

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BUHARLI PROSES İÇEREN BİR İŞLETMENİN TERMOEKONOMİK ANALİZ
YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

ANDAÇ YAKUT

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI-PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. GALİP TEMİR**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BUHARLI PROSES İÇEREN BİR İŞLETMENİN TERMOEKONOMİK ANALİZ
YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

Andaç YAKUT tarafından hazırlanan tez çalışması 16.03.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Galip TEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Galip TEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Olcay KINCAY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Teknolojinin gelişmesiyle dünyada enerji ihtiyacının artması ve buna bağlı olarak sınırlı yakıt kaynaklarının her geçen gün azalması, enerjiyi daha verimli kullanan sistemler üzerinde çalışmalar yapılmasına sebep olmuştur. Bu çalışmada, enerjiyi yoğun olarak kullanan, kullanılmış kâğıttan yeni kâğıt üreten bir kâğıt üretim tesisinin enerji, ekserji ve termoeconomik analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kâğıt üretim tesisinde enerji tüketimi bakımından yapılabilecek iyileştirme çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir.

Bu doktora tez çalışmamda yorumları ve yapıcı eleştirileri ile çalışmama yön veren, teorik ve deneysel her sorunumla yakından ilgilenen, engin bilgi ve tecrübesini paylaşarak çalışmamı yöneten, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Galip TEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın farklı aşamalarında verdikleri bilgi ve önerileri ile çalışmama destek olan hocalarım Sayın Prof. Dr. Olcay KINCAY'a, Sayın Prof. Dr. Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU'na ve Sayın Prof. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU'na katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmamda eleştirileri ve önerileriyle her zaman yanımda olan Sayın Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Her türlü problemimde yanımda olan ve teknik desteklerini esirgemeyen tüm mesai arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Ayrıca, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman üzerimden eksik etmeyen, büyük özveride bulunarak benim bugünlere gelmemi sağlayan aileme en içten şükranlarımı sunarım.

Mart, 2012

Andaç YAKUT

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	x
KISALTMA LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiv
ÇİZELGE LİSTESİ	xviii
ÖZET	xix
ABSTRACT.....	xxi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	3
1.1.1 Buharlı Sistemlerde Ekserji ve Termoekonomik Analiz ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	3
1.1.2 Kâğıt Üretimi ve Kâğıt Kurutma Prosesi ile İlgili Yapılan Çalışmalar	9
1.1.3 Yapay Sinir Ağları ile İlgili Yapılan Çalışmalar	12
1.2 Tezin Amacı	14
1.3 Hipotez	14
BÖLÜM 2	
GERİ DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİR KULLANILMIŞ KÂĞITTAN YENİ KÂĞIT ÜRETİMİNİN İRDELENMESİ	15
2.1 Kâğıt Üretim Tesisini Meydana Getiren Üniteler ve İşlem Basamakları ...	16
2.2 Hamur Hazırlama Bölgesinde Ana Üretim Süreçleri ve Ekipmanları	18
2.2.1 Pulperde Hamurun Açılması	19
2.2.2 Eleme	20
2.2.3 Fraksinasyon (Elyaf Seçme, Ayırma)	20
2.2.4 Öğütme (Refinerde İşleme).....	20
2.2.5 Dispersiyon (Elyafı Dağıtma).....	21
2.2.6 Teksif (Yoğunlaştırma) ve Hamurdan Suyun Alınması	22

2.3	Makine Yaklaşım Bölgesi.....	22
2.4	Sonsuz Elek (Fourdrinier) Kağıt Makinesi	22
2.4.1	Hamur Kasaları	23
2.4.2	Kâğıt Makinası Islak Parti Bölümü (Sonsuz Elek)	23
2.4.3	Pres Ünitesi	24
2.4.4	Kurutma Ünitesi	24
2.4.4.1	Kâğıt Kurutmanın Esasları	24
2.4.4.2	Kurutma Silindirleri	25
2.4.5	Kalenderleme	26
2.4.6	Mal Sarıcı.....	26
2.4.7	Bobin Makinesi	27

BÖLÜM 3

TEZ KAPSAMINDA İNCELENEN KAĞIT ÜRETİM TESİSİNİN TANITILMASI.....	28
3.1 İncelenen Kâğıt Üretim Tesisi Hakkında Genel Bilgi	28
3.2 İncelenen Kâğıt Üretim Tesisinde Yapılan Üretimler	28
3.3 Kâğıt Üretim Tesisinde Üretime ait İşlem Basamakları	29
3.3.1 Hamur Hazırlama Bölümü Proseslerinin Tanımlanması	31
3.3.1.1 Sürekli Hamurlaştırma Ünitesi	31
3.3.1.2 Kaba Eleme Ünitesi	31
3.3.1.3 İnce Kum Temizleme Ünitesi.....	32
3.3.1.4 Fraksinasyon Ünitesi	32
3.3.1.5 Hafif Atık Uzaklaştırma Ünitesi	33
3.3.1.6 Refinerler (Öğütme Ünitesi).....	33
3.3.1.7 Yaklaşım Bölgesi	33
3.3.2 Kâğıt Makinesi Proseslerinin Tanımlanması	34
3.3.2.1 Hamur Kasası.....	34
3.3.2.2 Elek Ünitesi.....	34
3.3.2.3 Pres Ünitesi	34
3.3.2.4 Kurutma Ünitesi	34
3.3.2.5 Mal Sarıcı	35
3.3.2.6 Bobin Hazırlama	35
3.4 Kâğıt Üretim Tesisinde Su Kullanımı	35

BÖLÜM 4

TERMODİNAMİK VE TERMOEKONOMİK ANALİZ	38
4.1 Termodinamik Analiz	38
4.1.1 Kütlenin Korunumu Yasası	38
4.1.2 Termodinamiğin Birinci Yasası	39
4.1.3 İdeal Buharlı Güç Çevriminde Termodinamiğin I.Yasa Çözümlemesi .	41
4.1.4 Termodinamiğin İkinci Yasası.....	42
4.1.5 Ekserji (Kullanılabilirlik).....	45
4.1.5.1 Tersinir İş ve Tersinmezlik	46
4.1.5.2 Sürekli Akışlı Açık Sistemlerde Kullanılabilirlik	47
4.1.5.3 Ekserji Çeşitleri ve Temel Bağlantılar	48

4.1.5.3.1	Fiziksel Ekserji.....	49
4.1.5.3.2	Kimyasal Ekserji.....	50
4.1.5.4	Ekserji Kaybı	52
4.1.5.5	İdeal Buharlı Güç Çevriminde Termodinamiğin II. Yasa Çözümlemesi.....	53
4.2	Termoekonomik Analiz	54
4.2.1	Ekonomik Analiz İçin Yardımcı Temel Denklemler.....	54
4.2.1.1	Paranın Zaman Değeri.....	55
4.2.1.2	Paranın Gelecekteki Değeri (F).....	55
4.2.1.3	Bileşik Faiz Frekansı.....	55
4.2.1.4	Paranın Şimdiki Değeri (P).....	56
4.2.1.5	Yıllık Ödemeler	56
4.2.1.6	AnaPara Geri Kazanım Faktörü (CRF).....	57
4.2.1.7	Enflasyon	57
4.2.1.8	Eskalasyon	57
4.2.1.9	Seviyelendirme.....	58
4.2.2	Termoekonomik Analiz Çözümleme Yöntemi	58

BÖLÜM 5

İNCELENEN KÂĞIT ÜRETİM TESİSİNE TERMODİNAMİK VE TERMOEKONOMİK ANALİZ

YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI	60
5.1 Kâğıt Üretim Tesisi Ekserji Analizi	60
5.1.1 Hamurlaştırma Ünitesi Ekserji Analizi.....	63
5.1.1.1 Kütle Dengesi	63
5.1.1.2 Enerji Dengesi.....	64
5.1.1.3 Ekserji Dengesi	64
5.1.1.4 DeneySEL Çalışma	71
5.1.2 Kurutma Ünitesi Ekserji Analizi	75
5.1.2.1 DeneySEL Çalışma	77
5.1.2.2 Kütle Dengesi	81
5.1.2.3 Enerji Dengesi.....	81
5.1.2.4 Ekserji Dengesi	82
5.1.3 Kâğıt Üretim Tesisi Toplam Ekserji Kaybı.....	84
5.2 Kâğıt Üretim Tesisi Termoeconomik Analizi	86
5.2.1 Bir Değere Getirilmiş Parasal Değer (Z)	86
5.2.2 Hamurlaştırma Ünitesi Birim Ekserji Maliyeti Analizi	90
5.2.3 Kurutma Ünitesi Birim Ekserji Maliyeti Analizi	94

BÖLÜM 6

YAPAY SİNİR AĞLARI VE KÂĞIT ÜRETİM TESİSİNE YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİNİN

UYGULANMASI.....	99
6.1 Yapay Sinir Ağları	99
6.2 Kâğıt Üretim Tesisinde Yapay Sinir Ağı (YSA) Uygulaması	99
6.2.1 Hamurlaştırma Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması	100
6.2.1.1 YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması	100

6.2.1.2	YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması.....	102
6.2.2	Kaba Eleme Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması.....	104
6.2.2.1	YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması.....	104
6.2.2.2	YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması.....	106
6.2.3	İnce Kum Temizleme Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması ...	108
6.2.3.1	YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması.....	108
6.2.3.2	YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması.....	110
6.2.4	Fraksinasyon Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması.....	112
6.2.4.1	YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması.....	112
6.2.4.2	YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması.....	114
6.2.5	Hafif Atık Uzaklaştırma Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması	114
6.2.5.1	YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması.....	114
6.2.5.2	YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması.....	115
6.2.6	Refiner Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması.....	118
6.2.6.1	YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması.....	118
6.2.6.2	YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması.....	120
6.2.7	Karışım Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması.....	122
6.2.7.1	YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması.....	122
6.2.7.2	YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması.....	124
6.2.8	Yaklaşım Bölgesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması	126
6.2.8.1	YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması.....	126
6.2.8.2	YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması.....	128
6.2.9	Hamur Kasası Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması	130
6.2.9.1	YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması.....	130
6.2.9.2	YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması.....	132
6.2.10	Elek Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması	134
6.2.10.1	YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması.....	134
6.2.10.2	YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması.....	135
6.2.11	Pres Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması.....	138
6.2.11.1	YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması.....	138
6.2.11.2	YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması.....	140
6.2.12	Kurutma Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması.....	142
6.2.12.1	YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması.....	142
6.2.12.2	YSA ile Üniteden Çıkan Kâğıt Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması.....	144

BÖLÜM 7

ENERJİ EKONOMİSİ SAĞLAYACAK TEORİK İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI.....	147
7.1 Kurutma Ünitesi İçin Isı Geri Kazanımı Sisteminin Tasarlanması.....	147
7.1.1 Isı Geri Kazanımı Sisteminin Tanıtılması	147
7.1.2 Isı Geri Kazanım Sisteminin Uygulanması Durumunda Kurutma Havası Birim Ekserji Maliyetinin Hesaplanması.....	150
7.1.3 Isı Geri Kazanımı ile Proseslerde Kullanılacak Karışım Suyunun Isıtılmasından Elde Edilen Enerji Tasarrufu.....	153
7.1.4 Isı Geri Kazanımlı Sistem için Kâğıt Birim Ekserji Maliyetinin Hesabı	155
7.1.5 Isı Geri Kazanım Sisteminin Amortisman Süresinin Belirlenmesi	159
7.1.5.1 Isı Geri Kazanım Sistemi ile Buhardan Elde Edilen Tasarruf.....	159
7.1.5.2 Isı Geri Kazanım Sistemi ile Proses Suyu Isıtması için Doğalgazdan Elde Edilen Tasarruf	159
7.1.5.3 Isı Geri Kazanım Sisteminden Dolayı Meydana Gelen Elektrik Tüketimi Maliyeti	161
7.1.5.4 Amortisman Süresinin Hesaplanması	161
7.2 Shoe (Pabuç) Pres Uygulaması.....	162
7.2.1 Shoe (Pabuç) Pres	163
7.2.2 Kurutma Silindirleri Boyunca Kâğıt Nem Miktarı Değişimi	165
7.2.3 Shoe (pabuç) Pres Ünitesi Uygulanması ile Kurutma Ünitesi Ekserji Kaybı	173
7.2.4 Shoe (pabuç) Pres Ünitesinin Uygulanması Durumunda Kâğıt Birim Ekserji Maliyetinin Hesaplanması	175
7.2.5 Shoe (Pabuç) Pres Ünitesinin Amortisman Süresinin Belirlenmesi ..	180
7.2.5.1 Shoe (Pabuç) Pres Ünitesi Uygulanması ile Kurutma Ünitesinde Buhardan Elde Edilen Tasarruf	180
7.2.5.2 Shoe (Pabuç) Pres Ünitesi Uygulanması ile Kurutma Ünitesinde Elektrik Tüketiminden Elde Edilen Tasarruf.....	180
7.2.5.3 Shoe (Pabuç) Pres Ünitesi Yatırım Maliyeti	181
7.2.5.4 Amortisman Süresinin Hesaplanması	181

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER	182
KAYNAKLAR	187

EK-A

KULLANILAN TERMAL KAMERANIN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	190
--	-----

EK-B

KÂĞIT ÜRETİM TESİSİNDE MEVCUT DURUMDA KURUTMA ÜNİTESİNDE HAVA ISITICISINA AİT TEKNİK ÖZELLİKLER	192
---	-----

EK-C

YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİNDE KULLANILAN DENEYSEL VERİLER 196

EK-D

TASARLANAN ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİNE AİT BATARYALARIN TEKNİK ÖZELLİKLERİ203
ÖZGEÇMİŞ 216

SİMGE LİSTESİ

A	Alan (m^2)
A	Bir değere getirilme faktörü
B	Kâğıt gramajı (kg/m^2)
c	Birim ekserji ortalama maliyeti (€/kJ)
$\dot{C}$	Bir ekserji akımının maliyeti (€/h)
C_p	Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kgK)
D	Çap (m)
E	Enerji (kJ)
e	Özgül enerji (kJ/kg)
$\dot{E}$	Birim zamanda enerji (kW)
E_x	Ekserji (kJ)
e_x	Özgül ekserji (kJ/kg)
$\dot{E}_x$	Birim zamanda ekserji (kW)
F	Paranın gelecekteki değeri (€)
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
g	Özgül gibbs fonksiyonu (kJ/kg)
G	Toplam Gibbs fonksiyonu (kJ)
h	Özgül entalpi (kJ/kg)
h	Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)
H	Entalpi (kJ)
H_a	Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)
i	Özgül tersinmezlik (kJ/kg)
i	Bileşik faiz oranı (%)
i_{eff}	Efektif faiz oranı (%)
I	Toplam tersinmezlik (kJ)
J	Buharlaşma akısı (kg/m^2s)
k	Isı iletim katsayısı ($W/m.K$)
k	Bir değere getirilmiş fiyat düzeltme faktörü
K_o	Katı madde oranı (%)
KE	Kinetik enerji (kJ)
L	Uzunluk (m)
l	Karakteristik uzunluk (m)
m	Kütle (kg)
$\dot{m}$	Kütlesel Debi (kg/s)
M	Mol kütlesi ($kg/kmol$)

$\dot{N}$	Birim zamanda mol miktarı (mol/s)
n	Periyot
n	Sistem ömrü (yıl)
P	Basınç (kPa)
P	Paranın şimdiki değeri (€)
PE	Potansiyel enerji (kJ)
Pr	Prandtl sayısı
Q	Toplam ısı geçişi (kJ)
$\dot{Q}$	Birim zamanda ısı geçişi (kW)
r_n	Eskalasyon oranı (%)
R	İdeal gaz sabiti (kJ/kgK)
Re	Reynolds sayısı
s	Özgül entropi (kJ/kgK)
S	Entropi (kJ/K)
t	Zaman (s),(yıl)
T	Sıcaklık (°C veya K)
u	Özgül iç enerji (kJ/kg)
U	İç enerji (kJ)
v	Kağıdın makine boyunca çizgisel hızı (m/s)
V	Hız (m/s)
V	Hacim (m ³)
v	Özgül hacim (m ³ /kg)
w	Birim kütle başına iş (kJ/kg)
w	Kağıt nem miktarı (kgsu/kgkurukağıt)
W	İş (kJ)
$\dot{W}$	Güç (kW)
X	Kurutma bölümüne verilen havanın nemi (kgsu/kgKH)
X^*	Kâğıt sıcaklığındaki doymuş havanın nemi (kgsu/kgKH)
z	Yükseklik (m)
z	Kurutma yönü (m)
$\dot{Z}$	Bir değere getirilmiş parasal değer (€/h)

Yunan Harfleri

Δ	Miktarda sonlu değişim
δ	Yola bağımlı fonksiyonun diferansiyeli
η_{th}	Isıl verim
θ	Akışkanın toplam enerjisi (kJ/kg)
v	Stokiometrik katsayı
ν	Kinematik viskozite (m ² /s)
μ	Dinamik viskozite (kg/m.s)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
ψ	Akış kullanılabilirliği (kJ/kg)

Alt indisler

a	Hava
ç	Çıkış koşulları
1	Başlangıç veya giriş hali
2	Son hal veya çıkış hali
F	Yakıt
g	Giriş koşulları
k	Yok edilen (kayıp)
kh	Kontrol hacmi
ort	Ortalama
tr	Tersinir durum
R	İndirgenmiş
y	Yararlı miktar
0	Çevre hali, ölü hal
v	Buhar

Üsler

.(nokta)	Birim zamanda
-	Birim mol için
°	Standart referans hali
CH	Kimyasal
PH	Fiziksel
KN	Kinetik
PT	Potansiyel
e	Çevre

KISALTMA LİSTESİ

CELF	Eskalasyon düzeltme faktörü
COP	Etkinlik katsayısı
CRF	Anapara geri kazanım faktörü
FANN	Hızlı yapay sinir ağı kütüphanesi
SPECO	Özgöl ekserji maliyeti yöntemi
YSA	Yapay sinir ağı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	İdeal Rankine çevrimine ait akış şeması ve T-s diyagramı 4
Şekil 1.2	Buhar hattı örnek tesisat şeması 5
Şekil 2.1	Kâğıt üretim tesisini meydana getiren üniteler ve işlem basamakları..... 17
Şekil 2.2	Pulperin iç görünüşü [32] 19
Şekil 2.3	Fourdrinier kâğıt makinesinin kısımları..... 23
Şekil 2.4	Bir kurutma silindirin boyuna kesiti 25
Şekil 3.1	İncelenen kâğıt üretim tesisine ait üretim işlem basamakları 30
Şekil 3.2	Kâğıt üretim tesisi su kullanım şeması 37
Şekil 5.1	Kâğıt üretim tesisi üretim akış şeması 62
Şekil 5.2	Hamurlaştırma ünitesini oluşturan akımlar 63
Şekil 5.3	Kâğıt üretim tesisi kurutma ünitesi..... 76
Şekil 5.4	Yapılan ölçümlere ilişkin örnek termal kamera görüntüleri 77
Şekil 5.5	Kâğıt sıcaklıklarının kurutma ünitesi boyunca dağılımı..... 79
Şekil 5.6	Kurutma ünitesi akım şeması..... 80
Şekil 5.7	Tek ünite halinde kurutma ünitesi 81
Şekil 5.8	Kâğıt üretim tesisini oluşturan ünitelerin ekserji kayıpları 85
Şekil 5.9	Hamurlaştırma ünitesini oluşturan akımlar 90
Şekil 5.10	Kurutma ünitesi akım şeması..... 94
Şekil 5.11	Hava ısıtıcısına ait akımlar..... 95
Şekil 5.12	Kâğıt birim ekserji maliyetinin üniteler boyunca değişimi..... 98
Şekil 6.1	YSA girdi ve çıktı verileri..... 101
Şekil 6.2	Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı..... 101
Şekil 6.3	YSA girdi ve çıktı verileri..... 102
Şekil 6.4	Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı.....103
Şekil 6.5	Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı... 103
Şekil 6.6	Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı 104
Şekil 6.7	YSA girdi ve çıktı verileri..... 105
Şekil 6.8	Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı..... 105
Şekil 6.9	YSA girdi ve çıktı verileri..... 106
Şekil 6.10	Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı.....107

Şekil 6.11	Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı.....	107
Şekil 6.12	Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı	108
Şekil 6.13	YSA girdi ve çıktı verileri.....	109
Şekil 6.14	Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı.....	109
Şekil 6.15	YSA girdi ve çıktı verileri.....	110
Şekil 6.16	Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı.....	111
Şekil 6.17	Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı.....	111
Şekil 6.18	Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı	112
Şekil 6.19	YSA girdi ve çıktı verileri.....	113
Şekil 6.20	Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı.....	113
Şekil 6.21	YSA girdi ve çıktı verileri.....	114
Şekil 6.22	Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı.....	115
Şekil 6.23	YSA girdi ve çıktı verileri.....	116
Şekil 6.24	Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı.....	117
Şekil 6.25	Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı.....	117
Şekil 6.26	Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı	118
Şekil 6.27	YSA girdi ve çıktı verileri.....	119
Şekil 6.28	Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı.....	119
Şekil 6.29	YSA girdi ve çıktı verileri.....	120
Şekil 6.30	Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı.....	121
Şekil 6.31	Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı.....	121
Şekil 6.32	Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı	122
Şekil 6.33	YSA girdi ve çıktı verileri.....	123
Şekil 6.34	Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı.....	123
Şekil 6.35	YSA girdi ve çıktı verileri.....	124
Şekil 6.36	Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı.....	125
Şekil 6.37	Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı.....	125
Şekil 6.38	Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı	126
Şekil 6.39	YSA girdi ve çıktı verileri.....	127
Şekil 6.40	Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı.....	127
Şekil 6.41	YSA girdi ve çıktı verileri.....	128

Şekil 6.42	Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı.....	129
Şekil 6.43	Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı.....	129
Şekil 6.44	Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı	130
Şekil 6.45	YSA girdi ve çıktı verileri.....	131
Şekil 6.46	Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı.....	131
Şekil 6.47	YSA girdi ve çıktı verileri.....	132
Şekil 6.48	Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı.....	133
Şekil 6.49	Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı.....	133
Şekil 6.50	YSA girdi ve çıktı verileri.....	134
Şekil 6.51	Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı.....	135
Şekil 6.52	YSA girdi ve çıktı verileri.....	136
Şekil 6.53	Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı.....	136
Şekil 6.54	Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı.....	137
Şekil 6.55	Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı	138
Şekil 6.56	YSA girdi ve çıktı verileri.....	139
Şekil 6.57	Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı.....	139
Şekil 6.58	YSA girdi ve çıktı verileri.....	140
Şekil 6.59	Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı.....	141
Şekil 6.60	Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı.....	141
Şekil 6.61	Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı	142
Şekil 6.62	YSA girdi ve çıktı verileri.....	143
Şekil 6.63	Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı.....	143
Şekil 6.64	YSA girdi ve çıktı verileri.....	144
Şekil 6.65	Gerçek çıkan kâğıt miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan kâğıt miktarı	145
Şekil 6.66	Gerçek çıkan kâğıdın sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan kâğıdın sıcaklığı..	145
Şekil 6.67	Gerçek çıkan kâğıdın katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan kâğıdın katı madde oranı	146
Şekil 7.1	Tasarlanan ısı geri kazanım sistemi.....	148
Şekil 7.2	Isı geri kazanımı sistemi ile yeni su kullanım şeması	154
Şekil 7.3	Mevcut durum ile ısı geri kazanımlı sistem kullanılması durumunda kâğıt birim ekserji maliyetinin üniteler boyunca değişimi.....	158
Şekil 7.4	Klasik presleme işlemi	162
Şekil 7.5	Shoe (pabuç) pres yapısı	163
Şekil 7.6	Shoe (pabuç) pres baskı yönü	164
Şekil 7.7	Klasik pres-shoe (pabuç) pres baskı karşılaştırması.....	164

Şekil 7.8	Klasik pres-shoe (pabuç) pres temas profili karşılaştırması.....	165
Şekil 7.9	Kurutma ünitesinde kâğıdın nem miktarının değişimi.....	169
Şekil 7.10	Kurutma ünitesi boyunca kâğıdın kuruluk derecesi.....	170
Şekil 7.11	Shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması ile ön kurutma ünitesinde elde edilen iyileştirme.....	172
Şekil 7.12	Shoe (pabuç) Pres ünitesi uygulanması ile ön kurutma ünitesinde buharlaşan su miktarı.....	173
Şekil 7.13	Mevcut durum ile shoe (pabuç) pres ünitesinin uygulanması halinde kâğıt birim ekserji maliyetinin karşılaştırılması	179

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 5.1 Ünitelerin enerji dengesi bağıntıları.....	66
Çizelge 5.2 Ünitelerin ekserji dengesi bağıntıları	69
Çizelge 5.3 Kâğıt üretim tesisinde elde edilen deneysel veriler	72
Çizelge 5.4 Akımların fiziksel özellikleri ve fiziksel ekserjileri.....	73
Çizelge 5.5 Kâğıt üretim tesisini oluşturan ünitelerin elektrik tüketimleri.....	74
Çizelge 5.6 Termal kamera ile ölçülen kâğıt sıcaklıkları	78
Çizelge 5.7 Kurutma ünitesini oluşturan akımların fiziksel özellikleri	80
Çizelge 5.8 Kurutma ünitesine ait akımların fiziksel özellikleri ve fiziksel ekserjileri	83
Çizelge 5.9 Ünitelerin Hesaplanan Ekserji Kayıpları	84
Çizelge 5.10 Ünitelerin bir değere getirilmiş parasal (Z) değerleri.....	89
Çizelge 5.11 Ünitelerin maliyet denge denklemleri	91
Çizelge 5.12 Hava ısıtıcısına ait akımların fiziksel özellikleri ve fiziksel ekserji değerleri.....	96
Çizelge 5.13 Hava ısıtıcısı için bir değere getirilmiş parasal değer (Z)	96
Çizelge 5.14 Hesaplanan kâğıt birim ekserji maliyetleri.....	97
Çizelge 7.1 Bataryalardan geçen akımların fiziksel özellikleri	149
Çizelge 7.2 Isı geri kazanım sistemini oluşturan akımların fiziksel özellikleri ve fiziksel ekserjileri	151
Çizelge 7.3 Isı geri kazanım sistemini oluşturan bataryaların (Z) değerleri.....	151
Çizelge 7.4 Bataryalar için maliyet denge denklemleri	152
Çizelge 7.5 Isı geri kazanımlı sistem için ünitelere ait bir değere getirilmiş parasal (Z) değerleri	156
Çizelge 7.6 Tasarlanan ısı geri kazanım sisteminin uygulanması durumunda elde edilen sonuçlar	157
Çizelge 7.7 Isı geri kazanım sistemi için bataryaların yatırım maliyetleri.....	159
Çizelge 7.8 Isı geri kazanım sisteminin elektrik tüketimi.....	161
Çizelge 7.9 Kâğıt makinesi işletme verileri	167
Çizelge 7.10 Kurutma havası şartları	167
Çizelge 7.11 Shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması sonucu elde edilen (Z) değerleri.....	176
Çizelge 7.12 Shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması ile elde edilen sonuçlar	178

**BUHARLI PROSES İÇEREN BİR İŞLETMENİN TERMOEKONOMİK ANALİZ
YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

Andaç YAKUT

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Galip TEMİR

Teknolojinin gelişmesiyle dünyada enerji ihtiyacının artması ve buna bağlı olarak sınırlı yakıt kaynaklarının her geçen gün azalması, enerjiyi daha verimli kullanan sistemler üzerinde çalışmalar yapılmasına sebep olmuştur.

Bu doktora tez çalışmasında, enerjiyi yoğun olarak kullanan, kullanılmış kâğıttan yeni kâğıt üreten bir kâğıt üretim tesisinin enerji, ekserji ve termoeconomik analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kâğıt üretim tesisinde enerji tüketimi bakımından yapılabilecek iyileştirme çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir.

Tez çalışması sekiz ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm konuyla ilgili literatür araştırması ve tezin amacını kapsamaktadır.

İkinci bölümde geri dönüştürülebilir kullanılmış kâğıttan yeni kâğıt üretimi detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde ise tez kapsamında incelenen kâğıt üretim tesisi tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde termodinamiğin I. ve II. kanunu, ekserji analizi ve termoeconomik analiz yöntemi hakkında teorik bilgiler verilmiştir.

Beşinci bölümde incelenen kâğıt üretim tesisine termodinamik ve termoeconomik analiz yöntemlerinin uygulanması detaylı olarak açıklanmıştır.

Altıncı bölümde yapay sinir ağları açıklanarak, kâğıt üretim tesisine yapay sinir ağları yönteminin uygulanması ile elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

Yedinci bölümde incelenen kâğıt üretim tesisinde enerji ekonomisi sağlayacak teorik iyileştirme çalışmalarına yer verilmiştir.

Son bölüm olan sekizinci bölümde sonuçlar değerlendirilerek önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji, ekserji, termoekonomik analiz, ısı geri kazanımı

ABSTRACT

REVIEWING OF A FACILITY THAT CONTAINS STEAM PROCESS BY THE METHOD OF THERMOECONOMIC ANALYSIS

Andaç YAKUT

Department of Mechanical Engineering

Ph.D Thesis

Advisor: Prof. Dr. Galip TEMİR

Increasing energy demand of the world because of technological developements and the limited fuel resources diminishing day by day causes researchers to study about energy efficient systems.

In this Ph.D Thesis, energy, exergy and thermoeconomic anaylsis of a facility which produces paper from recycled material was accomplished. According to calculated results, suggestions are made for reducing energy consumption in paper production facility.

This thesis consists of eight main chapters. The first chapter covers literature study and purpose of the thesis.

In the second chapter, production of recycled paper investigated extensively.

The third chapter gives information about the paper production facility investigated in this study.

In chapter four, theoretical knowledge is given about first and second laws of thermodynamics, exergy analysis, thermoeconomic analysis.

In the fifth chapter, the implementation of the thermodynamic and thermoeconomic analysis methods to the investigated paper production facility are described in detail.

In chapter six, after giving information about artificial neural networks, its application and results to the paper production facility was stated in detail.

In the seventh chapter, theoretical studies that is related with energy economy of the paper production facility are given.

In the last chapter results were evaluated and suggestions are made.

Key words: Energy, exergy, thermoeconomic analysis, heat recovery

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İdeal bir ısı taşıyıcısı olan buhar, günümüzde ısı ihtiyacı olan endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstride ve tıpta tekstil, ilaç, bira, şeker, gıda, elektrik üretimi gibi sahalarda önemli kullanım alanlarına sahiptir. Buharın çeşitli endüstri sahalarında kullanımına ait birkaç örnek aşağıda verilmiştir:

Buhar kullanımının yoğun olduğu endüstri sahalarından biri gaz beton üretimidir. Gaz beton üretimi; çimento, kireç, kuvarsit, alüminyum tozu ve suyun belli oranlarda karıştırılıp kalıplara dökülmesiyle başlar. Yaş sertliğe ulaşması için belli bir süre beklendikten sonra kesme işlemlerinden geçirilerek gerekli profil şekillerine getirilir. Kesme prosesinden çıkan malzeme otoklava alınır ve burada doymuş buhar yardımıyla yüksek basınç ve sıcaklık (12 bar ve 190 °C sıcaklık altında 10 saat süre ile) altında sertleştirme işlemine tabi tutulur.

Şeker üretiminde de buhar oldukça fazla miktarda kullanılmaktadır. Şeker pancarından şeker üretimi şu kademelerden oluşur: Şerbet üretim ünitesinde ilk olarak pancardan ham şerbet elde edilir, daha sonra safsızlaştırmak için şerbet arıtım istasyonuna gelir. Şerbet arıtım istasyonunda elde edilen sulu şerbet buharlaştırma (evaporatör) istasyonunda koyulaştırılarak koyu şerbet üretilir. Rafineri ünitesinde ise gelen koyu şerbet pişirim aparatlarında lapa ve sonrasında santrifüj ekipmanlarında kristal şeker olur. Rafineriden çıkan kristal şeker ambalajlama ve depolamaya uygun nem ve sıcaklığa sahip olmadığından şeker kurutma ve soğutma ünitesine giderek nemi alınır ve soğutulur. Bütün bu süreçlerde kullanılan ısı (buhar) ve elektrik enerjisi, enerji üretim merkezinde (kazan) üretilmektedir.

Endüstride bitkisel yağların rafinasyonunda, örneğin zeytinyağı rafinasyonunda buhar kullanımı önemli bir yere sahiptir. Bitkisel yağların rafinasyon işlemi; kimyasal ve fiziksel rafinasyon olmak üzere iki yöntemle yapılmaktadır. Kimyasal rafinasyon; yapışkan maddelerin giderilmesi (degumming), asitlik giderme (nötralizasyon), renk açma ve koku giderme (deodorizasyon) aşamalarını içermektedir. Fiziksel rafinasyon ise degumming, renk açma ve nötralizasyon ile deodorizasyon aşamalarının aynı anda gerçekleştirildiği su buharı distilasyonu kademelerini içermektedir.

Fiziksel rafinasyonda sırasıyla önce degumming sonrasında da ağartma (renk açma) işlemleri gerçekleşir. Degumming aşamasında yağın bünyesindeki yapışkan maddeler, su ve fosforik asit çözeltisi yardımıyla alınır. Ağartma işlemi ise; yağda bulunan klorofil, karoten gibi renk pigmentlerinin yağa eklenen ağartma toprağı tarafından tutulmasıdır. Toprak ve yağ karıştırıcı bir tankta karıştırılır.

İçerisindeki yapışkan maddelerden arındırılan ve rengi ağartılan yağa fiziksel rafinasyonun son aşamasında nötralizasyon ve deodorizasyon işlemleri aynı anda uygulanır. Nötralizasyon; yağın yapısındaki serbest yağ asitlerinin yüksek sıcaklık ve vakumda damıtılarak yağdan ayrılması işlemidir. Buhar kazanından elde edilen yüksek basınçtaki buharın sahip olduğu süpürücü etkiyle, yağın tadını ve kokusunu bozan ucucu maddelerin uzaklaştırılma işlemi ise deodorizasyon ünitesinde gerçekleştirilir.

Kâğıt üretim tesislerinde buhardan yoğun bir şekilde yararlanılmaktadır. Genel olarak kullanılmış kâğıttan kâğıt üreten bir kâğıt üretim tesisi Hamur Hazırlama Bölgesi ve Kâğıt Makinesi olmak üzere iki ana bölümden meydana gelir.

Hamur Hazırlama Bölgesinde amaç kullanılmış kâğıdın sulu ortamda hamur haline getirilerek içindeki kirliliklerin temizlenmesidir. Temizleme işlemi kâğıt hamurunun birçok kademedен oluşan çeşitli tipte eleklerden geçirilmesiyle elde edilir.

Kâğıt Makinesinde ise amaç içinde neredeyse hiç kirlilik kalmamış kâğıt hamurunun sırasıyla elekler, presler ve kurutma silindirlerinden geçirilerek içindeki suyu almak ve böylece istenilen kuruluk derecesine sahip kâğıt elde etmektir. İstenilen kuruluk derecesinde kâğıt elde etmek için kurutma silindirlerinde yoğun miktarda doymuş buhar kullanılır.

Tüm bu tür proseslerde enerji maliyetinin sürekli artmasından dolayı enerji optimizasyonuna ihtiyaç vardır. Bu çalışmada kâğıt üretimi ele alınmış, kullanılmış kâğıttan yeni kâğıt üreten bir tesiste enerji optimizasyonu çalışması yapılmıştır. Bu çalışma sırasında tüm proseslerin termodinamiğin I. ve II. yasasına göre analizleri yapılmış, üretilen kâğıdın birim ekserji maliyetinin hesaplanması amaçlanmıştır. Ayrıca yapay sinir ağları yöntemi ve ekserji analizi ifadelerine göre ekserji hesaplamaları yapılarak sonuçlar irdelenmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Literatür taraması tezin konu kapsamı dikkate alınarak üç grupta planlanmıştır. Birinci grupta buhar çevrimleri, güç çevrimleri ve ısıtma çevrimlerinde ekserji analizi ve termoeconomik analiz ile ilgili yapılan çalışmalar verilmiştir. İkinci grupta kâğıt üretim tesisleri ve en fazla enerji tüketiminin olduğu kurutma bölümü ile ilgili yapılan çalışmalar açıklanmıştır. Üçüncü grupta ise yapay sinir ağları yöntemi ve uygulamaları konusunda yapılan çalışmalar incelenmiştir.

1.1.1 Buharlı Sistemlerde Ekserji ve Termoeconomik Analiz ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Buharlı Güç Çevrimleri için İdeal Çevrim (Rankine Çevrimi)

İki sıcaklık sınırı arasında çalışan en yüksek verimli çevrim Carnot çevrimidir. Fakat Carnot çevrimi buharlı güç çevrimleri için uygun bir model değildir, çünkü uygulamaya aktarılmasında büyük zorluklar vardır. Buharlı güç çevrimleri için ideal çevrim Rankine çevrimidir. İdeal Rankine çevriminde içten tersinmezliğin olmadığı dört hal değişimi vardır [1]. Bunlar:

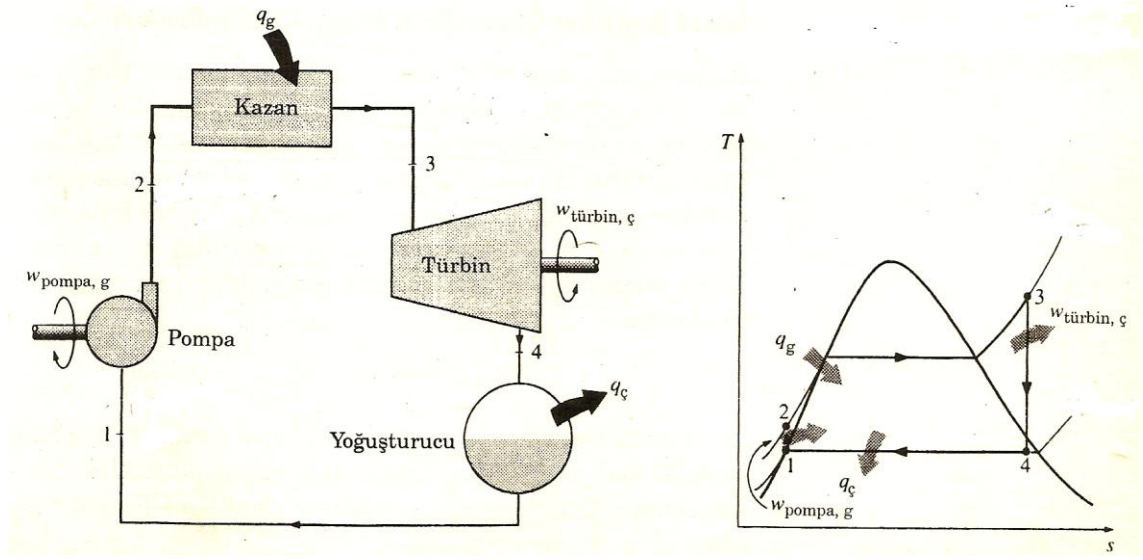
(1-2) Pompayla izantropik sıkıştırma

(2-3) Kazanda, sisteme sabit basınçta ($P=sbt$) ısı geçişi

(3-4) Türbinde izantropik genişleme

(4-1) Yoğuşturucuda, sistemden sabit basınçta ($P=sbt$) ısı atılması

Şekil 1.1’de ideal Rankine çevrimine ait akış şeması ve T-s diyagramı görülmektedir.

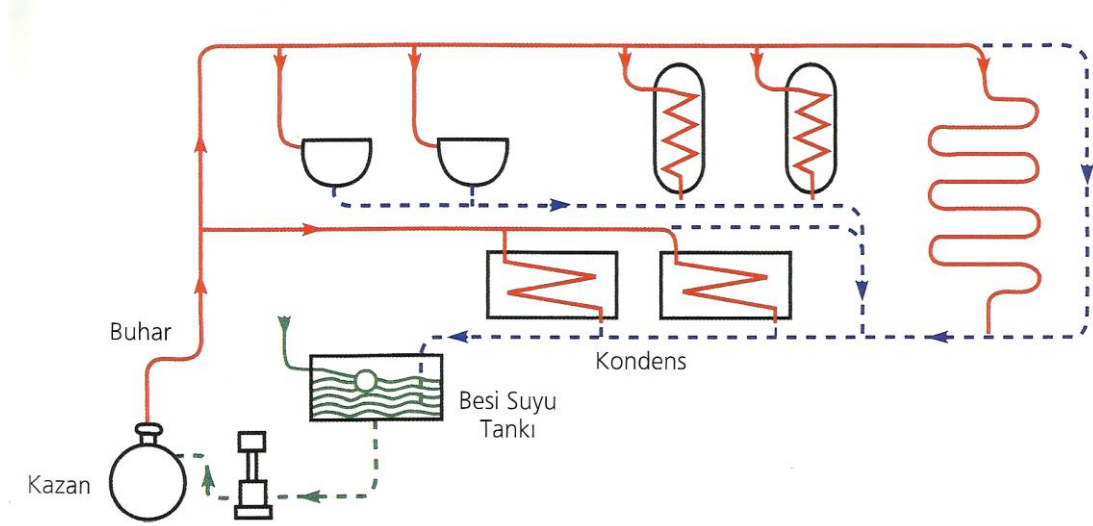


Şekil 1.1 İdeal Rankine çevrimine ait akış şeması ve T-s diyagramı

Sabit Basıncılı Buhar Çevrimi

Kazanda üretilen buhar, ısı enerjisinin kullanılacağı yerlere borular yardımı ile iletilir. Kazanı buhar kullanılan yerlere doğrudan bağlayan bir ve birden fazla “Ana Buhar” devreleri görülür. Nispeten küçük yarı kollarla da buhar çeşitli cihazlara iletilir.

Kazan çıkış vanası açıldığı zaman (çok yavaş bir şekilde) buhar aniden ana buhar devresine dolar. Tesisat ve tesisattaki ısıtıcı ekipmanlar başlangıçta soğuktur ve buharın ısı bırakması ile ekipmanlarda ısı transferi gerçekleşir. Böylece prosese ısı enerjisi aktarılmış olur. Isı transferi sonucunda buhar yoğuşur. Yoğuşmuş olan su kondens hattı ile kazana geri beslenir. Örnek tesisat şeması Şekil 1.2’de gösterilmiştir [2].



Şekil 1.2 Buhar hattı örnek tesisat şeması

Uygulamada kullanılan aşağıda verilen birkaç sisteme ait ekserji ve termoekonomik analiz ile ilgili yapılan çalışmalar sunulmuştur:

Akbulut ve Durmuş [3], dut kurutabilmek için güneş kurutuculu bir deney seti düzenlemişlerdir. Enerji ve ekserji analizlerini bu deney setinden aldıkları veriler yardımıyla yapmışlardır. Termodinamiğin I. kanununu enerjiden ne oranda faydalandığını ve güneş kolektöründen ne kadar miktar enerji kazanıldığını görmek için uygulamışlardır. Ekserji kayıplarını bulmak için ise termodinamiğin II. kanunundan faydalanmışlardır. Deneyler 0,014 kg/s ve 0,036 kg/s arasında değişen 5 farklı madde debisi için yapılmıştır. Hava hızı ve kurutma sürelerinin enerji ve ekserji kaybına olan etkilerini araştırmışlardır. Beş farklı madde debisi için ekserji kayıpları 10,82 W, 6,41 W, 4,92 W, 4,06 W and 2,65 W olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda kurutulacak madde debisi arttığında enerjiden yararlanma oranı ve ekserji kaybının azalıp ekserji veriminin arttığı görülmüştür. Kurutma havasının debisi arttığında ekserji kaybının azaldığı, bu ekserji kaybına radyasyon miktarının etkisi olduğu ve en fazla ekserji kaybının 0,014 kg/s madde akımında olduğu belirtilmiştir.

Sogut vd. [4], enerjiyi yoğun olarak tüketen sektörlerden biri olan çimento sektörünü tanıtır, bir çimento fabrikasında katkı maddelerinin hazırlandığı tras milini incelemişlerdir. Tesisten alınan veriler doğrultusunda tras miline termodinamiğin I. ve II. kanunlarını uygulayarak ünitenin enerji ve ekserji verimlerini hesaplamışlardır. Tras milinin enerji verimini %74, ekserji verimini ise %10,68 olarak bulmuşlardır. Ünitenin

verimini arttırmak amacıyla çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Mevcut üniteye ısı geri kazanım sisteminin kurulması sonucunda enerjinin veriminin % 84'e ekserji veriminin ise % 48'e çıkarılabileceği belirtilmektedir.

Bozoğlu [5], 6250 kg/h yağ işleme kapasitesindeki bir zeytinyağı rafineri tesisinin enerji ve ekserji analizlerini tesisin gerçek çalışma verisine dayalı olarak yapmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda sistemdeki en büyük ekserji yok oluşunun, toplam ekserji yok oluşu içerisinde %54 pay ile buhar kazanında, %22 pay ile kötü koku ve yağ asidi giderme ünitesinde ve %10 pay ile yüksek basınçlı buhar jeneratöründe olduğunu belirtmektedir. Ekserji verimine bakıldığında en verimli ekipmanın ekonomizer olduğu bunu karıştırıcı tank ve ısı değiştiricinin takip ettiğini vurgulamaktadır. Ayrıca, ölü hal sıcaklığının 10-30°C aralığındaki değişimine göre ekserji yok oluşunu ve ekserji veriminin nasıl değiştiğini görmek için EES programını kullanmıştır. Buna bağlı olarak tesis ekipmanları için ekserji yok oluşu değerlerinin referans sıcaklığı arttıkça yükseldiğini, ekserji verimi değerlerinin ise referans sıcaklığı artışına bağlı olarak azaldığını tespit etmiştir. Tesisin toplam ekserji verimini, ölü hal sıcaklığının 25°C olması durumunda %18 olarak hesaplamıştır.

Ballı vd. [6], Eskişehir'de kurulu bulunan gaz türbin motorlu bir kojenerasyon sistemine ekserji ve termoeconomik analiz yöntemlerini uygulayarak performans değerlendirmesi yapmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda 51475,90 kW elektrik gücü kullanımıyla kojenerasyon sisteminin ekserji verimi %38,33 bulunmuştur. Sistemdeki en fazla ekserji yıkımı 51878,82 kW ile yanma odasında meydana gelmiştir. Diğer yandan termoeconomik analiz sonuçlarına göre kojenerasyon sistemi tarafından üretilen elektrik gücünün birim ekserji maliyeti 18,51 US\$GW⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, termoeconomik analizin ekserji analizinden farklı olarak kojenerasyon sisteminin verimini arttırmak için iyileştirme yapılabilecek olan yerleri işaret ettiği bildirilmektedir.

Cay vd. [7], tekstil işletmelerinde kullanılan yağ ısıtılmalı bir ramöz (kurutucu) ile buna bağlı olarak çalışan kızgın yağ kazanı ve sirkülasyon pompası sistemi üzerine bir ekserji modeli kurmuş ve bu sistemi oluşturan elemanların ekserji kayıpları ile verimlilikleri incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda kurutucunun enerji verimi %69,70 ve

kızgın yağ kazanının verimi %85,80 olarak bulunmuştur. Yakıt/ürün bazında kurutucunun ekserji verimi %28,68 ve kızgın yağ kazanının ekserji verimi %34,74 olarak hesaplanmıştır. Sistemde en fazla tersinmezlik kızgın yağ kazanında daha sonra kurutucu ve sirkülasyon pompasında görülmüştür. Gelecekte bu tür bir çalışmanın başka tekstil fabrikaları üzerinde yapılıp geliştirilebileceğinden, termoekonomik analiz yönteminin uygulanabileceğinden, kurutucunun çıkış havasının neminin ekserji üzerine olan etkisinin ve değişik referans sıcaklıklarının ekserji verimine olan etkisinin araştırılabileceğinden bahsetmektedirler.

Colak ve Hepbasli [8], yeşil zeytinin tepsi kurutucu da kurutulması prosesinin performansını ekserji analizi metoduyla incelemişlerdir. Kurutma deneylerini dört farklı hava sıcaklığı (40°C, 50°C, 60°C ve 70°C) ve %15 sabit bağıl nem olacak şekilde gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deney ve hesaplamalar sonunda en yüksek ekserji verimini 70°C hava sıcaklığı ve 0,015 kg/s kurutma havası debisiyle 0,0004 kg/s zeytin kullanarak bulmuşlardır. Minimum ve maksimum ekserji verimleri 40°C ve 70°C hava sıcaklığında 0,01kg/s ve 0,015 kg/s kurutma havası debisinde sırasıyla %68,5 ve %91,79 olarak elde etmişlerdir. 50°C ve 60°C de yapılan deneyler sonucunda zeytin kalitesinde çok büyük bir fark olmamasına rağmen 10°C'lik sıcaklık farkının %13,66 ekserji veriminde artışa sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca kurutma bölümünün yüzey sıcaklığının azaltılmasını önererek bu sayede daha az ekserji kaybı ve daha yüksek ekserji veriminin elde edilebileceğini vurgulamaktadırlar.

Apak [9], yaptığı çalışmada bir seramik fabrikasındaki enerji kullanımının incelenmesi, enerji tasarruf olanaklarının belirlenmesi ve bu doğrultuda öneriler sunulmasını amaçlamıştır. Bu kapsamda bir seramik fabrikasını oluşturan spray drayer, dikey kurutucu ve fırın ünitelerinin çalışma prensibini detaylı bir şekilde açıkladıktan sonra bu ünitelere kütle dengesi ve termodinamiğin I. ve II. kanunlarını uygulayarak enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Spray drayer, dikey kurutucu ve fırının enerji verimleri sırasıyla %65,3 %87,3 ve %43,4 olarak hesaplanmıştır. Ekserji verimleri ise %29,9 %61,4 ve %11 olarak elde edilmiştir. Sistem bir bütün olarak düşünüldüğünde bütün seramik fabrikasının enerji verimi %65,3 ekserji verimi ise %35 bulunmuştur. Çalışmada ekserji kayıplarının nasıl azaltılabileceğine dair önerilerde de bulunmaktadır.

Tsatsaronis [10], yaptığı çalışmada termoekonomik analizin ne olduğunu tanımladıktan sonra geçmişte yapılan 7 farklı analiz yönteminden bahsedip bunlar arasındaki temel farklılıkların nelerden kaynaklandığını belirtmiştir. Ayrıca optimizasyon için ekserji maliyeti hesaplamasının nasıl yapılacağını, ekserji yıkımının ilk yatırım maliyetini nasıl düşürdüğünü açıkladıktan sonra, maliyet denge denklemi ve yardımcı denklemler, termoekonomik değişkenler ve matematiksel optimizasyon için yaklaşımlar hakkında bilgi vermiştir.

Lazzaretto ve Tsatsaronis [11], yaptıkları çalışmada ısı sistemlerin ekserjetik verimini ve ekserji ile ilgili maliyetlerini tanımlamaya ve hesaplamaya yarayacak bir metod olan SPECO (özgül ekserji maliyeti) metodunu önermişlerdir. SPECO metoduna göre ısı bir sistemde ekserji akımlarının nasıl tanımlanacağı, yakıt-ürün tanımlamasının nasıl yapılacağı, maliyet denge denklemlerinin nasıl kurulacağı, F ve P kuralının ne olduğu ve diğer yardımcı denklemlerin nasıl kullanılacağı hakkında bilgiler vermişlerdir. SPECO metodunun diğer yöntemlerden olan farkını açıklayabilmek için ekserji verimini ve maliyetleri hesaplamaya yarayan, geçmişte kullanılmış 7 farklı analiz yöntemine göre karşılaştırma yapılmıştır.

Akpınar vd. [12], siklon tipi bir kurutucuda patates dilimlerinin kurutulması prosesi için enerji ve ekserji analizini uygulamışlardır. Kurutma prosesinde ekserji kayıplarının yerini, tipini ve büyüklüğünü belirleyebilmek amacıyla termodinamiğin ikinci kanunundan yararlanarak ekserji analizini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deney ve hesaplamalardan sonra 1,796 kJ/s ekserji kaybına karşılık patates dilimlerinin 60-80°C hava sıcaklığında %10-20 bağıl nemde 1-1,5 m/s hava hızında ve 10-12 saat arasında yeterli derecede kuruduğunu görmüşlerdir. Yapılan deneylerde birinci tepsideki patates dilimlerinin ikinci tepsidekilere göre daha fazla enerji harcadığını görmüşlerdir. Enerji faydalanma oranı (Energy utilization ratio-EUR) birinci tepside daha fazla çıkmıştır. Böylece ısıtıcıdan alınan enerjinin verimli bir şekilde birinci tepside kullanıldığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca enerji faydalanma oranının kurutma proseslerinde önemli bir parametre olduğunu vurgulamaktadırlar. Artan enerji kullanımına bağlı olarak her iki tepside de ekserji kaybının arttığını görmüşlerdir. En fazla ekserji kaybının birinci tepside olmasına rağmen en yüksek ekserji veriminin de birinci tepside olduğunu bulmuşlardır.

Temir ve Bilge [13], yaptıkları çalışmada doğalgaz beslemeli bir elektrik jeneratörü ile bu jeneratörün egzoz gazlarının ısı enerjisinden faydalanan atık ısı kazanı ve absorpsiyonlu soğutma sisteminden meydana gelen bir trijenerasyon sistemin termoeconomik analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu analizi yaparken her ünite için giren ve çıkan akımların ekserjileri, ünitelerin ekserji kayıpları, akım maliyetleri ve kayıp ekserji maliyetleri, yatırım ve işletme maliyetleri belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda trijenerasyon sisteminin daha verimli çalışabilmesi amacıyla hangi parametrelerin ne şekilde değiştirilmesi gerektiğini araştırmışlardır.

Kwak vd. [14], 500 MW gücündeki bir kojenerasyon tesisi için ekserji ve termoeconomik analiz yöntemlerini uygulamışlardır. Gaz ve buhar türbinleri tarafından üretilen elektriğin birim maliyetini hesaplamak için iyileştirilmiş üretim yapısı analizi (MOPSA) metodu kullanılmıştır. Isı transferinden kaynaklanan ekserji kaybı ve buna bağlı maliyet kaybı bütün sisteme ve sistemi oluşturan her bir üniteye uygulanan ekserji ve maliyet denklemlerinin tutarlı olabilmesi için dikkate alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada bu tür sistemlerin ekserji ve termoeconomik analizini gerçekleştiren bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu programın herhangi bir güç üretim tesisine uygulanıp tesisin üretim maliyetlerinin, tesisi oluşturan ünitelerin verimlerinin ve ayrıca sistemi oluşturan bir üniteye yapılacak herhangi bir tasarım değişikliğinin bütün sisteme olan etkisinin görülebileceği belirtilmektedir.

1.1.2 Kâğıt Üretimi ve Kâğıt Kurutma Prosesi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Ekvall ve Hägglund [15], yaptıkları çalışmada bir kâğıt makinesinde kâğıt kopması sonrasında kâğıt üretiminin tekrar eski çalışma şartlarına dönebilmesi için buhar basıncını kontrol edecek bir kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Bunun için önce kurutma silindirleri için detaylı bir dinamik model kurulmuş ve modelin doğruluğu İsveç'teki bir kâğıt fabrikasında yapılan deneysel verilerle gösterilmiştir. Kontrol sisteminin çalışma prensibi, kâğıdın silindirin üzerinde olduğunu veya kâğıt kopması esnasında kâğıdın silindir üzerinde olmadığını belirten sinyale göre buhar basıncının kontrol edilmesi esasına dayanmaktadır. Burada amaç kâğıt kopması sonrası, kopma olmadan önceki nem miktarını hızlı bir şekilde yakalamak için optimal silindir sıcaklığının elde edilmesidir. Geliştirilen kontrol sistemi kâğıt fabrikasında test edildikten sonra ölçülen

silindir sıcaklıkları istenen sıcaklık değerleriyle uyumlu bulunmuş ve kâğıt nem miktarının kopmadan sonra hızlı bir şekilde ilk haline geldiği görülmüştür.

Zvolinschi vd. [16], 51 adet kurutma silindirine sahip bir kâğıt üretim tesisinde kurutma silindirlerinin entropi üretimini optimize edebilmek amacıyla kurutulan kâğıdın sıcaklığını ve nem miktarını içeren bir kurutma modeli kurup, bu modeli gerçek çalışma şartlarında alınan ölçüm değerleriyle doğrulamışlardır. Optimizasyona giderken kurutma ünitesinin sonunda kâğıdın nem miktarı sabit tutulup silindirlere giren buhar sıcaklıkları değişken olarak alınmıştır. Yapılan hesaplamalarda giriş havasının nem miktarı beş kat arttırıldığında toplam entropi üretiminin %35 azaldığı görülmüştür. Buna karşılık kurutma gruplarının değişik düzenlemeleri ve farklı buhar sıcaklıklarının toplam entropi üretimini azaltmada çok az (%3) etkisinin olduğu bildirilmiştir.

Koper vd. [17], çok silindirli kurutma ve bu tip kurutmaya ait kurutma fazlarını detaylı bir şekilde açıklamışlardır. Entropi üretimini 5 ayrı kâğıt makinesinin kurutma bölümü için inceleyip karşılaştırmışlardır. Bunlardan 3 tanesi linerboard, 2 tanesi gazete kâğıdı üreten tesislerdir. Entropi üretimine neden olan 3 temel olay elde edilmiştir. Bunlar, suyun buharlaşmasından dolayı meydana gelen entropi üretimi, kâğıt ve hava arasında meydana gelen taşınım ısı transferi ve silindir ile kâğıt arasında meydana gelen iletim ısı transferidir. Kâğıdın kalınlığının, gramajının ve silindir yüzey sıcaklıklarının entropi üretimini etkilediğini göstermişlerdir. Artan, sabit ve azalan kurutma rejimleri için farklı 5 makinede entropi üretimi incelenmiş ve enerji verimliliği için kabul edilebilir düzeyde olduğunu belirtmişlerdir. Gelecekte daha verimli kurutma tekniklerinin gerekli olduğunu, alternatif olarak silindirli kurutma ile hava püskürtmeli modelin birlikte kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Slätteke [18], çalışmasını kâğıt kurutma ünitesinin modellenmesi ve otomatik kontrolü üzerine yapmıştır. Çalışma ikiye ayrılmıştır. İlk bölümde silindir içindeki buhar basıncının kontrolü için değişik kontrol modelleri araştırılmış ve uygun olan modeller farklı işletmelerden elde edilen deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise kâğıdın nem miktarının kontrolü amaçlanmıştır.

Karlsson ve Stendtröm [19], [20], yaptıkları çalışmada kâğıdın kuruma mekanizmasını tanımlayan genel, dinamik bir model geliştirmişlerdir. Bu model çekmeyi içermekte ve

sıcaklık, nem ve basınç profillerini kâğıt kalınlığı yönünde tahmin edebilmektedir. Geliştirilen model hem kararlı halde hem de dinamik halde İsveç'te çalışan bir kâğıt makinesinden elde edilen ölçümler sonucu değerlendirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonunda çalışılan modelin kâğıdın nem miktarını ve sıcaklığını kabul edilebilir derecede doğru tahmin ettiği gösterilmiştir. Ayrıca modelin, kurutma esnasında kâğıt dayanımının düşük ve gaz basıncının yüksek olduğu yerleri tespit edebildiğini, kâğıt kopmalarının önüne geçebilmek için kurutma ünitesinin dizayn aşamasında gerekli tedbirlerin alınması gerektiği vurgulanmaktadır.

Yeo vd. [21], yaptıkları çalışmada kâğıt üretim tesislerinde kurutma prosesi için ısı ve kütle denklemlerinin yardımı ile bir model geliştirilmişlerdir. Isı transfer katsayısının kâğıdın nem miktarı, gramajı ve silindirlerin dönme hızına bağlı olarak ifade edilebileceği bulunmuştur. Sunulan modelin etkinliği nümerik simülasyonlarla izah edilmiştir. 55, 70 ve 82 g/m² gramaja sahip 3 farklı kâğıt tipi ile çalışmalar yapılmıştır. Çalışma şartlarından elde edilen verilerle yapılan karşılaştırma sonucunda öne sürülen modelin söz konusu tesis için yeterli derecede tutarlı olduğu görülmüştür.

Nilsson [22], sıcaklık ve nemin kâğıt kalınlığı yönünde homojen dağıldığını ve kâğıt içindeki ısı ve kütle transferi olaylarının ihmal edildiği modelini, gramajı 0,056 ile 0,390 kg/m² arasında değişen 4 tane kâğıt makinesine uygulamıştır. Gramajı 0,056 ile 0,159 kg/m² arasında üretim yapan 3 kâğıt makinesinden elde edilen değerler modelle uyumlu çıkmıştır. Kalın kâğıt üreten, gramajı 0,189 ile 0,390 kg/m² arasında değişen kâğıt makinesinde ise model tahminleri sistematik bir şekilde hata vermiştir. Bu hatanın nedeninin; kalın kâğıtlarda kâğıt içinde homojen sıcaklık ve nem miktarı dağılımı kabulünün yapılmış olmasından kaynaklandığını belirtmiştir. Dolayısıyla 0,16 kg/m²'den daha düşük gramaja sahip kâğıt üretimi yapan makineler için homojen sıcaklık ve nem dağılımı yaklaşımının uygun olduğunu göstermiştir.

De Beer [23], kâğıt üretim tesislerinde uzun dönemde enerji verimliliğini arttırabilmek amacıyla yeni ve verimli teknolojilerin belirlenebilmesi için üç adımdan oluşan bir metod sunmaktadır. En çok enerjinin tüketildiği kurutma bölümü için günümüzde kullanılmakta olan veya halen geliştirilme aşamasında olan alternatif, enerji verimi yüksek olan yedi adet kurutma sistemi tanıtılmış, gelecekte bu sistemlerin kullanılması

durumunda toplam enerji verimliliğine ne kadar etki edebileceği gösterilmiştir. Ayrıca ilerde yeni pres ve kurutma teknolojilerinin beraber kullanımı, ısı geri kazanım sistemlerinin iyileştirilmesi ve diğer küçük iyileştirmelerle beraber şu an ki duruma göre gerekli ısı ihtiyacının %75-90 arasında azalabileceği öngörülmektedir. Yine gelecekte elektrik tüketiminin aynı kalacağı veya çok az azalacağı ve yeni teknolojilerle yatırım ve işletme giderlerinin azalacağı vurgulanmaktadır. Yeni teknolojilerin sağladığı enerji verimliliğinin yanında üretilen kâğıt kalitesinin veya kâğıt üretim hızının da artmasının kaçınılmaz olduğu vurgulanmaktadır.

1.1.3 Yapay Sinir Ağları ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Yapay sinir ağları insan beyni esas alınarak modellenmiş bir sistemdir. Bilgisayar ortamında, beynin yaptığı işlemleri yapabilen, karar veren, sonuç çıkaran, yetersiz veri durumunda var olan mevcut bilgiden yola çıkarak sonuca ulaşan, sürekli veri girişini kabul eden, öğrenen, hatırlayan bir algoritma, kısaca “Yapay Sinir Ağları” olarak adlandırılır.

Yapay sinir ağları yardımıyla herhangi bir fiziksel bağıntıya ihtiyaç duymadan her tür fonksiyona yaklaşım yapılabilir. Bu nedenle deneysel çalışmalarda herhangi bir bağıntı kullanılmaksızın sadece girdiler ve çıktılar yardımıyla modelleme yapmak mümkündür.

Yapay sinir ağlarının uygulama alanlarına yönelik yapılan literatür çalışması aşağıda verilmiştir.

Yoru vd. [24], 3 farklı gaz türbininden elde ettiği verilerle yapay sinir ağlarını kullanarak ekserji analizi yapmayı hedeflemişlerdir. Hangi verilerin gerekli olduğunu tespit ettikten sonra yapay sinir ağını kurmuşlardır. Termodinamiğin II. kanununu uygulayarak yaptıkları ekserji analizi ile yapay sinir ağından elde ettikleri değerleri karşılaştırmışlardır. Hata karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE) değerlerini 0,01’in altında bulmuşlardır. Yapılan analiz sonucunda yeterli derecede veri girdisiyle yapay sinir ağlarının, termodinamik denklem ve tablolara gerek duymadan, gaz türbinlerinin ekserji analizini tahmin edebileceğini belirtmektedirler.

Yigit ve Ertunc [25], yaptıkları çalışmada yapay sinir ağlarını kullanarak soğutucu bir bataryadan çıkan havanın sıcaklığını ve nemini bulmaya çalışmışlardır. Bataryaya giren havanın sıcaklığı ve nemi, havanın hızı, birikmiş kar ağırlığı, batarya yüzey sıcaklığı, akışkanın kütsel debisi ve giriş-çıkıştaki sıcaklık değerleri, çevre sıcaklığı olmak üzere 9 adet girdi ve bataryadan çıkan havanın sıcaklığı ve nemi çıktı olmak üzere deney düzeneklerinden bu değerler ölçülmüştür. Yapay sinir ağları elde edilen verilerle (9 adet girdi ve 2 adet çıktı) eğitilip, bataryadan çıkan havanın sıcaklığının ve neminin bulunması amaçlanmıştır. Deney verileri ile yapay sinir ağlarının verdiği sonuçlar arasında çıkan hava sıcaklığı için %1'den, çıkan havanın nemi için % 2'den daha küçük ortalama bağıl hata olduğu tespit edilmiştir. Buradan yapay sinir ağlarının soğutucu bataryaların performansını tahmin etmede kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Selbaş vd. [26], aşırı soğutulmuş ve kızdırılmış buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimine termoeconomik optimizasyon uygulamışlardır. Yaptıkları çalışmada optimum aşırı soğutma ve kızdırma sıcaklıkları için optimum ısı değıştiricisi alanlarını bulmuşlardır. Optimum koşullar için maliyet fonksiyonunu çıkarmışlardır. Bütün hesaplamaları R22, R134a ve R407c için yapmışlardır. Soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerini ise yapay sinir ağlarını kullanarak hesaplamışlardır.

Sözen ve Arcaklioglu [27], Türkiye'nin güneş ışıınımı potansiyelini yapay sinir ağları ile modellemiştir. Bazı şehirlerin enlem, boylam, rakım değerleri, ay, ortalama güneş süresi ve ortalama sıcaklık değerleri girdi katmanı olarak, güneş ışıınımı ise çıktı katmanı olarak kullanılmıştır. Yapay sinir ağı %3,8 ortalama bağıl hata ve %99,97 korelasyon katsayısı değerleriyle güneş ışıınımı miktarını öğrenmiştir.

Şencan [28], yaptığı doktora tezinde, absorbsiyonlu bir sistemde çalışma akışkanı olarak LiBr-su eriyiğı kullanmış, LiBr-su eriyiğinin termodinamik özelliklerinin belirlenmesi için Yapay Sinir Ağları (YSA) metodunu kullanmıştır. Literatürde mevcut karmaşık matematiksel denklemlerin yerine, YSA metoduyla türetilen denklemler yardımıyla daha hızlı ve daha basit çözümlere ulaşıldığını belirtmiştir. Absorbsiyonlu sisteme termodinamiğin I. ve II. kanununu uygulayıp her sistem elemanındaki ekserji kayıplarını bulmuştur. Soğutma ve ısıtma uygulamaları için absorbsiyonlu sistemin optimum dizayn parametrelerinin belirlenmesi amacıyla, Genetik Algoritma (GA)

yöntemiyle sistemin optimizasyonuna gitmiştir. Farklı çalışma şartları altında, soğutma ve ısıtma uygulamaları için absorpsiyonlu sistemin performans katsayıları (COP) ve ikinci kanun verimlerini (ekserji verimi) hesaplayıp, sistem parametrelerinin, sistemin performans katsayısı (COP) ve ikinci kanun verimi (ekserji verimi) üzerine olan etkilerini incelemiştir. Deneysel çalışmalar için 1 kW'lık soğutma kapasitesine sahip LiBr-su ile çalışan bir absorpsiyonlu soğutma sistemi tasarlayıp imal ettirmiştir. Deneysel olarak bulunan değerler ile teorik olarak hesaplanan değerleri karşılaştırmıştır.

Islamoglu ve Kurt [29], oluklu bir kanaldaki hava akışındaki deneysel verileri yapay sinir ağları ile ısı transfer analizinde kullanmıştır. Geriye yayılım algoritmasını kullandığı yapay sinir ağı modeli başarılı olmuş ve ortalama %4 bağıl hata değerine ulaşmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı enerjiyi yoğun olarak kullanan işletmelerde enerji maliyetlerini minimuma düşürmek için enerji optimizasyonunun termodinamiksel yöntemlerle belirlenmesi, tesiste üretilen ürünün birim enerji başına düşen maliyetinin hesaplanmasıdır. Bunun için kullanılmış kâğıttan kâğıt üreten bir kâğıt üretim tesisi incelenip, bu tesisi oluşturan hamur hazırlama bölgesi ve kâğıt makinesi bölümlerine ayrı ayrı enerji, ekserji ve termoekonomik analiz yöntemleri uygulanmıştır. Bulunan sonuçlara göre gerekli yerlerde enerji tüketimi bakımından iyileştirmeler yapılmıştır.

1.3 Hipotez

Enerji tasarrufu; çevre kirliliği, küresel ısınma ve aynı zamanda fosil enerji kaynaklarının gittikçe azalması gibi sorunlara açık ve kesin çare olarak görüldüğünden bütün dünyada kaçınılmazdır.

Bu çalışmada fosil yakıtı dayalı bir işletmedeki enerji optimizasyonu çalışmasını yapabilmek amacıyla işletmedeki ekserji kayıplarının belirlenmesi ve bulunan sonuçlara göre kayıpların minimuma düşürülmesi için iyileştirme çalışmalarının yapılması öngörülmektedir.

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİR KULLANILMIŞ KÂĞITTAN YENİ KÂĞIT ÜRETİMİNİN İRDELENMESİ

Türkiye selüloz kaynakları kıt olan bir ülkedir. Selüloz üretimi bir fabrika dışında yapılmamaktadır. Bu nedenle selüloz ithal edilir. Selüloz üretimi başlı başına büyük bir organizasyondur. Fabrikanın kullanabileceği orman alanları, kütüklerin fabrikaya nakli ve işlenmesi yoğun çabalar ve büyük yatırımlar gerektirir. Bu tür fabrikalar ham madde kaynaklarına yakın olmak için orman içine ve nehir kenarına kurulmuşlardır. Bazıları nakliye için nehir üzerinden kütüklerin nehre atılmasıyla yapmaktadırlar. Bu nedenle çalışma alanı çapı oldukça büyük olmaktadır. Bu tür yatırımların bütçesi olağan üstü büyüktür.

Dünya’da kâğıt tüketimine olan gereksinimin artması, buna karşın kâğıt yapımında kullanılan selülozun hammaddesi olan odun, saman, pamuk gibi doğal kaynakların azalması, kâğıt üreticilerinin kullanılmış kâğıt kaynağına yönelmesini zorunlu kılmıştır.

Kullanılmış kâğıdın ham madde olarak kullanılması fabrika alanını küçültmektedir. Selülozda olduğu gibi bu fabrikalar da ham madde kaynaklarına yakın olmak isterler. Bu nedenle büyük şehirlerin kenarını tercih ederler. Bu şehirlerde ortaya çıkan kullanılmış kâğıt bireysel toplayıcılarda çok geniş ve karmaşık bir yapıdadır. Marketler, matbualar, kentlerin belediye çöplükleri ve çöp bidonları ham madde temini için kullanılan kaynaklardır. Bunlar yetmediğinde komşu şehirler ve en sonunda diğer ülkeler ham madde temini için kullanılan ek alanlardır [30].

Kâğıt üretimi için elyafın bu kadar çok kaynaktan üretilmesi son yıllarda çevre ve enerji temini gibi konuların zorlamasıyla ve talepteki yoğunluk nedeniyle olmaktadır. Kâğıt üretiminde geri dönüşüm dünyada % 50'nin üzerinde seyretmektedir. Fiili üretim ise %50 civarındadır. Kullanılmış kâğıtlar 5 temel grupta sınıflandırılabilir:

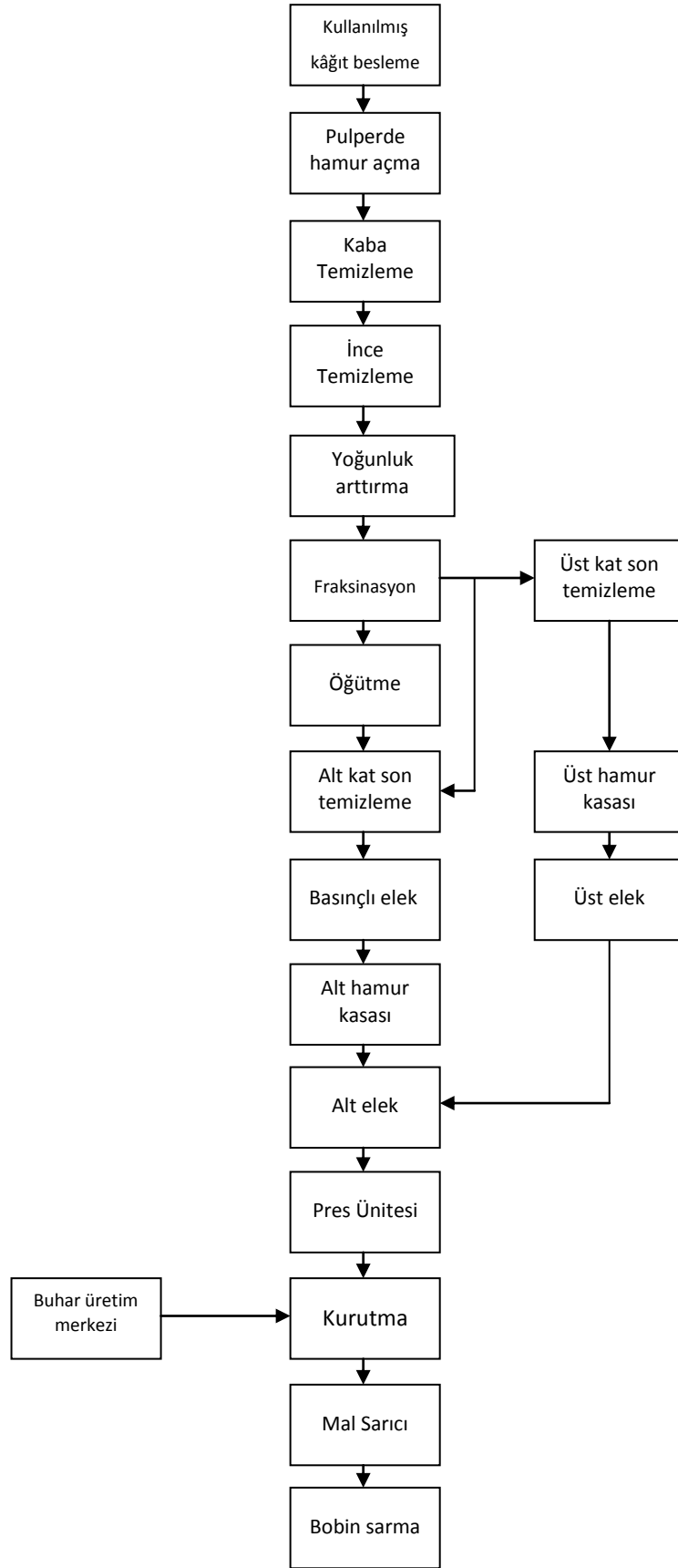
- Karışık atıklar,
- Oluklu ambalaj atıkları, (OCC)
- Eski gazete kâğıtları, (ONP)
- Selüloz alternatifi atıklar, (beyaz basılmamış matbua atıkları ve kenar ıskartaları bu sınıftandır ve oldukça kıt ve pahalı ham maddelerdir.)
- Yüksek vasıflı matbua atıkları

2.1 Kâğıt Üretim Tesisini Meydana Getiren Üniteler ve İşlem Basamakları

Genel olarak kullanılmış kâğıttan kâğıt üreten bir kâğıt üretim tesisi “Hamur Hazırlama Bölgesi” ve “Kâğıt Makinesi” olmak üzere iki ana bölümden meydana gelir. Ayrıca bu iki bölüm arasında “Yaklaşım Bölgesi” denilen bir bölüm daha bulunur.

Hamur Hazırlama Bölgesinde amaç kullanılmış kâğıdın sulu ortamda hamur haline getirilerek içindeki kirliliklerin temizlenmesidir. Temizleme işlemi kâğıt hamurunun birçok kademedan oluşan çeşitli tipte eleklerden geçirilmesiyle elde edilir.

Kâğıt Makinesinde ise amaç içinde neredeyse hiç kirlilik kalmamış kâğıt hamurunun sırasıyla elekler, presler ve kurutma silindirlerinden geçirilerek içindeki suyu almak ve böylece istenen kuruluk derecesine sahip kâğıt elde etmektir. Şekil 2.1’de kullanılmış kâğıttan kâğıt üreten bir kâğıt üretim tesisinin genel işlem basamakları görülmektedir [31].



Şekil 2.1 Kâğıt üretim tesisini meydana getiren üniteler ve işlem basamakları

2.2 Hamur Hazırlama Bölgesinde Ana Üretim Süreçleri ve Ekipmanları

Hamur hazırlama bölgesinde bir dizi elyaf hazırlama işlemi yapılır. Aşağıda özet olarak çeşitli işlem basamakları ve bunların yapılaş amaçları verilmektedir [30]:

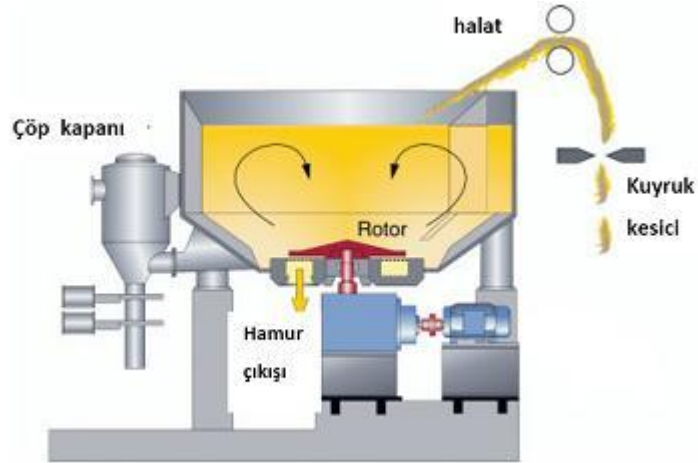
- Hamurun elde edilmesi ve elyaflarına ayırma: Ham elyafın sulandırılarak hamur hale getirilmesi sonucu pompa ile basılabilecek kıvam elde edilir. Burada katı madde oranı %1 ile %6 arasında değişmektedir. Bunun sonucunda gerekiyorsa hamur elyaflara ayrılır. Kullanılmış kâğıt işlenmesinde kâğıt dışı parçacıklar ve mürekkep parçacıkları elyaflardan ayrılmalıdır.
- Eleme: Hamur içinden şekil ve büyüklük bakımından istenmeyen kâğıt dışı parçacıkların ayrılması işlemi.
- Fraksinasyon: Elyafları istenilen kriterlere göre, genellikle uzunluklarına göre ayırma işlemi.
- Santrifüj temizleme: Hamur içindeki istenmeyen parçacıkları ayırma işlemi. Genellikle daha yoğun olan cisimler ve düğümler, elyaftan bu yolla ayrıştırılır.
- Öğütme: Elyafın şeklini, boyunu ve yüzeyinin yapısını değiştirmek için yapılan işlem.
- Beyazlatma, renk giderme: Sarı veya esmer elyafa gerekli parlaklık ve ışık özelliğinin kazandırılması işlemi.
- Yıkama: Çok küçük katı parçacıkların hamurdan ayrıştırılması işlemi.
- Su alma: Hamurdan su alınması işlemi.
- Dispersiyon: Kirli ve yapışkan maddelerin, mürekkep parçacıklarının kâğıtta görülmemesi için boyutunu küçültme ve elyaf kümelerini dağıtma işlemi.
- Bütaye alma ve karıştırma: Düzgün bir hamur karışımı elde edebilmek ve bunu depolayabilmek için, hamurun, üzerinde karıştırıcı takılı bütelere alınması işlemi.

2.2.1 Pulperde Hamurun Açılması

Pulperler kullanılmış kâğıdı sulu ortamda tekrar kâğıt hamuru haline getirmek için yapılmış özel bıçakları olan karıştırıcılardır. Pulperlerde elyaf açmanın amacı kuru olan elyaf kümelerini ıslatarak ve parçalayarak, elyafı tanelerine ayırmak ve onları pompalarla basılabilecek hale getirmektir. Böylece, elde edilen elyaf süspansiyonu kolayca eleklerde ve siklonlarda temizlenebilir.

Pulperlerin hamurlaştırma yanında diğer bir görevi kullanılmış kâğıttaki kirliliklerin büyük bir kısmını prosese sokmadan sistemden uzaklaştırmaktır. Pulperin içinde bir bıçak ve altında süzgeç delikleri vardır. Bu haliyle pulper bir kıyma makinası gibi çalışarak kullanılmış kâğıdı parçalar ve alttaki süzgeçlerden geçebilecek büyüklüğe getirir. Parçalanamayan kullanılmış kâğıt alt süzgeçten geçemeyeceğinden parçalanıncaya kadar pulper içinde kalır[31].

Kullanılmış kâğıtlarda pulperleme sıcak olarak yapılır. Elyafın açılmasının zor olduğu durumlarda pulperdeki hamur sıcaklığı 75 °C'nin üzerine kadar çıkartılır. Yaş dayanımının iyice arttığı durumlarda, asit ve baz türü çeşitli kimyasallar parçalamaya yardımcı olarak kullanılır[30].



Şekil 2.2 Pulperin iç görünüşü [32]

2.2.2 Eleme

Eleme ve temizlemenin amacı temiz hamur liflerinden katı pisliklerin ayrılmasıdır. Bu pislikler; lif topağı, lif demeti, kazan taşı, balyalardan gelen pislikler, toz, kum, balya teli, su borularından gelen pas, lastik, plastik, gibi kirletici maddeler olabilir. Bu pislikler ayrılmadığı takdirde kâğıt içinde lekeler ve benekler halinde ortaya çıkarlar [33].

Temizlemede ilke yabancı maddelerin şekil, büyüklük ve yoğunluk bakımından liflerden farklı olmasından yararlanmaktır. Bu amaçla, delikli veya yarıklı levhaları bulunan eleklerle yerçekimi ve santrifüj kuvveti yardımıyla çalışan aygıtlar kullanılmaktadır.

Elemenin iki amacı vardır:

- Yabancı maddeleri lifleri en az düzeyde kaybederek ayırmak
- Liflerin düzenli dağılımını sağlayarak düzgün bir kâğıt oluşturmak

Kullanılmış kâğıtla çalışılırken temizlik işleri birden fazla kademe ve farklı gözenekli eleklerle yapılır[30].

2.2.3 Fraksinasyon (Elyaf Seçme, Ayırma)

Prensip olarak fraksinasyonda elyaf girişi ve atık madde çıkışı elemeye benzetmekle birlikte, fraksinasyon elyafları uzun ve kısa olarak seçmede yani ayrıştırmada kullanılır. Özellikle esmer test liner gibi çift katlı kâğıtlarda, elyaflar alt ve üst kata farklı uzunluklarda gönderilir. Genellikle kısa elyaf örtücülüğü ve yüzey düzgünlüğü sağlaması nedeniyle üste verilir. Oluklu kâğıdı üreten çift elekli makinalarda fraksinasyon vazgeçilmez olarak kullanılmaktadır. Elyaf elemeye, eleme oranı %5-25 arasındayken, fraksinasyonda elyaflar üretim ihtiyacına göre %30-40 olarak ayrıştırılır. Fraksinasyon düz eleklerle ve silindirik sepetlerle yapılır[30].

2.2.4 Öğütme (Refinerde İşleme)

Lifleri bireysel olarak ayırıp, uç kısımlarını püsküllendirip, birbiriyle kenetlenmelerini sağlamak için öğütmek gerekir. Öğütüm, refiner (öğütücü) denilen araçla gerçekleşir.

Öğütmenin veya elyafları dövmenin amacı, elyaf şeklini kullanıma uygun olacak şekilde tasarlamaktır. Bunun iki nedeni vardır [30]:

- Kâğıt üretim sürecini iyileştirmek,
- Üretilmiş kâğıda istenilen özellikleri kazandırmak

Dövme sözcüğü kâğıtçılıkta kâğıt hamuru liflerinin saçaklanma, hidratlanma, şişme ve kesme gibi etkilere uğratılmasını ifade eder.

Kullanılmış kâğıtta öğütme genellikle dayanımı arttırmak ve düğümleri azaltmak için uygulanır. Öğütmeyle elyafların şekli değişir. Boyları kısalır, enlerinden bölünürler, çökmeler ve liflenmeler olur.

Refinerler bir yüzey üzerine yerleştirilmiş metal bıçakların yine benzer bir yüzeye karşı yer değiştirmesi ilkesine göre çalışırlar. Lif süspansiyonu bu iki yüzey arasından geçerken lifler sert hareketlere, basınç, çekme ve sürtünmeye uğrayarak yapıları gevşer. İki bıçak arasında geçen olaylar yeterince açıklanmış olmamakla birlikte, türbülansın çok şiddetli olduğu, bıçakların özelliğinin önemli olduğu, bıçak şeklinin etkisi olduğu bilinmektedir [33].

2.2.5 Dispersiyon (Elyafları Dağıtma)

Harman yapısına ve üründen beklentiye göre hamurun dağıtılmasındaki amaçlar aşağıda verilmektedir:

- Hamur içindeki kirlilikleri gözle farkedilemeyecek kadar küçültmek,
- Yapışkanların büyüklüğünü azaltmak,
- Kullanılmış kâğıttaki kaplama ve tutkal parçacıklarını elyaftan sökmek,
- Parfinlerin dağılmasını sağlamak,
- Mürekkep parçacıklarını elyaftan ayırmak,
- Elyaf kümelenmelerini dağıtmak,
- Hamuru mekanik ve kimyasal olarak işlemek,
- Hamurdaki mikro organizmaları öldürmek

2.2.6 Teksif (Yoğunlaştırma) ve Hamurdan Suyun Alınması

Teksifle ilgili işlemlerde hamurun içindeki suyun ve bu suyla birlikte erimiş katkı maddelerinin alınması sağlanır. Suyun alınmasının teknolojik ve ekonomik nedenleri vardır. Bunların başlıcaları şunlardır:

- Hamurdan kimyasal maddeler, kirlilikler ve sıcaklık alınmış olur.
- Hamurun katı madde oranı başka işlemler için istenilen düzeye getirilir.
- Atık su veya elek altı suyundan elyaf kazanılır.
- Yaş elyaf tabakaları oluşturmak (yaş elyafın nakli için) veya atık maddelerin suyunu almak için katı madde oranı arttırılır.

Suyun hamurdan alınması için çeşitli tipte makineler kullanılmaktadır.

2.3 Makine Yaklaşım Bölgesi

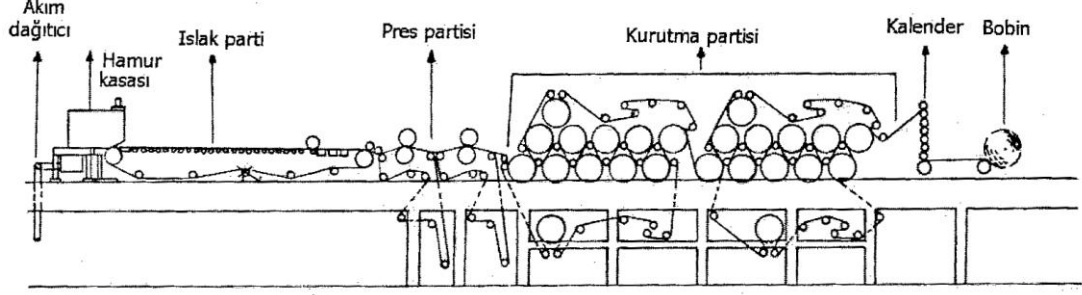
Yaklaşım bölgesi kâğıt makinası hamur kasası ile hamur hazırlama bölgesi arasında kalan bölgedir. Bu bölgede hamur hazırlamada açılan ve temizlenen elyaf türleri çeşitli oranlarda karıştırılır, sulandırılır, kimyasallar ve dolgu maddeleri eklenir, son temizlikleri yapılır, havası alınarak makina kapasitesine göre katı madde oranı belirlenir ve hamur kasasına gönderilir. Sabit debide, sabit basınçta, sabit katı madde oranında, sabit karışımda hamurun makinaya verilmesi kâğıdın kalitesinde ve gramajında düzgünlük sağlar. Bunun için:

- Özellikle hamurun ve beyaz suyun ölçülerek karıştırılması
- Hamurun düzgün karıştırılması ve düzgün elyaf ve su dağılımı
- Sabit akışta hamur kasasına beslenmesi gerekir.

2.4 Sonsuz Elek (Fourdrinier) Kağıt Makinesi

Kâğıdın sulu sistemde fabrikasyonu asırlardan beri değişmemiştir. Uygun şekilde dövülmüş, konsantrasyonu ve miktarı belli olan bitkisel lif süspansiyonu bir elek üzerinde düzgün şekilde dağıtılarak süzülür. Süspansiyondaki serbest su elek arasından süzülerek geriye bir safiha (ıslak kâğıt yüzeyi) bırakılır. Daha sonra da bir veya daha fazla sayıda prestan geçirilerek safihanın boşlukları arasındaki ıslatma suyu alınır.

Sonuçta, lifler tarafından tutulan kapiler su kurutma ile uzaklaştırılır ve böylece liflerin temas noktalarında oluşan doğal hidrojen bağları kâğıda kendine has sağlamlığı ve özellikleri verir. Şekil 2.3’de genel olarak bir Fourdrinier kâğıt makinasının hamur kasası, ıslak parti, pres partisi, kalender ve bobin gibi kısımları görülmektedir [33].



Şekil 2.3 Fourdrinier kâğıt makinesinin kısımları

Bahsedilen fabrikasyon ilkesi asırlarca aynı kalmakla birlikte fabrikasyon şekli ve yöntemleri büyük gelişmeler göstermiştir.

2.4.1 Hamur Kasaları

Akım dağıtıcı ve hamur kasasının görevi santrifüj pompalardan borular vasıtasıyla gelen belirli hızda ve dairesel kesitteki süspansiyon akımını mümkün olduğu kadar düzenli bir biçimde, makine eni boyunca en az oranda karşı akım ve anaförler oluşturarak kalınlığı 1-1,5 cm olan ince dikdörtgen prizması şeklinde bir akıma dönüştürerek cetvel ağzına vermektir.

2.4.2 Kâğıt Makinası Islak Parti Bölümü (Sonsuz Elek)

Kâğıt makinesinin ıslak parti bölümü (sonsuz elek) aşağıdaki önemli görevleri yerine getirir[33]:

- Liflerin dağıtılması: Kâğıt yapılacak lif süspansiyonu uzun lifler, orta boy lifler, kırıntı lifler ve dolgu maddelerinden oluşur. Seyreltik süspansiyon oluşum kısmı denen sonsuz elek üzerine homojen bir lif dağılımı elde edecek şekilde yayılır.

- Kompaktlaştırma: Liflerin suyu vakum, yerçekimi ve basınç gibi etkilerle alınarak lif-lif temas yüzeyi artırılır ve sonuçta, yüzeyler arası gerilim yükseltilerek yaş safiyanın sağlamlığı yükseltilir.
- Suyun alınması: Oluşan safiyanın boşlukları arasındaki su, emme ve yerçekimi etkisiyle mümkün olduğu kadar ayrıldıktan sonra couch silindirinden pres kısmına kolaylıkla aktarılacak sağlamlıkta olmalıdır. Su miktarı azaldıkça yüzeyler arası gerilim artacağından ıslak safiyanın sağlamlığı da artar.

2.4.3 Pres Ünitesi

Yaş presleme kâğıt safihasından mekanik sıkıştırma ile suyun uzaklaştırıldığı kâğıt yapımının bir aşamasıdır. Bu kademede kâğıt safihası iki silindir arasında veya bir silindir ile bir fabrik arasında sıkıştırmaya uğratılır. Böylece safiha içindeki suyun büyük bir kısmı alınır.

2.4.4 Kurutma Ünitesi

2.4.4.1 Kâğıt Kurutmanın Esasları

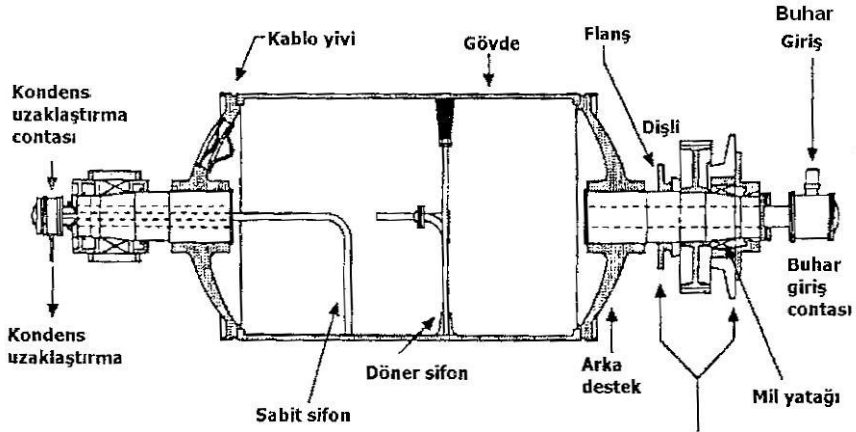
Mekanik olarak kağıttan en fazla su çıkarılması elek ve pres partisinde gerçekleşmekte olup bu kısımlarda uzaklaştırılamayan su kurutma partisinde buharlaştırılarak uzaklaştırılır. Eleklerden sonra ıslak safiyanın kuruluğu %16-23, pres partisinden sonra %40-50 ve kurutma partisinden sonra %91-95 olur. Bu elek partisinde 1 kg kâğıt üretimi için 100-170 kg, pres kısmında 2-4 kg, kurutma partisinde ise 1,0-1,5 kg suyun uzaklaştırıldığını ifade etmektedir. Kurutma partisinde çıkarılan su, toplam suyun çok az bir kısmına karşılık gelmesine rağmen kurutma partisi bir kâğıt veya karton makinesi için ana enerji tüketicisi durumundadır.

Kâğıt makinesinin kurutma partisinde kurutma silindirlerinin ilk %10-15'i ısınma devresini temsil eder. Orta kısımlarda kurutma silindirlerinin %55-65'i de sabit kurutma devresini temsil eder. Suyun çoğu sabit kurutma devresinde buharlaştırılıp bu devrede açık gözenekli fabrik keçelerin kullanılması kurutmayı önemli ölçüde kolaylaştırabilir. Geri kalan sondan %25-30'u ise azalan kuruma devresine tekabül etmekte olup burada

da az geçirgen keçe kullanılması ısı transferini artırmak yönünden yararlıdır [34].

2.4.4.2 Kurutma Silindirleri

Kurutma silindirleri dökme demir, kromlu dökme demir veya çelikten yapılmış olup çapları 1,5-2,2 m arasında olabilmektedir. İki yanda kapaklar bulunup buhar girişi ve kondens çıkışı ortadan yapılır. Silindirler buhar basıncına dayanıklı olup belirli aralıklarla kontrol edilmelidir. Bir silindirin yarılması; patlama ve buhar yanıkları gibi ciddi kazalara neden olabilir. Şekil 2.4 buhar girişi, kondens uzaklaştırıcı aygıtlar, silindir desteği gibi parçaların tamamını içeren bir kurutucu silindirin boyuna kesitini göstermektedir. Kurutucu yüzey genişliği 1,5-10 m'dir. Silindirin et kalınlığı 1000 kPa'lık basınca dayanacak şekilde olup yaygın olarak 25-40 mm kalınlığa sahiptir [34].



Şekil 2.4 Bir kurutma silindirinin boyuna kesiti

Pratikte hemen hemen bütün kâğıtlar atmosferik basınç altında, buharla ısıtılmış kurutma silindirleri üzerinden geçirilerek kurutulur. Bir kâğıt makinesinin kurutma partisinde 40 ile 70 adet 1,5 m çapında, et kalınlığı 22-35 mm arasında olan pürüzlü iç tarafı kondensden ısı iletilmesine yardım eden, dış tarafı kâğıda ısının geçmesini sağlamak için taşlanmış ve parlak, bataryalar halinde 3 veya 5 grup kurutma silindiri bulunur. Her üst veya alt grup kendine ait bir kurutma keçesine sahip olup bir makine üzerinde 4-10 adet kurutma keçesi vardır.

Kâğıt silindir üzerinden geçerken sırayla her iki yüzünden de kurutulur. Normal buhar silindirleriyle kurutmada kurutma çeşitlerinden ikisi vardır. Bunlar; temasla kurutma (kondüksiyon, kâğıt silindir üzerinde ısıtıldığı zaman) ve serbest kurutmadır(kâğıt iki kurutma silindiri arasında olduğu zaman, daha çok konveksiyon). Safiha silindirler arasından geçerken çevre havasının etkisine uğrayarak nemini bırakır.

2.4.5 Kalenderleme

Kurutma partisinden çıkan kâğıdın yüzeylerinde bazı düzensizlikler vardır. Bu düzensizlikler; baskı, yazı ve ambalaj gibi bazı kullanım yerleri için bir kusur oluşturur. Kalenderleme kâğıdın yüzeyini sonradan düzgünleştiren bir işlemdir. Kâğıt kuruduktan sonra basınç altında ağır metal silindirler veya yumuşak kaplamalı silindirler arasından geçirilerek kalenderlenir. Kalenderlemenin amaçları şunlardır[34]:

- Kâğıt eni boyunca mümkün olduğu kadar kalınlık farklılıklarını gidererek kâğıt yüzeyini düzeltmek
- Keçe ve elek izlerini gidermek
- Kâğıt yüzeyine düzgünlük vererek onun baskı özelliklerini iyileştirmek
- Kabarma, bükülme ve lif yığılmalarını düzeltmektir.

2.4.6 Mal Sarıcı

Kâğıt kurutma grubunun sonuna geldiğinde imalat bitmiş demektir. Bu durumda kâğıdın içindeki rutubet ve kâğıdın gramaj dağılımının bilinmesi gerekir. Mal sarıcı öncesi konulan çerçeve ve üzerindeki sensörler bu işlevi yerine getirir. Sürekli tarama yaparak kâğıtla ilgili bilgileri toplar. Gerekli görüldüğünde operatör tarafından gramaj ve rutubet istekleri bilgisayar ekranı üzerinden değiştirilir [30].

Çerçeveden hemen sonra mal sarıcı bulunur. Burada kâğıt tampon halinde sarılır. Belli çapa gelen tampon makinadan alınmadan önce yeni boş tampona kâğıt aktarılır. Daha sonra da boş dolu tampon bobin makinasına gönderilir.

2.4.7 Bobin Makinesi

Bobin makinesi istenen özellikler doğrultusunda kâğıdın tampondan bobine dönüşümü sağlar. Sarım işlemi biten bobin son uç yapıştırılarak çemberlenir ve bobin kantarında tartılır. Burada gerekli etiket üretilir ve bobin üzerine yapıştırılır. Buradan mamul ambarına teslim edilir.

TEZ KAPSAMINDA İNCELENEN KAĞIT ÜRETİM TESİSİNİN TANITILMASI

3.1 İncelenen Kâğıt Üretim Tesisi Hakkında Genel Bilgi

Tez kapsamında incelenen kâğıt üretim tesisi 500.000 m² açık 120.000 m² kapalı alan üzerine kurulmuş olup, ambalaj kağıdı üretimi yapmaktadır. Tesis 2008 yılı içerisinde devreye alınan 350.000 ton ilave kapasiteye sahip üretim hattı ile toplam yıllık üretim kapasitesini 650.000 tona yükseltmiştir.

Üretiminde %100 kullanılmış kâğıt kullanan tesis yılda 4 milyon yetişkin ağacın kesilmesini önlemektedir.

3.2 İncelenen Kâğıt Üretim Tesisinde Yapılan Üretimler

Standartlara göre kâğıt ve kartonlar kullanma amaçlarına göre iki ana gruba ayrılırlar.

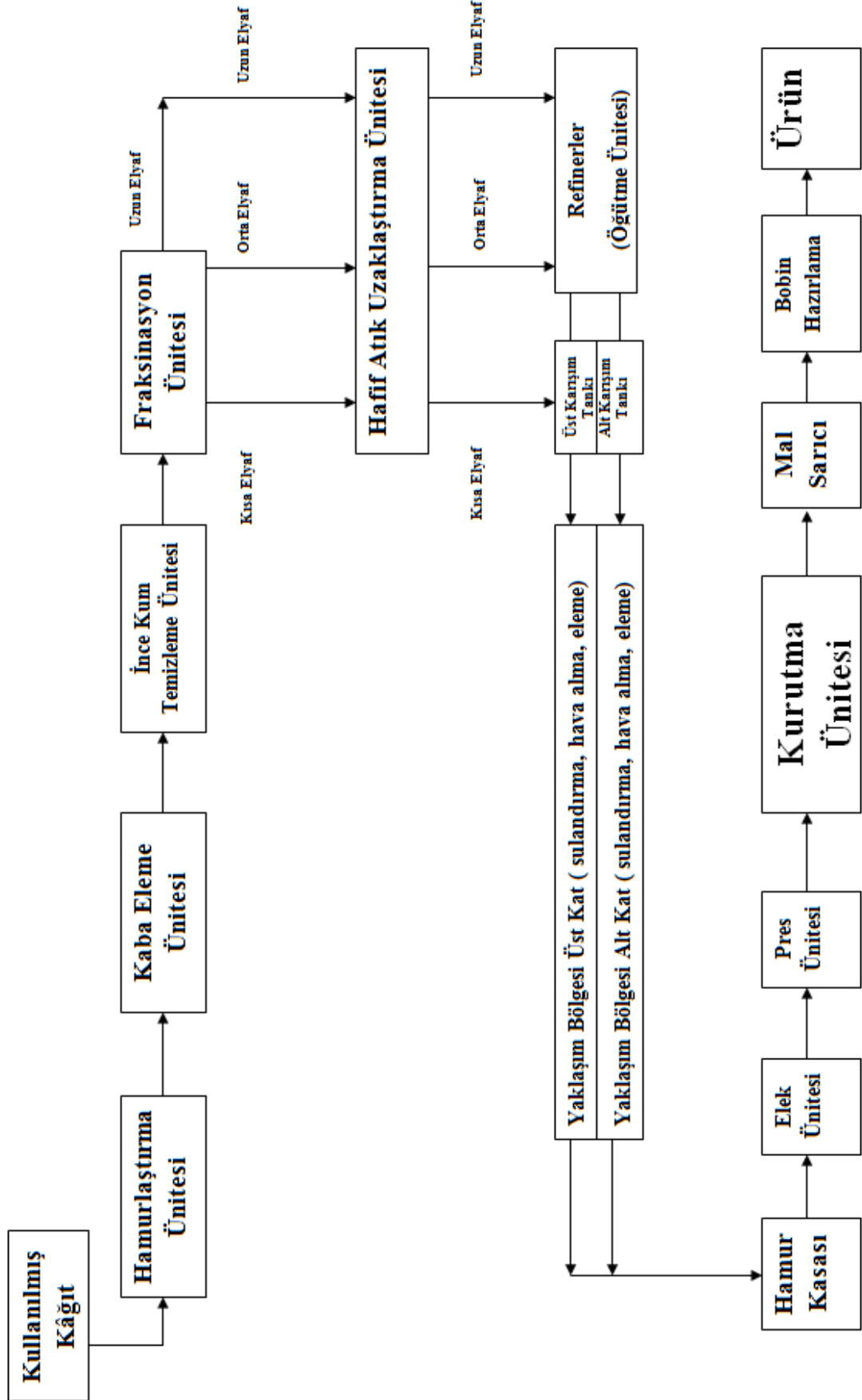
1. Kültürel kâğıt ve kartonlar: Yazı ve baskıya uygun olan gazete, dergi, kitap, yazı kâğıdı vs.
2. Endüstriyel kâğıt ve kartonlar: Ambalaj kâğıtları, kutu imali ve temizlik kâğıtlarıdır. Ayrıca fotoğraf kağıdı, elektriksel izolasyon kağıdı ve diğer kağıtlar.

İncelenen kâğıt üretim tesisinde ikinci grupta yer alan endüstriyel kâğıt ve kartonların üretimi yapılmaktadır. Bunlar ambalaj sanayi ve kutu imalinde kullanılmaktadır. Ambalaj kâğıdı üretimine yönelik birçok çeşit kâğıt üretimi yapılmaktadır. Tesisin yapmış olduğu üretim çeşitleri aşağıda verilmiştir:

1. **Fluting:** Her çeşit kullanılmış kâğıttan üretilen hiçbir kimyasal katkı ve işleme tabi tutulmayan bir kâğıt cinsidir. Diğer kâğıtlarla karşılaştırıldığında mukavemeti daha düşük gramajı 95-200 g/m² olan bir kâğıttır.
2. **Nssc:** Fluting'den farklı olarak su emme kabiliyeti düşük olan bir kâğıt cinsidir. Gramajı 127-250 g/m² olan bir kâğıt türüdür.
3. **İmitasyon kraft:** Kullanılmış çimento kâğıtları ve çok az oranda artık oluklu mukavvadan oluşmuş, su emme kabiliyeti düşük olan, boya ile renklendirilmiş, şap ve reçine gibi maddelerle fiziksel direnç özellikleri artırılmış gramajı 125-250 g/m² olan bir ambalaj kâğıdı cinsidir.
4. **Gri karton:** Matbaa artıkları ve dosya gibi gri ağırlıklı eski kâğıtlardan ve gazete kâğıtlarından yapılan su emme kabiliyeti düşük, gramajı 140-350 g/m² olan bir karton çeşididir.
5. **Test liner:** Alt katı saman fluting, üst tarafı kraft olarak adlandırılan çimento torba türü kâğıtlardan, boya ile renklendirilmiş, sıvılara karşı mukavemetli, gramajı 120-250 g/m² olan çift katlı kâğıttır.
6. **Core-Board:** Gramajı en yüksek kâğıt olup oluklu kâğıtlardan elde edilmektedir. Mukavemet değerleri yüksektir. Gramajı 140-350 g/m² olan bir kâğıt cinsidir.

3.3 Kâğıt Üretim Tesisinde Üretime ait İşlem Basamakları

Günde 1450 ton üretim kapasitesine sahip kâğıt üretim tesisine ait işlem basamakları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 İncelenen kâğıt üretim tesisine ait üretim işlem basamakları

3.3.1 Hamur Hazırlama Bölümü Proseslerinin Tanımlanması

3.3.1.1 Sürekli Hamurlaştırma Ünitesi

Hammadde olan kullanılmış kâğıt, hammadde depolama alanına balyalanmış bir şekilde gelir. Sistemde iki adet hamurlaştırma ünitesi mevcuttur. Her iki hamurlaştırma ünitesi de aynı taşıyıcı konveyöre sahiptir.

Öncelikle balyalar teker teker konveyörün yatay olan yükleme kısmının üzerine yerleştirilir. Daha sonra pulpere eğimli konveyör ile taşınmadan önce balyaların telleri kesilir. Balya telleri pulper ilk çalıştırıldığında içine atılan halatın etrafında halat benzeri bir yapı oluşmaya başlar. Bu halat “ragger” adı verilen bir ekipman vasıtası ile pulperden ayrılır ve halat kesici ile küçük parçalara kesilir. Ragger bu halatı kesikli bir şekilde çeker. Pulpere beslenen hammadde miktarı eğimli konveyörün besleme hızı kontrol edilerek ayarlanır. Konveyörün hızı operatör tarafından üretime bağlı olarak belirlenir.

Konveyörler, balyaları kesilmiş telleri ile beraber pulperlerin içine beslerler. Roturun hareketi ve akışa gösterilen direnç ile pulper kenarları arasında oluşan formla balyalar dağılır ve elyaflarına ayrılır. Pulperin altında bulunan ağır kirliliklerin toplandığı bir çöp kapanı bulunur. Bunun içine düşen ağır kirlilikler (taşlar, metal parçalar, zımba gibi) kesikli olarak pulperden uzaklaştırılır.

Pulper içindeki katı madde oranı pulperin üzerinden içeri giren seyreltme suyu ile yaklaşık %3,7'ye ayarlanır.

12 mm delik çapına sahip pulper eleğinden geçerek pulperden çıkan hamur, yüksek yoğunluk kum tutucularına pompalanır. Burada kum, küçük çakıl taşı gibi ağır atıklar sistemden uzaklaştırılır. Yüksek yoğunluk kum tutuculardan geçen hamur boşaltma kulesine gider. Boşaltma kulesi hamurlaştırma kademesinden geçen hamurun depolandığı yerdir.

3.3.1.2 Kaba Eleme Ünitesi

Boşaltma kulesinden hamur kaba eleme ünitesine gelir. Bu ünitenin amacı; kaba olarak temizliği yapılmış olan hamurun halen içerisinde bulunan, pulperin eleğinden

geçebilecek kadar ufalmış atıkları ve yüksek yoğunluk kum tutuculardan geçebilmiş biraz daha küçük taş ve kumları daha sonraki kademelerde yer alan cihaz ve elekleri korumak için hamurdan ayırmaktır. Bu kısım dört kademe eleme ve ikinci ve üçüncü kademeler arasında bir adet yüksek yoğunluk kum tutucusundan oluşur. Eleme işlemi elek delik çapı 2,4 mm olan basınçlı elekler kullanılarak gerçekleştirilir. Ayrıca bir miktar su hem hamuru seyreltmek hem de atıkların uzaklaştırılmasına yardımcı olmak için kullanılır.

3.3.1.3 İnce Kum Temizleme Ünitesi

Hamur içerisinde bulunan çok küçük aşındırıcı malzemeleri uzaklaştırmak için, kaba elemenden geçirilmiş hamur, katı madde oranının düşürülmesi için seyretilir ve dört kademedan oluşan kum tutuculardan geçirilir. Bu ünite de kum tutucular, I. kademedan 112 adet, II. kademedan 36 adet, III. kademedan 13 adet, IV. kademedan 5 adet olmak üzere bataryalar şeklinde gruplandırılmıştır. Bu kademedan elde edilen temiz hamur fraksinasyon ünitesine gönderilir.

3.3.1.4 Fraksinasyon Ünitesi

Bu ünitenin amacı elyafları 3 farklı kısma ayırmaktır. Bunlar uzun, orta ve kısa elyaftır. Bu proses iki kademedan oluşur.

I. kademedan 3 adet fraksinatör denilen, elek çapı 0,2 mm olan basınçlı elek mevcuttur. Bu kademedan kısa elyaflar ayrıştırılır ve kısa elyaf hafif atık uzaklaştırma ünitesine gönderilir. Geri kalan hamur artık orta ve uzun elyaf içerir ve bu hamur ikinci kademeye gönderilir.

II. kademedan yine 3 adet fraksinatör mevcuttur. Bu kademedan basınçlı eleklerde uzun elyaflar ayrıştırılır ve bunlar uzun elyaf besleme tankına gönderilir. Geriye kalan akış ise orta elyaf içerir ve orta elyaf hafif atık uzaklaştırma ünitesine gönderilir.

3.3.1.5 Hafif Atık Uzaklaştırma Ünitesi

Bu ünitenin amacı wax, strafor gibi hafif kirliliklerin sistemden uzaklaştırılmasıdır. Her üç fraksiyon da (Kısa, Orta, Uzun Elyaf) benzer ünitelere sahiptir. Kirlilikler iki kademedede uzaklaştırılır.

Birinci kademe içinde 156+156 adet düşük yoğunluk temizleyicisi bulunan 2 adet bataryadan toplamda ise 304 adet temizleyiciden oluşur. Birinci kademenin temiz çıkışı öğütme ünitesine gönderilir. Atık kısmı ise ikinci kademeye gönderilir. Kısa elyaf temiz çıkışı ise karışım tankına gönderilir.

İkinci kademedede birbiri ile paralel çalışan 2 adet diskli temizleyici mevcuttur. İkinci kademe temiz çıkışı birinci kademenin beslemesine geri gönderilir. Atık hattından çıkan atıklar ise atık işleme ünitesine gönderilir.

3.3.1.6 Refinerler (Öğütme Ünitesi)

Uzun elyaf kulesinde ve orta elyaf kulesinde depolanan temiz hamur seyreltme işleminden sonra ayrı ayrı öğütme ünitesine alınır. Burada hamur, kâğıt makinesinin ihtiyacı olan mukavemet değerlerini karşılayacak belirli bir şoper derecesine kadar öğütülür. İhtiyaç duyulan mukavemet derecesi öğütücünün rotorunu statoruna karşı yükleyerek sağlanır. Her bir orta elyaf ve uzun elyaf için kullanılacak bir öğütücü bulunmaktadır.

Öğütücülerden sonra hamur, alt ve üst karışım tanklarına seviye ve harman oranına göre gönderilir.

3.3.1.7 Yaklaşım Bölgesi

Hamur alt ve üst karışım tanklarından yaklaşım bölgesi denilen, kâğıt makinesi hamur kasası ile hamur hazırlama arasında kalan bölgeye gelir. Bu bölgede alt ve üst kat olarak hamur ayrı ayrı sırasıyla sulandırma, hava alma ve eleme işlemlerine tabi tutulur.

Sulandırmada amaç hamurun kâğıt makinesine girmeden önce gramajını kontrol etmektir. Hamurun içindeki hava ise kopma ve kâğıtta nokta şeklinde kirliliğe neden olur. Bu yüzden hava vakum yolu ile hamurdan ayrılır. Hamurun havası alındıktan sonra hamur, hamur kasasına verilmeden önce, son kez basınçlı eleklerden geçirilerek

temizleme işlemi yapılır. Artık hamur, kâğıt makinesi hamur kasasına gönderilmek için hazırdır.

3.3.2 Kâğıt Makinesi Proseslerinin Tanımlanması

3.3.2.1 Hamur Kasası

Hamur hazırlama bölümünden gelen hamur kâğıt makinesinde ilk önce hamur kasasına girer. Hamur kasasının amacı, kâğıt makinesi için hamura düzenli, homojen bir akım sağlamaktır. Yaklaşım bölgesinden alt ve üst kat olarak gelen hamur, hamur kasasında önceden belirlenen oranda birleşerek kararlı bir akım şeklinde elek ünitesine verilir. Artık, hamurun katı madde oranı %2 civarındadır ve içinde yabancı madde bırakılmamıştır.

3.3.2.2 Elek Ünitesi

Elek ünitesi hamur kasasından sonra hamurdan suyun alınmaya başladığı ilk ünedir. Elek ünitesine gelen hamur önce kendi ağırlığından dolayı bir miktar suyu yerçekimi etkisiyle bırakır. Belli bir süre sonra yerçekimi kuvveti etkili olmadığından vakum kasaları yardımıyla su vakum ile çekilir. Elek ünitesinde belli miktar suyun alınmasından sonra çıkışta kuruluk oranı %20 civarında olur.

3.3.2.3 Pres Ünitesi

Elek Ünitesinden sonra artık hamurun içindeki su vakumla alınamaz hale gelir. Bundan sonra hamurdaki suyu baskı uygulayarak almak gerekir. Bunun için elek ünitesinden sonra hamur pres ünitesine gönderilir. Hamur kademeli olarak baskının arttırıldığı preslerin arasından geçer. Böylece hamur içindeki suyun büyük bir kısmı alınır. Hamur artık kâğıt haline gelmeye başlamıştır. Pres ünitesi çıkışında kuruluk oranı %49'dur.

3.3.2.4 Kurutma Ünitesi

Pres ünitesinden sonra %49 kuruluktaki kâğıt kurutma ünitesine gelir. Kurutma ünitesi ön kurutma ünitesi ve son kurutma ünitesi olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Bu iki

bölüm arasında tutkallama ünitesi denilen mukavemet arttırıcı ayrı bir bölüm vardır. Burada kâğıda kimyasal madde eklenerek dayanıklılık arttırılır.

Kurutma Ünitesi 48 adeti buharla ısıtılan silindir olmak üzere toplam 94 adet kurutma silindirinden meydana gelmektedir. Buharla ısıtılan silindirlerden Ön Kurutma Ünitesinde 32 adet, Son Kurutma Ünitesinde 16 adet mevcuttur. Kâğıt bir keçe yardımıyla kurutma silindirleri arasından geçerken buharlaşma yoluyla içindeki suyun bir kısmını dışarı verir. Kurutma ünitesi çıkışında kâğıdın kuruluğu yaklaşık %93-95 civarındadır.

3.3.2.5 Mal Sarıcı

Kurutma ünitesinden sonra kâğıt mal sarıcıya gelmeden önce, üretilen kâğıdın gramaj ve neminin bilinmesi için sensörler konulmuştur. Kurutma ünitesinden sonra bu değerler kontrol edilir, gerekli görülürse operatör tarafından bu değerler değiştirilir.

Sensörlerden hemen sonra mal sarıcı bulunur. Burada kâğıt tampon halinde sarılır. Belli çapa gelen tampon makineden alınmadan önce yeni boş tampona kâğıt aktarılır. Daha sonra da boş dolu tampon bobin makinesine gönderilir.

3.3.2.6 Bobin Hazırlama

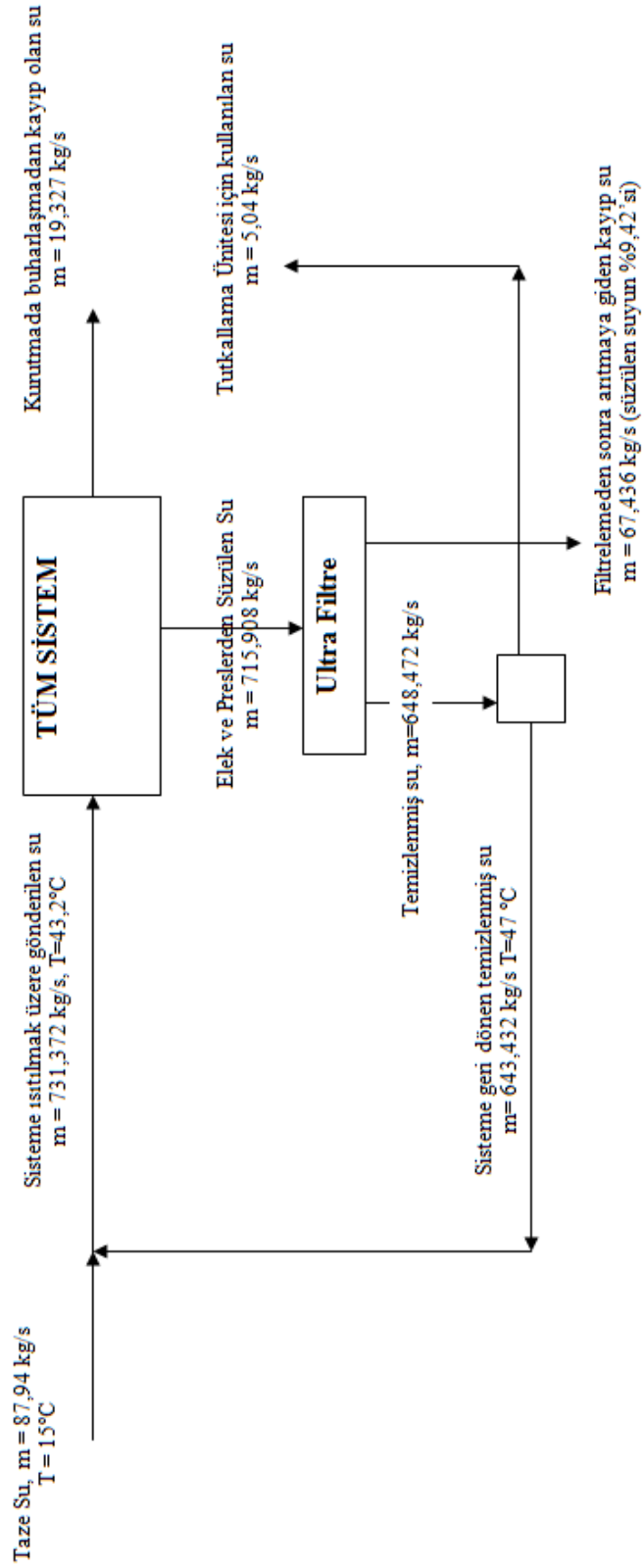
Bobin makinesi istenen özellikler doğrultusunda kâğıdın tampondan bobine dönüşümü sağlar. Sarım işlemi biten bobin son uç yapıştırılarak çemberlenir ve bobin kantarında tartılır. Burada gerekli etiket üretilir ve bobin üzerine yapıştırılır. Buradan mamul ambarına teslim edilir.

3.4 Kâğıt Üretim Tesisinde Su Kullanımı

Bir kâğıt üretim tesisinde su tüketimi en az enerji ve hammadde tüketimi kadar önemlidir. Kâğıt üretiminde hamur elde edebilmek ve bu hamurun bir yerden başka bir yere taşınması sağlamak için çok fazla miktarda su kullanılmaktadır. Geçmişte taze su ile yapılan pek çok iş günümüzde kapalı devre su sistemlerinin kurulmasıyla temizlenmiş su ile yapılmaktadır. Böylece taze su tüketimi azaltılmıştır.

İncelenen kağıt üretim tesisine ait su kullanım şeması Şekil 3.2’de verilmiştir. Bu sistemde elek ve preslerden süzülen su ultrafiltreden geçirilerek su içindeki çok küçük kirlenici partiküller filtreleme işlemine tabii tutulur. Filtreleme sonrasında süzülen suyun yaklaşık %10’u arıtma ünitesine gider. Geriye kalan temizlenmiş su, taze su ile birlikte karıştırılarak tekrar sistemde kullanılmak üzere sisteme geri verilir. İncelenen kâğıt üretim tesisinde taze su tüketimi 5,24 m³/tonkağıt’dır.

Kâğıt Üretim Tesisi Su Kullanım Şeması



Şekil 3.2 Kâğıt üretim tesisi su kullanım şeması

TERMODİNAMİK VE TERMOEKONOMİK ANALİZ**4.1 Termodinamik Analiz**

Termodinamik bir enerji bilimidir. Enerji bir cismin veya sistemin iş yapma yeteneği olarak tanımlanabilir. Termodinamik analiz, bir sistemin termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre analizini içerir.

4.1.1 Kütlenin Korunumu Yasası

Kontrol hacmi veya açık sistem için kütlenin korunumu ifadesi;

$$\left(\begin{array}{c} \text{Kontrol hacmine} \\ \text{giren toplam} \\ \text{kütle} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Kontrol hacminden} \\ \text{çıkan toplam} \\ \text{kütle} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Kontrol hacmi içinde} \\ \text{toplam kütle} \\ \text{değişimi} \end{array} \right) \quad (4.1)$$

veya

$$\sum m_g - \sum m_{\dot{c}} = \Delta m_{\text{kontrol hacmi}} \quad (4.2)$$

şeklinde gösterilir. Bu yasa birim zamanda olan geçiş ve değişimleri göz önüne alarak da ifade edilebilir. Eşitlik (4.1), genel bir kontrol hacmi için kütlenin korunumu yasasının sözlü ifadesidir [1].

Bir kesitten birim zamanda akan kütle miktarına kütleli debi denir ve $\dot{m}$ ile gösterilir. Buna göre bir boru veya kanalın tüm kesitinden geçen kütleli debi;

$$\dot{m} = \int_A \rho V_n dA \quad (\text{kg/s}) \quad (4.3)$$

denklemleri ile bulunabilir.

4.1.2 Termodinamiğin Birinci Yasası

Termodinamiğin birinci yasası enerjinin niceliğiyle ilgilidir. Enerjinin var veya yok edilemeyeceğini vurgular. Enerji termodinamik bir özelliktir ve bir etkileşim esnasında enerji bir şekilden diğer şekle dönüşebilir, ancak toplam enerji miktarı değişmez. Birinci yasa, bir hal değişimi esnasında enerjinin hesabını tutmak için bir yöntem ortaya koyar. Enerji sistem sınırlarından ısı veya iş olarak geçebilir. Enerji geçişi, sistemle çevresi arasında bir sıcaklık farkından dolayı oluyorsa ısı geçişi olarak, eğer sıcaklık farkı olmuyor ise iş olarak tanımlanır [1].

Genel bir kontrol hacmi için, enerjinin korunumu ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Sınırları ısı ve iş} \\ \text{olarak geçen} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Kontrol hacmine} \\ \text{giren kütle} \\ \text{toplam enerjisi} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Kontrol hacminden} \\ \text{çıkan kütle} \\ \text{toplam enerjisi} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Kontrol hacminin} \\ \text{net enerji} \\ \text{değişimi} \end{array} \right) \quad (4.4)$$

veya

$$Q - W + \sum E_g - \sum E_c = \Delta E_{\text{kontrolhacmi}} \quad (4.5)$$

Sürekli akışlı açık sistemlerde, akışkanın kontrol hacminde sürekli bir akışı söz konusudur. Kontrol hacmindeki herhangi bir noktada akışkan özellikleri zamana göre değişmez. Sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacminin kütlesi ve toplam enerjisi sabittir. Sürekli akışlı açık sistemlere pompa, türbin, kompresör, lüle, ısı değiştirici gibi makineler örnek olarak verilebilir.

Genel bir sürekli akışlı açık sistem için, kütle korunumu yasası aşağıdaki gibidir:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda kontrol hacmine} \\ \text{giren toplam kütle} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda kontrol hacminden} \\ \text{çıkan toplam kütle} \end{array} \right) \quad (4.6)$$

veya

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_c \quad (4.7)$$

Basit sıkıştırılabilir maddenin toplam enerjisi üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar; iç enerji, kinetik enerji ve potansiyel enerjidir. Birim kütle için toplam enerji;

$$e = u + ke + pe = u + \frac{V^2}{2} + gz \quad (4.8)$$

biçimindedir. Bir kontrol hacmine giren veya çıkan akışkan akış enerjisine (P_v) sahiptir. Bu nedenle akış olan bir ortamda, akışkanın birim kütlesinin toplam enerjisi;

$$\theta = P_v + e = P_v + (u + ke + pe) \quad (4.9)$$

şeklinde ifade edilebilir. Aynı zamanda ($u + P_v$) ifadesinin entalpi (h) olduğu göz önüne alınırsa, birim kütle için akışkanın toplam enerjisi;

$$\theta = h + ke + pe = h + \frac{V^2}{2} + gz \quad (4.10)$$

şeklini alır.

Genel bir sürekli akışlı açık sistem için, termodinamiğin birinci yasası veya enerjinin korunumu ifadesi aşağıdaki gibi gösterilebilir [1].

$$\left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{ısı veya iş olarak} \\ \text{sınırları geçen} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{kütle ile birlikte} \\ \text{kontrol hacminden} \\ \text{çıkan toplam enerji} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{kütle ile birlikte} \\ \text{kontrol hacmine} \\ \text{giren toplam enerji} \end{array} \right) \quad (4.11)$$

veya

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \theta_\zeta - \sum \dot{m}_g \theta_g \quad (4.12)$$

Eşitlik (4.12)'de akışkanın birim kütlesinin toplam enerjisi, $\theta = h + ke + pe$ olduğu göz önüne alınırsa, sürekli akışlı açık sistemler için enerjinin korunumunu ifade eden termodinamiğin birinci yasası Eşitlik (4.13) şeklinde ifade edilir [1].

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \left(h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + gz_\zeta \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \quad (4.13)$$

Akışın taşıdığı kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilirse Eşitlik (4.13), aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta h_\zeta - \sum \dot{m}_g h_g \quad (4.14)$$

4.1.3 İdeal Buharlı Güç Çevriminde Termodinamiğin I.Yasa Çözümlemesi

Buharlı güç santralini oluşturan makinelerin tümü (pompa, kazan, türbin ve yoğuşturucu) sürekli akışlı makinelerdir, bu nedenle Rankine çevrimi de dört sürekli akışlı açık sistemden oluşan bir çevrim olarak incelenebilir (Şekil 1.1). Buharın kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişim genellikle ısı geçişi ve işe oranla küçüktür, bu nedenle göz ardı edilebilir. Böylece, sürekli akışlı açık sistemde enerjinin korunumu denklemi, buharın birim kütlesi için aşağıdaki gibi yazılır.

$$q - w = h_{\dot{c}} - h_{\dot{g}} \quad (4.15)$$

Kazan ve yoğuşturucuda iş etkileşimi yoktur, ayrıca pompa ve türbindeki hal değişimleri izantropik kabul edilebilir. Bu durumda her bir sistem için enerjinin korunumu denklemi aşağıda gösterildiği gibi olur:

Pompa ($q=0$):

$$w_{\text{pompa,g}} = h_2 - h_1 \quad (4.16)$$

veya

$$w_{\text{pompa,g}} = v(P_2 - P_1) \quad (4.17)$$

burada,

$$h_1 = h_{f,P_1} \text{ ve } v \cong v_1 = v_{f,P_1}$$

Kazan ($w=0$):

$$q_g = h_3 - h_2 \quad (4.18)$$

Türbin ($q=0$):

$$w_{\text{türbin,ç}} = h_3 - h_4 \quad (4.19)$$

Yoğuşturucu ($w=0$):

$$q_{\dot{c}} = h_4 - h_1 \quad (4.20)$$

Rankine çevriminin ısı verimi şöyle ifade edilebilir:

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_c}{q_g} \quad (4.21)$$

Burada,

$$w_{net} = q_g - q_c = w_{türbin,ç} - w_{pompa,g} \quad (4.22)$$

olmaktadır.

Isıl verim aynı zamanda T-s diyagramında çevrimi belirten eğrinin içinde kalan alanın, ısı geçişini gösteren eğrinin altında kalan alana oranı olarak da ifade edilebilir [1].

4.1.4 Termodinamiğin İkinci Yasası

Termodinamiğin ikinci yasası, hal değişimlerinin hangi yönde gerçekleşebileceklerini belirler ve enerjinin niceliği yanında niteliği de olduğunu vurgular. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarını sağlamayan bir hal değişimi gerçekleşemez.

Eğer bir hal değişimi gerçekleştikten sonra hem sistem hem de çevre ilk hallerine geri döndürülebilirse, bu hal değişimi tersinirdir. Tüm diğer hal değişimleri tersinmezdir. Sürtünme, sanki dengeli olmayan genişleme veya sıkıştırma ve sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi hal değişimlerinin tersinmez olmasına yol açar ve bu tersinmezlik olarak adlandırılır.

Termodinamiğin ikinci yasası entropi adı verilen yeni bir özelliğin tanımına yol açar. Entropi bir sistemin mikroskopik düzeyde düzensizliğinin nicel bir ölçüsüdür. Entropinin tanımı Clausius eşitsizliğine dayanmaktadır. Bu eşitsizlik şöyle ifade edilir [1]:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (4.23)$$

Eşitlik (4.23), içten tersinir veya tümünden tersinir hal değişimleri için, eşitsizlik ise tersinmez hal değişimleri için geçerlidir. Çevrim boyunca integrali sıfır olan bir büyüklük özelliktir ve entropi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{içten\ tr} \quad (4.24)$$

Bir hal değişimi sırasında entropi değişimi yukarıdaki bağıntıyı integre ederek bulunur:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{içten tr}} \quad (4.25)$$

Bu integralin hesaplanabilmesi için Q değerinin T'nin fonksiyonu olarak nasıl değiştiğinin bilinmesi gerekir. Özel bir durum olan içten tersinir, sabit sıcaklıkta hal değişimleri için integrasyon rahatlıkla yapılabilir ve aşağıdaki sonuç elde edilir:

$$\Delta S = \frac{Q}{T_0} \quad (4.26)$$

Clausius eşitsizliğiyle entropinin tanımı birleştirildiği zaman, entropinin artışı ilkesi adı verilen eşitsizlik elde edilir. Bu eşitsizlik;

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \quad (4.27)$$

veya

$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}} \geq 0 \quad (4.28)$$

şeklinde ifade edilir.

Buradan bir hal değişimi sırasındaki toplam entropi değişimi, hal değişimi gerçek veya tersinmez ise sıfırdan büyük, tersinir ise sıfır olduğu anlaşılır.

Entropi değişimi ısı geçişi, kütle akışı ve tersinmezlikler sonucu olabilir. Bir sisteme ısı geçişi sistemin entropisini artırır, bir sistemden ısı geçişi sistemin entropisini azaltır. Tersinmezliklerin etkisi her zaman entropiyi arttırıcı yöndedir.

Entropinin korunumu söz konusu değildir, bu nedenle entropinin korunumu ilkesi diye bir kavramdan söz edilemez. Entropi, gerçek tüm hal değişimleri sırasında artar, sadece bir düşünce aracı olan tersinir hal değişimleri esnasında sabit kalır. Bu nedenle evrenin entropisi sürekli olarak artmaktadır.

Tersinmezlikler sistemlerin çalışma verimini azaltır. Entropi üretimi bir sistemdeki tersinmezliklerin ölçüsüdür. Tersinmezlik arttıkça entropi üretimi de artar. Bu bakımdan entropi, kapalı ve açık sistemlerde gerçekleşen hal değişimlerinde

tersinmezliklerin hesaplanması için kullanılır. Entropiden ayrıca mühendislik sistemlerinin verimini belirlemek için de yararlanır.

Kapalı bir sistem için entropinin artışı ilkesi şöyle ifade edilebilir:

$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}} \geq 0 \quad (4.29)$$

Bu ifade de;

$$\Delta S_{\text{sistem}} = S_2 - S_1 = m(s_2 - s_1) \quad (4.30)$$

ve

$$\Delta S_{\text{çevre}} = \sum \frac{Q_R}{T_R} \quad (4.31)$$

şeklindedir [1].

Birden çok ısı enerji deposuyla ısı alışverişinde bulunan bir kontrol hacmi için entropinin artışı ilkesi aşağıda gösterildiği gibi ifade edilebilir. Burada T_R ısı enerji deposunun sıcaklığını, $\dot{Q}_R$ ısı enerji deposuyla birim zamanda olan ısı alışverişini göstermektedir.

Genel olarak birim zamanda toplam entropi üretimi;

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_{\text{ç}} s_{\text{ç}} - \sum \dot{m}_{\text{g}} s_{\text{g}} + \frac{dS_{\text{KH}}}{dt} + \sum \frac{\dot{Q}_R}{T_R} \quad (4.32)$$

ve

Sürekli akışlı açık sistem için birim zamanda toplam entropi üretimi;

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_{\text{ç}} s_{\text{ç}} - \sum \dot{m}_{\text{g}} s_{\text{g}} + \sum \frac{\dot{Q}_R}{T_R} \geq 0 \quad (4.33)$$

şeklindedir. Sadece çevreyle ısı alışverişinde bulunan bir girişli ve bir çıkışlı sürekli akışlı açık sistem için Eşitlik (4.33) sadeleştirilebilir:

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}(s_{\text{ç}} - s_{\text{g}}) + \frac{\dot{Q}_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} \geq 0 \quad (4.34)$$

Bu bağıntılarda eşitlik tersinir hal değişimleri için, eşitsizlik ise tersinmez hal değişimleri için uygulanmaktadır.

$S_{\text{üretim}}$ değeri bir hal değişiminin tersinir mi, tersinmez mi olduğunu belirlemek için kullanılabilir:

$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} \begin{cases} > 0 \text{ tersinmez hal değişimi} \\ = 0 \text{ tersinir hal değişimi} \\ < 0 \text{ gerçekleşmesi olanaksız} \end{cases} \quad (4.35)$$

Bir hal değişimi için entropi değişimi bağıntıları ve izantropik bağıntılar aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

Saf maddelerde herhangi bir hal değişimi için;

$$\Delta s = s_2 - s_1 \quad (4.36)$$

Saf maddelerde izantropik hal değişimi için;

$$s_2 = s_1 \quad (4.37)$$

Sıkıştırılmaz maddelerde herhangi bir hal değişimi için;

$$s_2 - s_1 = C_{\text{ort}} \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (4.38)$$

Mükemmel gazlarda sabit özgül ısılar (yaklaşık çözüm) varsayımıyla herhangi bir hal değişimi için entropi değişimi;

$$s_2 - s_1 = C_{p,\text{ort}} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (4.39)$$

şeklinde [1].

4.1.5 Ekserji (Kullanılabilirlik)

Belirli bir haldeki sistemde varolan enerjinin iş potansiyeli, sistemden elde edilebilecek en fazla yararlı iş ekserji (kullanılabilirlik) olarak tanımlanmaktadır [1].

Kullanılabilirlik çözümlemesinde ilk hal sistem koşullarıdır ve belirlidir. İki hal arasında sistem tarafından yapılan en çok iş, hal değişiminin tersinir olması durumunda

gerçekleşir. Bu nedenle sistemden elde edilebilecek en çok işi belirlerken tersinmezlikler göz önüne alınmaz. Bir sistemden en çok işi elde edebilmek için, hal değişimi sonunda sistemin ölü halde olması gerekir.

Ölü hal, bir sistemin çevresiyle termodinamik dengede bulunması anlamına gelir. Ölü haldeyken sistem çevre sıcaklığında ve basıncındadır. Başka bir deyişle çevreyle ısı ve mekanik dengededir. Sistemin ölü haldeki özellikleri, (P_0, T_0, u_0, s_0) sıfır indisiyle gösterilir. Bir sistemin ölü haldeki kullanılabilirliği sıfırdır.

Bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, sistem belirli bir başlangıç halinden, tersinir bir hal değişimiyle çevrenin bulunduğu hale (ölü hal) getirilirse elde edilir. Bu değer, sistemin verilen başlangıç halinde, yararlı iş potansiyelini veya iş yapma olanağını gösterir ve kullanılabilirlik (ekserji) diye adlandırılır. Kullanılabilirlik bir sistemin termodinamik yasalarına uygun olarak yapabileceği işin üst sınırını belirler. Böylelikle sistemin kullanılabilirliğe dayalı ikinci yasa verimi hesaplanırken iyileştirme potansiyeli tanımlanabilir.

Verilen bir halde sistemin kullanılabilirliği, sistemin özelliklerinin yanı sıra çevre koşullarına yani ölü hale bağlıdır. Bu bakımdan kullanılabilirlik sadece sistemin değil, sistem-çevre ikilisinin bir özelliğidir.

4.1.5.1 Tersinir İş ve Tersinmezlik

Kapalı veya açık bir sistemde yapılan gerçek iş W , enerjinin korunumu denklemleriyle hesaplanabilir. Eğer sistemin hacmi değişiyorsa, yapılan işin bir bölümü çevreye karşı yapılır ve çevre işi $W_{\text{çevre}}$ adını alır. Bu iş, P_0 basıncındaki çevre havayı itmek için kullanılır ve başka bir amaca yöneltilemez. Toplam gerçek iş ile çevre işi arasındaki fark yararlı iş W_y diye bilinir ve aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır [1]:

$$W_y = W - W_{\text{çevre}} = W - P_0(V_2 - V_1) \quad (4.40)$$

Çevre işi çevrimler, sürekli akışlı sistemler ve sabit sınırları olan sistemler için sıfırdır.

Verilen iki hal arasındaki değişim sırasında bir sistemden elde edilebilecek en fazla yararlı iş, tersinir iş W_{tr} diye tanımlanır. Bu iş, ilk ve son haller arasındaki hal değişiminin

tümden tersinir olması durumunda elde edilir. Eğer son hal çevre hali (P_0, T_0) ise tersinir iş kullanılabilirliğe eşit olur.

Tersinir iş W_{tr} ile yararlı iş W_y arasındaki fark hal değişimi sırasındaki tersinmezliklerden kaynaklanır ve tersinmezlik I diye tanımlanır. Kapalı veya açık tüm sistemler için tersinmezlik şu şekilde belirtilir:

$$I = W_{tr} - W_y = T_0 S_{\text{üretim}} \quad (4.41)$$

Eşitlik (4.41)'de $S_{\text{üretim}}$ hal değişimi sırasındaki toplam entropi üretimidir. Tümden tersinir bir hal değişimi için, tersinir iş ve yararlı iş terimleri eşittir ve tersinmezlik sıfırdır.

Tersinmezlik, iş yapma olanağında eksilme gibi de düşünülebilir. İşe dönüştürülebilecek olan fakat dönüştürülemeyen enerjiyi gösterir.

4.1.5.2 Sürekli Akışlı Açık Sistemlerde Kullanılabilirlik

Çevresiyle ısı alışverişinde bulunan, birden çok giriş ve çıkışa sahip sürekli akışlı açık bir sistem için termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \left(h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + gz_\zeta \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \quad (4.42)$$

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\zeta s_\zeta - \sum \dot{m}_g s_g + \frac{\dot{Q}_{\text{çevre}}}{T_0} \quad (4.43)$$

Yukarıdaki denklemlerde $\dot{S}_{\text{üretim}}$, açık sistemin toplam entropi üretimi ve

$\dot{Q}_{\text{çevre}} = -\dot{Q}$ 'dur. Bu iki denklemde ısı geçişi terimi yok edilirse aşağıdaki eşitlik elde edilir;

$$\dot{W} = \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right) - \sum \dot{m}_\zeta \left(h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + gz_\zeta - T_0 s_\zeta \right) - T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (4.44)$$

Eşitlik (4.44)'de verilen $\dot{W}$, açık sistemde yapılan gerçek iştir ve aynı zamanda yararlı işe eşittir, çünkü sürekli akışlı açık sistemlerin sınırları sabit olup çevre işi sözkonusu değildir.

Tersinir işi bulmak için, Eşitlik (4.44)'de toplam entropi üretimi terimi $\dot{S}_{\text{üretim}}$ sıfıra eşitlenirse;

$$\dot{W}_{\text{tr}} = \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right) - \sum \dot{m}_\zeta \left(h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + gz_\zeta - T_0 s_\zeta \right) \quad (4.45)$$

ifadesi elde edilir. Bir giriş ve bir çıkışa sahip sürekli akışlı açık sistem için Eşitlik (4.45) tekrar düzenlenirse;

$$\dot{W}_{\text{tr}} = \dot{m} \left[(h_g - h_\zeta) - T_0 (s_g - s_\zeta) + \frac{V_g^2 - V_\zeta^2}{2} + g(z_g - z_\zeta) \right] \quad (4.46)$$

elde edilir. Eşitlik (4.46) birim kütle için şu şekilde yazılır:

$$w_{\text{tr}} = (h_g - h_\zeta) - T_0 (s_g - s_\zeta) + \frac{V_g^2 - V_\zeta^2}{2} + g(z_g - z_\zeta) \quad (4.47)$$

Bir akışın kullanılabilirliği (ekserjisi) ψ ile gösterilir ve Eşitlik (4.47)'de giriş hali indissiz olarak, çıkış hali de ölü hal olmak üzere sıfır (0) indisiyle gösterilirse, ($V_0 = 0$, $z_0 = 0$);

$$\psi = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz \quad (4.48)$$

elde edilir.

Birim kütle için akış ekserjisi genel olarak fiziksel, kinetik, potansiyel ve kimyasal ekserji çeşitlerinin toplamı olarak ifade edilir. Akış sırasında kimyasal bir tepkime olmadığı için akışın kimyasal ekserjisi yoktur. Eşitlik (4.48)'de akışın hızı ve yüksekliği ihmal edilirse akışın içerdiği birim fiziksel ekserji elde edilir [35].

$$e_x^{\text{PH}} = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (4.49)$$

4.1.5.3 Ekserji Çeşitleri ve Temel Bağlılıklar

Nükleer, manyetik, elektriksel ve yüzey gerilim etkileri ihmal edilirse, bir sistemin toplam ekserjisi E_x dört bileşene ayrılabilir. Bunlar, fiziksel ekserji E_x^{PH} , kinetik ekserji E_x^{KN} , potansiyel ekserji E_x^{PT} ve kimyasal ekserji E_x^{CH} 'dir ve

$$E_x = E_x^{\text{PH}} + E_x^{\text{KN}} + E_x^{\text{PT}} + E_x^{\text{CH}} \quad (4.50)$$

şeklinde gösterilir.

Ekserji yaygın bir özellik olmasına rağmen, birim kütle ile çalışmak daha uygun olur. Sistemin birim kütlesi esas alınarak tanımlanan toplam özgül ekserjisi aşağıdaki gibi tanımlanır [35]:

$$e_x = e_x^{PH} + e_x^{KN} + e_x^{PT} + e_x^{CH} \quad (4.51)$$

Bir sistemde kinetik enerji aynı zamanda kinetik ekserji ifadesine eşittir ve

$$e_x^{KN} = \frac{1}{2} V^2 \quad (4.52)$$

olarak yazılır. Aynı zamanda potansiyel enerji de potansiyel ekserji ifadesine eşittir.

$$e_x^{PT} = gz \quad (4.53)$$

Çevreye göre durgun halde bulunan bir sistemde; $e^{KN} = e^{PT} = 0$ olarak düşünülebilir. Böylece Eşitlik (4.51) aşağıdaki gibi yazılır:

$$e_x = e_x^{PH} + e_x^{CH} \quad (4.54)$$

4.1.5.3.1 Fiziksel Ekserji

Saf maddelerin fiziksel ekserjisi genel olarak;

$$e_x^{PH} = (u - u_0) + p_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) \quad (4.55)$$

şeklinde verilir [35]. Burada u_0, v_0, s_0 sırasıyla, bir madde akımının ısı kaynağı olarak kabul edilen T_0 sıcaklığı ve basıncındaki özgül iç enerji, özgül hacim ve özgül entropi değerleridir. Ayrıca fiziksel ekserji;

$$e_x^{PH} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (4.56)$$

şeklinde yazılabilir. Toplam fiziksel ekserji akısı;

$$\dot{E}_x^{PH} = \dot{m}.e_x^{PH} \quad (4.57)$$

olur.

4.1.5.3.2 Kimyasal Ekserji

Sürekli akışlı açık bir sisteme giren akışlar sistemi terk ederken, sistemde kimyasal tepkimeler meydana geliyor ve yeni maddeler oluşuyorsa, akışların kullanılabilirliğinde kimyasal ekserji terimi de yer alır.

Standart kimyasal ekserjiler, sıcaklığı T_0 ve basıncı P_0 olan (örneğin $298\text{ K} = 25\text{ °C}$ ve 1 bar) standart bir çevreye dayandırılırlar. Standart çevre mümkün oldukça doğal çevrenin kimyasal yapısındaki maddelere uygun olarak yansıtılmaya çalışılır. Referans maddeler genel olarak üç grupta toplanabilir. Bunlar: atmosferdeki gaz fazındaki maddeler, litosferdeki katı maddeler ve okyanuslardaki iyonlar ve non-iyonlardır. Mühendislik çalışmaları için iki standart çevre hali kabulü yapılır. Bunlar model I ve model II olarak tanımlanır [35].

Model I’de, sınırlı bir kimyasal dengedeki nitrik asit ve nitratlarla, atmosferdeki kimyasal bileşenler, okyanuslar ve bir kısım litosfer için sınırsız bir termodinamik denge kabul edilerek düşünülür. Model II daha değişik bir yaklaşımda bulunur. Üzerinde düşünülen ve tamamen dengede olmasalar bile doğal çevreden seçilen her bir kimyasal element için bir referans madde seçimine dayanır. Model I termodinamik teoremin denge gereksinimini karşılarken, Model II tatmin edici bir denge tanımına dayanmaksızın doğal çevrenin madde kompozisyonuna daha yakındır.

Gaz ve Gaz Karışımlarının Standart Kimyasal Ekserjileri:

Gaz k’nın ideal gaz kabulü ile birim molü için kimyasal ekserjisi:

$$\bar{e}_k^{\text{CH}} = -\bar{R}T_0 \ln \frac{x_k^e P_0}{P_0} = -\bar{R}T_0 \ln x_k^e \quad (4.58)$$

Her biri çevrede gaz fazında bulunan N adet gazdan oluşan bir gaz karışımının kimyasal ekserjisi, her bir gazın karışımdaki mol oranları kullanılarak bulunabilir. Bütün bileşenleri toplayarak, karışımın birim molünün kimyasal ekserjisi aşağıdaki bağıntıyla bulunur:

$$\bar{e}^{\text{CH}} = -\bar{R}T_0 \sum x_k \ln \frac{x_k^e}{x_k} \quad (4.59)$$

Eşitlik (4.59)'da doğal logaritma terimini Eşitlik (4.58)'e uygularsak, alternatif olarak,

$$\bar{e}^{CH} = \sum x_k \bar{e}_k^{CH} + \bar{R}T_0 \sum x_k \ln x_k \quad (4.60)$$

elde edilir.

Eşitlik (4.60) ideal gaz modelinin dışındaki gaz karışımlarına da uygulanabilir.

Bağıntıdaki $\bar{e}_k^{CH}$ terimleri, ilgili standart kimyasal ekserji tablolarından kullanılan modele göre alınır.

Yakıtların Standart Kimyasal Ekserjileri:

Prensip olarak, çevrede örneği bulunmayan bir maddenin standart kimyasal ekserjisi, o maddenin, kimyasal ekserjileri bilinen diğer maddelerle (genellikle referans maddelerle) ideal durumda gerçekleşmiş olan reaksiyonundan hareketle değerlendirilir [35].

Bu durumda yanma reaksiyonundaki sistemin ekserji dengesi aşağıdaki şekilde kurulur:

$$\bar{e}_f^{CH} = \left[\bar{g}_f + \left(a + \frac{b}{4} \right) \bar{g}_{O_2} - a \bar{g}_{O_2} - \frac{b}{2} \bar{g}_{H_2O(l)} \right] (T_0, p_0) + \left[a \bar{e}_{CO_2}^{CH} + \frac{b}{2} \bar{e}_{H_2O(l)}^{CH} - \left(a + \frac{b}{4} \right) \bar{e}_{O_2}^{CH} \right] \quad (4.61)$$

Buradaki Gibbs fonksiyonuyla ilgili ilk terim daha kısa şekilde $-\Delta G$ olarak yazılabilir, bu reaksiyonun Gibbs fonksiyonu değişiminin negatifidir. Denklemden ilgili model için kimyasal ekserjiler ve Gibbs fonksiyonları değerleri ilgili tablolardan reaksiyondaki maddeler için alınır.

Bağıntıdaki a ve b değerleri hidrokarbon yakıtının atom sayılarıdır. Birden fazla hidrokarbonlu yakıtlar için stokiometrik katsayılar bu katsayıların yerini alır.

Reaksiyona girenleri ve çıkanları mükemmel gaz kabulü ile kimyasal ekserjiler,

$$\bar{e}_F^{CH} = \bar{g}_F + \sum_{i=1}^n v_{p,i} \bar{g}_{p,i} + \sum_{i=1}^n v_{p,i} \bar{e}_{p,i}^{CH} \quad (4.62)$$

olur.

Buradaki Gibbs fonksiyonu,

$$\bar{g}_F = \sum_i v_{r,i} \bar{g}_{r,i} \quad (4.63)$$

ve

$$\sum_{i=1}^n v_{p,i} \bar{e}_F^{CH} = -\bar{R}T_0 \sum_{i=1}^n v_{p,i} \ln \frac{v_{0,i}}{v_{p,i}} \quad (4.64)$$

olmaktadır.

Burada $v_{p,i}$ ve $v_{r,i}$ sırasıyla reaksiyona giren ve çıkanların stokiometrik katsayılarıdır.

Reaksiyona giren havanın fiziksel ve kimyasal ekserjileri sıfır olarak kabul edilmiştir[35].

4.1.5.4 Ekserji Kaybı

Sürekli akışlı açık sistemde, sistemden alınabilecek en fazla (tersinir) iş ile sistemden elde edilen yararlı iş arasındaki fark, tersinmezlik olarak ifade edilmektedir [1].

$$\dot{I} = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_{yr} = T_0 \dot{S}_{\dot{u}} \quad (4.65)$$

Sürekli akışlı açık sistemlerde sisteme giren akış ile sistemden çıkan akışın taşıdığı ekserjiler arasında oluşan fark da sistemdeki tersinmezliklerden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden sistemin herhangi bir elemanı için birim zamanda yok edilen ekserji miktarı, incelenen elemana giren akışın ekserjisinden, elemandan çıkan akışın ekserjisi çıkarıldığı zaman bulunur.

$$\dot{E}x_k = \dot{E}x_g - \dot{E}x_{\dot{\chi}} \quad (4.66)$$

veya

$$\dot{E}x_k = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_g e_{x_g} - \sum \dot{m}_{\dot{\chi}} e_{x_{\dot{\chi}}} \quad (4.67)$$

şeklinde ifade edilebilir [35].

Ekserji yok oluşu, akış ekserjilerinin kullanılabilirliğinin farkıdır. Ekserji yok oluşu; sistemde üretilen entropi ile çevre sıcaklığının çarpımıyla da ifade edilebilir.

$$\dot{E}x_k = T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (4.68)$$

Sistemin tümünde yok edilen ekserji ise her bir elemanda yok edilen ekserjilerin toplamıdır.

$$\sum_{x=1}^n \dot{E}x_{k_x} = \dot{E}x_{k_1} + \dot{E}x_{k_2} + \dot{E}x_{k_3} + \dots + \dot{E}x_{k_n} \quad (4.69)$$

4.1.5.5 İdeal Buharlı Güç Çevriminde Termodinamiğin II. Yasa Çözümlemesi

İdeal Carnot çevrimi tümünden tersinir bir çevrimdir, bu nedenle herhangi bir tersinmezlik içermez. İdeal Rankine çevrimleri (basit, ara ısıtmalı veya ara buhar almalı) ise sadece içten tersinirdir, bundan dolayı bu çevrimlerde, sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi gibi, dıştan tersinmezlikler olabilir. Çevrimlerin ikinci yasa çözümlemesi, tersinmezliklerin nerede oluştuklarını ve büyüklüklerini belirler.

T_R sıcaklığındaki bir ısı enerji deposuyla $\dot{Q}_R$ miktarda ısı alışverişinde bulunan sürekli akışlı açık sistem için birim zamanda oluşan tersinmezlik aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\dot{i} = T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} = T_0 \left(\sum \dot{m}_\zeta s_\zeta - \sum \dot{m}_g s_g + \frac{\dot{Q}_R}{T_R} \right) \quad (4.70)$$

Eşitlik (4.70) bir giriş ve bir çıkışlı sürekli akışlı açık sistem için sadeleştirilebilir:

$$\dot{i} = T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} = T_0 \left(s_\zeta - s_g + \frac{q_R}{T_R} \right) \quad (4.71)$$

Bir çevrimin tersinmezliği sıcak ve soğuk ortamlarla yapılan ısı alışverişlerinin büyüklüğüne ve ortamların sıcaklığına bağlıdır. Birim kütle için çevrimin tersinmezliği aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\dot{i} = T_0 \sum \frac{q_R}{T_R} \quad (4.72)$$

T_H ve T_L sıcaklıklarındaki ortamlarıyla ısı alışverişinde bulunan bir çevrim için tersinmezlik;

$$\dot{i} = T_0 \left(\frac{q_\zeta}{T_L} - \frac{q_g}{T_H} \right) \quad (4.73)$$

şeklinde yazılır.

Verilen bir hal için akışın kullanılabilirliği Eşitlik (4.48) ile ifade edilmişti. Eşitlik (4.48)'de sıfır (0) indisi çevre halini göstermektedir. Açık sistem için tersinir iş, aracı akışkanın kullanılabilirliğindeki değişimi bularak hesaplanabilir [1].

4.2 Termoekonomik Analiz

Maliyetle ekserji analizini bir araya getirme fikri ilk defa 20. yüzyılın ortalarına doğru ortaya çıkmıştır. Tsatsaronis'e göre bu konudaki ilk uygulama Benedict'in 1949'daki basılmamış bir notunda yer almıştır. Benedict, bir hava ayrıştırma tesisinde toplam maliyet hesabı yaparken, bunun ne kadarının sistemdeki tersinmezliklerden kaynaklandığını bularak bunu "optimal tasarım-fiyat" hesabında kullanmıştır.

Günümüzde sınırlı doğal kaynaklardan elde edilen enerjinin giderek artan tüketim karşısında daha da kıymetli hale geldiği göz önüne alındığında, sistemlerin hem daha ucuz hem de daha verimli tasarlanması gerekmektedir.

Enerji dönüşümleri tersinmezliklerle sınırlıdır. Birinci yasaya göre göz ardı edilen bu tersinmezliklerin yerleri ve miktarları ikinci yasa ile belirlenir. Tersinmezliklerden doğan kullanılabilir enerji (ekserji) kaybını azaltmaya yönelik değişiklikler sistem maliyetini artırır, bu nedenle tek yönlü yaklaşımlar gerçekçi olmaz. Sistemden elde edilen ürünün maliyeti de düşünülmelidir [36].

4.2.1 Ekonomik Analiz İçin Yardımcı Temel Denklemler

Ekonomik analizin yapılabilmesi için, bir sistemin ürün oluşum sürecini ve bu süreç sonunda ortaya çıkacak olan ürün hacmini belirleyen en önemli faktörlerden biri maliyetlerdir. Maliyet, bir ürünün (veya herhangi bir hizmetin, malzemenin, donanımın vb.) elde edilmesi veya üretilmesi için ödenen her türlü kaynak olarak tarif edilebilir.

Maliyetler; sabit ve değişken maliyetler olmak üzere iki kısımda incelenebilirler.

Sabit maliyetler, sistemin (tesis, araç) ilk yatırım ve kurulumu için yapılan harcamalar ile vergiler, sigortalar, amortisman bedeli vb. diğer maliyetler şeklinde yazılabilir. Bunun yanında bakım masrafları da (programlı bakım) zaman zaman bu kategori içinde yer alabilir. Sabit maliyetlerin üretim miktarı üzerinde çok ciddi bir etkisi bulunmamaktadır.

Değişken maliyetler ise yakıt, çalışanların ücretleri, kaynaklar, hammadde, enerji ve eskalasyon şeklinde listelenebilir. Değişken maliyetlerin üretim hacmi üzerinde doğrudan etkisi bulunmaktadır.

Bir sistemin ekonomik analizinde ilk adım genelde toplam ilk yatırım maliyetlerinin belirlenmesidir. Ancak, yakıt ve işletme-bakım gibi değişken maliyetlerden farklı olarak ilk yatırım maliyetleri, sistemin çalışma ömrü boyunca bir defa olmak üzere yapılan harcama türüdür. Bu nedenle sürekli yapılan harcamalar ile bir defa yapılan harcamaları aynı tür altında toplayabilmek için bir takım farklı düzenlemeler gerekmektedir [37].

4.2.1.1 Paranın Zaman Değeri

Şimdiki zamanda sahip olunan belirli bir miktarda para, bir süre sonra (örneğin bir yıl sonra) sahip olunacak aynı miktarda paradan çok daha değerlidir çünkü şimdiki zamandaki para yatırıma dönüştürülebilmektedir. Bu nedenle belli bir proje çerçevesinde, paranın zaman içinde yapacağı veya yapmış olduğu hareketler önem taşımaktadır. Bu hareketlerin etkileri aşağıda açıklanan bazı yöntemlerin kullanılmasıyla değerlendirilmektedir.

4.2.1.2 Paranın Gelecekteki Değeri (F)

P miktarda para, n periyot, i bileşik faiziyle bir hesaba yatırıldığında, yatırılan paranın gelecekteki (n zaman sonra) değeri (F);

$$F = P(1+i)^n \quad (4.74)$$

denklemleri hesaplanabilmektedir. Eşitlik (4.74)'de kullanılan i ve n terimleri sırasıyla faiz oranı ve zamanı göstermektedir.

4.2.1.3 Bileşik Faiz Frekansı

Mühendislik sistemlerinin ekonomik analizlerinde zaman birimi olarak genellikle yıl kullanılır. Ancak eğer bileşik faiz bir yıl içerisinde p defa gerçekleşiyorsa F ;

$$F = P \left(1 + \frac{i}{p} \right)^{np} \quad (4.75)$$

şeklinde hesaplanır. Burada np periyot sayısını ve i/p periyot başına faiz oranını göstermektedir. Bu denklemde kullanılan i terimi nominal faiz oranıdır. Bileşik faizin bir yıl içinde p defa yapılmak yerine bir yıl içinde bir defa yapıldığı yıllık faiz oranı da “efektif faiz oranı” şeklinde isim alır. Efektif faiz oranı;

$$i_{\text{eff}} = \left(1 + \frac{i}{p} \right)^p - 1 \quad (4.76)$$

bağıntısıyla bulunur. (4.75) ve (4.76) eşitlikleri birleştirildiğinde, paranın gelecekteki değeri;

$$F = P (1 + i_{\text{eff}})^n \quad (4.77)$$

şeklinde ifade edilir.

4.2.1.4 Paranın Şimdiki Değeri (P)

Gelecek zaman içinde belirli dönemlerde yapılacak olan harcamalar ve kazanılacak olan gelirlerin şimdiki zamandaki değerlerinin bilinmesine ekonomik analizlerde sıklıkla gereksinim duyulur. Gelecekteki belli bir miktar para, belirli bir faiz oranıyla ulaşılabilecek paranın şimdiki değeri olarak tanımlanır (P) ve;

$$P = F \frac{1}{(1 + i_{\text{eff}})^n} \quad (4.78)$$

ifadesiyle gösterilir. Gelecek değerle şimdiki değer arasındaki fark iskonto olarak tanımlandığından i_{eff} , efektif iskonto oranı olarak ifade edilir.

4.2.1.5 Yıllık Ödemeler

Eşit zaman aralıklarında meydana gelen eşit para hareketleri olarak tanımlanır. Genelde kullanılan zaman aralığı bir yıldır. Kredi, sigorta ve yakıt ödemeleri, çalışan ücretleri, gelirler şeklinde örnekleri verilebilen yıllık ödemeler (A);

$$F = A \frac{(1+i_{\text{eff}})^n - 1}{i_{\text{eff}}} \quad (4.79)$$

bağıntısından elde edilebilir.

4.2.1.6 AnaPara Geri Kazanım Faktörü (CRF)

Bir yıllık ödemenin şimdiki değeri, belli bir dönem sonundaki yıllık ödeme toplamının, efektif faiz oranıyla yıllık ödeme başlangıcında yatırılmış olması durumundaki parasal değeri olarak ifade edilir ve;

$$\frac{P}{A} = \frac{(1+i_{\text{eff}})^n - 1}{i_{\text{eff}} (1+i_{\text{eff}})^n} \quad (4.80)$$

şeklinde gösterilir. Eşitlik (4.80)'in sağ tarafı, şimdiki değer faktörünün uniform serisi olarak tanımlanır. Bu değerin tersi de anapara geri kazanım faktörü (CRF);

$$CRF = \frac{A}{P} = \frac{i_{\text{eff}} (1+i_{\text{eff}})^n}{(1+i_{\text{eff}})^n - 1} \quad (4.81)$$

olarak ifade edilir. CRF, şimdiki değeri P olan, n tane para hareketindeki birbirine eşit yıllık ödemelerin saptanmasında kullanılır.

4.2.1.7 Enflasyon

Enflasyon, bir mal ya da hizmetin kalitesinde herhangi bir artış olmadan (ya da aynı oranda bir artışın olmadığı), aynı mal ya da hizmetin parasal değerindeki artıştır. Enflasyon meydana geldiğinde, maliyetler sürekli değişir.

4.2.1.8 Eskalasyon

Herhangi bir harcamada, zaman içerisinde çeşitli nedenlerden (kaynakların tükenmesi, azalması, teknolojik gelişim, talep artışı-azalışı) dolayı görülen değişime eskalasyon denir.

Gerçek eskalasyon değeri, (r_r) enflasyondan bağımsızken, maliyetlerdeki yıllık değişim miktarı olan nominal (görünen) eskalasyon değeri (r_n) hem gerçek eskalasyon değerinden hem de enflasyondan etkilenmektedir.

4.2.1.9 Seviyelendirme

Herhangi bir harcamaya n yıl boyunca maliyet eskalasyonu uygulandığında, herhangi bir yıla uygulanan eskalasyonun bir önceki yıldaki eskalasyondan $(1+r_n)$ kat daha fazla olacağı uniform olmayan bir seri elde edilir (r_n burada sabit değişim miktarı, yani nominal eskalasyon değeridir). Bu da harcamaların geometrik bir seride olması şeklinde sonuçlanmaktadır.

Eskalasyon düzeltme faktörü (CELF) olarak bilinen bu terim, ilk yılın başındaki harcama miktarı (P_0) ile artık seviyelendirilmiş değer olarak kabul edilen eşit bir yıllık ödeme arasındaki ilişkiyi ifade etmekte kullanılmaktadır. “Bir değere getirilmiş fiyat düzeltme faktörü” (k);

$$k = \frac{1+r_n}{1+i_{eff}} \quad (4.82)$$

olmak üzere;

$$CELF = \frac{k(1-k^n)}{1-k} CRF \quad (4.83)$$

şeklinde elde edilir.

Ayrıca bir değere getirilme faktörü (A),

$$A = \frac{CELF}{1+r_i} \quad (4.84)$$

şeklinde hesaplanır [35].

4.2.2 Termoekonomik Analiz Çözümleme Yöntemi

Termoekonomik Analiz Çözümlemesi iki adımda gerçekleşir.

- Birinci adımda termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarından yararlanarak ele alınan sistem bileşenlerinde, tersinmezlikler nedeniyle kaybolan ekserji miktarları ve yerleri belirlenir.
- İkinci adımda ise sistemi oluşturan her bileşene ayrı ayrı maliyet denge denklemleri uygulanarak akımların birim ekserji maliyetleri hesap edilir.

Böylece bu yöntem sayesinde, elde edilen ekserji kayıpları ve birim ekserji maliyetleri birlikte analiz edilerek sistemin hangi bileşeninde iyileştirme yapılması gerekliliğine karar verilebilir.

Ekserji akımının maliyeti ($\dot{C}$), birim ekserji maliyeti (c) ile ekserji akımının çarpımına eşittir.

$$\dot{C} = c \times \dot{E}_x \quad (4.85)$$

Herhangi bir sistem bileşeni için maliyet denge denklemi,

$$\sum_g c_g \dot{E}_{x_g} + \dot{Z} = \sum_{\varsigma} c_{\varsigma} \dot{E}_{x_{\varsigma}} \quad (4.86)$$

şeklinde ifade edilir [35].

Eşitlik (4.86)'daki ($\dot{Z}$), sistem bileşeninin yatırım ve işletme bedellerini kapsayan “bir değere getirilmiş parasal değer”idir. Bu değer yıllık çalışma süresi, sistem ömrü, faiz, eskalasyon gibi ekonomik parametrelerin fonksiyonudur.

Eşitlik (4.86), herhangi bir bileşen için çıkan ekserji akımlarının toplam maliyetinin, giren ekserji akımlarının toplam maliyetleri ile yatırım ve işletme maliyetlerine bağlı bir değere getirilmiş parasal değer ($\dot{Z}$)'in toplamına eşit olduğunu ifade eder.

Birim ekserji akısının maliyeti (c), bu akımı oluşturmak için harcanan paradır. Bir üniteden elde edilmek istenen o ünite için “ürün” ve bu ürünü elde etmek için harcananlar da o ünite için “yakıt” olarak tanımlanır. Eğer bir ünitenin yakıtı başka bir üniteden gelen akımsa, bunun parasal değeri çıktığı ünite için ya da girdiği ünite için aynı olur. Bir ünitenin ürünü iki veya daha fazla akım ise, bu akımların da parasal değeri eşit alınır çünkü akımların ekserjisi değişse bile birim ekserji maliyeti aynıdır. Bir dış akımın taşıdığı ekserjinin maliyeti bu akımın çıktığı üniteye mal edilir.

İNCELENEN KÂĞIT ÜRETİM TESİSİNE TERMODİNAMİK VE TERMÖKONOMİK ANALİZ YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

5.1 Kâğıt Üretim Tesisi Ekserji Analizi

Kâğıt üretim tesisi ekserji analizi hesapları aşağıdaki kabuller yapılarak hesaplanmıştır.

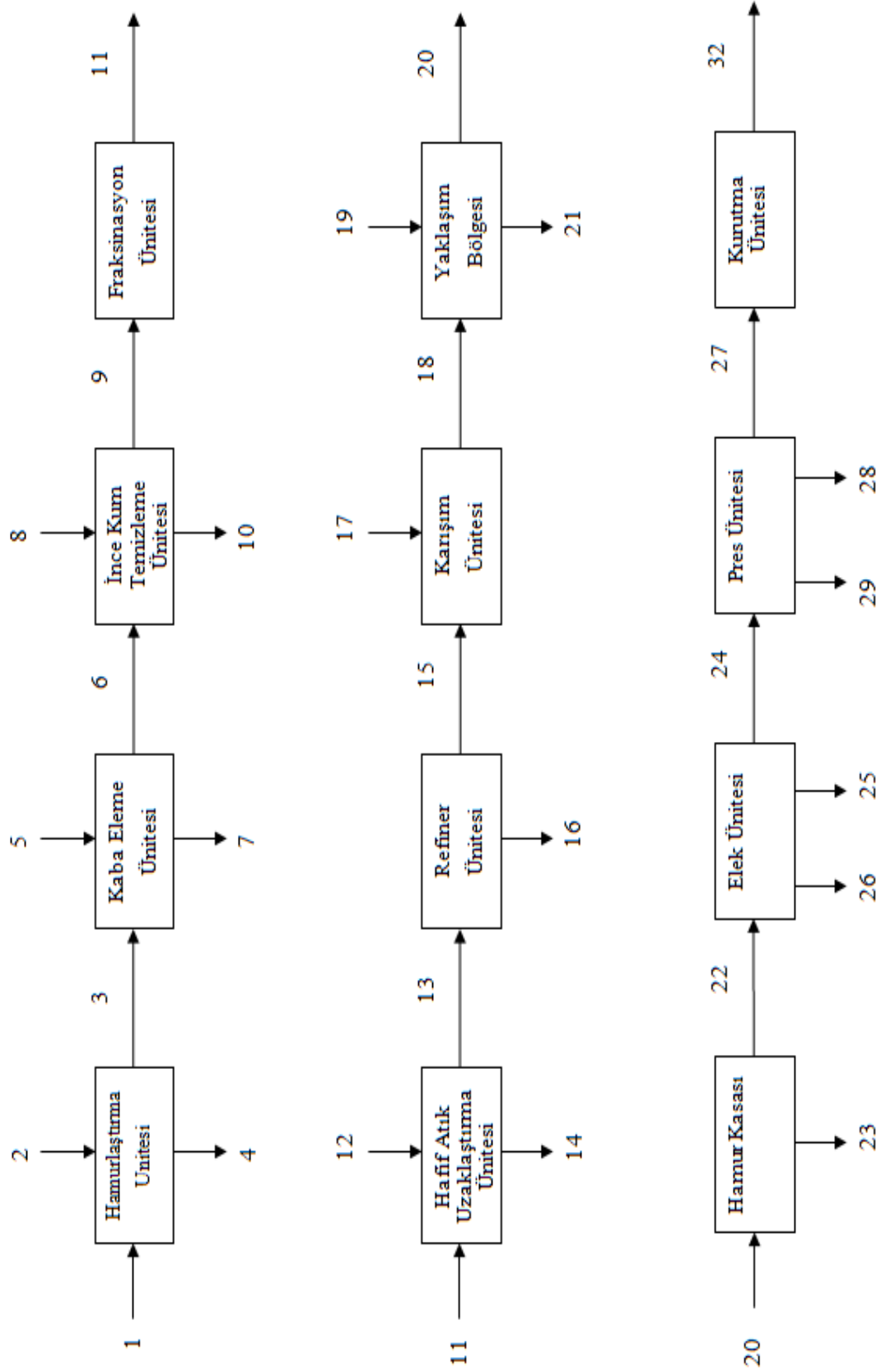
- Kâğıt Üretim Tesisini oluşturan her ünite için kütle, enerji ve ekserji denklilikleri tesisin devamlı çalışması sırasında, sürekli akışlı açık sistem davranışı sergilediği kabul edilerek oluşturulmuştur.
- Ünitelere giren ve çıkan maddelerin kinetik ve potansiyel enerjileri ihmal edilmiştir.
- Sistemde dolaşan hamur ve suyun akış ekserjileri, bu akımların sadece fiziksel ekserji taşıdığı varsayılarak hesaplanmıştır.
- Ölü hal; çevre sıcaklığının $T_0 = 25\text{ °C}$ ve basıncının $P_0 = 1\text{ atm}$ kabul edildiği referans koşullarıdır.
- Hamur akışının farklı sıcaklık ve katı madde oranındaki özgül ısı değerlerinin tespiti için (5.1) eşitliği kullanılmıştır [38].

$$c_p = [0,005 + 1,092 \cdot T_{\text{ort}} \cdot K_o / 100 + (1 - K_o)] \cdot 4,178 \quad (5.1)$$

(5.1) eşitliğindeki “ K_o ” hamur içindeki katı madde oranını ifade eder.

- Kum, taş ve çakıldan oluşan atık maddenin özgül ısı değeri $c_p = 0,8 \text{ kJ} / \text{kgK}$ ve kullanılmış kâğıdın özgül ısı değeri $c_p = 1,34 \text{ kJ} / \text{kgK}$ kabul edilmiştir [38].

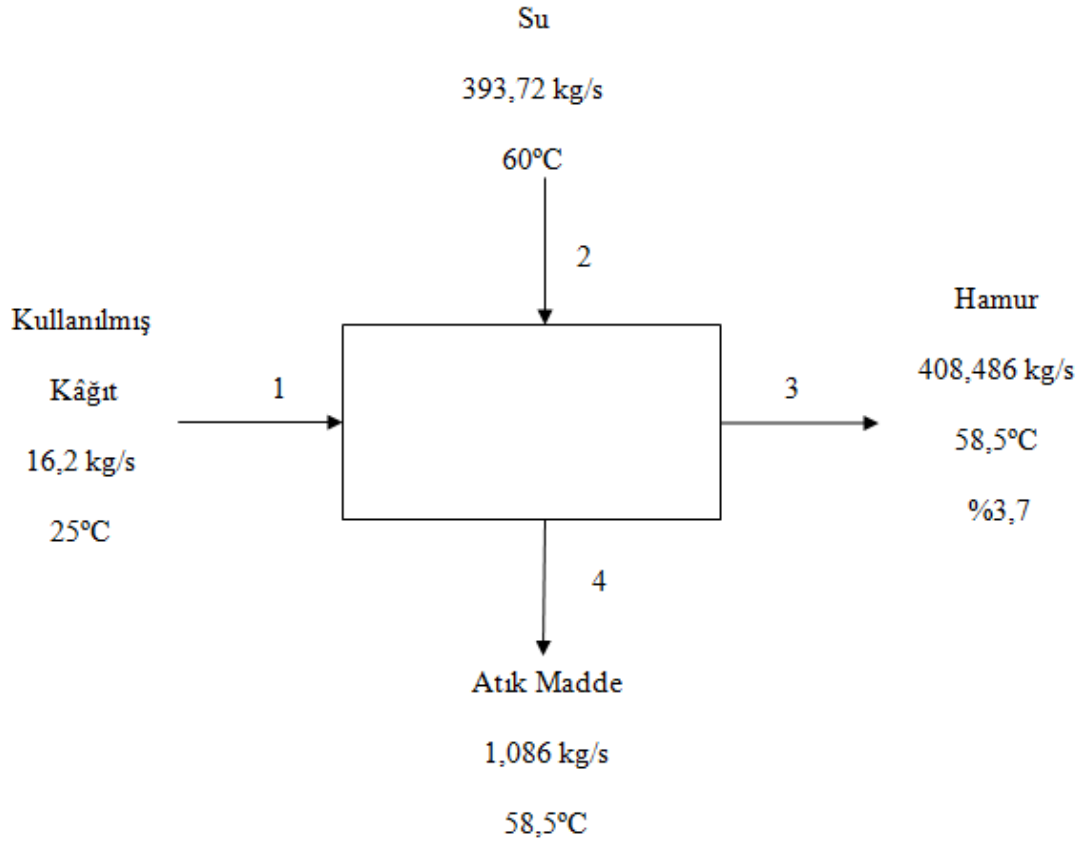
Şekil 5.1’de incelenen kâğıt üretim tesisinin üretim akış şeması verilmiştir. Üretimin ilk adımı olan “Hamurlaştırma Ünitesi”ne kütle, enerji ve ekserji denklikleri örnek uygulama olması açısından uygulanmıştır. Tesis oluşturulan diğer ünitelere (kurutma ünitesi hariç) bu denklikler ayrı ayrı uygulanarak elde edilen sonuçlar tablo haline getirilmiştir. Kurutma ünitesi ise Bölüm 5.1.2’de detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 5.1 Kâğıt üretim tesisi üretim akış şeması

5.1.1 Hamurlaştırma Ünitesi Ekserji Analizi

Hamurlaştırma ünitesinin ekserji analizini yapabilmek için üniteyi oluşturan akımların fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekir. Çizelge 5.3’de kağıt üretim tesisini oluşturan akımların ölçülen fiziksel özellikleri verilmiştir. Şekil 5.2’de ise hamurlaştırma ünitesini oluşturan akımlar ve fiziksel özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Hamurlaştırma ünitesini oluşturan akımlar

5.1.1.1 Kütle Dengesi

Hamurlaştırma Ünitesi için kütle korunumu ifadesi (4.7) eşitliği yardımıyla

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4 \quad (5.2)$$

şeklinde yazılabilir.

5.1.1.2 Enerji Dengesi

Hamurlaştırma Ünitesi için enerjinin korunumu (4.14) eşitliğinden

$$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{E}_3 + \dot{E}_4) - (\dot{E}_1 + \dot{E}_2) \quad (5.3)$$

veya

$$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{m}_3 \cdot c_{p3} \cdot T_3 + \dot{m}_4 \cdot c_{p4} \cdot T_4) - (\dot{m}_1 \cdot c_{p1} \cdot T_1 + \dot{m}_2 \cdot c_{p2} \cdot T_2) \quad (5.4)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Hamurlaştırma Ünitesinin toplam elektrik tüketimi

$$\dot{W}_{motor} = 2777 \text{ kW 'dır.}$$

(5.3) eşitliğinde gerekli değerler yerlerine koyulursa Hamurlaştırma Ünitesi için ısı kaybı,

$$\dot{Q} = -3040 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

5.1.1.3 Ekserji Dengesi

Hamurlaştırma Ünitesi için ekserji kaybı (4.66) eşitliği kullanılarak yazılabilir.

$$\dot{E}_{x_k} = (\dot{E}_{x_1} + \dot{E}_{x_2} + \dot{E}_w) - (\dot{E}_{x_3} + \dot{E}_{x_4} + \dot{E}_{x_q}) \quad (5.5)$$

(5.5) eşitliğinde kullanılmış kâğıdın sıcaklığı referans alınan çevre sıcaklığına (25 °C) eşit olduğu için kullanılmış kâğıdın fiziksel ekserjisi yoktur.

$$\dot{E}_{x_1} = 0$$

Hamur akımının fiziksel ekserjisi (4.56) ve (4.57) eşitliklerinin yeniden düzenlenmesiyle,

$$\dot{E}_x = \dot{m} \left[(c_p \cdot T - c_p \cdot T_0) - T_0 \cdot c_p \cdot \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right] \quad (5.6)$$

şeklinde yazılabilir.

Su akımının fiziksel ekserjisi (4.56) ve (4.57) eşitliklerinden,

$$\dot{E}_x = \dot{m}[(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad (5.7)$$

olarak elde edilir.

Ünitenin elektrik işi tüketiminden dolayı meydana gelen ekserji geçişi işin kendisine eşittir ve

$$\dot{E}_w = \dot{W}_{motor} \quad (5.8)$$

olarak yazılır.

Isı kaybından dolayı meydana gelen ekserji geçişi ise,

$$\dot{E}_{x_q} = \dot{Q} \left(1 - \frac{T_0}{T_{yüzey}} \right) \quad (5.9)$$

şeklinde ifade edilir.

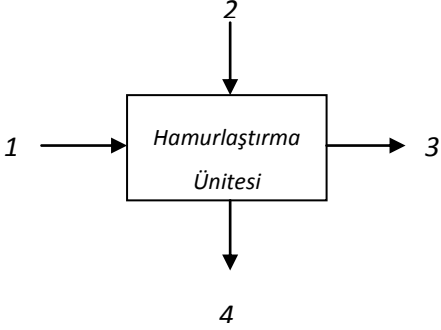
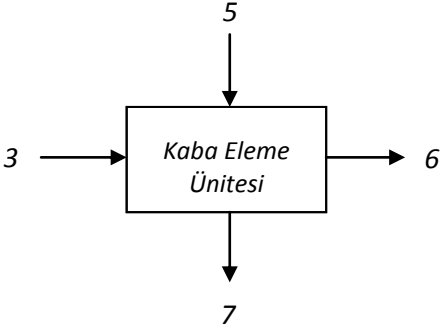
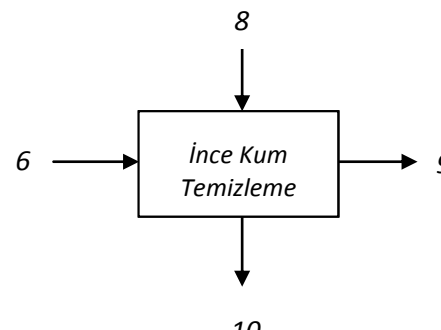
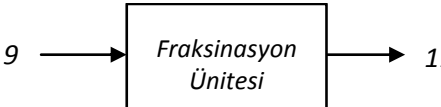
Isı kaybının olduğu yüzey sıcaklığı 40°C kabul edilip, (5.5) eşitliğinde gerekli değerler yerlerine konulursa hamurlaştırma ünitesinin toplam ekserji kaybı,

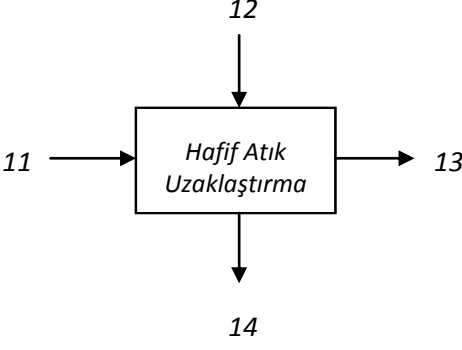
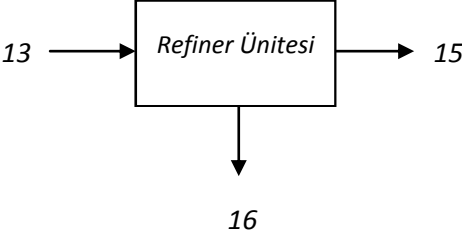
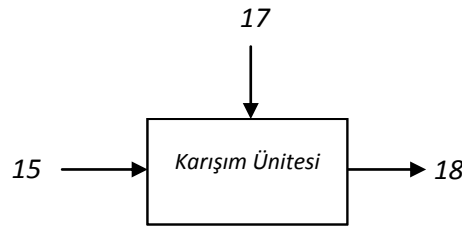
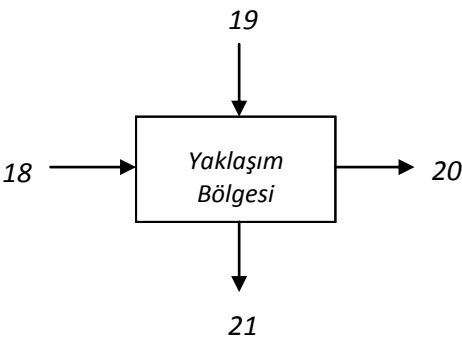
$$\dot{E}_{x_k} = 2827,35 \text{ kW}$$

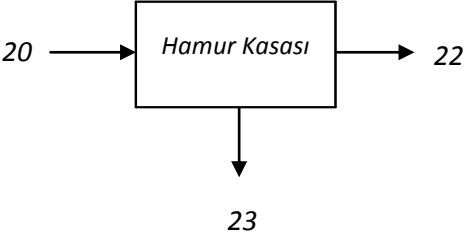
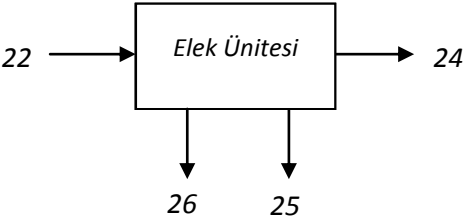
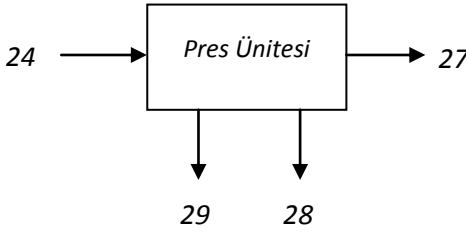
olarak bulunur.

Hamurlaştırma ünitesine uygulanan bağıntılar benzer şekilde kağıt üretim tesisini oluşturan bütün ünitelere ayrı ayrı uygulanırsa Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de belirtilen bağıntılar elde edilir.

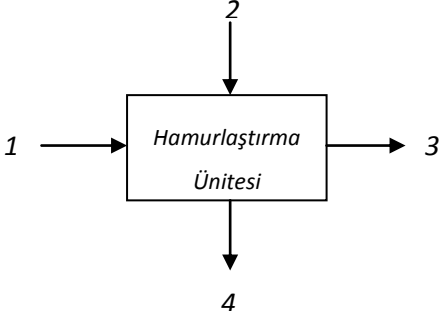
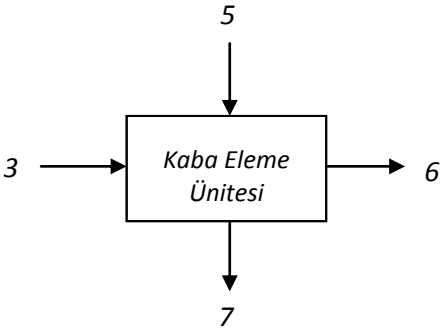
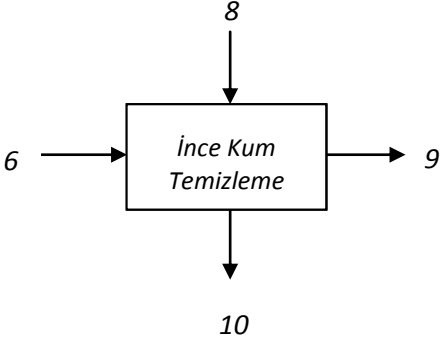
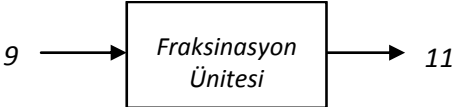
Çizelge 5.1 Ünitelerin enerji dengesi bağıntıları

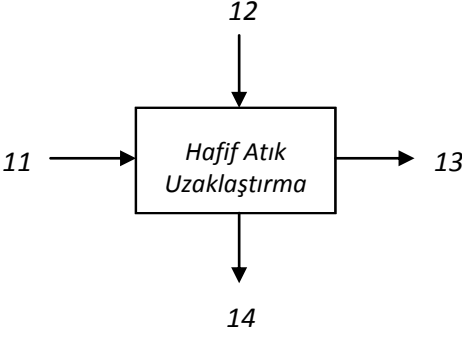
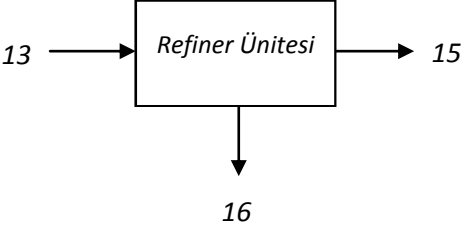
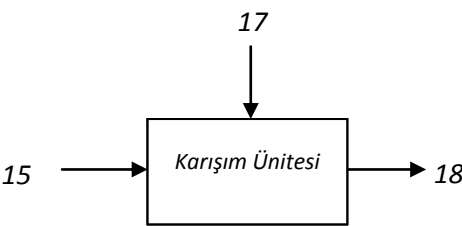
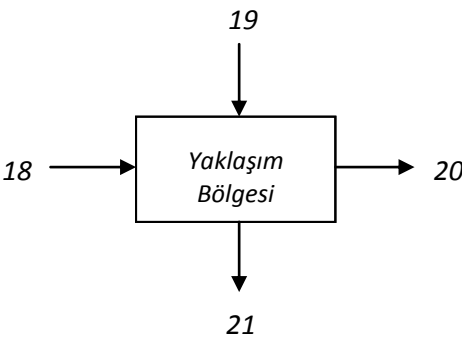
Ünite	Enerji Dengesi
	$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{E}_3 + \dot{E}_4) - (\dot{E}_1 + \dot{E}_2)$
	$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{E}_6 + \dot{E}_7) - (\dot{E}_3 + \dot{E}_5)$
	$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{E}_9 + \dot{E}_{10}) - (\dot{E}_6 + \dot{E}_8)$
	$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{E}_{11} - \dot{E}_9$

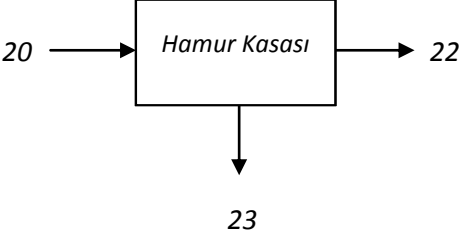
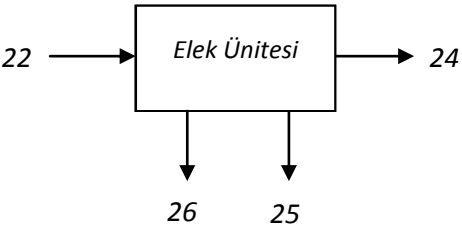
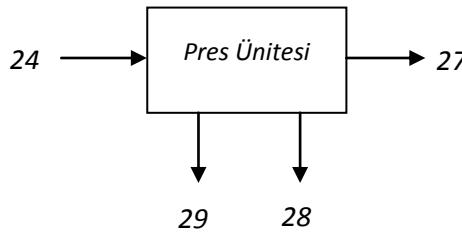
 <i>Hafif Atık Uzaklaştırma</i>	$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{E}_{13} + \dot{E}_{14}) - (\dot{E}_{11} + \dot{E}_{12})$
 <i>Refiner Ünitesi</i>	$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{E}_{15} + \dot{E}_{16}) - (\dot{E}_{13})$
 <i>Karışım Ünitesi</i>	$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{E}_{18}) - (\dot{E}_{15} + \dot{E}_{17})$
 <i>Yaklaşım Bölgesi</i>	$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{E}_{20} + \dot{E}_{21}) - (\dot{E}_{18} + \dot{E}_{19})$

	$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{E}_{22} + \dot{E}_{23}) - (\dot{E}_{20})$
	$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{E}_{24} + \dot{E}_{25} + \dot{E}_{26}) - (\dot{E}_{22})$
	$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{E}_{27} + \dot{E}_{28} + \dot{E}_{29}) - (\dot{E}_{24})$

Çizelge 5.2 Ünitelerin ekserji dengesi bağıntıları

Ünite	Ekserji Dengesi
	$\dot{E}_{x_k} = (\dot{E}_{x_1} + \dot{E}_{x_2} + \dot{E}_w) - (\dot{E}_{x_3} + \dot{E}_{x_4} + \dot{E}_{x_q})$
	$\dot{E}_{x_k} = (\dot{E}_{x_3} + \dot{E}_{x_5} + \dot{E}_w) - (\dot{E}_{x_6} + \dot{E}_{x_7} + \dot{E}_{x_q})$
	$\dot{E}_{x_k} = (\dot{E}_{x_6} + \dot{E}_{x_8} + \dot{E}_w) - (\dot{E}_{x_9} + \dot{E}_{x_{10}} + \dot{E}_{x_q})$
	$\dot{E}_{x_k} = (\dot{E}_{x_9} + \dot{E}_w) - (\dot{E}_{x_{11}} + \dot{E}_{x_q})$

 12 ↓ Hafif Atık Uzaklaştırma → 13 ↓ 14	$\dot{E}_{x_k} = (\dot{E}_{x_{11}} + \dot{E}_{x_{12}} + \dot{E}_w) - (\dot{E}_{x_{13}} + \dot{E}_{x_{14}} + \dot{E}_{x_q})$
 13 → Refiner Ünitesi → 15 ↓ 16	$\dot{E}_{x_k} = (\dot{E}_{x_{13}} + \dot{E}_w) - (\dot{E}_{x_{15}} + \dot{E}_{x_{16}} + \dot{E}_{x_q})$
 17 ↓ 15 → Karışım Ünitesi → 18	$\dot{E}_{x_k} = (\dot{E}_{x_{15}} + \dot{E}_{x_{17}} + \dot{E}_w) - (\dot{E}_{x_{18}} + \dot{E}_{x_q})$
 19 ↓ 18 → Yaklaşım Bölgesi → 20 ↓ 21	$\dot{E}_{x_k} = (\dot{E}_{x_{18}} + \dot{E}_{x_{19}} + \dot{E}_w) - (\dot{E}_{x_{20}} + \dot{E}_{x_{21}} + \dot{E}_{x_q})$

	$\dot{E}_{x_k} = (\dot{E}_{x_{20}} + \dot{E}_w) - (\dot{E}_{x_{22}} + \dot{E}_{x_{23}} + \dot{E}_{x_q})$
	$\dot{E}_{x_k} = (\dot{E}_{x_{22}} + \dot{E}_w) - (\dot{E}_{x_{24}} + \dot{E}_{x_{25}} + \dot{E}_{x_{26}} + \dot{E}_{x_q})$
	$\dot{E}_{x_k} = (\dot{E}_{x_{24}} + \dot{E}_w) - (\dot{E}_{x_{27}} + \dot{E}_{x_{28}} + \dot{E}_{x_{29}} + \dot{E}_{x_q})$

5.1.1.4 Deneysel Çalışma

Kâğıt üretim tesisinin bütününe ekserji analizini uygulayabilmek için madde akımlarının fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bu yüzden ünitelere giren ve çıkan madde akımlarının debi, sıcaklık ve katı madde oranları işletmede gerçek çalışma şartlarında 1 dakika çalışma aralığında debi ve bu debilerin sıcaklık değerleri 0,01 hassasiyetli termometre ile ölçülmüştür. Elde edilen değerler Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3 Kâğıt üretim tesisinde elde edilen deneysel veriler

Akım No	Madde	$\dot{m}$ (t/dak)	$\dot{m}$ (kg/s)	T (°C)	K _o (%)
1	Kullanılmış Kâğıt	0,97	16,200	25,00	100,000
2	Su	23,60	393,372	60,00	-
3	Hamur	24,50	408,486	58,50	3,700
4	Atık	0,07	1,086	58,50	-
5	Su	3,00	50,000	60,00	-
6	Hamur	27,50	458,424	56,50	3,283
7	Atık	0,00372	0,062	56,50	-
8	Su	3,00	50,000	60,00	-
9	Hamur	30,50	508,369	54,50	2,950
10	Atık	0,0033	0,055	54,50	-
11	Hamur	30,50	508,369	54,40	2,950
12	Su	3,00	50,000	60,00	-
13	Hamur	33,50	558,332	52,40	2,679
14	Atık	0,0022	0,037	52,40	-
15	Hamur	33,50	558,328	52,20	2,678
16	Atık	0,00024	0,004	52,20	-
17	Su	6,00	100,000	60,00	-
18	Hamur	39,50	658,328	49,70	2,272
19	Su	5,28	88,000	60,00	-
20	Hamur	44,78	746,316	48,00	2,002
21	Atık	0,00072	0,012	48,00	-
22	Hamur	44,78	746,312	47,70	2,000
23	Atık	0,00024	0,004	47,70	-
24	Hamur	4,48	74,630	47,20	20,000
25	Süzülen Su	40,30	671,668	47,20	-
26	Atık	0,00084	0,014	47,20	-
27	Hamur	1,82	30,326	47,00	49,000
28	Süzülen Su	2,65	44,240	47,00	-
29	Atık	0,00396	0,066	47,00	-
32	Kâğıt	1,01	16,789	80,00	93,000

Çizelge 5.4’de kâğıt üretim tesisini oluşturan ünitelere ait akımların fiziksel özellikleri ve her akım için hesaplanan fiziksel ekserji değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.4 Akımların fiziksel özellikleri ve fiziksel ekserjileri

Akım No	Madde	$\dot{m}$ (kg/s)	T (°C)	K _o (%)	C _p (kJ/kgK)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	E _x (kW)
1	Kullanılmış Kâğıt	16,200	25,00	100,000	1,340	-	-	0
2	Su	393,372	60,00	-	4,185	251,25	0,83125	3163,93
3	Hamur	408,486	58,50	3,700	4,143	-	-	2966,36
4	Atık	1,086	58,50	-	0,800	-	-	1,52
5	Su	50,000	60,00	-	4,185	251,25	0,83125	402,16
6	Hamur	458,424	56,50	3,283	4,146	-	-	2957,83
7	Atık	0,062	56,50	-	0,800	-	-	0,07718
8	Su	50,000	60,00	-	4,185	251,25	0,83125	402,16
9	Hamur	508,369	54,50	2,950	4,149	-	-	2890,51
10	Atık	0,055	54,50	-	0,800	-	-	0,0603
11	Hamur	508,369	54,40	2,950	4,149	-	-	2871,45
12	Su	50,000	60,00	-	4,185	251,25	0,83125	402,16
13	Hamur	558,332	52,40	2,679	4,151	-	-	2751,99
14	Atık	0,037	52,40	-	0,800	-	-	0,03515
15	Hamur	558,328	52,20	2,678	4,151	-	-	2712,92
16	Atık	0,004	52,20	-	0,800	-	-	0,00375
17	Su	100,000	60,00	-	4,185	251,25	0,83125	804,31
18	Hamur	658,328	49,70	2,272	4,155	-	-	2654,63
19	Su	88,000	60,00	-	4,185	251,25	0,83125	707,79
20	Hamur	746,316	48,00	2,002	4,159	-	-	2621,02
21	Atık	0,012	48,00	-	0,800	-	-	0,00811
22	Hamur	746,312	47,70	2,000	4,159	-	-	2554,55
23	Atık	0,004	47,70	-	0,800	-	-	0,00263
24	Hamur	74,630	47,20	20,000	3,794	-	-	223,12
25	Süzülen Su	671,668	47,20	-	4,180	197,71	0,66738	2240,93
26	Atık	0,014	47,20	-	0,800	-	-	0,00883
27	Hamur	30,326	47,00	49,000	3,202	-	-	75,19
28	Süzülen Su	44,240	47,00	-	4,180	196,88	0,66477	145,29
29	Atık	0,066	47,00	-	0,800	-	-	0,04088
32	Kâğıt	16,789	80,00	93,000	3,707	-	-	281,77

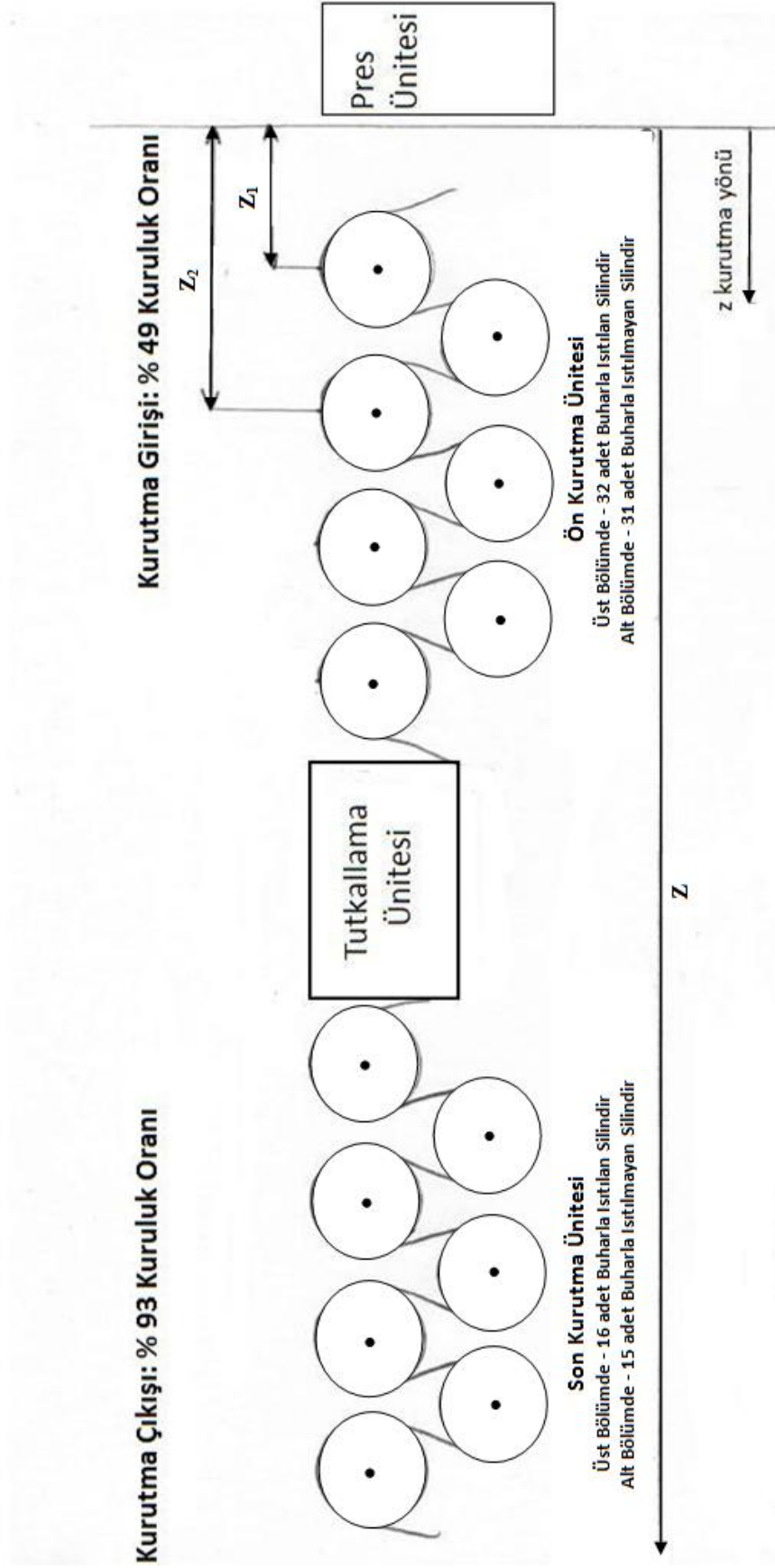
Çizelge 5.5’de kâğıt üretim tesisini oluşturan ünitelerdeki cihazların ve hamur akımını iletmeye yarayan pompaların elektrik tüketimleri verilmiştir.

Çizelge 5.5 Kâğıt üretim tesisini oluşturan ünitelerin elektrik tüketimleri

Ünite	Cihazlar	Cihazların Elektrik Tüketimi (kWh)	Pompaların Elektrik Tüketimi (kWh)	Ünitenin Toplam Elektrik Tüketimi (kWh)
Hamurlaştırma Ünitesi	Pulper	2x1000	3x75	2777
	Ragger	2x1,5		
	Kuyruk Kesici	2x5,5		
	Atık Pompası	2x37		
	Atık Pompası	2x37		
	İkincil Pulper	2x90		
	İkincil Pulper	2x90		
	Drum screen	2x7,5		
	Drum screen	2x7,5		
Kaba Eleme Ünitesi	Birincil Elek 1	160	3x75	980
	Birincil Elek 2	160		
	İkincil Elek 1	90		
	İkincil Elek 2	90		
	Üçüncül Elek	90		
	Dördüncül Elek	55		
	Deflaker	110		
İnce Kum Temizleme Ünitesi	Kum Tutucular	0	3x75	225
Fraksinasyon Ünitesi	Birincil Fraksinatör 1	160	3x75	1101
	İkincil Fraksinatör 1	132		
	Birincil Fraksinatör 2	160		
	İkincil Fraksinatör 2	132		
	Birincil Fraksinatör 3	160		
	İkincil Fraksinatör 3	132		
Hafif Atık Uzaklaştırma Ünitesi	Gyroclean	6x55	4x75	630
Rifayner Ünitesi	Orta Elyaf Refayneri	1802	4x75	3904
	Uzun Elyaf Refayneri	1802		
Karışım Ünitesi	Karıştırıcılar	2x20	5x75	473
	Karıştırıcılar	2x20		
	Karıştırıcılar	2x9		
Yaklaşım Ünitesi	Basınçlı Elek	3x160	5x75	1075
	Basınçlı Elek	2x110		
Hamur Kasası	Hamur Kasası	210	-	210
Elek Ünitesi	Elekler	2714	-	2714
Pres Ünitesi	Presler	2838	-	2838
Kurutma Ünitesi	Kurutma Silindirleri	2463	-	6463
	Hava Fanları	4000		

5.1.2 Kurutma Ünitesi Ekserji Analizi

Kurutma Ünitesi 32 adet buharla ısıtılan kurutma silindirinin bulunduğu “Ön Kurutma Ünitesi” ile 16 adet buharla ısıtılan kurutma silindirinin bulunduğu “Son Kurutma Ünitesi”nden oluşur. Bu üniteye ısıtılan ve ısıtılmayan olmak üzere toplam 94 adet silindir mevcuttur. Bu iki kurutma ünitesi arasında kâğıda mukavemet arttırıcı malzemenin (nişasta) çözelti halinde verildiği “Tutkallama Ünitesi” bulunur. Kâğıt kurutma ünitesine % 49 kuruluk oranında girip üniteden % 93 kuruluk oranında çıkar. Şekil 5.3’de kurutma ünitesi görülmektedir.



Şekil 5.3 Kâğıt üretim tesisi kurutma ünitesi

5.1.2.1 Deneysel Çalışma

Kurutma ünitesinde ekserji analizi yapabilmek için kâğıdın kurutma silindirleri boyunca sıcaklık dağılımının bilinmesi gerekir. Bu yüzden kâğıdın buharla ısıtılan kurutma silindirleri boyunca sıcaklığı termal kamera ile ölçülmüştür. Ölçüm yapılırken, kâğıdın silindirin tepe noktası ile temas ettiği yerdeki sıcaklık değeri okunmuş ve bu işlem kurutma ünitesini oluşturan 48 adet buharla ısıtılan silindir için ayrı ayrı yapılmıştır. Burada analiz yapılırken ölçüm uzaklığı 1 metre, emissivite değeri 0,93 ve atmosfer sıcaklığı 25°C olarak alınmıştır.

Ölçümlerde FLİR SYSTEMS firmasına ait INFRA CAM-SD model termal kamera kullanılmıştır. Termal kameraya ait teknik özellikler EK-A'da verilmiştir.

Yapılan ölçümlere ilişkin örnek termal kamera görüntüleri Şekil 5.4'de görülmektedir.



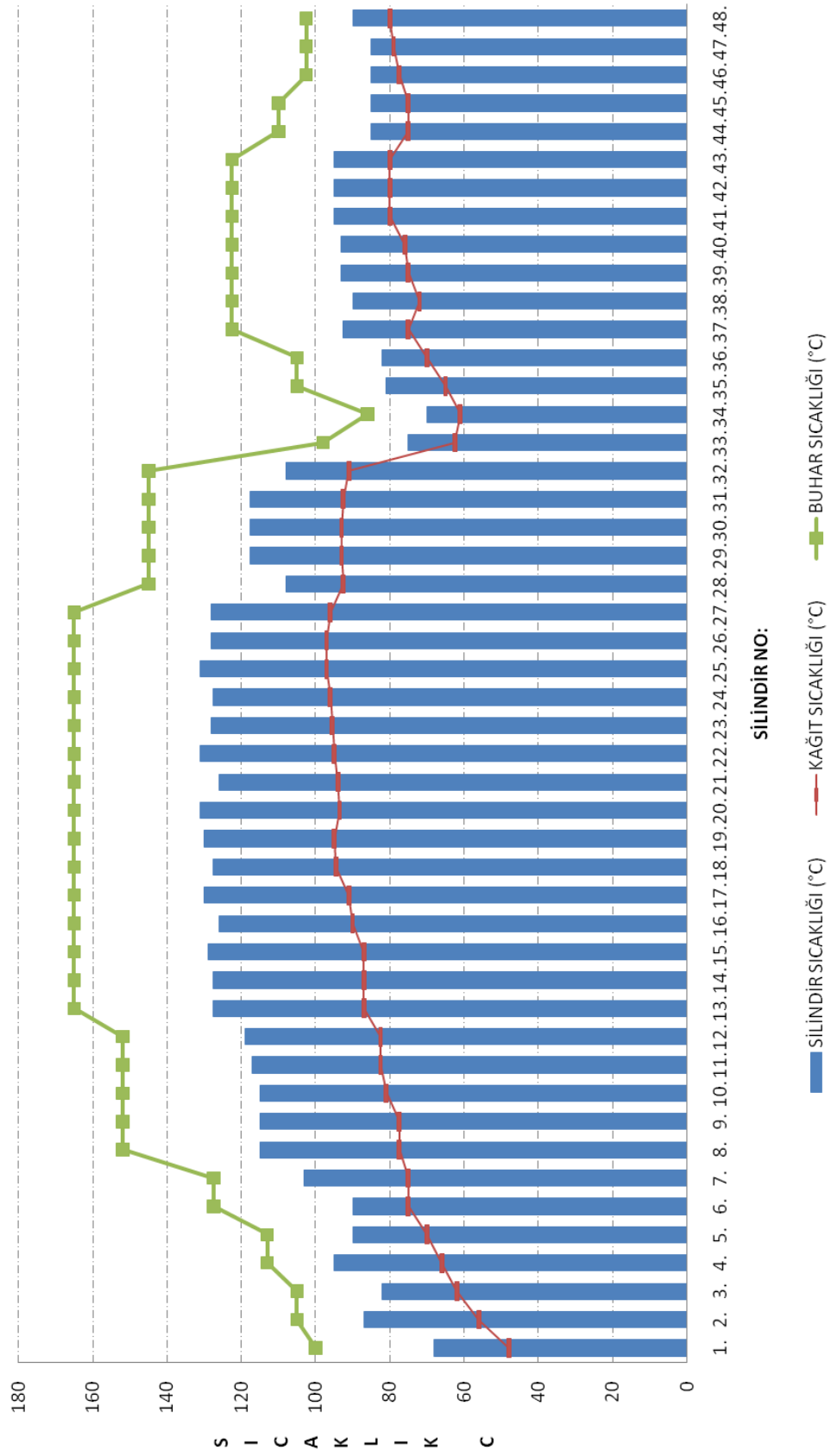
Şekil 5.4 Yapılan ölçümlere ilişkin örnek termal kamera görüntüleri

Çizelge 5.6’da gerçek çalışma şartları altında termal kamera ile ölçülen kâğıt sıcaklıkları verilmiştir.

Çizelge 5.6 Termal kamera ile ölçülen kâğıt sıcaklıkları

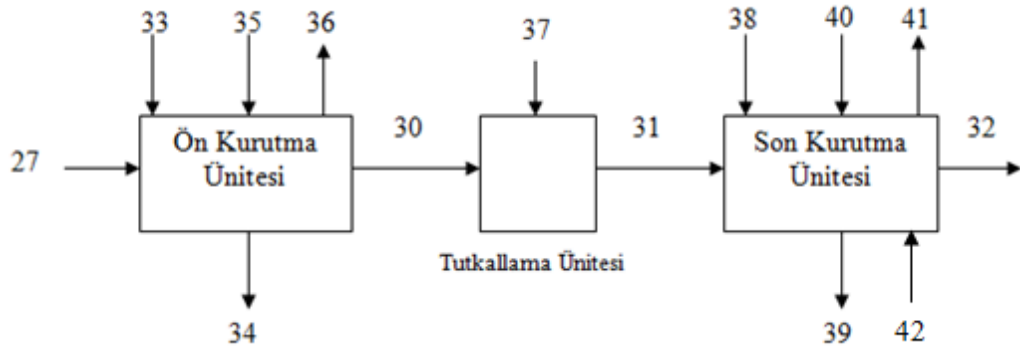
SİLİNDİR NO:	KÂĞIT SIC (°C)	SİLİNDİR NO:	KÂĞIT SIC (°C)	SİLİNDİR NO:	KÂĞIT SIC (°C)	SİLİNDİR NO:	KÂĞIT SIC (°C)
1.	47	13.	87	25.	97	37.	75
2.	56	14.	87	26.	97	38.	72
3.	62	15.	87	27.	96	39.	75
4.	66	16.	90	28.	92,5	40.	76
5.	70	17.	91	29.	93	41.	80
6.	75	18.	94,5	30.	93	42.	80
7.	75	19.	95	31.	92,5	43.	80
8.	77,5	20.	93,5	32.	91	44.	75
9.	77,5	21.	94	33.	62,5	45.	75
10.	81	22.	95	34.	61	46.	77,5
11.	82,5	23.	95,5	35.	65	47.	79
12.	82,5	24.	96	36.	70	48.	80

Şekil 5.5’de buharla ısıtılan kurutma silindirleri boyunca silindir sıcaklığı, buhar sıcaklığı ve 48 adet kurutma silindirinde ölçülen kâğıt sıcaklıklarının değişimi görülmektedir.



Şekil 5.5 Kâğıt sıcaklıklarının kurutma ünitesi boyunca dağılımı

Ekserji analizi için kurutma ünitesinin akım şeması Şekil 5.6'da görülmektedir.



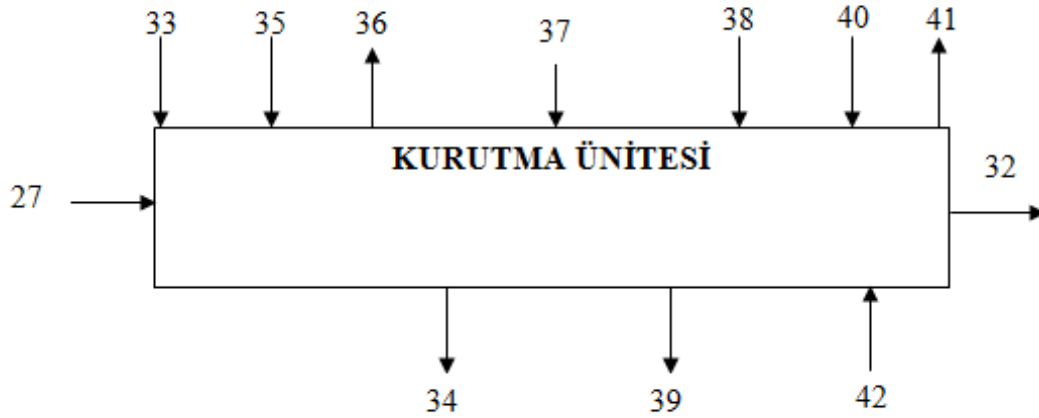
Şekil 5.6 Kurutma ünitesi akım şeması

Kurutma ünitesini oluşturan akımların işletme şartlarından elde edilen fiziksel özellikleri Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 Kurutma ünitesini oluşturan akımların fiziksel özellikleri

Akım No	Madde	$\dot{m}$ (kg/s)	T (°C)	Katı Madde (Kuruluk) Oranı (%)	w (kgsu/kgKH)
27	Hamur	30,326	47,00	49,000	-
30	Hamur	16,510	91,00	90,000	-
31	Hamur	22,300	62,50	70,000	-
32	Kâğıt	16,789	80,00	93,000	
33	Buhar	12,330	148,30	-	-
34	Kondens	12,330	80,00	-	-
35	Nemli hava	76,600	95,00	-	0,020
36	Nemli hava	95,800	82,00	-	0,160
37	Nişasta Çözeltisi	5,790	47,00	-	-
38	Buhar	6,166	111,50	-	-
39	Kondens	6,166	80,00	-	-
40	Nemli Hava	35,600	95,00	-	0,020
41	Nemli Hava	44,500	80,00	-	0,140
42	Sızıntı Hava	8,773	80,00	-	0,140

Çizelge 5.7’de işletme değerleri verilen ön kurutma ünitesi, tutkallama ünitesi ve son kurutma ünitesi tek bir ünite gibi düşünülebilir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 Tek ünite halinde kurutma ünitesi

5.1.2.2 Kütle Dengesi

Kurutma ünitesi için kütlenin korunumu ifadesi (4.7) eşitliği ile,

$$\dot{m}_{27} + \dot{m}_{33} + \dot{m}_{35} + \dot{m}_{37} + \dot{m}_{38} + \dot{m}_{40} + \dot{m}_{42} = \dot{m}_{32} + \dot{m}_{34} + \dot{m}_{36} + \dot{m}_{39} + \dot{m}_{41} \quad (5.10)$$

şeklinde yazılabilir.

5.1.2.3 Enerji Dengesi

Kurutma ünitesi için enerjinin korunumu (4.14) eşitliğinden

$$\dot{Q} - \dot{W} = (\dot{E}_{32} + \dot{E}_{34} + \dot{E}_{36} + \dot{E}_{39} + \dot{E}_{41}) - (\dot{E}_{27} + \dot{E}_{33} + \dot{E}_{35} + \dot{E}_{37} + \dot{E}_{38} + \dot{E}_{40} + \dot{E}_{42}) \quad (5.11)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Kurutma Ünitesinin toplam elektrik tüketimi

$$\dot{W}_{motor} = 6463 \text{ kW'dır.}$$

(5.11) eşitliğinde gerekli değerler yerlerine koyulursa kurutma ünitesi için ısı kaybı,

$$\dot{Q} = -3500 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

5.1.2.4 Ekserji Dengesi

Kurutma ünitesi için ekserji kaybı (4.66) eşitliği kullanılarak

$$\dot{E}_{x_k} = (\dot{E}_{x_{27}} + \dot{E}_{x_{33}} + \dot{E}_{x_{35}} + \dot{E}_{x_{37}} + \dot{E}_{x_{38}} + \dot{E}_{x_{40}} + \dot{E}_{x_{42}} + \dot{E}_w) - (\dot{E}_{x_{32}} + \dot{E}_{x_{34}} + \dot{E}_{x_{36}} + \dot{E}_{x_{39}} + \dot{E}_{x_{41}} + \dot{E}_{x_q}) \quad (5.12)$$

şeklinde yazılır.

(5.12) eşitliğinde $\dot{E}_{x_{27}}$ ve $\dot{E}_{x_{32}}$ ile belirtilen hamur ve kâğıt akımlarının fiziksel ekserjileri (5.6) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir. Ayrıca $\dot{E}_{x_{33}}$, $\dot{E}_{x_{34}}$, $\dot{E}_{x_{38}}$, $\dot{E}_{x_{39}}$ ve $\dot{E}_{x_{37}}$ ile belirtilen buhar, kondens ve nişasta çözeltisi akımlarının fiziksel ekserjileri (5.7) eşitliği ile belirlenebilir.

Nemli havanın özgül fiziksel ekserjisi, kuru hava ve su buharının ideal gaz varsayımıyla

$$e_x = (c_{p,a} + w c_{p,w}) \left(T - T_0 - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right) + (1 + \tilde{w}) R_a T_0 \ln \frac{P}{P_0} + R_a T_0 \left[(1 + \tilde{w}) \ln \frac{1 + \tilde{w}_0}{1 + \tilde{w}} + \tilde{w} \ln \frac{\tilde{w}}{\tilde{w}_0} \right] \quad (5.13)$$

olarak yazılır [39].

(5.13) eşitliğinde;

$$\tilde{w} = \frac{M_a}{M_w} w = 1,608w \quad (5.14)$$

$$\tilde{w}_0 = \frac{M_a}{M_w} w_0 = 1,608w_0 \quad (5.15)$$

olarak ifade edilmiştir [39].

Eşitlik (5.14) ve Eşitlik (5.15)'deki M_a (kg/kmol) havanın mol kütleini, M_w (kg/kmol) ise suyun mol kütleini gösterir.

Nemli havanın toplam fiziksel ekserjisi ise (4.57) ve (5.13) eşitlikleri yardımıyla

$$\dot{E}_x = \dot{m} e_x \quad (5.16)$$

şeklinde ifade edilebilir.

(5.12) eşitliğinde $\dot{E}_{x_{35}}$, $\dot{E}_{x_{36}}$, $\dot{E}_{x_{40}}$ ve $\dot{E}_{x_{41}}$ ile belirtilen nemli hava akımlarının fiziksel ekserjileri (5.13) ve (5.16) eşitlikleri ile hesaplanabilir.

Kurutma ünitesinin elektrik işi tüketiminden dolayı meydana gelen ekserji geçişi $\dot{E}_w$
Eşitlik (5.8)'den ve ısı kaybından dolayı meydana gelen ekserji geçişi $\dot{E}_{x_q}$ ise Eşitlik (5.9)'dan bulunur.

Çizelge 5.8'de kurutma ünitesindeki akımların fiziksel özellikleri ve hesaplanan fiziksel ekserji değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.8 Kurutma ünitesine ait akımların fiziksel özellikleri ve fiziksel ekserjileri

Akım No	Madde	$\dot{m}$ (kg/s)	T (C)	K _o (%)	C _p (kJ/kgK)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	E _x (kW)
27	Hamur	30,326	47,00	49,000	3,202	-	-	75,187
32	Kâğıt	16,789	80,00	93,000	3,707	-	-	281,765
33	Buhar	12,330	148,30	-	-	2746,50	6,8379	8796,350
34	Kondens	12,330	80,00	-	-	334,91	1,0753	235,133
35	Nemli hava	76,600	95,00	-	-	148,95	-	612,000
36	Nemli hava	95,800	82,00	-	-	506,43	-	4273,000
37	Nişasta Çözeltisi	5,790	47,00	13,000	4,180	196,88	0,6647	19,000
38	Buhar	6,166	111,50	-	-	2691,50	7,2387	3323,470
39	Kondens	6,166	80,00	-	-	334,91	1,0753	117,585
40	Nemli Hava	35,600	95,00	-	-	148,95	-	284,408
41	Nemli Hava	44,500	80,00	-	-	450,91	-	1652,000
42	Sızıntı Hava	8,773	80,00	-	-	450,91	-	326,000

Isı kaybının olduğu yüzey sıcaklığı 40°C kabul edilip, (5.12) eşitliğinde gerekli değerler yerlerine konulursa kurutma ünitesinin ekserji kaybı,

$$\dot{E}_{x_k} = 13172,252 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

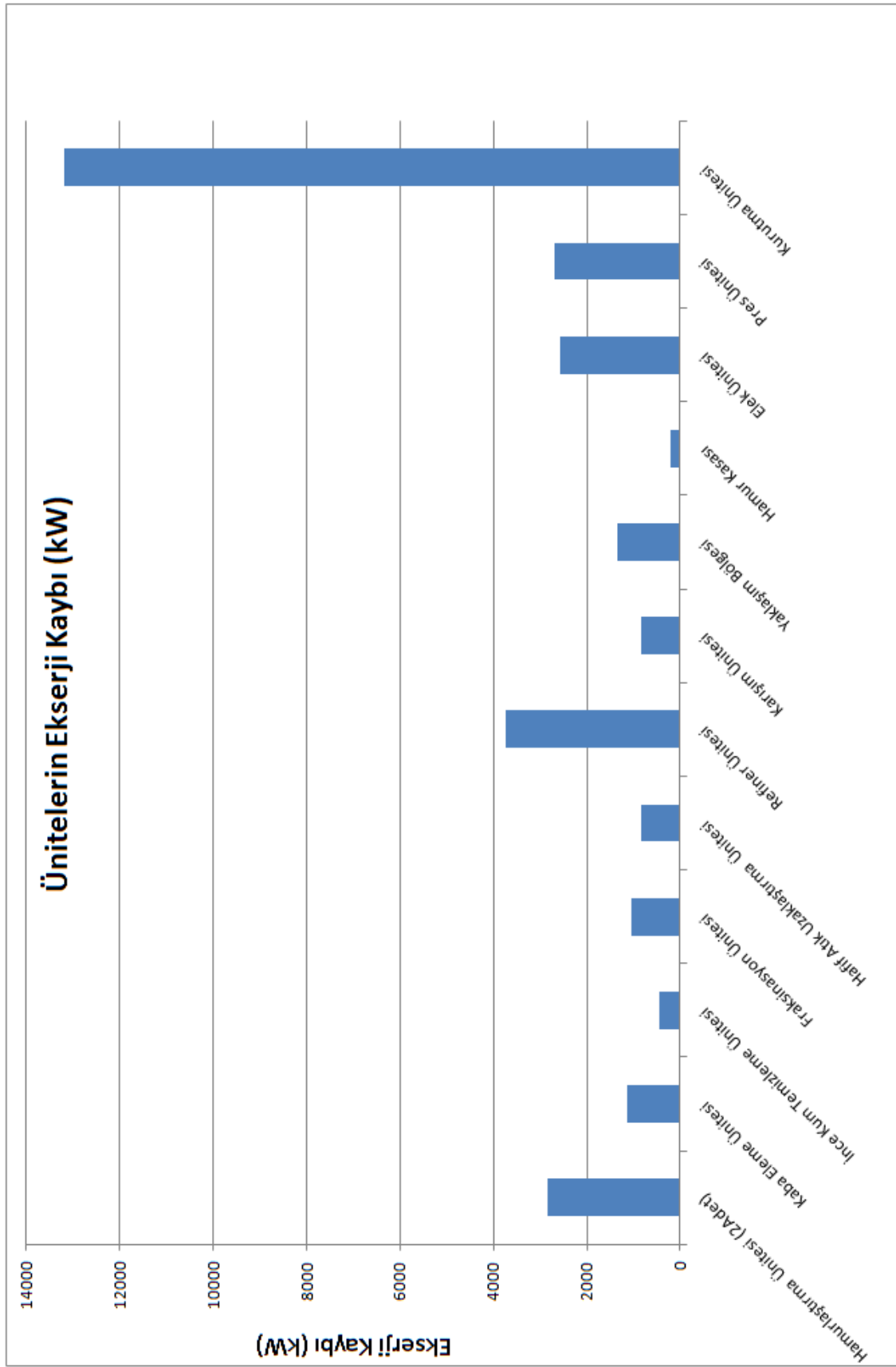
5.1.3 Kâğıt Üretim Tesisı Toplam Ekserji Kaybı

Kâğıt üretim tesisini oluşturan her bir ünite için kütle dengesi, enerji dengesi ve ekserji dengesi bağıntıları ayrı ayrı uygulanırsa tesisi oluşturan ünitelerin ve tesisin toplam ekserji kaybı belirlenmiş olur. Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'deki bağıntıların çözülmesiyle Çizelge 5.9'da verilen sonuçlar elde edilir.

Çizelge 5.9 Ünitelerin Hesaplanan Ekserji Kayıpları

Ünite	Ekserji Kaybı(kW)
Hamurlaştırma Ünitesi (2Adet)	2827,349
Kaba Eleme Ünitesi	1144,189
İnce Kum Temizleme Ünitesi	444,263
Fraksınasyon Ünitesi	1057,013
Hafif Atık Uzaklaştırma Ünitesi	841,186
Refiner Ünitesi	3733,408
Karışım Ünitesi	827,929
Yaklaşım Bölgesi	1330,319
Hamur Kasası	221,360
Elek Ünitesi	2570,483
Pres Ünitesi	2699,510
Kurutma Ünitesi	13172,252

Şekil 5.8'de ise kâğıt üretim tesisini oluşturan ünitelerin hesaplanan ekserji kayıplarının üniteler boyunca değişimi görülmektedir.



Şekil 5.8 Kâğıt üretim tesisini oluşturan ünitelerin ekserji kayıpları

5.2 Kâğıt Üretim Tesisleri Termoekonomik Analizi

Kâğıt üretim tesisinin termoekonomik analizi yapılırken aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Tesis bileşenlerinin ömrü $n=20$ yıl kabul edilmiştir.
- Sistem yılda (30 gün x 12 ay x 24 saat) 8640 saat çalışmaktadır.
- Tesis günde 24 saat, 3 vardiya çalışmaktadır.
- Faiz oranı $r_i = \%1,75$ (€ için bankaların ortalama senelik faiz oranı, Ocak 2011)
- Eskalasyon oranı $r_n = \%1$
- Efektif faiz oranı (geri ödeme süresi) $i_{eff} = \%1,75$
- Tesiste 3 vardiyada toplam 120 personel çalışmaktadır. Bu personel ünite başına yıllık (1000 € x 120 personel x 12 ay)/12 ünite = 120.000 €/yıl işletme maliyeti getirmektedir.
- 1 \$ = 1,54 TL, 1 € = 2,03 TL (05.01.2011)
- Elektriğin şebekeden alış fiyatı sanayi için 0,0754 €/kWh'dir. (TEDAŞ, Ocak 2011 tarifi)
- Suyun şebekeden alış fiyatı sanayi için 2,754 €/m³'dür. (İSKİ, Ocak 2011 tarifi)
- Doğalgaz birim fiyatı sanayi için 0,255 €/m³'dür. (İGDAŞ, Ocak 2011 tarifi)
- Buharın alış fiyatı 19,5 €/ton'dur. (Ocak 2011 yakıt fiyatlarına göre)
- Kullanılmış kâğıt maliyeti 100 \$/ton = 75,862 €/ton'dur.
- Nişasta maliyeti 1140 TL/ton = 561,576 €/ton'dur.

5.2.1 Bir Değere Getirilmiş Parasal Değer (Z)

Eşitlik (4.86)'da belirtilen maliyet denge denklemlerini çözebilmek için her üniteye ait bir değere getirilmiş parasal değer (Z) değerinin belirlenmesi gerekir. Bu değer belirlenirken aşağıda açıklanan yol izlenmiştir.

İncelenen kâğıt üretim tesisinin toplam ilk yatırım maliyeti 242.350.000 €'dur.

Sistemin toplam temiz (taze) su tüketimi 2.735.286 m³/yıl'dır. Bu suyun toplam yıllık maliyeti ünitelerin su tüketimi oranında ünitelere işletme maliyeti olarak dağıtılmıştır. Ayrıca su geri kazanımı için 10 adet 18,5 kW motor gücüne sahip pompa ve suyun ünitelere dağıtımı için 9 adet 30 kW motor gücüne sahip pompanın elektrik tüketimi yine su tüketim oranına bağlı olarak ünitelere işletme maliyeti olarak dağıtılmıştır. Su geri kazanım ünitesinin ilk yatırım maliyeti de su tüketim oranına göre ünitelere ilk yatırım maliyeti olarak paylaştırılmıştır.

Sistemden geri dönen su ile şebeke suyu karışımı yaklaşık 43,2°C'dir. Ünitelerde kullanılan su ise 60°C'dir. Suyun sıcaklığını 43,2°C'den 60°C'ye çıkarmak için kazanda kullanılması gereken doğalgaz maliyeti ünitelere su kullanım oranına göre işletme maliyeti olarak dağıtılmıştır.

Tesiste hamurlaştırma ünitesinde 503.885 ton/yıl kullanılmış kâğıt kullanılmakta olup bunun maliyeti hamurlaştırma ünitesinde işletme maliyeti olarak gösterilmiştir.

Kurutma Ünitesinde 23.328 ton/yıl endüstriyel nişasta kullanılmaktadır. Endüstriyel nişasta maliyeti kurutma ünitesinde işletme maliyeti olarak belirtilmiştir.

Yapılan kabuller doğrultusunda (4.81), (4.82), (4.83) ve (4.84) eşitliklerinde gerekli değerlerin yerlerine konulmasıyla,

Bir değere getirilmiş fiyat düzeltme faktörü, $k = 0,9926$

Anapara geri kazanım faktörü, $CRF = 0,05969$

Eskalasyon düzeltme faktörü, $CELF = 1,105$

Bir değere getirilme faktörü, $A = 1,086$

olarak elde edilir.

Üretim tesisini oluşturan her ünite için bulunan ilk yatırım ve işletme maliyetleri göz önüne alınarak her ünitenin bir değere getirilmiş parasal değeri (Z), (5.17) eşitliği ile bulunabilir.

$$\dot{Z}_{\text{Ünite}} = \left[\frac{\text{ilk yatırım maliyeti}}{\text{sistem ömrü} \times \text{yıllık çalışma saati}} + \frac{\text{yıllık işletme maliyeti}}{\text{yıllık çalışma saati}} \right] \cdot A \quad (5.17)$$

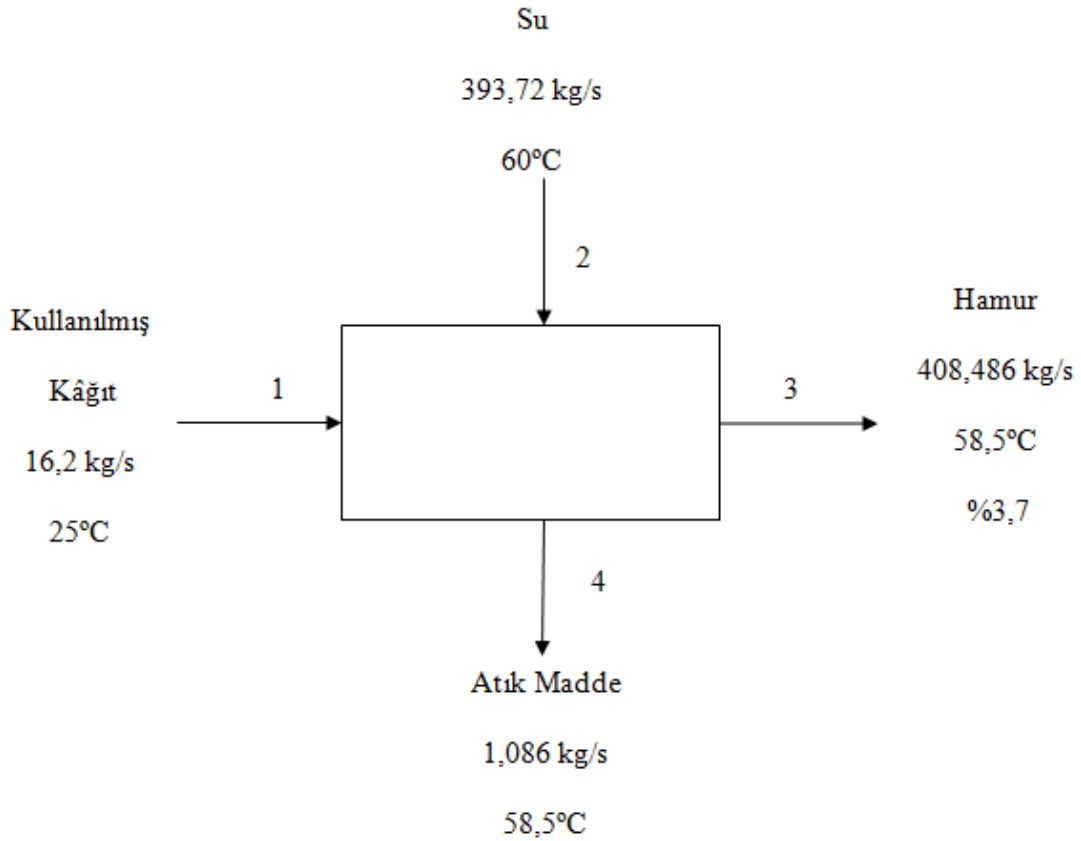
Kâğıt üretim tesisine ait her bir ünite için ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve bir değere getirilmiş parasal (Z) değeri, Çizelge 5.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.10 Ünitelerin bir değere getirilmiş parasal (Z) değerleri

Maliyetler	Hamurlaşırma Üniteli (2adet)	Kaba Eleme Üniteli	İnce Kum Temizleme Üniteli	Fraksiyasyon Üniteli	Hafif Atık Uzaklaşırma Üniteli	Rifayner Üniteli	Karışım Üniteli	Yaklaşım Bölgesi	Hamur Kasası Üniteli	Elek Üniteli	Pres Üniteli	Kurutma Üniteli
İlk Yatırım Maliyeti (€)	4.700.000	650.000	400.000	400.000	300.000	1.900.000	2.000.000	20.000.000	5.000.000	5.000.000	7.000.000	30.000.000
Pompa+Motor+Elek+Oto (€)	7.123.557	2.513.895	577.169	2.824.284	1.616.075	10.014.536	1.213.339	2.757.588	538.691	6.961.950	7.280.034	16.578.880
Arsa ve Bina Payı (€)	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333
Su Geri Dönüşüm Tesis Payı (€)	2.689.274	341.823	341.823	-	341.823	-	683.647	601.609	-	-	-	-
Toplam İlk Yatırım Maliyeti(€)	22.846.164	11.839.051	9.652.325	11.557.617	10.591.231	20.247.869	12.230.319	31.692.530	13.872.024	20.295.283	22.613.367	54.912.213
Yıllık Elektrik Masrafı (€/Yıl)	1.809.093	638.426	146.578	717.253	410.417	2.543.284	308.139	700.315	136.806	1.768.052	1.848.832	4.210.360
Taze Su Maliyeti (€/Yıl)	4.051.648	514.989	514.989	-	514.989	-	1.029.979	906.381	-	-	-	-
Su için Pompa Elekt. Masrafı (€/Yıl)	159.427	20.264	20.264	-	20.264	-	40.528	35.665	-	-	-	652
Yedek Parça, Bakım ve Onarım Masrafı (€/Yıl)	2.284.616	1.183.905	965.233	1.155.762	1.059.123	2.024.787	1.223.032	3.169.253	1.387.202	2.029.528	2.261.337	5.491.221
Yıllık Vergiler, Sigorta ve Personel Masrafı (€/Yıl)	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000
Yıllık Kullanılmış Kağıt Maliyeti (€/Yıl)	38.225.759	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nişasta Maliyeti (€/Yıl)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.100.453
Su Isırma Maliyeti (€/Yıl)	7.302.910	928.245	928.245	-	928.245	-	1.856.490	1.633.711	-	-	-	-
Yıllık İşletme Maliyeti (€/Yıl)	53.953.453	3.405.829	2.695.308	1.993.015	3.053.038	4.688.071	4.578.167	6.565.325	1.644.008	3.917.580	4.230.169	22.922.686
Bir Değere Getirilmiş Parasal Değer Z (€/h)	6.925	502	399	323	450	717	652	1.024	294	620	674	3.226

5.2.2 Hamurlaştırma Ünitesi Birim Ekserji Maliyeti Analizi

Üretimin ilk adımı olan “Hamurlaştırma Ünitesi”ne Eşitlik (4.86)’da belirtilen maliyet denge denklemi örnek uygulama olması açısından uygulanmıştır. Tesisi oluşturan diğer ünitelere (kurutma ünitesi hariç) bu denklimler ayrı ayrı uygulanarak elde edilen sonuçlar tablo haline getirilmiştir. Kurutma ünitesi ise Bölüm 5.2.3’de detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 5.9 Hamurlaştırma ünitesini oluşturan akımlar

Hamurlaştırma ünitesi için maliyet denge denklemi, (4.86) eşitliği kullanılarak,

$$c_1\dot{E}_{x_1} - c_3\dot{E}_{x_3} - c_4\dot{E}_{x_4} + \dot{Z}_{ünite} = 0 \quad (5.18)$$

şeklinde yazılabilir.

Ayrıca çıkan ürünlerin birim ekserji maliyetleri birbirine eşittir ve

$$c_3 = c_4 \quad (5.19)$$

olur.

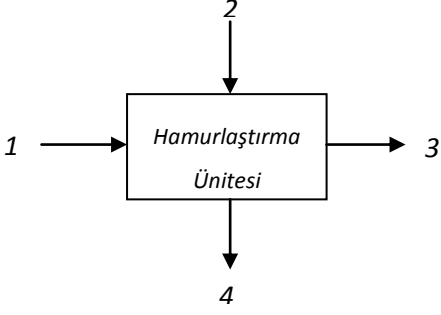
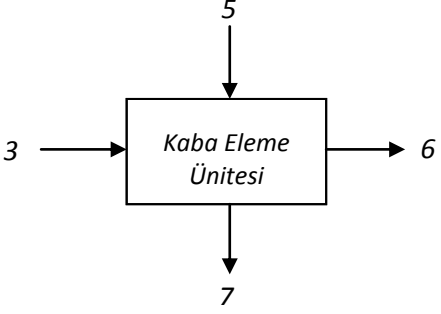
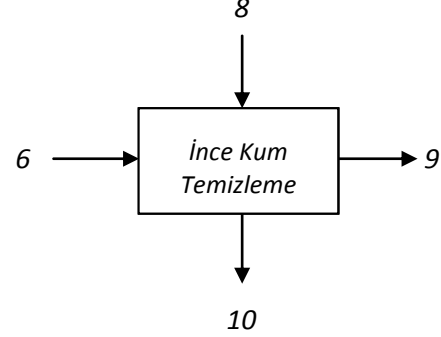
Hamurlaştırma ünitesi için (5.18) eşitliğinde gerekli değerler yerlerine koyulursa;

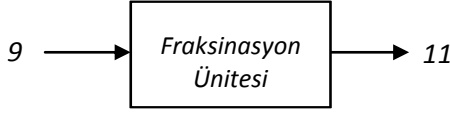
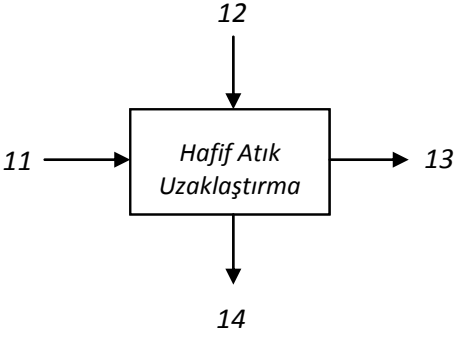
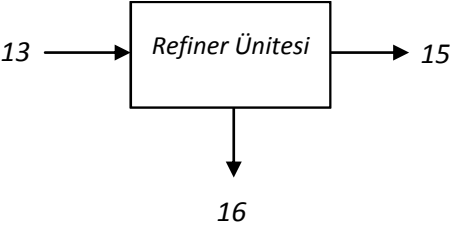
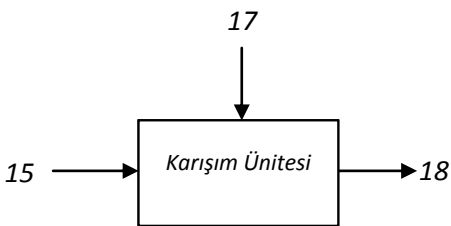
$$c_3 = 6,481 \times 10^{-4} \text{ € / kJ}$$

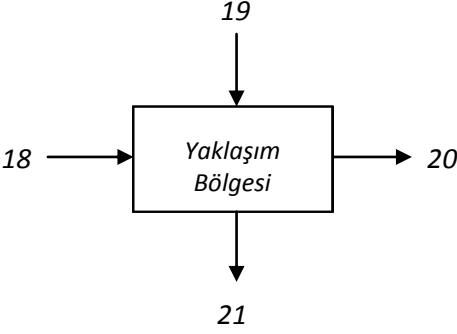
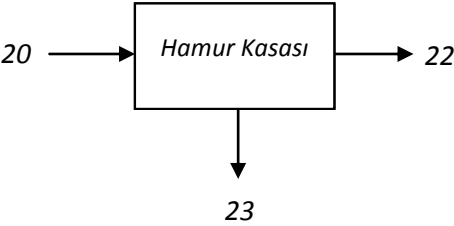
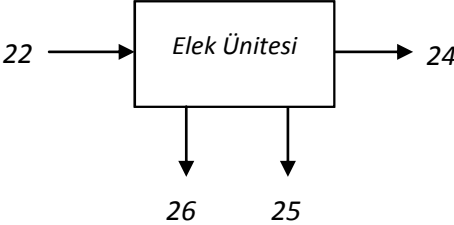
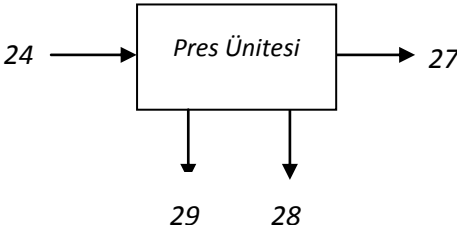
olarak bulunur.

Çizelge 5.11’de kâğıt üretim tesisini oluşturan üniteler için maliyet denge denklemleri verilmiştir.

Çizelge 5.11 Ünitelerin maliyet denge denklemleri

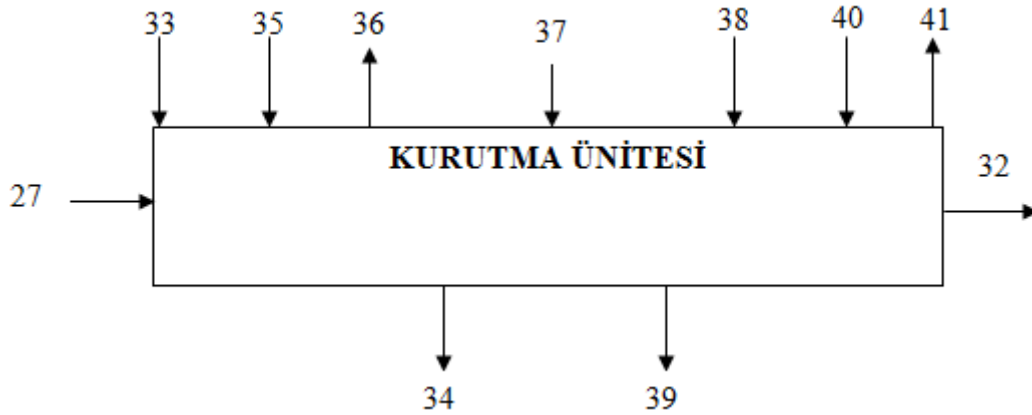
Ünite	Maliyet Denge Denklemi
	$c_1 \dot{E}_{x_1} - c_3 \dot{E}_{x_3} - c_4 \dot{E}_{x_4} + \dot{Z}_{\text{Ünite}} = 0$ $c_3 = c_4$
	$c_3 \dot{E}_{x_3} - c_6 \dot{E}_{x_6} - c_7 \dot{E}_{x_7} + \dot{Z}_{\text{Ünite}} = 0$ $c_6 = c_7$
	$c_6 \dot{E}_{x_6} - c_9 \dot{E}_{x_9} - c_{10} \dot{E}_{x_{10}} + \dot{Z}_{\text{Ünite}} = 0$ $c_9 = c_{10}$

	$c_9 \dot{E}_{x_9} - c_{11} \dot{E}_{x_{11}} + \dot{Z}_{\dot{U}nite} = 0$
	$c_{11} \dot{E}_{x_{11}} - c_{13} \dot{E}_{x_{13}} - c_{14} \dot{E}_{x_{14}} + \dot{Z}_{\dot{U}nite} = 0$ $c_{13} = c_{14}$
	$c_{13} \dot{E}_{x_{13}} - c_{15} \dot{E}_{x_{15}} - c_{16} \dot{E}_{x_{16}} + \dot{Z}_{\dot{U}nite} = 0$ $c_{15} = c_{16}$
	$c_{15} \dot{E}_{x_{15}} - c_{18} \dot{E}_{x_{18}} + \dot{Z}_{\dot{U}nite} = 0$

	$c_{18}\dot{E}_{x_{18}} - c_{20}\dot{E}_{x_{20}} - c_{21}\dot{E}_{x_{21}} + \dot{Z}_{\ddot{U}nite} = 0$ $c_{20} = c_{21}$
	$c_{20}\dot{E}_{x_{20}} - c_{22}\dot{E}_{x_{22}} - c_{23}\dot{E}_{x_{23}} + \dot{Z}_{\ddot{U}nite} = 0$ $c_{22} = c_{23}$
	$c_{22}\dot{E}_{x_{22}} - c_{24}\dot{E}_{x_{24}} - c_{25}\dot{E}_{x_{25}} - c_{26}\dot{E}_{x_{26}} + \dot{Z}_{\ddot{U}nite} = 0$ $c_{24} = c_{25} = c_{26}$
	$c_{24}\dot{E}_{x_{24}} - c_{27}\dot{E}_{x_{27}} - c_{28}\dot{E}_{x_{28}} - c_{29}\dot{E}_{x_{29}} + \dot{Z}_{\ddot{U}nite} = 0$ $c_{27} = c_{28} = c_{29}$

5.2.3 Kurutma Ünitesi Birim Ekserji Maliyeti Analizi

Bu bölümde kâğıt üretim tesisinde maksimum enerji tüketimi ve ekserji kaybı kurutma ünitesinde olduğundan, kurutma ünitesinde kâğıdın birim ekserji maliyeti detaylı olarak incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken, tesisteki ortam havasının 25°C kuru termometre sıcaklığı ve $\phi=100\%$ bağıl neme sahip olduğu belirlenmiş ve hesaplarımız bu değerlere göre yapılmıştır.



Şekil 5.10 Kurutma ünitesi akım şeması

Kurutma ünitesi için maliyet denge denklemi, (4.86) eşitliği kullanılarak,

$$c_{27}\dot{E}_{x_{27}} + c_{33}\dot{E}_{x_{33}} + c_{38}\dot{E}_{x_{38}} + c_{35}\dot{E}_{x_{35}} + c_{40}\dot{E}_{x_{40}} - c_{32}\dot{E}_{x_{32}} - c_{34}\dot{E}_{x_{34}} - c_{36}\dot{E}_{x_{36}} - c_{39}\dot{E}_{x_{39}} - c_{41}\dot{E}_{x_{41}} + \dot{Z}_{\text{Ünite}} = 0 \quad (5.20)$$

şeklinde yazılabilir.

Ayrıca (5.20) eşitliğinde,

$$c_{33} = c_{34} = c_{38} = c_{39} \quad (5.21)$$

ve

$$c_{35} = c_{36} = c_{40} = c_{41} \quad (5.22)$$

şeklinde ifade edilebilir.

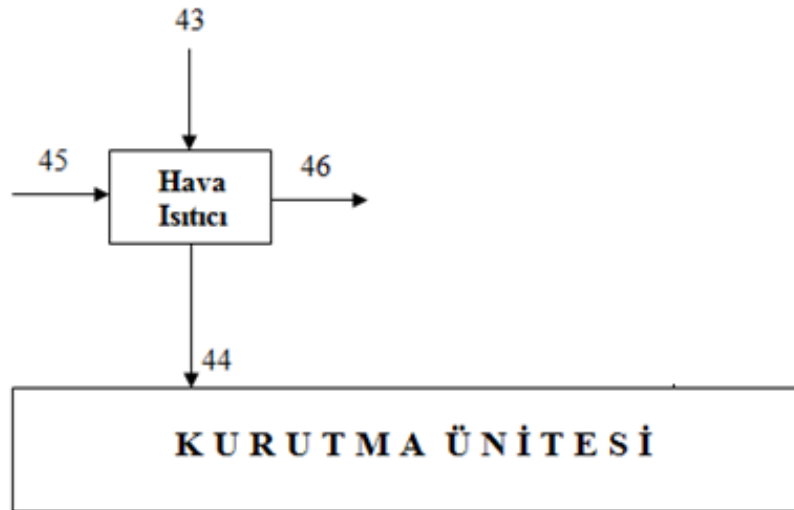
Kurutma Ünitesinde 66.600 kg/h buhar tüketilmektedir. Bu buharın maliyeti 1298,7 €/h'dir. Kurutma ünitesinde buhar akımının toplam ekserji kaybı ise Çizelge 5.8'den 11767 kW olarak elde edilmiştir. Buradan buhar akımının birim ekserji maliyeti;

$$c_{33} = c_{34} = c_{38} = c_{39} = \frac{1298,7 \text{ €/h}}{11767 \text{ kW} \times 3600 \text{ s}} = 3,066 \times 10^{-5} \text{ €/kJ}$$

olarak hesaplanır.

Nemli havanın kurutma ünitesinde toplam ekserji kaybı Çizelge 5.8'den 5028,6 kW olarak elde edilir.

Ortamdan alınan 25°C kuru termometre sıcaklığı ve $\phi = \%100$ bağıl neme sahip hava kanatlı borulardan meydana gelen bir hava ısıtıcısında, 170°C'de doymuş buhar ile ısıtılarak kurutma ünitesine 95°C kuru termometre sıcaklığında ve $\phi = \%3,74$ bağıl nemde girer. Şekil 5.11'de hava ısıtıcısına ait akımlar gösterilmiştir. Hava ısıtıcısına ait teknik özellikler ise EK-B'de verilmiştir.



Şekil 5.11 Hava ısıtıcısına ait akımlar

Çizelge 5.12'de hava ısıtıcısına ait akımların fiziksel özellikleri ve hesaplanan fiziksel ekserji değerleri gösterilmiştir. Ayrıca eşitlik (5.17) kullanılarak hava ısıtıcısı için bir değere getirilmiş parasal değer (Z) hesaplanıp Çizelge 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.12 Hava ısıtıcısına ait akımların fiziksel özellikleri ve fiziksel ekserji değerleri

Akım No	Madde	$\dot{m}$ (kg/s)	T (C)	w (kgsu/kgKH)	ϕ (%)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	E_x (kW)
43	Ortam Havası	112,000	25,00	0,020	100	74,89	-	59,47
44	Kurutma Havası	112,000	95,00	0,020	3,74	-	-	895
45	Buhar	3,833	170,00	-	-	2768,70	6,666	3015
46	Kondens	3,833	170,00	-	-	719,21	2,042	441

Çizelge 5.13 Hava ısıtıcısı için bir değere getirilmiş parasal değer (Z)

	Mevcut Durum
Maliyetler	Hava Isıtıcı
İlk Yatırım Maliyeti (€)	70.000
Fan+Elektrik Motoru+Pompa (€)	10.837
Toplam İlk Yatırım Maliyeti(€)	80.837
Yıllık Elektrik Masrafı (€/Yıl)	15.635
Yedek Parça, Bakım ve Onarım Masrafı (€/Yıl)	8.084
Yıllık İşletme Maliyeti (€/Yıl)	23.719
Bir Değere Getirilmiş Parasal Değer Z (€/h)	3,489

Kurutma havasının birim ekserji maliyetini hesap edebilmek amacıyla hava ısıtıcısı için maliyet denge denklemi, (4.86) eşitliği yardımıyla yazılırsa,

$$c_{43}\dot{E}_{x_{43}} - c_{44}\dot{E}_{x_{44}} + c_{45}\dot{E}_{x_{45}} - c_{46}\dot{E}_{x_{46}} + \dot{Z}_{\text{ünte}} = 0 \quad (5.23)$$

elde edilir.

Eşitlik (5.23)'de ortam havasının birim ekserji maliyetinin olmadığı kabul edilebilir.

Böylece,

$$c_{43} = 0 \quad (5.24)$$

yazılabilir.

Eşitlik (5.23)'de gerekli ifadeler yerine konulursa kurutma ünitesine giren havanın birim ekserji maliyeti

$$c_{44} = 8,926 \times 10^{-5} \text{ € / kJ}$$

olarak elde edilir.

Kurutma ünitesi için (5.20) eşitliğinde gerekli değerler yerlerine koyulursa üniteden çıkan kâğıdın birim ekserji maliyeti;

$$c_{32} = 66,424 \times 10^{-4} \text{ € / kJ}$$

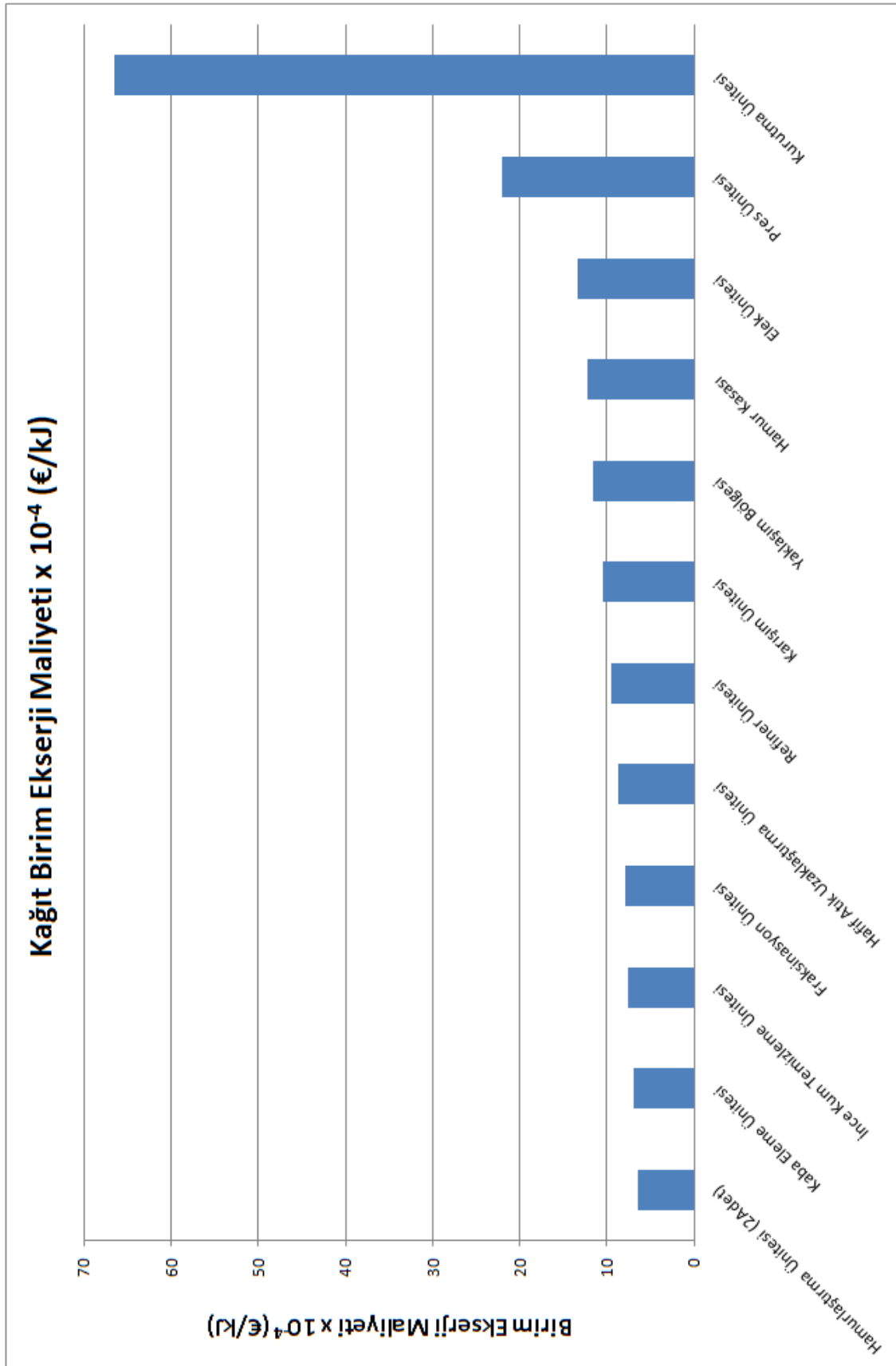
olarak bulunur.

Kâğıt üretim tesisinde her ünitenin girdisi diğer ünitenin çıktısı olduğu için bir ünitenin birim ekserji çıkış maliyetinden diğer ünitenin birim ekserji giriş maliyeti hesaplanabilir. Hamurlaştırma ünitesinden başlanarak hamurdan kâğıt oluşuncaya kadar her ünite için Çizelge 5.11'de verilen maliyet denge denklemleri çözülürse Çizelge 5.14'de verilen sonuçlar elde edilir.

Çizelge 5.14 Hesaplanan kâğıt birim ekserji maliyetleri

Ünite	Birim Ekserji Maliyet $\times 10^{-4}$ (€/kJ)
Hamurlaştırma Ünitesi (2Adet)	6,481
Kaba Eleme Ünitesi	6,971
İnce Kum Temizleme Ünitesi	7,516
Fraksinasyon Ünitesi	7,878
Hafif Atık Uzaklaştırma Ünitesi	8,674
Refiner Ünitesi	9,533
Karışım Ünitesi	10,424
Yaklaşım Bölgesi	11,642
Hamur Kasası	12,265
Elek Ünitesi	13,414
Pres Ünitesi	22,060
Kurutma Ünitesi	66,424

Şekil 5.12'de ise hesaplanan kâğıt birim ekserji maliyetinin üniteler boyunca değişimi görülmektedir.



Şekil 5.12 Kâğıt birim ekserji maliyetinin üniteler boyunca değişimi

YAPAY SİNİR AĞLARI VE KÂĞIT ÜRETİM TESİSİNE YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

6.1 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları insan beyni esas alınarak modellenmiş bir sistemdir. Bilgisayar ortamında, beynin yaptığı işlemleri yapabilen, karar veren, sonuç çıkaran, yetersiz veri durumunda var olan mevcut bilgiden yola çıkarak sonuca ulaşan, sürekli veri girişini kabul eden, öğrenen, hatırlayan bir algoritma, kısaca “Yapay Sinir Ağları” olarak adlandırılır.

Yapay sinir ağları yardımıyla herhangi bir fiziksel bağıntıya ihtiyaç duymadan her tür fonksiyona yaklaşım yapılabilir. Bu nedenle deneysel çalışmalarda herhangi bir bağıntı kullanılmaksızın sadece girdiler ve çıktılar yardımıyla modelleme yapmak mümkündür [40], [41], [42].

6.2 Kâğıt Üretim Tesisinde Yapay Sinir Ağı (YSA) Uygulaması

Yapay sinir ağları, beyin hücresi nöronlarının çalışma prensibinden esinlenilmiş, yaygın kullanım alanına sahip bir yapay zekâ tekniğidir.

FANN (Fast Artificial Neural Network Library) yaygın olarak kullanılan Çok Katmanlı İleri Beslemeli Geri Yayılımlı (Multi-Layer Feed Forward Backpropagate) Yapay Sinir Ağı türünün kullanımı için C dilinde yazılmış açık kaynak kodlu bir kütüphanedir. Cross-

platformdur ve Perl, PHP, Java, Delphi ve C# gibi pekçok programlama dili ile de kullanılabilir. Ayrıca FANN pek çok YSA kütüphanesinden çok daha hızlıdır [43].

Kâğıt üretim tesisine yapay sinir ağı uygulanırken hem hızlı olmasından hem de pek çok programlama diline uyarlanabilir olmasından dolayı FANN kütüphanesinden yararlanılmıştır.

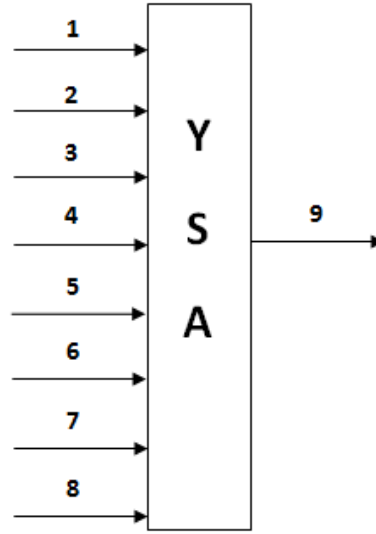
- Yapay sinir ağı uygulamalarında kâğıt üretim tesisinden elde edilen 20 adet deneysel ölçüm verileri kullanılmıştır. EK-C’de kâğıt üretim tesisini oluşturan her üniteye ait deneysel veriler gösterilmiştir.
- Yapay sinir ağlarında verilerin % 70’i eğitim % 30’u ise test için kullanılmıştır.

Yapay sinir ağları genelde bir girdi, bir çıktı ve bunlar arasında bir veya daha fazla gizli katmandan oluşur. Giriş ve çıkış katmanlarındaki nöron sayıları girdi ve çıktı parametreleri tarafından belirlenir. Gizli katmandaki nöron sayıları ise genellikle belirli bir kuralı olmadığından deneme yanılma yoluyla tespit edilir.

6.2.1 Hamurlaştırma Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması

6.2.1.1 YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması

Hamurlaştırma ünitesi için YSA ile ekserji kaybının hesaplanmasında Şekil 6.1’de görüldüğü üzere üniteye giren kullanılmış kâğıt miktarı(1), giren su miktarı(2), çıkan hamur miktarı(3), çıkan atık madde miktarı(4), giren su sıcaklığı(5), çıkan hamur sıcaklığı(6), çıkan atık madde sıcaklığı(7) ve çıkan hamur katı madde oranı(8) olmak üzere toplam 8 adet girdi verisi ve deneylerden elde edilen verilerle hesaplanan ekserji kaybı(9) ise 1 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.

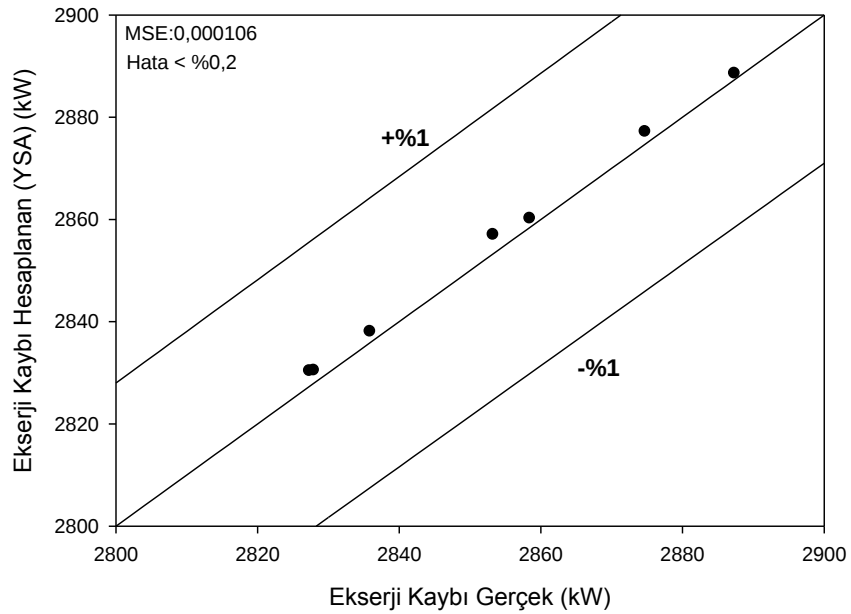


Şekil 6.1 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 8 nöron, çıkış katmanında çıktı verilerini temsil eden 1 nöron bulunmaktadır.

Şekil 6.2’de hamurlaştırma ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuç verilmiştir.

Hamurlaştırma Ünitesi Ekserji Kaybı

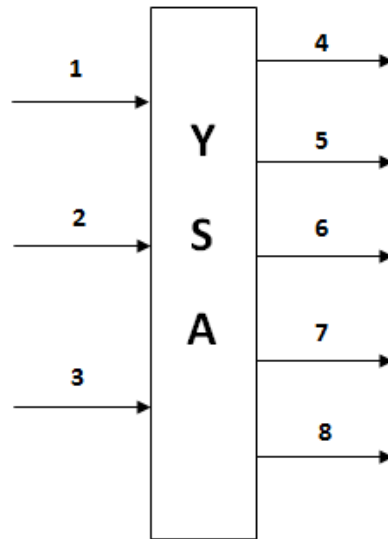


Şekil 6.2 Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı

Yapay sinir ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,000106 olarak elde edilmiş olup, ünitenin toplam ekserji kaybını % 0,2'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.1.2 YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması

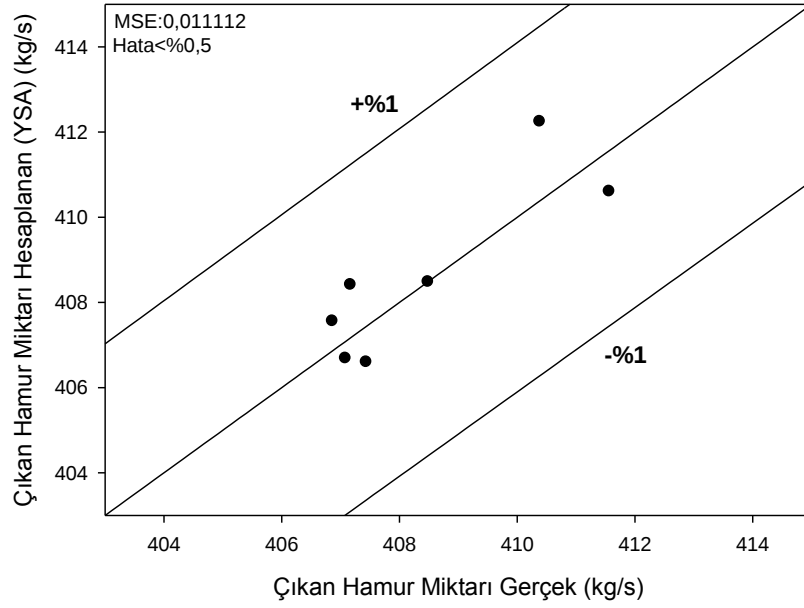
YSA ile hamurlaştırma ünitesinden çıkan hamurun miktarı, sıcaklığı ve katı madde oranının hesaplanmasında Şekil 6.3'de görüldüğü üzere üniteye giren kullanılmış kâğıt miktarı(1), giren su miktarı(2) ve giren su sıcaklığı(3) olmak üzere toplam 3 adet girdi verisi ve üniteden çıkan hamur miktarı(4), atık madde miktarı(5), çıkan hamur sıcaklığı(6), atık madde sıcaklığı(7) ve çıkan hamurun katı madde oranı(8) olmak üzere toplam 5 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.3 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 3 nöron, çıkış katmanında çıktı verilerini temsil eden 5 nöron bulunmaktadır. Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da hamurlaştırma ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

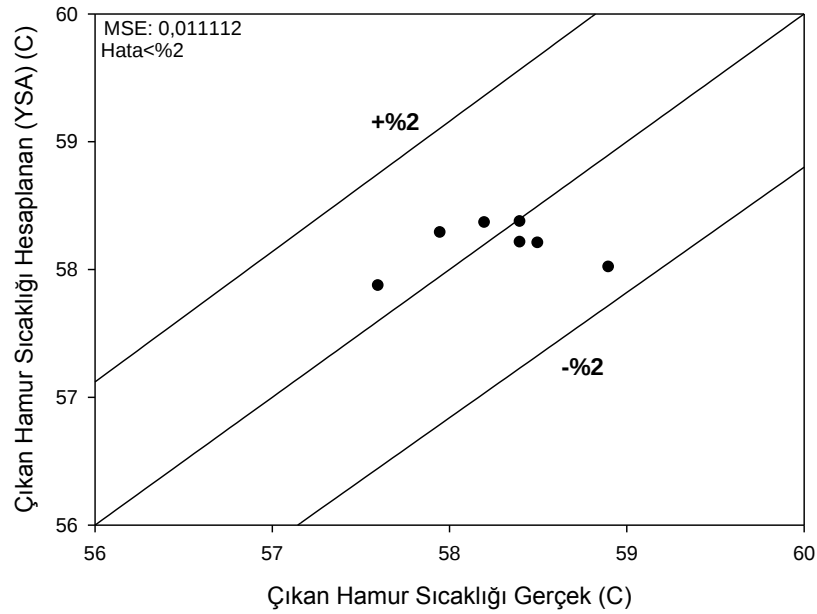
Hamurlaştırma Ünitesi Çıkan Hamur Miktarı



Şekil 6.4 Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı

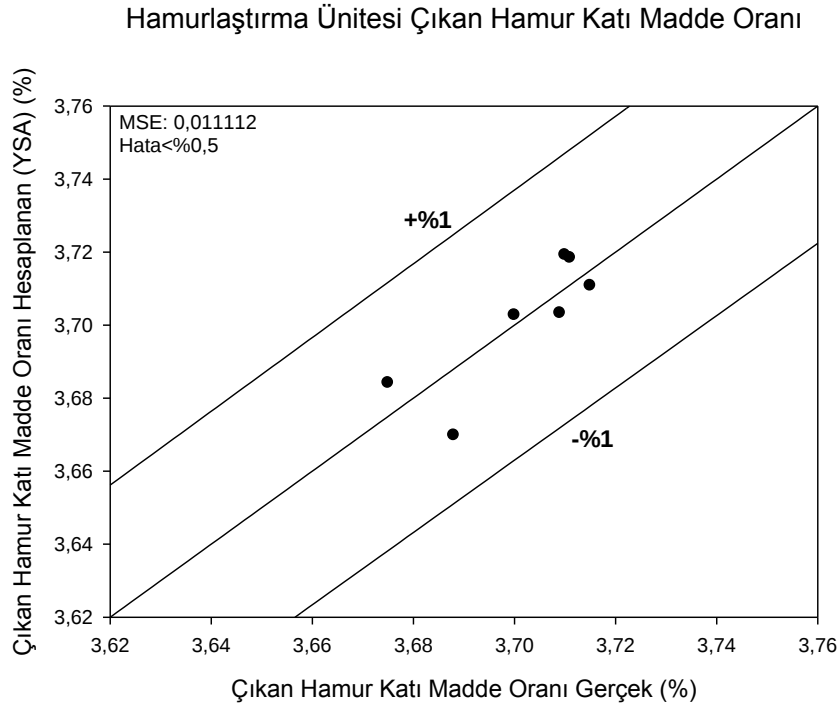
Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,011112 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur miktarını % 0,5'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

Hamurlaştırma Ünitesi Çıkan Hamur Sıcaklığı



Şekil 6.5 Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,011112 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur sıcaklığını % 2'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.6 Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı

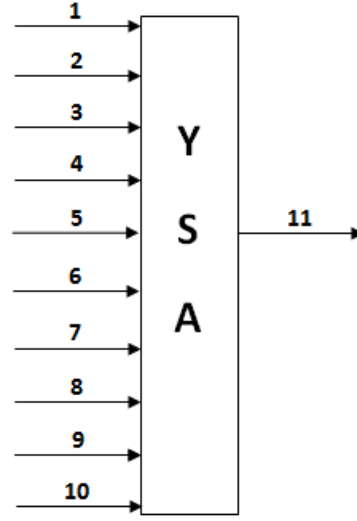
Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,011112 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamurun katı madde oranını % 0,5'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.2 Kaba Eleme Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması

6.2.2.1 YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması

Kaba eleme ünitesi için YSA ile ekserji kaybının hesaplanmasında Şekil 6.7'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren su miktarı(2), çıkan hamur miktarı(3), çıkan atık madde miktarı(4), giren hamur sıcaklığı(5), giren su sıcaklığı(6), çıkan hamur sıcaklığı(7), çıkan atık madde sıcaklığı(8), giren hamur katı madde oranı(9) ve çıkan hamur katı madde oranı(10) olmak üzere toplam 10 adet girdi verisi ve deneylerden

elde edilen verilerle hesaplanan ekserji kaybı(11) ise 1 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.

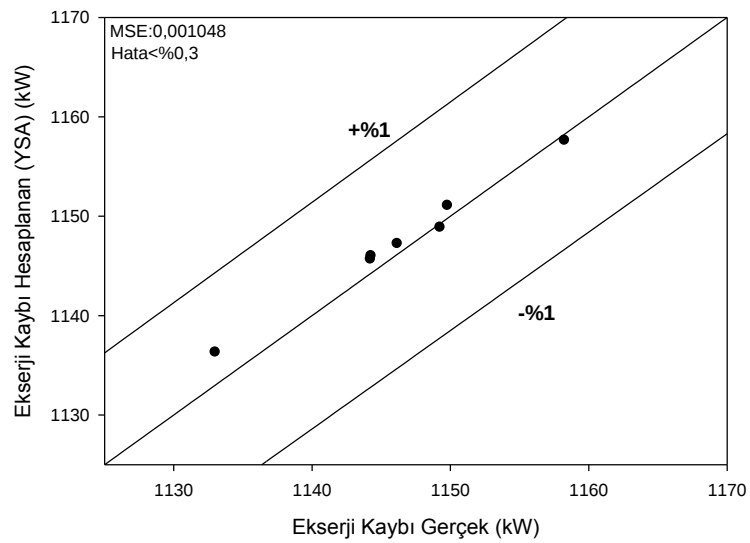


Şekil 6.7 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 10 nöron, çıkış katmanında ise çıktı verilerini temsil eden 1 nöron bulunmaktadır.

Şekil 6.8’de kaba eleme ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuç verilmiştir.

Kaba Eleme Ünitesi Ekserji Kaybı

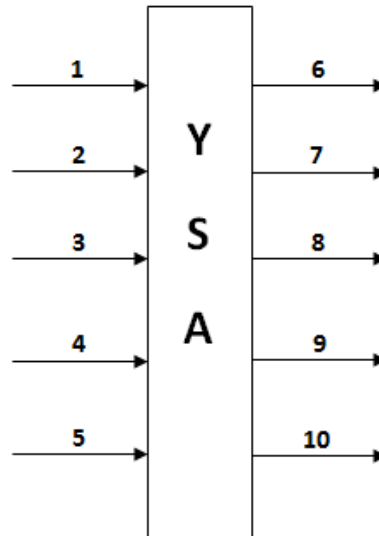


Şekil 6.8 Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı

Yapay sinir ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,001048 olarak elde edilmiş olup, ünitenin toplam ekserji kaybını % 0,3'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.2.2 YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması

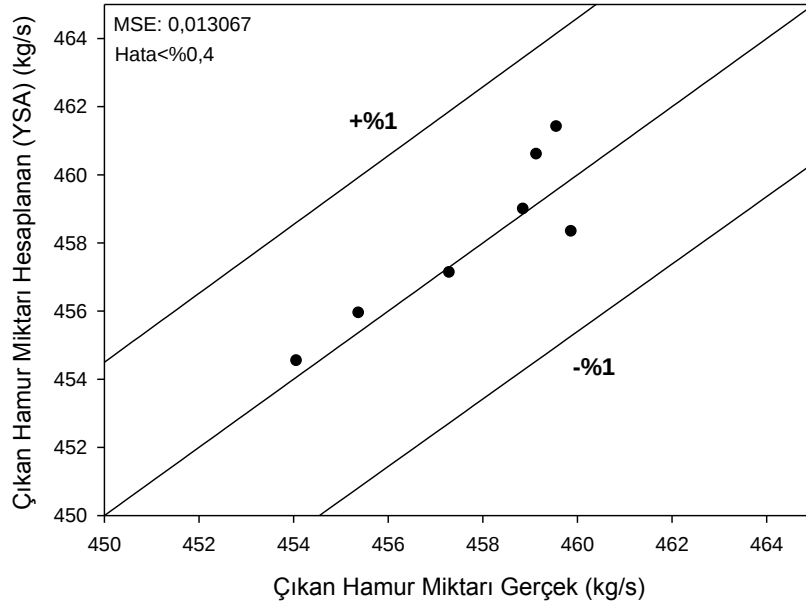
YSA ile kaba eleme ünitesinden çıkan hamurun miktarı, sıcaklığı ve katı madde oranının hesaplanmasında Şekil 6.9'da görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren su miktarı(2), giren hamur sıcaklığı(3), giren su sıcaklığı(4) ve giren hamur katı madde oranı(5) olmak üzere toplam 5 adet girdi verisi ve üniteden çıkan hamur miktarı(6), çıkan atık madde miktarı(7), çıkan hamur sıcaklığı(8), çıkan atık madde sıcaklığı(9) ve çıkan hamur katı madde oranı(10) olmak üzere toplam 5 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.9 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 5 nöron, çıkış katmanında çıktı verilerini temsil eden 5 nöron bulunmaktadır. Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de kaba eleme ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

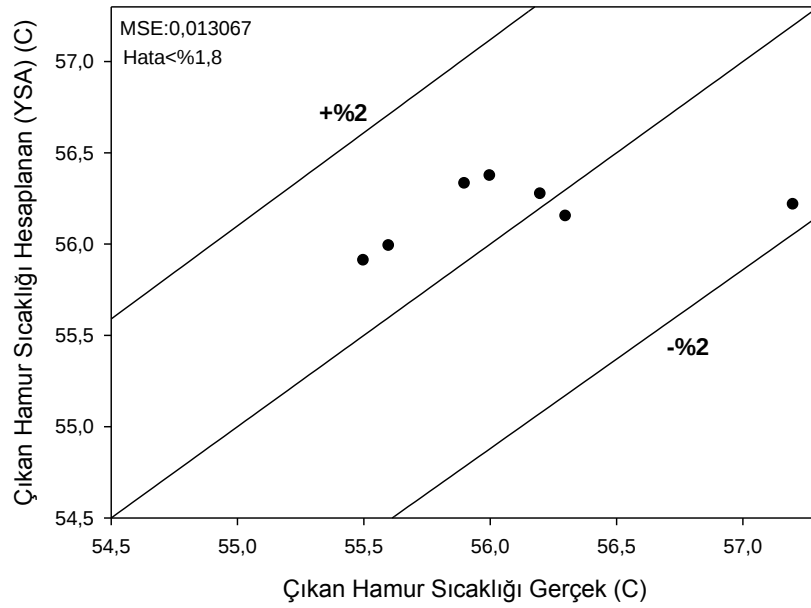
Kaba Eleme Ünitesi Çıkan Hamur Miktarı



Şekil 6.10 Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı

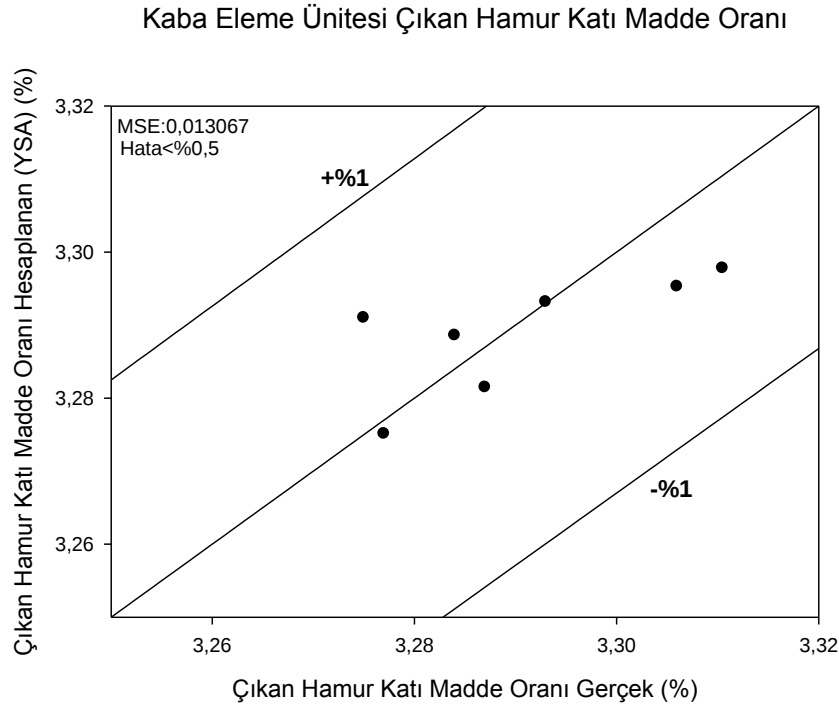
Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,013067 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur miktarını % 0,4'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

Kaba Eleme Ünitesi Çıkan Hamur Sıcaklığı



Şekil 6.11 Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,013067 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur sıcaklığını %1,8'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.12 Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı

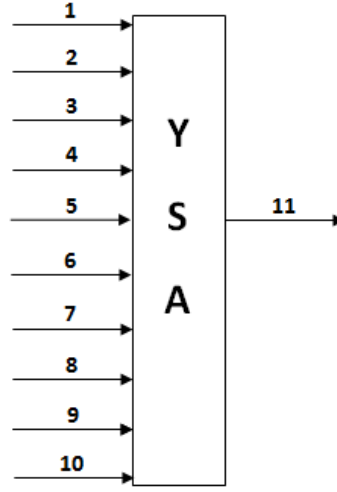
Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,013067 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamurun katı madde oranını % 0,5'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.3 İnce Kum Temizleme Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması

6.2.3.1 YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması

İnce kum temizleme ünitesi için YSA ile ekserji kaybının hesaplanmasında Şekil 6.13'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren su miktarı(2), çıkan hamur miktarı(3), çıkan atık madde miktarı(4), giren hamur sıcaklığı(5), giren su sıcaklığı(6), çıkan hamur sıcaklığı(7), çıkan atık madde sıcaklığı(8), giren hamur katı madde oranı(9) ve çıkan hamur katı madde oranı(10) olmak üzere toplam 10 adet girdi verisi ve

deneylerden elde edilen verilerle hesaplanan ekserji kaybı(11) ise 1 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.

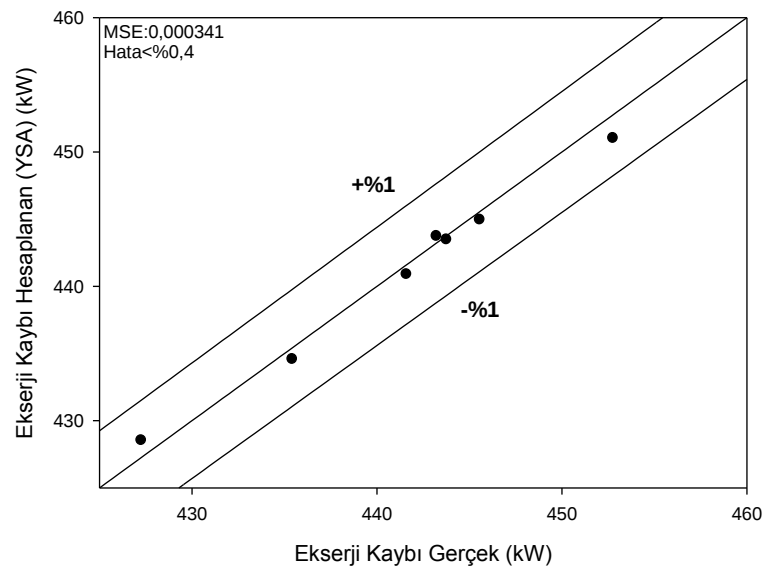


Şekil 6.13 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 10 nöron, çıkış katmanında ise çıktı verilerini temsil eden 1 nöron bulunmaktadır.

Şekil 6.14’de ince kum temizleme ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuç verilmiştir.

İnce Kum Temizleme Ünitesi Ekserji Kaybı

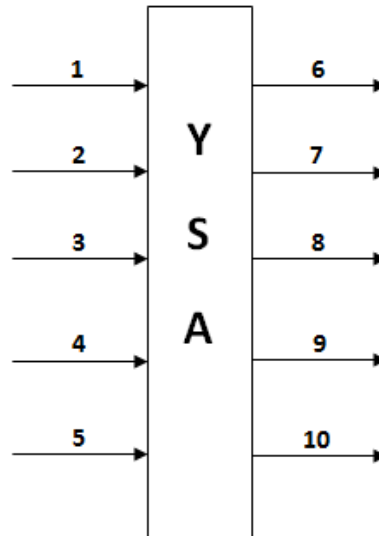


Şekil 6.14 Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı

Yapay sinir ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,000341 olarak elde edilmiş olup, ünitenin toplam ekserji kaybını % 0,4'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.3.2 YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması

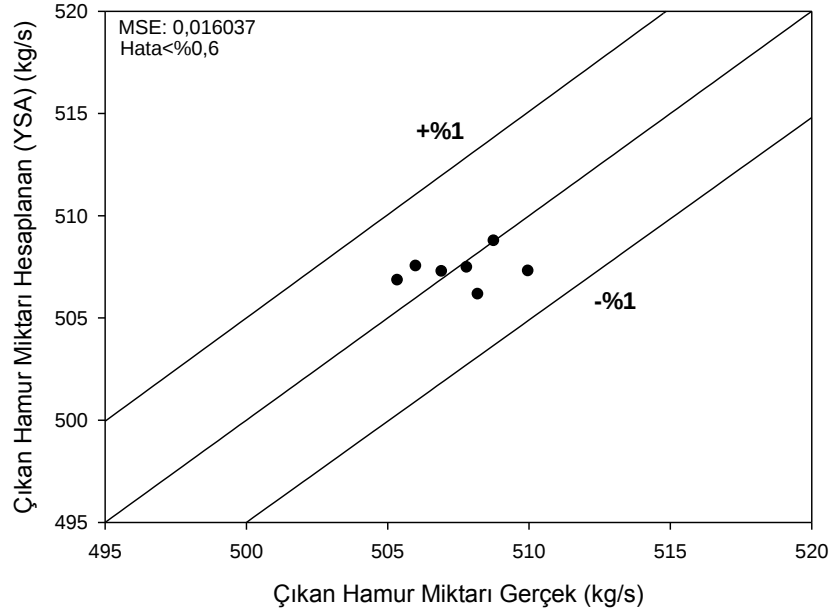
YSA ile ince kum temizleme ünitesinden çıkan hamurun miktarı, sıcaklığı ve katı madde oranının hesaplanmasında Şekil 6.15'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren su miktarı(2), giren hamur sıcaklığı(3), giren su sıcaklığı(4) ve giren hamur katı madde oranı(5) olmak üzere toplam 5 adet girdi verisi ve üniteden çıkan hamur miktarı(6), çıkan atık madde miktarı(7), çıkan hamur sıcaklığı(8), çıkan atık madde sıcaklığı(9) ve çıkan hamur katı madde oranı(10) olmak üzere toplam 5 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.15 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 5 nöron, çıkış katmanında çıktı verilerini temsil eden 5 nöron bulunmaktadır. Şekil 6.16, Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de ince kum temizleme ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

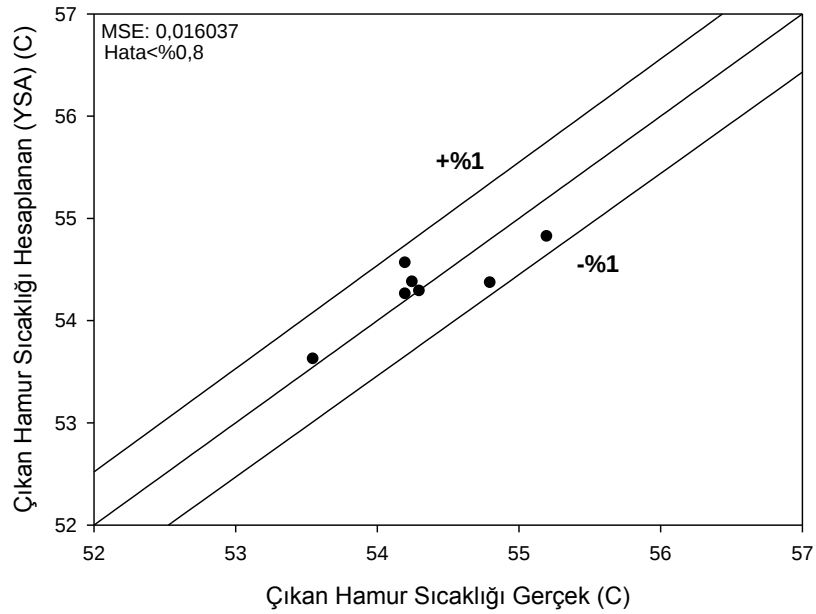
İnce Kum Temizleme Ünitesi Çıkan Hamur Miktarı



Şekil 6.16 Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı

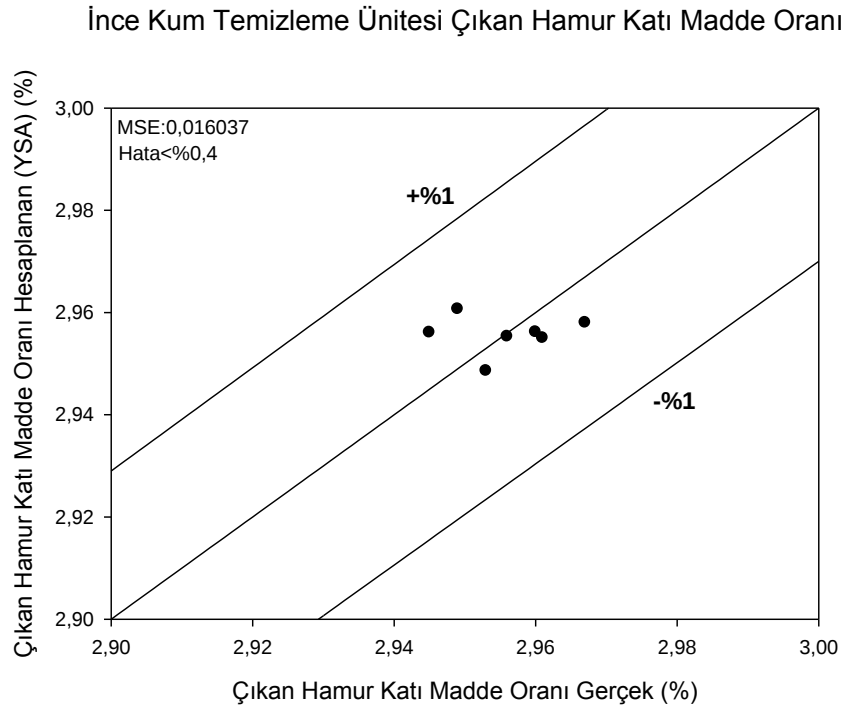
Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,016037 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur miktarını % 0,6'dan daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

İnce Kum Temizleme Ünitesi Çıkan Hamur Sıcaklığı



Şekil 6.17 Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,016037 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur sıcaklığını % 0,8'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.



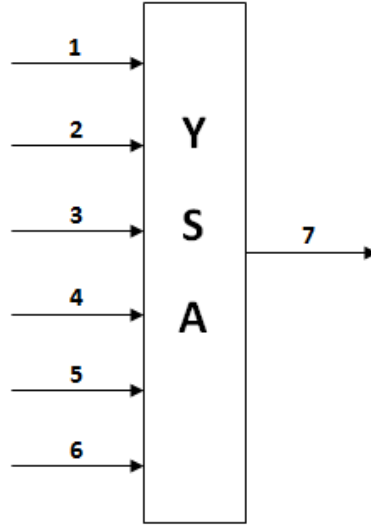
Şekil 6.18 Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,016037 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamurun katı madde oranını % 0,4'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.4 Fraksinyasyon Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması

6.2.4.1 YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması

Fraksinyasyon ünitesi için YSA ile ekserji kaybının hesaplanmasında Şekil 6.19'da görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren hamur sıcaklığı(2), giren hamur katı madde oranı(3), çıkan hamur miktarı(4), çıkan hamur sıcaklığı(5) ve çıkan hamurun katı madde oranı(6) olmak üzere toplam 6 adet girdi verisi ve deneylerden elde edilen verilerle hesaplanan ekserji kaybı(7) ise 1 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.

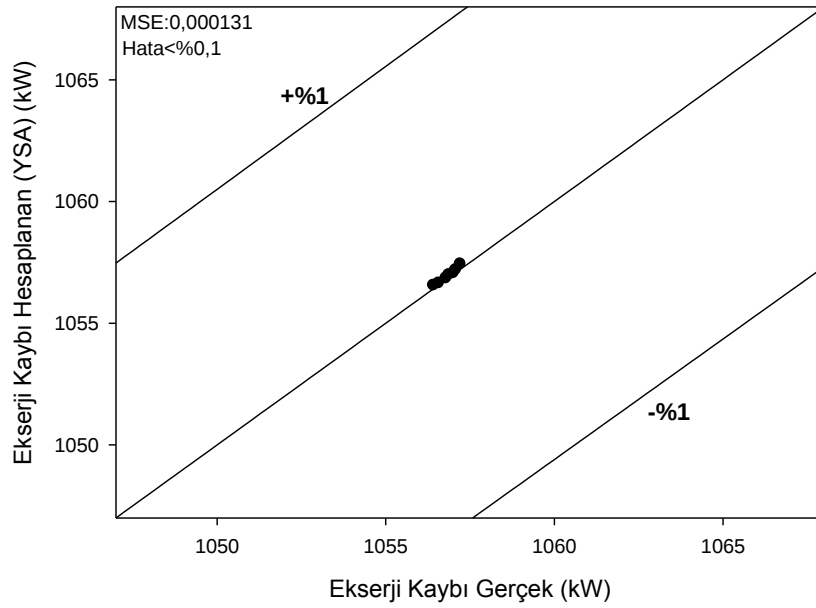


Şekil 6.19 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 6 nöron, çıkış katmanında ise çıktı verilerini temsil eden 1 nöron bulunmaktadır.

Şekil 6.20’de fraksinasyon ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuç verilmiştir.

Fraksinasyon Ünitesi Ekserji Kaybı



Şekil 6.20 Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı

Yapay sinir ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,000131 olarak elde edilmiş olup, ünitenin toplam ekserji kaybını % 0,1'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

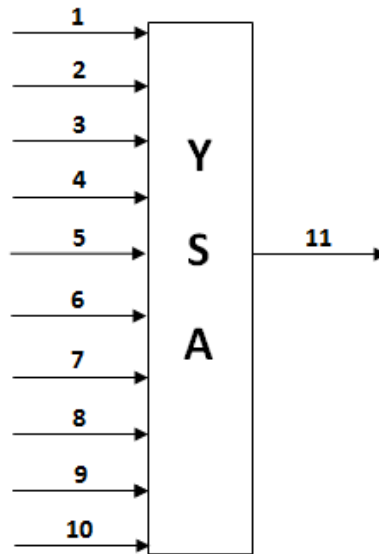
6.2.4.2 YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması

Fraksinasyon ünitesinde herhangi bir madde girişi ve çıkışı olmadığı için üniteden çıkan hamurun miktarı, sıcaklığı ve katı madde oranı YSA ile hesaplanmamıştır.

6.2.5 Hafif Atık Uzaklaştırma Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması

6.2.5.1 YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması

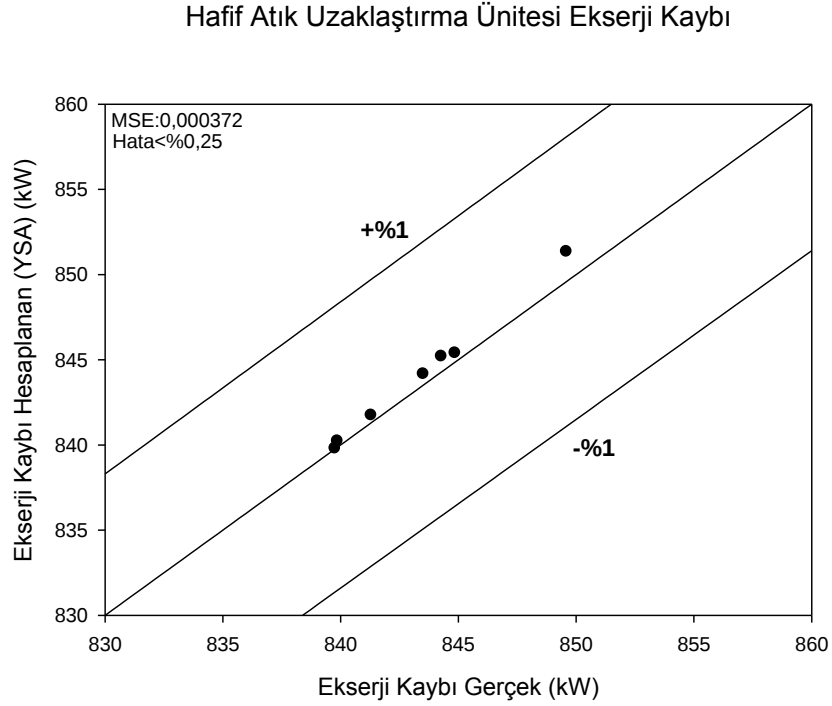
Hafif atık uzaklaştırma ünitesi için YSA ile ekserji kaybının hesaplanmasında Şekil 6.21'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren su miktarı(2), çıkan hamur miktarı(3), çıkan atık madde miktarı(4), giren hamur sıcaklığı(5), giren su sıcaklığı(6), çıkan hamur sıcaklığı(7), çıkan atık madde sıcaklığı(8), giren hamur katı madde oranı(9) ve çıkan hamur katı madde oranı(10) olmak üzere toplam 10 adet girdi verisi ve deneylerden elde edilen verilerle hesaplanan ekserji kaybı(11) ise 1 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.21 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 10 nöron, çıkış katmanında ise çıktı verilerini temsil eden 1 nöron bulunmaktadır.

Şekil 6.22’de hafif atık uzaklaştırma ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuç verilmiştir.



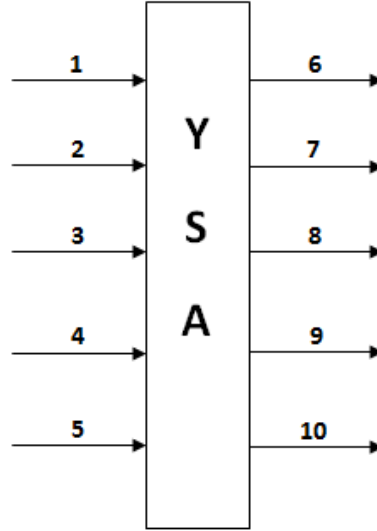
Şekil 6.22 Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı

Yapay sinir ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,000372 olarak elde edilmiş olup, ünitenin toplam ekserji kaybını % 0,25’den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.5.2 YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması

YSA ile hafif atık uzaklaştırma ünitesinden çıkan hamurun miktarı, sıcaklığı ve katı madde oranının hesaplanmasında Şekil 6.23’de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren su miktarı(2), giren hamur sıcaklığı(3), giren su sıcaklığı(4) ve giren hamur katı madde oranı(5) olmak üzere toplam 5 adet girdi verisi ve üniteden çıkan hamur miktarı(6), çıkan atık madde miktarı(7), çıkan hamur sıcaklığı(8), çıkan atık

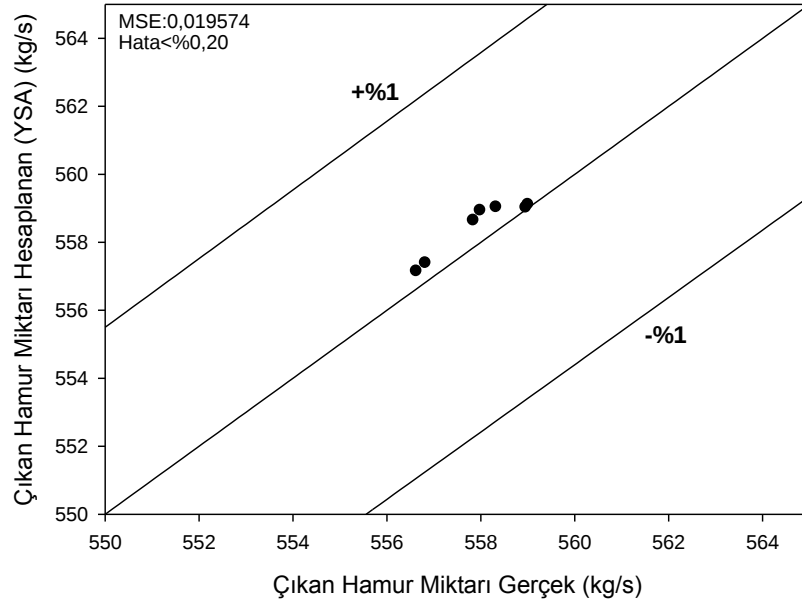
madde sıcaklığı(9) ve çıkan hamur katı madde oranı(10) olmak üzere toplam 5 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.23 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 5 nöron, çıkış katmanında çıktı verilerini temsil eden 5 nöron bulunmaktadır. Şekil 6.24, Şekil 6.25 ve Şekil 6.26'da hafif atık uzaklaştırma ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

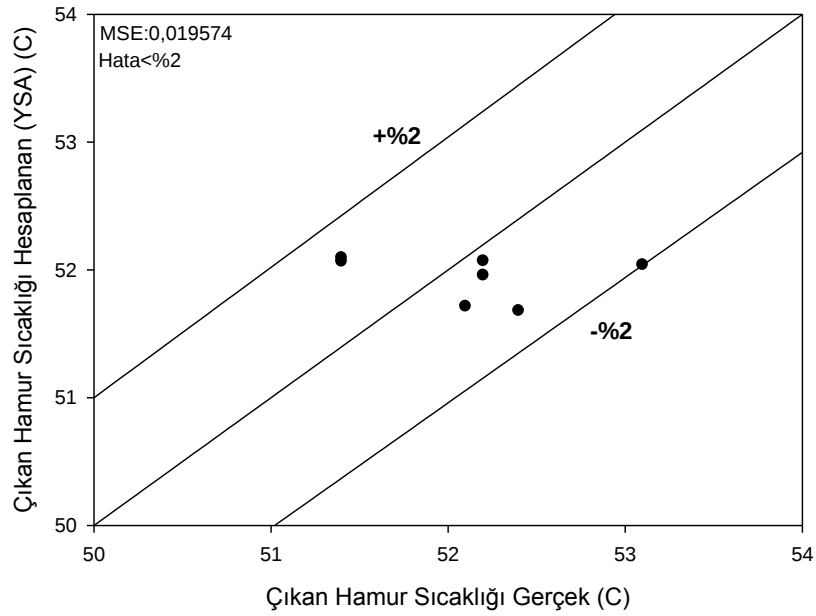
Hafif Atık Uzaklaştırma Ünitesi Çıkan Hamur Miktarı



Şekil 6.24 Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı

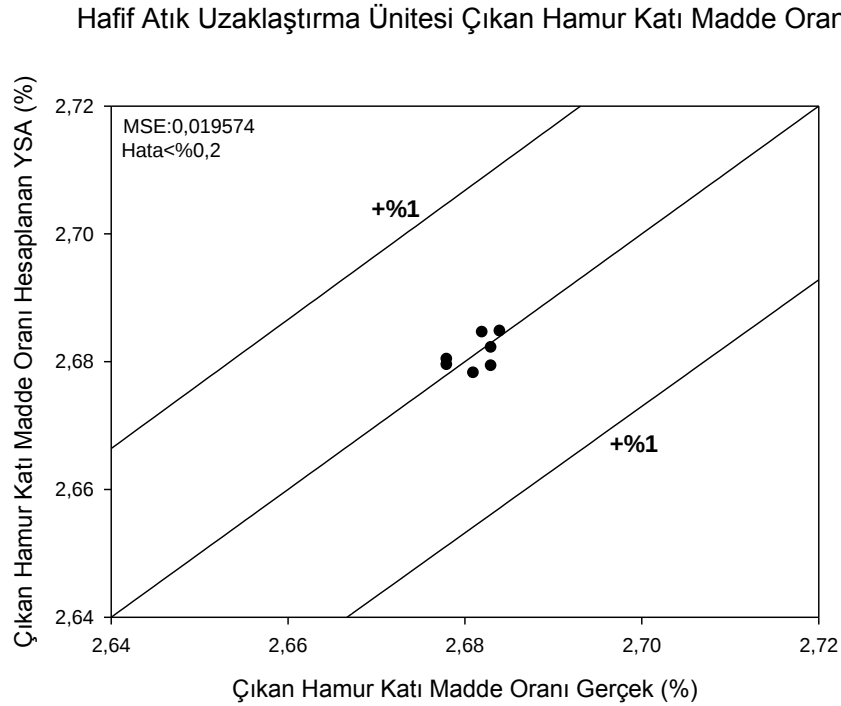
Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,019574 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur miktarını % 0,2'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

Hafif Atık Uzaklaştırma Ünitesi Çıkan Hamur Sıcaklığı



Şekil 6.25 Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,019574 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur sıcaklığını % 2'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.



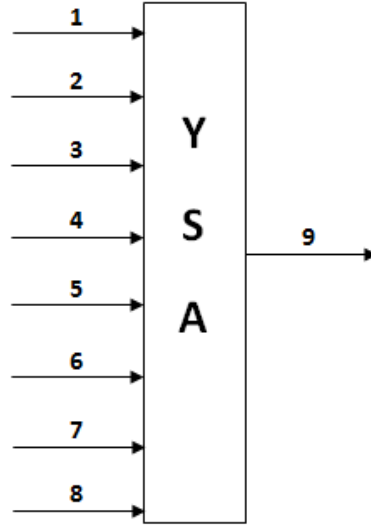
Şekil 6.26 Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,019574 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamurun katı madde oranını % 0,2'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.6 Refiner Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması

6.2.6.1 YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması

Refiner ünitesi için YSA ile ekserji kaybının hesaplanmasında Şekil 6.27'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), çıkan hamur miktarı(2), çıkan atık madde miktarı(3), giren hamur sıcaklığı(4), çıkan hamur sıcaklığı(5), çıkan atık madde sıcaklığı(6), giren hamur katı madde oranı(7) ve çıkan hamur katı madde oranı(8) olmak üzere toplam 8 adet girdi verisi ve deneylerden elde edilen verilerle hesaplanan ekserji kaybı(9) ise 1 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.

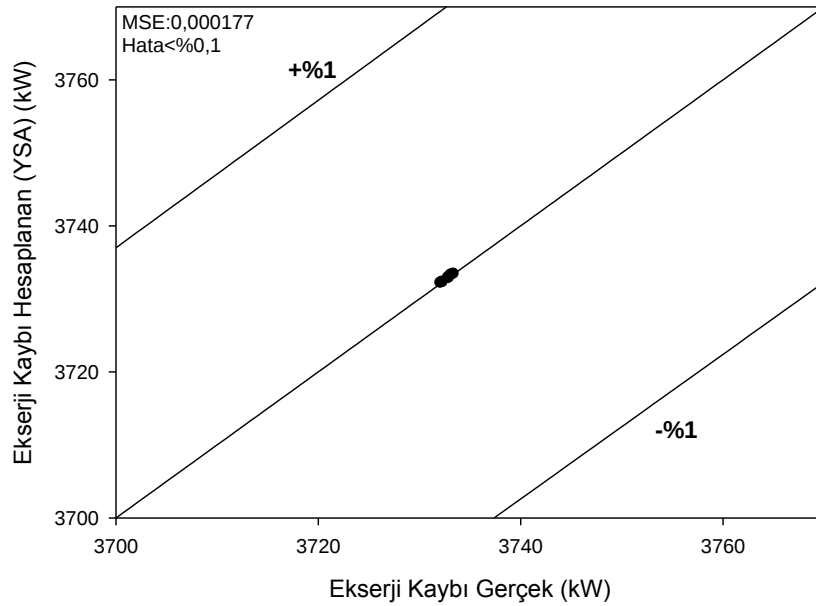


Şekil 6.27 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 8 nöron, çıkış katmanında ise çıktı verilerini temsil eden 1 nöron bulunmaktadır.

Şekil 6.28’de refiner ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuç verilmiştir.

Refiner Ünitesi Ekserji Kaybı

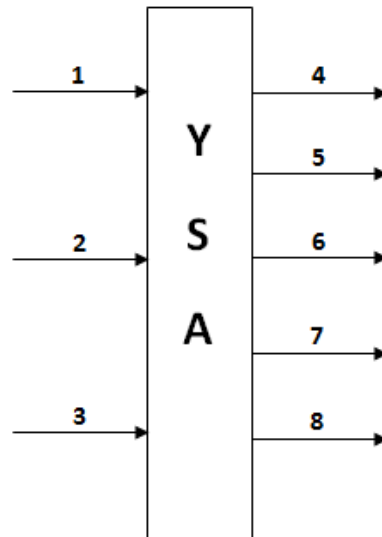


Şekil 6.28 Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı

Yapay sinir ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,000177 olarak elde edilmiş olup, ünitenin toplam ekserji kaybını % 0,1'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.6.2 YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması

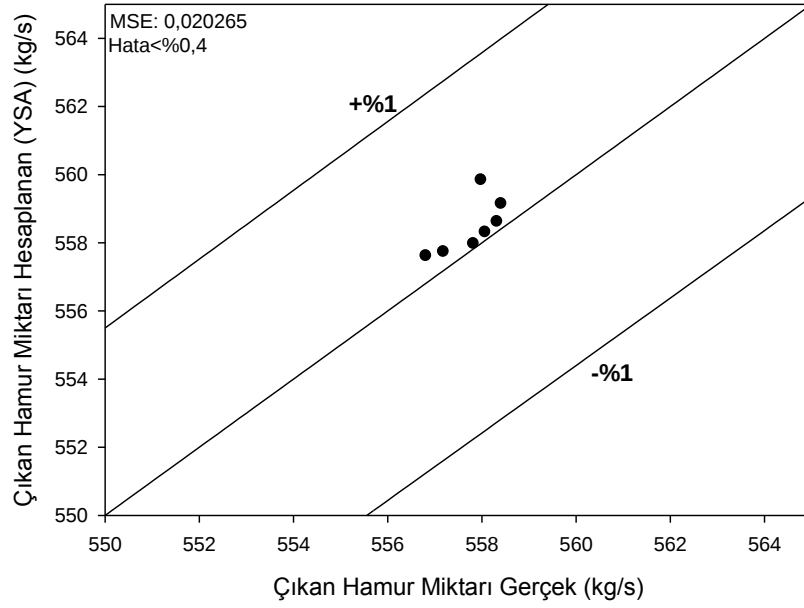
YSA ile refiner ünitesinden çıkan hamurun miktarı, sıcaklığı ve katı madde oranının hesaplanmasında Şekil 6.29'da görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren hamur sıcaklığı(2), giren hamur katı madde oranı(3) olmak üzere toplam 3 adet girdi verisi ve üniteden çıkan hamur miktarı(4), çıkan atık madde miktarı(5), çıkan hamur sıcaklığı(6), çıkan atık madde sıcaklığı(7) ve çıkan hamur katı madde oranı(8) olmak üzere toplam 5 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.29 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 3 nöron, çıkış katmanında çıktı verilerini temsil eden 5 nöron bulunmaktadır. Şekil 6.30, Şekil 6.31 ve Şekil 6.32'de refiner ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

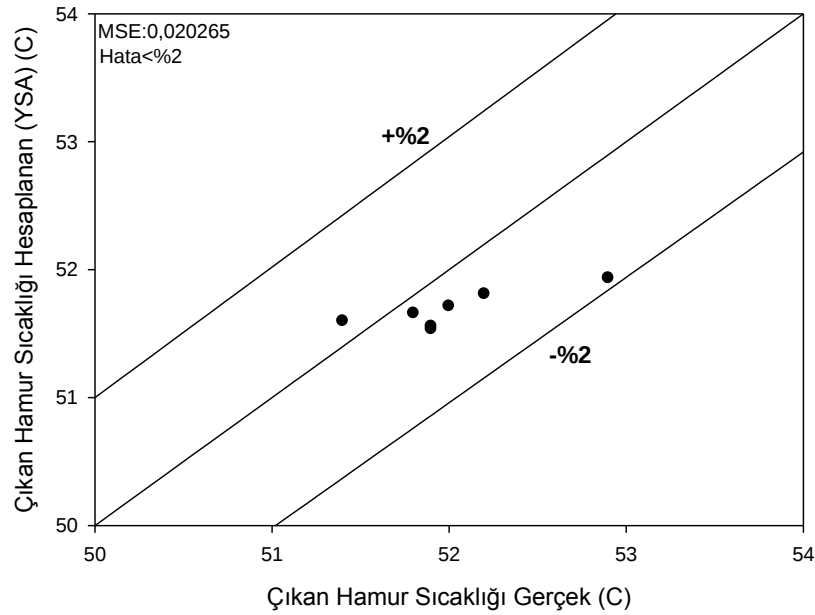
Refiner Ünitesi Çıkan Hamur Miktarı



Şekil 6.30 Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı

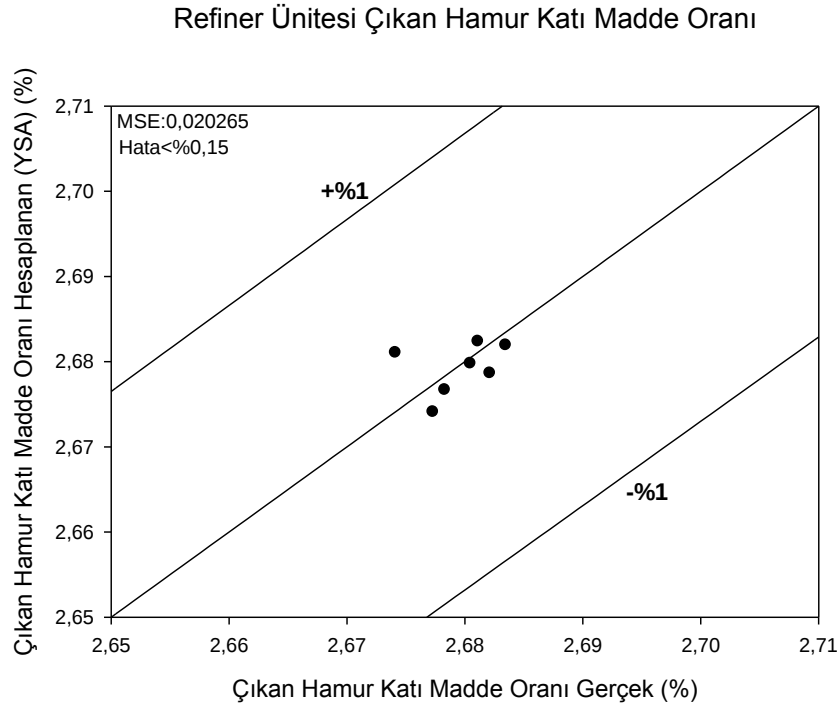
Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,020265 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur miktarını % 0,4'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

Refiner Ünitesi Çıkan Hamur Sıcaklığı



Şekil 6.31 Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,020265 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur sıcaklığını % 2'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.



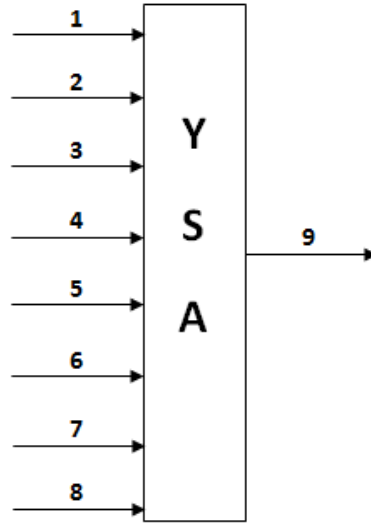
Şekil 6.32 Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,020265 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamurun katı madde oranını % 0,15'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.7 Karışım Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması

6.2.7.1 YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması

Karışım ünitesi için YSA ile ekserji kaybının hesaplanmasında Şekil 6.33'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren su miktarı(2), çıkan hamur miktarı(3), giren hamur sıcaklığı(4), giren su sıcaklığı(5), çıkan hamur sıcaklığı(6), giren hamur katı madde oranı(7) ve çıkan hamur katı madde oranı(8) olmak üzere toplam 8 adet girdi verisi ve deneylerden elde edilen verilerle hesaplanan ekserji kaybı(9) ise 1 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.

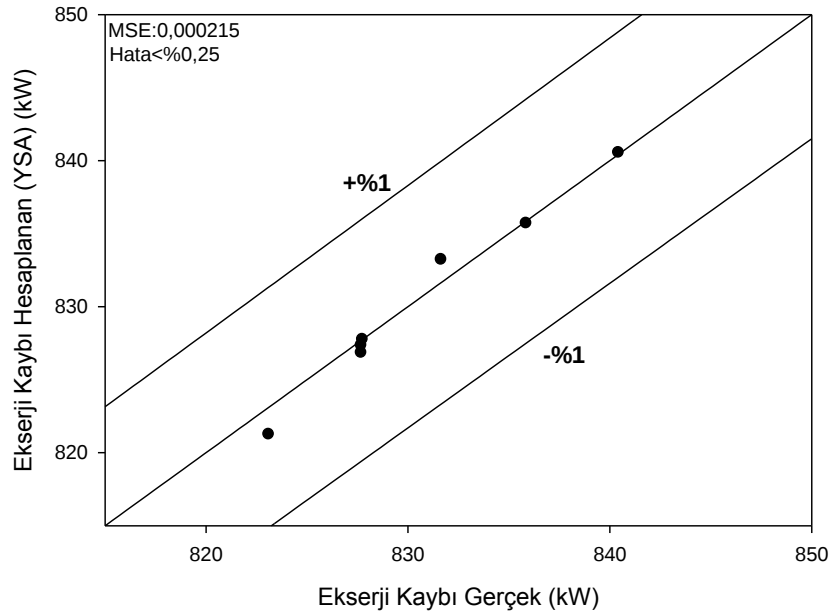


Şekil 6.33 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 8 nöron, çıkış katmanında ise çıktı verilerini temsil eden 1 nöron bulunmaktadır.

Şekil 6.34’de karışım ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuç verilmiştir.

Karışım Ünitesi Ekserji Kaybı

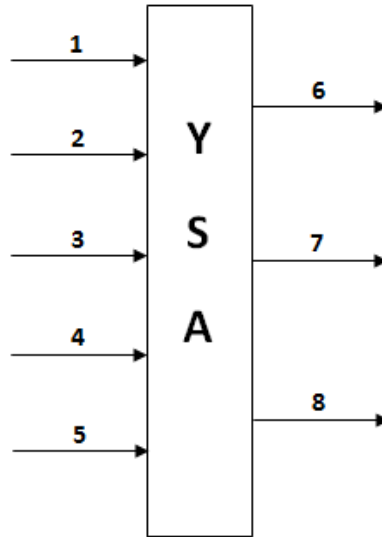


Şekil 6.34 Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı

Yapay sinir ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,000215 olarak elde edilmiş olup, ünitenin toplam ekserji kaybını % 0,25'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.7.2 YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması

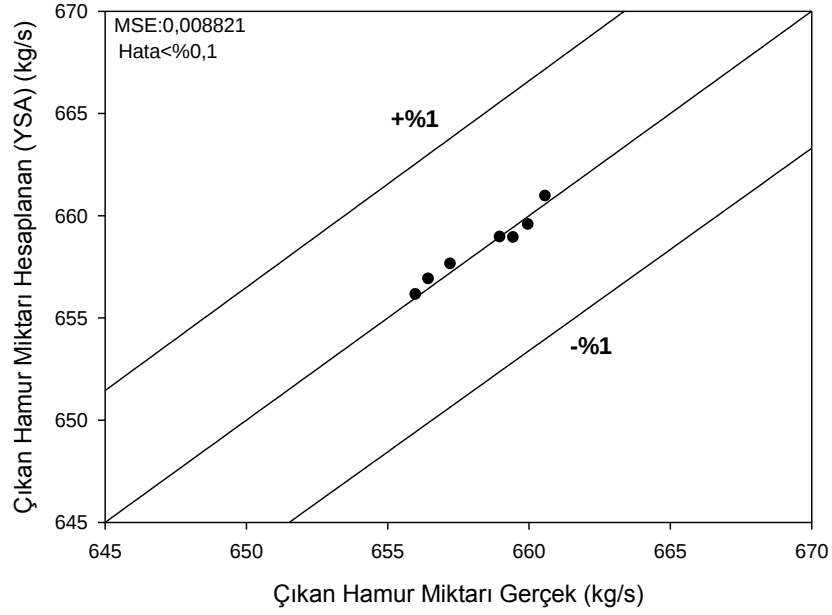
YSA ile karışım ünitesinden çıkan hamurun miktarı, sıcaklığı ve katı madde oranının hesaplanmasında Şekil 6.35'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren su miktarı(2), giren hamur sıcaklığı(3), giren su sıcaklığı(4) ve giren hamur katı madde oranı(5) olmak üzere toplam 5 adet girdi verisi ve üniteden çıkan hamur miktarı(6), çıkan hamur sıcaklığı(7) ve çıkan hamur katı madde oranı(8) olmak üzere toplam 3 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.35 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 5 nöron, çıkış katmanında çıktı verilerini temsil eden 3 nöron bulunmaktadır. Şekil 6.36, Şekil 6.37 ve Şekil 6.38'de karışım ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

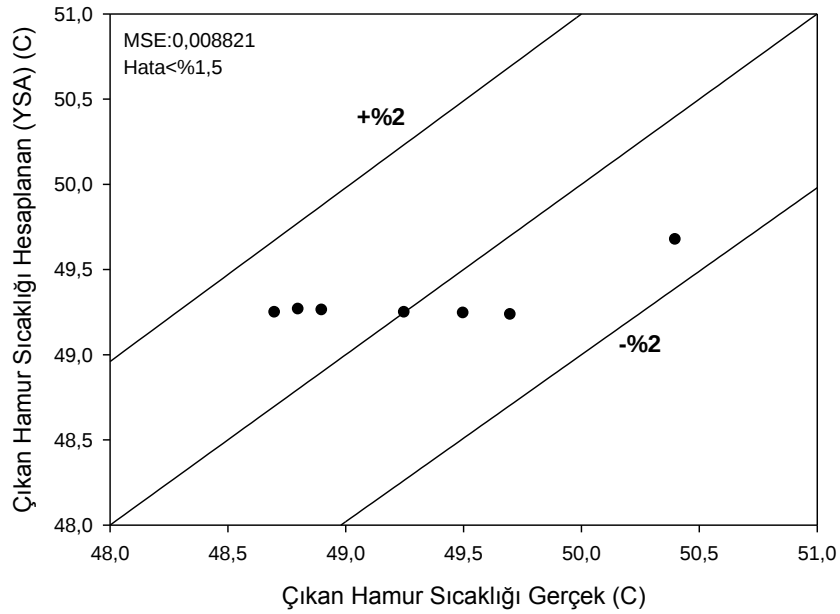
Karışım Ünitesi Çıkan Hamur Miktarı



Şekil 6.36 Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı

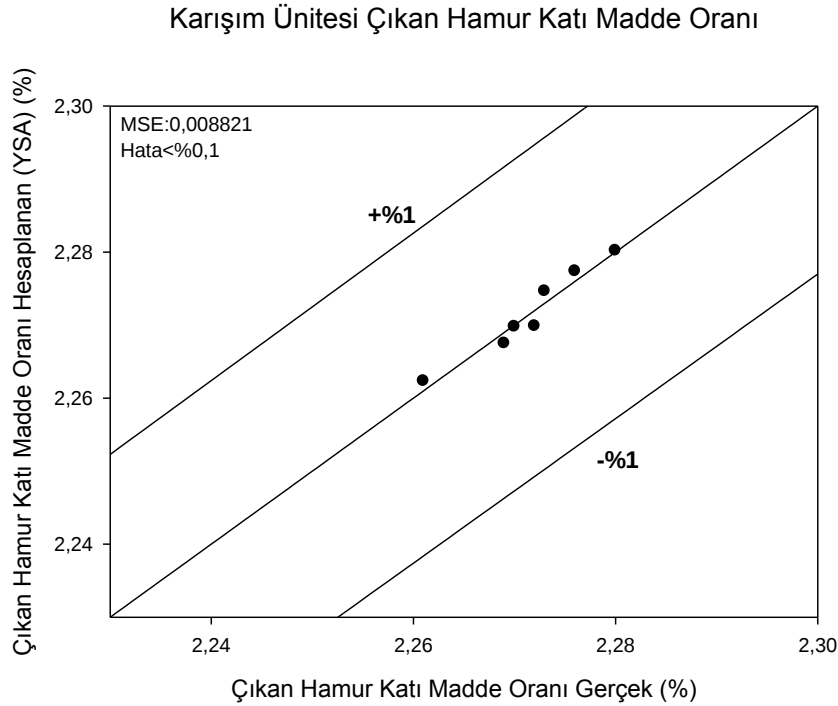
Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,008821 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur miktarını % 0,1'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

Karışım Ünitesi Çıkan Hamur Sıcaklığı



Şekil 6.37 Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,008821 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur sıcaklığını % 1,5'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.38 Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı

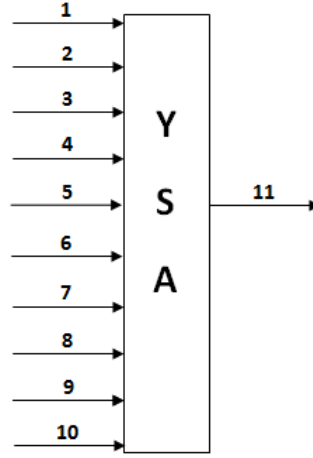
Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,008821 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamurun katı madde oranını % 0,1'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.8 Yaklaşım Bölgesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması

6.2.8.1 YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması

Yaklaşım bölgesi için YSA ile ekserji kaybının hesaplanmasında Şekil 6.39'da görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren su miktarı(2), çıkan hamur miktarı(3), çıkan atık madde miktarı(4), giren hamur sıcaklığı(5), giren su sıcaklığı(6), çıkan hamur sıcaklığı(7), çıkan atık madde sıcaklığı(8), giren hamur katı madde oranı(9) ve çıkan hamur katı madde oranı(10) olmak üzere toplam 10 adet girdi verisi ve deneylerden

elde edilen verilerle hesaplanan ekserji kaybı(11) ise 1 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.

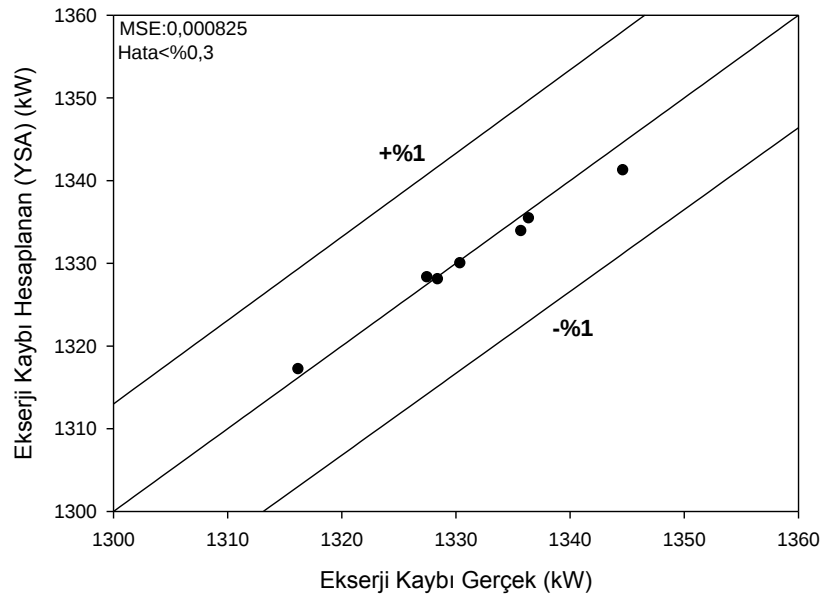


Şekil 6.39 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 10 nöron, çıkış katmanında ise çıktı verilerini temsil eden 1 nöron bulunmaktadır.

Şekil 6.40'da yaklaşım bölgesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuç verilmiştir.

Yaklaşım Bölgesi Ekserji Kaybı

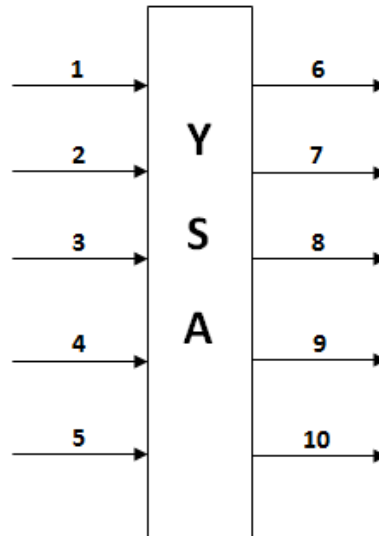


Şekil 6.40 Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı

Yapay sinir ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,000825 olarak elde edilmiş olup, ünitenin toplam ekserji kaybını % 0,3'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.8.2 YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması

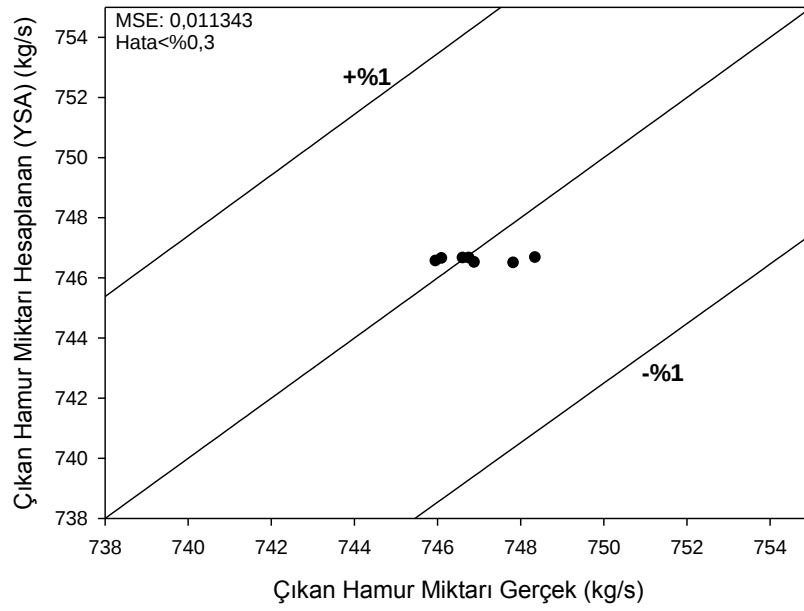
YSA ile yaklaşım bölgesinden çıkan hamurun miktarı, sıcaklığı ve katı madde oranının hesaplanmasında Şekil 6.41'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren su miktarı(2), giren hamur sıcaklığı(3), giren su sıcaklığı(4) ve giren hamur katı madde oranı(5) olmak üzere toplam 5 adet girdi verisi ve üniteden çıkan hamur miktarı(6), çıkan atık madde miktarı(7), çıkan hamur sıcaklığı(8), çıkan atık madde sıcaklığı(9) ve çıkan hamur katı madde oranı(10) olmak üzere toplam 5 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.41 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 5 nöron, çıkış katmanında çıktı verilerini temsil eden 5 nöron bulunmaktadır. Şekil 6.42, Şekil 6.43 ve Şekil 6.44'de yaklaşım bölgesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

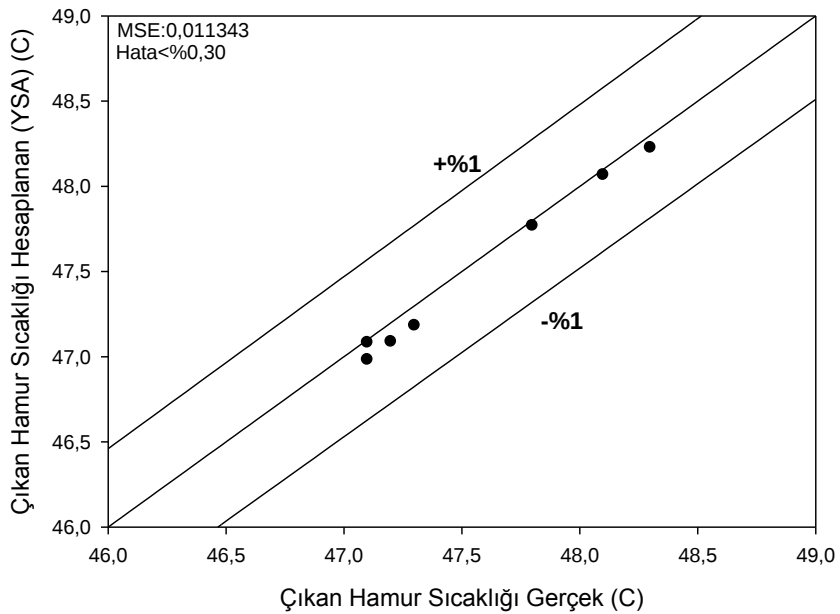
Yaklaşım Bölgesi Çıkan Hamur Miktarı



Şekil 6.42 Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı

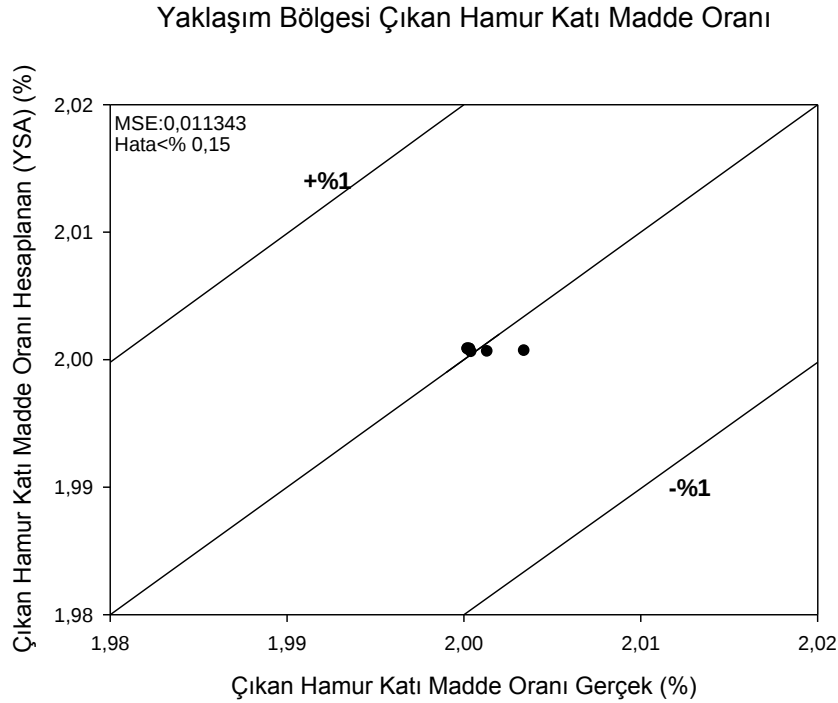
Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,011343 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur miktarını % 0,3'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

Yaklaşım Bölgesi Çıkan Hamur Sıcaklığı



Şekil 6.43 Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,011343 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur sıcaklığını % 0,3'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.



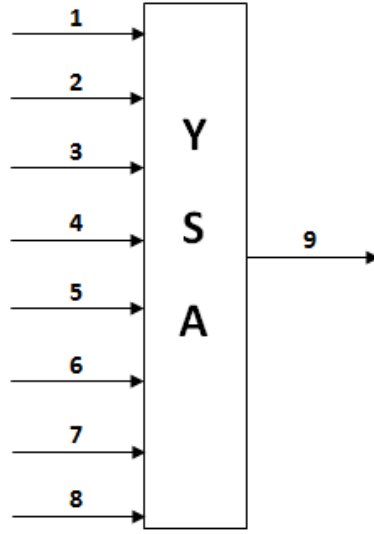
Şekil 6.44 Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,011343 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamurun katı madde oranını % 0,15'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.9 Hamur Kasası Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması

6.2.9.1 YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması

Hamur kasası için YSA ile ekserji kaybının hesaplanmasında Şekil 6.45'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), çıkan hamur miktarı(2), çıkan atık madde miktarı(3), giren hamur sıcaklığı(4), çıkan hamur sıcaklığı(5), çıkan atık madde sıcaklığı(6), giren hamur katı madde oranı(7) ve çıkan hamur katı madde oranı(8) olmak üzere toplam 8 adet girdi verisi ve deneylerden elde edilen verilerle hesaplanan ekserji kaybı(9) ise 1 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.

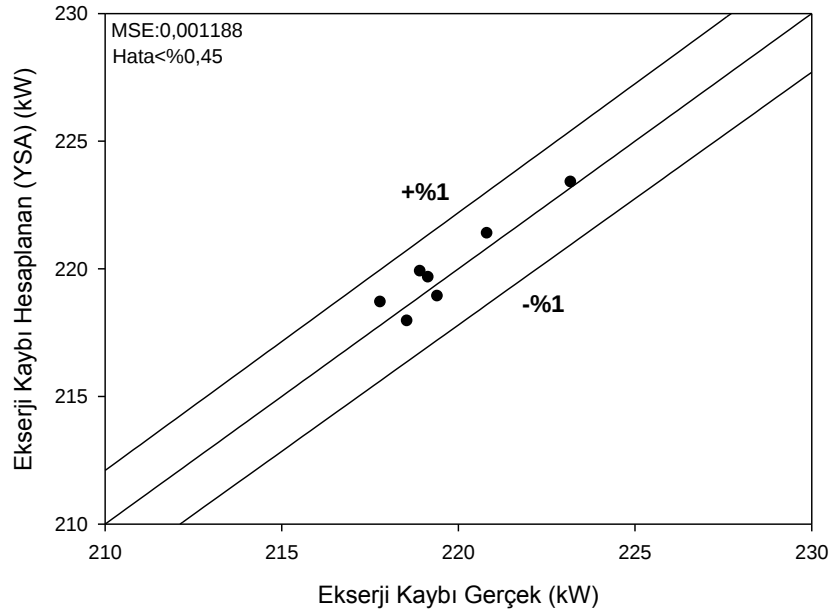


Şekil 6.45 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 8 nöron, çıkış katmanında ise çıktı verilerini temsil eden 1 nöron bulunmaktadır.

Şekil 6.46'da hamur kasasına yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuç verilmiştir.

Hamur Kasası Ekserji Kaybı



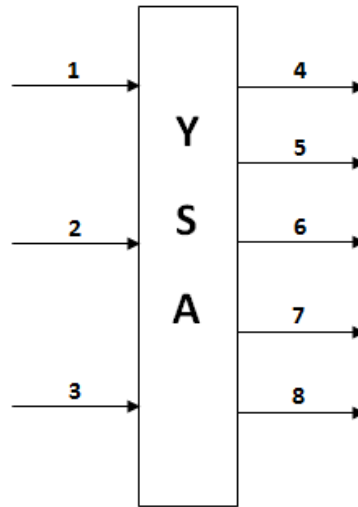
Şekil 6.46 Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı

Yapay sinir ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,001188 olarak elde edilmiş olup, ünitenin toplam ekserji kaybını % 0,45'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.9.2 YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması

Hamur kasasında hamurun katı madde oranı yaklaşık olarak değişmediğinden bu üniteye çıkan hamurun katı madde oranı YSA ile hesaplatılmamıştır.

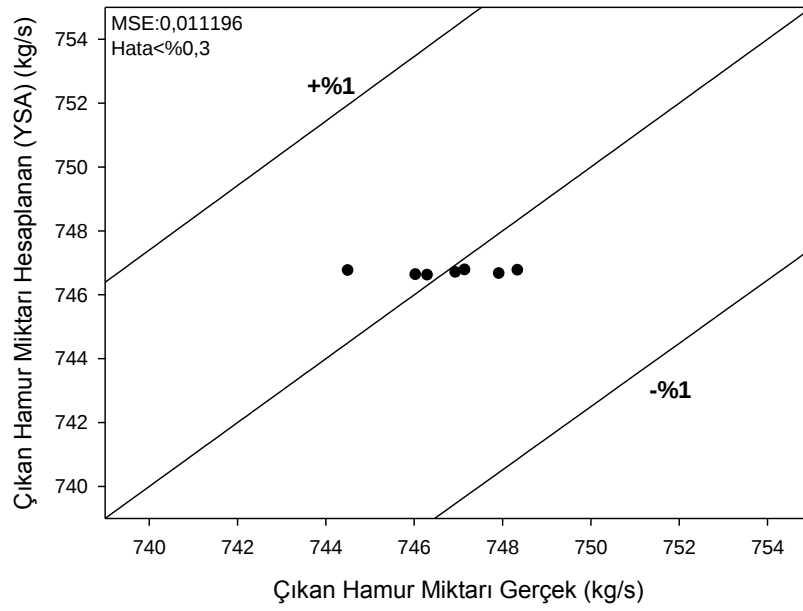
YSA ile hamur kasasından çıkan hamurun miktarı ve sıcaklığının hesaplanmasında Şekil 6.47'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren hamur sıcaklığı(2), giren hamur katı madde oranı(3) olmak üzere toplam 3 adet girdi verisi ve üniteden çıkan hamur miktarı(4), çıkan atık madde miktarı(5), çıkan hamur sıcaklığı(6), çıkan atık madde sıcaklığı(7) ve çıkan hamur katı madde oranı(8) olmak üzere toplam 5 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.47 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 3 nöron, çıkış katmanında çıktı verilerini temsil eden 5 nöron bulunmaktadır. Şekil 6.48 ve Şekil 6.49'da hamur kasasına yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

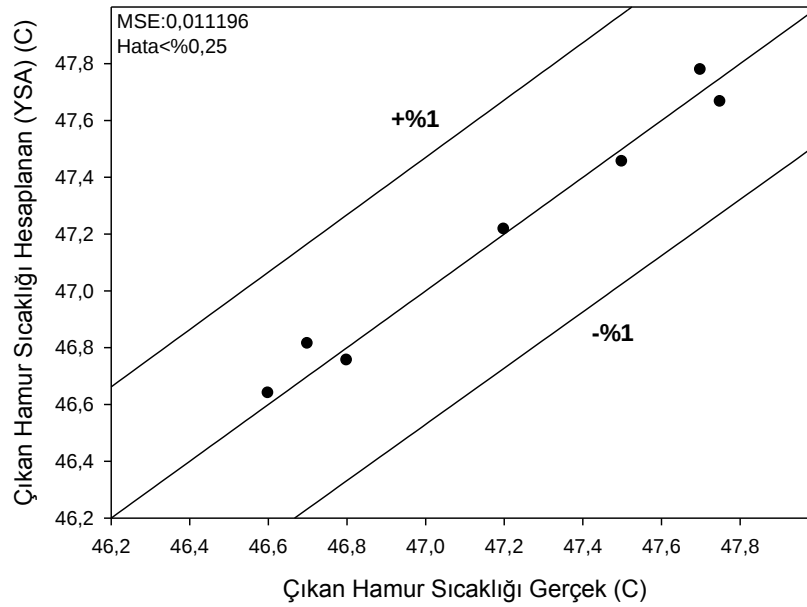
Hamur Kasası Çıkan Hamur Miktarı



Şekil 6.48 Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,011196 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur miktarını % 0,3'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

Hamur Kasası Çıkan Hamur Sıcaklığı



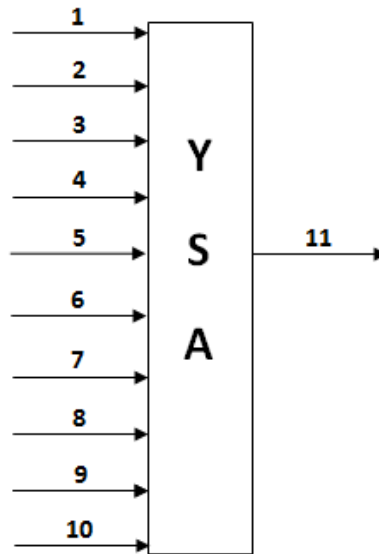
Şekil 6.49 Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,011196 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur sıcaklığını % 0,25'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.10 Elek Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması

6.2.10.1 YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması

Elek ünitesi için YSA ile ekserji kaybının hesaplanmasında Şekil 6.50'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), çıkan su miktarı(2), çıkan hamur miktarı(3), çıkan atık madde miktarı(4), giren hamur sıcaklığı(5), çıkan su sıcaklığı(6), çıkan hamur sıcaklığı(7), çıkan atık madde sıcaklığı(8), giren hamur katı madde oranı(9) ve çıkan hamur katı madde oranı(10) olmak üzere toplam 10 adet girdi verisi ve deneylerden elde edilen verilerle hesaplanan ekserji kaybı(11) ise 1 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.

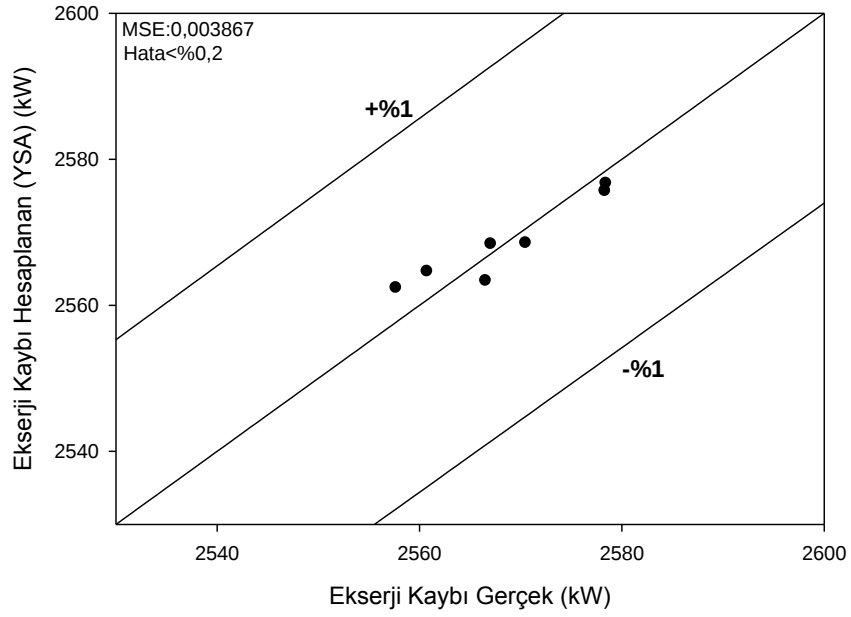


Şekil 6.50 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 10 nöron, çıkış katmanında ise çıktı verilerini temsil eden 1 nöron bulunmaktadır.

Şekil 6.51'de elek ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuç verilmiştir.

Elek Ünitesi Ekserji Kaybı

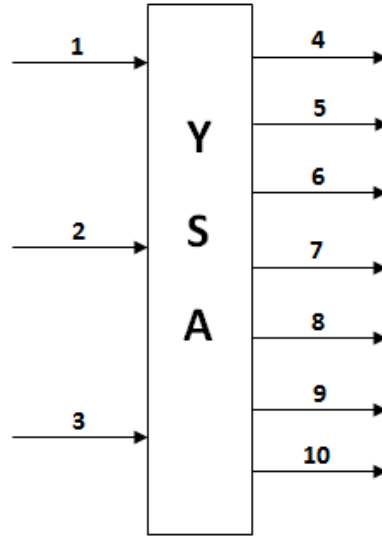


Şekil 6.51 Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı

Yapay sinir ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,003867 olarak elde edilmiş olup, ünitenin toplam ekserji kaybını % 0,2'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.10.2 YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması

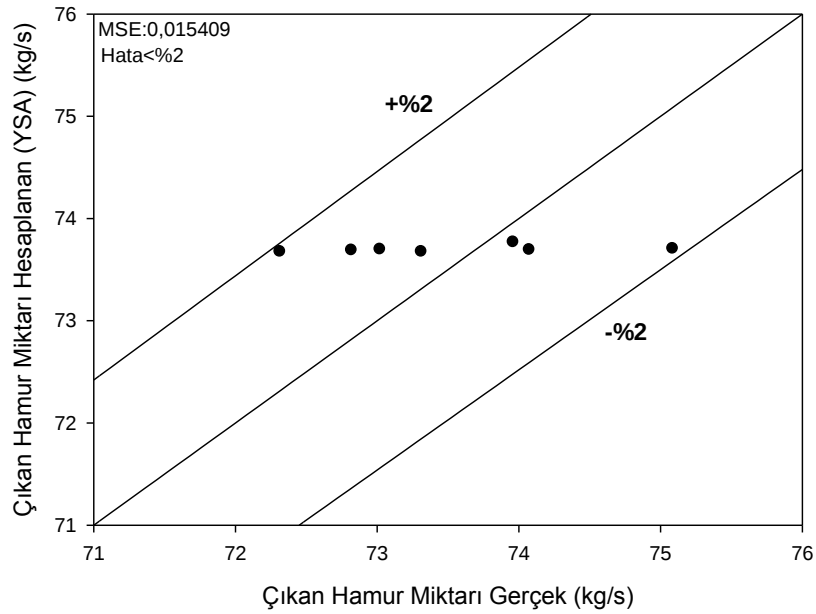
YSA ile elek ünitesinden çıkan hamurun miktarı, sıcaklığı ve katı madde oranının hesaplanmasında Şekil 6.52'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren hamur sıcaklığı(2), giren hamur katı madde oranı(3) olmak üzere toplam 3 adet girdi verisi ve üniteden çıkan hamur miktarı(4), çıkan hamur sıcaklığı(5), çıkan hamur katı madde oranı(6), çıkan su miktarı(7), çıkan su sıcaklığı(8), çıkan atık madde miktarı(9), çıkan atık madde sıcaklığı(10) olmak üzere toplam 7 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.52 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 3 nöron, çıkış katmanında çıktı verilerini temsil eden 7 nöron bulunmaktadır. Şekil 6.53, Şekil 6.54 ve Şekil 6.55’de elek ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

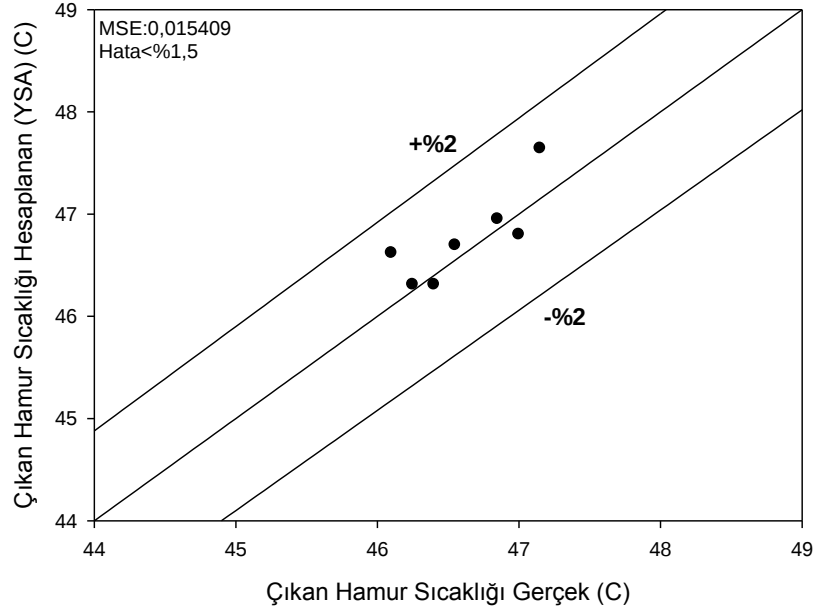
Elek Ünitesi Çıkan Hamur Miktarı



Şekil 6.53 Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı

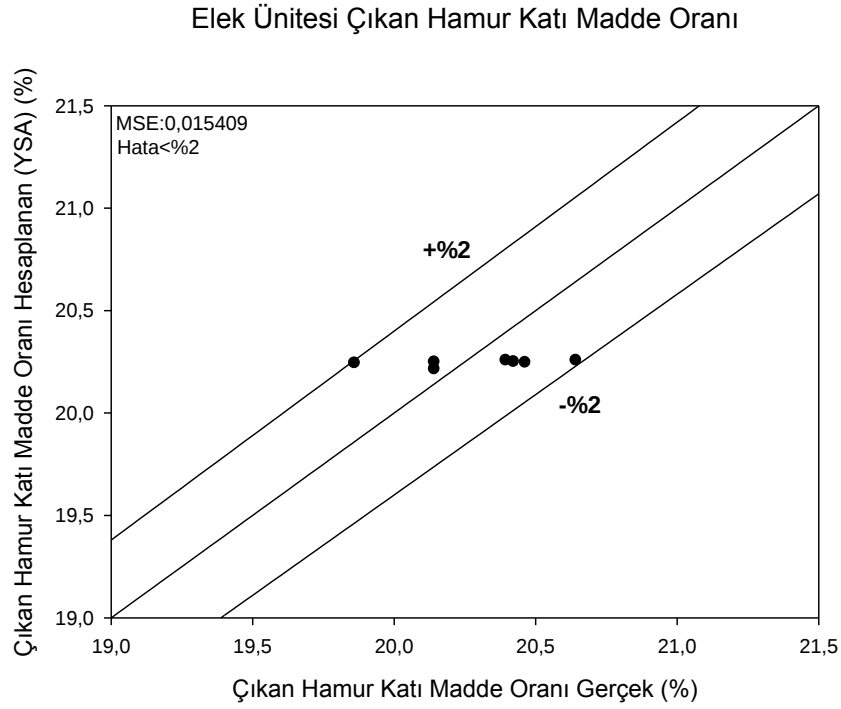
Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,015409 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur miktarını % 2'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

Eleme Ünitesi Çıkan Hamur Sıcaklığı



Şekil 6.54 Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,015409 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur sıcaklığını % 1,5'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.



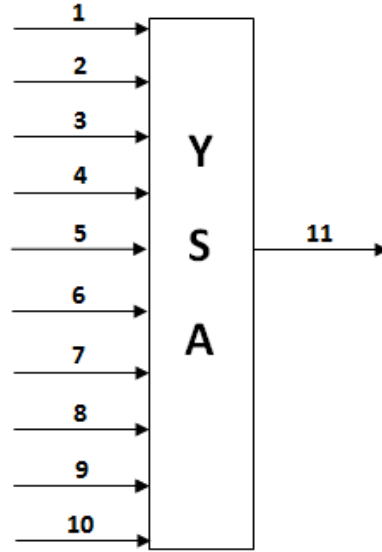
Şekil 6.55 Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,015409 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamurun katı madde oranını % 2'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.11 Pres Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması

6.2.11.1 YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması

Pres ünitesi için YSA ile ekserji kaybının hesaplanmasında Şekil 6.56'da görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), çıkan su miktarı(2), çıkan hamur miktarı(3), çıkan atık madde miktarı(4), giren hamur sıcaklığı(5), çıkan su sıcaklığı(6), çıkan hamur sıcaklığı(7), çıkan atık madde sıcaklığı(8), giren hamur katı madde oranı(9) ve çıkan hamur katı madde oranı(10) olmak üzere toplam 10 adet girdi verisi ve deneylerden elde edilen verilerle hesaplanan ekserji kaybı(11) ise 1 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.

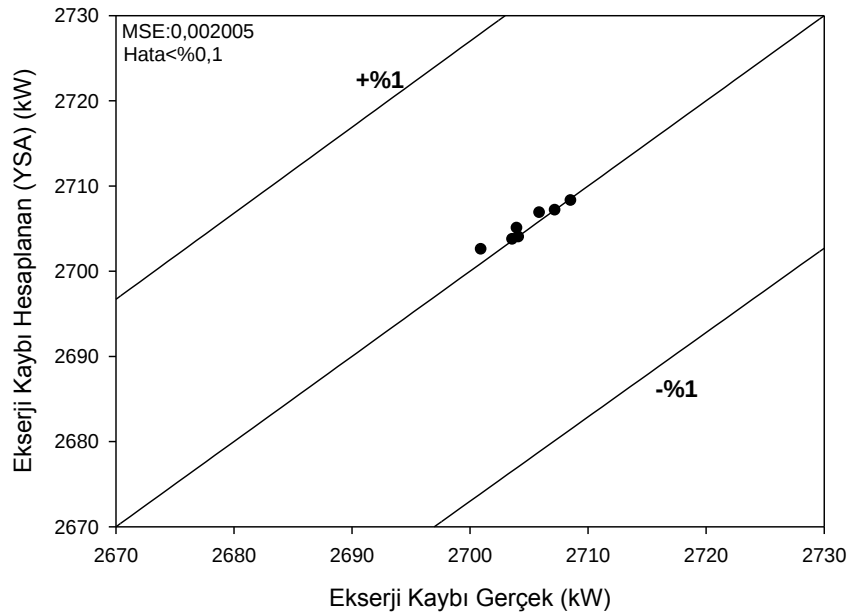


Şekil 6.56 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 10 nöron, çıkış katmanında ise çıktı verilerini temsil eden 1 nöron bulunmaktadır.

Şekil 6.57’de pres ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuç verilmiştir.

Pres Ünitesi Ekserji Kaybı

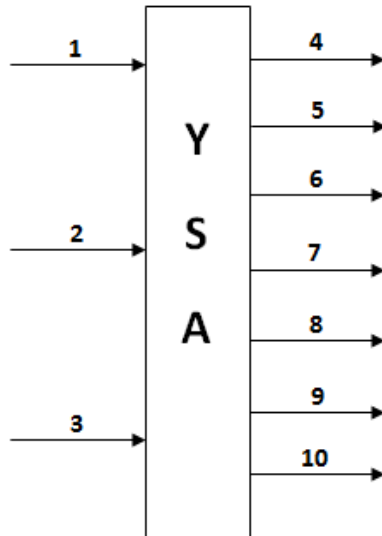


Şekil 6.57 Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı

Yapay sinir ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,002005 olarak elde edilmiş olup, ünitenin toplam ekserji kaybını % 0,1'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.11.2 YSA ile Üniteden Çıkan Hamurun Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması

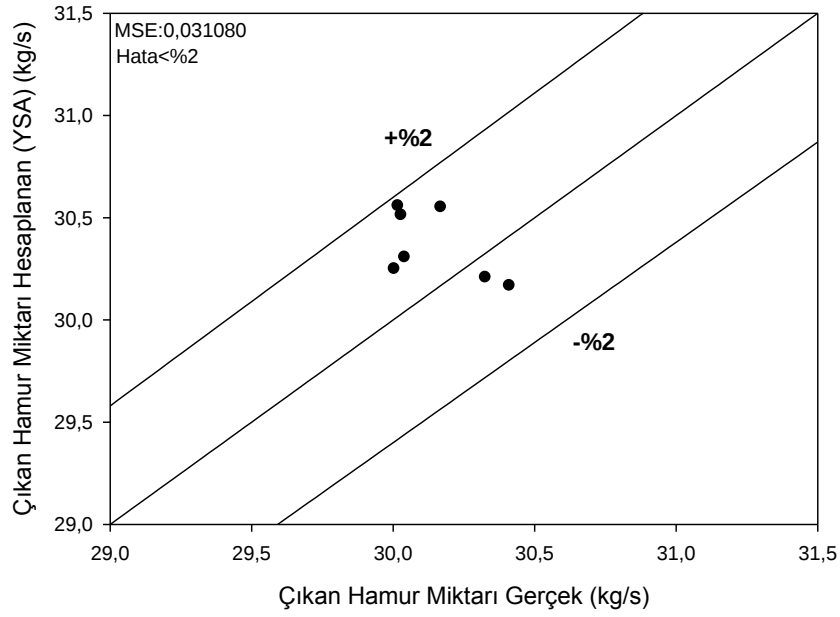
YSA ile pres ünitesinden çıkan hamurun miktarı, sıcaklığı ve katı madde oranının hesaplanmasında Şekil 6.58'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren hamur sıcaklığı(2), giren hamur katı madde oranı(3) olmak üzere toplam 3 adet girdi verisi ve üniteden çıkan hamur miktarı(4), çıkan hamur sıcaklığı(5), çıkan hamur katı madde oranı(6), çıkan su miktarı(7), çıkan su sıcaklığı(8), çıkan atık madde miktarı(9), çıkan atık madde sıcaklığı(10) olmak üzere toplam 7 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.58 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 3 nöron, çıkış katmanında çıktı verilerini temsil eden 7 nöron bulunmaktadır. Şekil 6.59, Şekil 6.60 ve Şekil 6.61'de pres ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

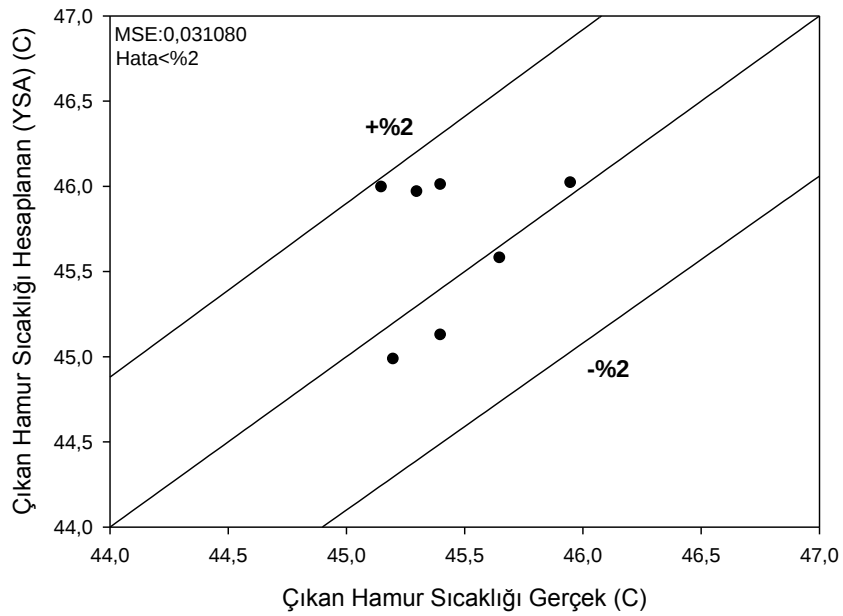
Pres Ünitesi Çıkan Hamur Miktarı



Şekil 6.59 Gerçek çıkan hamurun miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun miktarı

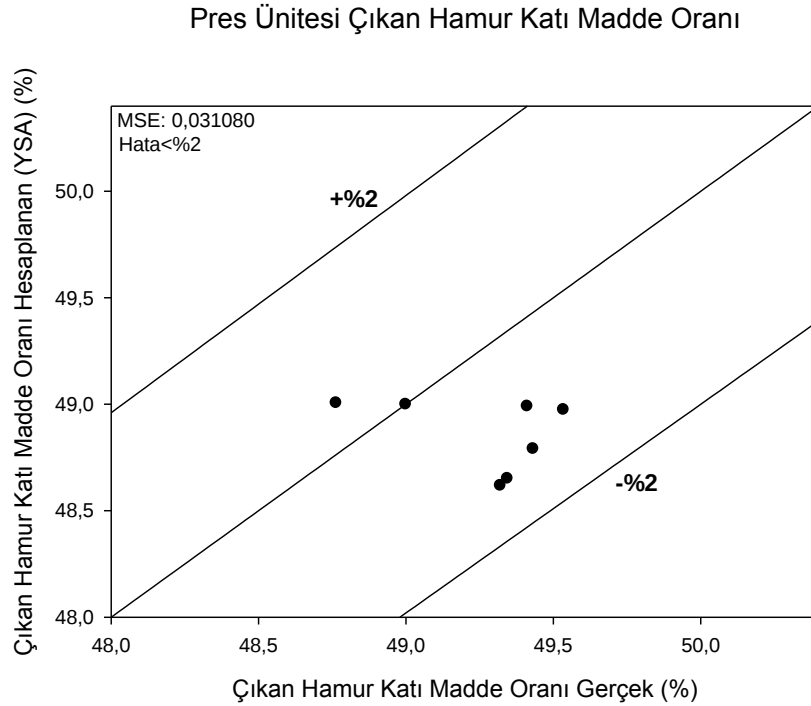
Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,031080 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur miktarını % 2'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

Pres Ünitesi Çıkan Hamur Sıcaklığı



Şekil 6.60 Gerçek çıkan hamurun sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun sıcaklığı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,031080 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamur sıcaklığını % 2'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.61 Gerçek çıkan hamurun katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan hamurun katı madde oranı

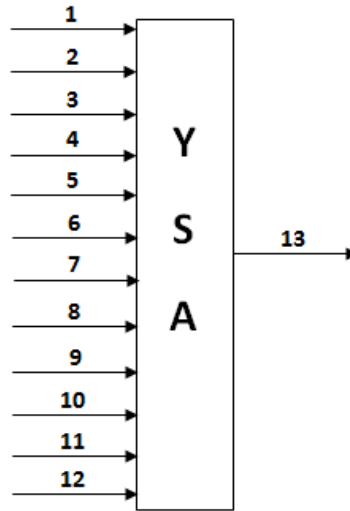
Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,031080 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan hamurun katı madde oranını % 2'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.12 Kurutma Ünitesi Yapay Sinir Ağı (Y S A) Uygulaması

6.2.12.1 YSA ile Ünitenin Ekserji Kaybının Hesaplanması

Kurutma ünitesi için YSA ile ekserji kaybının hesaplanmasında Şekil 6.62'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren hamur sıcaklığı(2), giren hamur katı madde oranı(3), giren nişasta çözeltisi miktarı(4), çıkan kağıt miktarı(5), çıkan kağıt sıcaklığı(6), çıkan kağıt katı madde oranı(7), giren buhar miktarı(8), giren nemli hava miktarı(9), çıkan nemli hava miktarı(10), giren ortam havası miktarı(11) ve çıkan kondens

miktarı(12) olmak üzere toplam 12 adet girdi verisi ve deneylerden elde edilen verilerle hesaplanan ekserji kaybı(13) ise 1 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.

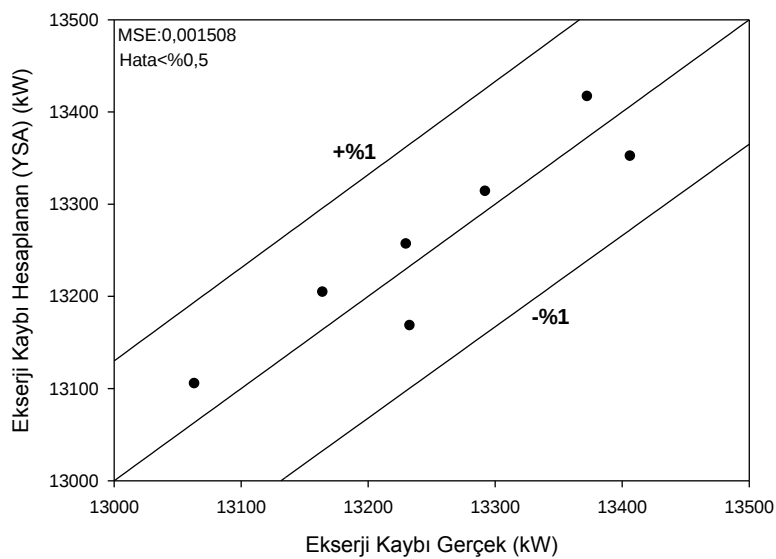


Şekil 6.62 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 12 nöron, çıkış katmanında ise çıktı verilerini temsil eden 1 nöron bulunmaktadır.

Şekil 6.63’de kurutma ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuç verilmiştir.

Kurutma Ünitesi Ekserji Kaybı

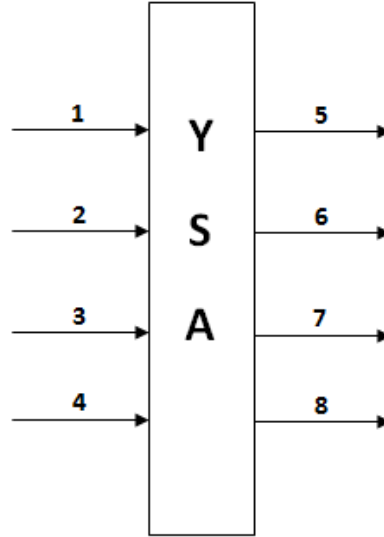


Şekil 6.63 Gerçek ekserji kaybı-YSA ile hesaplanan ekserji kaybı

Yapay sinir ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,001508 olarak elde edilmiş olup, ünitenin toplam ekserji kaybını % 0,5'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

6.2.12.2 YSA ile Üniteden Çıkan Kâğıt Miktarı, Sıcaklığı ve Katı Madde Oranının Hesaplanması

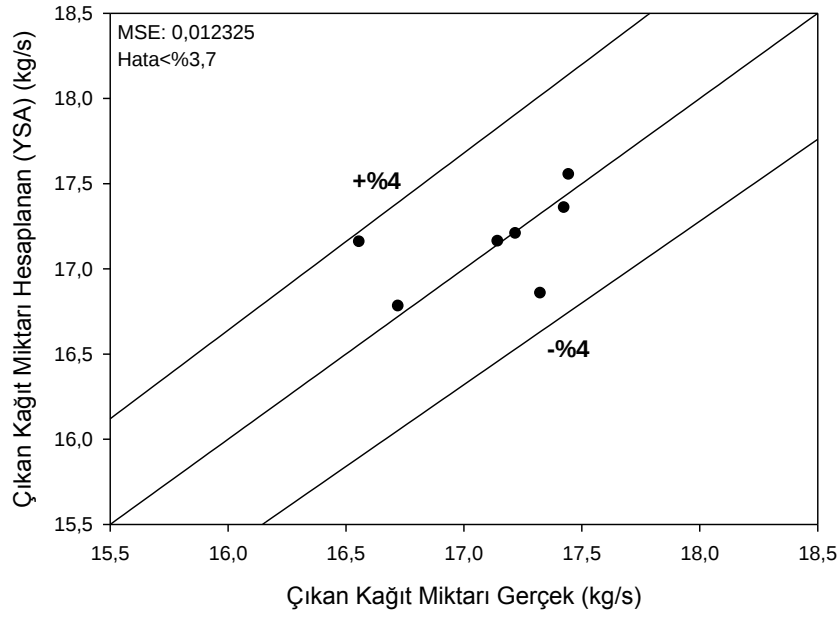
YSA ile kurutma ünitesinden çıkan kâğıdın miktarı, sıcaklığı ve katı madde oranının hesaplanmasında Şekil 6.64'de görüldüğü üzere üniteye giren hamur miktarı(1), giren hamur sıcaklığı(2), giren hamur katı madde oranı(3) ve giren nişasta çözeltisi miktarı(4) olmak üzere toplam 4 adet girdi verisi ve üniteden çıkan kâğıt miktarı(5), çıkan kâğıt sıcaklığı(6), çıkan kâğıt katı madde oranı(7), buharlaşan su miktarı(8) olmak üzere toplam 4 adet çıktı verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.64 YSA girdi ve çıktı verileri

Tasarlanan yapay sinir ağı giriş katmanı, 1 gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Giriş katmanında girdi verilerini temsil eden 4 nöron, çıkış katmanında çıktı verilerini temsil eden 4 nöron bulunmaktadır. Şekil 6.65, Şekil 6.66 ve Şekil 6.67'de kurutma ünitesine yapay sinir ağının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

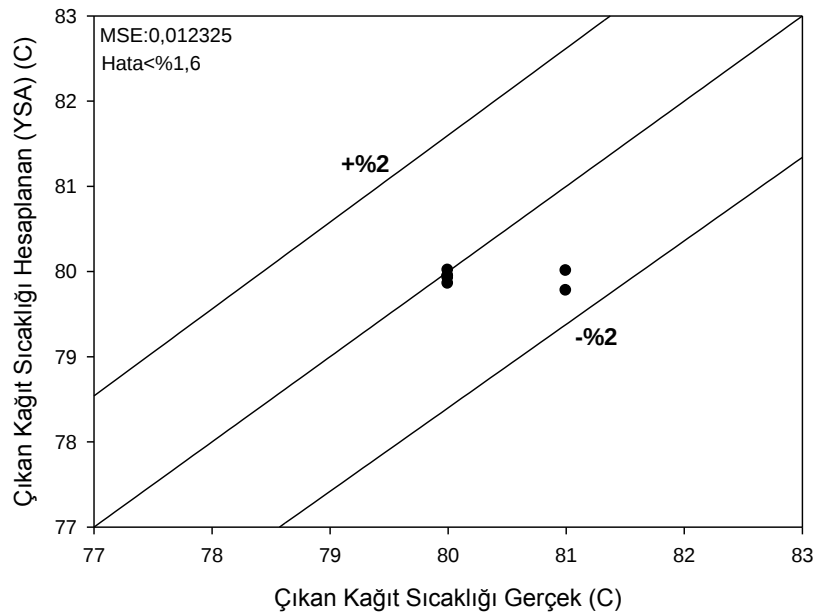
Kurutma Ünitesi Çıkan Kağıt Miktarı



Şekil 6.65 Gerçek çıkan kâğıt miktarı-YSA ile hesaplanan çıkan kâğıt miktarı

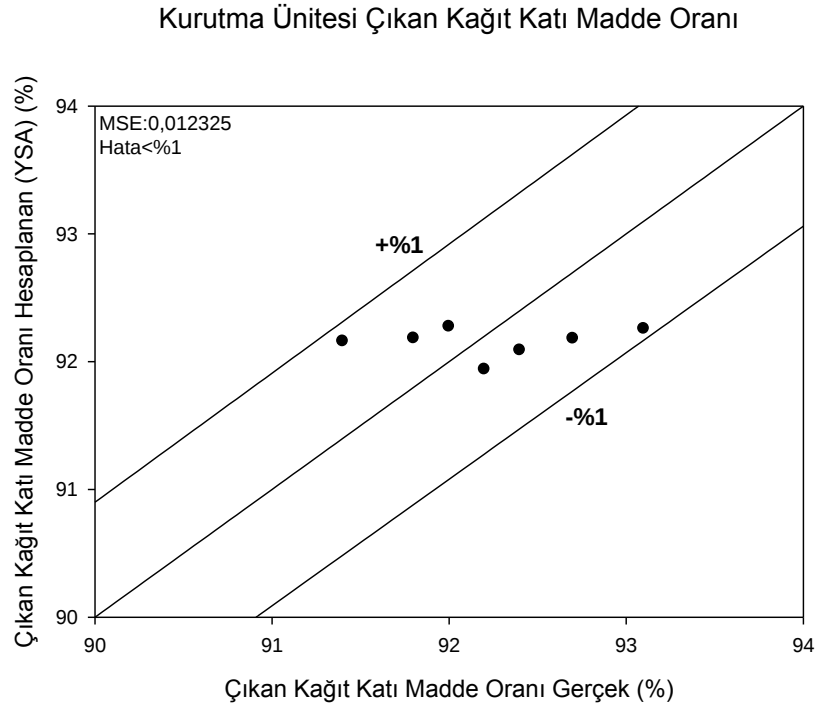
Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,012325 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan kâğıt miktarını % 3,7'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

Kurutma Ünitesi Çıkan Kağıt Sıcaklığı



Şekil 6.66 Gerçek çıkan kâğıdın sıcaklığı-YSA ile hesaplanan çıkan kâğıdın sıcaklığı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,012325 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan kâğıt sıcaklığını % 1,6'dan daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.67 Gerçek çıkan kâğıdın katı madde oranı-YSA ile hesaplanan çıkan kâğıdın katı madde oranı

Yapay Sinir Ağı eğitildikten ve test edildikten sonra MSE değeri 0,012325 olarak elde edilmiş olup, üniteden çıkan kâğıdın katı madde oranını % 1'den daha düşük hata payı ile hesaplayabildiği ortaya çıkmıştır.

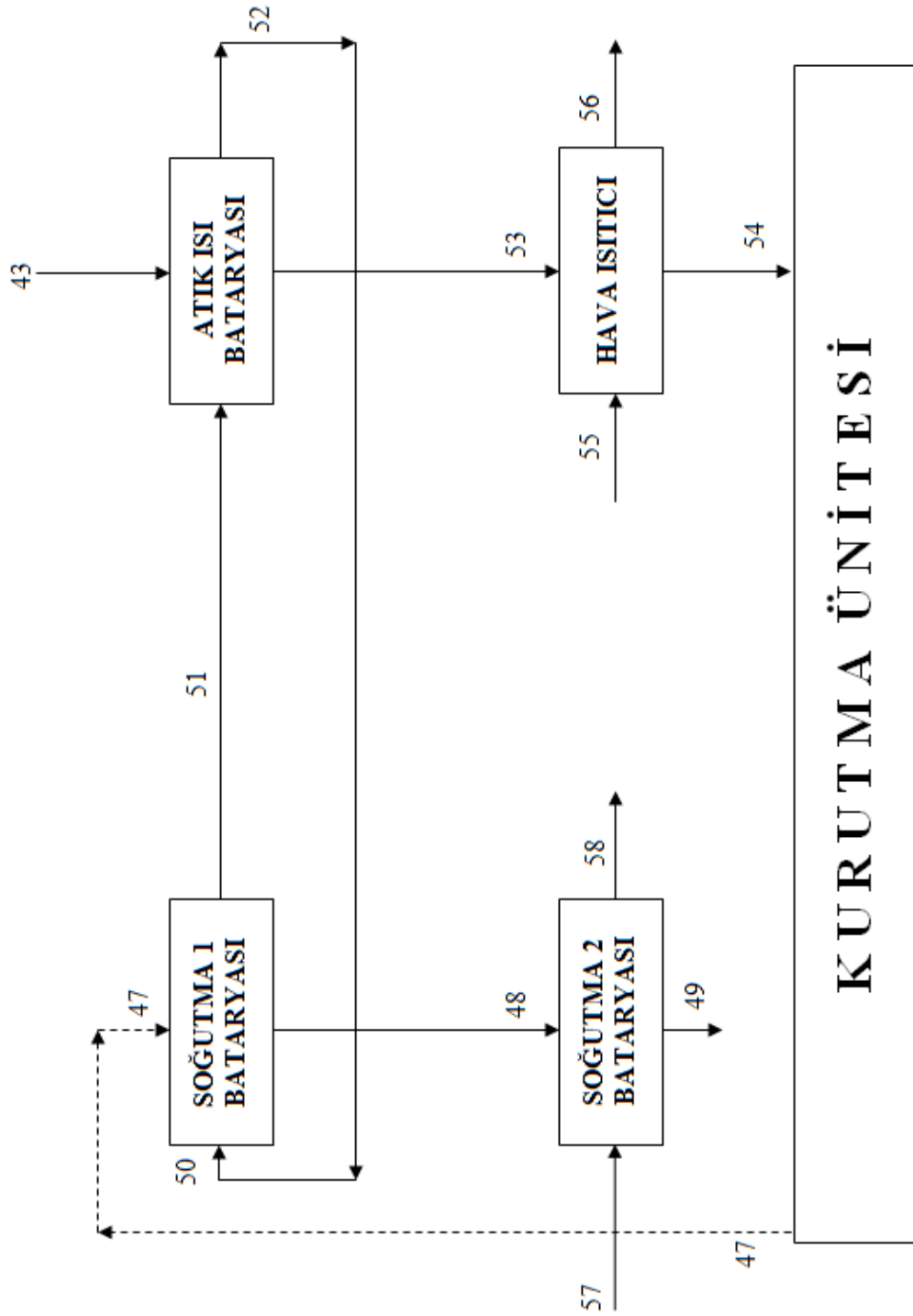
ENERJİ EKONOMİSİ SAĞLAYACAK TEORİK İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

İncelenen kâğıt üretim tesisinde yapılan inceleme ve hesaplamalar sonucunda maksimum enerji tüketimi ve ekserji kaybının Kurutma Ünitesinde olduğu görülmüştür. Bu yüzden Kurutma Ünitesinde ekserji kayıplarını minimuma düşürmek için yapılabilecek iyileştirme çalışmaları hakkında bilgi aşağıda verilmiştir.

7.1 Kurutma Ünitesi İçin Isı Geri Kazanımı Sisteminin Tasarlanması

7.1.1 Isı Geri Kazanımı Sisteminin Tanıtılması

İncelenen kâğıt üretim tesisinde, kurutma ünitesi bacasından çıkan nemli havanın 140 kg/s debi, 80°C kuru termometre sıcaklığı, $w=0,152$ kgsu/kgKH özgül nem miktarı ve 478,37 kJ/kg entalpi değerine sahip olduğu kabul edilmiştir. Bu hava 66972 kW enerji içermektedir. Bu nemli havanın atık ısısından faydalanmak amacıyla kanatlı boru demetlerinden meydana gelen bir eşanjör (batarya) sistemi tasarlanmıştır. Şekil 7.1’de ısı geri kazanımı sağlayacak batarya sisteminin şematik çizimi görülmektedir. Batarya sistemi tasarlanırken UNILAB COILS 6.2 bilgisayar programından faydalanılmıştır [44]. EK-D’de bilgisayar programından faydalanılarak tasarlanan bataryalar ve bataryalardaki akışkanlara ait teknik özellikler verilmiştir. Çizelge 7.1’de ise bataryalardan geçen akımların fiziksel özellikleri görülmektedir.



Şekil 7.1 Tasarlanan ısı geri kazanım sistemi

Çizelge 7.1 Bataryalardan geçen akımların fiziksel özellikleri

Akım No	Madde	$\dot{m}$ (kg/s)	T (°C)	w (kgsu/kgKH)	Ø (%)
43	Ortam Havası	112,000	25,00	0,020	100
47	Kurutma Çıkış Havası	140,000	80,00	0,152	42,6
48	Hava	140,000	76,30	0,139	46,2
49	Hava	140,000	68,50	0,095	46,64
50	Su	27,760	30,00	-	-
51	Su	27,760	75,00	-	-
52	Su	27,760	30,00	-	-
53	Hava	112,000	70,00	0,020	10,18
54	Kurutma Giriş Havası	112,000	95,00	0,020	3,74
55	Buhar	1,377	170,00	-	-
56	Kondens	1,377	170,00	-	-
57	Taze Su	87,940	15,00	-	-
58	Su	87,940	62,70	-	-

Kurutma Ünitesinden 80°C ve w=0,152 kgsu/kgKH özelliklerinde çıkan nemli hava “Soğutma 1” bataryasında ısısını vererek kapalı devre su sistemindeki 30°C’deki suyu 75°C’ye ısıtır. Böylece bu hava 76,3°C, Ø=%46,20 bağıl nem özelliklerinde bataryayı terk eder.

75°C sıcaklığa sahip olan su “Atık Isı” bataryasından geçirilerek ortam havasından alınan 25°C, Ø=%100 bağıl nem şartına sahip havaya ısısını vererek bu havayı 70°C, Ø=%10,18 bağıl nem şartına getirir. Isısını veren su tekrar 30°C’ye düşerek bir pompa yardımıyla tekrar “Soğutma 1” bataryasına gönderilir.

“Atık Isı” bataryasından elde edilen 70°C , $\phi=10,18$ bağıl nem şartlarındaki hava, 170°C ’de doymuş buhar kullanan bir “Hava Isıtıcısı”ndan geçirildikten sonra Kurutma Ünitesinde istenen 95°C , $w=0,020$ kgsu/kgKH şartlarındaki hava elde edilmiş olunur. Buradaki “Hava Isıtıcısı”nda mevcut sisteme göre havayı ısıtmak için daha az buhar kullanıldığından buhar tasarrufu elde edilmesi düşünülmektedir.

Ayrıca “Soğutma 1” bataryasından çıkan $76,3^{\circ}\text{C}$, $\phi=46,20$ bağıl nem özelliklerine sahip hava “Soğutma 2” bataryasından geçirilerek, 15°C sıcaklığındaki şebeke suyunu $62,70^{\circ}\text{C}$ ’ye ısıtır ve bataryayı $68,5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında terk eder. Elde edilen $62,70^{\circ}\text{C}$ ’deki su kâğıt üretim tesisinden elde edilen (elek ve preslerden) 47°C ’deki su ile karıştırılarak 49°C ’de su elde edilir. Böylece üretim tesisindeki proseslerde gerekli olan 60°C ’deki suyu elde etmek için mevcut sistemde $43,2^{\circ}\text{C}$ olan karışım suyunu 60°C ’ye çıkarmak yerine, ısı geri kazanımı ile elde edilen 49°C ’deki karışım suyunu 60°C ’ye çıkarmak için kazanda harcanacak doğalgazdan tasarruf edilmesi düşünülmektedir.

7.1.2 Isı Geri Kazanım Sisteminin Uygulanması Durumunda Kurutma Havaşı Birim Ekserji Maliyetinin Hesaplanması

Isı geri kazanım sistemin kullanılması halinde kurutma ünitesine verilen havanın birim ekserji maliyetini hesap edebilmek için sistemi oluşturan bütün ünitelere maliyet denge denklemini uygulamak gerekir. Bunun için ise sistemi oluşturan akımların fiziksel ekserji değerleri ile ünitelerin bir değere getirilmiş parasal değerlerinin (Z) belirlenmesi gerekir.

Isı geri kazanım sistemini oluşturan akımların fiziksel özellikleri ve hesaplanan fiziksel ekserjileri Çizelge 7.2’de verilmiştir. Bu hesaplar yapılırken buhar ve su akımlarının fiziksel ekserjileri için Eşitlik (5.7), nemli havanın fiziksel ekserjisi için Eşitlik (5.13) ve Eşitlik (5.16)’dan yararlanılmıştır. Ayrıca Bölüm 5.2’de yapılan kabuller doğrultusunda sistemi oluşturan her batarya için bir değere getirilmiş parasal değer (Z), Eşitlik (5.17) yardımıyla hesaplanıp, Çizelge 7.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2 Isı geri kazanım sistemini oluşturan akımların fiziksel özellikleri ve fiziksel ekserjileri

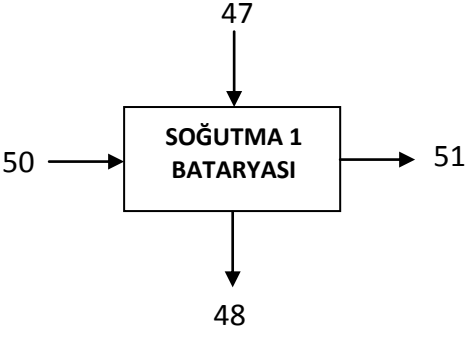
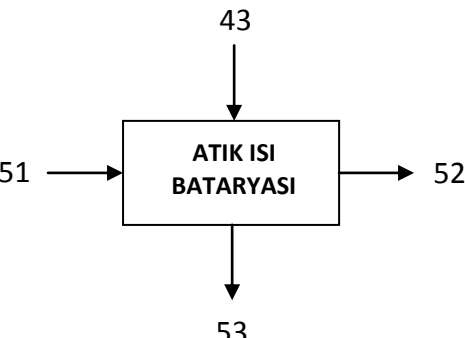
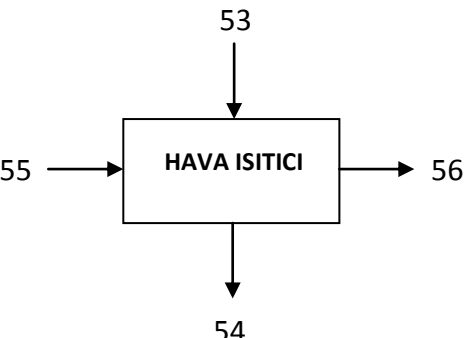
Akım No	Madde	$\dot{m}$ (kg/s)	T (°C)	w (kgsu/kgKH)	Ø (%)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	E _x (kW)
43	Ortam Havaşı	112,000	25,00	0,020	100	74,89	-	59,47
47	Kurutma Çıkış Havaşı	140,000	80,00	0,152	42,6	478,37	-	5794,2
48	Hava	140,000	76,30	0,139	46,2	441,15	-	5085,0
49	Hava	140,000	68,50	0,095	46,64	316,90	-	2875,0
50	Su	27,760	30,00	-	-	125,79	0,4369	5,25
51	Su	27,760	75,00	-	-	313,93	1,0155	442
52	Su	27,760	30,00	-	-	125,79	0,4369	5,25
53	Hava	112,000	70,00	0,020	10,18	121,73	-	421,68
54	Kurutma Giriş Havaşı	112,000	95,00	0,020	3,74	148,15	-	895
55	Buhar	1,377	170,00	-	-	2768,7	6,666	1083,451
56	Kondens	1,377	170,00	-	-	719,21	2,0419	158,794
57	Taze Su	87,940	15,00	-	-	-	-	-
58	Su	87,940	62,70	-	-	-	-	-

Çizelge 7.3 Isı geri kazanım sistemini oluşturan bataryaların (Z) değerleri

Maliyetler	Soğutma 1 Bataryası	Atık Isı Bataryası	Hava Isıtıcı
İlk Yatırım Maliyeti (€)	145.500	390.000	25.000
Fan+Elektrik Motoru+Pompa (€)	28.079	28.877	0
Toplam İlk Yatırım Maliyeti(€)	173.579	418.877	25.000
Yıllık Elektrik Masrafı (€/Yıl)	35.179	63.191	0
Yedek Parça, Bakım ve Onarım Masrafı (€/Yıl)	17.358	41.888	2.500
Yıllık İşletme Maliyeti (€/Yıl)	52.537	105.079	2.500
Bir Değere Getirilmiş Parasal Değer Z (€/h)	7,694	15,840	0,471

“Soğutma 1” bataryası, “Atık Isı” bataryası ve “Hava Isıtıcı” için Eşitlik (4.86) yardımıyla maliyet denge denklemleri uygulanırsa, Çizelge 7.4’de verilen denklemler elde edilir.

Çizelge 7.4 Bataryalar için maliyet denge denklemleri

Ünite	Maliyet Denge Denklemi
	$c_{47}\dot{E}_{x_{47}} + c_{50}\dot{E}_{x_{50}} - c_{48}\dot{E}_{x_{48}} - c_{51}\dot{E}_{x_{51}} + \dot{Z}_{\text{Ünite}} = 0$ $c_{50} = c_{51}$
	$c_{43}\dot{E}_{x_{43}} + c_{51}\dot{E}_{x_{51}} - c_{52}\dot{E}_{x_{52}} - c_{53}\dot{E}_{x_{53}} + \dot{Z}_{\text{Ünite}} = 0$ $c_{43} = 0$ $c_{51} = c_{52}$
	$c_{53}\dot{E}_{x_{53}} + c_{55}\dot{E}_{x_{55}} - c_{54}\dot{E}_{x_{54}} - c_{56}\dot{E}_{x_{56}} + \dot{Z}_{\text{Ünite}} = 0$ $c_{55} = c_{56}$ $c_{54} = c_{47}$

Çizelge 7.4'deki denklemleri çözebilmek için kapalı devre dolaşan suyun birim ekserji maliyetini hesap etmemiz gerekir. Kapalı devre su sisteminde ve bataryalardaki borularda $10,91 \text{ m}^3$ su bulunmaktadır. Bu suyun maliyeti 30 €'dur. Bu suyun senede bir kere değiştiğini kabul ederek suyun saatteki maliyeti $3,472 \times 10^{-3} \text{ €/h}$ elde edilir. Çizelge 7.2'den kapalı devre su sisteminde dolaşan suyun ekserji kaybı 436,75 kW elde edilmiştir. Buradan suyun birim ekserji maliyeti;

$$c_{50} = c_{51} = c_{52} = \frac{3,472 \times 10^{-3} \text{ €/h}}{436,75 \text{ kW} \times 3600 \text{ s}} = 2,21 \times 10^{-9} \text{ €/kJ}$$

olarak elde edilir.

Mevcut sistemde, kurutma ünitesinde buharın birim ekserji maliyeti $3,066 \times 10^{-5} \text{ €/kJ}$ olarak hesap edilmişti. Bu yüzden ısı geri kazanımlı sistemdeki "Hava Isıtıcısı"nda buharın birim ekserji maliyeti;

$$c_{55} = c_{56} = 3,066 \times 10^{-5} \text{ €/kJ}$$

olarak alınabilir.

Ortam havasının birim ekserji maliyetinin olmadığı kabul edilip ($c_{43} = 0$), Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3'deki veriler yardımıyla, Çizelge 7.4'deki maliyet denge denklemleri çözülürse buradan kurutma ünitesine verilen havanın birim ekserji maliyeti,

$$c_{54} = 3,675 \times 10^{-5} \text{ €/kJ}$$

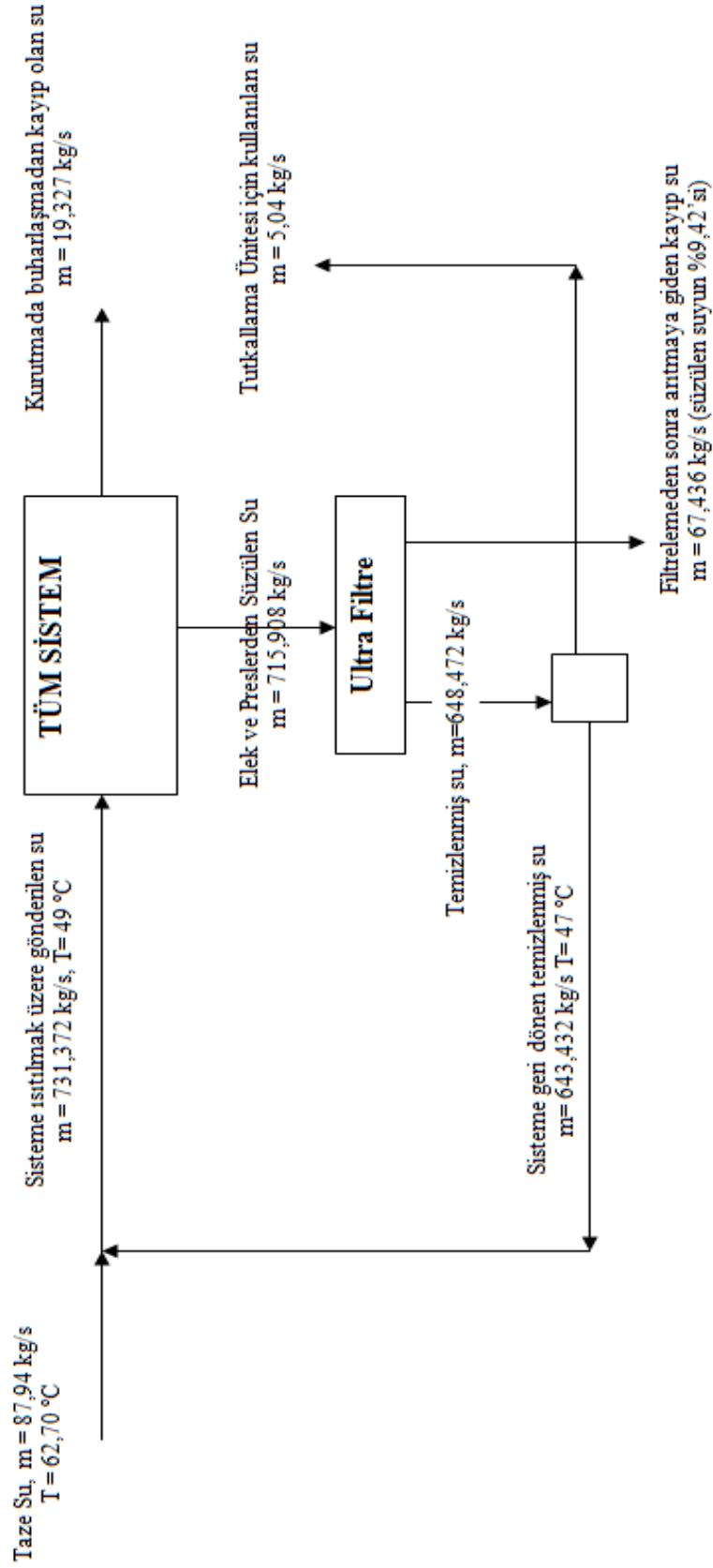
olarak elde edilir.

7.1.3 Isı Geri Kazanımı ile Proseslerde Kullanılacak Karışım Suyunun Isıtılmasından Elde Edilen Enerji Tasarrufu

Isı geri kazanım sisteminde bulunan "Soğutma 2" bataryasından elde edilen $62,70^\circ\text{C}$ 'deki su, kağıt üretim tesisindeki proseslerde kullanılmak üzere elek ve preslerden süzülen 47°C 'deki su ile karıştırılırsa, Şekil 7.2'de gösterilen yeni su kullanım şartları elde edilir.

Kâğıt Üretim Tesisi Su Kullanım Şeması

(Isı Geri Kazanımı ile)



Şekil 7.2 Isı geri kazanımı sistemi ile yeni su kullanım şeması

Kâğıt üretim tesisinde proseslerde kullanmak üzere 60°C’de suya ihtiyaç vardır. Mevcut durumda şebekeden alınan 15°C’deki taze su ile elek ve preslerden süzülen 47°C’deki su karıştırıldığında yaklaşık 43,2°C’de su elde edilir. Bu suyu 60°C’ye ısıtmak için kazanda doğalgaz tüketilir.

Kurutma ünitesi için tasarlanan Isı geri kazanım sisteminin uygulanması durumunda, “Soğutma 2” bataryasından elde edilen 62,70°C’deki su, yine elek ve preslerden süzülen 47°C’deki su ile karıştırıldığında 49°C’de su elde edilir. Böylece mevcut durumda 43,2°C’deki suyu 60°C’ye çıkarmak yerine, ısı geri kazanımlı sistemle elde edilen 49°C’deki suyu 60°C’ye çıkararak kazanda doğalgaz tüketiminde tasarrufa gidilmesi düşünülmektedir.

7.1.4 Isı Geri Kazanımlı Sistem için Kâğıt Birim Ekserji Maliyetinin Hesabı

Tasarlanan Isı geri kazanımlı sistemde kâğıdın birim ekserji maliyetini hesap edebilmek için kâğıt üretim tesisini oluşturan her ünite için bir değere getirilmiş parasal değer (Z) değerlerinin yeniden belirlenmesi gerekir.

Isı geri kazanımlı sistem için kâğıt üretim tesisine ait her ünite için oluşturulan bir değere getirilmiş parasal değer (Z) değerleri Çizelge 7.5’de gösterilmiştir. Bu çizelge oluşturulurken mevcut sistem için oluşturulan Çizelge 5.10’da bulunan değerlere ek olarak “Soğutma 2” bataryasının yatırım maliyeti ve işletme maliyeti ünitelere su kullanımı oranında dağıtılmıştır. Ayrıca Isı geri kazanımı ile elde edilen karışım suyunu 49°C’den 60°C’ye ısıtmak için gerekli maliyet, işletme maliyeti olarak su kullanım oranında ünitelerde gösterilmiştir.

Çizelge 7.5 Isı geri kazanımlı sistem için ünitelere ait bir değere getirilmiş parasal (Z) değerleri

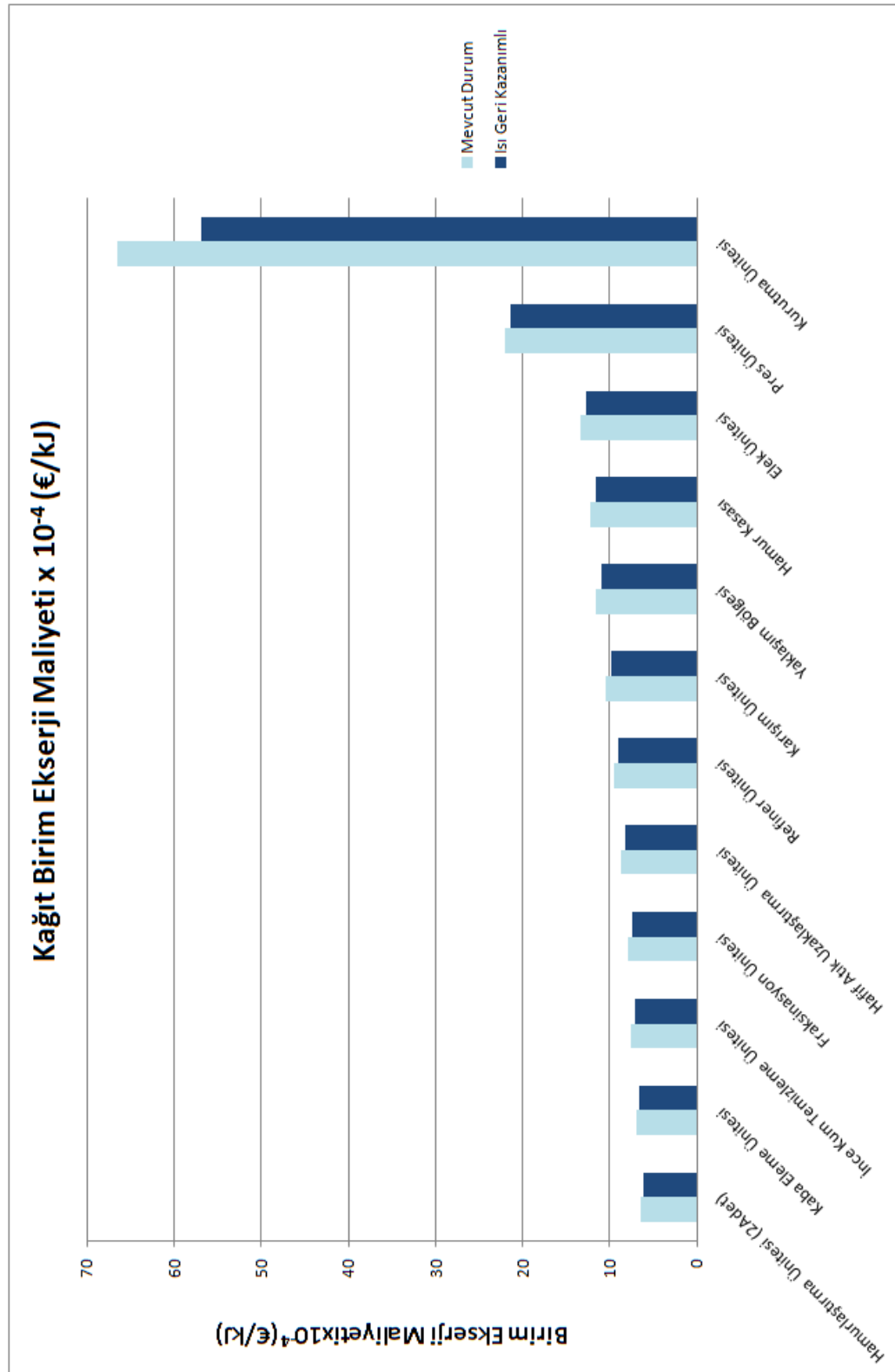
Maliyetler	Hamurlaştırma Ünitesi (Zadet)	Kaba Eleme Ünitesi	İnce Kum Temizleme Ünitesi	Fraksiyasyon Ünitesi	Hafif Alık Uzaklaştırma Ünitesi	Rıfayner Ünitesi	Karışım Ünitesi	Yaklaşım Bölgesi	Hamur Kasası Ünitesi	Elek Ünitesi	Pres Ünitesi	Kurutma Ünitesi
İlk Yatırım Maliyeti (€)	4.700.000	650.000	400.000	400.000	300.000	1.900.000	2.000.000	20.000.000	5.000.000	5.000.000	7.000.000	30.000.000
Pompa+Motor+Elek+Oto (€)	7.123.557	2.513.895	577.169	2.824.284	1.616.075	10.014.536	1.213.339	2.757.588	538.691	6.961.950	7.280.034	16.578.880
Arsa ve Bina Payı (€)	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333
Su Geri Dönüşüm Tesis Payı (€)	2.689.274	341.823	341.823	-	341.823	-	683.647	601.609	-	-	-	-
Su Isıtma için Isı Geri Kazanım Batarya Maliyeti (€)	70.173	8.919	8.919	-	8.919	-	17.839	15.698	-	-	-	-
Toplam İlk Yatırım Maliyeti(€)	22.916.337	11.847.970	9.661.244	11.557.617	10.600.150	20.247.869	12.248.158	31.708.228	13.872.024	20.295.283	22.613.367	54.912.213
Yıllık Elektrik Masrafı (€/Yıl)	1.809.093	638.426	146.578	717.253	410.417	2.543.284	308.139	700.315	136.806	1.768.052	1.848.832	4.210.360
Taze Su Maliyeti (€/Yıl)	4.051.648	514.989	514.989	-	514.989	-	1.029.979	906.381	-	-	-	-
Su için Pompa Elekt. Masrafı (€/Yıl)	159.427	20.264	20.264	-	20.264	-	40.528	35.665	-	-	-	652
Yedek Parça, Bakım ve Onarım Masrafı (€/Yıl)	2.291.634	1.184.797	966.124	1.155.762	1.060.015	2.024.787	1.224.816	3.170.823	1.387.202	2.029.528	2.261.337	5.491.221
Yıllık Vergiler, Sigorta ve Personel Masrafı (€/Yıl)	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000
Yıllık Kullanılmış Kağıt Maliyeti (€/Yıl)	38.225.759	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nişasta Maliyeti (€/Yıl)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.100.453
Su Isıtma Maliyeti(Yeni Hal) (€/Yıl)	4.781.667	607.779	607.779	-	607.779	-	1.215.559	1.069.692	-	-	-	-
Su Isıtma için Isı Geri Kazanım Bat. Elektrik Masrafı (€/Yıl)	31.535	4.008	4.008	-	4.008	-	8.017	7.055	-	-	-	-
Yıllık İşletme Maliyeti (€/Yıl)	51.470.763	3.090.264	2.379.743	1.993.015	2.737.473	4.688.071	3.947.037	6.009.930	1.644.008	3.917.580	4.230.169	22.922.686
Bir Değere Getirilmiş Parasal Değer Z (€/h)	6.614	463	360	323	411	717	573	955	294	620	674	3.226

Isı Geri kazanımlı sistemde kağıdın birim ekserji maliyetini hesap etmek için üretim tesisini oluşturan her ünite için Çizelge 5.11'deki ifadeler ile kurutma ünitesi için Eşitlik (5.20), havanın yeniden elde edilen birim ekserji maliyeti kullanılarak, Çizelge 7.5 yardımıyla çözülürse Çizelge 7.6'daki sonuçlar elde edilir.

Çizelge 7.6 Tasarlanan ısı geri kazanım sisteminin uygulanması durumunda elde edilen sonuçlar

Ünite	Kağıt Birim Ekserji Maliyetix10 ⁻⁴ (€/ku) MEVCUT SİSTEM	Kağıt Birim Ekserji Maliyetix10 ⁻⁴ (€/ku) ISI GERİ KAZANIMLI SİSTEM
Hamurlaştırma Ünitesi (2Adet)	6,481	6,190
Kaba Eleme Ünitesi	6,971	6,642
İnce Kum Temizleme Ünitesi	7,516	7,142
Fraksinasyon Ünitesi	7,878	7,502
Hafif Atık Uzaklaştırma Ünitesi	8,674	8,242
Refiner Ünitesi	9,533	9,095
Karışım Ünitesi	10,424	9,894
Yaklaşım Bölgesi	11,642	11,033
Hamur Kasası	12,265	11,639
Elek Ünitesi	13,414	12,765
Pres Ünitesi	22,06	21,405
Kurutma Ünitesi	66,424	56,878
Kağıt Birim Ekserji Maliyetinde %14,4 Azalma Olduğu Görmektedir.		
Kurutma Havası Birim Ekserji Maliyetix10 ⁻⁵ (€/ku) MEVCUT SİSTEM		Kurutma Havası Birim Ekserji Maliyetix10 ⁻⁵ (€/ku) ISI GERİ KAZANIMLI SİSTEM
	8,926	3,675
Kurutma Havası Birim Ekserji Maliyetinde %59 Azalma Olduğu Görmektedir.		

Şekil 7.3’de ise mevcut durum ile ısı geri kazanımlı sistem kullanılması durumunda kağıdın birim ekserji maliyetinin değişimi görülmektedir.



Şekil 7.3 Mevcut durum ile ısı geri kazanımlı sistem kullanılması durumunda kâğıt birim ekserji maliyetinin üniteler boyunca değişimi

7.1.5 Isı Geri Kazanım Sisteminin Amortisman Süresinin Belirlenmesi

Tasarlanan ısı geri kazanım sisteminin amortisman süresinin belirlenebilmesi için sistemin toplam yatırım maliyeti belirlenmelidir. Çizelge 7.7’de sistemi oluşturan ünitelerin yatırım maliyetleri görülmektedir. Bu maliyetlere her ünite için batarya maliyeti, bataryalarda kullanılan fan ve elektrik motorlarının maliyeti ve su sirkülasyonu için gereken pompa maliyeti dahil edilmiştir.

Çizelge 7.7 Isı geri kazanım sistemi için bataryaların yatırım maliyetleri

Ünite	Maliyet (€)
Soğutma 1 Bataryası	173.579
Soğutma 2 Bataryası	130.468
Atık Isı Bataryası	418.877
Hava Isıtıcı	25.000
Toplam yatırım maliyeti	747.924

7.1.5.1 Isı Geri Kazanım Sistemi ile Buhardan Elde Edilen Tasarruf

Kâğıt üretim tesisinde mevcut durumda kurutma ünitesine verilen havayı istenilen şartlarda elde etmek için hava ısıtıcısında 170°C’de 13799 kg/h doymuş buhar kullanılmaktadır. Tasarlanan ısı geri kazanımlı sistemdeki hava ısıtıcısında ise 170°C’de 4958 kg/h doymuş buhar kullanılmaktadır. Böylece tasarlanan ısı geri kazanım sistemi sayesinde 8841 kg/h (%64) buhar tasarrufu edilmiş olduğu yapılan hesaplamalar sonucu görülmüştür. Buhar maliyeti Ocak 2011 fiyatlarıyla 0,0195 €/kg olduğundan elde edilen tasarrufun parasal değeri,

$$0,0195 \text{ €/kg} \times 8841 \text{ kg/h} = 172,4 \text{ €/h}$$

olur.

7.1.5.2 Isı Geri Kazanım Sistemi ile Proses Suyu Isıtması için Doğalgazdan Elde Edilen Tasarruf

Kâğıt üretim tesisinde mevcut durumda proseslerde kullanmak üzere karışım suyunu 43,2°C’den 60°C’ye ısıtmak için gerekli enerji

$$\dot{Q} = \dot{m}.c.\Delta T \quad (7.1)$$

ifadesinden,

$$\dot{Q}_1 = 731,372 \text{ kg/s} \times 4,18 \text{ kJ/kgK} \times (60-43,2)^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_1 = 51359,86 \text{ kW}$$

elde edilir.

Isı geri kazanımı kullanıldığında ise karışım suyu 49°C olmaktadır. Bu suyu 49°C'den 60°C'ye ısıtmak için gerekli enerji Eşitlik (7.1)'den,

$$\dot{Q}_2 = 731,372 \text{ kg/s} \times 4,18 \text{ kJ/kgK} \times (60-49)^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_2 = 33628,48 \text{ kW}$$

elde edilir.

Böylece ısı geri kazanımı ile suya verilmesi gereken enerjiden,

$$\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2 = 17731,38 \text{ kW}$$

tasarruf edilmiş olunur.

Kazanda bu ısıyı elde etmek için gerekli doğalgaz miktarı

$$B_h = \frac{\dot{Q}}{H_u \times \eta_k} \quad (7.2)$$

ifadesinden, doğalgazın alt ısı değeri $H_u=34485 \text{ kJ/m}^3$ ve kazan verimi $\eta_k=0,87$ kabul edilirse,

$$B_h = \frac{17731,38 \text{ kW}}{34485 \text{ kJ/m}^3 \times 0,87} = 0,591 \text{ m}^3/\text{s} = 2128 \text{ m}^3/\text{h}$$

olarak doğalgazdan elde edilen tasarruf miktarı bulunur. Doğalgazın birim fiyatı Ocak 2011 verileri ile $0,255 \text{ €/m}^3$ olduğundan;

$$0,255 \text{ €/m}^3 \times 2128 \text{ m}^3/\text{h} = 542,64 \text{ €/h}$$

tasarruf elde edilir.

7.1.5.3 Isı Geri Kazanım Sisteminden Dolayı Meydana Gelen Elektrik Tüketimi Maliyeti

Isı Geri kazanımı sistemini oluşturan bataryalarda kullanılan hava fanlarının ve su sirkülasyonu için gerekli pompanın elektrik tüketimleri Çizelge 7.8’de verilmiştir.

Çizelge 7.8 Isı geri kazanım sisteminin elektrik tüketimi

Ünite	Elektrik Tüketimi	Ünitenin Toplam Elektrik Tüketimi (kWh)
Soğutma 1 Bataryası	9 kWh x 6 adet	54
Soğutma 2 Bataryası	15 kWh x 6 adet	90
Atık Isı Bataryası	7 kWh x 6 adet	42
Su Pompası	55 kWh x 1 adet	55
Toplam Elektrik Tüketimi		241

Elektriğin birim fiyatı Ocak 2011 tarifesine göre 0,0754 €/kWh olduğundan, ısı geri kazanımı sisteminin elektrik tüketimi maliyeti,

$$0,0754 \text{ €/kWh} \times 241 \text{ kWh} = 18,17 \text{ €/h}$$

olarak elde edilir.

7.1.5.4 Amortisman Süresinin Hesaplanması

Elde edilen veriler ışığında ısı geri kazanım sisteminin amortisman süresi (t);

$$t = \frac{\text{Toplam yatırım maliyeti}}{\text{Elde edilen toplam tasarruf}} \quad (7.3)$$

şeklinde hesaplanabilir. Gerekli değerler Eşitlik (7.3)’de yerlerine konulursa amortisman süresi (t),

$$t = \frac{747.924 \text{ €}}{(172,4 \text{ €/h} + 542,64 \text{ €/h}) - 18,17 \text{ €/h}} = 1073 \text{ h} \cong 45 \text{ gün} \cong 1,5 \text{ ay}$$

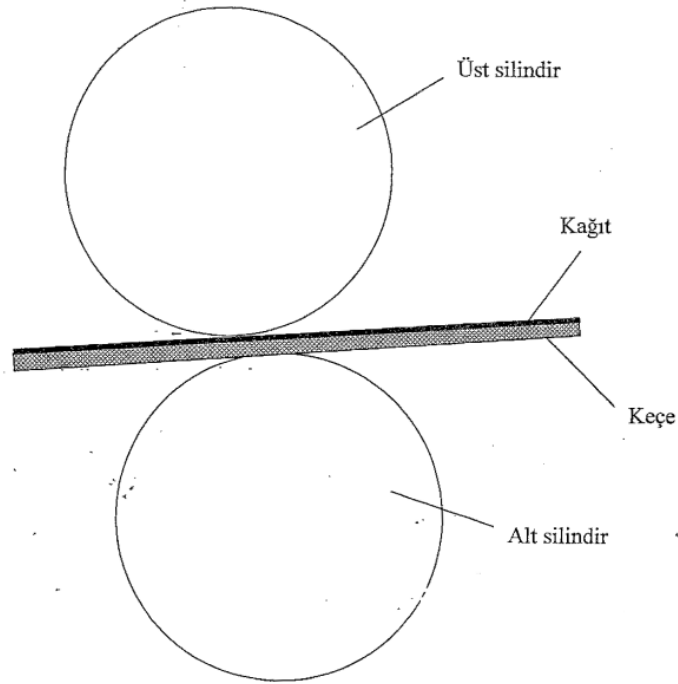
olarak hesaplanır.

7.2 Shoe (Pabuç) Pres Uygulaması

Mekanik olarak kağıttan en fazla su çıkarılması elek ve pres ünitesinde gerçekleşmekte olup bu kısımlarda uzaklaştırılamayan su kurutma ünitesinde buharlaştırılarak uzaklaştırılır. Buharlaştırma pahalı bir yöntem olduğundan, kurutma ünitesi enerji tasarrufu için presleme işleminin iyileştirilerek mümkün olduğu kadar fazla suyu bu üniteye uzaklaştırmak gerekir. Böylece kurutma ünitesinin yükü azaltılmış olur.

Klasik preslemenin amaçlarını aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz [33]:

- Preslemenin birinci amacı kurutma silindirlerine gelmeden önce safihadan mümkün olduğu kadar fazla su çıkarmaktır. Presleme ile safiha kuruluğu % 35-48'e çıkarılır.
- Preslemenin ikinci amacı safihayı sıkıştırarak lif-lif temas yüzeyini, dolayısıyla hidrojen bağı oluşturma şansını arttırmaktır. Sıkıştırma sonucu safihanın kalınlığı azalır, yüzeyi düzgünleşir, safihanın sağlamlığı artar, kurutma ünitesinde kopma olmaz, lifler arasındaki su filmi incelendiğinden yüzeyler arası gerilim artar. Kurutmadan sonra da temas yüzeyi arttığından kuru kâğıt daha sağlam olur.



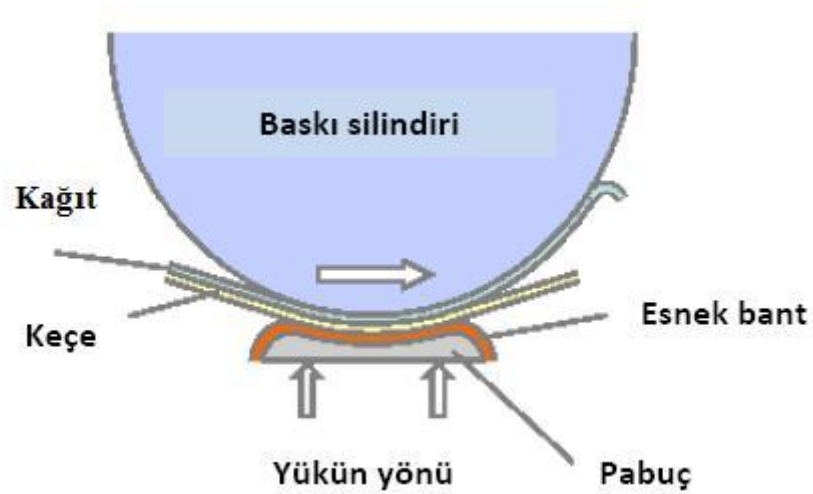
Şekil 7.4 Klasik presleme işlemi

Şekil 7.4’de görüldüğü üzere klasik presleme işleminde bir pres iki adet silindirden oluşup aralarından keçe ile kağıt birlikte geçirilir. Pres keçelerinin görevi zayıf olan safihayı desteklemek ve presleme sırasında safihanın boşalttığı suyu absorbe etmektir.

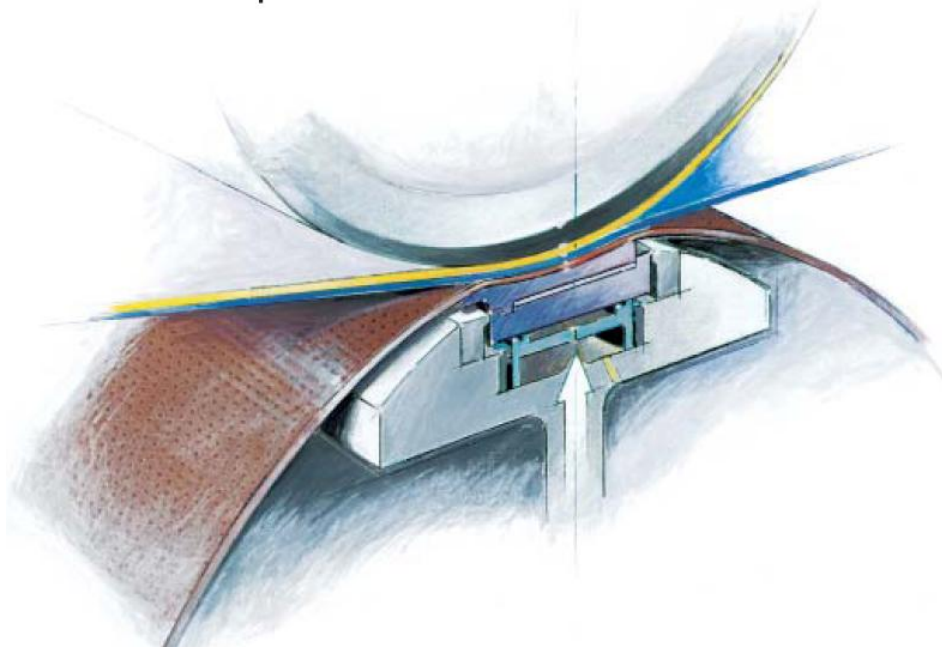
Son yıllarda presleme etkinliğini arttırmak için çeşitli pres tipleri ve pres düzenlemeleri geliştirilmiştir. Bunlar arasında en öne çıkan pres tipi “*SHOE (Pabuç) Pres*” tipidir.

7.2.1 Shoe (Pabuç) Pres

Son yıllarda presleme etkinliğini arttırmak için geliştirilmiş bir pres türüdür. Bu tür preslerde, klasik preslere göre baskı süresi 10 kata kadar uzatılabilmektedir. Bu preslerde iç bükey bir pabuç üzerinde dönen plastik veya esnek bir bant bulunmaktadır. Üstte ise baskı silindiri bulunur. Şekil 7.5’de Shoe (pabuç) Pres yapısı, Şekil 7.6’da ise Shoe (pabuç) Pres baskı yönü görülmektedir.

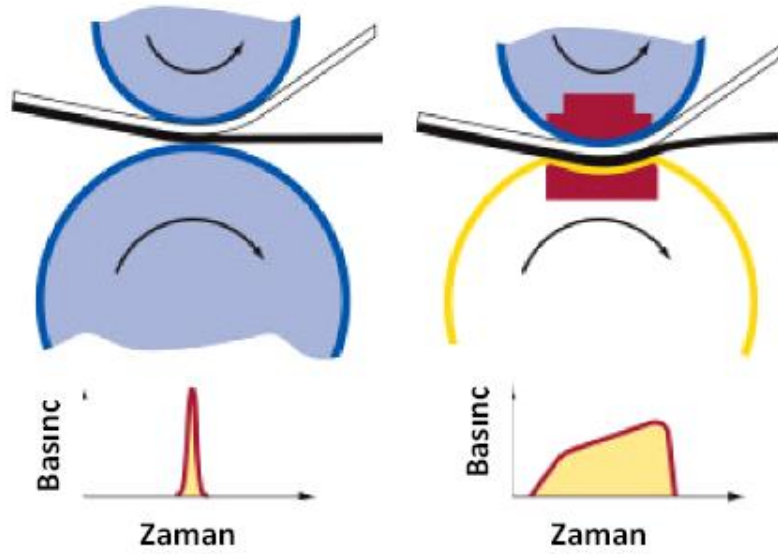


Şekil 7.5 Shoe (pabuç) pres yapısı

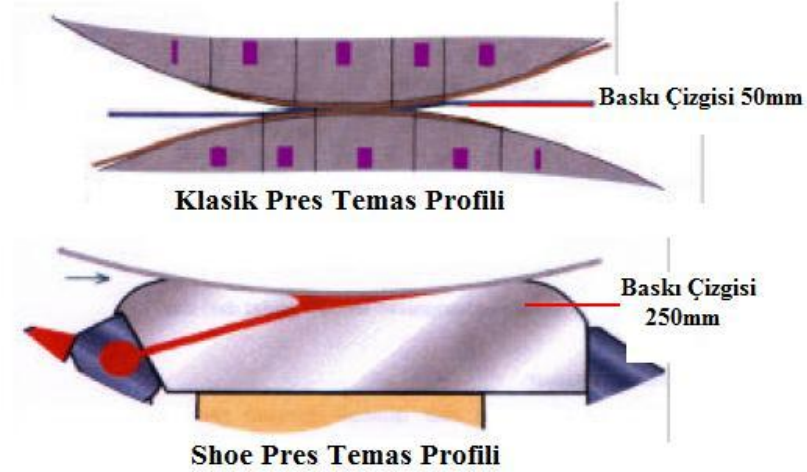


Şekil 7.6 Shoe (pabuç) pres baskı yönü

Şekil 7.7’de klasik bir pres ile shoe (pabuç) pres arasındaki baskı, Şekil 7.8’de ise temas profili karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Klasik bir pres yerine shoe pres kullanarak hem kağıdın pres yüzeylerine olan temas yüzeyi hem de preslerin kağıda olan baskı süresi artmış olur. Bu tür presler sayesinde, presleme işlemi sonunda kuru madde oranı elyaf tipine bağlı olarak **% 55’e** kadar çıkabilir [32].



Şekil 7.7 Klasik pres-shoe (pabuç) pres baskı karşılaştırması



Şekil 7.8 Klasik pres-shoe (pabuç) pres temas profili karşılaştırması

7.2.2 Kurutma Silindirleri Boyunca Kâğıt Nem Miktarı Değişimi

Kurutma ünitesinde kâğıt yüzeyinden meydana gelen suyun buharlaşma akısı;

$$J = \frac{1}{C_{p,kuru\text{hava}} + X^* C_{p,su}} h_{\text{kâğıt-hava}} (X^* - X_{\text{giren hava}}) \quad (7.4)$$

şeklinde verilir [16].

Eşitlik (7.4)'de,

$C_{p,kuru\text{hava}}$; kuru havanın özgül ısısı (J/kgK)

$C_{p,su}$; suyun özgül ısısı (J/kgK)

X^* ; kâğıt sıcaklığındaki doymuş havanın nemi (kgsu/kgKH),

$h_{\text{kâğıt-hava}}$; kâğıt ile hava arasındaki ısı transfer katsayısı (W/m²K),

$X_{\text{giren hava}}$; kurutma bölümüne verilen havanın nemi (kgsu/kgKH),

J ; Buharlaşma akısı (kg/m²s)

şeklindedir.

Ayrıca kâğıt silindirle temas halindeyken,

$$Re_1 < 5 \times 10^5 \text{ ise } h_{\text{kâğıt-hava}} = \frac{k}{l} (0,664 Re_1^{1/2} Pr^{1/3}) \quad (7.5)$$

$$Re_l > 5 \times 10^5 \text{ ise } h_{\text{kâğıt-hava}} = \frac{k}{l} Pr^{1/3} (0,037 Re_l^{4/5} - 871) \quad (7.6)$$

ve

$$Re_l = \frac{v \cdot l}{\nu} \quad (7.7)$$

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (7.8)$$

olarak tanımlanmıştır[16].

Radyasyon ile kâğıttan havaya olan ısı transferi ihmal edilip, kurutma yönü (z) olarak tanımlanıp, diğer yönlerdeki değişimler ihmal edilirse, kütle ve enerji denklemlerinden;

$$\frac{dw}{dz} = -\frac{n}{vB} J \quad (7.9)$$

elde edilir [16].

Eşitlik (7.9)'da

v ; kâğıdın makine boyunca çizgisel hızı (m/s),

w; kâğıt nem miktarı (kgsu/kgkurukağıt),

B; kâğıdın gramajı (kg/m^2),

z; kurutma yönü (m),

J; Buharlaşma akısı ($\text{kg/m}^2\text{s}$),

n; katsayı (n=1 kâğıt silindirle temas halinde, n=2 kâğıt iki silindir arasında)

olarak verilir [16].

İncelenen kâğıt üretim tesisinde kâğıt makinesinden elde edilen işletme şartları Çizelge 7.9'da, kurutma havası şartları ise Çizelge 7.10'da verilmiştir.

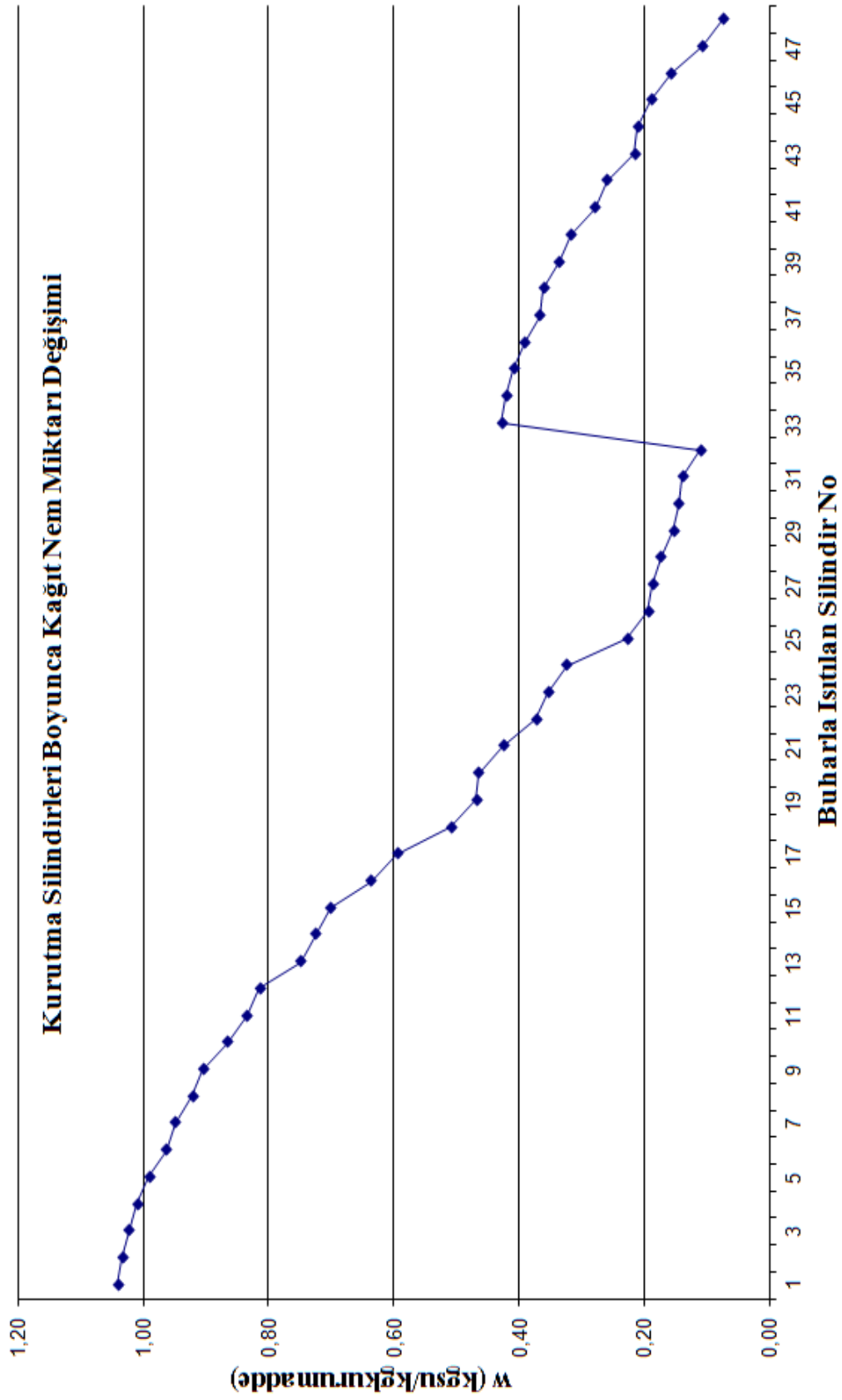
Çizelge 7.9 Kâğıt makinesi işletme verileri

Kâğıt Cinsi:	Fluting 112
Gramaj:	112 g/m ²
Çizgisel Hız:	18,37 m/s
Kâğıt Genişliği:	8,09 m
Ön Kurutma Girişi Kuruluk(Pres Çıkışı):	% 49 Kuru madde
Ön Kurutma Çıkışı Kuruluk(Tutkallama Ünitesi Girişi):	% 88-90 Kuru madde
Tutkallama Ünitesi Çıkışı(Son Kurutma Girişi):	% 70 Kuru madde
Son Kurutma Çıkışı:	% 91,90-93 Kuru madde
Kurutmaya Toplam Buhar Akışı:	66600 kg/h
Kurutma Silindiri Çapı:	1,83 m
Ön Kurutmada Isıtılan Silindir Sayısı:	32
Ön Kurutmada Ortalama Buhar Sıcaklığı:	148,30 °C
Son Kurutmada Isıtılan Silindir Sayısı:	16
Son Kurutmada Ortalama Buhar Sıcaklığı:	111,50 °C
İki Silindir Arası Uzaklık:	2,1 m
Sarma Açısı:	220°

Çizelge 7.10 Kurutma havası şartları

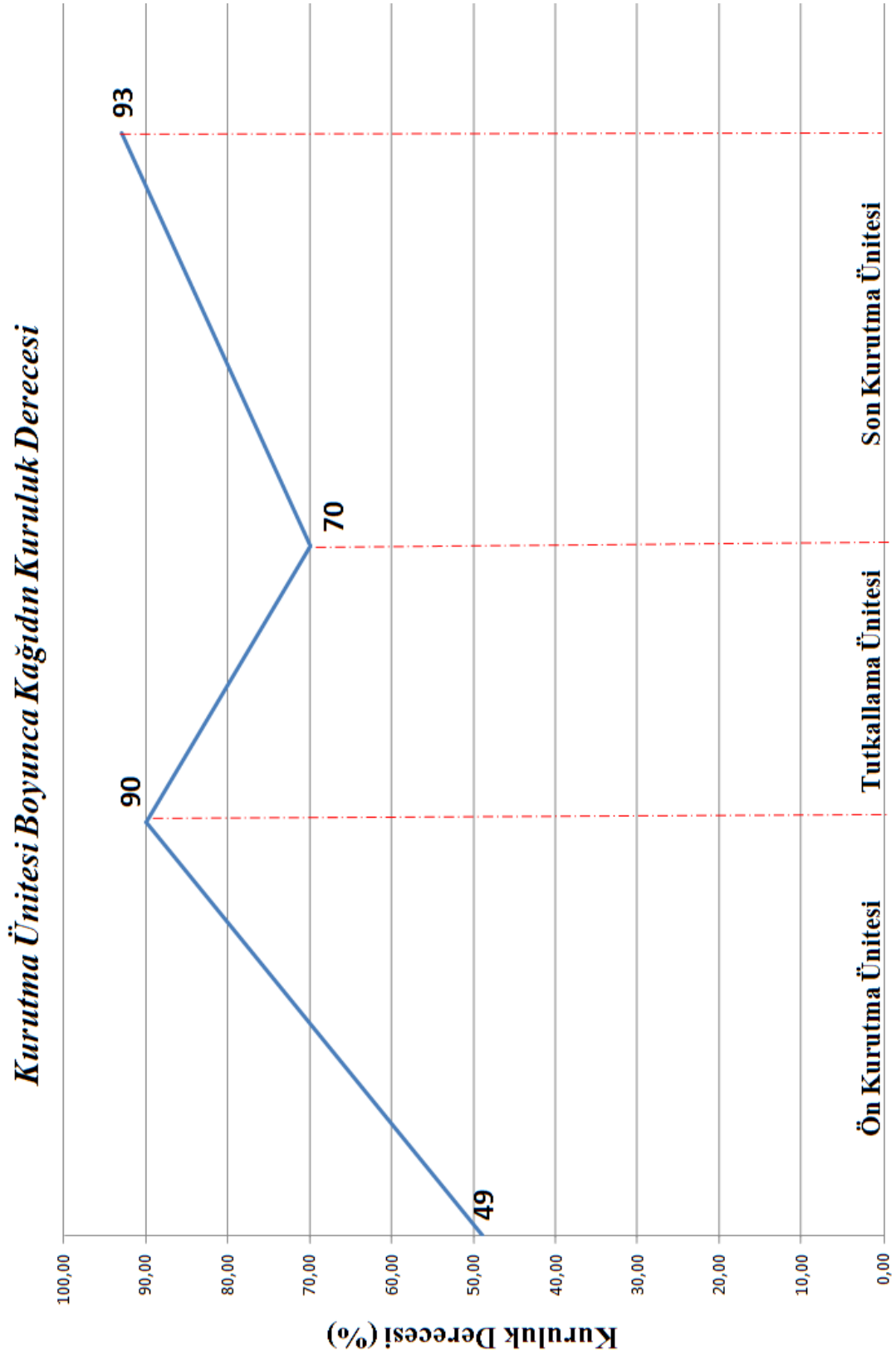
Ön Kurutma Verilen Hava		Ön Kurutma Çıkış Havası	
Sıcaklık:	95 °C	Sıcaklık:	82 °C
Nem:	0,020 kgsu/kgKH	Nem:	160 gsu/kgKH
Debi:	76,6 kgKH/s	Debi:	95,8 kgKH/s
Son Kurutma Verilen Hava		Son Kurutma Çıkış Havası	
Sıcaklık:	95 °C	Sıcaklık:	80 °C
Nem:	0,020 kgsu/kgKH	Nem:	140 gsu/kgKH
Debi:	35,6 kgKH/s	Debi:	44,5 kgKH/s

Çizelge 5.6, Çizelge 7.9 ve Çizelge 7.10'daki verilerden yararlanarak, Eşitlik (7.4) ve Eşitlik (7.9)'dan kurutma ünitesi boyunca kağıdın nem miktarının değişimi hesaplanmıştır. Şekil 7.9'da kâğıdın nem miktarının kurutma ünitesi boyunca değişimi görülmektedir.



Şekil 7.9 Kurutma ünitesinde kâğıdın nem miktarının değişimi

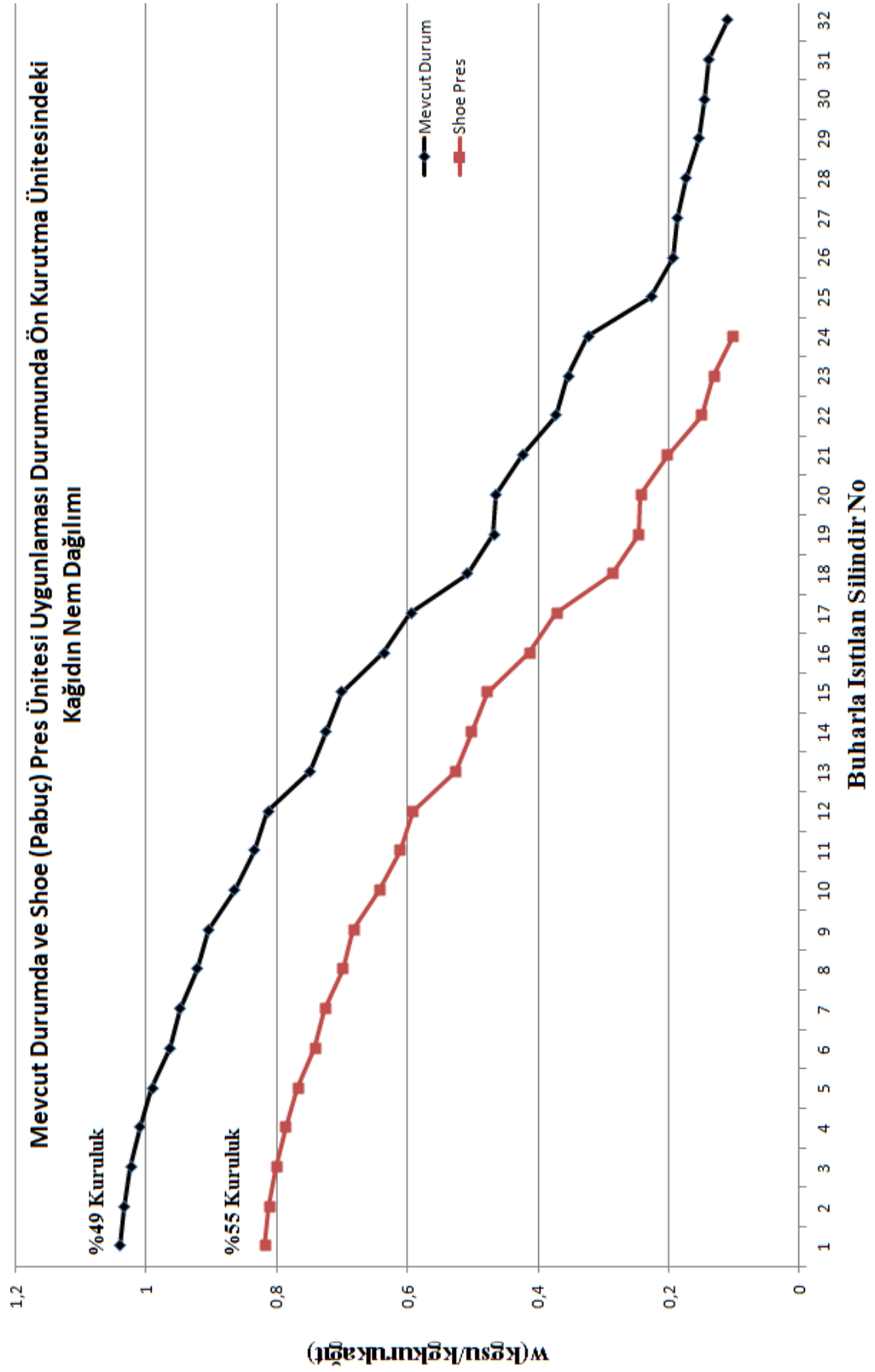
Şekil 7.10'da ise kâğıdın kuruluk derecesinin kurutma ünitesi boyunca değişimi görülmektedir.



Şekil 7.10 Kurutma ünitesi boyunca kâğıdın kuruluk derecesi

İncelenen kâğıt üretim tesisinde kâğıt, kurutma ünitesine %49 kuruluk oranında girmekte ve kurutma ünitesinden %93 kuruluk oranında çıkmaktadır. Maksimum enerji tüketiminin olduğu kurutma ünitesinde iyileştirme yapmak amacıyla Shoe (pabuç) Pres ünitesi uygulanması ile kâğıdın pres ünitesinden çıkıştaki kuruluk oranı %55'e çıkarılabilir. Böylece kâğıt, kurutma ünitesine daha kuru girer ve kurutma ünitesinin yükü azaltılarak enerji tasarrufuna gidilebilir.

Şekil 7.11'de mevcut durumda ve Shoe (pabuç) Pres ünitesi uygulanması ile kurutma ünitesine giren kâğıdın kuruluk derecesinin %55 olması durumunda, Eşitlik (7.9) yardımıyla elde edilen ön kurutma ünitesi boyunca kâğıdın nem dağılımı görülmektedir.



Şekil 7.11 Shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması ile ön kurutma ünitesinde elde edilen iyileştirme

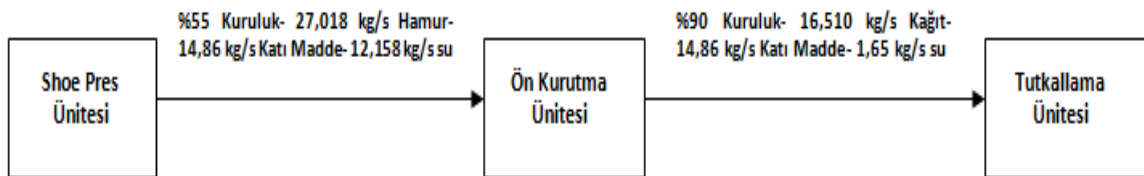
Şekil 7.11’de görüldüğü üzere Shoe (pabuç) Pres ünitesi uygulanması ile kurutma ünitesine giren kâğıdın kuruluk derecesinin %55 olması durumunda, ön kurutma ünitesinde istenilen kuruluk derecesinin 8 adet daha az buharla ısıtılan kurutma silindiri ile elde edilebileceği görülmüştür.

7.2.3 Shoe (pabuç) Pres Ünitesi Uygulanması ile Kurutma Ünitesi Ekserji Kaybı

Shoe (pabuç) Pres ünitesi uygulanması ile buharla ısıtılan kurutma silindiri sayısı azaldığından kurutma ünitesinde buhar tüketimi de azalacaktır. Mevcut durumda ön kurutma ünitesinde 12,33 kg/s buhar tüketimi olurken, shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanmasıyla yapılan hesaplamalar sonucunda ön kurutma ünitesindeki yeni buhar tüketimi 9,2475 kg/s olmakta ve böylece kurutma ünitesinin tamamında % 16,68 buhar tasarrufunun yapılabileceği belirlenmiştir. Bu durumda, Eşitlik (5.7) yardımıyla kurutma ünitesinde kullanılan buharın toplam ekserji kaybı 9627 kW olarak elde edilir.

Kurutma Ünitesinde mevcut durumda 6463 kWh elektrik enerjisi tüketilir. Bu değer, 2463 kWh silindirlerin tükettiği ve 4000 kWh üfleme fanlarının tükettiği elektrik enerjisinden oluşur. Shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması ile 8 adet buharla ısıtılan ve 8 adet ısıtılmayan olmak üzere toplam 16 adet silindir azalacağından yeni elektrik enerjisi tüketimi 6044 kWh olarak belirlenmiştir.

Shoe (pabuç) Pres ünitesi uygulamasında kurutma ünitesine verilen havanın fiziksel özelliklerinin değişmediği kabul edilmiştir. Shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması ile ön kurutma ünitesinde buharlaşan su miktarı Şekil 7.12 yardımıyla,



Şekil 7.12 Shoe (pabuç) Pres ünitesi uygulanması ile ön kurutma ünitesinde buharlaşan su miktarı

$$\dot{m}_{\text{buharlaşan}} = \dot{m}_{\text{giren su}} - \dot{m}_{\text{çıkan su}} \quad (7.10)$$

$$\dot{m}_{\text{buharlaşan}} = 12,158 \frac{\text{kgsu}}{\text{s}} - 1,65 \frac{\text{kgsu}}{\text{s}} = 10,508 \frac{\text{kgsu}}{\text{s}} \quad (7.11)$$

olarak elde edilir.

Buharlaşan su miktarı belli olduğundan üniteden çıkan havanın özgül nem miktarı hesap edilebilir.

Ön kurutma ünitesinden çıkan hava içindeki su miktarı ile ön kurutma ünitesine verilen hava içindeki su miktarı arasındaki fark buharlaşan su miktarına eşit olmak zorundadır.

Çizelge 7.10'daki verilerden yararlanarak ön kurutma ünitesi için;

$$\dot{m}_{\text{buharlaşan}} = \left(95,8 \frac{\text{kgKH}}{\text{s}} \times w_2 \frac{\text{kgsu}}{\text{kgKH}} \right) - \left(76,6 \frac{\text{kgKH}}{\text{s}} \times 0,020 \frac{\text{kgsu}}{\text{kgKH}} \right) \quad (7.12)$$

şeklinde yazılabilir. Eşitlik (7.11)'den yararlanarak,

$$10,508 \frac{\text{kgsu}}{\text{s}} = \left(95,8 \frac{\text{kgKH}}{\text{s}} \times w_2 \right) - 1,532 \frac{\text{kgsu}}{\text{s}} \quad (7.13)$$

$$w_2 = 0,126 \frac{\text{kgsu}}{\text{kgKH}} \quad (7.14)$$

elde edilir.

Elde edilen bu değerlere göre nemli havanın ekserji kaybı (5.13) ve (5.16) eşitlikleri yardımıyla tekrar hesaplanırsa kurutma ünitesinin tamamı için nemli havanın toplam ekserji kaybı 3896,45 kW olarak elde edilir.

Shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması sonucu kurutma ünitesine %55 kuruluk derecesinde giren kağıdın fiziksel ekserjisi Eşitlik (5.6) yardımıyla 64,433 kW olarak elde edilir.

Elde edilen yeni değerler yardımıyla kurutma ünitesi ekserji kaybı için Eşitlik (5.12) kullanılırsa kurutma ünitesinin ekserji kaybı,

$$\dot{E}_{x_k} = 11745,218 \text{ kW}$$

olarak elde edilir.

Böylece, mevcut durumda 13172,252 kW olan kurutma ünitesinin ekserji kaybı, Shoe (pabuç) Pres ünitesi uygulanmasıyla 11745,218 kW olarak elde edilmiştir. Bu durumda Kurutma Ünitesinin ekserji kaybında %10,83 azalma meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

7.2.4 Shoe (pabuç) Pres Ünitesinin Uygulanması Durumunda Kâğıt Birim Ekserji Maliyetinin Hesaplanması

Kâğıt üretim tesisine Eşitlik (4.86) ile belirtilen maliyet denge denklemini uygulayabilmek için Shoe (pabuç) pres ünitesinin uygulanması durumunda, yeniden bir değere getirilmiş parasal değer (Z) tablosunun oluşturulup her ünite için bu değer in Eşitlik (5.17) yardımıyla belirlenmesi gerekir. Bölüm 5.2’de yapılan kabuller doğrultusunda, Çizelge 7.11’de Shoe (pabuç) Pres ünitesi uygulanan sistem için oluşturulan bir değere getirilmiş parasal değer (Z) tablosu görülmektedir.

Çizelge 7.11 Shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması sonucu elde edilen (Z) değerleri

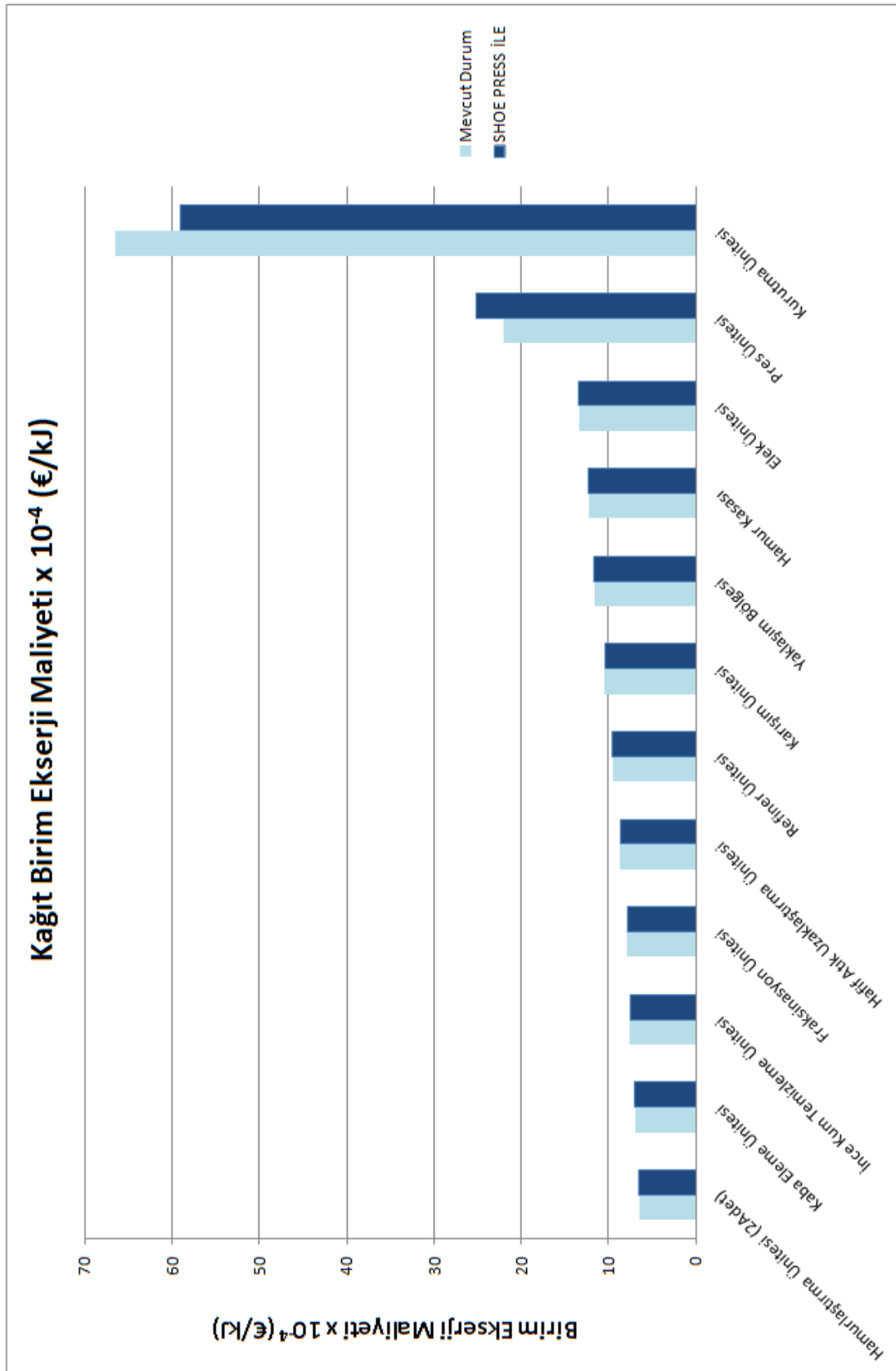
Maliyetler	Hamurlaşırma Ünitesi (Zadet)	Kaba Eleme Ünitesi	İnce Kum Temizleme Ünitesi	Fraksiyasyon Ünitesi	Hafif Akık Uzaklaşırma Ünitesi	Rıflayır Ünitesi	Karışım Ünitesi	Yaklaşım Bölgesi	Hamur Kasası Ünitesi	Elek Ünitesi	Shoe Pres Ünitesi	Kurutma Ünitesi
İlk Yatırım Maliyeti (€)	4.700.000	650.000	400.000	400.000	300.000	1.900.000	2.000.000	20.000.000	5.000.000	5.000.000	20.000.000	24.893.617
Pompa+Motor+Elek+Oto (€)	7.123.557	2.513.895	577.169	2.824.284	1.616.075	10.014.536	1.213.339	2.757.588	538.691	6.961.950	7.280.034	16.578.880
Arsa ve Bina Payı (€)	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333	8.333.333
Su Geri Dönüşüm Tesis Payı (€)	2.689.274	341.823	341.823	-	341.823	-	683.647	601.609	-	-	-	-
Toplam İlk Yatırım Maliyeti(€)	22.846.164	11.839.051	9.652.325	11.557.617	10.591.231	20.247.869	12.230.319	31.692.530	13.872.024	20.295.283	35.613.367	49.805.830
Yıllık Elektrik Masrafı (€/Yıl)	1.809.093	638.426	146.578	717.253	410.417	2.543.284	308.139	700.315	136.806	1.768.052	1.848.832	3.937.400
Taze Su Maliyeti (€/Yıl)	4.051.648	514.989	514.989	-	514.989	-	1.029.979	906.381	-	-	-	-
Su için Pompa Elekt. Masrafı (€/Yıl)	159.427	20.264	20.264	-	20.264	-	40.528	35.665	-	-	-	652
Yedek Parça, Bakım ve Onarım Masrafı (€/Yıl)	2.284.616	1.183.905	965.233	1.155.762	1.059.123	2.024.787	1.223.032	3.169.253	1.387.202	2.029.528	3.561.337	4.980.583
Yıllık Vergiler, Sigorta ve Personel Masrafı (€/Yıl)	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000
Yıllık Kullanılmış Kağıt Maliyeti (€/Yıl)	38.225.759	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nişasta Maliyeti (€/Yıl)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.100.453
Su Isırma Maliyeti (€/Yıl)	7.302.910	928.245	928.245	-	928.245	-	1.856.490	1.633.711	-	-	-	-
Yıllık İşletme Maliyeti (€/Yıl)	53.953.453	3.405.829	2.695.308	1.993.015	3.053.038	4.688.071	4.578.167	6.565.325	1.644.008	3.917.580	5.530.169	22.139.088
Bir Değere Getirilmiş Parasal Değeri Z (€/h)	6.925	502	399	323	450	717	652	1.024	294	620	919	3.096

Çizelge 7.11’de, mevcut sistemden farklı olarak Shoe (pabuç) Pres ünitesinin ilk yatırım maliyeti Ocak 2011 fiyatlarına göre 20.000.000 €’dur. Ayrıca Shoe (pabuç) Pres ünitesi uygulanması ile kurutma ünitesinde 8 adet buharla ısıtılan ve 8 adet ısıtılmayan olmak üzere toplam 16 adet silindirden tasarruf ettiğimizden dolayı, mevcut sistemde 30.000.000 € olan kurutma ünitesinin ilk yatırım maliyet, yeni durumda 24.893.617 € olmuştur.

Shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması durumunda kağıt üretim tesisinden çıkan kağıdın birim ekserji maliyetini hesap edebilmek amacıyla Bölüm 5.2’de yapılan kabuller doğrultusunda, Çizelge 7.11’deki bir değere getirilmiş parasal değer (Z) değerlerinden yararlanarak, elde edilen yeni fiziksel ekserji değerlerine göre, tesisi oluşturan ünitelere ayrı ayrı Çizelge 5.11’deki eşitlikler ve kurutma ünitesi için Eşitlik (5.20) uygulanırsa, Çizelge 7.12’deki sonuçlar elde edilir. Şekilde 7.13’de ise elde edilen sonuçların mevcut sistemle karşılaştırılması grafik halinde görülmektedir.

Çizelge 7.12 Shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması ile elde edilen sonuçlar

Ünite	Ekserji Kaybı (kW) MEVCUT SİSTEM	Ekserji Kaybı (kW) Shoe (Pabuç) Pres Ünitesi İLE	Birim Ekserji Maliyetix10 ⁻⁴ (€/k) MEVCUT SİSTEM	Birim Ekserji Maliyetix10 ⁻⁴ (€/k) SHOE (Pabuç) PRES ÜNİTESİ İLE
Hamurlaştırma Ünitesi (2Adet)	2827,348515	2827,348515	6,481	6,481
Kaba Eleme Ünitesi	1144,189046	1144,189046	6,971	6,971
İnce Kum Temizleme Ünitesi	444,2627119	444,2627119	7,516	7,516
Fraksiyasyon Ünitesi	1057,012879	1057,012879	7,878	7,878
Hafif Atık Uzaklaştırma Ünitesi	841,1856214	841,1856214	8,674	8,674
Refiner Ünitesi	3733,407833	3733,407833	9,533	9,533
Karışım Ünitesi	827,9293444	827,9293444	10,424	10,424
Yaklaşım Bölgesi	1330,318798	1330,318798	11,642	11,642
Hamur Kasası	221,3598125	221,3598125	12,265	12,265
Elek Ünitesi	2570,483386	2570,483386	13,414	13,414
Pres Ünitesi	2699,510439	2699,510439	22,06	25,161
Kurutma Ünitesi	13172,252	11745,218	66,424	59,093
Shoe (Pabuç) Pres Ünitesi Kullanımıyla Mevcut Sisteme Göre Kurutma Ünitesinde Ekserji Kaybında %10,83 Azalma ve Kağıt Birim Ekserji Maliyetinde %11,04 Azalma Meydana Geldiği Görülmektedir.				



Şekil 7.13 Mevcut durum ile shoe (pabuç) pres ünitesinin uygulanması halinde kağıt birim ekserji maliyetinin karşılaştırılması

Çizelge 7.12’den de görüleceği üzere Shoe (pabuç) Pres Ünitesi uygulanmasıyla mevcut sisteme göre kurutma ünitesinde ekserji kaybında %10,83 ve kâğıt birim ekserji maliyetinde ise %11,04 azalma meydana gelebileceği görülmektedir.

7.2.5 Shoe (Pabuç) Pres Ünitesinin Amortisman Süresinin Belirlenmesi

7.2.5.1 Shoe (Pabuç) Pres Ünitesi Uygulanması ile Kurutma Ünitesinde Buhardan Elde Edilen Tasarruf

Shoe (pabuç) Pres Ünitesi uygulanması ile kurutma ünitesinde 8 adet buharla ısıtılan silindirden tasarruf edilir. 8 adet kurutma silindiri 11100 kg/h buhar tüketir. Ocak 2011 yakıt fiyatlarıyla buharın maliyeti 0,0195 €/kg olduğundan;

$$11100 \frac{kg}{h} \times 0,0195 \frac{\text{€}}{kg} = 216,45 \frac{\text{€}}{h}$$

olarak buhardan elde edilen tasarrufun parasal değeri bulunur.

7.2.5.2 Shoe (Pabuç) Pres Ünitesi Uygulanması ile Kurutma Ünitesinde Elektrik Tüketiminden Elde Edilen Tasarruf

Kurutma Ünitesinde silindirlerin tükettiği elektrik enerjisi 2463 kWh’dir. Shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması ile kurutma ünitesinde 8 adet buharla ısıtılan ve 8 adet ısıtılmayan olmak üzere toplam 16 adet silindirden tasarruf edildiğinden bu silindirlerin elektrik tüketimi 419 kWh olarak tespit edilmiştir. Elektriğin Ocak 2011 için birim fiyatı 0,0754 €/kWh olduğundan,

$$419 kWh \times 0,0754 \frac{\text{€}}{kWh} = 31,6 \frac{\text{€}}{h}$$

olarak elektrik tüketiminden elde edilen tasarruf hesaplanmış olunur.

7.2.5.3 Shoe (Pabuç) Pres Ünitesi Yatırım Maliyeti

Shoe (pabuç) Pres Ünitesinin ilk yatırım maliyeti 20.000.000 €'dur. Sistemdeki mevcut klasik pres ünitesinin maliyeti ise 7.000.000 €'dur. Shoe (pabuç) Pres Ünitesi uygulanması durumunda Kurutma Ünitesinin yatırım maliyetinde 5.106.383 € tasarruf edilmektedir. Dolayısıyla mevcut sistem yerine Shoe (pabuç) pres ünitesinin uygulanması durumunda toplam yatırım maliyeti;

$$Yatırım\ Maliyeti = (20.000.000\ € - 7.000.000\ €) - 5.106.383\ € = 7.893.617\ €$$

olarak elde edilir.

7.2.5.4 Amortisman Süresinin Hesaplanması

Elde edilen veriler ışığında shoe (pabuç) pres ünitesinin amortisman süresi (t), Eşitlik (7.3) yardımıyla;

$$t = \frac{\text{Toplam yatırım maliyeti}}{\text{Elde edilen toplam tasarruf}}$$

şeklinde hesaplanabilir. Buradan,

$$t = \frac{7.893.617\ €}{216,45 \frac{\text{€}}{h} + 31,6 \frac{\text{€}}{h}} = 31823\ h = 1326\ \text{gün} = 3,68\ \text{yıl}$$

olarak amortisman süresi bulunur.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu doktora tez çalışmasında; enerjiyi yoğun olarak tüketen geri dönüştürülebilir kullanılmış kâğıttan yeni kâğıt üreten bir kâğıt üretim tesisinin enerji, ekserji ve termoeekonomik analizi gerçek işletme verileri kullanılarak yapılmıştır. Ekserji analizinden elde edilen sonuçlarla, kâğıt üretim tesisine yapay sinir ağları yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca enerji ekonomisi sağlayabilecek teorik iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

Bir sistemin verimliliğini sadece enerji analizi yaparak değerlendirmek mümkün değildir. Termodinamiğin II. Yasası ile enerji analizinde göz ardı edilen tersinmezliklerin yerleri ve miktarları belirlenir. Sistemdeki tersinmezlikler sonucu meydana gelen kullanılabilir enerji (ekserji) kaybını azaltacak önlemler sistem maliyetini de arttırır. Bu sebeple iyileştirme çalışmaları yapılırken sistemden elde edilen ürünün fiyatı da göz önüne alınarak bir analiz yapılmalıdır.

Gerçek çalışma şartlarından elde edilen veriler yardımıyla kâğıt üretim tesisini oluşturan her üniteye ayrı ayrı termodinamiğin I. ve II. yasaları uygulanarak enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Şekil 5.8’de görüldüğü üzere yapılan hesaplamalar sonucunda maksimum ekserji kaybının 13172,252 kW olarak Kurutma Ünitesinde olduğu tespit edilmiştir.

Bölüm 5.2’de verilen kabuller doğrultusunda kâğıt üretim tesisini oluşturan her üniteye termoekonomik analiz yöntemi uygulanmıştır. Kâğıt üretim tesisinin ilk ünitesi olan Hamurlaştırma Ünitesinden başlanarak hamurdan kâğıt oluşuncaya kadar her ünite için maliyet denge denklemleri çözülmüş, kâğıt üretim tesisinde kâğıdın birim ekserji maliyeti elde edilmiştir. Hesaplamalar sonucu kâğıt birim ekserji maliyetinin, ilk ünite olan hamurlaştırma ünitesinden son ünite olan kurutma ünitesine doğru artan bir eğilim gösterdiği ve kâğıt birim ekserji maliyetinin en fazla $66,424 \times 10^{-4}$ €/kJ olarak Kurutma Ünitesinde olduğu görülmüştür (Şekil 5.12).

Yapay sinir ağları yöntemi kâğıt üretim tesisini oluşturan her ünite için ayrı ayrı uygulanmıştır. Kâğıt üretim tesisinde her bir ünitenin çıktısı kendinden sonra gelen ünitenin girdisi olduğu için gerçek çalışma şartlarından elde edilen veriler yardımıyla yapay sinir ağları her ünite için ayrı ayrı eğitilip test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yapay sinir ağları ile ünitelerin ekserji kaybı ve ünitelerden çıkan hamur miktarı, sıcaklığı ve katı madde oranı % 0,1-% 3,7 hata payı ile hesaplanabildiği görülmüştür. Böylece bu tür kâğıt üretim tesislerinin enerji analizinde yapay sinir ağları yönteminin kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Buharlı proses içeren bir işletmeye örnek olarak ele alınan kâğıt üretim tesisinde yapılan inceleme ve hesaplamalar sonucunda maksimum enerji tüketimi ve ekserji kaybının kurutma ünitesinde olduğu görülmüştür.

Kurutma ünitesinde enerji, kurutma silindirlerine verilen buhardan ve sıcak kurutma havasından sağlanmaktadır. Enerji ve ekserji kayıpları düşünülecek olursa maksimum enerji ve ekserji kayıplarının kurutma silindirleri ve bacadan çıkan nemli kurutma havasından kaynaklandığı yapılan hesaplamalar sonucunda tespit edilmiştir.

Kurutma ünitesi bacasından çıkan nemli hava 80°C kuru termometre sıcaklığı ve $w=0,152$ kgsu/kgKH özgül neme sahiptir. Bu nemli havadan dolayı oluşan ekserji kaybının bir kısmının, ısı geri kazanımı sistemi ile faydalı (kullanılabilir) hale getirilebileceği öngörülmüştür.

Kurutma silindirlerine gönderilen buhar, silindirlerin ısınması ve silindirler üzerinde dolaşan nemli kâğıdın nem miktarını düşürmek amacıyla kullanılmaktadır. Kâğıdın yapısının bozulmaması için silindirlerin yüzey sıcaklığının belirli aralıkta sabit kalması

gerekmektedir. Kurutma ünitesine giren kâğıdın kuruluk derecesi arttırılacak (nem miktarı azaltılacak) olursa kurutma ünitesi için gerekli buhar miktarında azalma meydana gelir, enerji ve ekserji kayıpları da azalır. Bu sebepten kaybolan enerji ve ekserji miktarının faydalı (kullanılabilir) hale getirilebilmesi için kurutma ünitesine giren kâğıdın kuruluk derecesi arttırılarak (nem miktarı azaltılarak) kurutma silindiri sayısının ve dolayısı ile kullanılacak buhar miktarının azaltılması öngörülmüş, bu amaçla Shoe (pabuç) pres ünitesi kullanılması düşünülmüştür.

Kurutma ünitesi bacasından çıkan nemli hava 140 kg/s debi, 80°C kuru termometre sıcaklığı, $w=0,152$ kgsu/kgKH özgül nem miktarı ve 478,37 kJ/kg entalpi değerine sahip olduğundan, 66972 kW enerji içermektedir. Bu nemli havanın atık ısısından faydalanmak amacıyla kanatlı boru demetlerinden meydana gelen bir eşanjör (batarya) sistemi tasarlanmıştır (Şekil 7.1). Tasarlanan bu ısı geri kazanım sistemi sayesinde, kurutma ünitesi için gerekli havayı elde etmek için kullanılan hava ısıtıcısında mevcut duruma göre 8841 kg/h (%64) buhar tasarrufunun sağlanabileceği belirlenmiştir.

Mevcut durumda kurutma ünitesine verilen havanın birim ekserji maliyeti $8,926 \times 10^{-5}$ €/kJ olarak hesaplanmışken, tasarlanan ısı geri kazanım sistemi sayesinde kurutma ünitesine verilen havanın birim ekserji maliyeti $3,675 \times 10^{-5}$ €/kJ olarak hesaplanmıştır. Böylece tasarlanan ısı geri kazanım sistemi sayesinde kurutma ünitesine verilen havanın birim ekserji maliyetinde %59 oranında tasarruf edilebileceği görülmüştür.

Şekil 7.1’de verilen, tasarlanmış ısı geri kazanım sistemi ile kâğıt üretim tesisinde mevcut durumda 43,2°C olan karışım suyu 49°C’ye çıkmaktadır. Bu durumda 49°C’deki bu karışım suyunu prosesler için gerekli olan 60°C’ye ısıtabilmek için, kazanda mevcut duruma göre 2128 m³/h doğalgazdan tasarruf edilebileceği görülmüştür. Böyle bir sistemin amortisman süresi 1,5 ay olarak hesaplanmıştır.

Söz konusu sistemin uygulanması durumunda, kâğıt üretim tesisini oluşturan bütün üniteler için gerekli maliyet denge denklemleri yeniden çözüldüğünde, mevcut durumda kurutma ünitesinden çıkan kâğıdın birim ekserji maliyeti $66,424 \times 10^{-4}$ €/kJ olarak hesaplanmışken, ısı geri kazanımlı sistemde çıkan kâğıdın birim ekserji maliyeti $56,878 \times 10^{-4}$ €/kJ olarak bulunmuştur. Kâğıdın birim ekserji maliyetinde % 14,4 azalma olabileceği görülmüştür.

Kağıt hamurundaki nemin ayrılması için; hamur elek ve pres ünitelerinden geçtikten sonra kurutma ünitesine gelir. Bu üniteye bulunan kurutma silindirlerinde buhar kullanılarak kâğıttaki nem buharlaştırılır. Kâğıt %93 kuruluk derecesinde kurutma ünitesini terk eder. Kurutma ünitesinde bulunan kurutma silindirlerinde 66600 kg/h buhar ve kurutma ünitesinde 112 kg/s debi, 95°C kuru termometre sıcaklığı ve $\phi=3,74$ bağıl nem şartlarına sahip hava kullanılmaktadır.

Kurutma ünitesine giren kâğıdın kuruluk derecesi arttırılacak (nem miktarı azaltılacak) olursa kurutma ünitesi için gerekli buhar miktarında azalma meydana gelir. Bunun için presleme etkinliğinin arttırılması gerekmektedir. Son zamanlarda presleme etkinliğini arttırmak için Shoe (pabuç) pres ünitesi uygulaması yapılmaktadır.

İncelenen kağıt üretim tesisinde kâğıdın pres ünitesi çıkış kuruluk oranı %49'dur. Klasik pres ünitesi yerine Shoe (pabuç) pres ünitesi kullanımıyla kâğıdın pres ünitesinden çıkış kuruluk oranı %55'e çıkartılabilir. Yapılan hesaplamalar sonucunda shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması halinde, kurutma ünitesine giren kâğıdın kuruluk oranının %55 olması durumunda, ön kurutma ünitesinde istenilen kuruluk derecesinin 8 adet daha az buharla ısıtılan kurutma silindiri ile elde edilebileceği görülmüştür.

Shoe (pabuç) pres ünitesinin uygulanması durumunda, gerekli hesaplamaların yapılması sonucu kurutma ünitesi buhar tüketiminde %16,68 ve ekserji kaybında %10,83 azalma meydana gelebileceği tespit edilmiştir.

Shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması halinde, kağıt üretim tesisine maliyet denge denklemleri yeniden uygulandığında, mevcut durumda kurutma ünitesinden çıkan kâğıdın birim ekserji maliyeti $66,424 \times 10^{-4}$ €/kJ olarak hesaplanmışken, shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması sonucunda çıkan kâğıdın birim ekserji maliyeti $59,093 \times 10^{-4}$ €/kJ olarak hesap edilmiştir. Böylece shoe (pabuç) pres ünitesi uygulanması durumunda kâğıdın birim ekserji maliyetinde %11,04 azalma olabileceği görülmüştür. Böyle bir ünitenin uygulanması halinde ünitenin amortisman süresi 3,68 yıl olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada önerilen teorik iyileştirme çalışmaları sonuçlarına göre;

İncelenen kâğıt üretim tesisi için önerilen ısı geri kazanım sisteminin hem kâğıt üretim proseslerinde hem de enerji ve ekserji kaybının maksimum olduğu kurutma ünitesinde enerji ekonomisi açısından büyük fayda sağlayabileceği görülmektedir. Bu sistem kendini 1,5 ay gibi çok kısa bir sürede amorti edebilmektedir. İncelenen kâğıt üretim tesisi için ısı geri kazanım sisteminin enerji ekonomisi açısından uygun olacağı görülmektedir.

İncelenen kâğıt üretim tesisi için önerilen shoe (pabuç) pres ünitesinin ise sadece kurutma ünitesinde enerji ekonomisi yönünden fayda sağlayabileceği görülmektedir. Bu ünite kendini 3,68 yılda amorti edebilmektedir. Shoe (pabuç) pres ünitesi kullanımı durumunda hem pres ünitesinin hem de kurutma ünitesinin yeniden tasarlanma zorunluluğu olduğundan bu iyileştirme çalışmasının incelenen kâğıt üretim tesisi için uygun olmadığı ancak yeni kurulacak bir kâğıt üretim tesisi için uygun olacağı kanısına varılmaktadır.

Sonuç olarak, teorik iyileştirme çalışmaları kapsamında incelenen ısı geri kazanım sisteminin ve shoe (pabuç) pres ünitesinin beraber kullanılması, yeni kurulacak kâğıt üretim tesislerinde enerji ekonomisine ve çevre kirliliğinin azaltılmasına önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

Küresel ısınma ve çevre kirliliği dünyamızda hızla arttığından bu tür benzer tesislerin teşvik edilmesi ve tezde sunduğumuz optimizasyon çalışmalarının geliştirilmesi gerekliliği enerji ve çevre kirliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Çengel, Y.A. ve Boles, M.A., (1996). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, McGraw- Hill, İstanbul.
- [2] Ünlü, C., (2004). Buhar Tesisatları ve Buhar Cihazları El Kitabı-İntervalf, İstanbul.
- [3] Akbulut, A. ve Durmuş A., (2010). "Energy and Exergy Analyses of Thin Layer Drying of Mulberry in a Forced Solar Dryer.", Energy, 35:1754-1763.
- [4] Sogut, M.Z., Oktay, Z. ve Hepbasli, A., (2009). "Energetic and Exergetic Assessment of a Trass Mill Process in a Cement Plant", Energy Conversion and Management, 50:2316-2323.
- [5] Bozoğlu, E., (2008). Bir Zeytinyağı Rafinerasyon Tesisinin Enerji ve Ekserji Analiz Yöntemleri Kullanılarak Performansının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [6] Balli, O., Aras, H. ve Hepbasli A., (2008). "Exergoeconomic Analysis of a Combined Heat and Power (CHP) System", Int. J. Energy Res, 32:273-289.
- [7] Cay, A., Tarakçıoğlu, I. ve Hepbasli, A., (2007). "Exergetic Performance Assessment of a Stenter System in a Textile Finishing Mill", International Journal of Energy Research", 31:1251-1265.
- [8] Colak, N. ve Hepbasli, A., (2007). "Performance Analysis of Drying of Green Olive in a Tray Dryer.", Journal of Food Engineering, 80:1188-1193.
- [9] Apak, E., (2007). Bir Seramik Fabrikasındaki Enerji Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [10] Tsatsaronis, G., (2007). "Application of Thermoeconomics to the Design and Synthesis of Energy Plants", in Exergy, Energy System Analysis, and Optimization, [Ed. Christos A. Frangopoulos], in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, [<http://www.eolss.net>], 15 Mart 2009.
- [11] Lazzaretto, A. ve Tsatsaronis, G., (2006). "SPECO: A Systematic and General Methodology for Calculating Efficiencies and Costs in Thermal Systems", Energy, 31:1257-1289.

- [12] Akpınar, EK., Midilli, A. ve Bicer, Y., (2005). "Energy and Exergy of Potato Drying Process via Cyclone Type Dryer.", *Energy Conversion and Management*, 46:2530-2552.
- [13] Temir, G. ve Bilge, D., (2004). "Thermoeconomic Analysis of a Trigeneration System", *Applied Thermal Engineering*, 24:2689-2699.
- [14] Kwak, H.Y., Kim, D.J. ve Jeon, J.S., (2003). "Exergetic and Thermoeconomic Analyses of Power Plants", *Energy*, 28:343-360.
- [15] Ekvall, J. ve Hägglund, T., (2008). "Improved Web Break Strategy Using A New Approach For Steam Pressure Control In Paper Machines", *Control Engineering Practice*, 16:1151-1160.
- [16] Zvolinschi, A., Johannessen, E. ve Kjelstrup, S., (2006). "The Second-law Optimal Operation of a Paper Drying Machine", *Chemical Engineering Science*, 61:3653-3662.
- [17] Koper, G., Kjelstrup, S., Ven, T., Sadeghi, M. ve Douglas, W., (2006). "Entropy Production For Cylinder Drying of Linerboard and Newsprint", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50:1344-1355.
- [18] Slätteke, O., (2006). Modeling and Control of the Paper Machine Drying Section, Doktora Tezi, Department of Automatic Control Lund University, 247, İsveç.
- [19] Karlsson, M. ve Stenström S., (2005). "Static and Dynamic Modeling of Cardboard Drying Part 1:Theoretical Model", *Drying Technology*, 23:143-163.
- [20] Karlsson, M. ve Stenström S., (2005). "Static and Dynamic Modeling of Cardboard Drying Part 2: Simulations and Experimental Results", *Drying Technology*, 23:165-186.
- [21] Yeo, Y., Hwang, K., Yi, S. ve Kang, H., (2004). "Modeling of The Drying Process In Paper Plants", *Korean Journal of Chemical Engineering*, 21:761-766.
- [22] Nilsson, L., (2004). "Heat And Mass Transfer In Multicylinder Drying Part I.Analysis Of Machine Data", *Chemical Engineering And Processing*, 43:1547-1553.
- [23] De Beer, J., Worrell, E. ve Blok, K., (1998). "Long-Term Energy-Efficiency Improvements in The Paper and Board Industry.", *Energy*, 23:21-42.
- [24] Yoru, Y., Karakoc, H. ve Hepbasli, A., (2009). "Application of Artificial Neural Network (ANN) Method to Exergetic Analyses of Gas Turbines", *Int. Symp. on Heat Transfer in Gas Turbine Systems*, 9-14 August 2009, Antalya, Turkey.
- [25] Yigit, K.S. ve Ertunc, H.M., (2006). "Prediction of the Air Temperature and Humidity at the Outlet of a Cooling Coil Using Neural Networks", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33:898-907.
- [26] Selbaş, R., Kızılkın, Ö. ve Şencan, A., (2006). "Thermoeconomic Optimization of Subcooled and Superheated Vapor Compression Refrigeration Cycle", *Energy*, 31:2108-2128.

KULLANILAN TERMAL KAMERANIN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Kâğıt kurutma işlemi sırasında kâğıtta meydana gelen sıcaklık dağılımını bulabilmek için FLİR SYSTEMS firmasına ait INFRA CAM-SD model termal kamera ile ölçüm yapılmıştır. Bu kameraya ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir:

Görüntü performansı
Görüş alanı: 25° x 25°
Minimum odak mesafesi: 0.12 m
Odaklama: Manuel
Detektör tipi: (FPA) Odaksal düz sıra, soğutmasız mikrobolometre 120 x 120 piksel
Spektral aralık: 7.5 ile 13 µm arası
Görüntü sunumu
Ekran: 3.5" renkli LCD, 16K renk
Ölçüm
Sıcaklık aralığı: -10°C ile +350°C arası
Keskinlik: ±2°C, % ±2°C okunan değer
Ölçüm modu: Orta nokta, Alan maks ve min
Menü kumandaları: Paletler (renkli veya siyah-beyaz)
Termal hassasiyet/NETD 25°C'de 0,12°C
Otomatik ayarlı: (otomatik/manuel)
Kurulum kumandaları: Gün/zaman, lisan, güç devre dışı, görüntü yoğunluğu
Ölçüm düzeltmeleri
Emissivite: 0.1 ile 1.0 arası değişken
Görüntü saklama
Tip: SD kart (standart 128 MB, 1000 görüntü)
Dosya formatları: Standart JPEG
Lazer: locatIR
Sınıfı: Sınıf 2
Tip: Yarı iletken AlGaInP diyot lazer: 1mW/635 nm kırmızı
Pil sistemi
Tip: Li-Ion, şarj edilebilir, sahada değiştirilebilir

Çalışma süresi: 7 saatlik sürekli çalışma. Ekranda pilin durumu gösterilir
Şarj etme sistemi: Kamera içinde, AC adaptörü
AC çalışması: AC adaptörü 90-260 V AC, 50/60 Hz
Giriş voltajı: 11-16 V DC
Çevre özelliği
Çalışma sıcaklık aralığı: -15°C ile +50°C arası
Depolama sıcaklık aralığı: -40°C ile +70°C arası
Koruma sınıfı: IP54
Rutubet Çalışma ve depolama :%20 ile %80 arası, yoğuşmasız
Fiziksel özellikleri
Ağırlığı: 550 g
Ölçüleri (Boy x en x yükseklik): 243 mm x 81 mm x 103 mm
Üç ayak sehpası: 1/4" – 20
Muhafaza kutusu: Sert Plastik ve lastik



KÂĞIT ÜRETİM TESİSİNDE MEVCUT DURUMDA KURUTMA ÜNİTESİNDE HAVA ISITICISINA AİT TEKNİK ÖZELLİKLER

Örnek Kod Açıklaması;



H: Batarya Yüksekliği (mm)

L: Batarya Uzunluğu (mm)

W: Batarya Genişliği (mm)

KURUTMA ÜNİTESİ HAVA ISITICISI ÖZELLİKLERİ (MEVCUT DURUM)

Sayfa No:1/3

UNILAB SRL
Developers Team

TARİH

17.12.2011

STEAM COIL - 164035_C_S 149T 2NR 6000A 3P 143NC

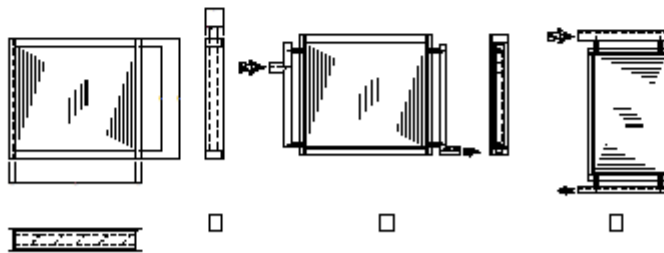
KAPASİTE	7880	kW
ISI TRANSFER ALANI	1505	m ²
TEORİK DTML	0	°C
LAMEL MALZEMESİ	Aluminium	

HAVA TARAFI

ATMOSFERİK BASINÇ	1,0133	bar A
HAVA DEBİSİ (Vol)	344822	m ³ /h
HAVA DEBİSİ (Mass)	403200	kg/h
HAVA HIZI	2,6770	m/s
KURU TERMOMETRE GİRİS SICAKLIĞI	25	°C
GİRİS BAĞIL NEM	100,00	%
KURU TERMOMETRE ÇIKIS SICAKLIĞI	95,03	°C
ÇIKIS BAĞIL NEM	3,74	%
HAVA BASINÇ KAYBI	38,70	Pa

REFRIGERANT SIDE

AKIŞKAN TARAFI	Buhar	
Doyma Basıncı	8,076	bar A
Doyma Sıcaklığı	170	°C
Overheated Steam Temperature	170	°C
Subcooled Liquid Temperature	170	°C
AKIŞKAN BASINÇ KAYBI	24,91	kPa
BORU MALZEMESİ	paslanmaz çelik	



H: 6160 mm
L: 6400 mm
W: 110 mm

Unilab Coils 6.2 ev - build 71214[P

KURUTMA ÜNİTESİ HAVA ISITICISI ÖZELLİKLERİ (MEVCUT DURUM)

Sayfa No:2/3

UNILAB SRL
Developers Team

TARİH

17.12.2011

STEAM COIL - 164035_C_S 149T 2NR 6000A 3P 143NC

Total Capacity	7880	kW
Condensing Capacity	7880	kW
De-overheating Capacity	0	kW
Subcooling Capacity	0	kW
ISI TRANSFER ALANI	1505	m ²
Surface for Condensing	1504	m ²
Surface for De-overheating	0	m ²
Surface for Subcooling	0	m ²
Installed Surface	1505	m ²
Condensing Exchange Coefficient	49,33	W/(m ² K)
De-overheating Global Coefficient	0	W/(m ² K)
Subcooling Global Coefficient	0	W/(m ² K)
LAMEL MALZEMESİ	Aluminium	
BORU MALZEMESİ	paslanmaz çelik	
LAMEL KALINLIĞI	0,16	mm
BATARYA İÇ HACMI	294,23	l
BORU DİS ÇAPİ	15,88	mm
BORU İÇ ÇAPİ	14,48	mm

HAVA TARAFI

ATMOSFERİK BASINÇ	1,0133	bar A
HAVA DEBİSİ (Vol)	344622	m ³ /h
HAVA DEBİSİ (Mass)	403200	kg/h
HAVA HIZI	2,6770	m/s
GİRİS HAVASI YOGUNLUĞU	1,1700	kg/m ³
KURU TERMOMETRE GİRİS SICAKLIĞI	25	°C
GİRİS BAGIL NEM	100,00	%
GİRİS ÖZGÜL NEM	19,79	g/kg AS
GİRİS ENTALPİSİ	74,89	kJ / kg
KURU TERMOMETRE ÇIKIS SICAKLIĞI	95,03	°C
ÇIKIS BAGIL NEM	3,74	%
ÇIKIS ÖZGÜL NEM	19,79	g/kg AS
ÇIKIS ENTALPİSİ	147,83	kJ / kg
HAVA BASINÇ KAYBI	38,70	Pa
KİSMİ TRANSFER KATSAYISI	71,95	W/(m ² K)
BİRİKİNTİ FAKTÖRÜ	0	(m ² K)/W

STEAM SIDE

Buhar

Kutlesel Debi	13799	kg/h
Doyma Basıncı	8,076	bar A
Doyma Sıcaklığı	170	°C
Overheated Steam Temperature	170	°C
Subcooled Liquid Temperature	170	°C
Total Pressure Drop Fluid Side	24,91	kPa
De-overheating Exchange Coefficient	0	W/(m ² K)
Condensing Exchange Coefficient	12502	W/(m ² K)
Subcooled Exchange Coefficient	0	W/(m ² K)
Latent Heat	2055873	J / kg
BİRİKİNTİ FAKTÖRÜ	0	(m ² K)/W

Unilab Colls 6.2 ev - build 71214[P

KURUTMA ÜNİTESİ HAVA ISITICISI ÖZELLİKLERİ (MEVCUT DURUM)

Sayfa No:3/3

UNILAB SRL
Developers Team

TARİH

17.12.2011

STEAM - FURTHER TECHNICAL DATA

MODEL KOD	164035_C_S 149T 2NR 6000A 3P 143NC	
HAVA HIZI	2,6770	m/s
Steam Velocity (Gaseous Phase)	39,51	m/s
Steam Velocity (Liquid Phase)	0,1815	m/s
Exchange Surface	1505	m ²
Condensing Surface	1504	m ²
De-overheating Surface	0	m ²
Subcooling Surface	0	m ²
Installed Surface	1505	m ²
Condensing Global Exchange Coeff.	49,33	W/(m ² K)
De-overheating Global Coefficient	0	W/(m ² K)
Subcooling Global Coefficient	0	W/(m ² K)
Condensing Exchange Coefficient	12502	W/(m ² K)
De-overheating Exchange Coefficient	0	W/(m ² K)
Subcooled Exchange Coefficient	0	W/(m ² K)
External/Internal Surface Ratio	16,876	
Dry Fin Efficiency	0,7489	
Finned Surface Efficiency	0,7619	
Coil Efficiency	0,4829	
Saturation Pressure	0	bar A
Saturation Temperature	170	°C
Overheated Steam Temperature	170	°C
Subcooled Liquid Temperature	170	°C
Enthalpy of Overheated Steam	663,39	kcal / kg
Enthalpy of Saturated Steam	663,39	kcal / kg
Enthalpy of Subcooled Liquid	172,35	kcal / kg
Enthalpy of Saturated Liquid	172,35	kcal / kg
Outlet Latent Heat	2055873	J / kg
LAMEL MALZEMESİ	Aluminium	
BORU MALZEMESİ	paslanmaz celik	
Fin Thermal Conductivity	204	W/(m K)
Tubes Thermal Conductivity	15	W/(m K)
Manifold Pressure Drop	0	kPa
Total Pressure Drop Fluid Side	24,91	kPa

THERMOPHYSICAL PROPERTIES AT SUBCOOLED LIQUID TEMPERATURE

Density	897,29	kg/m ³
Specific Heat	4407	J/(kg K)
Thermal Conductivity	0,6810	W/(m K)
Viscosity	0,0002	kg/(m s)

THERMOPHYSICAL PROPERTIES AT OVERHEATED STEAM TEMPERATURE

Density	4,1226	kg/m ³
Specific Heat	2497	J/(kg K)
Thermal Conductivity	0,0326	W/(m K)
Viscosity	0,000015	kg/(m s)

Unilab Collis 6.2 ev - build 71214[P

YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİNDE KULLANILAN DENEYSEL VERİLER

Hamurlaştırma Ünitesi İçin Deneysel Veriler								
Deney No:	Giren Kullanılmış Kağıt Mik(kg/s)	Giren Su Mik(kg/s)	Çıkan Hamur Mik(kg/s)	Atık Madde Mik (kg/s)	Giren Su Sıc (°C)	Çıkan Hamur Sıc (°C)	Atık Madde Sıc (°C)	Çıkan Hamur Ko (%)
1	16,2	393,372	408,486	1,086	60,00	58,50	58,50	3,7
2	16	395,540	410,652	0,888	60,10	58,70	58,70	3,68
3	16,143	396,440	411,565	1,018	60,30	58,90	58,90	3,675
4	16,023	392,323	407,439	0,907	60,00	58,40	58,40	3,71
5	16,364	391,306	406,425	1,245	59,80	57,90	57,90	3,72
6	16,234	389,725	404,846	1,113	60,10	58,60	58,60	3,735
7	16,31	395,226	410,326	1,210	60,50	57,85	57,85	3,68
8	16,216	388,911	404,034	1,093	59,70	58,30	58,30	3,743
9	16,114	393,237	408,367	0,984	60,40	57,80	57,80	3,705
10	16,642	398,810	413,918	1,534	60,20	57,55	57,55	3,65
11	16,301	396,922	412,044	1,179	60,10	57,70	57,70	3,67
12	16,163	399,391	414,521	1,033	60,00	57,50	57,50	3,65
13	16,404	397,488	412,623	1,269	60,20	58,10	58,10	3,668
14	16,375	395,205	410,334	1,246	60,40	58,25	58,25	3,687
15	16,189	391,642	406,774	1,057	60,50	59,00	59,00	3,72
16	16,104	391,980	407,087	0,997	60,00	58,20	58,20	3,711
17	16,532	395,250	410,385	1,397	59,80	57,60	57,60	3,688
18	16,254	391,487	406,613	1,128	59,90	58,30	58,30	3,72
19	16,491	392,070	407,172	1,389	60,20	58,40	58,40	3,709
20	16,319	391,749	406,864	1,204	60,00	57,95	57,95	3,715

Kaba Eleme Ünitesi için Deneysel Veriler										
Deney No:	Giren Hamur Mik(kg/s)	Giren Su Mik(kg/s)	Çıkan Hamur Mik(kg/s)	Atık Madde Mik(kg/s)	Giren Hamur Sıc(°C)	Giren Su Sıc(°C)	Çıkan Hamur Sıc(°C)	Atık Madde Sıc(°C)	Giren Hamur Ko(%)	Çıkan Hamur Ko(%)
1	408,486	50,059	458,483	0,062	58,50	60,00	56,50	56,50	3,7	3,283
2	410,652	48,937	459,555	0,034	58,70	60,10	56,60	56,60	3,68	3,281
3	411,565	47,949	459,482	0,031	58,90	60,30	56,85	56,85	3,675	3,285
4	407,439	50,748	458,125	0,062	58,40	60,00	56,30	56,30	3,71	3,286
5	406,425	49,646	456,000	0,071	57,90	59,80	55,80	55,80	3,72	3,3
6	404,846	51,797	456,580	0,063	58,60	60,10	56,55	56,55	3,735	3,298
7	410,326	44,826	455,074	0,078	57,85	60,50	55,70	55,70	3,68	3,301
8	404,034	50,564	454,529	0,069	58,30	59,70	56,20	56,20	3,743	3,312
9	408,367	49,755	458,067	0,055	57,80	60,40	55,80	55,80	3,705	3,291
10	413,918	45,697	459,567	0,048	57,55	60,20	55,50	55,50	3,65	3,277
11	412,044	50,638	462,623	0,059	57,70	60,10	55,65	55,65	3,67	3,256
12	414,521	48,133	462,581	0,073	57,50	60,00	55,50	55,50	3,65	3,255
13	412,623	46,099	458,668	0,054	58,10	60,20	56,10	56,10	3,668	3,288
14	410,334	47,040	457,303	0,07	58,25	60,40	56,20	56,20	3,687	3,293
15	406,774	53,175	459,878	0,071	59,00	60,50	57,20	57,20	3,72	3,275
16	407,087	47,058	454,070	0,075	58,20	60,00	56,00	56,00	3,711	3,3105
17	410,385	48,800	459,142	0,043	57,60	59,80	55,60	55,60	3,688	3,287
18	406,613	52,305	458,861	0,057	58,30	59,90	56,30	56,30	3,72	3,284
19	407,172	49,886	456,991	0,067	58,40	60,20	56,40	56,40	3,709	3,29
20	406,864	48,580	455,384	0,06	57,95	60,00	55,90	55,90	3,715	3,306

İnce Kum Temizleme Ünitesi için Deneysel Veriler										
Deney No:	Giren Hamur Mik(kg/s)	Giren Su Mik(kg/s)	Çıkan Hamur Mik(kg/s)	Atık Madde Mik(kg/s)	Giren Hamur Sıc (°C)	Giren Su Sıc (°C)	Çıkan Hamur Sıc (°C)	Atık Madde Sıc (°C)	Giren Hamur Ko(%)	Çıkan Hamur Ko(%)
1	458,483	49,945	508,373	0,055	56,50	60,00	54,50	54,50	3,283	2,95
2	459,555	49,606	509,091	0,07	56,60	60,10	54,60	54,60	3,281	2,948
3	459,482	50,576	509,983	0,075	56,85	60,30	54,80	54,80	3,285	2,945
4	458,125	49,609	507,682	0,052	56,30	60,00	54,30	54,30	3,286	2,955
5	456,000	50,805	506,757	0,048	55,80	59,80	53,80	53,80	3,3	2,96
6	456,580	51,100	507,617	0,063	56,55	60,10	54,60	54,60	3,298	2,954
7	455,074	52,205	507,220	0,059	55,70	60,50	53,70	53,70	3,301	2,95
8	454,529	50,890	505,359	0,06	56,20	59,70	54,20	54,20	3,312	2,967
9	458,067	49,549	507,544	0,072	55,80	60,40	53,75	53,75	3,291	2,956
10	459,567	49,117	508,638	0,045	55,50	60,20	53,50	53,50	3,277	2,952
11	462,623	47,842	510,408	0,057	55,65	60,10	53,60	53,60	3,256	2,94
12	462,581	46,164	508,684	0,061	55,50	60,00	53,55	53,55	3,255	2,948
13	458,668	50,242	508,844	0,065	56,10	60,20	54,10	54,10	3,288	2,951
14	457,303	49,676	506,926	0,054	56,20	60,40	54,25	54,25	3,293	2,96
15	459,878	48,402	508,206	0,074	57,20	60,50	55,20	55,20	3,275	2,949
16	454,070	51,990	506,011	0,049	56,00	60,00	54,20	54,20	3,3105	2,961
17	459,142	49,697	508,771	0,068	55,60	59,80	53,55	53,55	3,287	2,953
18	458,861	49,011	507,815	0,058	56,30	59,90	54,30	54,30	3,284	2,956
19	456,991	48,462	505,398	0,055	56,40	60,20	54,50	54,50	3,29	2,964
20	455,384	51,818	507,138	0,064	55,90	60,00	53,80	53,80	3,306	2,956

Fraksinasyon Ünitesi İçin Deneysel Veriler						
Deney No:	Giren Hamur Mik(kg/s)	Giren Hamur Sıc (°C)	Giren Hamur Ko(%)	Çıkan Hamur Mik(kg/s)	Çıkan Hamur Sıc (°C)	Çıkan Hamur Ko(%)
1	508,373	54,50	2,95	508,373	54,40	2,95
2	509,091	54,60	2,948	509,091	54,50	2,948
3	509,983	54,80	2,945	509,983	54,70	2,945
4	507,682	54,30	2,955	507,682	54,20	2,955
5	506,757	53,80	2,96	506,757	53,70	2,96
6	507,617	54,60	2,954	507,617	54,50	2,954
7	507,220	53,70	2,95	507,220	53,60	2,95
8	505,359	54,20	2,967	505,359	54,10	2,967
9	507,544	53,75	2,956	507,544	53,60	2,956
10	508,638	53,50	2,952	508,638	53,40	2,952
11	510,408	53,60	2,94	510,408	53,50	2,94
12	508,684	53,55	2,948	508,684	53,45	2,948
13	508,844	54,10	2,951	508,844	54,00	2,951
14	506,926	54,25	2,96	506,926	54,10	2,96
15	508,206	55,20	2,949	508,206	55,10	2,949
16	506,011	54,20	2,961	506,011	54,10	2,961
17	508,771	53,55	2,953	508,771	53,40	2,953
18	507,815	54,30	2,956	507,815	54,20	2,956
19	505,398	54,50	2,964	505,398	54,40	2,964
20	507,138	53,80	2,956	507,138	53,70	2,956

Hafif Atık Uzaklaştırma Ünitesi İçin Deneysel Veriler										
Deney No:	Giren Hamur Mik(kg/s)	Giren Su Mik(kg/s)	Çıkan Hamur Mik(kg/s)	Atık Madde Mik(kg/s)	Giren Hamur Sıc(°C)	Giren Su Sıc(°C)	Çıkan Hamur Sıc(°C)	Atık Madde Sıc(°C)	Giren Hamur Ko(%)	Çıkan Hamur Ko(%)
1	508,373	50,081	558,417	0,037	54,40	60,00	52,40	52,40	2,95	2,679
2	509,091	50,291	559,342	0,04	54,50	60,10	52,50	52,50	2,948	2,676
3	509,983	50,749	560,689	0,043	54,70	60,30	52,60	52,60	2,945	2,671
4	507,682	50,199	557,846	0,035	54,20	60,00	52,20	52,20	2,955	2,683
5	506,757	49,236	555,948	0,045	53,70	59,80	51,60	51,60	2,96	2,69
6	507,617	51,435	559,021	0,03	54,50	60,10	52,40	52,40	2,954	2,677
7	507,220	50,652	557,832	0,041	53,60	60,50	51,60	51,60	2,95	2,675
8	505,359	51,871	557,191	0,039	54,10	59,70	52,10	52,10	2,967	2,684
9	507,544	49,290	556,792	0,042	53,60	60,40	51,50	51,50	2,956	2,687
10	508,638	50,370	558,962	0,046	53,40	60,20	51,40	51,40	2,952	2,678
11	510,408	49,400	559,776	0,032	53,50	60,10	51,50	51,50	2,94	2,675
12	508,684	51,579	560,225	0,038	53,45	60,00	51,40	51,40	2,948	2,67
13	508,844	50,256	559,067	0,033	54,00	60,20	52,10	52,10	2,951	2,68
14	506,926	51,193	558,075	0,043	54,10	60,40	52,00	52,00	2,96	2,681
15	508,206	49,829	557,991	0,044	55,10	60,50	53,10	53,10	2,949	2,678
16	506,011	50,861	556,823	0,049	54,10	60,00	52,10	52,10	2,961	2,682
17	508,771	50,274	559,008	0,037	53,40	59,80	51,40	51,40	2,953	2,681
18	507,815	50,547	558,330	0,031	54,20	59,90	52,20	52,20	2,956	2,683
19	505,398	51,274	556,632	0,04	54,40	60,20	52,40	52,40	2,964	2,684
20	507,138	49,483	556,574	0,047	53,70	60,00	51,60	51,60	2,956	2,685

Refiner Ünitesi İçin Deneysel Veriler								
Deney No:	Giren Hamur Mik(kg/s)	Çıkan Hamur Mik(kg/s)	Atık Madde Mik(kg/s)	Giren Hamur Sıc (°C)	Çıkan Hamur Sıc (°C)	Atık Madde Sıc(°C)	Giren Hamur Ko(%)	Çıkan Hamur Ko(%)
1	558,417	558,413	0,004	52,40	52,20	52,20	2,679	2,678
2	559,342	559,337	0,005	52,50	52,30	52,30	2,676	2,675
3	560,689	560,684	0,005	52,60	52,40	52,40	2,671	2,670
4	557,846	557,842	0,004	52,20	52,00	52,00	2,683	2,682
5	555,948	555,945	0,003	51,60	51,40	51,40	2,69	2,689
6	559,021	559,017	0,004	52,40	52,20	52,20	2,677	2,676
7	557,832	557,827	0,005	51,60	51,40	51,40	2,675	2,674
8	557,191	557,188	0,003	52,10	51,90	51,90	2,684	2,683
9	556,792	556,788	0,004	51,50	51,30	51,30	2,687	2,686
10	558,962	558,958	0,004	51,40	51,20	51,20	2,678	2,677
11	559,776	559,771	0,005	51,50	51,30	51,30	2,675	2,674
12	560,225	560,221	0,004	51,40	51,20	51,20	2,67	2,669
13	559,067	559,063	0,004	52,10	51,90	51,90	2,68	2,679
14	558,075	558,072	0,003	52,00	51,80	51,80	2,681	2,680
15	557,991	557,987	0,004	53,10	52,90	52,90	2,678	2,677
16	556,823	556,818	0,005	52,10	51,90	51,90	2,682	2,681
17	559,008	559,004	0,004	51,40	51,20	51,20	2,681	2,680
18	558,330	558,325	0,005	52,20	52,00	52,00	2,683	2,682
19	556,632	556,628	0,004	52,40	52,20	52,20	2,684	2,683
20	556,574	556,571	0,003	51,60	51,40	51,40	2,685	2,684

Karışım Ünitesi İçin Deneysel Veriler								
Deney No:	Giren Hamur Mik(kg/s)	Giren Su Mik(kg/s)	Çıkan Hamur Mik(kg/s)	Giren Hamur Sıc(°C)	Giren Su Sıc(°C)	Çıkan Hamur Sıc(°C)	Giren Hamur Ko(%)	Çıkan Hamur Ko(%)
1	558,413	99,862	658,275	52,20	60,00	49,70	2,678	2,272
2	559,337	100,407	659,744	52,30	60,10	49,75	2,675	2,268
3	560,684	97,671	658,355	52,40	60,30	49,90	2,670	2,274
4	557,842	101,961	659,802	52,00	60,00	49,50	2,682	2,2678
5	555,945	101,864	657,809	51,40	59,80	48,80	2,689	2,273
6	559,017	98,898	657,916	52,20	60,10	49,70	2,676	2,274
7	557,827	101,342	659,169	51,40	60,50	48,70	2,674	2,263
8	557,188	102,945	660,132	51,90	59,70	49,40	2,683	2,265
9	556,788	99,221	656,009	51,30	60,40	48,80	2,686	2,28
10	558,958	97,114	656,072	51,20	60,20	48,60	2,677	2,281
11	559,771	98,207	657,978	51,30	60,10	48,75	2,674	2,275
12	560,221	102,047	662,267	51,20	60,00	48,70	2,669	2,258
13	559,063	101,678	660,741	51,90	60,20	49,30	2,679	2,267
14	558,072	100,914	658,987	51,80	60,40	49,25	2,680	2,27
15	557,987	99,250	657,237	52,90	60,50	50,40	2,677	2,273
16	556,818	100,847	657,665	51,90	60,00	49,40	2,681	2,27
17	559,004	100,459	659,463	51,20	59,80	48,70	2,680	2,272
18	558,325	101,657	659,982	52,00	59,90	49,50	2,682	2,269
19	556,628	103,965	660,593	52,20	60,20	49,70	2,683	2,261
20	556,571	99,888	656,459	51,40	60,00	48,90	2,684	2,276

Yaklaşım Bölgesi İçin Deneysel Veriler										
Deney No:	Giren Hamur Mik(kg/s)	Giren Su Mik(kg/s)	Çıkan Hamur Mik(kg/s)	Atık Madde Mik(kg/s)	Giren Hamur Sıc(°C)	Giren Su Sıc(°C)	Çıkan Hamur Sıc(°C)	Atık Madde Sıc(°C)	Giren Hamur Ko(%)	Çıkan Hamur Ko(%)
1	658,275	88,053	746,316	0,012	49,70	60,00	48,00	48,00	2,272	2,002
2	659,744	87,170	746,899	0,015	49,75	60,10	48,10	48,10	2,268	2,001
3	658,355	89,494	747,838	0,011	49,90	60,30	48,30	48,30	2,274	2,000
4	659,802	86,185	745,969	0,018	49,50	60,00	47,80	47,80	2,2678	2,003
5	657,809	88,973	746,768	0,014	48,80	59,80	47,10	47,10	2,273	2,000
6	657,916	89,446	747,351	0,01	49,70	60,10	48,00	48,00	2,274	2,001
7	659,169	85,364	744,517	0,016	48,70	60,50	47,00	47,00	2,263	2,001
8	660,132	86,165	746,277	0,02	49,40	59,70	47,70	47,70	2,265	2,001
9	656,009	90,634	746,621	0,022	48,80	60,40	47,20	47,20	2,28	2,000
10	656,072	91,106	747,165	0,013	48,60	60,20	46,90	46,90	2,281	2,001
11	657,978	89,338	747,297	0,019	48,75	60,10	47,05	47,05	2,275	2,001
12	662,267	84,348	746,597	0,018	48,70	60,00	47,00	47,00	2,258	2,001
13	660,741	86,908	747,625	0,024	49,30	60,20	47,60	47,60	2,267	2,000
14	658,987	87,986	746,954	0,019	49,25	60,40	47,55	47,55	2,27	2,000
15	657,237	88,556	745,772	0,021	50,40	60,50	48,70	48,70	2,273	2,000
16	657,665	87,866	745,514	0,017	49,40	60,00	47,70	47,70	2,27	2,000
17	659,463	88,912	748,361	0,014	48,70	59,80	47,10	47,10	2,272	2,000
18	659,982	87,967	747,938	0,012	49,50	59,90	47,80	47,80	2,269	2,001
19	660,593	85,469	746,047	0,015	49,70	60,20	48,00	48,00	2,261	2,000
20	656,459	89,671	746,113	0,017	48,90	60,00	47,30	47,30	2,276	2,000

Hamur Kasası İçin Deneysel Veriler								
Deney No:	Giren Hamur Mik(kg/s)	Çıkan Hamur Mik(kg/s)	Atık Madde Mik(kg/s)	Giren Hamur Sıc (°C)	Çıkan Hamur Sıc (°C)	Atık Madde Sıc (°C)	Giren Hamur Ko(%)	Çıkan Hamur Ko(%)
1	746,316	746,312	0,004	48,00	47,70	47,70	2,002	2,002
2	746,899	746,894	0,005	48,10	47,75	47,75	2,001	2,001
3	747,838	747,835	0,003	48,30	48,00	48,00	2,000	2,000
4	745,969	745,965	0,004	47,80	47,50	47,50	2,003	2,003
5	746,768	746,764	0,004	47,10	46,85	46,85	2,000	2,000
6	747,351	747,348	0,003	48,00	47,70	47,70	2,001	2,000
7	744,517	744,513	0,004	47,00	46,70	46,70	2,001	2,001
8	746,277	746,273	0,004	47,70	47,40	47,40	2,001	2,000
9	746,621	746,616	0,005	47,20	46,90	46,90	2,000	2,000
10	747,165	747,161	0,004	46,90	46,60	46,60	2,001	2,001
11	747,297	747,294	0,003	47,05	46,75	46,75	2,001	2,000
12	746,597	746,593	0,004	47,00	46,70	46,70	2,001	2,000
13	747,625	747,622	0,003	47,60	47,30	47,30	2,000	2,000
14	746,954	746,950	0,004	47,55	47,20	47,20	2,000	2,000
15	745,772	745,768	0,004	48,70	48,40	48,40	2,000	2,000
16	745,514	745,510	0,004	47,70	47,40	47,40	2,000	2,000
17	748,361	748,356	0,005	47,10	46,80	46,80	2,000	2,000
18	747,938	747,934	0,004	47,80	47,50	47,50	2,001	2,000
19	746,047	746,043	0,004	48,00	47,75	47,75	2,000	1,999
20	746,113	746,110	0,003	47,30	47,00	47,00	2,000	2,000

Elek Ünitesi İçin Deneysel Veriler										
Deney No:	Giren Hamur Mik(kg/s)	Çıkan Su Mik(kg/s)	Çıkan Hamur Mik(kg/s)	Atık Madde Mik(kg/s)	Giren Hamur Sıc (°C)	Çıkan Su Sıc (°C)	Çıkan Hamur Sıc (°C)	Atık Madde Sıc (°C)	Giren Hamur Ko(%)	Çıkan Hamur Ko(%)
1	746,312	671,668	74,630	0,014	47,70	47,20	47,20	47,20	2,002	20,000
2	746,894	674,199	72,676	0,019	47,75	47,15	47,15	47,15	2,001	20,535
3	747,835	675,775	72,048	0,012	48,00	47,60	47,60	47,60	2,000	20,743
4	745,965	672,218	73,724	0,023	47,50	47,20	47,20	47,20	2,003	20,235
5	746,764	672,383	74,359	0,022	46,85	46,45	46,45	46,45	2,000	20,054
6	747,348	672,421	74,912	0,015	47,70	47,20	47,20	47,20	2,000	19,934
7	744,513	671,668	72,820	0,025	46,70	46,10	46,10	46,10	2,001	20,423
8	746,273	671,171	75,087	0,015	47,40	46,85	46,85	46,85	2,000	19,861
9	746,616	673,395	73,209	0,013	46,90	46,45	46,45	46,45	2,000	20,376
10	747,161	674,826	72,315	0,02	46,60	46,25	46,25	46,25	2,001	20,643
11	747,294	672,267	75,011	0,016	46,75	46,25	46,25	46,25	2,000	19,905
12	746,593	674,047	72,528	0,018	46,70	46,15	46,15	46,15	2,000	20,563
13	747,622	674,209	73,401	0,012	47,30	46,70	46,70	46,70	2,000	20,354
14	746,950	672,859	74,075	0,015	47,20	46,55	46,55	46,55	2,000	20,143
15	745,768	671,336	74,418	0,014	48,40	47,95	47,95	47,95	2,000	20,022
16	745,510	673,091	72,402	0,017	47,40	47,05	47,05	47,05	2,000	20,567
17	748,356	675,032	73,313	0,011	46,80	46,40	46,40	46,40	2,000	20,396
18	747,934	674,897	73,021	0,016	47,50	47,00	47,00	47,00	2,000	20,464
19	746,043	672,062	73,961	0,019	47,75	47,15	47,15	47,15	1,999	20,143
20	746,110	671,609	74,487	0,014	47,00	46,70	46,70	46,70	2,000	20,013

Pres Ünitesi İçin Deneysel Veriler										
Deney No:	Giren Hamur Mik (kg/s)	Çıkan Su Mik (kg/s)	Çıkan Hamur Mik (kg/s)	Atık Madde Mik (kg/s)	Giren Hamur Sıc (°C)	Çıkan Su Sıc (°C)	Çıkan Hamur Sıc (°C)	Atık Madde Sıc (°C)	Giren Hamur Ko(%)	Çıkan Hamur Ko(%)
1	74,630	44,237	30,327	0,066	47,20	45,40	45,40	45,40	20,000	49,000
2	72,676	42,426	30,178	0,072	47,15	45,65	45,65	45,65	20,535	49,214
3	72,048	41,943	30,041	0,064	47,60	45,30	45,30	45,30	20,743	49,535
4	73,724	43,304	30,350	0,07	47,20	45,50	45,50	45,50	20,235	48,923
5	74,359	44,262	30,029	0,068	46,45	45,65	45,65	45,65	20,054	49,432
6	74,912	44,868	29,981	0,063	47,20	46,60	46,60	46,60	19,934	49,598
7	72,820	42,735	30,018	0,067	46,10	45,20	45,20	45,20	20,423	49,321
8	75,087	44,675	30,338	0,074	46,85	45,65	45,65	45,65	19,861	48,912
9	73,209	42,677	30,469	0,062	46,45	45,10	45,10	45,10	20,376	48,754
10	72,315	41,640	30,615	0,06	46,25	45,00	45,00	45,00	20,643	48,564
11	75,011	44,458	30,484	0,069	46,25	45,95	45,95	45,95	19,905	48,753
12	72,528	41,933	30,535	0,061	46,15	45,00	45,00	45,00	20,563	48,643
13	73,401	43,176	30,160	0,065	46,70	44,90	44,90	44,90	20,354	49,321
14	74,075	43,335	30,676	0,064	46,55	45,05	45,05	45,05	20,143	48,432
15	74,418	43,936	30,412	0,07	47,95	45,95	45,95	45,95	20,022	48,764
16	72,402	41,717	30,621	0,064	47,05	45,85	45,85	45,85	20,567	48,421
17	73,313	43,078	30,169	0,066	46,40	45,40	45,40	45,40	20,396	49,345
18	73,021	42,246	30,701	0,074	47,00	46,50	46,50	46,50	20,464	48,432
19	73,961	43,884	30,005	0,072	47,15	45,15	45,15	45,15	20,143	49,412
20	74,487	43,987	30,427	0,073	46,70	46,00	46,00	46,00	20,013	48,753

Kurutma Ünitesi İçin Deneysel Veriler												
Deneý No:	Giren Hamur Mik (kg/s)	Giren Hamur Sic(°C)	Giren Hamur Ko(%)	Giren Nişasta Çöz Mik(kg/s)	Çıkan Kağıt Mik (kg/s)	Çıkan Kağıt Sic(°C)	Çıkan Kağıt Ko(%)	Giren Buhar Mik(kg/s)	Giren Nemli Hava Mik (kg/s)	Çıkan Nemli Hava Mik (kg/s)	Giren Ortam Havası Mik (kg/s)	Çıkan Kondens Mik(kg/s)
1	30,327	45,40	49,000	5,79	16,789	80,00	93	18,496	112,2	140,3	8,4	18,496
2	30,178	45,65	49,214	5,86	16,928	79,00	92	18,4	124,69	135,31	8,25	18,4
3	30,041	45,30	49,535	5,75	16,827	82,00	92,4	19	110,05	137,7	8,6	19
4	30,350	45,50	48,923	5,9	17,062	81,00	92,8	18,5	123,65	141	8,32	18,5
5	30,029	45,65	49,432	5,84	17,58	79,00	91,7	18,812	114,05	133,85	8,1	18,812
6	29,981	46,60	49,598	5,7	17,74	80,00	91,5	18,6	124,95	133	8,65	18,6
7	30,018	45,20	49,321	5,87	16,51	80,00	92,3	18,2	112,6	140,7	8,72	18,2
8	30,338	45,65	48,912	5,95	16,921	78,00	91,3	18,6	120,3	141,7	8	18,6
9	30,469	45,10	48,754	5,93	16,852	81,00	91	18,94	115,1	142,2	8,76	18,94
10	30,615	45,00	48,564	5,8	17,446	81,00	92,2	18,82	128,5	140,2	8,2	18,82
11	30,484	45,95	48,753	5,69	17,054	80,00	92,5	18,34	121,55	140,2	8,76	18,34
12	30,535	45,00	48,643	5,78	17,387	81,00	91,7	18,09	127,6	139,8	8,85	18,09
13	30,160	44,90	49,321	5,74	17,686	79,00	93	18,75	134,4	139	8,43	18,75
14	30,676	45,05	48,432	5,91	17,221	80,00	91,4	18,384	94,2	138,2	8,8	18,384
15	30,412	45,95	48,764	5,88	17,427	80,00	92,4	18,83	114,85	137,6	8,54	18,83
16	30,621	45,85	48,421	5,79	16,834	79,00	92,6	18,064	86,6	138,6	8,39	18,064
17	30,169	45,40	49,345	5,83	16,723	80,00	92	18,61	121,45	141,4	8,26	18,61
18	30,701	46,50	48,432	5,68	16,558	80,00	91,8	18,47	104,35	142,7	8,29	18,47
19	30,005	45,15	49,412	5,77	17,326	81,00	93,1	18,61	115,65	135	8,37	18,61
20	30,427	46,00	48,753	5,79	17,145	80,00	92,7	18,42	136,95	142,1	8,4	18,42

**TASARLANAN ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİNE AİT BATARYALARIN TEKNİK
ÖZELLİKLERİ**

ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ "SOĞUTMA 1" BATARYASI ÖZELLİKLERİ

Sayfa No:1/3

UNILAB SRL
Developers Team

TARİH

17.12.2011

COOLING COIL - 164035_C_S 200T 6NR 12000A 3P 200NC

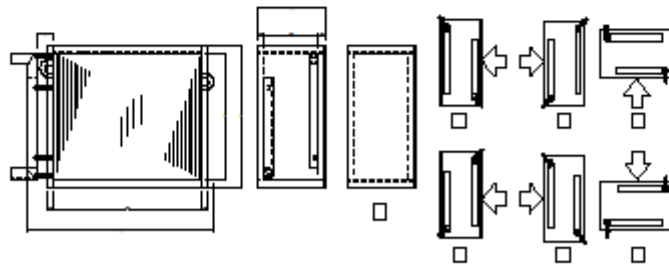
KAPASİTE	5213	kW
Sensible Capacity	672,58	kW
Sensible/Total Capacity Ratio	0,1290	
ISI TRANSFER ALANI	12120	m²

HAVA TARAFI

ATMOSFERİK BASINÇ	1,0133	bar A
HAVA DEBİSİ (Vol)	545500	m³/h
HAVA DEBİSİ (Mass)	140,06	kg/s
HAVA HIZI	1,5784	m/s
KURU TERMOMETRE GİRİS SICAKLIĞI	80	°C
GİRİS BAĞIL NEM	42,60	%
KURU TERMOMETRE ÇIKIS SICAKLIĞI	76,27	°C
ÇIKIS BAĞIL NEM	46,16	%
HAVA BASINÇ KAYBI	180,46	Pa

AKISKAN TARAFI

AKISKAN CİNSİ		SU
AKISKAN DEBİSİ (Vol)	101,28	m³/h
AKISKAN DEBİSİ (Mass)	99922	kg/h
AKISKAN HIZI	0,7884	m/s
GİRİS SICAKLIĞI	30	°C
ÇIKIS SICAKLIĞI	75	°C
HAVA BASINÇ KAYBI	54,60	kPa



H: 8200 mm
L: 12600 mm
W: 250 mm

Unilab Coils 6.2 ev - build 71214jf

ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ "SOĞUTMA 1" BATARYASI ÖZELLİKLERİ

Sayfa No:2/3

UNILAB SRL
Developers Team

TARİH

17.12.2011

COOLING COIL - 164035_C_S 200T 6NR 12000A 3P 200NC

KAPASİTE	5213	kW
Sensible Capacity	672,58	kW
Latent Capacity	4541	kW
Sensible/Total Capacity Ratio	0,1290	
Quantity of Produced Water	6263	kg/h
ISI TRANSFER ALANI	12120	m ²
ISI TR. KATSAYISI	23,19	W/(m ² K)
TEORİK DTML	18,55	°C
LAMEL MALZEMESİ	Aluminium	
BORU MALZEMESİ	Bakır	
LAMEL KALINLIĞI	0,2	mm
BATARYA İÇ HACMI	2570	
BORU DİŞ ÇAPİ	15,88	mm
BORU İÇ ÇAPİ	15,08	mm

HAVA TARAFI

ATMOSFERİK BASINÇ	1,0133	bar A
HAVA DEBİSİ (Vol)	545500	m ³ /h
HAVA DEBİSİ (Mass)	140,08	kg/s
HAVA HIZI	1,5784	m/s
Inlet Air Density	0,9243	kg/m ³
KURU TERMOMETRE GİRİS SICAKLIĞI	80	°C
GİRİS BAĞIL NEM	42,60	%
GİRİS ÖZGÜL NEM	152,09	g/kg AS
GİRİS ENTALPİSİ	478,37	kJ / kg
KURU TERMOMETRE ÇIKIS SICAKLIĞI	76,27	°C
ÇIKIS BAĞIL NEM	46,16	%
ÇIKIS ÖZGÜL NEM	139,67	g/kg AS
ÇIKIS ENTALPİSİ	441,15	kJ / kg
HAVA BASINÇ KAYBI	180,46	Pa
KİSMİ TRANSFER KATSAYISI	52,31	W/(m ² K)
BİRİKİNTİ FAKTÖRÜ	0	(m ² K)/W

AKISKAN TARAFI

AKISKAN CİNSİ	SU	
AKISKAN DEBİSİ (Vol)	101,28	m ³ /h
AKISKAN DEBİSİ (Mass)	99922	kg/h
AKISKAN HIZI	0,7884	m/s
GİRİS SICAKLIĞI	30	°C
ÇIKIS SICAKLIĞI	75	°C
HAVA BASINÇ KAYBI	54,60	kPa
KİSMİ TRANSFER KATSAYISI	5053	W/(m ² K)
BİRİKİNTİ FAKTÖRÜ	0	(m ² K)/W

Unilab Coils 6.2 ev - build 71214jf

ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ "SOĞUTMA 1" BATARYASI ÖZELLİKLERİ

Sayfa No:3/3

UNILAB SRL
Developers Team

TARİH

17.12.2011

COOLING - FURTHER TECHNICAL DATA

Model	164035_C_S 200T 6NR 12000A 3P 200NC	
Face Velocity on the Coil	1,5784	m/s
Fluid Velocity	0,7884	m/s
Exchange Surface	12120	m ²
External/Internal Surface Ratio	16,876	
Dry Fin Efficiency	0,8332	
Fin Medium Temperature	43,30	°C
dH / dT at Fin Medium Temperature	1,2276	J/(kg K)
Medium Temperature between Fluid and Fin Foot	45,42	°C
dH / dT at Medium Temperature between Fluid and Fin Foot	2,7549	J/(kg K)
Fluid Medium Temperature	52,5	°C
dH / dT at Fluid Medium Temperature	3,6767	J/(kg K)
Wet Fin Efficiency	0,8332	
Finned Surface Efficiency	0,8431	
Partial Exchange Coefficient Air Side	52,31	W/(m ² K)
Partial Exchange Coefficient Fluid Side	5053	W/(m ² K)
Global Exchange Coefficient	23,19	W/(m ² K)
Coil Efficiency	0,8996	
Fluid Inside Tubes	WATER	
Manifold Pressure Drop	0	kPa
Total Pressure Drop Fluid Side	54,80	kPa

FLUID THERMOPHYSICAL PROPERTIES

SU

Calculation Temperature	52,5	°C
Density	986,61	kg/m ³
Specific Heat	4183	J/(kg K)
Thermal Conductivity	0,6428	W/(m K)
Viscosity	0,0005	kg/(m s)
Fins Material	Aluminium	
Tubes Material	Copper	
Fin Thermal Conductivity	204	W/(m K)
Tubes Thermal Conductivity	381	W/(m K)

Unilab Collis 6.2 ev - build 71214[P

ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ "ATIK ISI" BATARYASI ÖZELLİKLERİ

Sayfa No:1/3

UNILAB SRL
Developers Team

TARİH

02.12.2011

HEATING COIL - 164035_C_S 200T 16NR 12000A 3P 100NC

KAPASİTE	5245	kW
ISI TRANSFER ALANI	32319	m ²
TEORİK DTML	5,0061	°C
LAMEL MALZEMESİ	Aluminium	

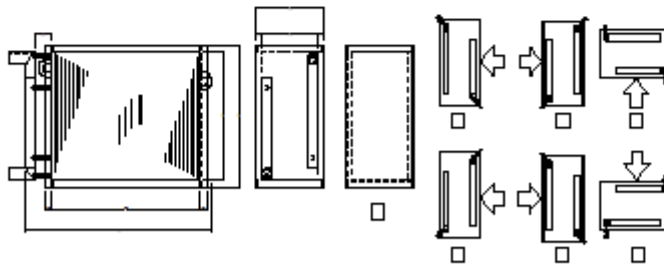
HAVA TARAFI

ATMOSFERİK BASINÇ	1,0133	bar A
HAVA DEBİSİ (Vol)	344622	m ³ /h
HAVA DEBİSİ (Mass)	403200	kg/h
HAVA HIZI	0,9972	m/s
KURU TERMOMETRE GİRİS SICAKLIĞI	25	°C
GİRİS BAĞIL NEM	100,00	%
KURU TERMOMETRE ÇIKIS SICAKLIĞI	69,97	°C
ÇIKIS BAĞIL NEM	10,18	%
HAVA BASINÇ KAYBI	60,20	Pa

AKISKAN TARAFI

AKISKAN CİNSİ	SU	
AKISKAN DEBİSİ (Vol)	101,85	m ³ /h
AKISKAN DEBİSİ (Mass)	100486	kg/h
AKISKAN HIZI	1,5851	m/s
GİRİS SICAKLIĞI	75	°C
ÇIKIS SICAKLIĞI	29,98	°C
AKISKAN BASINÇ KAYBI	998,67	kPa
BORU MALZEMESİ	Bakır	

H: 8200 mm
L: 12600 mm
W: 620 mm



Unilab Coils 6.2 ev - build 71214JP

ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ "ATIK ISI" BATARYASI ÖZELLİKLERİ

Sayfa No:2/3

UNILAB SRL
Developers Team

TARİH

02.12.2011

HEATING COIL - 164035_C_S 200T 16NR 12000A 3P 100NC

KAPASİTE	5245	kW
ISI TRANSFER ALANI	32319	m ²
ISI TR. KATSAYISI	32,42	W/(m ² K)
TEORİK DTML	5,0061	°C

HAVA TARAFI

ATMOSFERİK BASINÇ	1,0133	bar A
HAVA DEBİSİ (Vol)	344822	m ³ /h
HAVA DEBİSİ (Mass)	403200	kg/h
HAVA HIZI	0,9972	m/s
GİRİS HAVASI YOGUNLUĞU	1,1700	kg/m ³
KURU TERMOMETRE GİRİS SICAKLIĞI	25	°C
GİRİS BAGİL NEM	100,00	%
GİRİS ÖZGÜL NEM	19,79	g/kg AS
GİRİS ENTALPİSİ	74,89	kJ / kg
KURU TERMOMETRE ÇIKIS SICAKLIĞI	69,97	°C
ÇIKIS BAGİL NEM	10,18	%
ÇIKIS ÖZGÜL NEM	19,79	g/kg AS
ÇIKIS ENTALPİSİ	121,73	kJ / kg
HAVA BASINÇ KAYBI	60,20	Pa
BİRİKİNTİ FAKTÖRÜ	0	(m ² K)/W
KİSMİ TRANSFER KATSAYISI	39,35	W/(m ² K)

AKISKAN TARAFI

AKISKAN CİNSİ	SU	
AKISKAN DEBİSİ (Vol)	101,85	m ³ /h
AKISKAN DEBİSİ (Mass)	100486	kg/h
AKISKAN HIZI	1,5851	m/s
GİRİS SICAKLIĞI	75	°C
ÇIKIS SICAKLIĞI	29,98	°C
AKISKAN BASINÇ KAYBI	998,67	kPa
KİSMİ TRANSFER KATSAYISI	9123	W/(m ² K)
BİRİKİNTİ FAKTÖRÜ	0	(m ² K)/W

GEOMETRICAL DETAILS

Geometry	164035_C_S	
Yukandan aşağıya dizilim sayısı	200	
Arkaya doğru boru sayısı	16	
Batarya uzunluğu	12000	mm
Hatve	3	mm
Devre sayısı	100	
LAMEL MALZEMESİ	Aluminium	
BORU MALZEMESİ	Bakır	
LAMEL KALINLIĞI	0,2	mm
BATARYA İÇ HACMI	6854	l
BORU DİS ÇAPİ	15,88	mm
BORU İÇ ÇAPİ	15,08	mm

Unilab Coils 6.2 ev - build 71214JP

ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ "ATIK ISI" BATARYASI ÖZELLİKLERİ

Sayfa No:3/3

UNILAB SRL
Developers Team

TARİH

02.12.2011

HEATING - FURTHER TECHNICAL DATA

MODEL KOD	164035_C_S 200T 16NR 12000A 3P 100NC		
HAVA HIZI	0,9972	m/s	
AKISKAN HIZI	1,5851	m/s	
Exchange Surface	32319	m ²	
External/Internal Surface Ratio	16,876		
Dry Fin Efficiency	0,8685		
Finned Surface Efficiency	0,8763		
Partial Exchange Coefficient Air Side	39,35	W/(m ² K)	
Partial Exchange Coefficient Fluid Side	9123	W/(m ² K)	
ISI TR. KATSAYISI	32,42	W/(m ² K)	
Coil Efficiency	0,9004		
Fluid Inside Tubes	WATER		
Manifold Pressure Drop	0	kPa	
Total Pressure Drop Fluid Side	998,67	kPa	

FLUID THERMIPHYSICAL PROPERTIES

SU

Calculation Temperature	52,5	°C	
Density	986,61	kg/m ³	
Specific Heat	4183	J/(kg K)	
Thermal Conductivity	0,6428	W/(m K)	
Viscosity	0,0005	kg/(m s)	
LAMEL MALZEMESİ	Aluminium		
BORU MALZEMESİ	Bakır		
Fin Thermal Conductivity	204	W/(m K)	
Tubes Thermal Conductivity	381	W/(m K)	

Unilab Collis 6.2 ev - build 71214[P

ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ "HAVA ISITICISI" ÖZELLİKLERİ

Sayfa No:1/3

UNILAB SRL
Developers Team

TARİH

17.12.2011

STEAM COIL - 164035_C_S 108T 1NR 6000A 3P 50NC

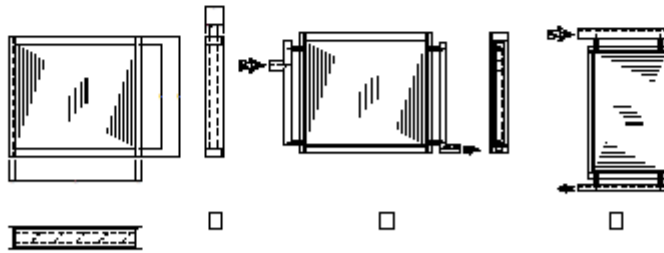
KAPASİTE	2830	kW
ISI TRANSFER ALANI	545,39	m ²
TEORİK DTML	0	°C
LAMEL MALZEMESİ	Aluminium	

HAVA TARAFI

ATMOSFERİK BASINÇ	1,0133	bar A
HAVA DEBİSİ (Vol)	396853	m ³ /h
HAVA DEBİSİ (Mass)	403200	kg/h
HAVA HIZI	4,2508	m/s
KURU TERMOMETRE GİRİS SICAKLIĞI	70	°C
GİRİS BAĞIL NEM	10,20	%
KURU TERMOMETRE ÇIKIS SICAKLIĞI	95,14	°C
ÇIKIS BAĞIL NEM	3,74	%
HAVA BASINÇ KAYBI	36,73	Pa

REFRIGERANT SIDE

AKIŞKAN TARAFI	Buhar	
Doyma Basıncı	8,076	bar A
Doyma Sıcaklığı	170	°C
Overheated Steam Temperature	170	°C
Subcooled Liquid Temperature	170	°C
AKIŞKAN BASINÇ KAYBI	26,58	kPa
BORU MALZEMESİ	paslanmaz celik	



H: 4520 mm
L: 6400 mm
W: 70 mm

Unilab Coils 6.2 ev - build 71214[P

ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ "HAVA ISITICISI" ÖZELLİKLERİ

Sayfa No:2/3

UNILAB SRL
Developers Team

TARİH

17.12.2011

STEAM COIL - 164035_C_S 108T 1NR 6000A 3P 50NC

Total Capacity	2830	kW
Condensing Capacity	2830	kW
De-overheating Capacity	0	kW
Subcooling Capacity	0	kW
ISI TRANSFER ALANI	545,39	m ²
Surface for Condensing	545,13	m ²
Surface for De-overheating	0	m ²
Surface for Subcooling	0	m ²
Installed Surface	545,39	m ²
Condensing Exchange Coefficient	59,78	W/(m ² K)
De-overheating Global Coefficient	0	W/(m ² K)
Subcooling Global Coefficient	0	W/(m ² K)
LAMEL MALZEMESİ	Aluminium	
BORU MALZEMESİ	paslanmaz celik	
LAMEL KALINLIĞI	0,16	mm
BATARYA İÇ HACMI	106,64	l
BORU DİS ÇAPİ	15,88	mm
BORU İÇ ÇAPİ	14,48	mm

HAVA TARAFI

ATMOSFERİK BASINÇ	1,0133	bar A
HAVA DEBİSİ (Vol)	396653	m ³ /h
HAVA DEBİSİ (Mass)	403200	kg/h
HAVA HIZI	4,2508	m/s
GİRİS HAVASI YOGUNLUĞU	1,0165	kg/m ³
KURU TERMOMETRE GİRİS SICAKLIĞI	70	°C
GİRİS BAGIL NEM	10,20	%
GİRİS ÖZGÜL NEM	19,87	g/kg AS
GİRİS ENTALPİSİ	121,95	kJ / kg
KURU TERMOMETRE ÇIKIS SICAKLIĞI	95,14	°C
ÇIKIS BAGIL NEM	3,74	%
ÇIKIS ÖZGÜL NEM	19,87	g/kg AS
ÇIKIS ENTALPİSİ	148,15	kJ / kg
HAVA BASINÇ KAYBI	36,73	Pa
KİSMİ TRANSFER KATSAYISI	95,84	W/(m ² K)
BİRİKİNTİ FAKTÖRÜ	0	(m ² K)/W

STEAM SIDE

Buhar

Kutlesel Debi	4958	kg/h
Doyma Basinci	8,076	bar A
Doyma Sıcaklığı	170	°C
Overheated Steam Temperature	170	°C
Subcooled Liquid Temperature	170	°C
Total Pressure Drop Fluid Side	26,58	kPa
De-overheating Exchange Coefficient	0	W/(m ² K)
Condensing Exchange Coefficient	12502	W/(m ² K)
Subcooled Exchange Coefficient	0	W/(m ² K)
Latent Heat	2054589	J / kg
BİRİKİNTİ FAKTÖRÜ	0	(m ² K)/W

Unilab Coils 6.2 ev - build 71214[P

ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ "HAVA ISITICISI" ÖZELLİKLERİ

Sayfa No:3/3

UNILAB SRL
Developers Team

TARİH

17.12.2011

STEAM - FURTHER TECHNICAL DATA

MODEL KOD	164035_C_S 108T 1NR 8000A 3P 50NC	
HAVA HIZI	4,2508	m/s
Steam Velocity (Gaseous Phase)	39,78	m/s
Steam Velocity (Liquid Phase)	0,1865	m/s
Exchange Surface	545,39	m ²
Condensing Surface	545,13	m ²
De-overheating Surface	0	m ²
Subcooling Surface	0	m ²
Installed Surface	545,39	m ²
Condensing Global Exchange Coeff.	59,78	W/(m ² K)
De-overheating Global Coefficient	0	W/(m ² K)
Subcooling Global Coefficient	0	W/(m ² K)
Condensing Exchange Coefficient	12502	W/(m ² K)
De-overheating Exchange Coefficient	0	W/(m ² K)
Subcooled Exchange Coefficient	0	W/(m ² K)
External/Internal Surface Ratio	16,876	
Dry Fin Efficiency	0,8915	
Finned Surface Efficiency	0,7098	
Coil Efficiency	0,2514	
Saturation Pressure	8,076	bar A
Saturation Temperature	170	°C
Overheated Steam Temperature	170	°C
Subcooled Liquid Temperature	170	°C
Enthalpy of Overheated Steam	663,08	kcal / kg
Enthalpy of Saturated Steam	663,08	kcal / kg
Enthalpy of Subcooled Liquid	172,35	kcal / kg
Enthalpy of Saturated Liquid	172,35	kcal / kg
Outlet Latent Heat	2054589	J / kg
LAMEL MALZEMESİ	Aluminium	
BORU MALZEMESİ	paslanmaz celik	
Fin Thermal Conductivity	204	W/(m K)
Tubes Thermal Conductivity	15	W/(m K)
Manifold Pressure Drop	0	kPa
Total Pressure Drop Fluid Side	26,58	kPa

THERMOPHYSICAL PROPERTIES AT SUBCOOLED LIQUID TEMPERATURE

Density	897,30	kg/m ³
Specific Heat	4407	J/(kg K)
Thermal Conductivity	0,6810	W/(m K)
Viscosity	0,0002	kg/(m s)

THERMOPHYSICAL PROPERTIES AT OVERHEATED STEAM TEMPERATURE

Density	4,2079	kg/m ³
Specific Heat	2497	J/(kg K)
Thermal Conductivity	0,0326	W/(m K)
Viscosity	0,000015	kg/(m s)

Unilab Colls 6.2 ev - build 71214[P

ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ "SOĞUTMA 2" BATARYASI ÖZELLİKLERİ

Sayfa No:1/3

UNILAB SRL
Developers Team
-

Date
Our Offer
Tanim

24.12.2011

-

COOLING COIL - 164035_C_S 180T 5NR 10000A 3P 400NC

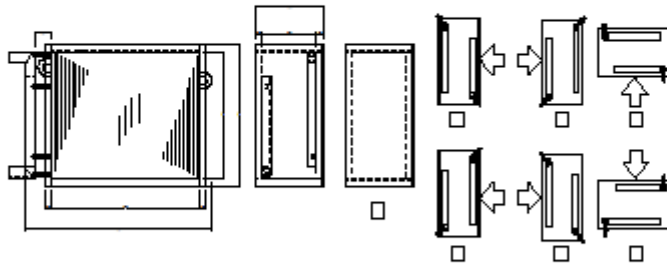
KAPASITE	17532	kW
Sensible Capacity	1381	kW
Sensible/Total Capacity Ratio	0,0788	
ISI TRANSFER ALANI	7573	m ²

HAVA TARAFI

ATMOSFERİK BASINÇ	1,0133	bar A
HAVA DEBİSİ (Vol)	536713	m ³ /h
HAVA DEBİSİ (Mass)	140	kg/s
HAVA HIZI	2,0707	m/s
KURU TERMOMETRE GİRİS SICAKLIĞI	76,3	°C
GİRİS BAĞIL NEM	46,20	%
KURU TERMOMETRE ÇIKIS SICAKLIĞI	68,50	°C
ÇIKIS BAĞIL NEM	46,64	%
HAVA BASINÇ KAYBI	212,43	Pa

AKISKAN TARAFI

AKISKAN CİNSİ	SU	
AKISKAN DEBİSİ (Vol)	318,96	m ³ /h
AKISKAN DEBİSİ (Mass)	87,94	kg/s
AKISKAN HIZI	1,2410	m/s
GİRİS SICAKLIĞI	15	°C
ÇIKIS SICAKLIĞI	62,69	°C
AKISKAN BASINÇ KAYBI	40,52	kPa



H: 7400 mm
L: 10400 mm
W: 210 mm

Unilab Coils 6.2 ev - build 71214jf

ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ "SOĞUTMA 2" BATARYASI ÖZELLİKLERİ

Sayfa No:2/3

UNILAB SRL
Developers Team

TARİH

24.12.2011

COOLING COIL - 164035_C_S 180T 5NR 10000A 3P 400NC

KAPASİTE	17532	kW
Sensible Capacity	1381	kW
Latent Capacity	16150	kW
Sensible/Total Capacity Ratio	0,0788	
Quantity of Produced Water	22402	kg/h
ISI TRANSFER ALANI	7573	m ²
ISI TR. KATSAYISI	79,44	W/(m ² K)
TEORİK DTML	29,14	°C
LAMEL MALZEMESİ	Aluminium	
BORU MALZEMESİ	Bakır	
LAMEL KALINLIĞI	0,2	mm
BATARYA İÇ HACMİ	1601	mm
BORU DİŞ ÇAPİ	15,88	mm
BORU İÇ ÇAPİ	15,08	mm
Number os skipped tube	3	

HAVA TARAFI

ATMOSFERİK BASINÇ	1,0133	bar A
HAVA DEBİSİ (Vol)	536713	m ³ /h
HAVA DEBİSİ (Mass)	140	kg/s
HAVA HIZI	2,0707	m/s
Inlet Air Density	0,9391	kg/m ³
KURU TERMOMETRE GİRİS SICAKLIĞI	76,3	°C
GİRİS BAĞIL NEM	46,20	%
GİRİS ÖZGÜL NEM	140,03	g/kg AS
GİRİS ENTALPİSİ	442,13	kJ / kg
KURU TERMOMETRE ÇIKIS SICAKLIĞI	68,50	°C
ÇIKIS BAĞIL NEM	46,64	%
ÇIKIS ÖZGÜL NEM	95,58	g/kg AS
ÇIKIS ENTALPİSİ	316,90	kJ / kg
HAVA BASINÇ KAYBI	212,43	Pa
KİSMİ TRANSFER KATSAYISI	61,90	W/(m ² K)
BİRİKİNTİ FAKTÖRÜ	0,0004	(m ² K)/W

AKISKAN TARAFI

AKISKAN CİNSİ	SU	
AKISKAN DEBİSİ (Vol)	318,96	m ³ /h
AKISKAN DEBİSİ (Mass)	87,94	kg/s
AKISKAN HIZI	1,2410	m/s
GİRİS SICAKLIĞI	15	°C
ÇIKIS SICAKLIĞI	62,69	°C
AKISKAN BASINÇ KAYBI	40,52	kPa
KİSMİ TRANSFER KATSAYISI	6549	W/(m ² K)
BİRİKİNTİ FAKTÖRÜ	0,0002	(m ² K)/W

Unilab Coils 6.2 ev - build 71214jf

ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ "SOĞUTMA 2" BATARYASI ÖZELLİKLERİ

Sayfa No:3/3

UNILAB SRL
Developers Team

TARİH

24.12.2011

COOLING - FURTHER TECHNICAL DATA

MODEL KOD	164035_C_S 180T 5NR 10000A 3P 400NC	
HAVA HIZI	2,0707	m/s
AKISKAN HIZI	1,241	m/s
Exchange Surface	7573	m²
External/Internal Surface Ratio	16,929	
Dry Fin Efficiency	0,8091	
Fin Medium Temperature	44,87	°C
dH / dT at Fin Medium Temperature	0,8591	J/(kg K)
Medium Temperature between Fluid and Fin Foot	32,77	°C
dH / dT at Medium Temperature between Fluid and Fin Foot	1,3709	J/(kg K)
Fluid Medium Temperature	38,85	°C
dH / dT at Fluid Medium Temperature	1,7428	J/(kg K)
Wet Fin Efficiency	0,8169	
Finned Surface Efficiency	0,8398	
Partial Exchange Coefficient Air Side	61,90	W/(m² K)
Partial Exchange Coefficient Fluid Side	6549	W/(m² K)
ISI TR. KATSAYISI	79,44	W/(m² K)
Coil Efficiency	0,3124	
Fluid Inside Tubes	SU	
Manifold Pressure Drop	0	kPa
Total Pressure Drop Fluid Side	40,52	kPa

FLUID THERMOPHYSICAL PROPERTIES

SU

Calculation Temperature	38,85	°C
Density	992,55	kg/m³
Specific Heat	4180	J/(kg K)
Thermal Conductivity	0,6287	W/(m K)
Viscosity	0,0007	kg/(m s)
LAMEL MALZEMESİ	Aluminium	
BORU MALZEMESİ	Bakır	
Fin Thermal Conductivity	204	W/(m K)
Tubes Thermal Conductivity	381	W/(m K)

Unilab Colls 6.2 ev - build 71214jf

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Andaç YAKUT
Doğum Tarihi ve Yeri : 31.03.1979 Diyarbakır
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ayakut@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı-Proses Programı	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Y. Lisans	Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilimdalı, Isı-Proses Programı	Yıldız Teknik Üniversitesi	2004
Lisans	Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü	Yıldız Teknik Üniversitesi	2002

Lise Fen Lisesi Özel Marmara Fen Lisesi 1997

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2003-.....	Yıldız Teknik Üniversitesi/Mak.Fakültesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. Yakut, A., (2009). “Kendini Temizleyen Otomatik Su Filtreleri ve Örnek Bir Uygulama”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 110:46-51.
2. Yakut, A., (2012). “Geri Dönüştürülebilir Kullanılmış Kâğıttan Yeni Kâğıt Üretiminin İrdelenmesi”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 127:68-75.