.3	298.6	0.02075	0.4771	0.02075	0.4771	false	false	true

Çizelge K.3 Genetik çözümleme uzayında en iyi jenerasyonlar (11-12 Temmuz 2006)

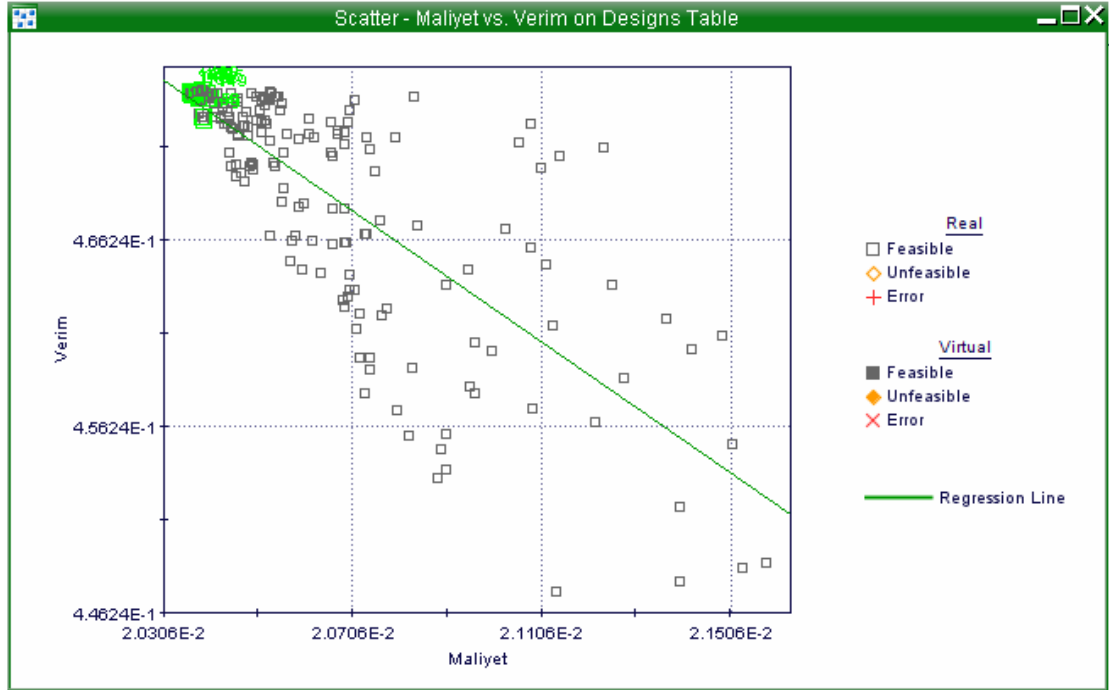
11

ID	MARKED	CATEGORY	T _{fan} K	T _{gaz} K	T _{klinker} K	T _{Multisiklon} K	T _{Primerhava} K	Maliyet	Verim	Objective11	Objective12	ERROR	VIRTUAL	FEASIBLE
108	true	ARMOGA	297.0	675.4	399.7	687.4	308.6	0.02061	0.4693	0.02061	0.4693	false	false	true
112	true	ARMOGA	297.1	675.8	400.0	687.9	312.8	0.02059	0.4695	0.02059	0.4695	false	false	true
122	true	ARMOGA	296.8	673.3	399.9	694.7	306.9	0.02059	0.4698	0.02059	0.4698	false	false	true
142	true	ARMOGA	297.3	677.3	399.4	692.2	309.1	0.02059	0.4705	0.02059	0.4705	false	false	true
145	true	ARMOGA	297.2	678.3	399.1	697.0	313.7	0.02059	0.4714	0.02059	0.4714	false	false	true
153	true	ARMOGA	296.7	678.5	399.3	698.1	307.2	0.02058	0.4717	0.02058	0.4717	false	false	true
154	true	ARMOGA	298.1	677.6	397.5	697.4	313.7	0.02066	0.4713	0.02066	0.4713	false	false	true
160	true	ARMOGA	297.3	678.4	399.8	698.0	309.4	0.02056	0.4716	0.02056	0.4716	false	false	true
171	true	ARMOGA	297.3	677.7	399.7	699.6	313.9	0.02056	0.4717	0.02056	0.4717	false	false	true
172	true	ARMOGA	296.6	677.6	399.1	698.2	308.5	0.02059	0.4714	0.02059	0.4714	false	false	true

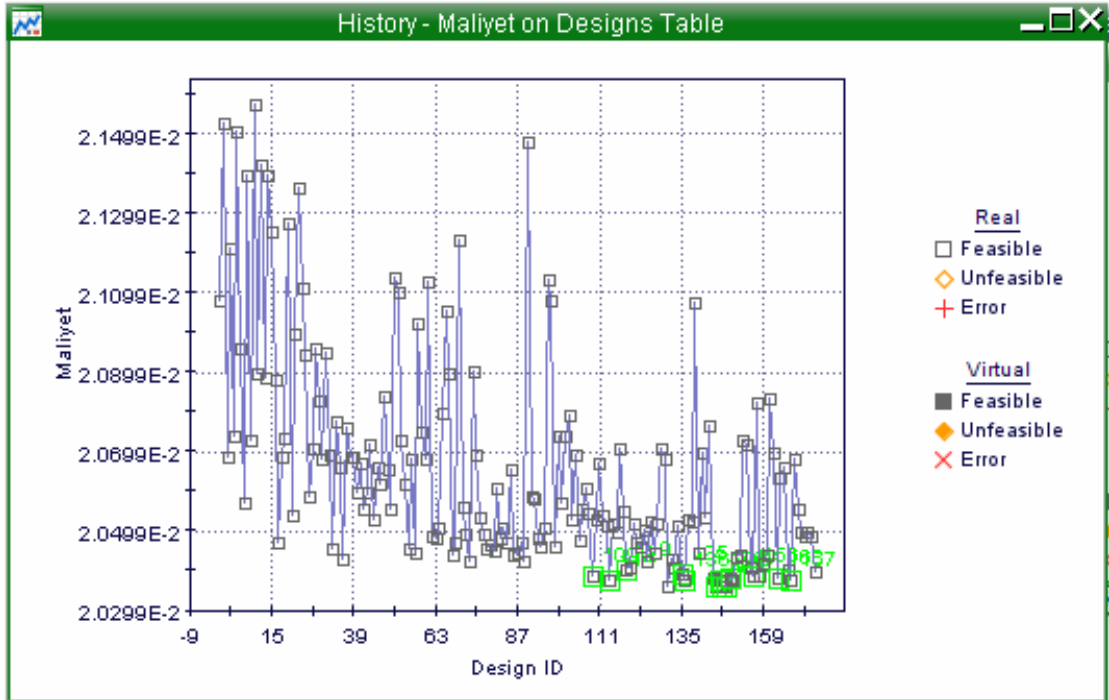
12

ID	MARKED	CATEGORY	T _{fan} K	T _{gaz} K	T _{klinker} K	T _{Multisiklon} K	T _{Primerhava} K	Maliyet	Verim	Objective11	Objective12	ERROR	VIRTUAL	FEASIBLE
128	true	ARMOGA	297.3	672.5	399.7	696.7	312.3	0.02042	0.4718	0.02042	0.4718	false	false	true
129	true	ARMOGA	295.6	675.4	399.3	689.2	308.4	0.02044	0.4715	0.02044	0.4715	false	false	true
139	true	ARMOGA	297.5	674.1	399.7	697.4	305.9	0.02041	0.4723	0.02041	0.4723	false	false	true
149	true	ARMOGA	297.5	679.1	398.7	693.6	306.4	0.02044	0.4730	0.02044	0.4730	false	false	true
151	true	ARMOGA	297.5	674.7	398.3	700.0	307.8	0.02046	0.4728	0.02046	0.4728	false	false	true
160	true	ARMOGA	297.5	677.3	398.6	693.1	307.1	0.02045	0.4725	0.02045	0.4725	false	false	true
162	true	ARMOGA	297.5	676.4	398.4	697.5	306.9	0.02045	0.4729	0.02045	0.4729	false	false	true
165	true	ARMOGA	297.6	679.1	399.2	691.6	307.0	0.02042	0.4728	0.02042	0.4728	false	false	true
167	true	ARMOGA	297.5	679.5	397.6	697.7	306.5	0.02047	0.4737	0.02047	0.4737	false	false	true
173	true	ARMOGA	297.5	674.1	399.9	686.4	306.6	0.02043	0.4708	0.02043	0.4708	false	false	true

(07 Temmuz Verileri)

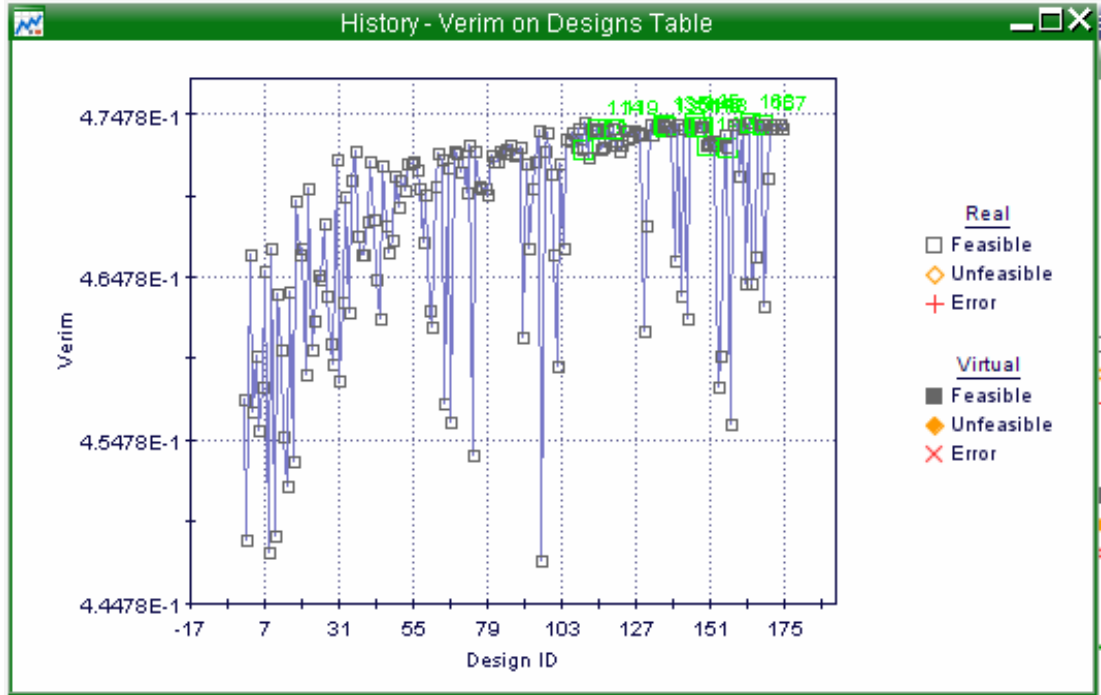


Şekil L.1 Hedef maliyet ve verim dağılımı

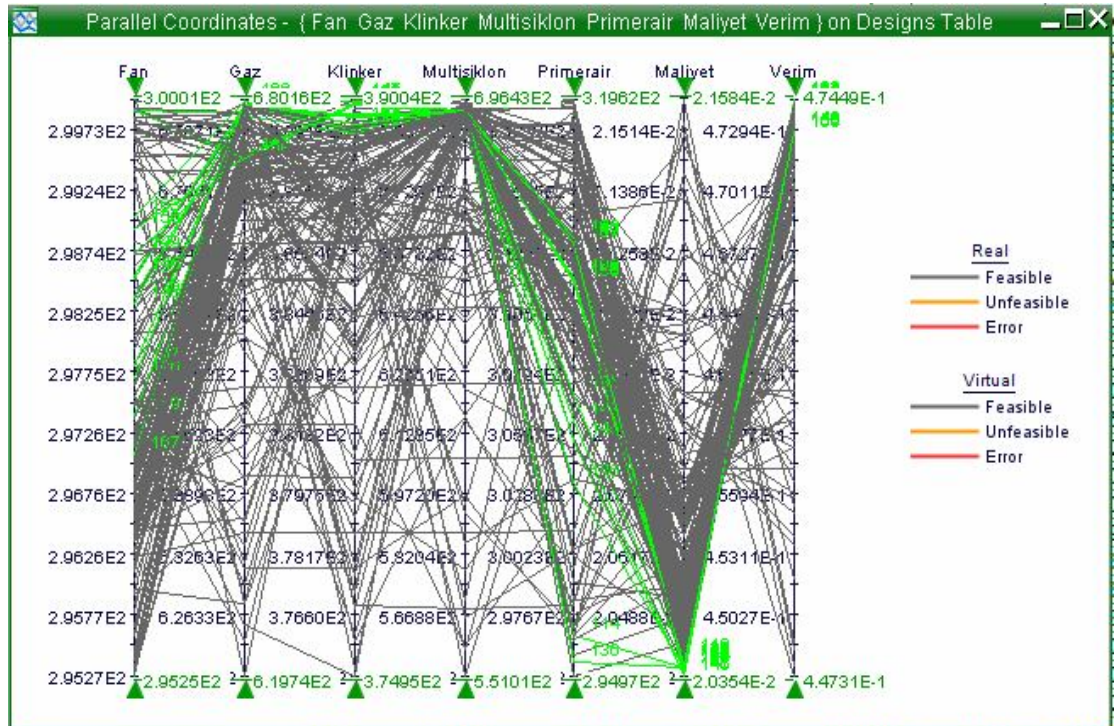


Şekil L.2 Hedef maliyet dağılımı

(07 Temmuz Verileri)

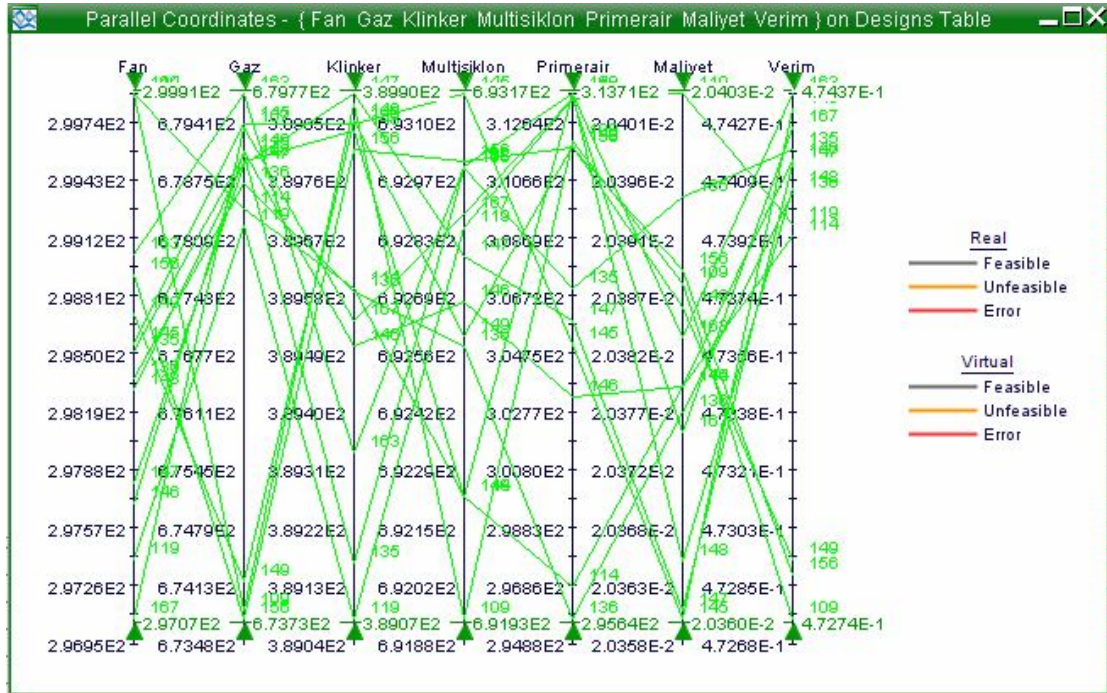


Şekil L.3 Hedef verim dağılımı



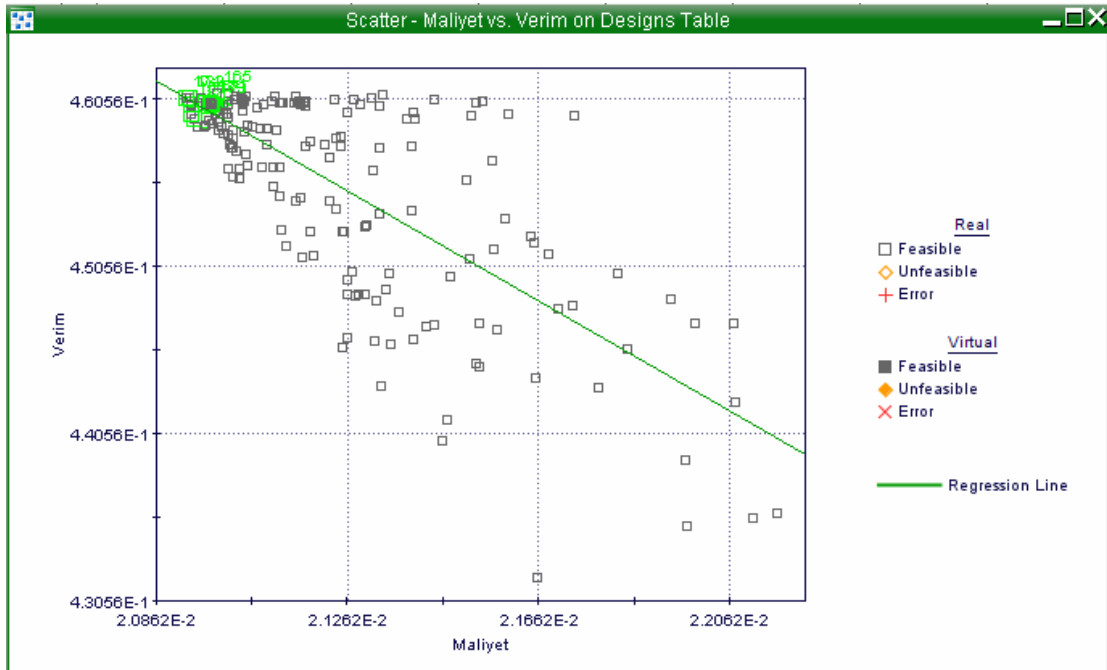
Şekil L.4 Girdi ve hedef parametrelerinin paralel koordinat grafiği

(07 Temmuz Verileri)



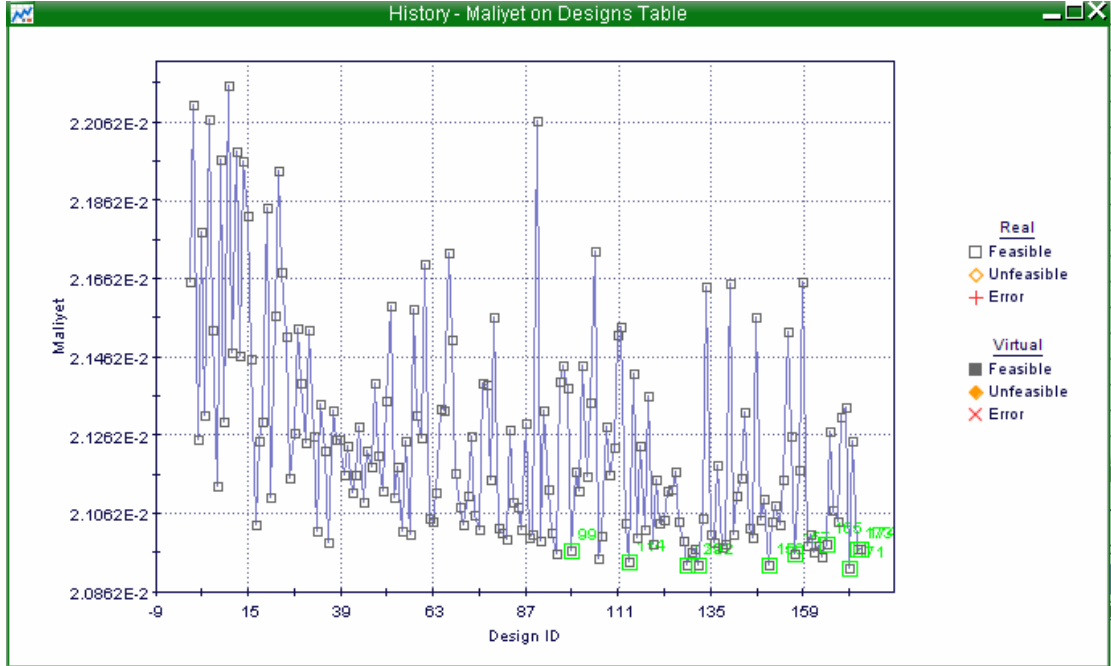
Şekil L.5 En iyi nesillerin paralel koordinat grafiği

(08 Temmuz Verileri)

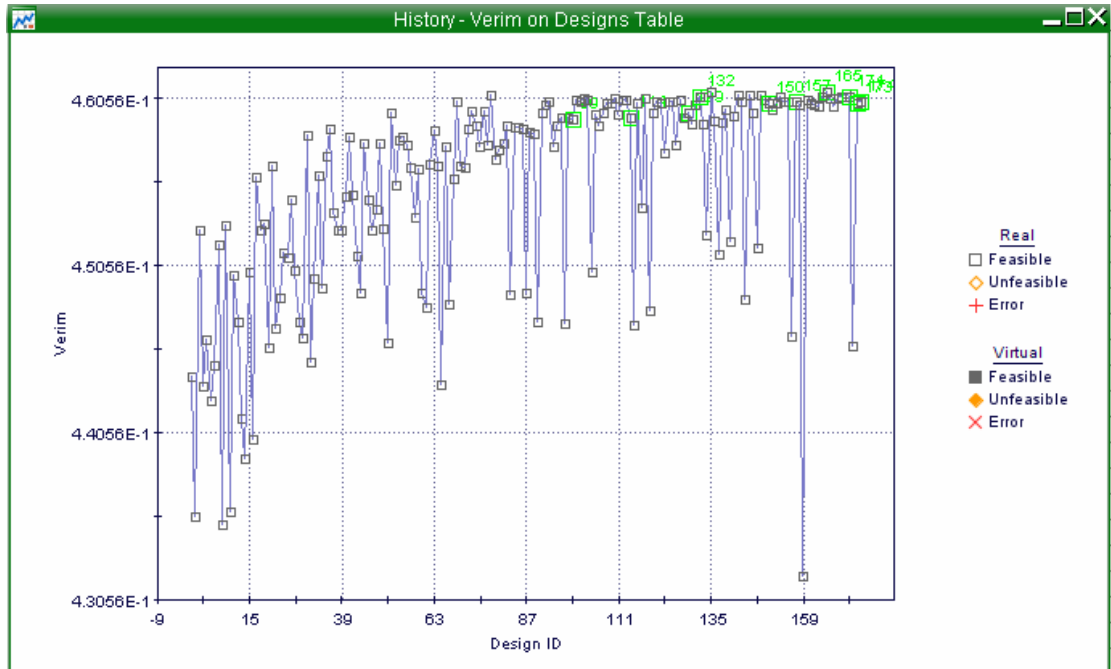


Şekil L.6 Hedef maliyet ve verim dağılımı

(08 Temmuz Verileri)

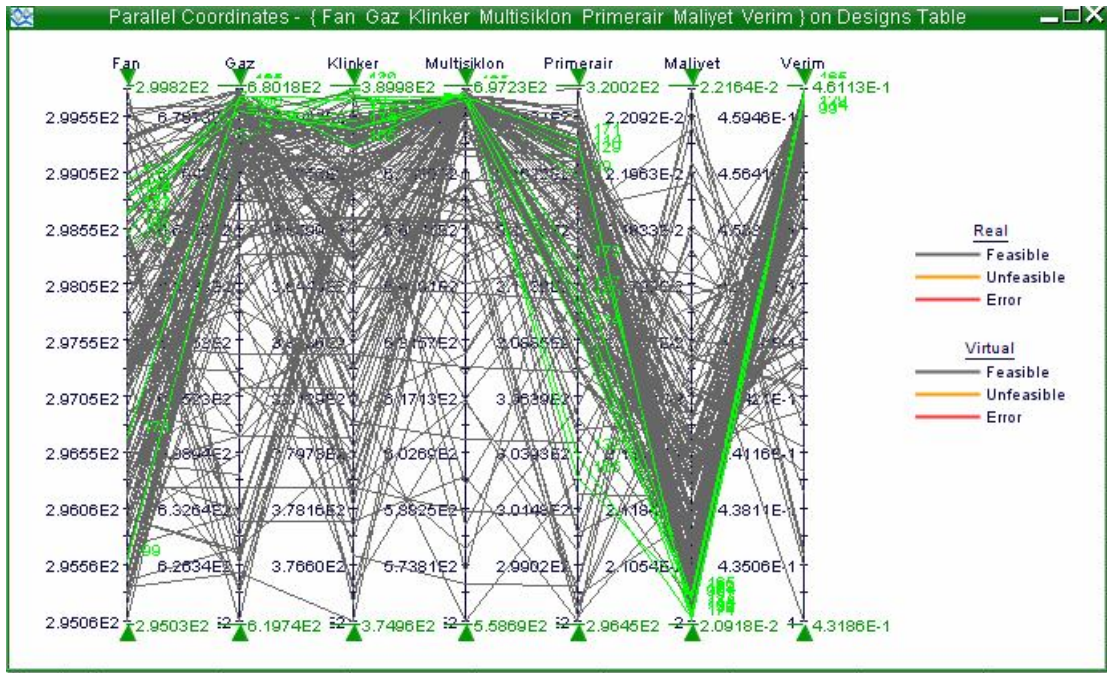


Şekil L.7 Hedef maliyet dağılımı

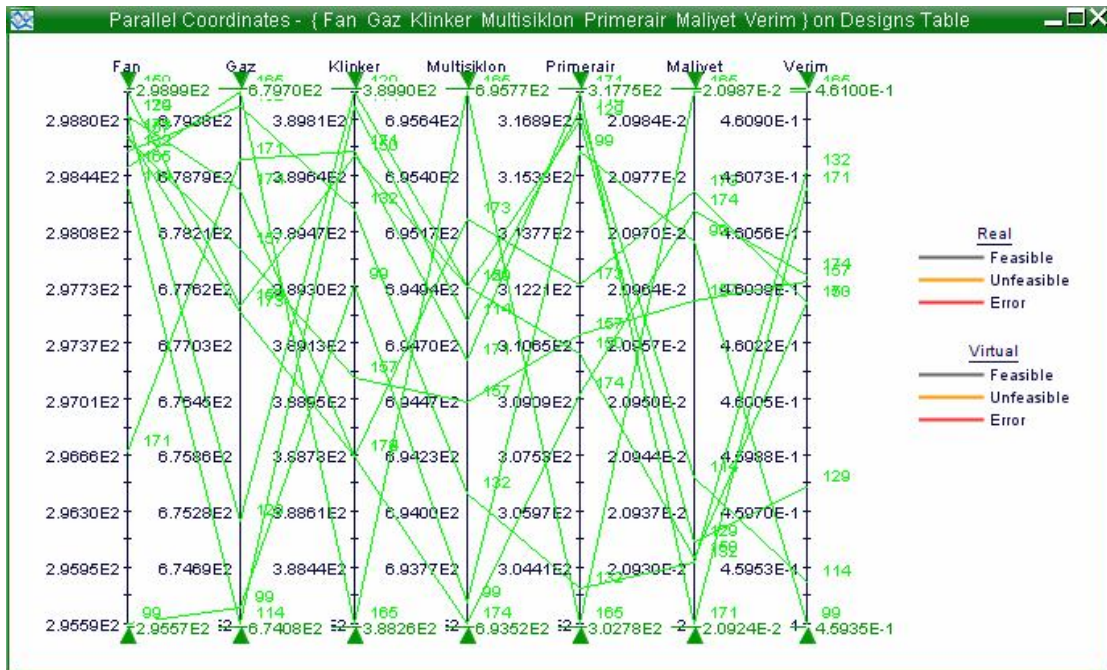


Şekil L.8 Hedef verim dağılımı

(08 Temmuz Verileri)

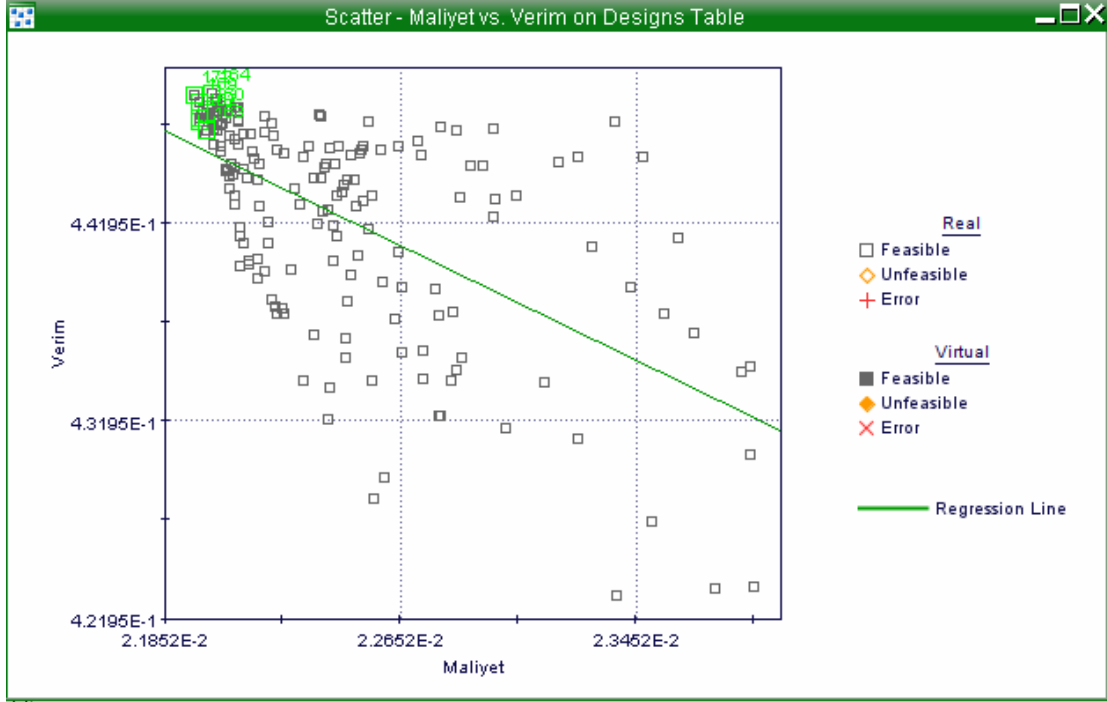


Şekil L.9 Girdi ve hedef parametrelerinin paralel koordinat grafiği

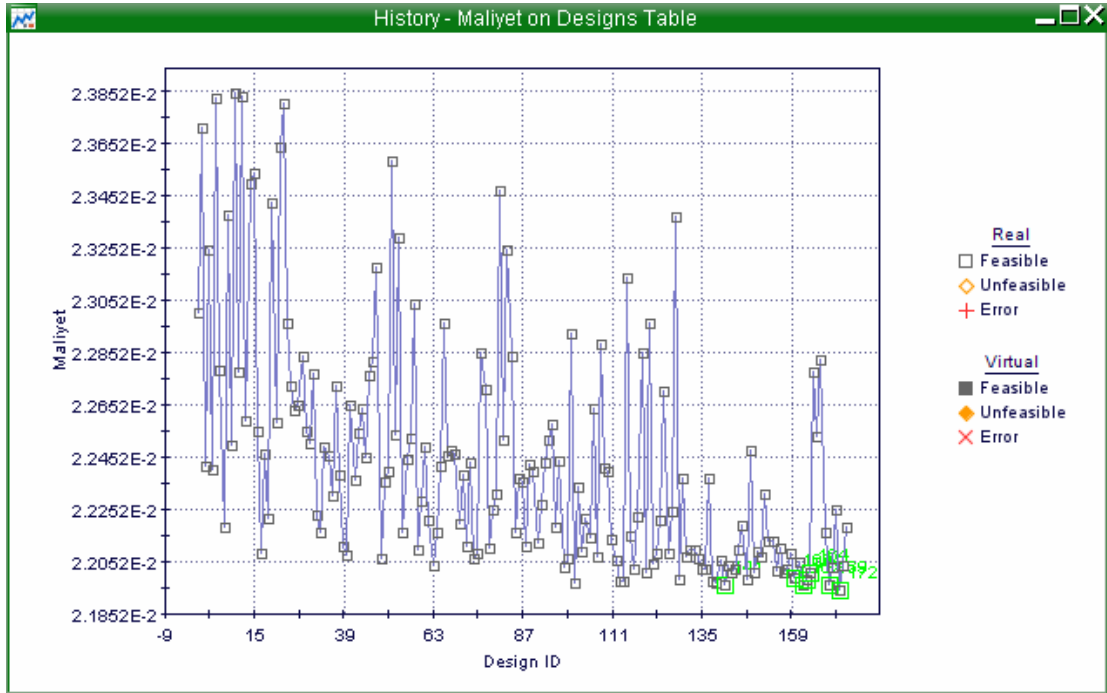


Şekil L.10 En iyi nesillerin paralel koordinat grafiği

(09 Temmuz Verileri)

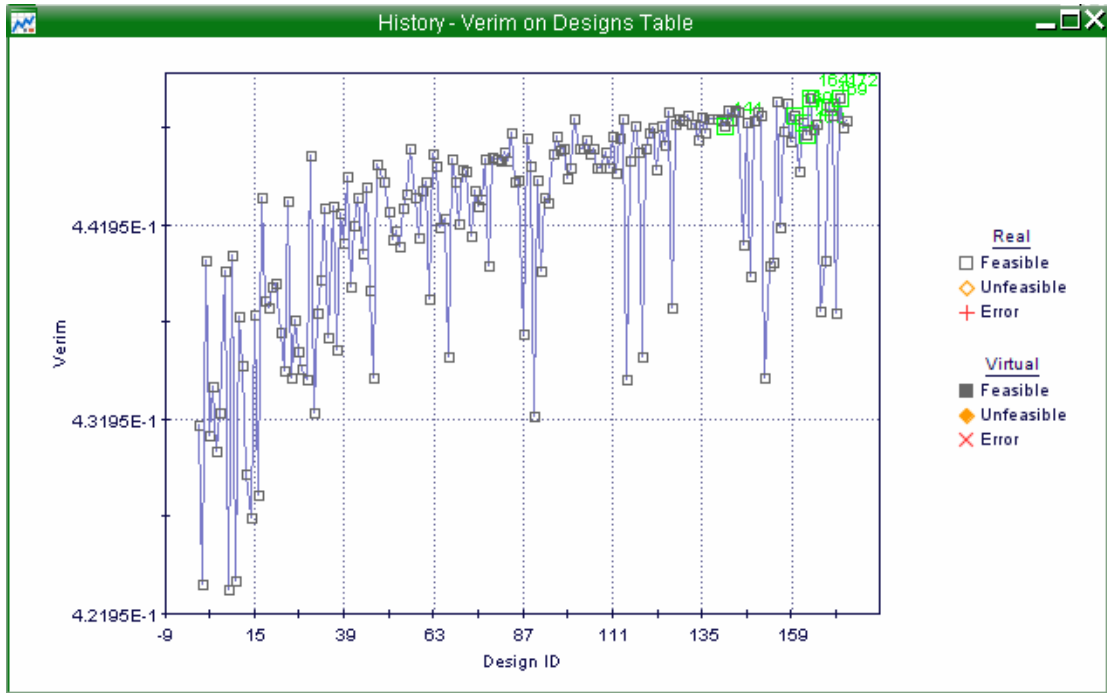


Şekil L.11 Hedef maliyet ve verim dağılımı

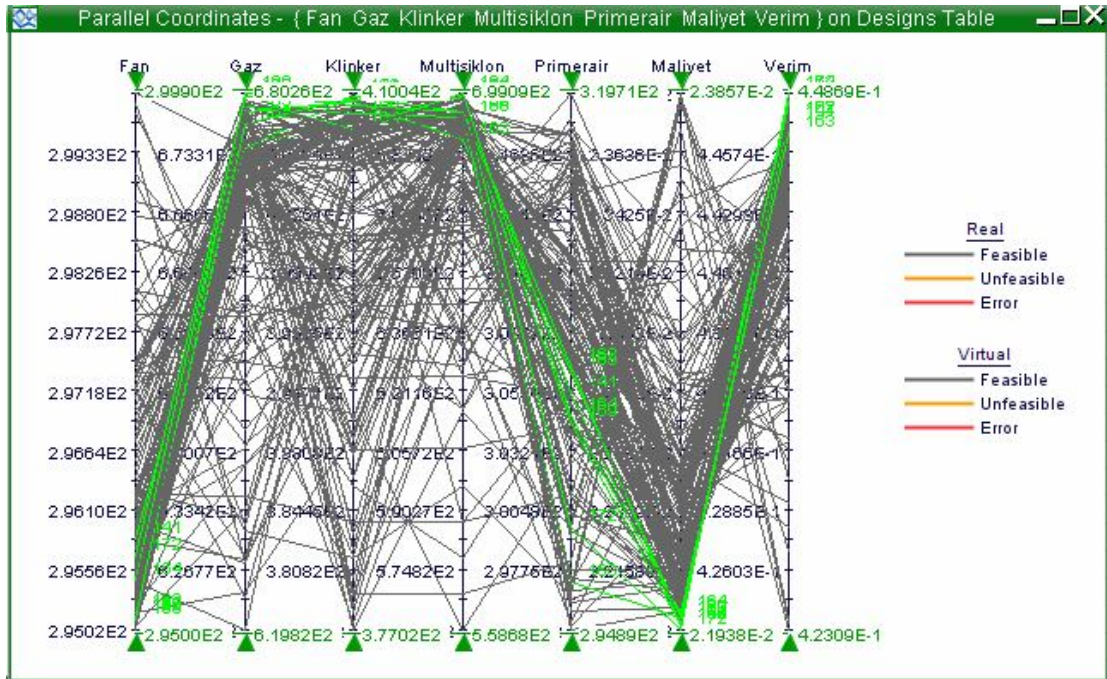


Şekil L.12 Hedef maliyet dağılımı

(09 Temmuz Verileri)

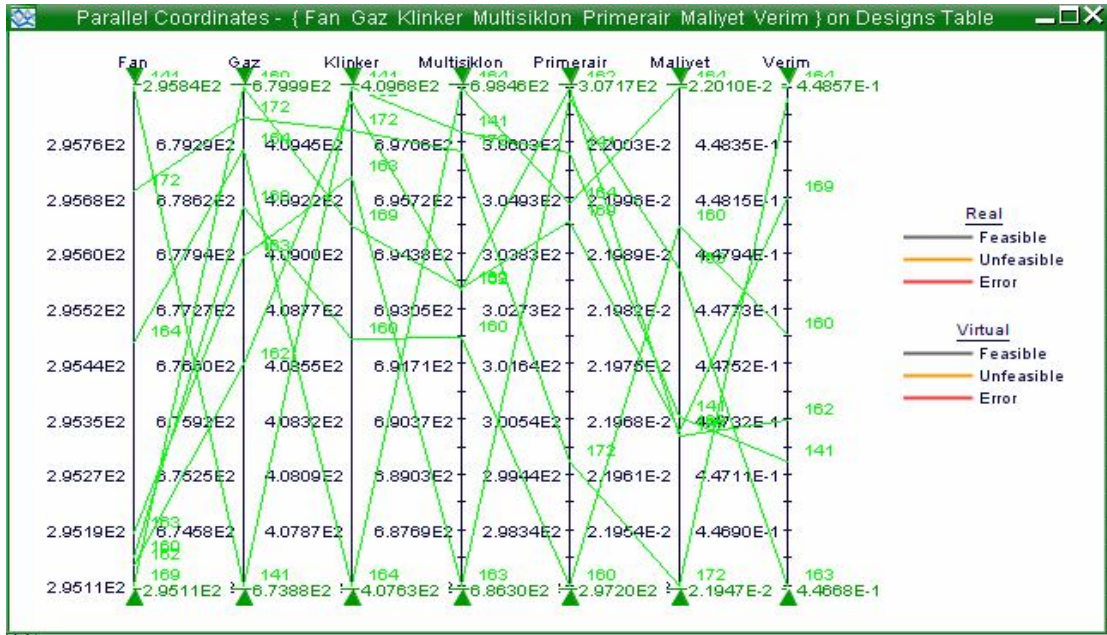


Şekil L.13 Hedef verim dağılımı



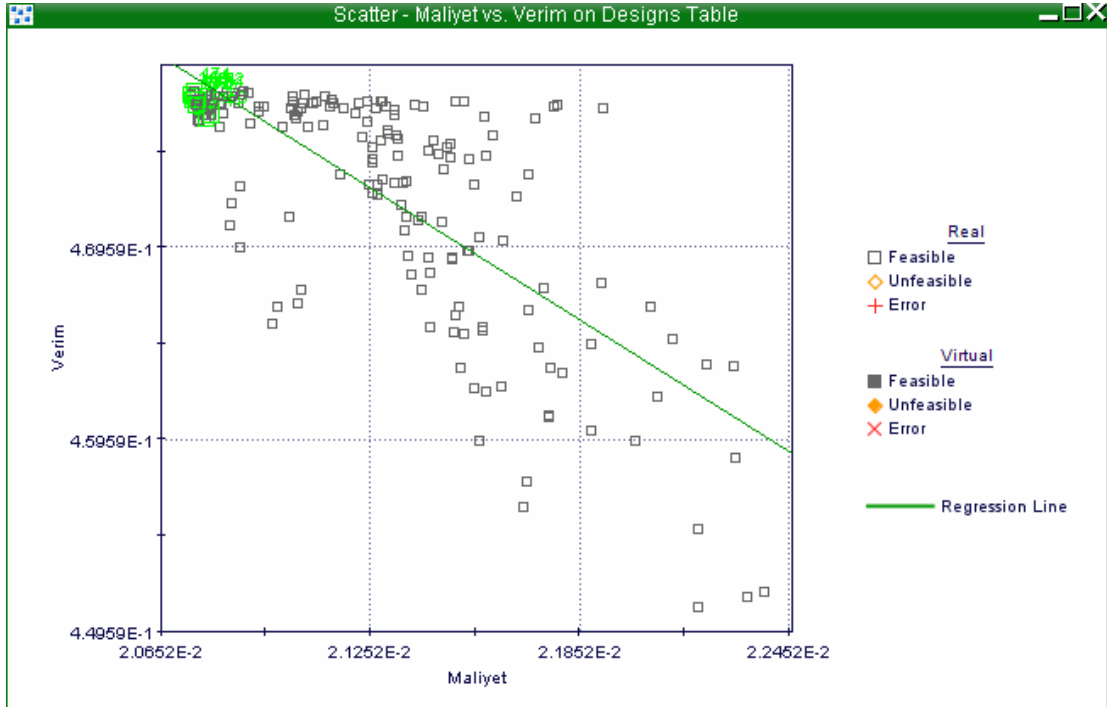
Şekil L.14 Girdi ve hedef parametrelerinin paralel koordinat grafiği

(09 Temmuz Verileri)



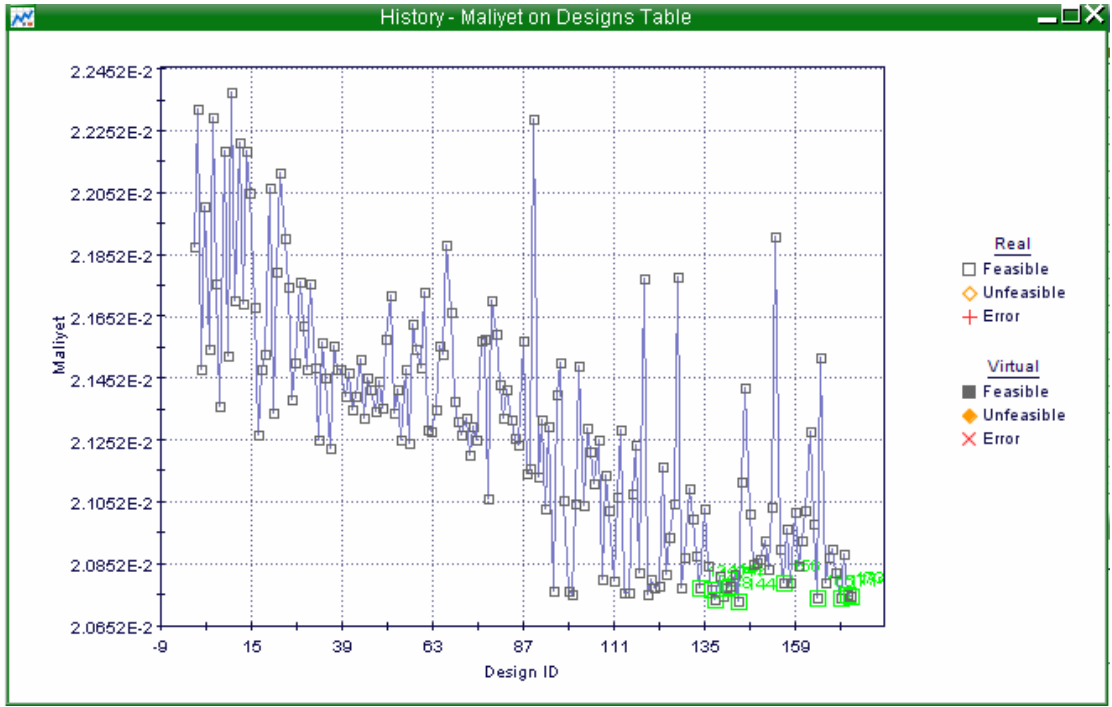
Şekil L.15 En iyi nesillerin paralel koordinat grafiği

(10 Temmuz Verileri)

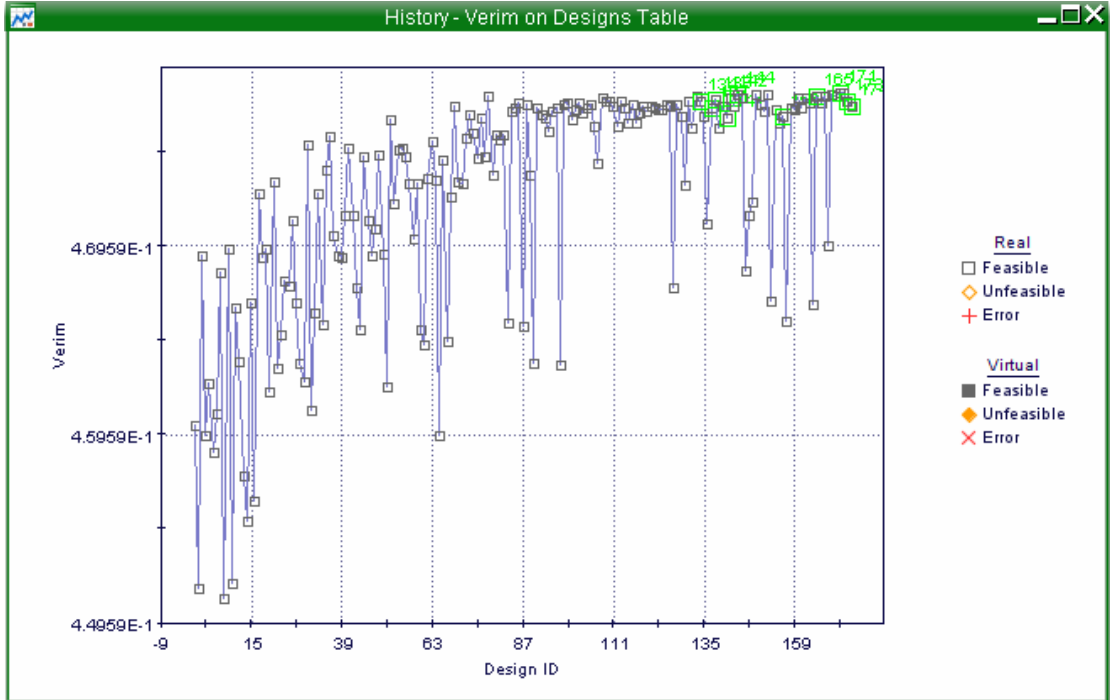


Şekil L.16 Hedef maliyet ve verim dağılımı

(10 Temmuz Verileri)

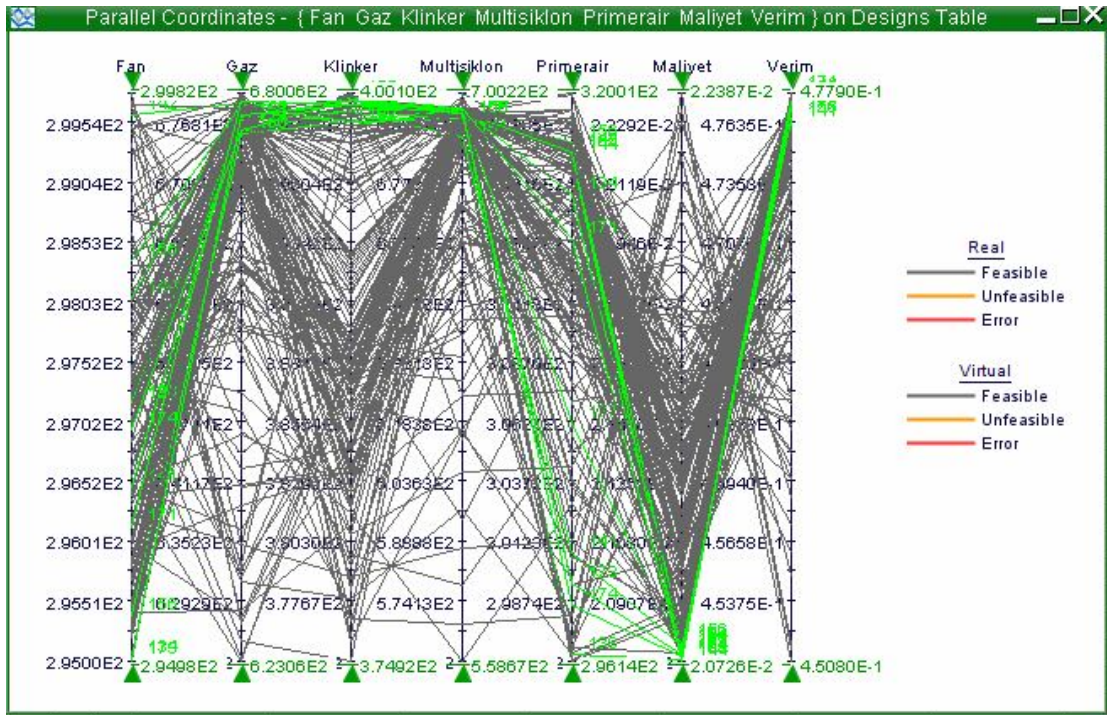


Şekil L.17 Hedef maliyet dağılımı

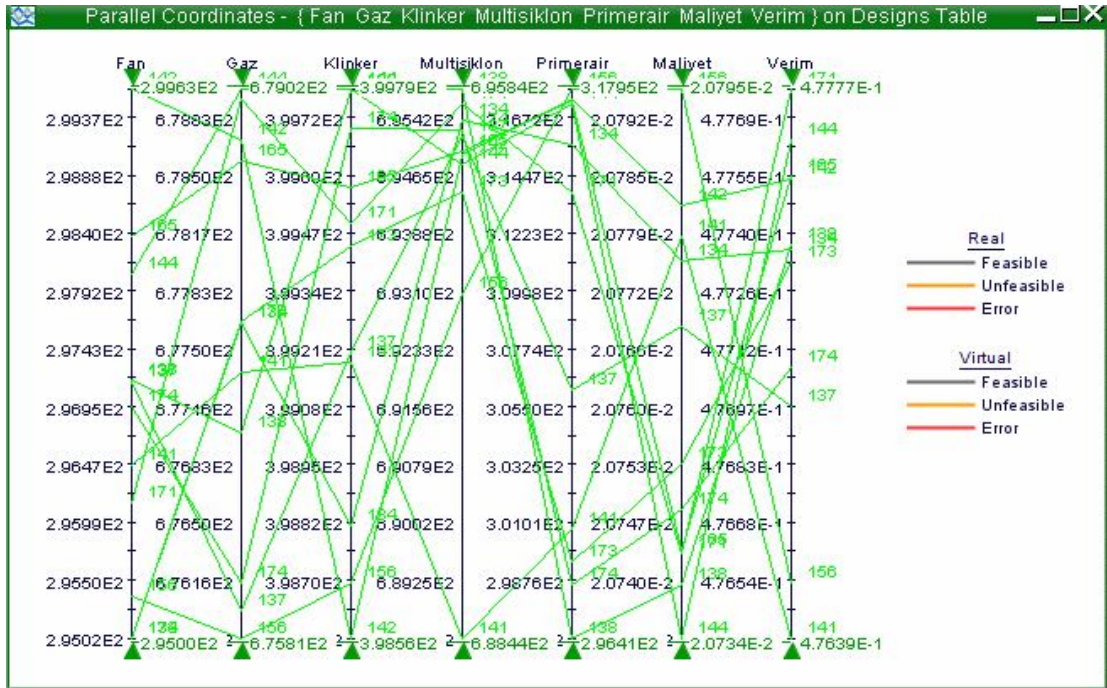


Şekil L.18 Hedef verim dağılımı

(10 Temmuz Verileri)

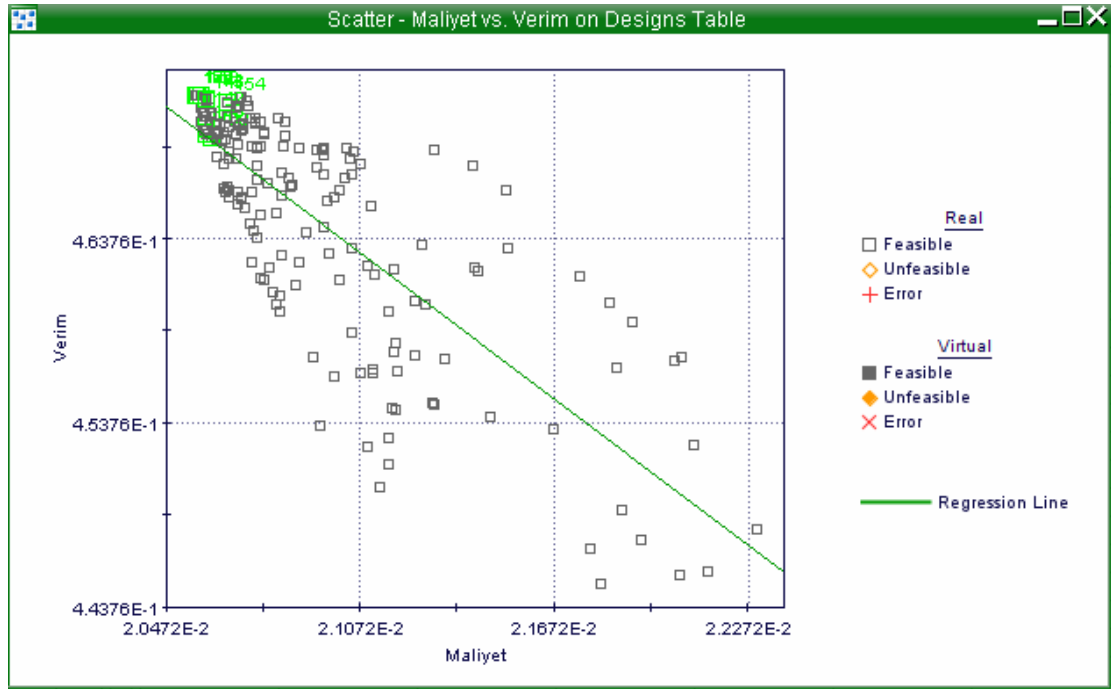


Şekil L.19 Girdi ve hedef parametrelerinin paralel koordinat grafiği

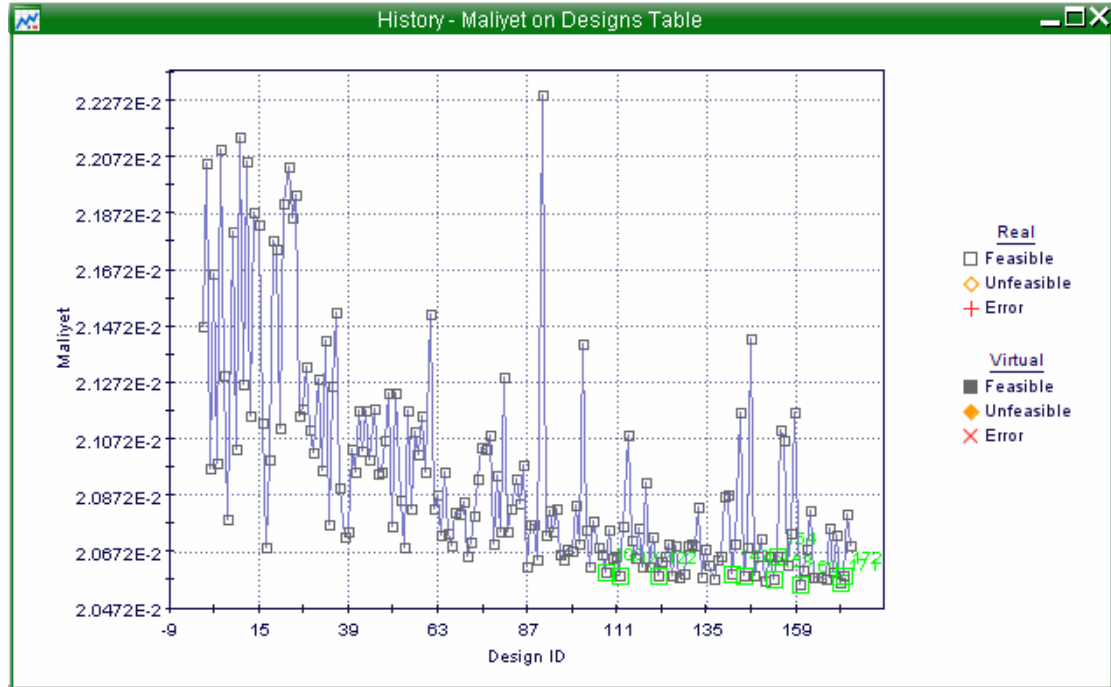


Şekil L.20 En iyi nesillerin paralel koordinat grafiği

(11 Temmuz Verileri)

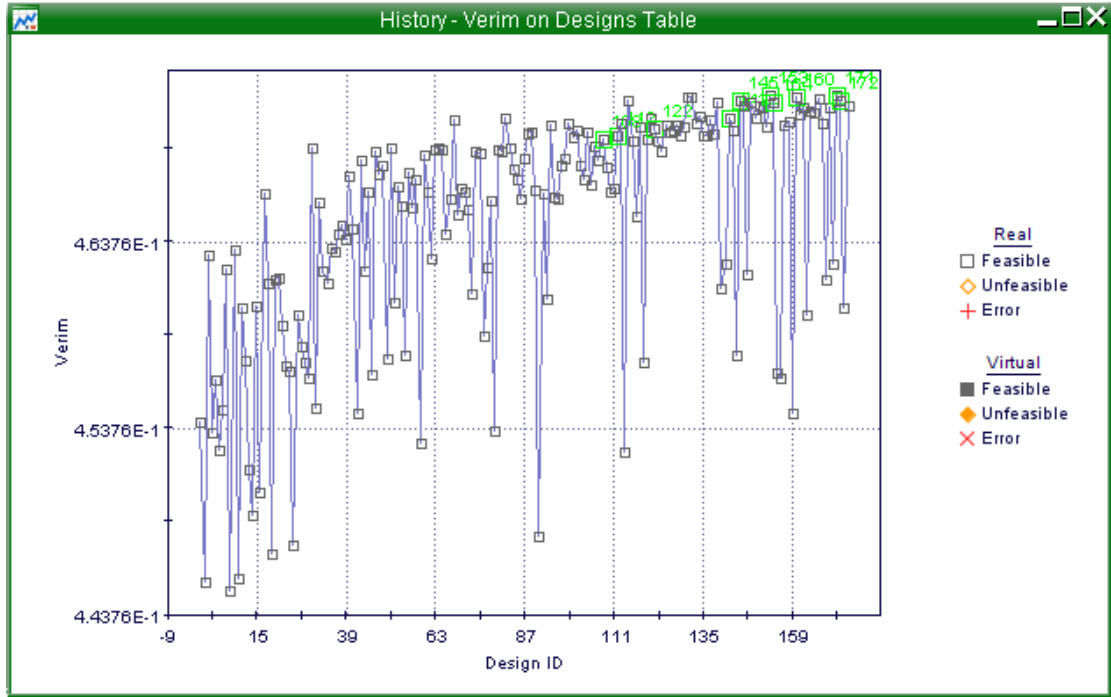


Şekil L.21 Hedef maliyet ve verim dağılımı

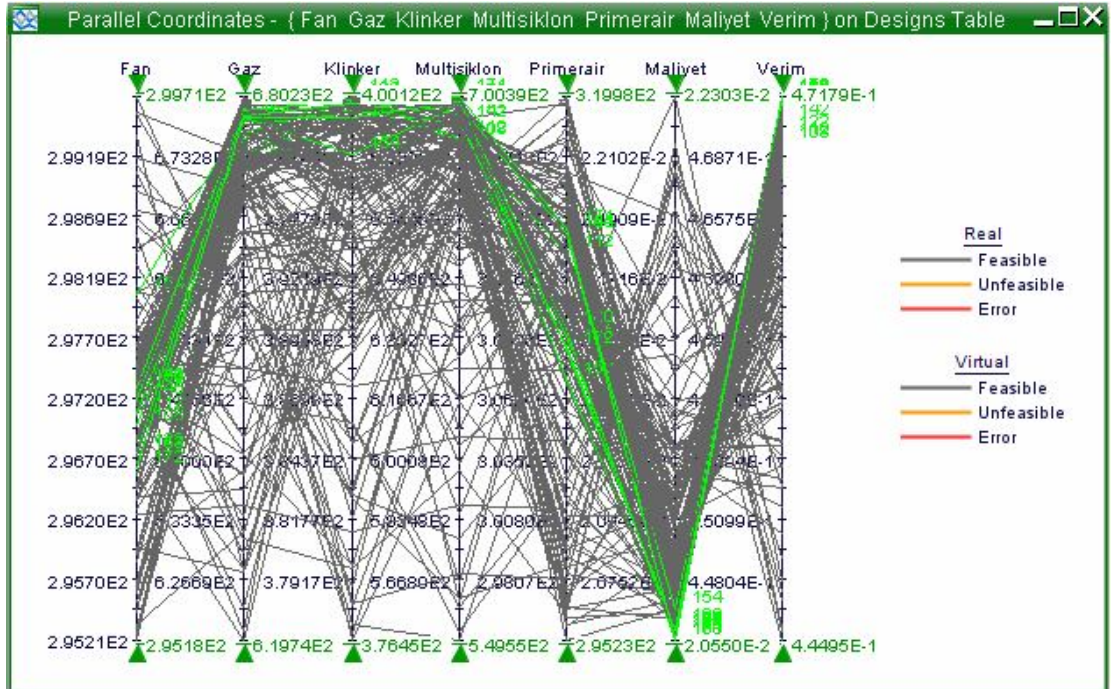


Şekil L.22 Hedef maliyet dağılımı

(11 Temmuz Verileri)

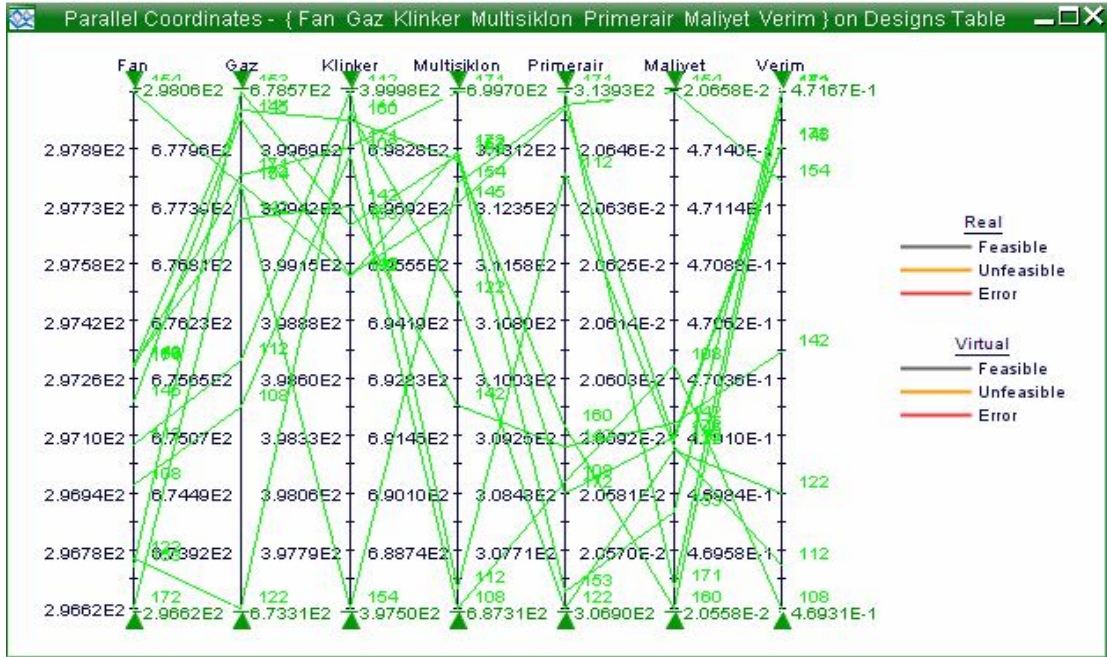


Şekil L.23 Hedef verim dağılımı



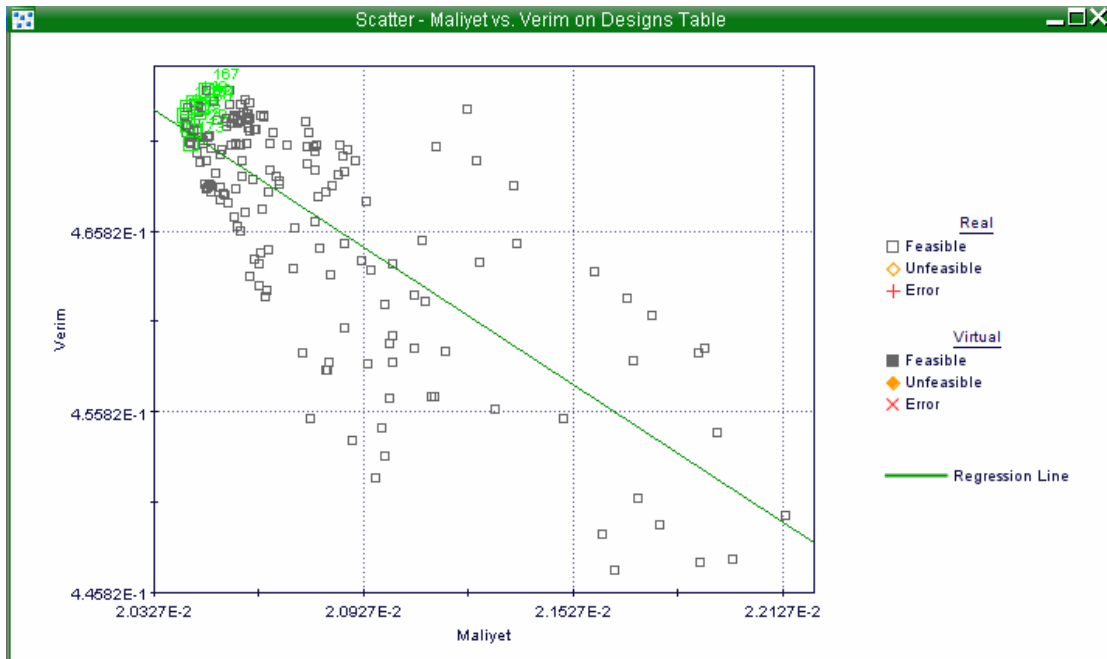
Şekil L.24 Girdi ve hedef parametrelerinin paralel koordinat grafiği

(11 Temmuz Verileri)



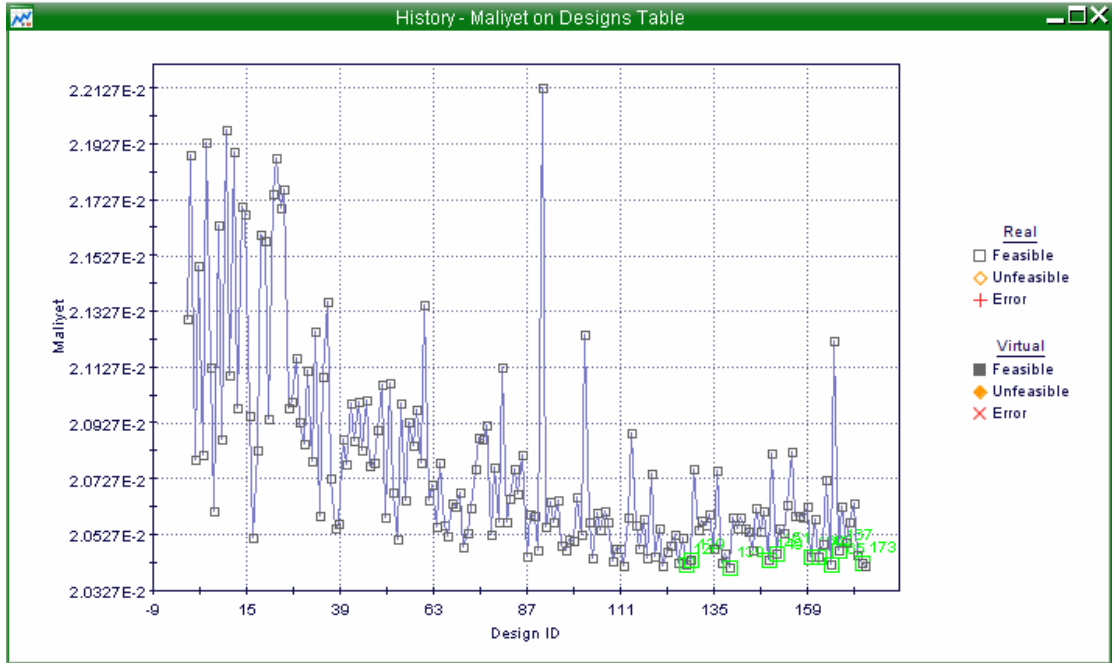
Şekil L.25 En iyi nesillerin paralel koordinat grafiği

(12 Temmuz Verileri)

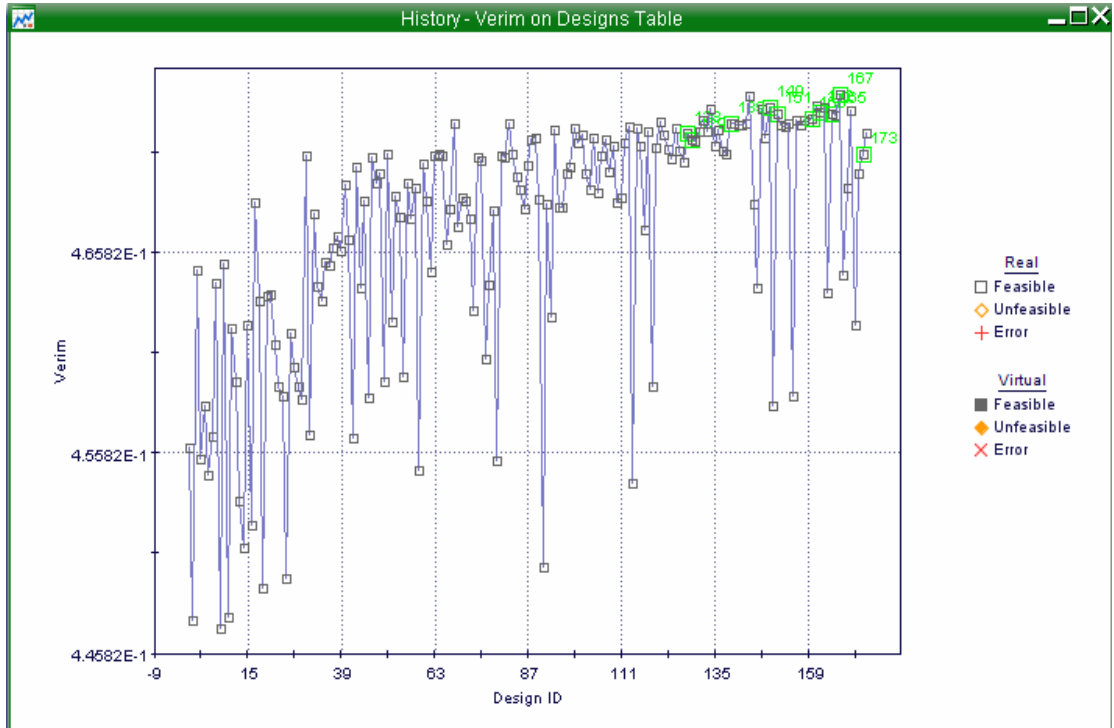


Şekil L.26 Hedef maliyet ve verim dağılımı

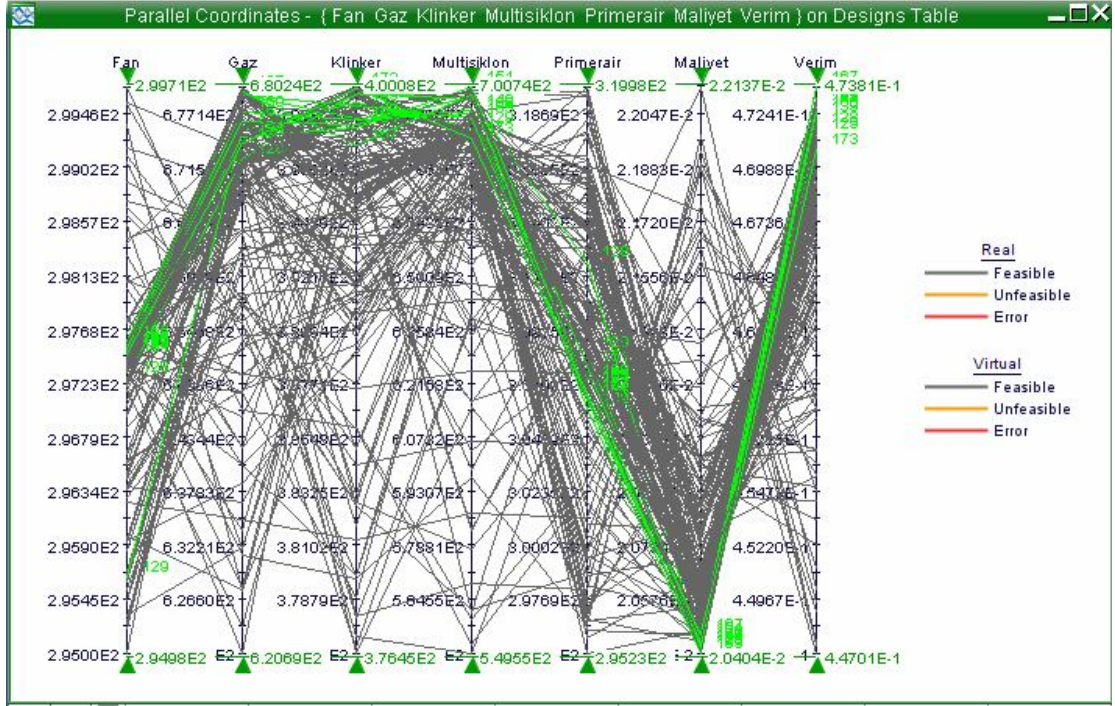
(12 Temmuz Verileri)



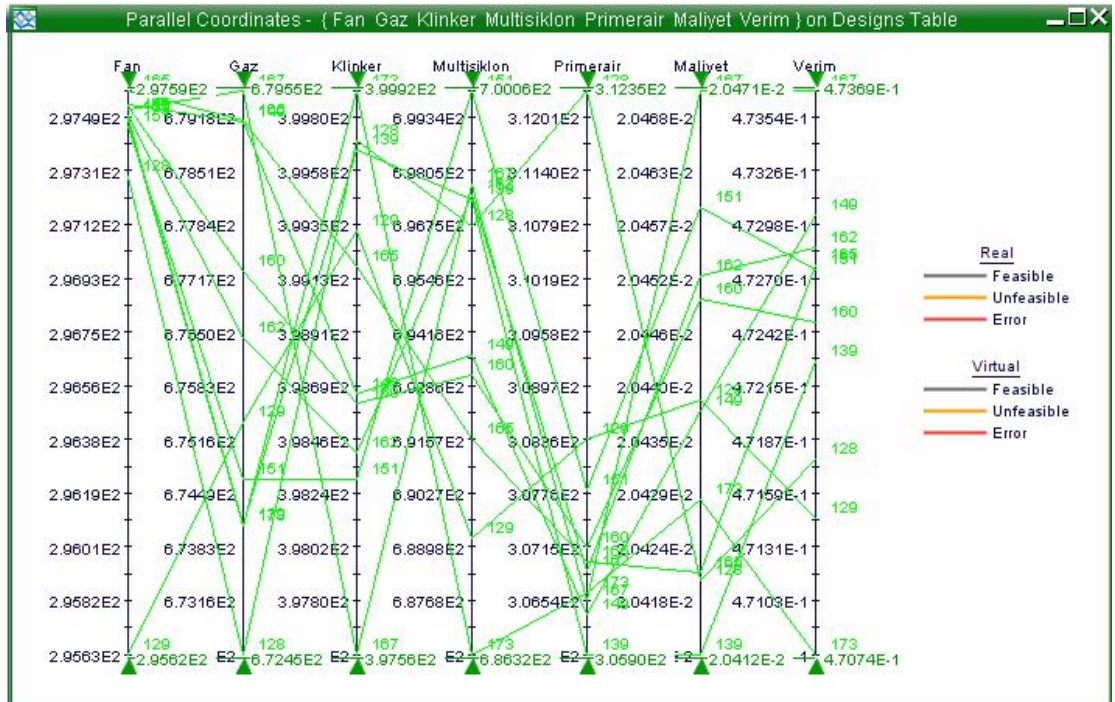
Şekil L.27 Hedef maliyet dağılımı



Şekil L.28 Hedef verim dağılımı



Şekil L.29 Girdi ve hedef parametrelerinin paralel koordinat grafiği



Şekil L.30 En iyi nesillerin paralel koordinat grafiği

KAYNAKLAR

- [1] Özcan M., “21. Yüzyıla Girenken Türkiye’nin Enerji Stratejilerinin Değerlendirilmesi”, TÜBİTAK, TY/172/1998 TÜBİTAK Yayınları, Aralık 1998, Ankara.
- [2] Kedici Ö., “Enerji Yönetimi” Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü Enerji Kaynakları Etüd Dairesi Başkanlığı, 1993, Ankara.
- [3] Wall G., “Exergy Flow in industrial processes”, Physical Resource Theory Group, Chalmers University of Technology and University of Göteborg, 96 Göteborg, Sweden, july 1986 **S-412**.
- [4] Çomaklı Ö., Çomaklı K., Karşlı S., Yılmaz M., “Termal Sistemlerin Ekserjetik Analizi”, Termodinamik Dergisi, Mayıs 2002.
- [5] Robert U.A., Leslie U.A., Warr B., “Exergy Power and Work in the US Economy ,1990 -1998”Center for the Management of enviromental Resources(CMER)– France- <http://www.iea.org/textbase/work/2004/eewp/Ayres-paper3.pdf>.
- [6] Özgener L., Hepbaşlı A., “HVAC sistemlerinde ekserji analizinin gerekliliği ve uygulamaları”, VI Ulusal Tesisat Mühendisliği kongresi ve sergisi, İzmir, 2003.
- [7] Dinçer İ., Rosen M. A., “Thermodynamic aspects of renewable and sustainable development”, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 9, 2005, Pages **169-189**.
- [8] Keenan J.H., Thermodynamics, 3 rd. Ed. Wiley, New York, 1948.
- [9] Wall, J. and Cong M., “Un exergy and sustainable development- Part 2; Indicators and methods”, Exergy Int. J, 1(4), 2001, Pages **217–233**.
- [10] Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M., “Thermal Desing and Optimizasyon” A Wiley-Interscience Publcaton, John Wiley&Sons,Inc., New York, 1996.
- [11] Tsatsaronis G., Moran M., “Exergy-Aided Cost Minimization” Energy Conversation Management Volume 38 No. 15-17, 1997, pp. **1535–1542**.

[12] Şenel A., “ Buhar Püskürtmeli Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemlerinin Termoekonomik Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Mayıs 2003.

[13] Gözütok S., Özdemir O. N., “Genetik Algoritma Yöntemi İle Su Şebekelerinde Hidrolik Kalibrasyonun Geliştirilmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 19, No 2, 2004, pages **125–130**.

[14] Kurt M., Semetay C., “Genetik Algoritma ve Uygulama Alanları”, www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv2001ekim/Genetik_Algoritma.htm.

[15] Türkoğlu Ö., “Genetik Algoritma Metodu İle Düzlemsel Yakın Alan Elde Etmek İçin Uygunluk Fonksiyonu Analizi”, İstanbul Üniversitesi Mühendislik fakültesi Elektrik ve Elektronik dergisi : 2001 Sayı: 2 Sayfa **257-265**.

[16] Özdağlar D., Benzedem E., Kahraman A. M., “Kompleks Su Dağıtım Şebekelerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu” İMO Teknik Dergi, 2006, **3851-3867**, Yazı 253.

[17] Lin F.-T., “Solving the knapsack problem with imprecise weight coefficients using genetic algorithms” European Journal of Operational Research 185, 2008, pages **133–145**.

[18] BİROĞUL S., “Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA, Ocak 2005.

[19] Chan A. L.S., Hanby V. I., ChowT.T., “Optimization of distribution piping network in district cooling system using genetic algorithm with local search”, Energy Conversion and Management 48 (2007) **2622–2629**.

[20] Kulluk S., Türkbey O., “Tesis Yerleşimi Problemi İçin Bir Genetik Algoritma”, YA/EM 2004 - Yöneyem Araştırması/Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi, Gaziantep – Adana, 15-18 Haziran 2004.

[21] Ali H., Yakut O., “Genetik Algoritma ile Parametreleri Optimize Edilmiş Ağ Tabanlı Bulanık Denetim Sistemin Sismik İzolasyona Uygulanması ve Matlab ile Sümülasyonu”, halli@firat.edu.tr oyakut@firat.edu.tr.

[22] Chang Y.-C., Lin J.K., Chuang M.H., “Optimal chiller loading by genetic algorithm for reducing energy consumption” Energy and Buildings 37 (2005), pages **147–155**.

- [23] Gholap A.K., KhanJ.A., “Design and multi-objective optimization of heat exchangers for refrigerators” *Applied Energy* 84 (2007), pages **1226–1239**.
- [24] Lu L., Cai W., Chai Y. S., XieL., “Global optimization for overall HVAC systems—Part I problem formulation and analysis”, *Energy Conversion and Management* 46 (2005), pages **999–1014**.
- [25] Lu L., Cai W., Chai Y. S., Xie L, Li S., “HVAC system optimization—condenser water loop”, *Energy Conversion and Management* 45 (2004), pages **613–630**.
- [26] Lu L., Cai W., Chai Y. S., XieL., “Global optimization for overall HVAC systems—Part II problem solution and simulations”, *Energy Conversion and Management* 46 (2005), pages **1015–1028**.
- [27] Lu L., Cai W., Chai Y. S., Xie L, Li S., “HVAC system optimization—in-building section”, *Energy and Buildings* 37 (2005), pages **11–22**.
- [28] Lo’pez R. D., Jose L. AgustínB., “Influence of mathematical models in design of PV-Diesel systems”, *Energy Conversion and Management* 2007.
- [29] Paladini V., Donateo T., Risi A., LaforgiaD., “Super-capacitors fuel-cell hybrid electric vehicle optimization and control strategy development”, *Energy Conversion and Management*, 2007.
- [30] İşçi Ö., Korukoğlu S., “Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulama”, *Yönetim ve Ekonomi*, Celal Bayar Üniversitesi İ. İ.B.F. Manisa, cilt:10 sayı:2,(2003), sayfa **191-208**.
- [31] Oğuz, M., Akbaş S.,” Genetik Algoritmalar”, YTÜ Endüstri Mühendisliği, Bitirme Tezi. (1997) <http://artemis.efes.net/moguz>.
- [32] Zvolinschi A., Kjelstrup S., Bolland O., Van der Kooi H.J., “Exergy Analysis for the Assessment of the Sustainability of Combined Cycle Power Plants with CO2 Capture” Department of Thermal Energy and Hydropower, NTNU, N-7491 Trondheim- Norway, 2004.
- [33] Rosen M. A., Minh N. L., Dinçer İ., “Efficiency analysis of a cogeneration and district energy system”, *Applied Thermal Engineering* 25 (2005), pages **147–159**.
- [34] Granovskii M., Dinçer İ., Rosen M. A., “Application of oxygen ion-conductive membranes for simultaneous electricity and hydrogen generation” *Chemical Engineering Journal* 120 (2006), pages **193–202**.

- [35] Rosen M. A., Dinçer İ., “Exergy as the confluence of energy, environment and sustainable development” *Exergy Int. J.* 1(1) (2001), pages **3–13**.
- [36] Ayres R.U., Ayres L.W., Warr B., “Exergy, Power And Work in the Us Economy, 1990-1998”, INSEAD - Working Papers, 2002.
- [37] Baumgärtner S. ve Swaan Arons J., “Necessity and Inefficiency in the Generation of Waste A Thermodynamic Analysis”, University of Heidelberg, Bergheimer, July 2002.
- [38] Özçelik Z., “An Energy and Exergy Analysis in Intergen-ENKA(İzmir Natural Gas Combined Cycle Power Plant), Short Course on Exergy And Applications, Ege Üniversitesi Bilim Teknoloji ve Uygulama Merkezi, İzmir, 26-27 Haziran 2004.
- [39] Duran Sahin A., Dinçer İ., Rosen M. A., “Thermodynamic analysis of wind energy”, *Int. J. Energy Res.* 2006; 30: pages, **553–566**.
- [40] Hellström D., “Exergy analysis of nutrient recovery processes” *Water Science and Technology* Vol 48 No 1 pp **27–36**.
- [41] Rasheva D.A., Atanasova L.G., “Exergy efficiency evaluation of the production of sulfuric acid from liquid sulfur”, *Exergy, an International Journal* 2 (2002), pp. **51–54**.
- [42] Asada H., Shukuya M., “Numerical Analysis Of Annual Exergy Consumption For Daylighting, Electric-Lighting, And Space Heating/Cooling System”, www.ibpsa.org/proceedings/BS1999/BS99 A-14 pdf1999.
- [43] Karakus A.A., Boyar S., Akdeniz R.C., Hepbaşlı A., “An Exergy Analysis In A Mixed Feed Industry:Evaluation Of An Extruder Pellet Line”, *EE&AE’2002 – International Scientific Conference Rouse, Bulgaria, 04-06.04.2002*.
- [44] Balkan F., Çolak N., Hepbaşlı A., “Exergy Analysis of a triple-Effect Evaporator for Orange-Juice Concentration” Short Course on Exergy And Applications, Ege Üniversitesi Bilim Teknoloji ve Uygulama Merkezi, İzmir, 26-27 Haziran 2004.
- [45] Sheinbaum C., Ozawa L., “Energy use and CO₂ emissions for Mexico's cement industry” [Energy](#), Volume 23, Number 9, September 1998 , pp. **725-732(8)**.
- [46] Schumacher Katja, Sathaye Jayant “India’s Cement Industry:Productivity, Energy Efficiency And Carbon Emissions And Environmental Energy Technologies Division” The Environmental Science Division, Office Of Biological And

Environmental Research, Office Of Energy Research, U.S. Department Of Energy, July 1999.

[47] Khurana S., Banerjee R., Gaitonde U. “Energy balance and cogeneration for a cement plant” Indian Institute of Technology, Energy Systems Engineering, November 2001.

[48] Ünlü Namık "Tipik Bir Çimento Fabrikası İçin Enerji ve Kullanılabilirlik Analizi " Gebze yüksek Teknolojiler Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü 2002 GEBZE.

[49] Çamdalı Ü.,Erişen A.,Çelen F., “Energy and Exergy analyses in a Rotary Burner With Pre-calcinations in Cement Production” Energy Conversion and Management –Elsevier Ltd. December 2003.

[50] Koroneos C., Vasilakis N., Theodosiou and Moussiopoulos N., “ Exergy Analysis of Cement and Concrete Production” International Exergy, Energy and Environment Symposium, İzmir, July 2003.

[51] Ünal S., Üzümcü M. “Mass, Energy and Exergy Applicationin Batıçim Cement Industry” Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü bitirme projesi, Haziran 2003.

[52] Engin T., Arı V., “Energy auditing and recovery for dry type cement rotary kiln systems—A case study ” Energy Conversion and Management –Elsevier Ltd. April 2004.

[53] Worrell E., Galitsky C. “ Energy Efficiency Improvement Opportunities for Cement Making”Environmental Energy Technologies Division, the U.S. Environmental Protection Agency January 2004.

[54] Trubaev P. A., Besedin P. V., “Criteria for the Thermodynamic Efficiency of Cement Clinker Production from Natural Raw Material”, Theoretical Foundations of Chemical Engineering, Vol. 39, No. 6, 2005, pp. **628–634**.

[55] Daloğlu Ş., “Endüstriyel enerji verimliliği metodolojisi ve çimento sektöründe uygulaması”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Yüksek Lisans tezi,
www.Acikarsiv.Gazi.Edu.Tr/Dosya/Sehnaz_Daloglu_Tez.Pdf.Pdf, Haziran 2007.

[56] Hua B., Chen Q. L., Wang P., “ A New Exergonomic Approach for Analysis and Optimization of Energy System”, Energy, Vol. 22, No. 11, 1997, pp. **1071-1078**.

[57] Tsatsaronis G., Moran M., “Exergy-Aided Cost Minimization” Energy Conversation Management Volume 38 No. 15-17, 1997, pp. **1535–1542**.

- [58] Lenti F., Massardo A., Sata A., “Thermoeconomic Optimization of a Simple Thermal Power Plant Using Mathematical Minimization Algorithms” <http://ieeexplore.org/iel5/852/2490/00074706.pdf?arnumber=74706>, 1997.
- [59] Kim S., Oh., Know Y. Kwak H, “Exergoeconomic Analysis of Thermal Systems” *Energy*, Vol. 23, 1998, Pages **393-406**.
- [60] Zhang G., Hua B., Chen Q., “ Exergoeconomic methodology for analysis and optimization of process systems.” *Computers and Chemical Engineering*, 24(2000), Pages **613-618**.
- [61] Sevilgen S.H., “ Enerji Üretim Sistemlerinin Ekserjoekonomik Analizi”, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Ekim 2002.
- [62] Tsatsaronis G., Park M., “On avoidable exergy destructions and investment cost in thermal systems” *Energy Conversion and Management*, 43(2002), Pages **1259-1270**.
- [63] Rosen M.A., Dinçer I.,”Exergy-cost-energy-mass analysis of thermal system and processes”, *Energy Conversion and Management*, 44(2003), Pages **1633-1651**.
- [64] Şenel A., “ Buhar Püskürtmeli Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemlerinin Termoekonomik Optimizasyonu” Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Mayıs 2003.
- [65] Casarosa C., Donatini F., Franco A., “ Thermoeconomic optimization of heat recovery steam generators operating parameters for combined plants” *Energy*, Volume 29, Mart 2004 Pages **389-414**.
- [66] Çamdalı Ü., Tunç M., “Enerji Sistemlerinde Termoekonomik Yaklaşım Ve Uygulamalar” Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8-3 (2004), **49-56**.
- [67] Morosuk T., Morosuk C., Feidt M., “New proposal in the thermodynamic analysis of complex heat regeneration systems”, *Energy*, 29 (2004), Pages **2517-2535**.
- [68] Vieira L.S., Donatelli J. L., Cruz M.E., “Integration of an iterative methodology for exergoeconomic improvement of thermal systems with a process simulator”, *Energy Conversion and Management*, 45(2004), Pages **2495-2523**.
- [69] Cardona E., Piacentino A., “A New Approach to Exergoeconomic Analysis and Design of Variable Demand Energy Systems”, *Energy*, xx(2005), Pages **1-26**.
- [70] Hebecker D., Bittrich P., Riedl K., “ Hierarchically structured exergetic and exergoeconomic analysis and evaluation of energy conversion processes”, *Energy Conversion and Management*, Volume 46, Mayıs 2005, Pages **1247-1266**.

- [71] Lazzaretto A., Tsatsaronis G., “SPECO: A systematic and general methodology for calculating efficiencies and costs in thermal systems” *Energy*, xx(2005), Pages **1-33**.
- [72] Ternero V.R., Rodriguez L.G., Camacho C.G., “Thermoeconomic analysis of a seawater reverse osmosis plant”, *Desalination* 181 (2005) Pages **43-59**.
- [73] Wu S.Y., Li Y.R., Zeng D.L., “Exergo-Economic Performance Evaluation on Low Temperature Heat Exchanger”, *International Journal Of Modern Physics B*, Vol. 19, Nos. 1,2&3(2005), Pages **517- 519**.
- [74] Vieira L.S., Donatelli J.L., Cruz M.E., “Mathematical exergoeconomic optimization of a kompleks cogeneration plant aided by a Professional process Simulator”, *Applied Thermal Engineering*, 26(2006), Pages **654-662**.
- [75] Kızıllan Ö., Şencan A., A.Kalogirou S., “Thermoeconomic optimization of a LiBr absorption refrigeration system”, *Chemical Engineering and Processing* 46 (2007), **1376-1384**.
- [76] Pulat E., Etemoğlu A.B., Can M., Waste-heat Recovery Potential in Turkish Textile Industry: Case Study for City of Bursa” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* xxx(2007)xxx-xxx, Accepted 9 October 2007.
- [77] Tsatsaronis G., “ Definitions and nomenclature in exergy analysis and exergoeconomics”, *Energy*, 32(2007), Pages **249-253**.
- [78] Modesto M., Nebra, S.A., “Exergoeconomic Analysis of The Power Generation System Using Blast Furnace and Coke Oven Gas in A Brazilian Steel Mill”, *Applied Thermal Engineering* S1359-4311(08)00501-2, 2008.
- [79] Nafey A.S., Fath H.E.S, Mabrouk A.A., “Thermoeconomic design of a multi-effect evaporation mechanical vapor compression (MEE–MVC) desalination process A.S.” *Desalination* 230 (2008) **1–15**.
- [80] Sayyaadi H., “Multi-objective approach in thermoenvronomic optimization of a benchmark cogeneration system”, *Applied Energy* xxx (2008) xxx–xxx-Accepted 19 August 2008.
- [81] Tiftik E., “Manyetotellürük Yöntemde Genetik Algoritma İle Parametre Kestirimi”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2001.
- [82] Ünlüsoy Y. S., Eralp O. C., Öner D.,” Doğal Gaz Dağıtım Ağlarının Tasarım Optimizasyonu”, Doğalgaz & Enerji Yönetimi Kongre Ve Sergisi, TMMÖB Maltına Mühendisleri Odası Gaziantep Şubesi, Gaziantep, Eylül 2001.

[83] Emel G.G., Taşkın Ç., “Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları”, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Bursa, Cilt XXI, Sayı 1, 2002, sayfa **129-152**.

[84] Siyam N.W.A., “Elektrik ve Elektromanyetik Verilerin Genetik Algoritma Yöntemi İle Birleşik ve Ardışık Ters-Çözümü”, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2002.

[85] İşçi Ö., Korukoğlu S., “Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulama”, Celal Bayar Üniversitesi İ. İ.B.F. Manisa, Yönetim ve Ekonomi, cilt:10 sayı:2,(2003), sayfa **191-208**.

[86] Balku Ş., “Azot Giderimli Aktif Çamur Sisteminde Enerji Optimizasyonu”, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı papirus.ankara.edu.tr/tez/FenBilimleri/Doktora_Tezleri/2004/FD2004_47/summary.pdf

[87] Shahpar S., “a Review of Automatic Optimisation Applications in Aerodynamic Design of Turbomachinery Components”, Design Optimization International Conference, March 31-April 2 2004, Athens, Greece.

[88] Lauret P., Boyer H., Riviere C., Bastide A., “A genetic algorithm applied to the validation of building thermal models” Energy and Buildings 37 (2005) **858–866**.

[89] Vatandaş E., Özkol İ., “Kanat Dizaynında Genetik Algoritma Ve Dinamik Ağ Yöntemlerinin Birleştirilmesi” İTÜ dergisi/d mühendislik Cilt:5, Sayı:6, 39-48 Aralık 2006.

[90] Dipama J., Teyssedou A., Sorin M., “Synthesis of heat exchanger networks using genetic algorithms”, Applied Thermal Engineering xxx (2007) xxx–xxx, Received 18 July 2006; accepted 12 November 2007.

[91] Gürsu B., İnce M. C., “Genetik Algoritmalar ile Yüksek Gerilim istasyonlarında Optimum Topraklama Ağı Tasarımı”, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi19 (4) , 2007, pp.**511-524**.

[92] Sanaye S., Jafari S., Ghaebi H., “Optimum operational conditions of a rotary regenerator using genetic algorithm”, Energy and Buildings 40 (2008) **1637–1642**.

[93] Canyurt O. E., Ozturk H. K., “Application of genetic algorithm (GA) technique on demand estimation of fossil fuels in Turkey”, Energy Policy 36 (2008) **2562– 2569**.

[94] Sasaki D., Obayashi S., “Visualization of Global Trade-offs in Aerodynamic Problems by ARMOGAs”, 08 Ocak 2008
<http://drops.dagstuhl.de/opus/volltexte/2005/241/pdf/04461.SasakiDaisuke.Paper.241.pdf>

[95] Caputo A.,C., Pelagagge, M. P., Salini M. P., “Heat exchanger design based on economic optimisation” Applied Thermal Engineering 28 (2008) 1151–1159.

[96] Salgi G., Donslund B., Østergaard P. A., “ Energy system analysis of utilizing hydrogen as an energy carrier for wind power in the transportation sector in Western Denmark” Utilities Policy 16 (2008) 99e106.

[97] Söğüt M.Z., “Çimento fabrikasında enerji taraması ve üretim hattı ısı proseslerinde enerji ve ekserji analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Balıkesir, Mayıs 2005.

[98] Utlu Z., ”Türkiyenin Sektörel Bazda Enerji ve Ekserji Kullanım Verimliliğinin Analizi” Doktora tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İzmir 2003, Sayfa 160-175.

[99] The European Cement Association “Activity Report 2007” Aralık 2008 www.cembureau.eu

[100] Türkiye Çimento Müstahsiller Birliği “2003 yılı Türkiye Çimento İstatistikleri” Türkiye Çimento Müstahsiller Birliği-Ankara 2004.

[101]D P T Müsteşarlığı, “Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007–2013)”, Taş Ve Toprağa Dayalı Sanayiler Özel İhtisas Komisyonu Refrakter Sanayii Ön Raporu, http://plan9.dpt.gov.tr/oik47_tastoprak/refrakte-9p-oik.pdf , Ankara Şubat 2006.

[102] Ercan Y., Durmaz A. Çürüksulu M., Daloğlu Ş., “Türkiye Çimento Sektöründe Enerji Verimliliğinin Artırılması Ve Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılması İle İlgili Fayda-Maliyet Analizleri Son Raporu”, Tobb Ekonomi Ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, 31.05.2006.

[103]Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu (Çimento ve Hazır Beton), DPT 2505 - ÖİK 525, Ankara 2000.

[104] Yeğinbolu A. “Çimento –Yeni Bir Çağın Malzemesi” Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği-Ankara 2004.

[105]Omurtay, B., “2004 Yılı Benchmarking Değerlendirmeleri (Çimento Sektörü)”, EİE-UETM, Şubat 2006.

[106]Sogut Z, Oktay Z., “Energy and Exergy Analyses of Production Lines of Cement Factory” IGEC-2 Proceedings of the Second International Green Energy Conference, Oshava, Ontario, Canada, Paper No: IGEC-165.

- [107] Onat L. “Çimento Kimyası ve Üretimi “ SET Çimento Balıkesir Fabrikası Aralık – 1997.
- [108] Dincer, İ., Rosen M., “The role of exergy in energy policy making”, Energy Policy 30 (2002) 137–149.
- [109] Wall J. and Gong, M., Un exergy and sustainable development- Part 2]: Conditions and concepts. Energy Int. J., 1(3), 2001, **128-145**.
- [110] Wall G., “Exergy - A Useful Concept Within Resource Accounting”, Report no. 77-42, Institute of Theoretical Physics, Chalmers University of Technology and University of Göteborg, S-412 96 Göteborg, Sweden, May 197.
- [111] Szargut, “Standart Chemical Exergy of some Elements and Compounds on the planet Earth”, Energy, 1986, 11 no.8, pp **7333-735**.
- [112] Kotas, T.J., “The exergy method of thermal plant analysis”, Kriger publishing, USA, 1995.
- [113] Shukuya M., Hammache A., “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 URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>, April 25, 2002.
- [114] Mehrpooya M., Jarrahan A., Pishvaie M. R., “Simulation and exergy-method analysis of an industrial refrigeration cycle used in NGL recovery units”, International Journal of Energy Research Int. J. Energy Res. (in press) Published online in Wiley InterScience www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/er.1256, 2006.
- [115] Simpson M., Kay J., “Availability, Exergy, the Second Law and all that”, <http://www.jameskay.ca/about/exergy.html>, 1989.
- [116] Wall J. and Gong, M., “Un exergy and sustainable development- Part 2; Indicators and methods”. Energy Int. J., 1(4), 2001, **217-233**.
- [117] Masanori S., Abdelaziz H., “Introduction to the Concept of Exergy -for a Better Understanding of Low-Temperature-Heating and High-Temperature-Cooling Systems” www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2002/T2158.pdf
- [118] Cornelissen R. L., “Thermodynamics and sustainable development The use of exergy analysis and the reduction of irreversibility”1997, Enschede, The Netherlands, <http://doc.utwente.nl/32030/>

[119]Szargut, J, Morris, D.R., Steward, F.R., “Exergy Analysis Of Thermal, Chemical And Metallurgical Pricesses”, Hemisphere Publishing Corporal Kin, NewYork, 1988.

[120]Cornelissen ,R.L. , “Bibliografy on Exergy Analysis and Related Tecniques 1985 -1994 and Cornelissen” ,R.L.’s publication in 1985 – 1997, Enschede, The Netherlands, <http://doc.utwente.nl>

[121]Hepbasli A., Akdemir O. “Energy and exergy analysis of a ground source (geothermal) heat pump system”. *Energ Convers Management* 2004;45(5):737–5.

[122] Moran MJ. “Engineering Thermodynamics”. In: *Mechanical Engineering Handbook* (Ed. F. Kreith) Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.

[123] Utlu Z, Hepbasli A. “A Study on the evaluation of energy utilization efficiency in the Turkish residential-commercial sector using energy and exergy analysis”. *Energy and Buildings* 2003;35(11):1145–153.

[124] Chang H., Li Jr-wei., “A newexergy method for process analysis and optimization”, *Chemical Engineering Science* 60 (2005) 2771 – 2784

[125] Kwak H.-Y., Kim D.-J., Jeon J. S., “Exergetic and thermoeconomic analyses of power plants” *Energy* 28 (2003), pp. 343–360.

[126] Colpan C. Ö., Yeşin T., “Energetic, exergetic and thermoeconomic analysis of Bilkent combined cycle cogeneration plant” *International Journal Of Energy Research* Accepted 21 November 2005.

[127] Kazim A. “Exergoeconomic analysis of a PEM fuel cell at various operating conditions” *Energy Conversion and Management* 46 (2005) 1073–1081.

[128]Kwon Y.H., Kwaka H.Y., Oh Si-D., “Exergoeconomic analysis of gas turbine cogeneration Systems” *Exergy Int. J.* 1(1) (2001) 31–40.

[129]Zhang C., Wang Y., Zheng C., Lou X., “Exergy cost analysis of a coal fired power plant based on structural theory of thermoeconomics”, *Energy Conversion and Management* 47 (2006) 817–843.

[130]Deng J., Wang R., Wu J., Han G., Wua D., Li S., “Exergy cost analysis of a micro-trigeneration system based on the structural theory of thermoeconomics”, *Energy* Received 25 Kasim 2007 journal homepage: www.elsevier.com/locate/energy.

- [131]Sahoo P.K., “Exergoeconomic analysis and optimization of a cogeneration system using evolutionary programming” , Applied Thermal Engineering xxx (2007) xxx–xxx,, accepted 12 Ekim 2007, www.elsevier.com/locate/apthermeng.
- [132]Marcuello F. J. U. M., “Thermoeconomic Analysis and Simulation of a Combined Power And Desalination Plant”, Doktora tezi, Departamento de Ingeniería Mecánica Universidad de Zaragoza, İspanya, Mart 2000.
- [133] César Torres, Antonio Valero, Erika Perez, “Guidelines to Developing Software for Thermoeconomic Analysis of Energy Systems”, www.exergoecology.com/taess/taess_docs/ECOS07_T02.pdf, 2007.
- [134]Bernero Y. C., “Comparative Evaluation of Advanced Coal-Based Power Plants” Doktora tezi, Berlin, Almanya www.edocs.tu-berlin.de/diss/2001/chen_yanzi.pdf.
- [135]Altunkaynak B., Esin A., “The Genetic Algorithm Method For Parameter Estimation In Nonlinear Regression”, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi 17(2) (2004): pp **43-51**.
- [136]Jang J. S. R., “Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach To Learning and Machine Intelligence”, Chapter 7: Derivative-Free Optimization, Prentice-Hall, USA, 1997, s. **173–196**.
- [137]Kalaycı T.E., “Yapay Zeka Teknikler Kullanan Üç Boyutlu Grafik Yazılımları İçin Extensible 3d” (X3d) İle Bir Altyapı Oluşturulması Ve Gerçekleştirimi” Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2006.
- [138]Goldberg D.E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, USA, 1989.
- [139]Fırlı A. ve Engin O., “Genetik Algoritmalarla Akış Tipi Çizelgelemede Üreme Yöntemi Optimizasyonu”, *İTÜ Dergisi*, 2002, s. **1-6**.
- [140]Braysy O. “Local Search and Variable Neighborhood Search Algorithms for The Vehicle Routing Problem With Time Windows”, PH D Thesis, 2001.
- [141] Biroğul S., “Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Ocak 2005.
- [142]Sinriech D. ve Samakh E., “A Genetic Approach to the Pickup/Delivery Station Location Problem in Segmented Flow Based Material Handling Systems”, Journal of Manufacturing Systems, Volume: 18, Number: 2, 1999, s. **81-99**.

[143]GERIAP, “Industry sector-Cement”, geriap org., Aralık 2008
www.energyefficiencyasia.org/docs /IndustrySectorsCement_draftMay05.pdf,

[144]Çengel Y., Boles M.A., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, Literatür yayıncılık, İstanbul, 1996.

[145]Kılıç M., Yiğit A, “Isı Transferi” Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd.Şti., İstanbul 2004 Sayfa **428-435**.

[146]Sezen Y., “Termodinamik Tablolar” Birsen Yayınevi, İstanbul 2000

[147] Weast R.C Handbook of Chemistry and Physics, 56th. Edition, CRC Pres Cleveland., 1976.