

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLERLE ATIK ISI
GERİ KAZANIM SİSTEMİ VE PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYTAÇ KOÇLU

MAYIS 2011
UŞAK

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLERLE ATIK ISI
GERİ KAZANIM SİSTEMİ VE PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYTAÇ KOÇLU

UŞAK 2011

Aytaç Koçlu tarafından hazırlanan TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLERLE ATIK ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ VE PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans / ~~Doktora~~ tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

(Ünvanı, Adı ve Soyadı)

Tez Danışmanı, Anabilim Dalı

Yrd.Doç.Dr.Canan Kandilli

Makina Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans / ~~Doktora~~ tezi olarak kabul edilmiştir.

(Ünvanı, Adı ve Soyadı)

(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)

Doç.Dr. Alagöz AKTAŞ

Makina Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

(Ünvanı, Adı ve Soyadı)

(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)

Yrd.Doç.Dr.Canan Kandilli

Makina Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

(Ünvanı, Adı ve Soyadı)

(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)

Yrd.Doç.Dr.M.Emin Yüksekçaya

Tekstil Mühendisliği, Uşak Üniversitesi

Tarih : 01/06/2011

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans / ~~Doktora~~ derecesini onamıştır.

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Aktaş
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Aytaç Koçlu

TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLERLE ATIK ISI
GERİ KAZANIM SİSTEMİ VE PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Aytaç KOÇLU

UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2011

ÖZET

Tekstil sektörü ülkemiz sanayisinde büyük önemi olan; istihdam ve ihracat rakamlarına bakıldığında lokomotif sektörlerden birisidir. Bu sektörde birçok proseste atık sıvılar ve gazlar yüksek sıcaklıkta dışarı atılmaktadır. Bu atık sıvılar ve gazlar önemli oranda enerji tasarruf potansiyeli taşımaktadır. Tekstil sektöründe birçok üretim prosesi sonucunda yüksek sıcaklıkta sıvı ve gaz akışkanlar dışarı atılır. Özellikle boyahaneler ciddi anlamda atık ısı kaynaklarıdır. Bu tesislerde yapılacak ısı geri kazanım sistemleri ile yüksek miktarlarda enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu sistemler ile hem enerji tasarrufu yapılmakta, hem de doğaya daha düşük sıcaklıkta atık sıvı bırakılmaktadır. Bu araştırmanın amacı, tekstil sanayinde boyama işlemi sonrasında atılan yüksek miktarlardaki ve yüksek sıcaklıktaki akışkanlardan plakalı ısı değiştiricileri ile ısı geri kazanımı yapılması ve sistemin performans analizinin gerçekleştirilmesidir. Performans parametreleri olarak ısı değiştirici etkinliği ve ekserji verimi dikkate alınmış olup, çalışmada tekstil sektörü için plakalı ısı değiştiricilerle atık ısı geri kazanım sisteminin termodinamik ve ekonomik analizinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Tekstil sektöründe atık sıvılardan ısı geri kazanım sistemi uygulaması olarak, Uşak Organize Sanayi Bölgesi'nde battaniye üretimi alanında faaliyet gösteren yerleşik bir tekstil işletmesi bünyesinde pamuk ve sentetik elyafların boyandığı boyahaneye plakalı ısı değiştiricinin kullandığı atık ısı geri kazanım sistemi kurulmuştur. Sistemin termodinamik modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Sistemden atık ısı kaynağının ve temiz su kaynağının farklı debi değerleri için ısı değiştiricisine giren ve çıkan sıvıların sıcaklık değerleri alınmıştır. Elde edilen verilere göre sistemin enerji ve ekserji analizi yapılarak sistemin performansı ve hangi çalışma koşullarında optimum olacağı belirlenmiştir. Sistemin

Net Şimdiki Değer Yöntemi kullanılarak ekonomik analizi yapılmış, sistemin geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Ayrıca sistemin kurulması ile üretim prosesinde yapılan iyileştirmeler ile elde edilen verim artışları analiz edilmiştir. Sonuç olarak, atık akışkan optimum kütleli debi değeri 10 m³/h, temiz soğuk akışkan debi değeri 6,45 m³/h olarak belirlenmiştir. Bu optimum debi değerlerinde, atık sıcak su giriş sıcaklığı 52,4-59,5°C değerleri arasında değişirken, ekserji yıkımı 5,40 ile 9,46 kW, ekserji verimi %68,7 ile %61,6 değerleri aralığında değişmekte, ısı değiştirici etkinliği de 0,969 ile 0,924 arasında değerler almaktadır. Ekonomik analize göre sistem 10. aydan itibaren yatırım bedelini geri ödeyerek kazanç sağlamaya başlamaktadır. Sistemin kurulması ile birlikte 1 kg pamuk boyama için harcanan doğalgaz miktarında aylık ortalama %28,36 oranında bir azalma kaydedilmiştir.

Bilim Kodu : 625.05.00.
Anahtar Kelimeler : Tekstil endüstrisi, Boyama prosesi, Atık ısı geri kazanımı, Enerji-ekserji analizi
Sayfa Adedi : 101
Tez Yöneticisi : Yrd.Doç.Dr.Canan KANDİLLİ

A WASTE HEAT RECOVERY SYSTEM HEAT BY PLATE HEAT
EXCHANGERS AND PERFORMANCE EVALUATION IN TEXTILE
INDUSTRY
(M.Sc. Thesis)

Aytaç KOÇLU

USAK UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

May 2011

ABSTRACT

Textile industry is one of the heading sectors in Turkey and plays an important role in country's economy. Including dye process there is a great amount of heat waste in many textile processes. These waste liquids and gases have crucial energy saving potential. Dyeing plants are considerably loose heat energy. During the process it could be possible to save energy by employing a waste heat recovery system for the plants. Waste liquids having lower temperatures emit to the environment, while providing energy saving. The aim of this study is to apply waste heat recovery system by employing a plate heat exchanger that provides heat transfer from hot waste liquids to the clean cold water at a selected dyeing plant. The effectiveness of the heat exchanger and exergy (the second law) efficiency were considered to be one of the performance parameters. Objectives of this study are to achieve thermodynamical and economical analyses of the waste heat recovery system for the textile industry. The waste heat recovery system including a plate heat exchanger installed to a dyeing plant which dyes cotton and synthetic fibers, located in Usak Industrial Park. The system was modeled thermodynamically. Inlet and outlet temperatures data of waste heat source and clean cold water for different mass flow rates has been obtained. The optimum operation condition was determined by integrating the first and the second law of thermodynamics for a counter flow plate heat exchanger employed for a dyeing process. The economical analysis was presented by net present value method and the payback time of he investment was

calculated. Furthermore, improvements on production process and increased production efficiency have been evaluated. As a consequences, optimum cold water and waste water mass flow rates were found to be between 7,00 m³/h and 10,00 m³/h respectively. While the waste water inlet temperatures varies between 52,4°C and 59,5°C, exergy destruction rate, exergy efficiency, and effectiveness of the plate heat exchanger have the values from 5,40 to 9,46 kW; from 68, % to 61,6 %, and from 0,969 to 0,924 respectively at the optimum mass flow rates. The payback time of the system was calculated by net value method was 10 months.

It was recorded that the amount of the natural gas required to the dyeing process was reduced in the amount of 28,36% for 1 kg of cotton fibers by employing the waste heat recovery system. Due to the decrease in the processing time, the efficiency of the process is increased.

Science Code : 625.05.00.

Key Words : Textile industry, Dyeing process, Waste heat recovery system, Energy and exergy analyses

Page Number : 101

Adviser : Asisst.Prof.Dr.Canan KANDILLI

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bana yardımcı olan, yardımlarını esirgemeyen, bilgi birikimleri ile beni yönlendiren Değerli Danışmanım Yrd.Doç.Dr. Canan KANDİLLİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarında desteğini esirgemeyen ve bana her konuda destek olan Yrd.Doç.Dr. Mehmet Emin Yüksekaya'ya ve Deney Sisteminin kurulmasını sağlayan ve maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Sesli Tekstil A.Ş. yönetimine teşekkürü bir borç bilirim.

Yoğun bir emek ve sabırla tamamlanan bu süreç boyunca, her zaman yanımda olan, anlayış ve destekleri ile bana güç veren değerli eşim Serpil Koçlu'ya, çocuklarım Berra ve Ceyla'ya en içten dileklerle teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	III
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	XI
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR	XIV
1. GİRİŞ.....	1
2. ENERJİ.....	5
2.1 Enerji Verimliliği.....	5
2.2 Enerji Yoğunluğu	5
2.3 Türk Sanayinde Enerji Kullanımı.....	7
2.4. Tekstil Sektöründe Enerji Kullanımı	10
3. ATIK ISI GERİ KAZANIMI	12
3.1 Tekstil Endüstrisinde Atık Enerji Potansiyeli ve Kaynakları.....	13
4. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ.....	15
5. PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ	17
5.1 Plakalı Isı Değiştiricisi Konstrüksiyonu	18

5.1.1	Plaka.....	20
5.1.2	Conta.....	20
5.2	Plakalı Isı Değiştiricilerinin Çalışma Prensibi	21
5.3	Plakalı Isı Değiştirici Çeşitleri	22
5.3.1	Contalı tip plakalı ısı değiştiriciler	22
5.3.2	Lehimli tip plakalı ısı değiştiriciler	22
5.3.3	Kaynaklı tip ısı değiştiriciler	23
5.4	Plakalı Isı Değiştiricilerinin Avantajları	24
5.5	Plakalı Isı Değiştiricilerinin Dezavantajları	25
5.6	Plakalı Isı değiştirici Tasarımında Basınç Kayıplarının Önemi.....	25
5.7	Plakalı Isı Değiştiriciler ile Borulu Isı Değiştiricilerinin Karşılaştırılması..	25
6.	LİTERATÜR ÖZETİ.....	27
7.	TEZİN AMACI, KAPSAMI VE ÖNEMİ.....	34
8.	KURAMSAL ANALİZ.....	36
8.1	Termodinamik Analiz	36
8.1.1	1.Yasa Analizi	36
8.1.2	2.Yasa analizi	39
8.2	Ekonomik Analiz.....	41
9.	SİSTEM TANITIMI VE DENEY TASARIMI.....	43
10.	BULGULAR VE TARTIşMA.....	48
10.1.	Termodinamik Analiz.....	48
10.2.	Ekonomik Analiz.....	61

11. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
11.1. Sonuç.....	69
11.2. Öneriler	70
12. KAYNAKLAR	73
EKLER.....	77
EK-1. Plakalı Eşanjör Seçim Çıktısı	78
EK-3. Pamuk Boyama Prosesi Adımları AIGKS den sonra.....	80
EK-4. Akrilik Boyama Prosesi Adımları AIGKS den önce	81
EK-5. Akrilik Boyama Prosesi Adımları AIGKS den sonra	82
ÖZGEÇMİŞ	83

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 2.1 yıllara göre kişi başı enerji tüketimleri (KEP)	7
Çizelge 2.2 Sanayi sektöründe yıllara göre kullanılan enerjinin toplam enerji tüketimi içersindeki oranı	10
Çizelge 4.1 Isı değiştiricilerinin sınıflandırılması	16
Çizelge 5.1 Plakalı Isı değiştiriciler ile borulu ısı değiştiricilerin karşılaştırılması [54].....	26
Çizelge 9.1 Deney sisteminde kullanılan karşı akışlı plakalı ısı değiştiricisinin özellikleri.....	46
Çizelge 10.1 Aylık geri kazanılacak doğalgaz miktarı (m ³ /ay).....	61
Çizelge 10.2 Ekonomik analiz sonuçları.....	63
Çizelge 10.3 İşletmenin 2009 ve 2010 yılında Temmuz-Aralık döneminde 1kg pamuk boyama ve kurutma için harcadığı doğalgaz miktarı ve yüzdesel farkı	68

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1 Çeşitli ülkelerin enerji yoğunluğu ve kişi başı enerji tüketim değerleri (TEP)	6
Şekil 2.2 Türkiye'nin yıllara göre enerji tüketimleri (BTEP/yıl)	8
Şekil 2.3 2009 yılı enerji tüketiminin sektörel olarak yüzdesel dağılımı	9
Şekil 5.1 Yıkama tahtası şeklinde plaka	17
Şekil 5.2 Balık kılçığı desenli plakalar	18
Şekil 5.3 Plakalı Isı değiştiricisi konstrüksiyonu	19
Şekil 5.4 Plakalı ısı değiştiricilerinde kullanılan farklı boyutlardaki plaka örnekleri	20
Şekil 5.5 Plakalı ısı değiştiricisinin çalışma prensibi	21
Şekil 5.6 Lehimli Tip Plakalı Isı değiştirici	23
Şekil 5.7 Kaynaklı Tip Plakalı ısı değiştiricileri	23
Şekil 9.1 Atık ısı geri kazanım sistemi bileşenleri	44
Şekil 9.2 Plakalı ısı değiştiricisi ve otomatik yıkamalı filtre	45
Şekil 10.1 Sistemde kullanılan ısı değiştirici etkinliğinin aktarım birim sayısına bağlı değişimi	49
Şekil 10.2 Farklı soğuk su debisindeki ısı transfer oranının atık akışkan debisine bağlı değişimi	50
Şekil 10.3 Temiz su debisi 8 m ³ /h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi	51
Şekil 10.4 Temiz su debisi 8m ³ /h için etkinlik ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi.....	51
Şekil 10.5 Temiz su debisi 7 m ³ /h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin atık akışkan sıcaklığına bağlı değişimi	52
Şekil 10.6 Temiz su debisi 7m ³ /h için etkinlik ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi.....	53
Şekil 10.7 Temiz su debisi 6 m ³ /h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi	54

Şekil 10.8 Temiz su debisi 6 m ³ /h için etkinlik ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi.....	54
Şekil 10.9 Temiz su debisi 5 m ³ /h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi.....	55
Şekil 10.10 Temiz su debisi 5m ³ /h için etkinlik ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi.....	56
Şekil 10.11 Atık akışkan debisi 10 m ³ /h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin, temiz su debisine bağlı değişimi.....	57
Şekil 10.12 Atık akışkan debisi 10m ³ /h için etkinlik ve ekserji veriminin temiz su debisine bağlı değişimi.....	58
Şekil 10.13 Atık akışkan debisi 10 m ³ /h ve soğuk su debisi 7 m ³ /h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin, atık akışkan sıcaklığına bağlı değişimi.....	59
Şekil 10.14 Atık akışkan debisi 10 m ³ /h ve soğuk su debisi 7 m ³ /h için etkinlik ve ekserji veriminin, atık akışkan sıcaklığına bağlı değişimi	59
Şekil 10.15 Farklı soğuk su debisindeki iyileştirme potansiyelinin atık akışkan debisine bağlı değişimi.....	60
Şekil 10.16 Pamuk Boyama prosesinin atık ısı geri kazanım sisteminden önceki ve sonraki Sıcaklık ve zamana bağlı değişimi	65
Şekil 10.17 Akrilik Boyama prosesinin atık ısı gerim kazanım sisteminden önceki ve sonraki Sıcaklık ve zamana bağlı değişimi	66
Şekil 10.18 İşletmenin 2009 ve 2010 yılında Temmuz-Aralık döneminde 1kg pamuk boyama ve kurutma için harcadığı doğalgaz miktarı.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR
AÇIKLAMA

SİMGELER

a	Bugünkü değer faktörü
A	Isı transfer alanı (m ²)
B	Getiri, kazanç
C	Masraf
c	Özgül ısı (kJ/kgK)
C	Isıl kapasite oranlarından büyük olan
C	Isıl kapasite oranlarından küçük olan
C	Soğuk akışkanın ısıl kapasite oranı (W/K)
C	Sıcak akışkanın ısıl kapasite oranı (W/K)
Ėx	Toplam ekserji yok oluşu (kW)
Ėx	Toplam ekserji girişi (kW)
Ėx	Toplam ekserji çıkışı (kW)
h	Temiz akışkanın ısı değiştiricisine giriş sıcaklığındaki özgül entalpi (kJ/kg)
h	Temiz akışkanın ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığındaki özgül entalpi (kJ/kg)
h	Ölü hal sıcaklığındaki özgül entalpi ((kJ/kg)
h	Atık akışkanın ısı değiştiricisine giriş sıcaklığındaki özgül entalpi (kJ/kg)
h	Atık akışkanın ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığındaki özgül entalpi (kJ/kg)
IP	Ekserjetik iyileştirme potansiyeli oranı (kW)
i	İskonto oranı
m	Soğuk akışkan kütleli debisi (m ³ /h)
m	Soğuk akışkan giriş kütle debisi (m ³ /h)
m	Atık akışkan kütleli debisi (m ³ /h)
m	Atık akışkan giriş kütle debisi (m ³ /h)
m	Atık akışkan çıkış kütle debisi (m ³ /h)

\dot{m}	Soğuk akışkan çıkış kütle debisi (m^3/h)
NPV	Net Şimdiki Değer
NTU	Aktarım birim sayısı
p	Periyot
R	Isıl kapasite oran orantısı
s	Soğuk akışkanın ısı değiştiricisine giriş sıcaklığındaki özgül entropi (kJ/kgK)
s	Temiz akışkanın ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığındaki özgül entropi (kJ/kgK)
\dot{S}	Toplam entropi üretimi (kJ/kg)
s	Atık akışkanın ısı değiştiricisine giriş sıcaklığındaki özgül entropi (kJ/kgK)
s	Atık akışkanın ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığındaki özgül entropi (kJ/kgK)
s	Ölü hal sıcaklığındaki özgül entropi (kJ/kgK)
T	Ölü hal sıcaklığı ($^{\circ}C$ veya K)
T	Soğuk akışkan ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T	Soğuk akışkan ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T	Atık akışkan ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T	Atık akışkan ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığı ($^{\circ}C$)
U	Toplam ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
\dot{Q}	Isı transfer oranı (kW)
\dot{Q}	Oluşabilecek Maksimum ısı transfer oranı (kW)
ε	Isı değiştiricisi etkinliği
ΔT	Logaritmik sıcaklık farkı (K)
ψ	Atık akışkan giriş sıcaklığındaki akış ekserjisi (kJ/kg)
ψ	Atık akışkan çıkış sıcaklığındaki akış ekserjisi (kJ/kg)
ψ	Soğuk akışkan giriş sıcaklığındaki akış ekserjisi (kJ/kg)
ψ	Soğuk akışkan çıkış sıcaklığındaki akış ekserjisi (kJ/kg)
η	İkinci yasa verimi

KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AIGKS	Atık Isı Geri Kazanım Sistemi
BTEP	Bin Ton Eşdeğer Petrol
dk	Dakika
GSMH	Gayrisafi Milli Hasıla
IEA	Uluslar arası Enerji Ajansı
IBIGK	Isı Borulu Isı Geri Kazanımı
KEP	Kilo Eşdeğer Petrol
LPG	Likit Petrol Gaz
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
USD	Amerikan Doları

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacının sürekli arttığı yeni dünya düzeninde temiz, güvenilir ve ucuz enerji bulmak her geçen gün daha da zorlaşmaktadır. Toplumların refah seviyelerinin hızla yükselmesi ve sanayileşme enerji talebini sürekli olarak artırmaktadır. Enerji ihtiyacının kesintisiz ve ekonomik olarak karşılanabilmesi için bir yandan enerjinin yüksek verimle, düşük maliyetli olarak üretilirken diğer taraftan da kullanım noktasındaki verimliliğini artırarak kayıpların en aza indirilmesi gerekmektedir. Özellikle çevre bilincinin yaygınlaşması enerjinin üretim şeklini de önemli kılmaktadır. Bu yüzden enerji üretiminde ekonomik yöntemler hedeflenirken bir yandan da çevreye en az zarar verecek yöntemlerin seçilmesini zorunlu kılmaktadır. Günümüzde enerjinin verimli kullanılması ile ilgili çalışmalar artan enerji maliyetleri ve azalan enerji kaynaklarından dolayı daha da önemli hale gelmiştir.

Sanayinin temel girdilerinden birisi olan enerjinin verimli kullanılabilmesi özellikle ülkemiz gibi enerji konusunda dışa bağımlı ülkeler için daha da önemlidir. Ülkemizde enerjinin kesintisiz, zamanında, düşük maliyetli bir şekilde temin edilmesi gerekliliği gerek ekonomik gerekse politik sebeplerden dolayı aksamaktadır. Enerji konusunda dışa bağımlılık önemli miktarda dövizin dışarı aktarılmasına neden olmaktadır. Ülkemizde sanayileşme ve kalkınma ile birlikte enerji tüketimi artmakta yerli kaynaklardan karşılanma oranı düşmekte ve ithalat miktarı artmaktadır. Ülkemizde artan enerji ihtiyacını karşılamamanın yolu bir taraftan yeni enerji kaynaklarını devreye sokarken bir taraftan da kullanım noktasındaki verimliliği artırmak ve tasarruf etmektir.

Avrupa ülkelerinde ve Japonya'da 70'li yıllardan beri başlayan enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uygulamalar başarılı olmuş olan enerji verimliliği uygulamaları bu ülkelere hem enerji maliyetleri bakımından hem de yeni, satılabilir teknolojiler geliştirmiş olmaları bakımından rekabetçi üstünlük sağlamıştır. Aynı zamanda tasarruf edilen enerji tüketim bedelleri için yeni yatırımlar için bir kaynak oluşturmuştur.

Ülkemizde enerji verimliliği konusunda çalışmalar son yıllarda ivme kazanmıştır. Özellikle dış piyasalardaki sert rekabet koşulları, uluslararası

piyasalardaki yerimizin korunabilmesi açısından üretim maliyetlerini gözden geçirmemizi gerektirmektedir. Maliyetler içerisinde önemli bir yere sahip olan enerji giderleri tasarruf noktasında önemli bir potansiyele sahiptir. Sanayinin birçok noktasında yapılacak küçük yatırımlar ile yüksek miktarlarda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Enerji tasarrufu çalışmaları enerji maliyetlerini düşüreceği gibi, bu tasarruf sayesinde kapasite kullanımı düşecek yeni yatırımlar için gerekli enerji ihtiyacı için yatırım yapılmasına gerek kalmayacaktır. Sanayide birçok üretim prosesi sonucunda yüksek miktarlarda ve yüksek sıcaklıkta sıvı ve gaz akışkanlarla önemli miktarlarda enerji dışarı atılmaktadır. Yapılacak yatırımlarla atılan enerjinin büyük bir kısmı geri kazanılabilir. Yapılan atık ısı geri kazanım sistemleri önemli oranda tasarruf sağlamakta ve yatırımlar kısa sürelerde maliyetlerini geri ödemektedir.

Tekstil sektörü ülkemiz ekonomisi içerisinde önemli bir yer tutan gerek istihdam gerekse ihracat rakamlarında ülkemizin öncü sektörlerindedir. Tekstil sektörü Çin Hindistan, Pakistan gibi üretim maliyetlerinin ülkemize göre çok düşük olduğu ülkelerle rekabet etmekte zorlanmaktadır. Hatta son dönemlerde birçok tekstil işletmesi yurtiçindeki üretim tesislerini girdi maliyetlerinin düşük olduğu ülkelere taşımıştır. Ülkemizde enerji maliyetlerinin yüksek olması, tüm sektörler gibi tekstil sektörü içinde önemli bir dezavantajdır. Bu nedenle enerji verimliliği ve tasarrufunun önemi bir kere daha ortaya çıkmaktadır. Tekstilin birçok üretim aşaması sonucu önemli miktarlarda yüksek sıcaklıkta atık sıvı ve atık gaz dışarı atılmaktadır. Bu atık ısı kaynakları tasarruf noktasında çok önemli olup mutlaka değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, tekstil sektöründe dışarı atılan yüksek sıcaklıkta atık akışkanlardan ısı geri kazanımı için gerekli sistemin kurulması ve bu sistemin enerji ve ekserji analizlerinin yapılarak optimum çalışma koşullarının belirlenmesi ve ekonomik değerlendirilmesinin yapılması amaçlanmıştır. Atık ısı geri kazanım sistemi atık akışkanların toplandığı ve ön filtre edildiği atık su havuzu, atık suyun istenilen debi ve basınçta sisteme verilmesini sağlayan yatay milli santrifüj pompa, kendisini temizleyen filtre, tekstil tipi geniş aralıklı paslanmaz levhalı plakalı ısı değiştirici ve ısıtılmış temiz suyun depolandığı temiz su deposundan oluşmaktadır. Elyaf boyama prosesinde boyama işlemine başlayabilmek için gerekli suyun belirli

bir sıcaklıkta olması gerekmektedir. Bu sıcaklık değeri boyanan elyaf türüne ve boyar madde çeşidine göre değişmekte olup çalışma yapılan tesiste 40-55°C arasında değişmektedir. Alınan şebeke suyu mevsim şartlarına bağlı olarak 18-25°C arasındadır. Su boyama işleminden önce boya makinesiyle tümleşik rezerv tankı denilen ön ısıtma tankına alınmakta ve boyama işlemine başlamak için bu suyun boyama işlemine uygun sıcaklık seviyesine çıkartılması gerekmektedir. Bu işlem buhar ile yapılmakta ve ısıtma süresi sonucunda boyama işlemine geçilebilmektedir. Bu şekilde ısıtma için kullanılan ısı ve ısıtma süresi boyama maliyetlerini etkilemektedir.

Atık ısı geri kazanım sistemi ile birlikte ısıtma için gerekli ısının atık ısıdan elde edilmesi ile enerji tasarrufu sağlanması, boyama süresinin kısalması ile birlikte boyama maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Atık ısı geri kazanım sistemi, enerji tasarrufu, proses iyileştirme ve maliyetlerin düşürülmesi konusunda değerlendirilmesi gereken bir sistem olarak önerilmektedir.

Atık sıvılardan ısı geri kazanım sistemlerinde plakalı ısı değiştiricilerin önemli bir yer tuttuğu anlaşılmıştır. Çalışmanın “Enerji” bölümünde enerji verimliliği, enerji yoğunluğu gibi temel kavramlar ile enerjiye yönelik istatistiksel verilere dayalı değerlendirmelere yer verilmiş, Türk sanayinde ve tekstil sanayinde enerji kullanımına değinilmiştir. “Atık Isı Geri Kazanımı” bölümünde dışarı atılan ve içersinde yüksek miktarda enerji potansiyeli taşıyan atık akışkanlardan enerji geri kazanımının önemi ve avantajları değerlendirilmiş, atık ısı geri kazanım sistemlerine değinilmiş ve tekstil endüstrisi açısından detaylı bir şekilde ele alınmıştır. “Isı Değiştiricileri” bölümünde ısı değiştiricilerinden bahsedilmiş ve sınıflandırılmasına yer verilmiştir. “Plakalı Isı Değiştiricileri” bölümünde ısı değiştiricilerin konstrüksiyonundan bahsedilmiş, çalışma prensibine değinilmiş, belli başlı tiplerinden sıralanarak avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır. Çalışmanın “Literatür Özeti” kısmında ısı geri kazanım sistemleri, atık sıvılardan ısı geri kazanımı ve plakalı ısı değiştiricileri ve performans parametreleri incelenmiş, bu konuda ayrıntılı bir literatür araştırması sunulmuştur. “Tezin Amacı, Kapsamı ve Önemi” bölümünde, tezin temel amacı belirtilmiş, sistemin termodinamik performansının analizi metotları anlatılmıştır. Çalışmanın kapsamı açıklanmış, uygulamanın sanayiye getireceği avantajlardan bahsedilmiş ve çalışmanın özgünlüğü

açıklanmıştır. “Kuramsal Analiz” bölümünde birinci ve ikinci yasayı içeren Termodinamik modelleme ve ekonomik analiz ortaya konulmuştur. “Sistem Tanıtımı ve Deneysel Tasarımı” bölümünde, çalışmada ele alınan sistem tanıtılmış, deney düzeneği ve yöntemi açıklanarak, deney verilerine ilişkin bilgiler sunulmuştur. “Bulgular ve Tartışma” bölümünde farklı debi ve sıcaklık değerlerine göre ölçümlenen veriler sonucunda elde edilen sayısal sonuçlar ve grafikler değerlendirilmiş, elde edilen bulgular enerji, ekserji ve ekonomik açıdan değerlendirilmiştir.

Bulgulardan elde edilen sonuçlar, sistemin iyileştirilmesine ve gelecekteki çalışmalarda konabilecek katkılara ilişkin öneriler “Sonuç ve Öneriler” bölümünde yorumlanmıştır.

2. ENERJİ

2.1 Enerji Verimliliği

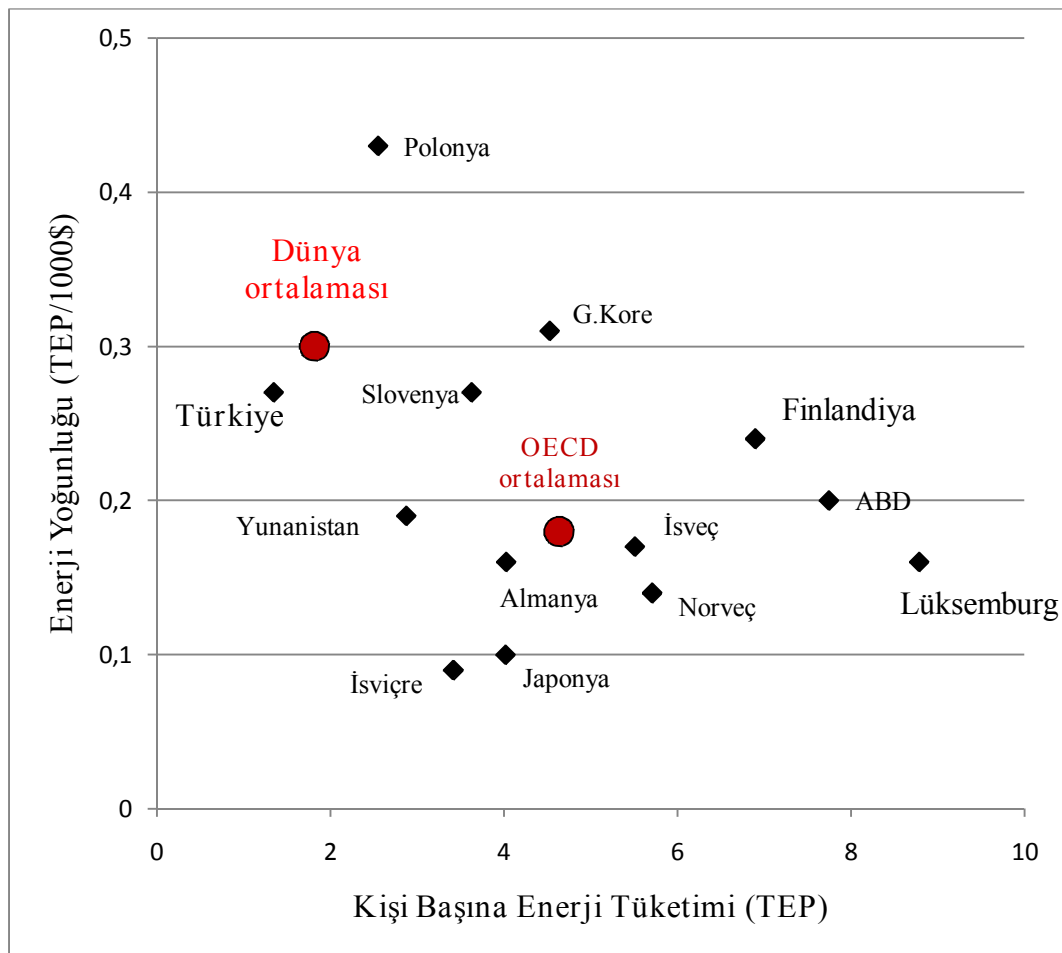
Mevcut dünya düzeninde çevreci politikalar sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesine rağmen özellikle kalkınmakta olan ülkelerin enerji taleplerindeki artış, dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılamakta olan fosil yakıt kullanım hızını sürekli artırmaktadır. Buna karşılık fosil yakıt rezervlerinde paralel bir artış meydana gelmemektedir. Mevcut kullanım düzeylerinin sabit kalması durumunda bile özellikle petrol rezervlerinin yakın bir zaman içerisinde tükeneceği tahmin edilmektedir. Biraz daha fazla ömür biçilen doğalgaz kaynakları için de benzer durum söz konusudur. Hızla tükenen fosil yakıtların yerine bir yandan alternatif enerji kaynakları aranırken, diğer yandan mevcut kaynakların kullanım noktasında etkin biçimde değerlendirilmesi gündeme gelmektedir. Bu eğilimler genel olarak enerji verimliliği başlığı altında değerlendirilmektedir.

Enerji verimliliği; ısı, gaz, buhar, basınçlı hava, elektrik gibi çok değişik formlarda olabilen enerji kayıpları ile her çeşit atığın değerlendirilmesi, geri kazanılması ya da yeni teknoloji kullanma yoluyla üretimi düşürmeden, sosyal refahı engellemeden enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Enerji verimliliğine yönelik çalışmalar hem tüketim alanındaki tasarrufları, hem de arz tarafına yönelik önleyici yaklaşımları kapsamaktadır. Sanayide enerji tasarrufu, makineleri kapatmakla prosesi yavaşlatmak ya da durdurmakla yapılamayacağına göre, amaç sanayi tesislerinde enerji yönetim sistemi ile enerjinin etkin ve verimli kullanılmasıdır.

2.2 Enerji Yoğunluğu

Enerji verimliliğinin önemli göstergelerinden biri enerji yoğunluğudur. Enerji yoğunluğu, GSYMH (Gayrisafi Milli Hasıla) başına tüketilen birincil enerji miktarını temsil eden ve tüm dünyada kullanılan bir göstergedir. Genellikle 1000\$ lık hâsıla için tüketilen TEP (ton eşdeğer petrol) miktarı, uluslararası alanda enerji yoğunluğu göstergesi olarak dikkate alınmaktadır. Burada TEP; çeşitli enerji kaynaklarının miktarlarını tanımlamak için kullanılan kg, m³, ton, kWh gibi farklı birimleri aynı düzlemde ifade etmeye yarayan bir tanımdır. 1 TEP, 1 ton petrolün yakılmasıyla elde edilecek enerjiye karşılık gelmektedir [33].

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2009 yılı istatistiklerine göre, 2007 yılında dünya enerji yoğunluğu (TEP cinsinden) 0,30 iken, OECD'de bu değer 0,18 ve Türkiye'de 0,27 olarak gerçekleşmiştir. Kişi başı enerji tüketimi Türkiye'nin 4 katından daha fazla olan Japonya, Almanya gibi ülkeler 1000 USD GSMH başına Türkiye'nin kullandığı enerjinin 1/3'ü kadar enerji harcamaktadırlar [34]. Şekil 2.1 de çeşitli ülkelerin enerji yoğunluğu ve kişi başı enerji tüketimleri görülmektedir. Gelişmiş ülkelere bakıldığında enerji yoğunluklarının düşük ve kişi başı enerji tüketimlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Türkiye 2005 yılında enerji yoğunluğu 0,35 iken 2007 yılında bu rakam 0,27 ye gerilemiştir. Buna rağmen ülkemiz enerji yoğunluğu gelişmiş ülkelere göre oldukça yüksektir. OECD ülkeleri ortalaması 0,18 iken ülkemizin enerji yoğunluğu 0,27 dir [34-35].



Şekil 2.1 Çeşitli ülkelerin enerji yoğunluğu ve kişi başı enerji tüketim değerleri (TEP) [35]

Türkiye'nin kişi başı enerji tüketim değerlerine bakıldığında 2006 yılında 1365 KEP (kilo eşdeğer petrol) olan kişi başı enerji tüketimimiz Çizelge 2.1

görüldüğü gibi 2007 de 1525 KEP olarak gerçekleşmiş, 2009 yılında da 1463 KEP e gerilemiştir [36-40].

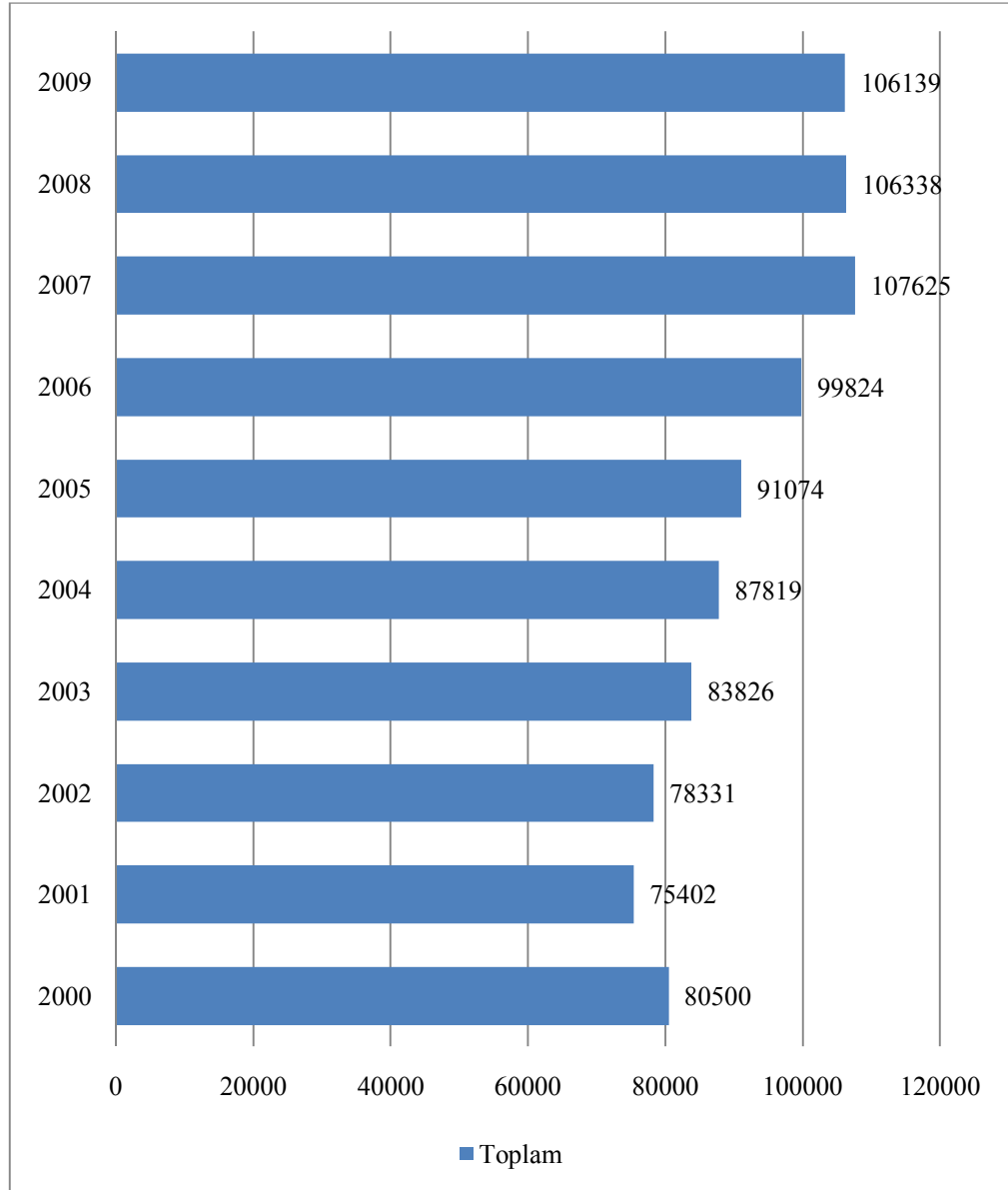
Çizelge 2.1 yıllara göre kişi başı enerji tüketimleri (KEP) [36-40].

Yıllar	Kişi Başı Enerji tüketimi (KEP)
2006	1365
2007	1525
2008	1496
2009	1463

2.3 Türk Sanayinde Enerji Kullanımı

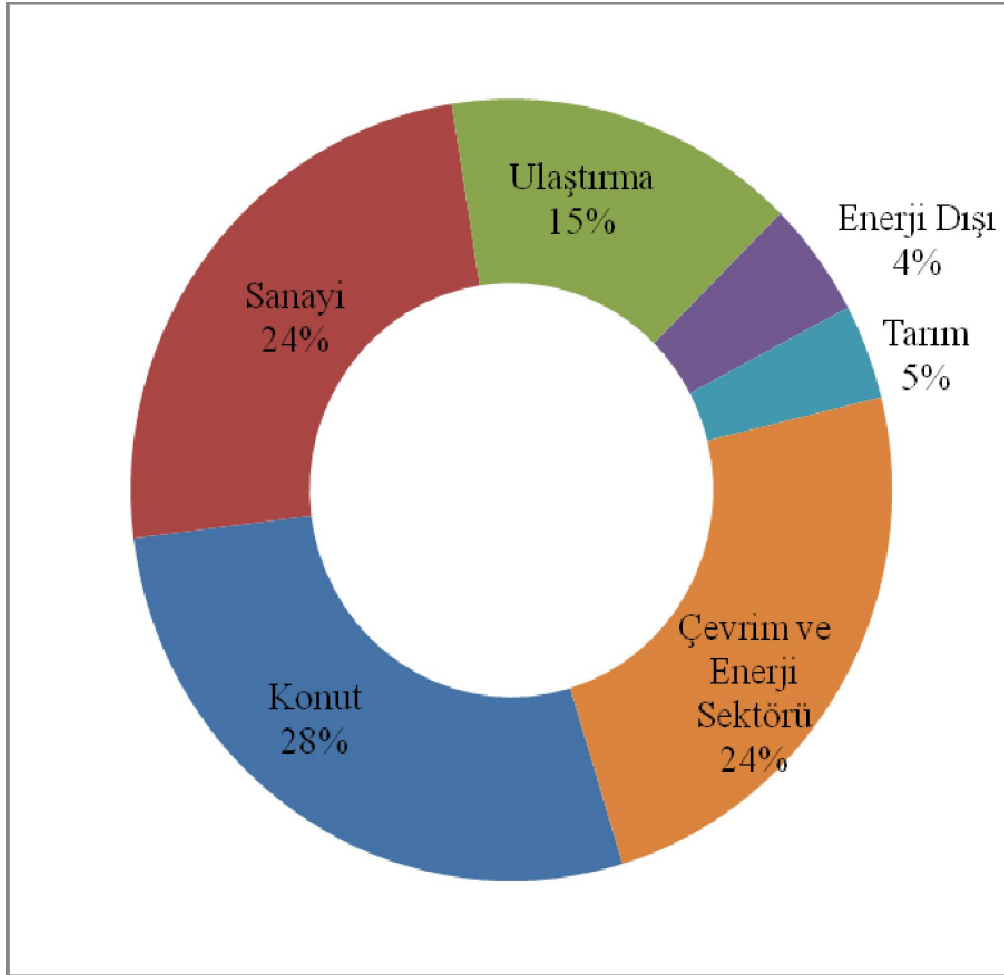
Enerji, bütün sanayi dallarında üretimi gerçekleştirebilmek için gerek duyulan önemli bir üretim faktörüdür. Ülkemiz nihai enerji tüketimi içinde payı 2009 yılı itibarı ile % 32 olan sanayi sektörü, enerji verimliliği çalışmaları için öncelikli sektördür. Sanayi sektöründe enerji verimliliğini arttırmak üzere yapılan çalışmaların sonuçları, ürün maliyeti ve kalitesi üzerinde etkili olmaktadır. Sanayi kuruluşlarındaki yardımcı işletmeler ve proses üniteleri teknolojik gelişmelere paralel olarak daima yenilenme ihtiyacı içindedir ve bu durum daima geriye kazanılabilecek bir enerji tasarrufu potansiyeli ortaya çıkarmaktadır.

Şekil 2.2 de Türkiye'nin yıllara göre enerji tüketimi ifade edilmektedir. Çevrim ve enerji sektörü dahil olmak üzere, 2000 yılında 80 500 000 TEP olan enerji tüketimi, 2009 yılı itibarı ile 106 239 000 TEP e ulaşmış, 2000 yılından bu yana yaklaşık %32 lik bir artış göstermiştir [36-41].



Şekil 2.2 Türkiye'nin yıllara göre enerji tüketimleri (BTEP/yıl) [36-41]

Türkiye'nin 2009 yılı toplam enerji tüketimlerine göre sektörel dağılım değerleri, Şekil 2.3 de görüldüğü üzere, konut %28, Sanayi %24, Çevrim ve Enerji santralleri %24, Ulaştırma %15, Tarım %5 ve Enerji dışı kullanım payı ise %4 olarak gerçekleşmiştir [40].



Şekil 2.3 2009 yılı enerji tüketiminin sektörel olarak yüzdesel dağılımı [40]

Türkiye sanayisinin yıllar bazında enerji tüketim değerlerine baktığımızda, 2000 yılında 24501 BTEP (Bin Ton Eşdeğer Petrol) olan tüketim miktarı 2007 yılına kadar 32466 BTEP değerine ulaşmış, 2008 de 25677 BTEP ve 2009 da ise 25966 BTEP olarak gerçekleşmiştir. Çizelge 2.2 de sanayi sektöründe 2009 yılında kullanılan Enerjinin toplam enerji tüketimi içerisindeki oranı verilmektedir. Buna göre, çevrim ve enerji santrallerinin tüketimlerinin dâhil edildiği toplam enerji tüketimlerine göre bu oran 2000 yılında %30 iken, 2009 yılında %33 e, çevrim ve enerji santrallerinin tüketimlerinin dâhil edilmediği nihai tüketim içerisindeki 2000 yılında %40 olan oranı 2009 yılında %32 ye düşmüştür [36-41].

Çizelge 2.2 Sanayi sektöründe yıllara göre kullanılan enerjinin toplam enerji tüketimi içersindeki oranı [36-41]

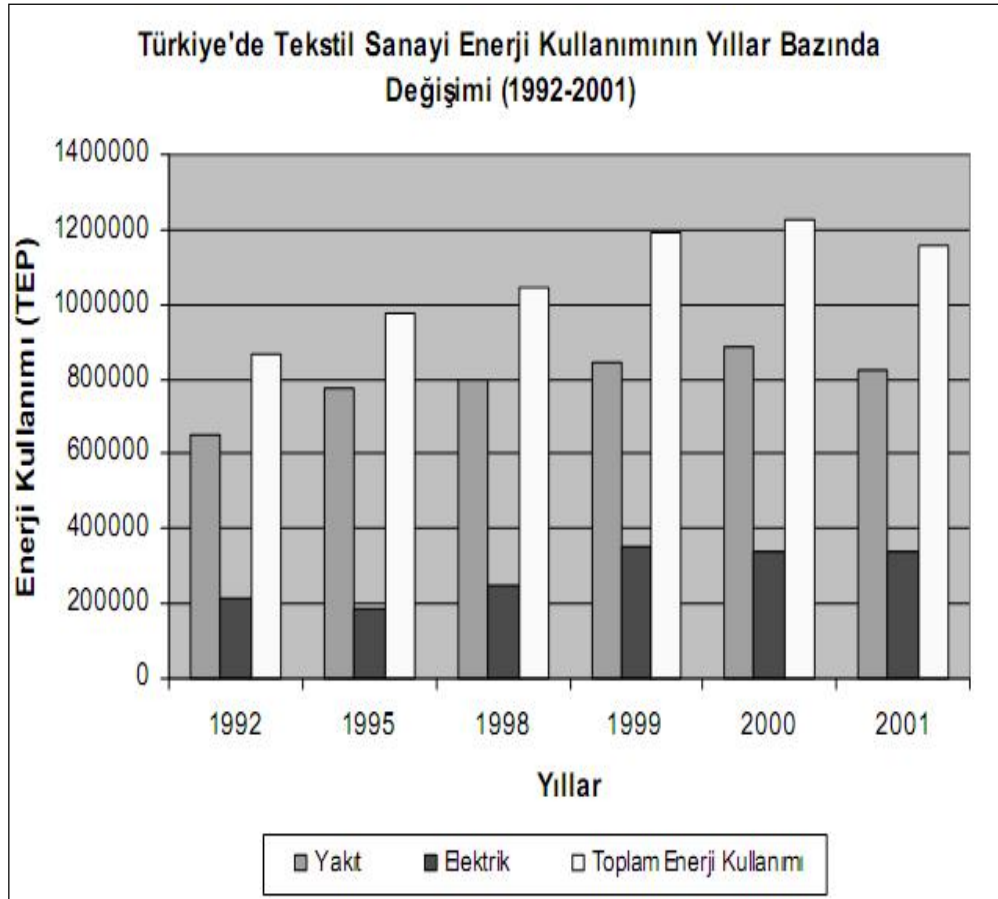
Sanayide Sektöründe Kullanılan Enerjinin Toplam Enerji Tüketimi İçersindeki Oranı		
Yıllar	Toplam Tüketim içersindeki Oran	Nihai Tüketim içersindeki Oran
2000	30%	40%
2001	28%	38%
2002	32%	42%
2003	33%	43%
2004	33%	43%
2005	31%	39%
2006	31%	40%
2007	30%	39%
2008	24%	32%
2009	24%	32%

2.4. Tekstil Sektöründe Enerji Kullanımı

Tekstil sektöründe üretimin gerçekleştirilebilmesi için farklı enerji türlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrik enerjisinin yanında üretim aşamalarına göre bazı proseslerde ısı enerjisine de ihtiyaç duyulur. Makinelerin çalıştırılması, aydınlatma, basınçlı hava üretimi gibi aşamalarda elektrik enerjisinden yararlanılırken, boya, baskı, terbiye, apre, kurutma gibi proseslerde enerji gereksinimi yakıtlardan elde edilir. Dönemsel olarak maliyetlerin değişimine bağlı olarak doğalgaz, kömür, fuel oil, LPG gibi yakıt seçeneklerinde öncelik değişmektedir. Son dönemlerde petrol fiyatlarındaki artış Fuel oil ve LPG seçeneklerinin maliyetlerini yükseltmiş, bu durum enerji üretiminde ağırlıklı olarak doğalgaz ve kömür kullanımını arttırmıştır.

Şekil 2.4 ile verilen Türkiye’de tekstil sektöründe enerji kullanımının yıllar bazında değişimi grafiğinde, Türkiye’de tekstil konfeksiyon ve deri sanayinde yer alan 500 TEP ve daha fazla enerji tüketen işletmelerin yıllar bazında enerji kullanımının değişimi görülmektedir. 1992 yılında; 865799 TEP olan toplam enerji

tüketimi 2000 yılına kadar artış göstermekte, 2001 yılında ise azalma eğilimi göstermektedir. Aynı durum yakıttan elde edilen enerji için de söz konusu olmaktadır. 2001 yılında; Türkiye'deki tekstil-konfeksiyon ve deri sanayinde gerçekleşen toplam enerji tüketimi 1165270 TEP, yakıttan elde edilen enerji tüketimi 826267 TEP, elektrik enerjisi tüketimi de 339000 TEP dir [26].



Şekil 2.4 Türkiye'de tekstil sanayi enerji kullanımının yıllar bazında değişimi [26]

3. ATIK ISI GERİ KAZANIMI

Endüstride yüksek ısı üreten ve tüketen birçok ünite de prosesin özelliğine göre mutlaka dışarı atılması gereken ve hiçbir yöntemle önüne geçilemeyen bir enerji oluşur. Bu şekilde birçok ülkede endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık %26 sı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde dış ortama salınmaktadır. Bu sıcak sıvı ve sıcak gaz atıkları önemli miktarda enerji potansiyeli taşımakta olup, ciddi enerji kayıpları oluşturmaktadır. Artık günümüzde farklı ısı geri kazanım teknikleri ve uygulamaları ile bu kayıp enerjinin bir kısmı geri kazanılabilmektedir. Uygun bir geri kazanım sistemi seçimi ve uygulanması sonucunda, yapılan yatırımların geri ödeme sürelerinin kısa olduğu görülmektedir. Bir atık ısı geri kazanımının verimli halde çalışabilmesi için öncelikle prosesin ve çalışma şartlarının çok iyi etüt edilmesi gerekmektedir [42].

Sanayide atık sıcak sıvı ve gaz akışkanlardan farklı ısı geri kazanım uygulamaları yapılmaktadır. Atık sıcak sıvılardan ısı geri kazanımı için yaygın olarak borulu ve plakalı ısı değiştiriciler kullanılmaktadır. Isı değiştiricileri atık sıcak akışkanın ısını sızdırmaz bir yüzeyle soğuk akışkana aktarılmasını sağlamaktadır. Sıcak gazlardaki ısıyı geri kazanmak için ise serpantinli ısı değiştiricileri, ısı borusu, ısı tekerleği, ısı pompası, gaz sıvı ısı değiştiricileri, atık ısı kazanları gibi cihazlar kullanılır.

Isı geri kazanım sistemlerinin yapılan yatırımları kısa sürede geri ödeyebilmesi için ısı geri kazanım sisteminin yüksek verimle düzenli bir şekilde çalıştırılabilmesi gerekmektedir.

Atık ısı geri kazanım sistem tasarımı ve uygulanmasında aşağıdaki yaklaşım izlenmelidir:

1-Atık ısıdan geri kazanılacak enerji potansiyelinin tespit edilmesi, fizibilite etüdü yapılması.

2-Geri kazanılacak enerji potansiyelinin nasıl değerlendirileceğinin tespit edilmesi.

3- Isı geri kazanımı uygulanacak prosesin iyi analiz edilmesi, işletme sırasında karşılaşılabilecek sorunlar hakkında çalışmalar yapılması sistemin sağlıklı çalışmasına etki edecek faktörlerin tespiti.

4- Geri kazanım sisteminin tasarlanması ve uygun ekipman seçimi.

3.1 Tekstil Endüstrisinde Atık Enerji Potansiyeli ve Kaynakları

Tekstil sektörü farklı üretim aşamalarında enerji gereksinimini elektrik ve ısı enerjisinden sağlamaktadır. Özellikle boyama, baskı, terbiye, apre gibi farklı üretim aşamalarında ısı enerjisi yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu ısı gereksinimi üretim prosesinin ihtiyacına göre genellikle sıvı ve katı yakıtlar yakılarak buhar ve kızgın yağ gibi akışkanlara ısı aktarımı yapılarak karşılanır. Bazı üretim aşamalarında ise ısı gereksinimi buhar, kızgın yağ gibi akışkanlara ihtiyaç duyulmadan doğrudan sıvı ve gaz yakıtların yakılması ile elde edilir.

Bir yakıttaki enerjiyi ısı şeklinde açığa çıkartarak bir akışkana aktarımını sağlayan ve basınç altında çalışan kazanlar tasarruf açısından son derece önemli kaynaklardır. Kazanlarda, hem yanma verimliliği iyileştirerek, hem de yanma sonucunda açığa çıkan atık gazlardan yararlanılarak enerji tasarrufu sağlanması mümkündür.

Yanma sonucunda mutlaka dışarı atılması gereken ve yakma sisteminin durumuna göre sıcaklığı ve debisi değişen atık gazlar oluşmaktadır. Bu atık gazlardan farklı metotlarla ısı geri kazanımı yapılabilmektedir. Yakma sistemlerinin bacalarından atılan ısı, ihtiyaca göre sıvı veya gaz akışkana ısı değiştiricileri vasıtasıyla aktarılabilir. Atık ısı, ihtiyaç durumuna göre yanma havası ön ısıtması, mekân ısıtması, sıcak su eldesi gibi farklı şekillerde değerlendirilebilmektedir.

Tekstil işletmelerinde atık sıcak gaz salınımı oldukça ciddi boyutlardadır. Buhar kazanları, kızgın yağ kazanları, ramöz makineleri sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin ortaya çıkardığı atık gazlar önemli bir tasarruf potansiyeli taşımaktadır. Örneğin baca gazı sıcaklığının en uygun düzeyde tutulabilmesi, ancak kaliteli bir buhar kazanının kapasiteye uygun olarak seçilmesi ile mümkündür. Duman borularının periyodik temizliği ve kazan suyu sertliğinin giderilmiş olması doğru bir kazan işletmeciliği için ön koşuldur. Bunlara rağmen yüksek baca gazı sıcaklığıyla kaybedilen enerji baca gazı yoluna yerleştirilecek baca gazı ısı geri kazanım sistemi ile kısmen geri kazanılabilir. Blöf suyunun taşıdığı enerjiden plakalı ısı değiştiriciler yardımı ile ısı geri kazanımı mümkündür. Ayrıca kondens suyunun taşıdığı flaş buhar kapasitesinden plakalı ısı değiştiriciler yardımı ile yararlanmak uygulanan bir yöntemdir.

Tekstil sektörünün birçok aşamasında yüksek sıcaklıkta sıvılar kullanılmaktadır. Tekstil fabrikalarında yıkama, boyama, apre işlemlerinde kullanılan sıcak su proses sonucunda atılmak üzere drenaj hattına verilir. Atılan sıvıların önemli bir miktarı yüksek sıcaklıktadır. Bir taraftan proseslerde kullanılacak suyun belirli bir sıcaklığa çıkartılması için enerji harcanırken, diğer yandan yüksek sıcaklıkta atık su dışarı atılmaktadır. Burada önemli olan atık sudaki ısının temiz kullanım suyuna aktarılabilmesidir. Atık su içerisinde kimyasal tuzlar, boyalar ve bazı enzimler bulunmaktadır. Yüksek sıcaklıkla beraber bu durum arıtma sistemlerinin sağlıklı çalışması için ciddi anlamda bir tehlike arz etmektedir. Bugün birçok ülkede yasalara göre atılan atık sıcak suyun soğutularak atılması zorunludur. Atık ısı geri kazanım sistemi ile enerji tasarrufu yapılırken, atık akışların çevreye verdiği zarar da en aza indirilebilmektedir.

4. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ

Isı değiştiricileri, farklı sıcaklıklarda iki veya daha fazla akışkan arasında ısı değişimini sağlayan cihazlardır. Genellikle akışkanlar birbirlerine karışmazlar ve aralarında ısı geçişini sağlayan bir cidar bulunur.

Isı değiştiricileri içinde yoğuşma ve buharlaşma gibi bir faz değişimi yoksa bu tip ısı değiştiricilerine, duyulur ısı değiştiricileri, faz değişimi meydana geliyorsa gizli ısı değiştiricileri adı verilir [43].

Isı değiştiricilerinde akışkanlar birbirleriyle karıştırılmadan ısı geçişinin doğrudan yapıldığı, genelde metal malzeme olan katı bir yüzeyle birbirinden ayrılıyorsa bu tip ısı değiştiricisine yüzeyle veya reküparatif ısı değiştiricisi denir. Isı geçişi doğrudan olmayıp ısı önce sıcak akışkan tarafından döner veya sabit bir dolgu maddesine verilerek depo edilir; daha sonra bu dolgu maddesindeki ısı soğuk akışkana verilirse, bu tip ısı değiştiricisine dolgu maddeli veya rejeneratif ısı değiştiricisi denir [43].

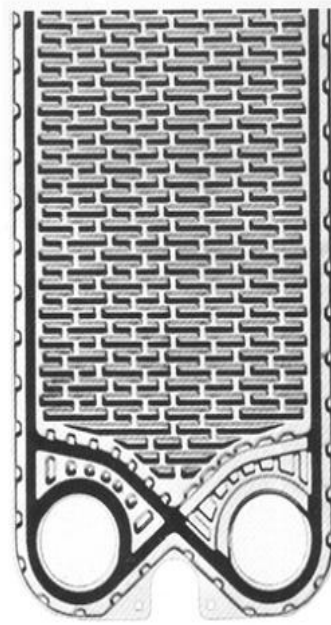
Isı değiştiricileri kullanım gayelerine göre, değişik konstrüksiyonlarda, kapasitelerde, boyutlarda ve tiplerde olabilmektedir. Çizelge 4.1 Isı değiştiricilerinin sınıflandırılması bir tablo halinde verilmiştir [43].

Çizelge 4.1 Isı değiştiricilerinin sınıflandırılması [43]

<p>1. Isı Değişim şekline göre sınıflama</p> <p>a. Akışkanların doğrudan temaslı olduğu ısı değiştiricileri</p> <p>b. Akışkanlar arasında doğrudan temasın olmadığı ısı değiştiricileri</p>
<p>2. Isı geçiş yüzeyinin ısı geçiş hacmine oranına göre sınıflama (kompaktlık)</p> <p>a. Kompakt olmayan ısı değiştiriciler</p> <p>b. Kompakt ısı değiştiriciler</p>
<p>3. III. Akışkan sayısına göre sınıflama</p> <p>a. İki akışkanlı ısı değiştiriciler</p> <p>b. Üç akışkanlı ısı değiştiriciler</p> <p>c. n adet akışkanlı ısı değiştiriciler</p>
<p>4. Isı geçişi mekanizmasına göre sınıflama</p> <p>a. İki tarafta da tek fazlı akış olan ısı değiştiriciler</p> <p>b. Bir tarafta tek fazlı, diğer tarafta çift fazlı akış olan ısı değiştiriciler</p> <p>c. İki tarafta da çift fazlı akış olan ısı değiştiriciler</p> <p>d. Taşınımla ve ışınımla ısı geçişi olan ısı değiştiriciler</p>
<p>5. Konstrüksiyon özelliklerine göre sınıflama</p> <p>a. Borulu ısı değiştiriciler</p> <p>a. Düz borulu ısı değiştiriciler</p> <p>b. Spiral borulu ısı değiştiriciler</p> <p>c. Gövde borulu ısı değiştiriciler</p> <p>b. Levhalı ısı değiştiricileri</p> <p>i. Contalı levhalı ısı değiştiricileri</p> <p>ii. Spiral levhalı ısı değiştiricileri</p> <p>iii. Lamelli ısı değiştiricileri</p> <p>c. Kanatlı yüzeyli ısı değiştiricileri</p> <p>i. Levhalı kanatlı ısı değiştiriciler</p> <p>ii. Borulu kanatlı ısı değiştiriciler</p> <p>d. Rejeneratif ısı değiştiricileri</p> <p>i. Sabit dolgu maddeli rejeneratörler</p> <p>ii. Döner dolgu maddeli rejeneratörler</p> <p>1. Disk tipi</p> <p>2. Silindir tipi</p> <p>e. Karıştırmalı kaplar</p>
<p>6. Akıma göre sınıflama;</p> <p>a. Tek geçişli ısı değiştiriciler</p> <p>i. Paralel akımlı ısı değiştiriciler</p> <p>ii. Ters akımlı ısı değiştiriciler</p> <p>iii. Çapraz akımlı ısı değiştiriciler</p> <p>b. Çok geçişli ısı değiştiriciler</p> <p>i. Çapraz – ters ve çapraz – paralel akımlı ısı değiştiriciler</p> <p>ii. Çok geçişli gövde – borulu ısı değiştiriciler</p> <p>iii. n adet paralel levha geçişli ısı değiştiriciler</p>

5. PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ

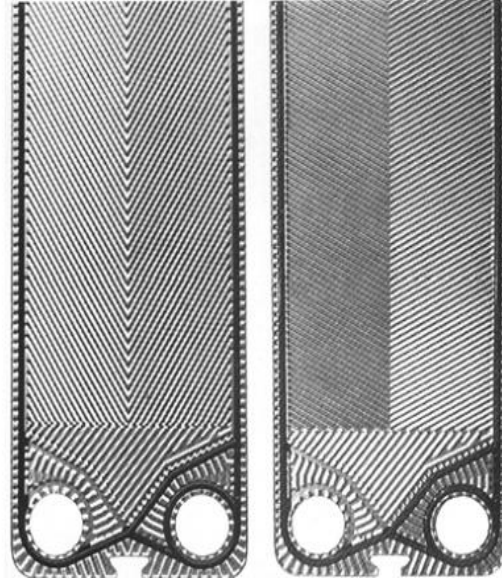
Plakalı ısı değıştirciler aynı veya farklı özelliklerde iki akışkan arasında akışkanların birbirlerine karışmadan hızlı ve yüksek etkinlikte ısı transferini sağlayan cihazlardır. Plaka tipi olarak adlandırabileceğimiz ısı değıştircileri için ilk patentler Almanya'da 1800'ler sonlarında alınmıştır. İlk ticari plaka ısı değıştircisi (makine ile üretilmiş pirinç plakalar) 1923'te İngiltere'de Dr. Richard Seligman tarafından geliştirilmiştir. İlk plaka ısı değıştircisi, o zamanlar yaygın ve tehlikeli bir hastalık durumunda olan tüberküloz ile savaşabilmek amacıyla sütün çabuk soğutulması için geliştirilmiştir. 1930'larda plakalar preslenerek üretilmeye başlanmıştır. Şekil 5.1 de görülen plakalar yıkama tahtası biçimindediler. Bu plakaların az miktarda temas noktaları vardı ve bundan dolayı oldukça kalın malzemedен (0,9-1,2 mm) yapılmışlardı ve bu plakalar çok yüksek basınçlarda kullanılamıyorlardı [20].



Şekil 5.1 Yıkama tahtası şeklinde plaka [20].

Şekil 5.2 de görülen balık kılığı desenli plakalar 1950 başlarında İsveç şirketi Rosenblads Patenter tarafından geliştirilmiştir. Bu plakalar daha çok sayıda temas noktası olduğundan daha iyi mekanik stabilite göstermektedir. Bu gelişmeyle birlikte plakalar daha ince (0,6 mm) yapılabilir hale gelmiştir. Plakaların temas noktalarının artması sebebiyle daha yüksek basınçlarda kullanım imkânı doğmuştur.

Balık kılıcı plakalar son 50 yıl içinde çok geliştirilmiş olup, plakalar günümüzde 0,4 mm inceliğe kadar üretilmektedir [20].



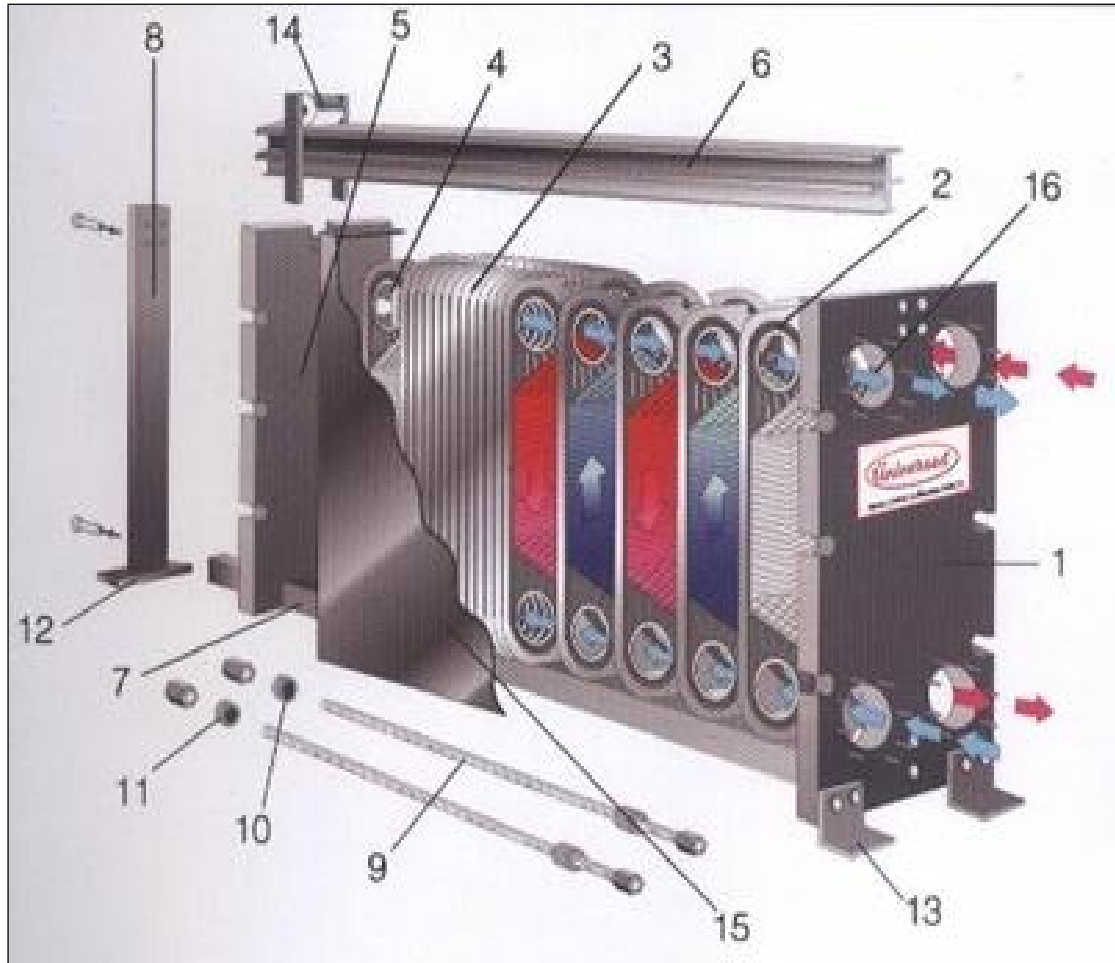
Şekil 5.2 Balık kılıcı desenli plakalar [20]

1980'lerin başlarında pirinç kaynaklı plakalı ısı değiştiricileri geliştirilmiştir. Bunlar, balık kılıcı plakaların tüm temas noktalarında pirinç kaynakla bir araya getirilerek oluşturulmuştur. Bu tip ısı değiştiriciler özellikle çok soğutma uygulamalarında kullanılmaktadır, plakaların sökülememesinden dolayı kullanım alanları sınırlıdır [20].

5.1 Plakalı Isı Değiştiricisi Konstrüksiyonu

Şekil 5.3 de görüldüğü gibi akışkanları birbirinden ayıran ve ısı değiştirmeye yarayan plakalar, çelikten yapılmış ön ve arka baskı plakaları arasında, alt ve üst taşıyıcı barlar üzerine saplamalar vasıtasıyla sıralanarak monte edilirler. Plakalar tek parçadır ve preslenerek imal edilmişlerdir. Plakaların üzerinde, akışı sağlamak için her biri bir köşede bulunan dört delik yer alır. Contalı tip ısı değiştiricilerinde akışkanların karışmasını önlemek ve ısı transfer kanallarını oluşturmak amacıyla lastik esaslı contalar, plakanın etrafındaki conta yuvasının içinde yer alır. Giriş ve çıkış bağlantı ağızları, genellikle ön baskı plakası üzerinde yer alır. Plakalı ısı değiştiricilerin bu yapısı montaj, demontaj, bakım ve temizlik gibi işlemlerin kolaylıkla yapılmasını sağlamaktadır. Şekil 5.3'de görülen plakalı ısı değiştiricisinde, 1 numara Başlangıç baskı plakasını, 2 numara Başlangıç plakasını, 3 numara ısı

değiştirci plakasını, 4 numara son plakayı, 5 numara hareketli baskı plakasını, 6 numara üst kılavuzu, 7 numara alt kılavuzu, 8 numara Arka desteği, 9 numara bağlantı civatasını, 10 numara rondelayı, 11 numara somunu, 12 numara destek ayağını, 13 numara gövde ayağını, 15 numara koruma sacını, 16 numara ısı değiştirci tesisat bağlantısını göstermektedir.



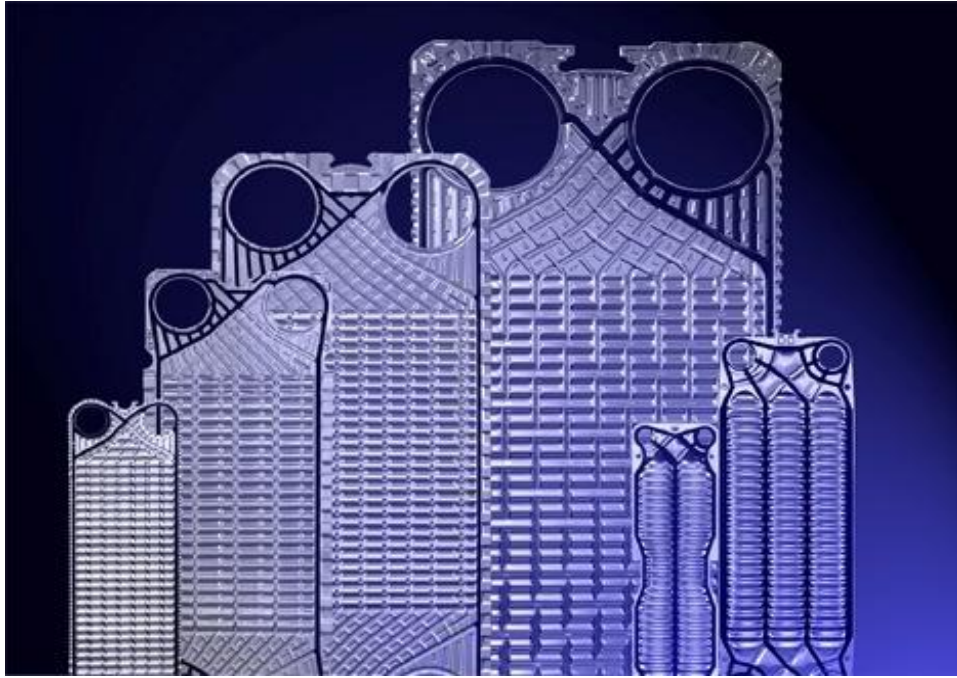
Şekil 5.3 Plakalı ısı değiştircisi konstrüksiyonu [48]

Plakalı ısı değiştircileri için en önemli iki bileşen, ısı transferini sağlayan ve akışkanları birbirlerinden ayıran plakalar ile ısı değiştircisi contalı tip ise plaka aralarında sızdırmazlığı sağlayan contalardır. Plakalı ısı değiştircilerinin çalışma limitlerini belirleyen en önemli unsur bu iki bileşendir. Bu bileşenler aynı zamanda değiştircinin kullanım ömrünü ve ilk maliyetini de belirlemektedir [18].

Plakalı ısı değiştiricilerinin temel elemanlarına ait özellikler aşağıda ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

5.1.1 Plaka

Kullanılan akışkana gore ve istenen maksimum çalışma basıncına uygun plaka malzemesi seçimi çok onemlidir. Plakalı ısı değiştiricilerinde seçilecek plaka malzemesi akışkanın fiziksel ve kimyasal durumuna gore seçilmektedir. Bu da plakalı ısı değiştiricilerinin korozif akışkanların kullanımında buyok avantaj sağlamaktadır. Plakalı ısı değiştiricilerinde levha malzemesi olarak karbonlu elik, aluminyum, bakır ve bakır alaşımları, paslanmaz elik, nikel, titanyum ve molibden alaşımları kullanılabilir [43]. Şekil 5.4 Plakalı ısı değiştiricilerinde kullanılan farklı boyutlardaki plaka orneklerini ifade etmektedir.



Şekil 5.4 Plakalı ısı değiştiricilerinde kullanılan farklı boyutlardaki plaka ornekleri [49]

5.1.2 Conta

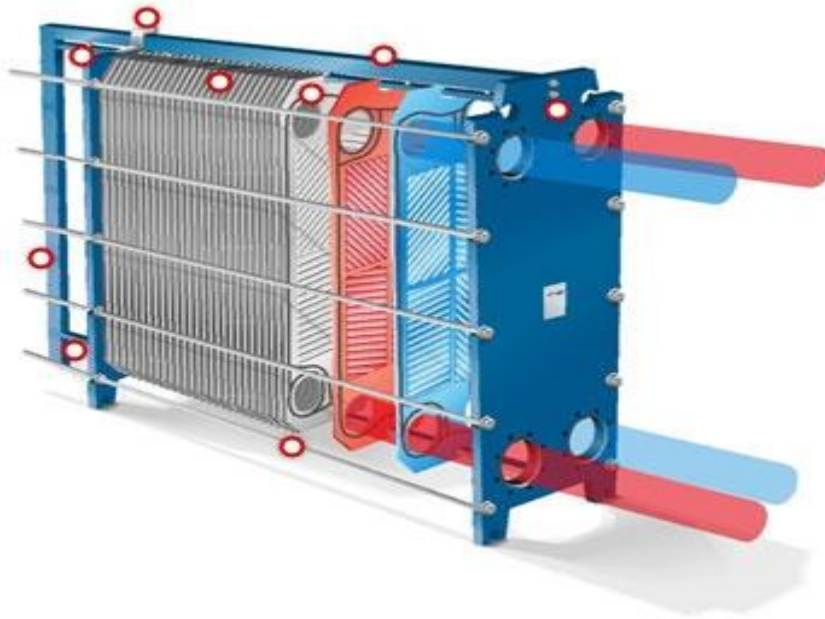
Conta ısı değiştiricisi içerisinde akışkanları birbirinden ayıran ve kanallardan geçiş yapmasını sağlayan sızdırmazlık elemanıdır. Her bir plakanın çevresinde ve giriş-çıkış deliği etrafında conta yuvalarına yerleştirilmiş lastik esaslı malzemedir. Plakalı ısı değiştiricilerinde yaygın olarak kullanılan conta malzemeleri nitril, viton,

etilen, propilen ve silikondur. Contalı ısı değiştircilerinde seyrek de olsa görülebilen conta arızası durumlarında sıvının birebirlerine karışmaz dışarıya sızıntı yapar.

Contalar zaman içinde yıpranırlar ve belirli periyotlar da değişmesi gerekir. Contaların değişim süreleri, çalışma basıncı, işletme sıcaklığı ve akışkanın korozif özelliklerine göre değişmektedir.

5.2 Plakalı Isı Değiştircilerinin alışma Prensibi

Plakalı ısı değiştircilerinde, Şekil 5.5 de görüldüğü gibi plakaların üzerinde oluşturulan akış kanallarından birbirleriyle karışmaksızın geçen akışkanlar arasında, akış esnasında sıcaklık farkından dolayı ısı transferi gerçekleşmektedir.



Şekil 5.5 Plakalı ısı değiştircisinin çalışma prensibi [50]

Plakalı ısı değiştircilerinin; plaka boyutu ve plaka sayısı, içinden geçen akışkanın debisine, giriş-çıkış sıcaklık değerlerine, fiziksel özelliklerine, basıncı düşümlerine ve istenen maksimum mukavemet değerine göre belirlenmektedir. Plakalar üzerindeki simetrik veya asimetric dizaynlar, akışkanların türbülanslı bir Şekilde akmasını sağlayacak yapıda imal edilmeleri, yüksek ısı transfer katsayılarının elde edilmesini sağlamaktadır. Plakalı ısı değiştircilerinde, plakalar arasında oluşturulan temas noktaları, plaka paketinin istenen mukavemete ulaşmasını sağlamaktadır.

5.3 Plakalı Isı Değiştirici Çeşitleri

Uygulamada plakalı ısı değiştiricileri yapısal özelliklerine göre aşağıdaki gibi de sınıflandırılabilir [51]:

1. Contalı tip plakalı ısı değiştiricileri
2. Lehimli tip plakalı ısı değiştiricileri
3. Kaynaklı tip plakalı ısı değiştiricileri

5.3.1 Contalı tip plakalı ısı değiştiriciler

Sızdırmazlığı sağlamak ve ısı transfer kanallarını oluşturmak amacıyla lastik esaslı contalar, plakanın etrafındaki conta yuvasının içinde yer alır. Contalı plakalı ısı değiştiricilerinde limit faktör contadır. Bu yüzden doğru conta malzemesini seçmek çok önemlidir. Çok yüksek değerlere ulaşan termal performans plakalı ısı değiştirgeçlerinin en belirgin özelliğidir. Gövde-boru tipi ısı değiştiricilerinde karşılaştırıldığında daha yüksek ortalama ısı transfer katsayısı değerleri elde edilir. Bu yüzden iki akışkan arasındaki çok düşük sıcaklık farklılıklarında da sistemin oldukça verimli çalışmasını sağlar. Fakat bu tip değiştiricilerin yüksek ısı performansının yanında yüksek basınç kaybı gibi önemli bir dezavantajı da vardır.

5.3.2 Lehimli tip plakalı ısı değiştiriciler

Şekil 5.6 daki gösterilen plakalı değiştiriciler kompakt, hafif ve ekonomiktirler. Sızdırmazlık, vakum altında yapılan lehim ile, bakır ya da nikel malzeme kullanılarak sağlanır. Plaka malzemesi olarak genellikle paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Çalışma sıcaklıkları ve basınçları contalı plakalı ısı değiştiricilere göre çok daha yüksektir.

Plakalar birbirlerine lehimle bağlanıldığı için plaka ilavesi ile kapasite artırımı imkânı yoktur. Plakaların değiştirilememesi ve ısı değiştiricinin temizlenememesi dezavantajdır. Lehimli tip plakalı ısı değiştiricileri, akışkanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ısı değiştiricinin çalışma limitlerinde olduğu uygulamalarda kullanılabilir. Özellikle ısıtma ve soğutma sistemleri ve ısı pompalarında, yaygın biçimde kullanılırlar.



Şekil 5.6 Lehimli Tip Plakalı Isı değiştirici [52]

5.3.3 Kaynaklı tip ısı değiştiriciler

Şekil 5.7 de görölen kaynaklı plakalı ısı değiştiricileri, contalı plakalı ısı değiştiricilerinin ve lehimli plakalı ısı değiştiricilerinin kullanım sınırının aşıldığı uygulamalar için geliştirilmiştir. Bu tip plakalı ısı değiştiricileri yüksek sıcaklık ve yüksek basınç uygulamalarında tercih edilmektedirler. Plakalar birbirine kaynakla birleştirilmişlerdir. Plaka paketi formu verildikten sonra lazer, MAG veya TIG kaynağı ile birbirine kaynatılarak oluşturulur ve hiçbir conta kullanılmadan monte edilir.



Şekil 5.7 Kaynaklı Tip Plakalı ısı değiştiricileri [53]

5.4 Plakalı Isı Değiştircilerinin Avantajları

Birçok endüstriyel sektörde, farklı uygulamalarda yaygın olarak kullanılan plakalı ısı değiştircileri sahip oldukları avantajları sayesinde diğer tip ısı değiştircilere göre daha fazla tercih edilmektedirler. Aşağıda günümüzde kullanım alanları son derece yaygınlaşan plakalı ısı değiştircilerinin uygulamada sağladıkları avantajları açıklanmaktadır.

1. Akışkanların birbirine karışmasını önleyen tasarım:
Plakalı ısı değiştircisinde aralarında ısı transferi gerçekeşecek akışkanların birbirine karışması, özel tasarımı sayesinde tamamen önlenmiştir. Herhangi bir sızdırmazlık aksaklığı durumunda, akış atmosfere açık olan kısımdan direkt olarak dışarı doğru gerçekeşmekte ve gözle tespit olanağı sağlamaktadır.
2. Kompakt tasarımı sayesinde düşük ağırlık ve küçük montaj hacmi:
Plakalı ısı değiştircilerinde küçük hacimlerde büyük ısı transfer yüzeyleri elde edilebildiğinden diğer ısı değiştircilerine göre daha küçük hacim ve ağırlıkta imal edilebilmektedir.
3. Yüksek verim:
Plakalı ısı değiştircilerinde, özel tasarımlı plakalar sayesinde oluşturulan akış kanallarında, yüksek türbülanslı akış oluşturulmakta olup yüksek ısı transfer katsayılarına ulaşılmasını sağlamaktadır
4. Kolayca kapasite artırımının gerçekeştirilebilmesi:
Plakalı ısı değiştircilerinin modüler yapısından dolayı ısı transfer plakası eklenerek kapasite artırımı gerçekeştirilebilmektedir.
5. Düşük yatırım maliyeti:
Plakalı ısı değiştircilerinin kompakt tasarımları ve yüksek verimlerinden ve imalat teknolojilerinden dolayı maliyetleri diğer tip ısı değiştircilerine göre düşüktür.
6. Daha düşük bakım maliyetleri:
Plakalı ısı değiştircilerinde, herhangi ek alana ihtiyaç duymaksızın, sadece saplamların sökölmesiyle, ısı transfer plakalarına kolayca ulaşılarak, bakım yapılabilir. Borulu tip ısı değiştircilerinde ise boru demetini dışarı alabilmek için kullanılan hacim kadar ek bir alana ihtiyaç duyulur.

5.5 Plakalı Isı Değiştiricilerinin Dezavantajları

Birçok olumlu özelliklerinin yanı sıra bazı durumlarda plakalı ısı değiştiricilerinin kullanımında dezavantajlar ortaya çıkabilmektedir. Kullanım amacına göre oluşan ve sistem tasarımında dikkat edilmesi gereken bu dezavantajlar aşağıda sıralanmaktadır:

1. Plakaların düzlemsel oluşu ve yapısı nedeniyle yüksek basınçlara çıkılamaz. Özellikle contalı tiplerde conta malzemeleri ısı değiştiriciye basınç ve sıcaklık sınırlaması getirir.
2. Plakalar arası mesafeler sınırlı olduğundan özellikle sıvılar içerisindeki partiküller sistemi bloke edebilir. Bu durum kısmen özel filtreleme sistemleri ve geniş plaka aralıklı ısı değiştiricilerle giderilebilmektedir.
3. Contalı tip ısı değiştiricilerinde plakalar korozif akışkanlara göre seçilebilmelerine rağmen contalar uygun olmayabilir.
4. Contalı tiplerde, contalar zamanla özelliklerini kaybedeceklerinden belirli sürelerde değiştirilmeleri gerekmektedir.
5. Lehimli ve kaynaklı tip plakalı ısı değiştiricilerinde plakalar sökülemediği için sadece temiz akışkanlarla kullanılabilir.

5.6 Plakalı Isı Değiştirici Tasarımında Basınç Kayıplarının Önemi

Plakalı ısı değiştiricilerinde, plaka üzerinde yer alan şekiller, tesisattaki akışkanın akışına karşı bir direnç oluşturacağı için, sistemde dikkate alınması gereken basınç kaybı meydana getirecektir. Plakalı ısı değiştiricilerin tasarımlarında önemli bir yere sahip olan basınç kayıpları, plakalı ısı değiştiricilerin yüzey alanını ve buna bağlı olarak da maliyetleri doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, sistem tasarımı yapılırken, ısı değerleriyle beraber, istenen maksimum basınç kayıpları da verilmeli ve sonuç buna göre irdelenmelidir.

5.7 Plakalı Isı Değiştiriciler ile Borulu Isı Değiştiricilerinin Karşılaştırılması

Birçok endüstriyel uygulamada en yaygın olarak kullanılan ısı değiştiriciler borulu tip ısı değiştiricileri ile plakalı tip ısı değiştiricileridir. Çizelge 5.1'de plakalı ve borulu ısı değiştiricilerinin karşılaştırması verilmektedir.

Çizelge 5.1 Plakalı Isı değiştirciler ile borulu ısı değiştircilerin karşılaştırılması [54].

PLAKALI ISI DEğİşTİRİCİLER	BORULU ISI DEğİşTİRİCİLER
Verim yüksektir.	Verim düşüktür.
1°C lik yaklaşımı başarabilir.	5- 10 °C lik sıcaklık yaklaşımını başarabilir.
Sadece saplamaların sökölmesi ve arka baskı plakasının destek kolonuna doğru itilmesi yeterlidir.	Boru demetini çıkarmak için, kendi boyu kadar fazladan yere ihtiyaç vardır.
Dizaynından dolayı, iki akışkanın birbirine karışması imkansızdır.	Akışkanlar, hem kaynak yerlerinden hem de borulardan karışabilir.
Onarımı ve bakımı çok kolaydır.	Onarım için, sökölmesi çok zor olup, demetinin dışarı alınması gerekmektedir.
Yüksek türbölstan dolayı, kirlenme hızı daha azdır.	3-10 kata varan daha yüksek kirlenme hızına sahiptir.
Plaka eklenerek kapasite artırımı yapmak mümkündür.	Kapasite artırımı yapmak mümkün değildir.
Isı kaybı azdır. İzolasyon gerektirmez.	Isı kaybının yüksekliğinden dolayı izolasyon gerektirir.
Yüksek basınçlara (<40 bar) dayanıksızdırlar.	Yüksek basınçlara (>40 bar) dayanıklıdırlar.

Birçok açıdan plakalı ısı değiştircileri borulu tipteki olanlara göre üstünlük taşımaktadır. Ancak yüksek basınç altında çalışan sistemlerde borulu ısı değiştircilerinin kullanımı uygun olmaktadır.

6. LİTERATÜR ÖZETİ

Stehlík ve Wadekar (2002), çalışmalarında endüstriyel alanda ısı transfer uygulamalarında tasarımcılara yön vermek amacı ile farklı stratejiler ortaya koymuşlardır. Çalışmada, konvansiyonel ve spiral borulu ısı değiştircilerinin ısı transfer mekanizmalarına yönelik bilgi vermiş, ekonomik analizlerine değinerek optimum tasarım durumlarını tartışmışlardır [1].

Kavak (2004), çalışmasında çeşitli ülkelerin enerji verimliliği çalışmalarındaki başarılı uygulamaları, verimlilik uygulamalarına öncülük eden bazı ülkelerin, kişi başına enerji tüketimi ve enerji yoğunluğu gibi temel göstergeler doğrultusunda Türkiye'nin enerji durumunu incelemiş, Türkiye'nin çeşitli sektörlerinde enerji verimliliği alanında yapılan çalışmalar ve yapılması gerekenleri ele almıştır. 1995 ve 2002 yılları arasında temel imalat sanayi sektörlerindeki genel enerji tüketimi ve enerji yoğunluğu eğilimleri değerlerini incelemiştir. İncelemenin sonuçlarını kullanarak, Türkiye'nin imalat sanayindeki enerji tasarruf potansiyeli finansal açıdan değerlendirmiştir. Türkiye'de enerji verimliliği için alınması gereken tedbirler farklı sektörler için sıralamıştır [2].

Tarakçıoğlu (2006), şişecam Otoprodüktor Grubu altında bulunan dizel motorlu kojenerasyon ünitesi olan Çayırova Bölge Enerji Santrali ve bileşik güç çevriminde çalışan Trakya Bölge Enerji Santrallerinin atık ısı çıkışları, çıkan atık ısıdan enerji elde edilme prosesleri ve bu enerjilerin kullanımlarını incelemiştir. Bunlara ek olarak ısı geri kazanım proseslerine ilave öneriler geliştirmiştir. Çalışmasında; atık ısının geri kazanılması ve atık ısının geri kazanılmasını sağlayan sistemler ile kojenerasyon ve kombine çevrimlerde atık ısının geri kazanılmasını örnek işletmelerde incelemiştir. Ayrıca, ısı enerjisinin geri kazanılmasında kullanılan farklı tipteki ısı değiştircileri tanıtılarak tüm yönleriyle karşılaştırmıştır. Bunun yanı sıra atık ısının geri kazanımıyla elde edilen enerjiden sanayide faydalanma alanlarını inceleyerek verimlilik ve uygulanabilirlik alanlarını açıklamıştır [3].

Varol (1991), çalışmasında dönel rejeneratif tip ısı değiştircilerinin klima tesislerinde kullanılmasıyla yapılacak enerji geri kazanımın araştırmış rejeneratör matrisi ile birlikte dönen bir gözlemci içim geğerli kısmı türevli denklemler türetmiştir. Bu denklemleri çözmek için bir bilgisayar programı hazırlamıştır. Elazığ

ilinde bulunan %25 temiz hava kullanımlı 20 000 m³/h havalandırma kapasiteli bir klima tesisi için enerji geri kazanım hesabını incelemiştir. Sadece duyulur ısının geri kazanımı ile yaz mevsimi için 7859 kW, kış mevsimi için de 85 903 kW lık bir enerji tasarrufu ve yatırımın 1,5 yılda amorti edileceğini öngörmüştür [4].

Selbaş (1992), çalışmasında atık ısı enerjisinden yararlanma yöntemlerini ve cihazlarını açıklamış, atık ısı geri kazanım sistemlerini incelemiş ve geri kazanım ekipmanlarını ayrıntılı karşılaştırmıştır. Ayrıca bir klima santraline ısı tekerleği eklendiğinde geri kazanılan termal enerjiyi hesaplamıştır. Yapılan hesap sonucunda 643378 kWh/yıl bir enerji tasarruf elde etmiştir. Yapılan hesaplamada sistemin kendisini 1,1 yılda geri ödediğini hesaplamıştır [5].

Rajavel ve Saravanan (2007), çalışmalarında spiral plakalı ısı değiştiricilerinde kullanılan elektrolitler için taşınım ısı transfer katsayısının araştırılmasına yönelik deneysel çalışmalarda bulunmuşlardır. Deneylerinde sıcak akışkana ait kütleli debi değerini sabit tutarak, soğuk akışkanın farklı kütleli debi, sıcaklık ve basınç değerlerinde gerçekleştirmişlerdir. Değişken parametrelerin ısı değiştiricisi performansına etkisini incelemiş, pratik uygulamalarda kullanılmak üzere Nusselt sayısına yönelik bir korelasyon türetmişlerdir [6].

Güngör (2003), çalışmasında iklimlendirme, havalandırma ve egzoz sistemlerinde kullanılan ısı değiştiricilerini incelemiş, problemleri, üstünlükleri, kontrol sistemleri, verimlilikleri hakkında bilgi vermiştir. Ayrıca iklimlendirme uygulamalarında enerji geri kazanım yöntemleri üzerinde durmuştur [7].

Durmaz (2007), çalışmasında ısı değiştiricilerinin tanımları, sınıflandırılması, çalışma ve kullanım alanları ile ilgili bilgilere yer vermiştir. Isı değiştiricilerin hesaplarında kullanılan LMTD ve ϵ -NTU metotlarını incelemiştir. Ayrıca geometrik özellikleri birbirinin aynı olan iki kanatlı yüzeyli ısı değiştiriciden oluşan atık ısı geri kazanımı sisteminin, ısı hesaplarını Visual Basic Net'te yazdığı bilgisayar yardımıyla incelemiştir. Yazdığı programla örnek hesaplamalar yapmıştır ve bunlara çalışmasında yer vermiştir [8].

Özsoy (2005), çalışmasında ısı borularıyla çeşitli sistemlerden atılan baca gazından ısı geri kazanımı amaçlamıştır. Baca gazlarından suya ısı geri kazanım sağlamak amacıyla, gaz-su tipi IBIGK sistemi deneysel olarak incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda, ısı borusu eğim açısının sıfır derece olduğu konumda transfer

edilen ısının, diğer eğim açılara oranla daha az olduğunu görmüştür. 15° ile 90° arasında çalışılan eğim açılarında transfer edilen ısı akısında dikkate değer bir değişimin olmadığını gözlemlemiştir. Isı borusundan yatay konumunda transfer edilen ısı miktarının az olması nedeniyle, evaporatör ve kondenser yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının arttığını görmüştür. Kondenser bölgesi ısı transfer katsayısının değişimini 500–2000 W/m² °C arasında bulmuştur [9].

San vd. (2009), çalışmalarında atık ısı geri kazanımı için karşı akışlı dikdörtgen tüpler içeren serpantinli ısı değiştiricisinin ısı transfer performansını incelemiştir. Analizlerini, kanal ve tüp akışları karışan ve karışmayan akışkan durumlarında gerçekleştirmişlerdir. Isı değiştiricisi etkinliğini, aktarım birim sayısı (NTU) ısı kapasite oran orantısı ve dikdörtgen tüp sayısına bağlı olarak değerlendirmiş, çalışmalarında ısı transferine yönelik korelasyonlar ortaya koymuşlardır [10].

Benli vd. (2006), çalışmalarında yüzey geometrileri farklı iki plakalı ısı değiştiricileri üzerine çalışmışlar, yüzey geometrilerinin ısı transferi ve sürtünme katsayısı üzerine etkilerini deneysel olarak incelemiştir. yapılan deneyler ve hesaplamalar sonucu plakalar arası boşluğun ve plaka yüzey şeklinin ısı transferi üzerine etkili olduğunu görmüşlerdir. Yıldız yüzey şekline sahip ısı değiştiricisinde ondülün yüzey şekline sahip ısı değiştiricisine göre ısı transferinde %12-%65 arasında bir iyileşme sağladığı ancak dalgalı yüzeyin ilave türbülans yaratması nedeniyle basınç kayıp katsayısında %200-%320 arasında bir artış tespit etmişlerdir [11].

Kılıç (2008), plakalı ısı eşanjörlerinin ısıtma ve soğutma uygulamaları için optimum çalışma şartlarının araştırılması ile ilgili çalışmada belirli debi ve sıcaklık değerleri için plakalı ısı eşanjöründeki sistemin optimum çalışma şartları tespit etmiştir. Yapılan analizde, ısıtma amaçlı ve kapalı sistem olarak çalışan deney düzeneğindeki 0,16 m² ısı transfer alanına sahip plakalı ısı eşanjöründe optimum çalışma şartları, sıcak su giriş sıcaklığı 35°C, debi değeri ise 0,95 m³/h olarak belirlemiştir. Ayrıca yine plakalı ısı eşanjörüne giren debi miktarı 0,67 m³/h'den 0,95 m³/h'e çıkarıldığında beklendiği gibi ısı transferi miktarının yükseldiğini, fakat plakalı ısı eşanjörüne giren debi miktarı 1,16 m³/h'e çıkarıldığında ısı transferi miktarının azaldığını tespit etmiştir [12].

Gut ve Pinto (2004), plakalı ısı değiştiricilerinin dizaynı üzerine çalışmalar yapmışlardır. Temel amaçları ve ısı değiştiricilerin performansı üzerindeki yapılandırma etkisini incelemek için daha fazla yapılandırma optimizasyonu için bir yntem geliştirmektedir. Isı transfer alanı, kanal sayısı, basınç düşümü ,akış hızı,ısılı iletkenlik ısılı ve hidrolik model olmak üzere 6adet parametre belirlemişlerdir [13].

şencan vd. (2010), Isıtma ve soğutma uygulamalarında kullanılan plakalı ısı eşanjrlerinin performans karakteristiklerini belirlemeyi amaçlamışlar ve bir deney seti kurmuşlardır. Sistemleri ısıtma malı kapalı sistem, ısıtma amaçlı açık sistem,soğutma amaçlı kapalı sistem, soğutma amaçlı açık sistem çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Analizlerde eşanjrden farklı sıcaklı ve debi değerlerinde yapılmıştır. Akışkanlar arasındaki ısı transferi miktarı akışkanın debi değerinin ve sıcak su giriş sıcaklığın artmasıyla arttığı fakat debi miktarının optimum değerden fazla artırılması durumunda eşanjr de ısı transfer miktarının azaldığını ispat etmişlerdir [14].

Dwivedi ve Das (2006), Farklı akış varyasyonları için plakalı ısı değiştiricileri üzerine çalışma yapmışlardır. Bu alışma için paslanmaz elik plakalı nitril contalı bir ısı değiştirici ve 42 kW lık bir sıcak su deposu ile bir deney düzeneği üzerine çalışma yapmışlardır. alışmalarında farklı akış karakteristiklerinde ısı değiştirici performansı üzerindeki etkilerini incelemişler, NTU ve ısılı kapasite oranı ile ilgili deneysel ve teorik olarak elde ettikleri verileri karşılamışlardır. Elde edilen tüm değerler için belirsizlik analizi yapmışlardır [15].

Arsenyeva vd. (2009), çalışmalarında çok geçişli plakalı ısı değiştiricileri için optimum tasarım üzerinde durmuşlar, farklı boyut ve geometriler için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Plakalar arasındaki kanalların farklı geometriler için ısılı ve hidrolik performanslarını ortaya koymak için ısı transfer katsayılarını model parametresi olarak dikkate almışlar, plaka üreticileri için bir bilgisayar yazılımı ortaya koymuşlardır [16].

Singh ve Kachhwaha (2010), çalışmalarında çift geçişli karşı akımlı plakalı ısı değiştiriciler için bir ısı transferi matematik modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelde, ısı transfer katsayısı, basınç düşümü ve ısı değiştirici parametreleri arasındaki ilişkiyi dikkate alarak termo-hidrolik bir formülasyon sunmuşlardır. Yaptıkları analizlerde, basınç düşümüne bağlı olarak Reynolds sayısındaki, kütlesel

debiye bağı olarak basınç düşümü ve ısı transfer katsayısındaki değişimi incelemişlerdir. Kuramsal ve deneysel analizlerinin uyum içinde olduğu sonucuna varmışlardır [17].

Danışman (2010), çalışmasında eşanjör dizayn parametrelerinden etkinlik değerinin, aktarım birim sayısı ve ısı kapasite oran orantısı ile olan bağıntısı deneysel olarak incelemiştir. Çalışmaya uygun deney seti oluşturarak, çeşitli akış şartlarında elde edilen sonuçları listelemiştir. Deneysel esnasında akışkanların giriş ve çıkış sıcaklıkları ve diğer değişkenler oluşturulan formülasyon ile bu sıcaklık değerlerine göre hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafik ortama dökülmüş, teorik değerlerle karşılaştırılarak yorumlanmıştır [18].

Gut vd. (2004), plakalı ısı değiştiriciler için geliştirilmiş bir korelasyon türetmeyi hedeflemişlerdir. Yapılan çalışmada Armfield FT43 tip paslanmaz çelik plakalı bir ısı değiştirici kullanılmıştır sıvı içinde saf su seçilmiştir. termal modelleme için farklı konfigürasyonlarda iki farklı yaklaşımda veriler alınmıştır. Elde edilen sonuçlar analiz edilip daha önce yapılan çalışmalarla da karşılaştırılmıştır ve bu modelleme bir örnekle açıklanmıştır [19].

Vestregen (2003), çalışmasında plakalı ısı değiştiricilerin kullanımını ve jeotermal uygulamalarını incelemiş plakalı ısı değiştiricilerin İcadından günümüze kadar olan geçmişinin kısa bir özetini vermiştir. Plaka ısı değiştiricilerin elemanlarını, çalışmasını ve jeotermal uygulamalarını açıklamıştır Ayrıca Plaklı ısı değiştiricilerinin termodinamik olarak ta analizini gerçekleştirmiştir. Isıl yaklaşımla yatırım maliyetinin nasıl değiştiği hakkında örnekler vermiştir [20].

Can (1995), Bursa bölgesinde tekstil ve diğer sanayi kollarında atık akışkanlardan elde edilebilecek ısı geri kazanımın potansiyelini ve ekonomikliğini ortaya çıkartılmasına yönelik çalışmasında 7 adet Boyahane işletmesinde yapılan çalışma neticesinde bir işletmede 476 ton/yıl fuel oil tasarruf potansiyeli olduğu toplam 190 adet işletmede 90440 ton/yıl fuel oil eşdeğeri enerji geri kazanabileceğini tespit etmiştir [21].

Yetiş vd. (2009), çalışmalarında Avrupa Birliği Bütünleştirilmiş Kirlilik Önleme ve Kontrolü direktifi kapsamında tekstil uygulamalarını değerlendirmişlerdir. “En İyi Uygulama Teknikleri” çerçevesinde, ters ozmos sistemi ile buharın yeniden kullanımı, suyun yumuşatılması gibi uygulamalarla su

tüketiminde %29,5 oranında bir azalma sağlandığı ortaya konulmuştur. Enerji tüketimi kapsamında ise, atık buharın sıcak su eldesinde kullanımı, ısı yalıtımı ve bakım uygulamaları ile % 9 oranında bir enerji tasarrufu sağlandığını ifade etmişlerdir [22].

Koçabaş (2008), denim üreten bir tekstil fabrikasında “Mevcut En İyi Teknikler” uygulanmasından sonra enerji ve su tüketimindeki kazançlar incelenmiştir. Su tüketimi Ocak 1995-Aralık 2007 döneminde 6000 ton/günden 4850 ton/güne düşmüştür. Fabrikadaki spesifik su tüketimi 78 lt/kg kumaştan 55 lt/kg kumaşa düşerek %29,5 azalmıştır. Ocak 2005-Aralık 2007 döneminde, toplam enerji tüketiminin 786 Gcal/gün den 804 Gcal/gün e yükselmesine rağmen, belirtilen uygulamalar sonucunda spesifik enerji tüketiminin 0,0100 Gcal/kg kumaştan 0,0091 Gcal/kg kumaşa düşerek %9 azaldığı gözlemlenmiştir [23].

Oğulata (2004), makalesinde tekstil sektöründe enerji yoğun proseslerden biri olan kurutma aşamasında ısı geri kazanım uygulamalarına değinmiştir. Çalışmada, kurutma prosesinde ortaya çıkan sıcak ve nemli havadan ısı değiştirici yolu ile ısı geri kazanımı için matematiksel modelleme ortaya konmuş, parametrik bir yöntemle temiz hava debisinin kurutucuya giriş sıcaklığına, buharlaşan su debisinin kurutma oranına, farklı kurutma oranlarında ısı transfer miktarının havanın kurutucuya giriş sıcaklığına bağlı analizini gerçekleştirmiş, sonuçta çalışmada ele alınan konveksiyon tip kurutma sisteminin tekstil ürünlerinin kurutulmasında önemli oranda enerji tasarrufu yapacağına vurgu yapmıştır [24].

Yamankaradeniz (2007), tekstil sanayinde atık ısıdan enerji tasarrufunda klasik sistemlerle ısı pompası sistemlerini karşılaştırmayı amaçlamış, enerji ve ekserji ve maliyet analizleri yapılmıştır. 40°C altındaki atık sıvılarda ısı pompasının uygun olduğu 40°C ile 100°C atık sıvılarda ise plakalı eşanjörlerin uygun olduğu sonucuna varmıştır [25].

Kaplan ve Koç (2004), çalışmalarında Türk tekstil ve konfeksiyon sanayinde enerji kullanım düzeyi araştırmışlardır. Seçilmiş bir entegre tekstil işletmesinde enerji kullanımı değerlendirilmiş, Tekstil işletmelerinde mamul kumaş üretimi için toplam 7,3-14,1 kWh/kg elektrik enerjisi tüketilirken, 31,2-107,5 MJ/kg arasında değişen ısı enerjisi kullanıldığı, iplik bölümü için 1 kg iplik üretimi söz konusu olduğunda; 2,7-4kWh elektrik enerjisi kullanılmakta, kullanılan elektrik enerjisinin

% 15-20'si klimalar için harcandığı ve iplik üretimi için 1,1-4,7 MJ/kg ısı enerjisi harcandığı; bununda % 100'ü ortamı iklimlendiren klimalar için tüketildiği belirtilmiştir. 2001 yılında; Türkiye'deki tekstil-konfeksiyon ve deri sanayinin toplam enerji tüketimi 1165,27 BTEP, yakıttan elde edilen enerji tüketimi 826,267 BTEP ve elektrik enerjisi tüketimi 339 BTEP olduğu açıklanmıştır [26].

7. TEZİN AMACI, KAPSAMI VE ÖNEMİ

Bu çalışmada kurulan sistemle Uşak Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren Sesli Tekstil A.Ş. bünyesinde bulunan boyahane bölümünde boyama prosesi sonunda atılan sıcak atık suyun taşıdığı ısıdan faydalanarak temiz soğuk suyun ısıtılması ve prosese hazır halde sıcak su elde edilmesi amaçlanmıştır. Atık akışkandan ısı geri kazanım amaçlı olarak kurulan sistemde kullanılan geniş aralıklı plakalı tip ısı değiştiricinin ısıl performansı termodinamik analizleri yapılarak incelenmiş ve sistemin ekonomik analizi ortaya konmuştur.

Plakalı ısı değiştiricilerinin kullanılmasındaki ana amaç, yüksek sıcaklıkta atık sıvı bırakılan birçok proseste bu atık ısıdan yararlanarak hem enerji tasarrufu yapmak hem de sistemde yapılan iyileştirmeler ve değişikliklerle üretim prosesinde verim artışı sağlamaktır. Tezin temel amacı, tekstil sektöründe boyama prosesi sonucu açığa çıkan sıcak atık akışkanın ısıl enerjisinin plakalı ısı değiştiricisi yolu ile soğuk akışkana aktaran sistemin termodinamik performansının birinci ve ikinci yasa analizleri ile ortaya konması, optimum çalışma koşullarının belirlenmesi ve ekonomik analizinin gerçekleştirilmesidir. Literatürde konu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların birçoğu, yapısal karakteristiklerin plakalı ısı değiştiricilerinin termodinamik performansına etkisini ve NTU yöntemini ele almakta, optimum çalışma koşullarının belirlenmesinde birinci yasa analizini kullanmaktadır. İkinci yasa analizi ile plakalı ısı değiştiricilerinin performansına yönelik az sayıda çalışma bulunmakta, ayrıca ısı değiştirici etkinliği ile ikinci yasa verimini birlikte değerlendirerek optimum çalışma koşullarına ulaşan bir başka çalışma literatürde bulunmamaktadır.

Çalışma ısı geri kazanım sistemleri uygulamaları ve özellikle tekstil işletmelerinde boyahanelerde yapılacak sıvılardan ısı geri kazanım uygulamalarına hizmet edecek potansiyele sahiptir. Optimum çalışma koşullarında çalıştırılacak ısı değiştiricilerinin başta tekstil sektörü olmak üzere endüstriyel uygulamalarda enerji verimliliğini arttıracığı, enerji maliyetlerini düşüreceği ve proses süresini kısaltması bakımından sistem verimlerini arttıracığı açıktır. Bu bağlamda atık ısı geri kazanım sistemlerinin kullanımı ülke ekonomisine önemli katkılarda bulunacaktır. Çalışmanın kapsamı, atık ısı geri kazanımı uygulamasının tekstil sektörü boyahane prosesi ve karşı akışlı plakalı ısı değiştiricilerinin kullanımı ile sınırlandırılmıştır.

Çalışmanın özgün özellikleri şöyle sıralanabilir; (i) Atık ısı geri kazanımının, içerisinde plakalı ısı değiştiriciyi bloke edebilecek derecede tekstil telefleri taşıyan atık akışkandan yapılması, (ii) kullanılan plakalı ısı değiştiricinin geniş aralıklı ve karşı akışlı seçilmesi, (iii) özel filtreleme yapılması, (iv) ısı geri kazanım sisteminin işletmeyle entegre edilmesi ve sistem öncesi ve sonrası enerji ve üretim değerlerinin kıyaslanabilmesi, (v) termodinamik performansının belirlenmesinde 1. ve 2. yasa analizlerinin gerçekleştirilmesi ve optimum çalışma koşullarının birinci ve ikinci yasa parametrelerine göre belirlenmesidir.(vi) Sistemin kurulmasından sonra üretim prosesindeki iyileştirmelerin analiz edilebilmesi.

8. KURAMSAL ANALİZ

8.1 Termodinamik Analiz

Isı değiştiricilerinde aktarılan ısı enerjisi miktarının hesaplanması, giriş debi ve sıcaklık parametrelerinin bu enerjiye etkisinin belirlenmesi ve optimum çalışma koşullarının ortaya konulabilmesi için termodinamiğin 1. ve 2. yasalarını içeren analizlerin yapıp sonuçlarının değerlendirilmesi, ısı değiştiricilerinin performansının iyileştirilmesi bakımından önem taşımaktadır. Bu bölümde deney sisteminde kullanılan karşı akışlı plakalı ısı değiştiricisinin termodinamik performansının belirlenebilmesi için gerekli olan kuramsal bağıntılara yer verilmiştir. Termodinamik analiz aşağıda verilen kabuller çerçevesi içinde gerçekteştirilmiştir:

- 1- Isı değiştiricisi sürekli rejimde çalışmaktadır.
- 2- Isı değiştiricisi cidarlarından ısı kazanımı veya kaybı yoktur. Isı değiştiricisinin etrafında enerji üreten yada tüketen bir sistem yoktur. Isı değiştiricisi adyabatiktir.
- 3- Ölü hal sıcaklığı 20°C olarak seçilmiştir.
- 4- Isı değiştiricisinin akıma dik kesiti boyunca sıcaklık sabittir.
- 5- Plakaların ısıl direnci tüm ısı değiştiricisi boyunca değişmemektedir.
- 6- Isı değiştiricisi içinde faz değişimi yoktur.
- 7- Akışkan veya plakalar boyunca akım yönüne paralel ısı transferi yoktur.
- 8- Atık sıcak sıvı su olarak kabul edilmiştir.
- 9- Sistemde herhangi bir kimyasal reaksiyon oluşmamaktadır.
- 10- Termodinamik analizde potansiyel ve kinetik enerji etkisi ihmal edilmiştir.
- 11- Isı transferi akış yönüne diktir; akışa paralel ısı transferi olmadığı kabul edilmektedir.

8.1.1 1.Yasa Analizi

\dot{Q} plakalı ısı değiştiricisinde gerçekteşen ısı transfer oranı, \dot{m} atık akışkanın kütleli debisi, C atık akışkanın özgül ısısı, T_1 , atık akışkanın plakalı ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı, T_2 , atık akışkanın plakalı ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığı olmak üzere aşağıdaki gibi verilir [14,18,19].

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_1 - T_2) \quad (8.1)$$

Termodinamiğin 1. Yasasına göre, aynı zamanda \dot{Q} plakalı ısı değiştiricisinde gerçekleşen ısı transfer oranı, \dot{m} soğuk akışkanın kütleli debisi, C soğuk akışkanın özgül ısı, T_1 , soğuk akışkanın plakalı ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı, T_2 , soğuk akışkanın plakalı ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığı olmak üzere aşağıdaki gibi verilir [14,18,19].

$$\dot{Q} = \dot{m} C (T_2 - T_1) \quad (8.2)$$

Akışkanın özgül ısı c , sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Özgül ısının sıcaklığa bağlı değişimi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [44]:

$$c = (4,21027 - 0,00304966 T + 7,93122 \cdot 10^{-5} T^2 - 8,23628 \cdot 10^{-8} T^3 + 3,34962 \cdot 10^{-11} T^4) \cdot 1000 \quad (8.3)$$

Isı değiştiricisinin etkinliği (ϵ) gerçek ısı transfer miktarının (\dot{Q}), olası maksimum ısı transfer miktarına (\dot{Q}_{max}) oranı olarak tanımlanmakta olup ısı değiştiricilerinin tasarımında önemli bir parametredir. Isı değiştiricilerinin termodinamik analizinde literatürde en çok kabul gören ϵ -NTU (etkinlik-aktarım birim sayısı) yöntemidir. Isı değiştiricisinin etkinliği aşağıdaki gibi verilir [19,27]:

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} \quad (8.4)$$

Burada \dot{Q}_{max} gerçekleşebilecek maksimum ısı transfer miktarı, C_{min} sıcak ve soğuk akışkanlardan ısı kapasite oranı küçük olanı olmak üzere aşağıdaki gibi verilir [45,46]:

$$\dot{Q}_{max} = C_{min} (T_{h1} - T_{c1}) \quad (8.5)$$

C_{h1} ve C_{c1} sırasıyla atık sıcak akışkanın ve soğuk akışkanın ısı kapasite oranları aşağıdaki gibidir:

$$C_{\min} = \dot{m} C_p \quad (8.6)$$

$$C_{\max} = \dot{m} C_p \quad (8.7)$$

C_{\min} minimum ısı kapasite oranı, atık akışkanın ve soğuk akışkanın ısı kapasite oranlarından küçük olanıdır.

C_{\max} maksimum ısı kapasite oranı, atık akışkanın ve soğuk akışkanın ısı kapasite oranlarından büyük olanıdır [45,46].

$$C_{\min} > C_{\max} \text{ ise } C_{\min} = C_{\max} \quad C_{\min} = C_{\max} \quad (8.8)$$

$$C_{\min} < C_{\max} \text{ ise } C_{\min} = C_{\min} \quad C_{\max} = C_{\max}$$

R ısı kapasite oran orantısı, genel olarak iki akışkanlı bir ısı değiştiricisinde küçük ısı kapasiteli akışkanın ısı kapasite oranının, büyük ısı kapasiteye sahip akışkanın ısı kapasite oranına bölümü şeklinde tanımlanabilir. Bir ısı değiştiricisinde R değeri 1'e eşit olduğu zaman o ısı değiştiricisi dengelenmiş olarak tanımlanır [18].

$$R = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \quad (8.9)$$

Aktarım Birim Sayısı (NTU), ortalama ısı iletkenliğinin, iki akışkandan ısı kapasite oranı küçük olana (C_{\min}) bölünmesi ile elde edilir. Boyutsuz bir büyüklük olup, ısı değiştiricisinin tasarım aşamasında belirlenir [18]:

$$NTU = \frac{U A}{C_{\min}} \quad (8.10)$$

Karşıt akışlı bir ısı değiştiricisi etkinliği aşağıdaki gibi de ifade edilebilir [46,47].

$$\varepsilon = \frac{[()]}{[()]} \quad (8.11)$$

U toplam ısı geçiş katsayısı, Q gerçekleşen ısı transfer oranı, ΔT logaritmik ortalama sıcaklık farkı ve A plakalı ısı değiştiricisinin ısı transfer alanı olmak üzere;

$$U = \frac{Q}{A \Delta T} \quad (8.12)$$

ile verilir [6].

Karşıt akışlı ısı değiştiricisi için ΔT Logaritmik ortalama sıcaklık farkı

$$\Delta T = \frac{(T_{11} - T_{22}) - (T_{12} - T_{21})}{\ln \left(\frac{T_{11} - T_{22}}{T_{12} - T_{21}} \right)} \quad (8.13)$$

şeklinde ifade edilmektedir [45,47].

8.1.2 2.Yasa analizi

Termodinamiğin birinci yasası enerjinin niceliği ile ilgilidir. Termodinamiğin ikinci yasası ise karmaşık ısıl sistemlerin optimizasyonunda çok güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır. Enerjinin niteliği ile ilgili olan ekserji analizi (ikinci yasa analizi), enerji miktarının ne kadarının yararlı işe dönüştürülebileceğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle ısıl bir sistemin ikinci yasa analizinin gerçekleştirilmesi optimum çalışma koşullarının belirlenmesi bakımından önem taşımaktadır [46].

Kapalı bir sistemdeki ekserji değişimi bir sistemin sınırından olan net ekserji geçişi ile tersinmezlikler sonucu olarak sistemin sınırları içerisindeki ekserji yok oluşu arasındaki fark olarak ifade edilebilir. Bu ilişkiye ekserji dengesi denir [46].

\dot{E}_x ekserji yıkımı (tersinmezlik), \dot{E}_x ekserji girişi, \dot{E}_x ekserji çıkışı, $\Delta \dot{E}$ sistemin ekserji değişimi olmak üzere aşağıdaki gibi verilebilir [46]:

$$\sum \dot{E}_x - \sum \dot{E}_x - \sum \dot{E}_x = \Delta \dot{E} \quad (8.14)$$

Sürekli akışlı bir sistemin ekserjisinde bir değişiklik olmaz ve bir sürekli akışlı sistemin tüm biçimlerinde (ısı, iş, kütle geçişi) giren ekserji akımı, sistemi terk eden ekserji akımı ile yok olan ekserji miktarının toplamına eşit olmalıdır [46].

$$\sum \dot{E}_x - \sum \dot{E}_x = \sum \dot{E}_x \quad (8.15)$$

Enerji gibi ekserji de ısı, iş ve kütle akışı olmak üzere 3 yolla aktarılabilmektedir. Kütle akışı sistemin içine veya dışına olan ekserji, entropi ve enerji taşınımının bir mekanizmasıdır. “m” miktarında kütle bir sisteme girdiğinde ve ayrıldığında ona bir ekserji eşlik edecektir. Bir ısı değiştirici sistemine giren toplam kütle geçişi $\sum \dot{m}$ ile sisteme giren akış ekserjisi ψ , sıcak akışkanın giriş akış ekserjisi ψ ve soğuk akışkanın giriş akış ekserjisi ψ olmak üzere aşağıdaki bağıntılarla ifade edilir [46]:

$$\dot{E}_x = \sum \dot{m} * \psi \quad (8.16)$$

$$\dot{E}_x = \dot{m} * \psi + \dot{m} * \psi \quad (8.17)$$

Sistemden çıkan toplam ekserji miktarı da \dot{E}_x , sistemden çıkan toplam kütle geçişi $\sum \dot{m}$ ve sistemden çıkan akış ekserjisi ψ , sıcak akışkanın çıkış akış ekserjisi ψ , soğuk akışkanın çıkış akış ekserjisine ψ bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir [46]:

$$\dot{E}_x = \sum \dot{m} * \psi \quad (8.18)$$

$$\dot{E}_x = \dot{m} * \psi + \dot{m} * \psi \quad (8.19)$$

ölü hal sıcaklığı h özgül entalpi, s özgül entropi olmak üzere ısı değiştiricisinin atık akışkanın ve soğuk akışkanın sisteme giriş ve çıkışındaki akış ekserjileri aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır [28,46].

$$\psi = h - h - T s - s \quad (8.20)$$

$$\psi = h - h - T s - s \quad (8.21)$$

$$\psi = h - h - T s - s \quad (8.22)$$

$$\psi = h - h - T s - s \quad (8.23)$$

Sistemin entropi üretimi \dot{S} , ekserji yıkımı ve ölü hal sıcaklığı arasında

$$\dot{S} = \frac{\dot{E}_x}{T} \quad (8.24)$$

bağıntısı verilmektedir [28].

Akışkanların karışmadığı iki akışlı adyabatik ısı değiştiricisi için ikinci yasa verimi η , aşağıdaki gibi yazılabilir [27,46]:

$$\eta = \frac{\dot{E}_x}{\dot{E}_x} \quad (8.25)$$

Bir sistem ya da proseste ekserji yıkımı ya da tersinmezliklerin minimum olduğu durumda ekserjideki iyileşme maksimum olacaktır. Bir sistemin “Ekserjetik İyileştirme Potansiyeli” IP kavramını dikkate almak, optimum çalışma koşulları ve ekonomik analizi için yararlı olacaktır. Ekserjetik iyileştirme potansiyeli

$$IP = (1 - \eta) \dot{E}_x \quad (8.26)$$

ile ortaya konabilmektedir [28].

8.2 Ekonomik Analiz

Enerji tasarruf projelerinin değerlendirilmesine yönelik tutarlı ve mantıklı sonuçlar veren birçok yöntem vardır. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1-Karlılık oranı

2-Geri ödeme süresi

3-Faiz oranlarına dayalı indirimli nakit akışı

a)Net şimdiki değer

b)İç karlılık oranı

Bu yöntemlerden net şimdiki değer yöntemi, bir projenin ömrü boyunca tüm yıllık sermaye giderleri ve tasarrufların bugünkü değerini hesaplamayı mümkün kılmaktadır. Net şimdiki değer (NPV), tüm şimdiki değerlerin toplanmasıyla (giderler, negatif; net tasarruflar pozitif olarak gösterilir) elde edilir. Net şimdiki değer pozitif ise proje kabul edilir, aksi takdirde projenin uygulanması uygun görülmez. a ; Net şimdiki değer faktörü, B ; kazanç, C ; masraf, p ; periyot, i ; iskonto oranı olmak üzere Net şimdiki değer aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır [27].

$$NPV = (B - C) a \quad (8.27)$$

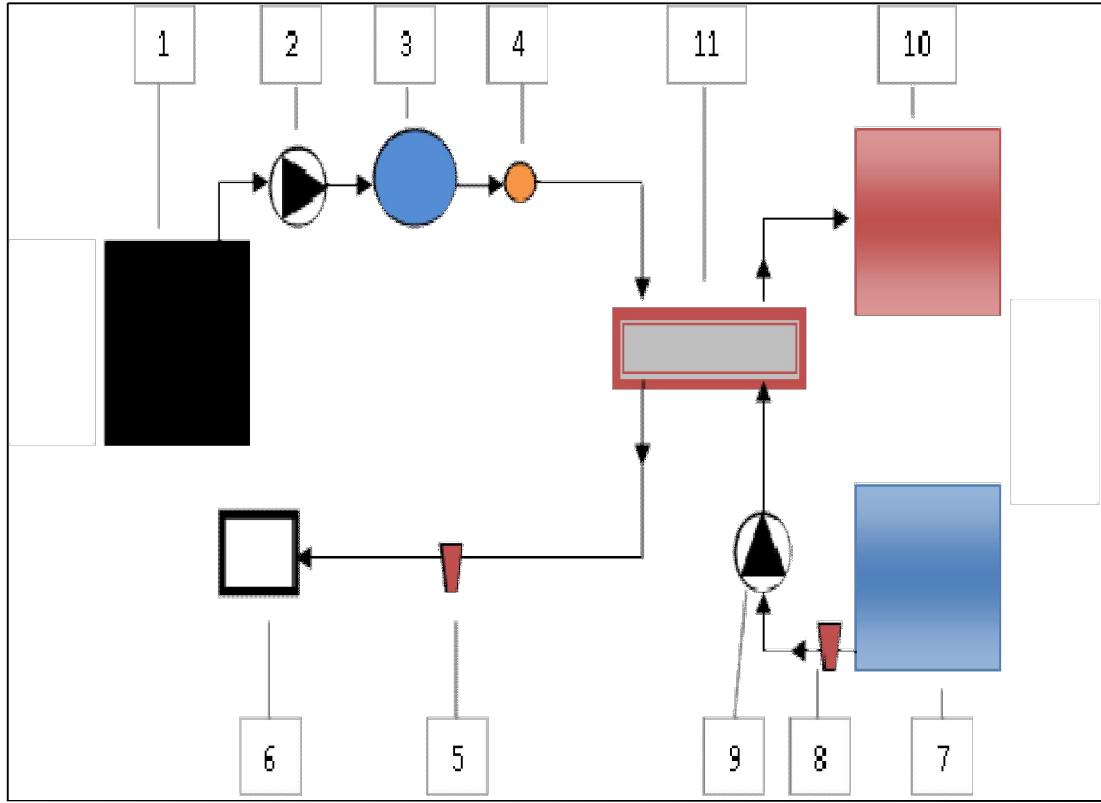
$$a = \frac{1}{(1 + i)^n} \quad (8.28)$$

9. SİSTEM TANITIMI VE DENEY TASARIMI

Deney sisteminde kullanılan plakalı ısı değiştiricili atık akışkanlardan ısı geri kazanım sistemi Uşak Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren battaniye ve iplik ¼retimi yapan entegre bir işletme olan Sesli Tekstil A.ř. b¼nyesinde bulunan boyahane bl¼m¼nde kurulmuştur. Boyahane bl¼m¼nde 3 adet 1000 kg ve 2 adet 400 kg kapasiteli elyaf boyama makineleri mevcuttur. Tesiste reaktif ve bazik boyama işlemi yapılmaktadır. İşletmenin su gereksinimi organize sanayi bölgesi şebekesinden karşılanmaktadır. şebeke suyu 40-45 Fr sertliğinde olup suyun tamamı reçineli su yumuşatma sistemi ile 0 Fr sertliğine d¼ř¼r¼lmektedir. İşletmede suyun yumuşatılması ısı değiştirici sisteminin uzun m¼rl¼ ve verimli çalışması a¼ısından çok önemlidir. Ç¼nk¼ bu plakalı ısı değiştiricileri i¼in sert sular b¼y¼k sorun teşkil etmektedir. İşletmenin su t¼ketimi ortalama olarak 300 m³/g¼n d¼r. Yaklaşık 60m³/g¼n l¼k kısmı yardımcı işletmelerde kullanılmakta, geri kalan 240 m³/g¼n l¼k kısmı boyama işleminde kullanılmaktadır. Boyama sonrasında oluşan atık su organize sanayi bölgesindeki arıtma tesisinde arıtılmak üzere drenaj hattına verilmektedir. Proses sonunda atılan akışkanın ortalama sıcaklığı 60-65°C dir.

şekil 9.1 de kurulan atık ısı geri kazanım sisteminin bileşenleri gr¼lmektedir. şekilde numaralandırılan bileşenler;

- 1- Atık akışkanların toplandığı ve n filtre edildiği atık su havuzu
- 2- Atık suyun istenilen debi değerinde sisteme verilmesini sağlayan yatay milli santrif¼j pompa
- 3- Kendisini temizleyen ters yıkama sistemli filtre
- 4- Diskli tip hassas filtre
- 5- Atık akışkan hattı i¼in t¼p debimetre
- 6- Logar
- 7- Temiz soğuk su havuzu
- 8- Temiz soğuk su hattı i¼in t¼p debimetre
- 9- Temiz suyun istenilen debi de sisteme verilmesini sağlayan yatay milli santrif¼j pompa
- 10- Temiz sıcak su havuzu
- 11- Plakalı ısı değiştirici



Şekil 9.1 Atık ısı geri kazanım sistemi bileşenleri

Boyahaneden proses sonucu atılan yüksek sıcaklıktaki akışkanlar ayrı bir drenaj hattı ile atık su havuzuna ön filtre edilerek verilir. Ön filtre işlemi ile boyama işlemi sırasında akışkan hattına kaçan elyafların tutulması amaçlanmaktadır. Atık su havuzu zeminden 5 metre derinlikte 50 m³ akışkanı depolayacak büyüklüktedir. Atık su havuzundan emniyet amaçlı bir taşkan, logara bağlanmıştır. Atık akışkan buradan pompa yardımıyla filtrelerden geçirilerek plakalı ısı değiştiricisine gönderilir ve plakalar vasıtasıyla ısısını soğuk akışkana verdikten sonra logara atılır. Temiz su deposundan alınan soğuk su pompa yardımıyla plakalı ısı değiştiricisinden atık akışkana ters akış yönünde geçirilerek atık akışkandan temiz akışkana ısı transferi gerçekleştirilerek 75 m³ kapasiteli sıcak temiz su sıcak su havuzunda işletmeye verilmek üzere depolanır. Sistemdeki tüm havuzlarda bulunan seviye kontrol sistemleri sayesinde havuzların su seviyelerine göre sistem kontrol edilir. Atık su havuzu ve soğuk su havuzlarında su seviyesi belirlenen seviyenin altına düştüğünde sistem çalışmaz. Sistemde bulunan ters yıkamalı filtre istenen zaman aralıklarında ters yıkama ile kendisini temizler. Sistemde bulunan diskli filtre ise güvenlik amaçlı olup, belirli periyotlarda kontrol edilir ve gerekirse temizlenir. Ayrıca plakalı ısı

değiştiricisinde kirlenmeyi önlemek amacıyla belirli periyotlar da atık akışkan hattına temiz soğuk su verilerek ısı değiştiricisi temizlenir. Sistemde bulunan debimetreler akış miktarlarının sürekli kontrolüne imkân sağlar. Su havuzları depoladıkları sıvıların fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre izole edilmişlerdir. Çizelge 9.1 Deney sisteminde kullanılan karşı akışlı plakalı ısı değiştiricisinin özellikleri verilmektedir. Şekil 9.2 de atık ısı geri kazanım sisteminde kullanılan plakalı ısı değiştiricisi ve ters yıkama sistemli filtre görölmektedir. Ek 1’de ise üretici firma tarafından verilen plakalı ısı değiştirici ile ilgili plakalı eşanjör seçim çizelgesi çıktısı görölmektedir.



Şekil 9.2 Plakalı ısı değiştiricisi ve otomatik yıkamalı filtre

Çizelge 9.1 Deney sisteminde kullanılan karşı akışlı plakalı ısı değıştiricisinin özellikleri

Toplam ısı Transfer alanı	20,02 m ²
Plaka sayısı	37
Plaka kalınlığı	0,9 mm
Plaka malzemesi	AISI 316
Sıkıştırılmış plaka kalınlığı	222 mm
Maksimum çalışma basıncı	10 bar
Conta malzemesi	Nitril
Isıl kapasite	323 kW

Ölçümde kullanılan cihazlar aşağıda belirtilmiştir.

a) Pt-100 rezistans termometre için (-200...850 °C)

Pt100 rezistans termometrelerden 4 adet kullanılmıştır. Plakalı ısı değıştiricisi atık su girişı çıkış bağlantılarına ve temiz su giriş ve çıkışlarına bağlanmıştır.

Rezistans termometreler -200°C'den + 850°C'ye kadar çeşitli proseslerde (özellikle endüstride ve laboratuvar uygulamalarında) yaygın olarak kullanılır. Düşük sıcaklıklarda termo-çiftlere göre daha doğru değer verirler. Rezistans termometreler iletken bir telin sıcaklığa bağlı olarak direnç değerinin değışmesi ile elde edilen bir sıcaklık sensörüdür. Sarımlı direnç prosese daldırılarak sabit bir akım uygulanır. Sıcaklık değışimine bağlı olarak sarımlı direncin değeri değışir ve üzerinde geçen sabit akımla değışen bir gerilim elde edilir. Rezistans termometreler için dikkate alınması gereken kimi unsurlar vardır. Bunlardan ilki üzerine uygulanan akımın küçük de olsa bir sıcaklık değışimine neden olabilmesidir. Bir diğeri önemli unsur da akım taşıyan tellerin kendi direncidir.

b) 2" Tüp Debimetre 4-16 m³/h (± % 4)(temiz su hattı için) ve 3" Tüp Debimetre 5-25 m³/h (± % 4) (atık akışkan hattı için)

Tüplü debimetreler, anlık debiyi ölçerler; bir ölçüm tüpü ile tüp içinde aşağı ve yukarı doğru serbestçe hareket edebilen bir şamandıradan oluşur. Ölçüm tüpü, dik

olarak konulur. Ölçülecek akışkan tüpe alt noktadan girer, şamandıranın etrafından geçerek yukarı yükselir ve üstten dışarı çıkar. Debimetrenin içinde akış olmadığı zaman, şamandıra ölçüm tüpünün alt kısmında durur. Akışkan, ölçüm tüpüne girdiği zaman, akışkanın kaldırma kuvveti şamandırayı hafifletir. Şamandırayı etkileyen basınç farkı artar ve akışkan ile şamandıra arasındaki hidrolik kuvvetler dengelenene kadar şamandıra yükselir. Ölçüm şamandırası sıvı içerisinde “yüzme” durumundadır. Şamandıranın sabit olduğu (dengede olduğu) nokta akışkanın debi değerini gösterir.

c. ETTC 4420 sıcaklık göstergesi (\pm % 0,2)

Sıcaklık göstergelerinden 4 adeti kontrol panosuna bağlanmıştır. Bu cihazlara sisteme bağlanan Pt-100 rezistans termometreler bağlanmıştır.

Rezistans termometrelerde sıcaklık değerlerine göre meydana gelen direnç değişimlerini hesaplayarak sıcaklık değeri şeklinde gösteren elektronik cihazlardır. Bu cihazlar sıcaklık gösterimi yaparken birçok fonksiyonel özellikleri ile istenen şekilde programlanabilir.

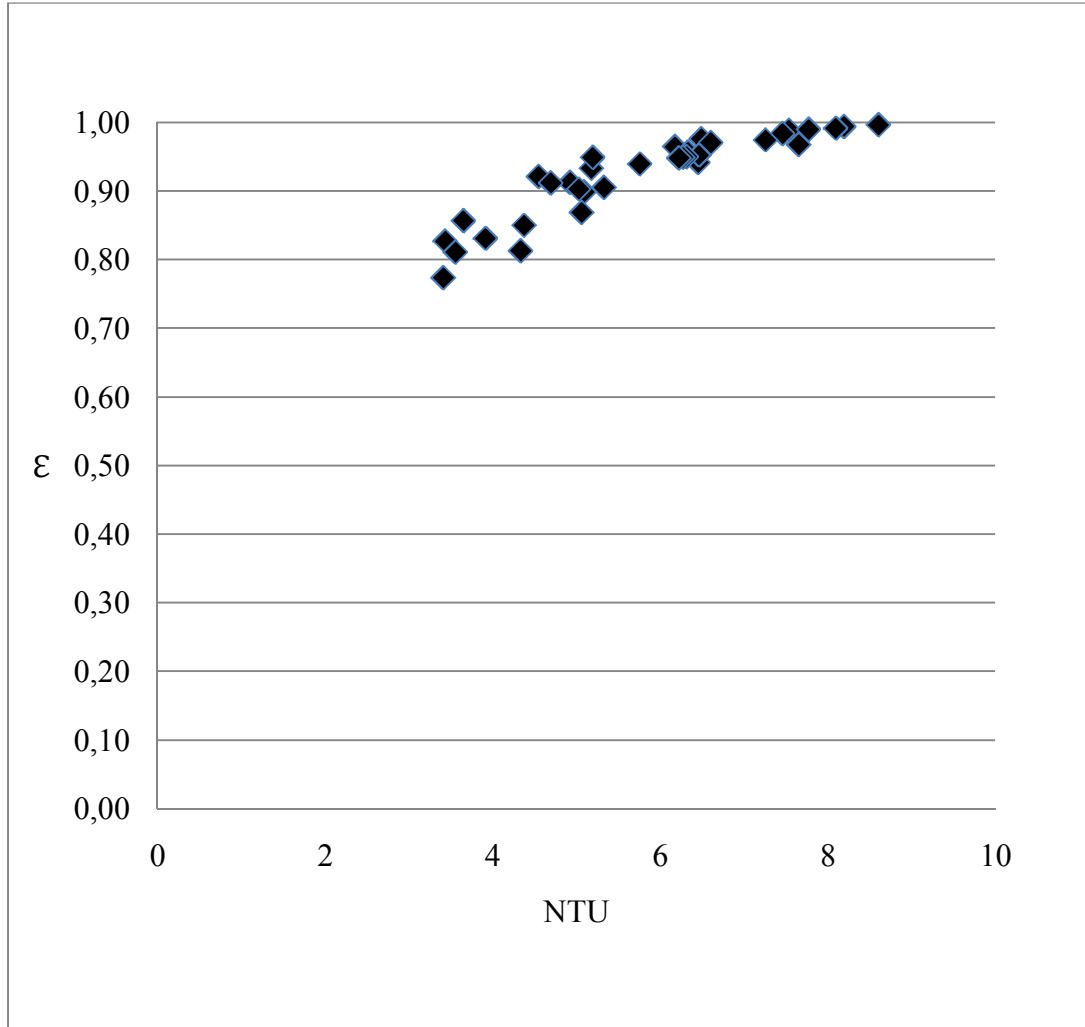
Deneylerde kullanılan veriler sistem karalı hale geldikten sonra alınmış olup, her bir debi değeri için 15'er adet sıcaklık değerleri alınmıştır. Bu alınan değerlerin daha sonra aritmetik ortalamaları alınarak kuramsal hesaplamalarda kullanılmıştır.

10. BULGULAR VE TARTIŞMA

DeneySEL çalışmalar sonucu elde edilen veriler ışığında plakalı ısı değiştiricisinin termodinamik performansının ortaya konulması ve optimum çalışma koşullarının belirlenmesi amacı ile gerçekteştirilen analizler bu bölümde ele alınmıştır. Öncelikle ısı değiştiricisinin aktarım birim sayısına bağlı olarak etkinlik parametresi ortaya konmuştur. Ayrıca sistemin birinci yasa performansı ile ilgili olmak üzere farklı soğuk su debi değerlerinde ısı transfer oranının atık akışkan debisine bağlı değişimi ortaya konulmuştur. Ardından farklı soğuk su debi değerleri için, atık akışkan debi değerlerine bağlı olarak ekserji yıkımı-ekserji verimi ve etkinlik-ekserji verimi grafikleri sunulmuştur. Bu analizlerden optimum atık akışkan debi değeri belirlenmiştir. Bir sonraki aşamada, sabit optimum akışkan debi değerinde soğuk su debi değerlerine bağlı olarak ekserji yıkımı-ekserji verimi ve etkinlik-ekserji verimi analizleri gerçekteştirilerek optimum soğuk su debisine ulaşılmıştır. Optimum sıcak akışkan ve soğuk su debileri sabit değerlerinde, farklı atık akışkan sıcaklıklarına bağlı olarak ekserji yıkımı-ekserji verimi ve etkinlik-ekserji verimi değişimleri incelenmiştir. Sistemin ikinci yasa bakımından geliştirilebilmesini belirlemek amacı ile farklı soğuk su debi değerlerinde ekserjetik iyileştirme potansiyelinin atık akışkan debisine bağlı değişimi incelenmiştir. Daha sonra Net şimdiki Değer yöntemi kullanılarak sistemin ekonomik analizi yapılarak sistemin kaçınıcı aydan itibaren kazanca geçtiği hesaplanmıştır. Ayrıca sistemin kurulması ile boyama prosesinde kullanılan doğalgaz miktarları bir önceki yıla göre karşılaştırılmıştır. Son olarak, sistemin üretim verimliliğine etkisi incelenmiştir.

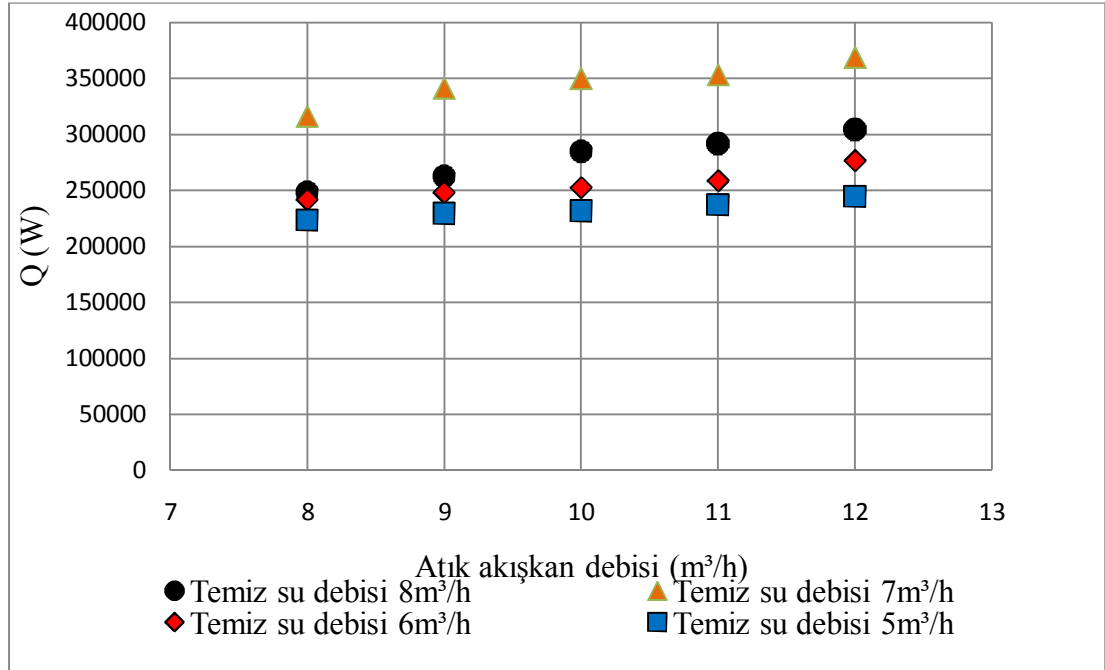
10.1. Termodinamik Analiz

şekil 10.1 de görülen grafikte atık ısı geri kazanım sisteminde kullanılan plakalı ısı değiştiricisi etkinliğinin aktarım birim sayısına bağlı değişimi görülmektedir. Deney sisteminde kullanılan ısı değiştiricisinin etkinliğinin aktarım birim sayısıyla üstel olarak değiştiği anlaşılmaktadır.



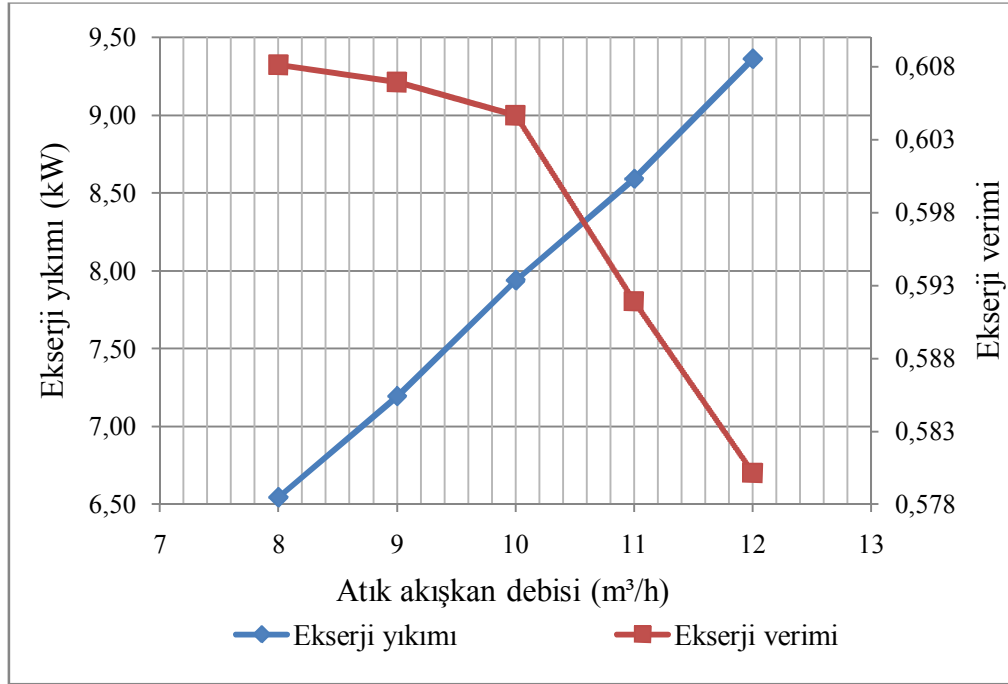
Şekil 10.1 Sistemde kullanılan ısı değıştirci etkinliğinin aktarım birim sayısına bağlı değışimi

Şekil 10.2 Farklı soğuk su debisindeki ısı transfer oranının atık akışkan debisine bağlı değışimi grafiği görölmektedir. Grafikte göröldüğu gibi en düşük ısı transferi değeri, atık akışkan debisi 8 m³/h ve soğuk su debisi 5 m³/h olduğu durumda ve en yüksek ısı transferi ise atık akışkan debisi 12 m³/h ve soğuk su debisi 7 m³/h olduğu durumda gerçekteşmektedir. Atık akışkan debisi artığı zaman ısı transferi miktarı da artmaktadır.

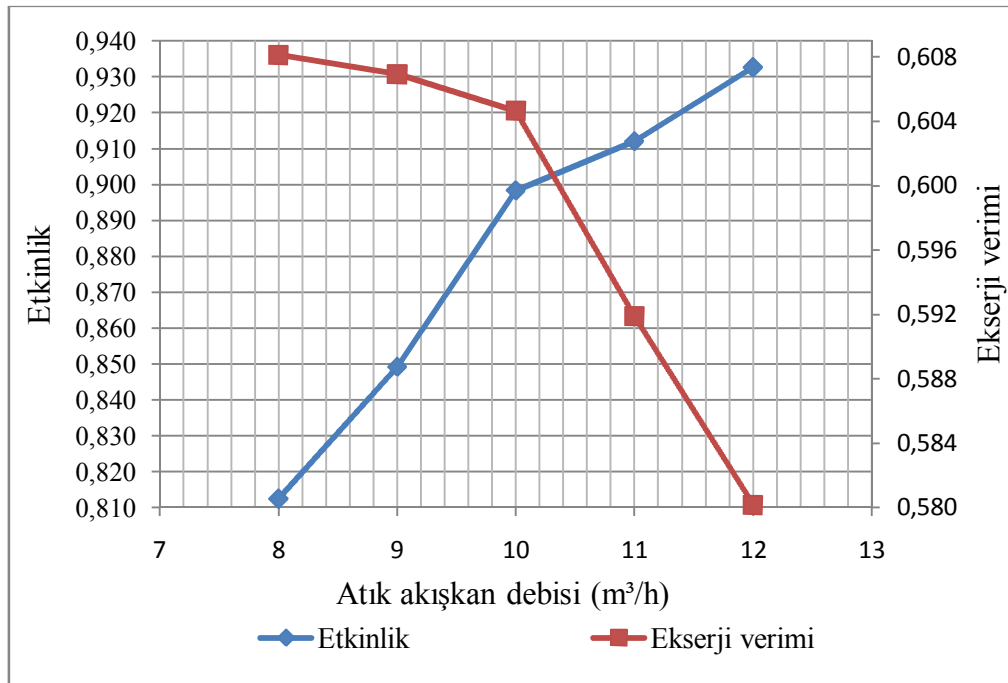


Şekil 10.2 Farklı soğuk su debisindeki ısı transfer oranının atık akışkan debisine bağlı değişimi

Şekil 10.3 Temiz su debisi 8 m³/h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi grafiği ve Şekil 10.4 Temiz su debisi 8 m³/h için etkinlik ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi grafiğidir. Verilen durum için soğuk su ortalama giriş sıcaklığı 23,5 °C dir. 8 m³/h; 9 m³/h; 10 m³/h; 11 m³/h; 12 m³/h debi değerleri için atık su ortalama sıcaklıkları sırasıyla 54,7°C, 54,6°C; 54,5°C; 54,3°C ve 54,2°C olarak ölçülmüştür. Şekil 10.3 de Ekserji yıkımı, 8 m³/h debide 6,54 kW iken artan debi değerlerinde artış göstermiş ve 12 m³/h debi değerinde 9,36 kW değerine çıkmıştır. Ekserji verimi 8 m³/h debide 0,608 iken artan debi değerlerinde düşerek 12 m³/h debi değerinde 0,580 değerine düşmüştür. Şekil 10.4 de ise ekserji verimi değişimi ile etkinlik değişimi incelenmiştir. Ekserji verimi belirtilen şekilde değişirken Etkinlik, 8 m³/h debide 0,813 iken, artan debi değerlerinde artış göstermiş 12 m³/h debi değerinde 0,933 değerine çıkmıştır.

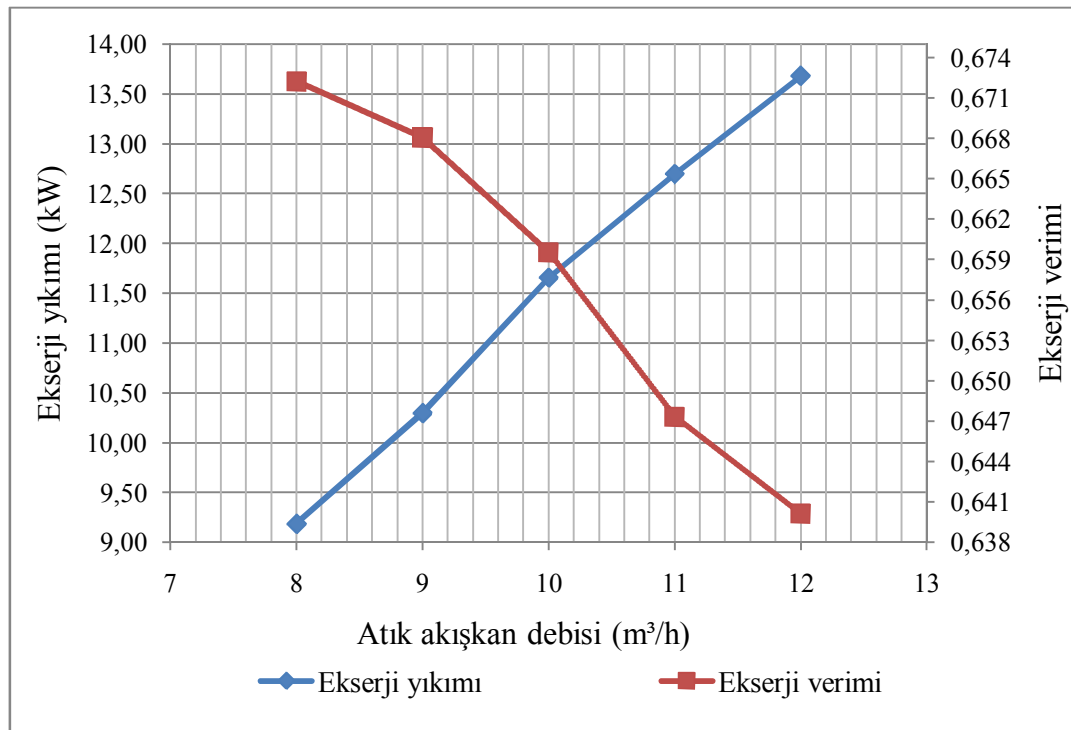


Şekil 10.3 Temiz su debisi 8 m³/h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi

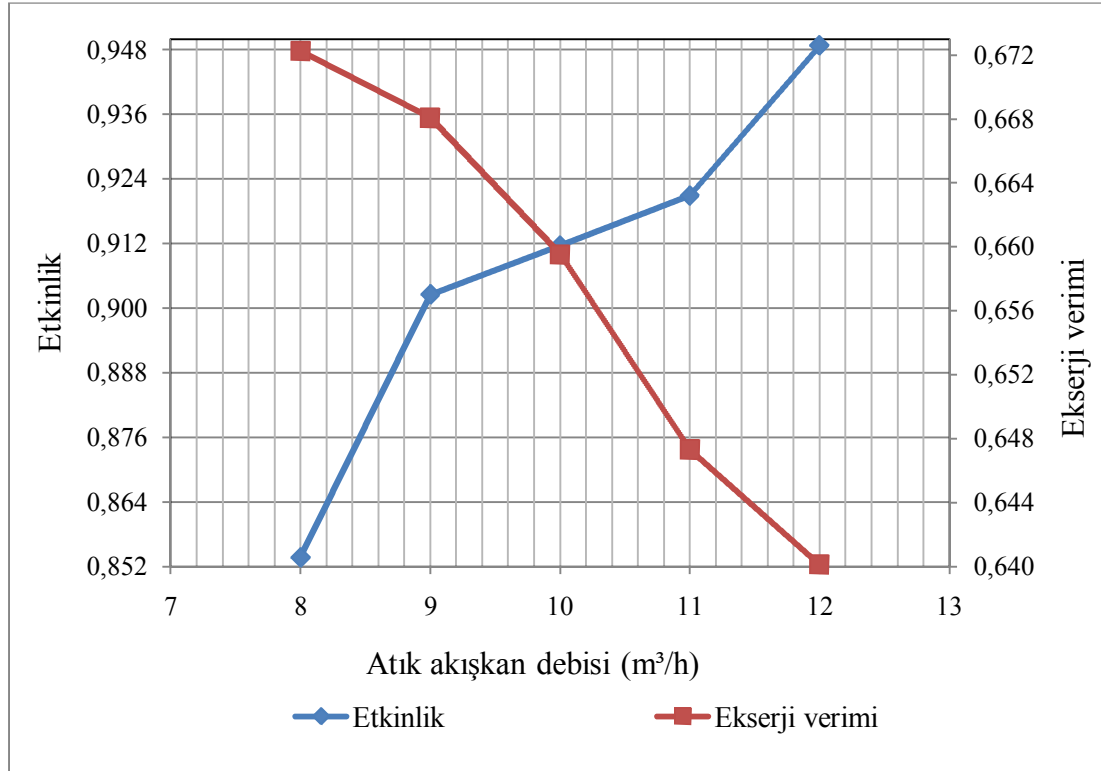


Şekil 10.4 Temiz su debisi 8 m³/h için etkinlik ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi

Şekil 10.5 Temiz su debisi 7 m³/h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin atık akışkan sıcaklığına bağlı değişimi grafiği ve Şekil 10.6 Temiz su debisi 7m³/h için etkinlik ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi grafiğidir. Verilen durum için soğuk su ortalama giriş sıcaklığı 21,1°C dir. 8 m³/h; 9 m³/h; 10 m³/h; 11 m³/h, 12 m³/h debi değerleri için atık su ortalama sıcaklıkları sırasıyla 65,8°C; 65,9°C; 67°C; 67,1°C ve 66,9°C olarak ölçülmüştür. Şekil 10.5 da Ekserji yıkımı, 8 m³/h debide 9,19 kW iken artan debi değerlerinde artış göstermiş ve 12 m³/h debi değerinde 13,68 kW değerine çıkmıştır. Ekserji verimi 8m³/h debide 0,672 iken artan debi değerlerinde düşerek 12 m³/h debi değerinde 0,640 değerine düşmüştür. Şekil 10.6 de ise ekserji verimi değişimi ile etkinlik değişimi incelenmiştir. Ekserji verimi belirtilen şekilde değişirken Etkinlik, 8 m³/h debide 0,854 iken, artan debi değerlerinde artış göstermiş 12 m³/h debi değerinde 0,949 değerine çıkmıştır.

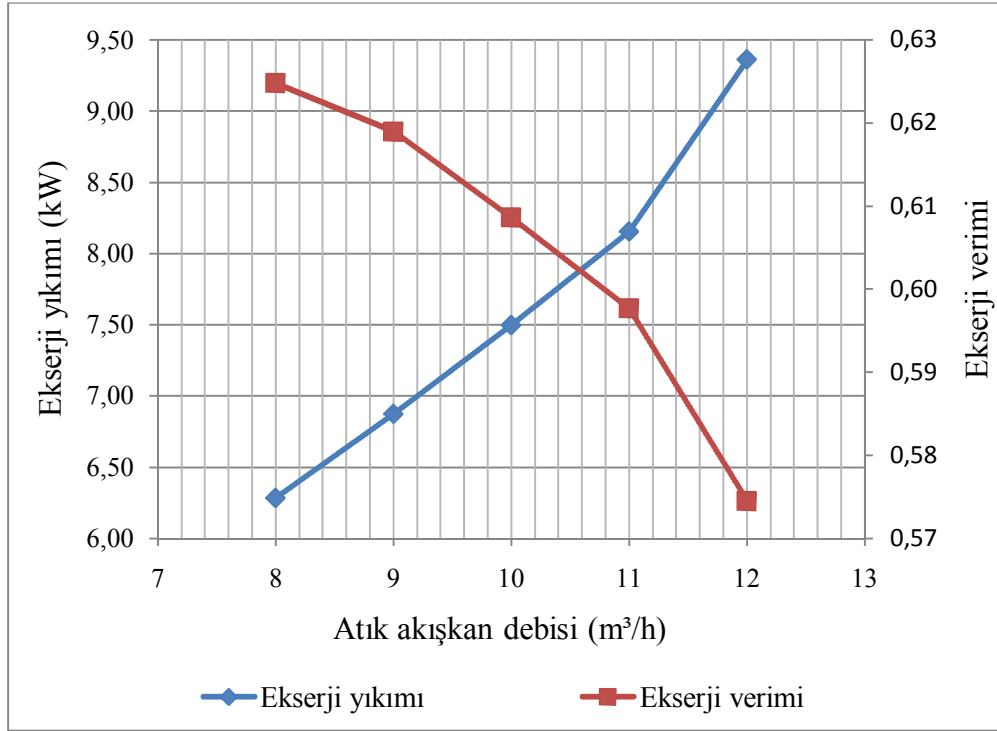


Şekil 10.5 Temiz su debisi 7 m³/h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin atık akışkan sıcaklığına bağlı değişimi

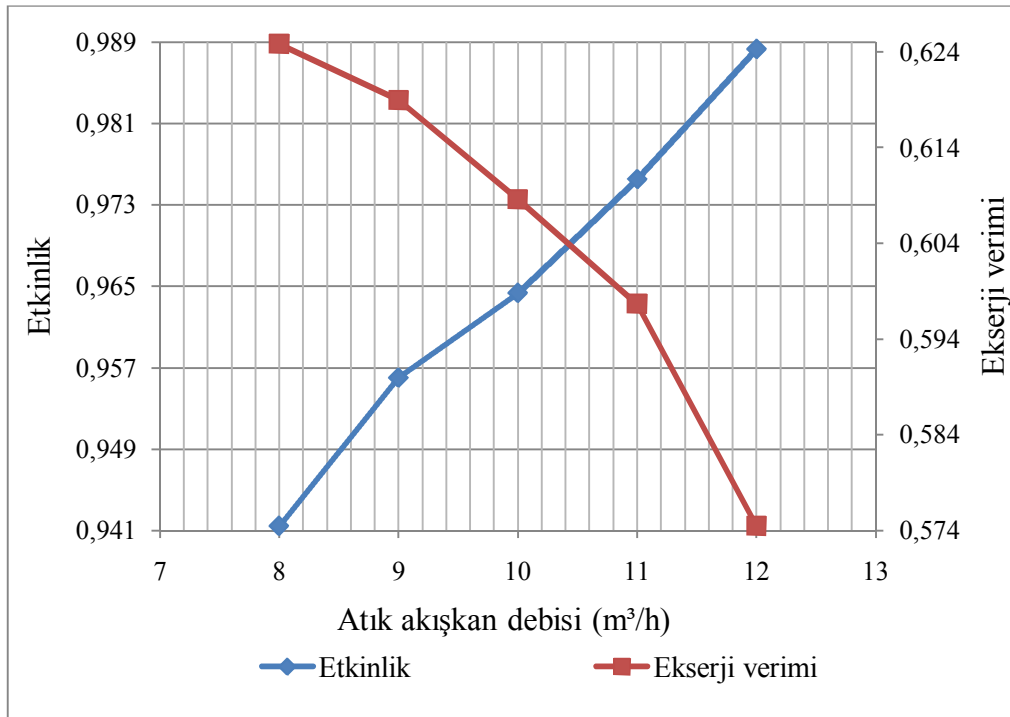


Şekil 10.6 Temiz su debisi 7m³/h için etkinlik ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi

Şekil 10.7 Temiz su debisi 6 m³/h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi grafiği ve Şekil 10.6 Temiz su debisi 7m³/h için etkinlik ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi grafiğidir. Verilen durum için soğuk su ortalama giriş sıcaklığı 22,1 °C dir. 8 m³/h, 9 m³/h, 10 m³/h, 11 m³/h, 12m³/h debi değerleri için atık su ortalama sıcaklıkları sırasıyla 55,0°C; 55,0°C; 55,1°C; 55,1°C ve 55,3°C olarak ölçülmüştür. Şekil 10.7 de Ekserji yıkımı, 8 m³/h debide 6,29 kW iken artan debi değerlerinde artış göstermiş ve 12 m³/h debi değerinde 9,36 kW değerine çıkmıştır. Ekserji verimi 8 m³/h debide 0,625 iken artan debi değerlerinde düşerek 12 m³/h debi değerinde 0,575 değerine düşmüştür. Şekil 10.8 da ise ekserji verimi değişimi ile etkinlik değişimi incelenmiştir. Ekserji verimi belirtilen şekilde değişirken Etkinlik, 8 m³/h debide 0,941 iken, artan debi değerlerinde artış göstermiş 12 m³/h debi değerinde 0,988 değerine çıkmıştır.

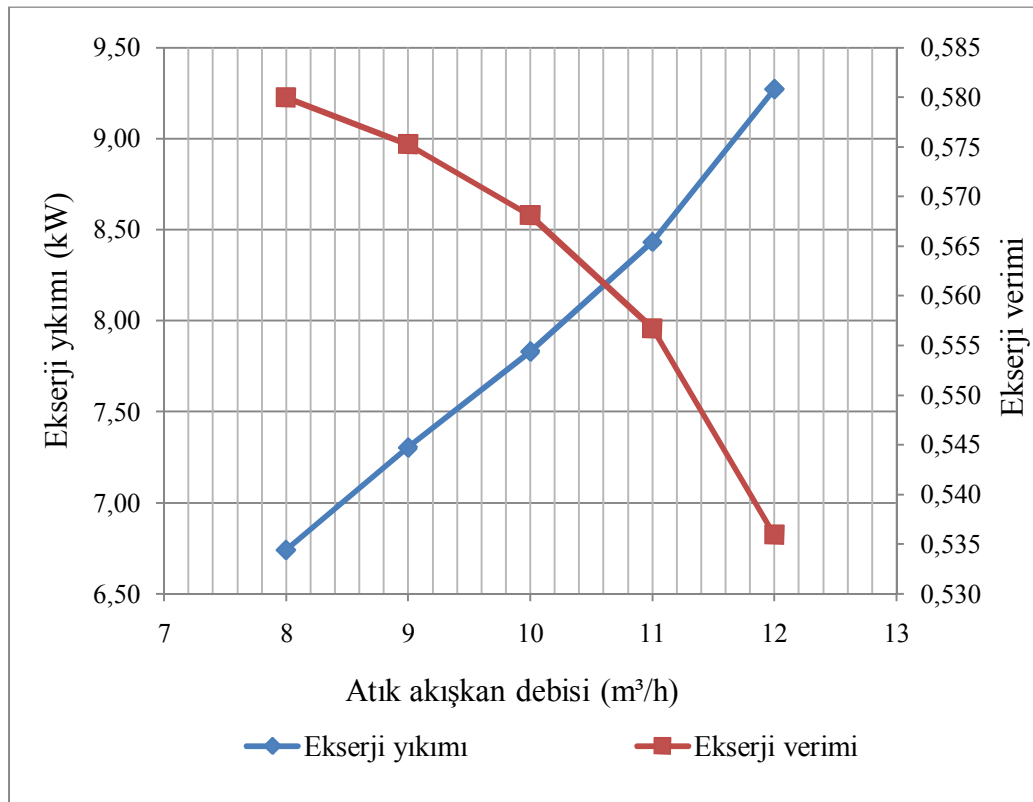


Şekil 10.7 Temiz su debisi 6 m³/h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi

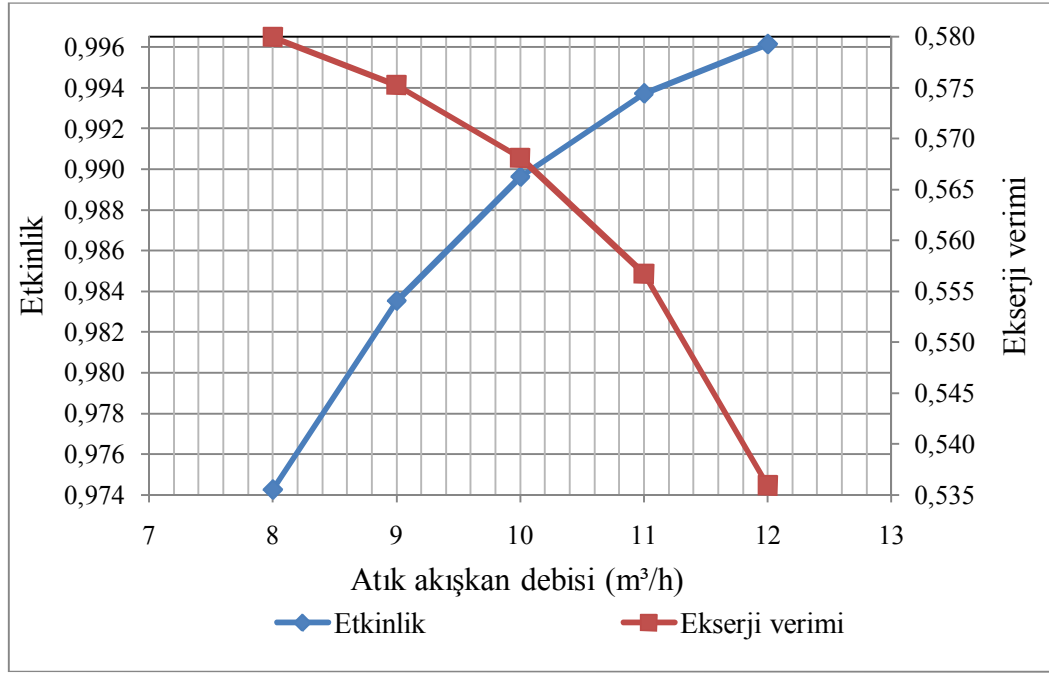


Şekil 10.8 Temiz su debisi 6 m³/h için etkinlik ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi

Şekil 10.9 Temiz su debisi 5 m³/h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi grafiği ve Şekil 10.10 Temiz su debisi 5m³/h için etkinlik ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi grafiğidir. Verilen durum için soğuk su ortalama giriş sıcaklığı 22,1°C dir. 8 m³/h; 9 m³/h; 10 m³/h; 11 m³/h; 12 m³/h debi değerleri için atık su ortalama sıcaklıkları sırasıyla 54,8°C, 54,9°C; 54,9°C; 55,0°C ve 55,0°C olarak ölçülmüştür. Şekil 10.9 da Ekserji yıkımı, 8 m³/h debide 6,74 kW iken artan debi değerlerinde artış göstermiş ve 12 m³/h debi değerinde 9,27 kW değerine çıkmıştır. Ekserji verimi 8 m³/h debide 0,580 iken artan debi değerlerinde düşerek 12 m³/h debi değerinde 0,536 değerine düşmüştür. Şekil 10.10 de ise ekserji verimi değişimi ile etkinlik değişimi incelenmiştir. Ekserji verimi belirtilen şekilde değişirken Etkinlik, 8 m³/h debide 0,974 iken, artan debi değerlerinde artış göstermiş 12 m³/h debi değerinde 0,996 değerine çıkmıştır.



Şekil 10.9 Temiz su debisi 5 m³/h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi

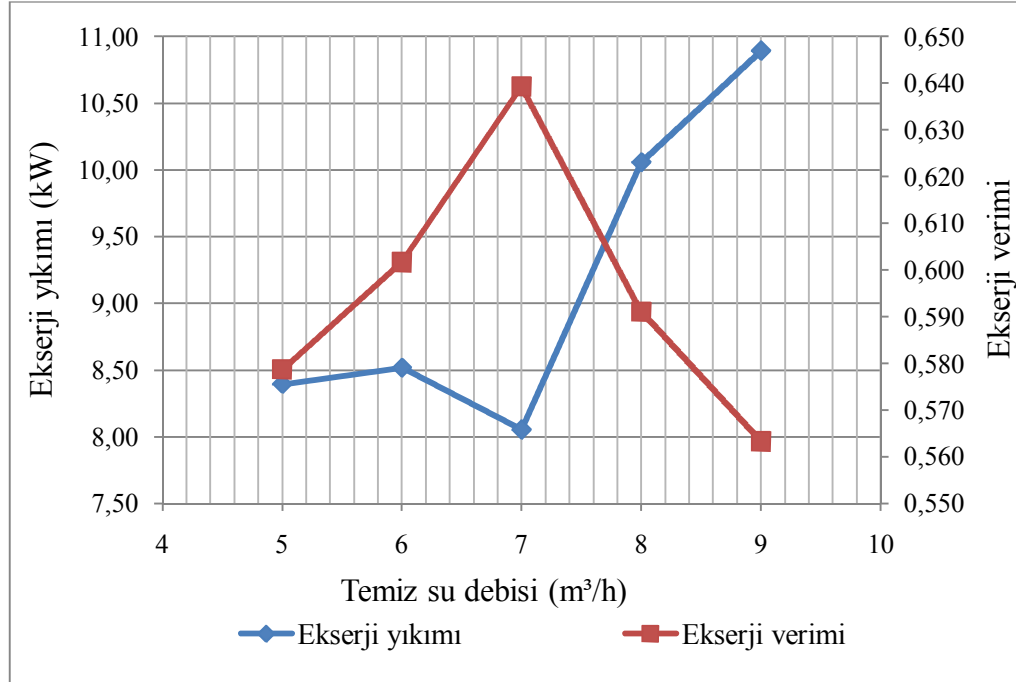


Şekil 10.10 Temiz su debisi 5m³/h için etkinlik ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi

Yukarıda verilen farklı temiz su debisi değerleri için etkinlik ve ekserji veriminin atık akışkan debisine bağlı değişimi grafiklerinde etkinlik ve ekserji verimi eğrilerinin kesiştiği nokta, ısı değiştiricisinin termodinamik olarak optimum koşulda çalıştığı atık sıcak su debisini vermektedir. Grafiklerde bu optimum atık sıcak su debi değerleri, soğuk debisi 8-5 m³/h için sırasıyla 10,31; 9,96; 10,32; 10,08 m³/h olarak bulunmuştur. Bu yaklaşımdaki amaç ısı değiştiricisinin en iyi termodinamik performansı gösterdiği çalışma debisi değerlerine ulaşmaktır. Sonuç olarak deney sisteminde atık sıcak su debisinin optimum değeri 10,16 m³/h olarak belirlenmiştir. Uygulamada kolaylık sağlama amacı ile bu optimum debi değeri 10,00 m³/h değerinde sabitlenmiştir.

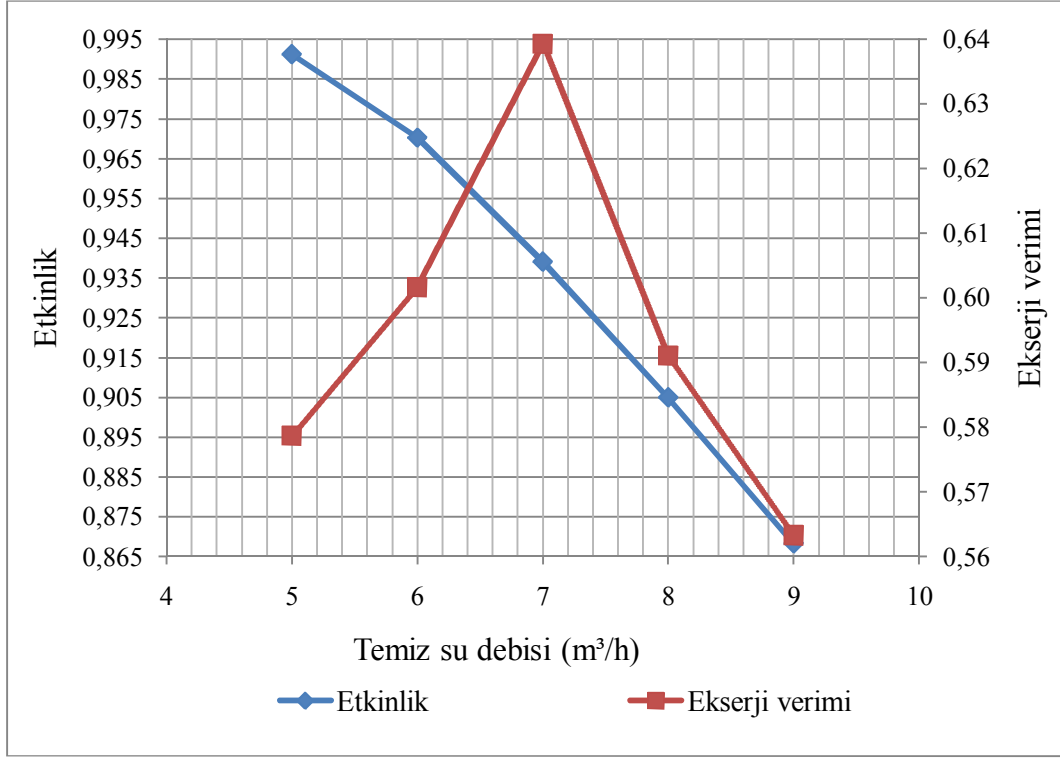
Optimum sıcak su debisinin belirlenmesinin ardından optimum soğuk su debisinin belirlenmesine geçilmiştir. Atık sıcak su debisi 10 m³/h değerinde sabit tutularak temiz soğuk su debi değerleri 5-9 m³/h aralığında değiştirilerek ekserji yıkımı, ekserji verimi ve etkinlik parametreleri hesaplanmıştır. Temiz suyun 5-9 m³/h debi değerleri için atık akışkan ortalama sıcaklıkları 57,1°C; 57,2°C; 57,4°C; 58,2°C ve 58°C dir. Temiz suyun ortalama giriş sıcaklığı 24,1°C dir.

Şekil 10.11 Atık akışkan debisi $10 \text{ m}^3/\text{h}$ için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin, temiz su debisine bağlı değişimi grafiğinde ekserji yıkımının minimum olduğu ve ekserji veriminin maksimum olduğu temiz su debi değeri $7 \text{ m}^3/\text{h}$ dir. Bu noktada ekserji yıkım değeri $8,05 \text{ kW}$ ve ekserji verimi değeri de $0,639$ dur.



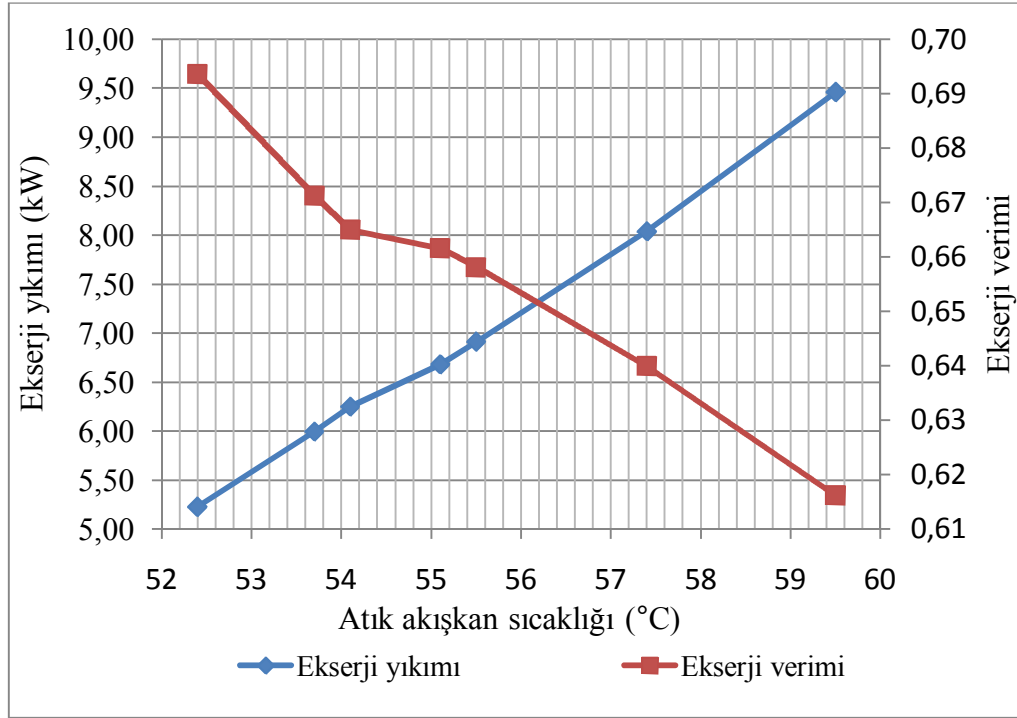
Şekil 10.11 Atık akışkan debisi $10 \text{ m}^3/\text{h}$ için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin, temiz su debisine bağlı değişimi

Şekil 10.12 Atık akışkan debisi $10 \text{ m}^3/\text{h}$ için etkinlik ve ekserji veriminin temiz su debisine bağlı değişimi grafiğinde temiz su debisi arttıkça etkinlik azaldığı görülmektedir. grafikten etkinlik ve ekserji verimi değerlerinin kesiştiği optimum soğuk su debisi değeri $6,46 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte Şekil 10.11deki grafikten görüleceği üzere ekserji yıkımının minimum, ekserji veriminin ise maksimum olduğu değerler aynı nokta olup bu değer $7,00 \text{ m}^3/\text{h}$ dir. Sonuç olarak optimum soğuk su debisi uygulamada pratiklik sağlanması bakımından $7,00 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak belirlenmiştir.

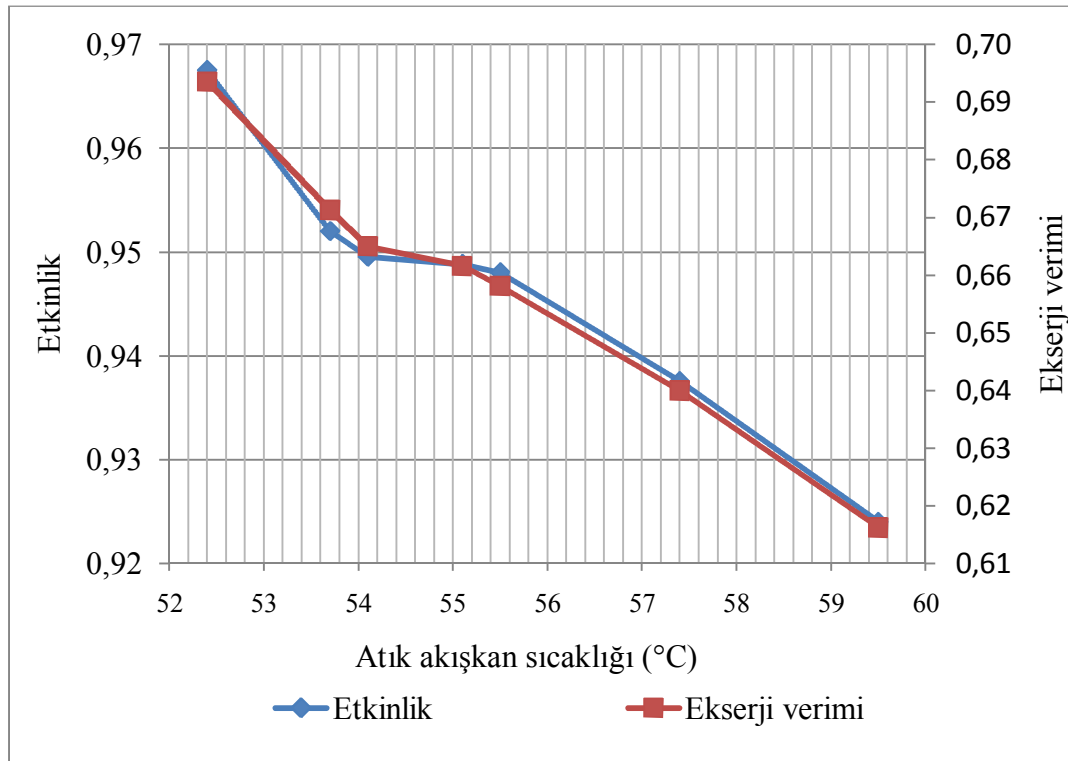


Şekil 10.12 Atık akışkan debisi 10m³/h için etkinlik ve ekserji veriminin temiz su debisine bağlı değişimi

Optimum çalışma debisinin atık sıcak su için 10,00 m³/h ve soğuk su için 7,00 m³/h olarak belirlenmesinin ardından bu değerlerde sabitlenen çalışma koşulları için farklı atık su giriş sıcaklığı değerlerinde ekserji yıkımı ve ekserji veriminin değişimi ile etkinlik ve ekserji verimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Şekil 10.13 de verilen grafikten görüleceği üzere Atık sıcak su giriş sıcaklığı arttıkça ekserji verimi düşmekte ekserji yıkımı ise artmaktadır. Atık sıcak su giriş sıcaklığı 52,4-59,5°C değerleri arasında değişirken, ekserji yıkımı 5,23-9,46 kW, ekserji verimi 0,694 ile 0,616 değerleri aralığında değişirken, ısı değiştirici etkinliği de 0,968 ile 0,924 arasında değerler almaktadır. Şekil 10.14 da verilen grafikte atık su giriş sıcaklığı arttıkça hem etkinliğin hem de ekserji veriminin düştüğü görülmektedir. Etkinliğin sıcaklık arttıkça azalmasının nedeni, atık su giriş sıcaklığı arttıkça logaritmik sıcaklık farkı artmakta, buna bağlı olarak ısı transfer katsayısı azalmakta ve sonuç olarak NTU ve etkinlik düşmektedir.

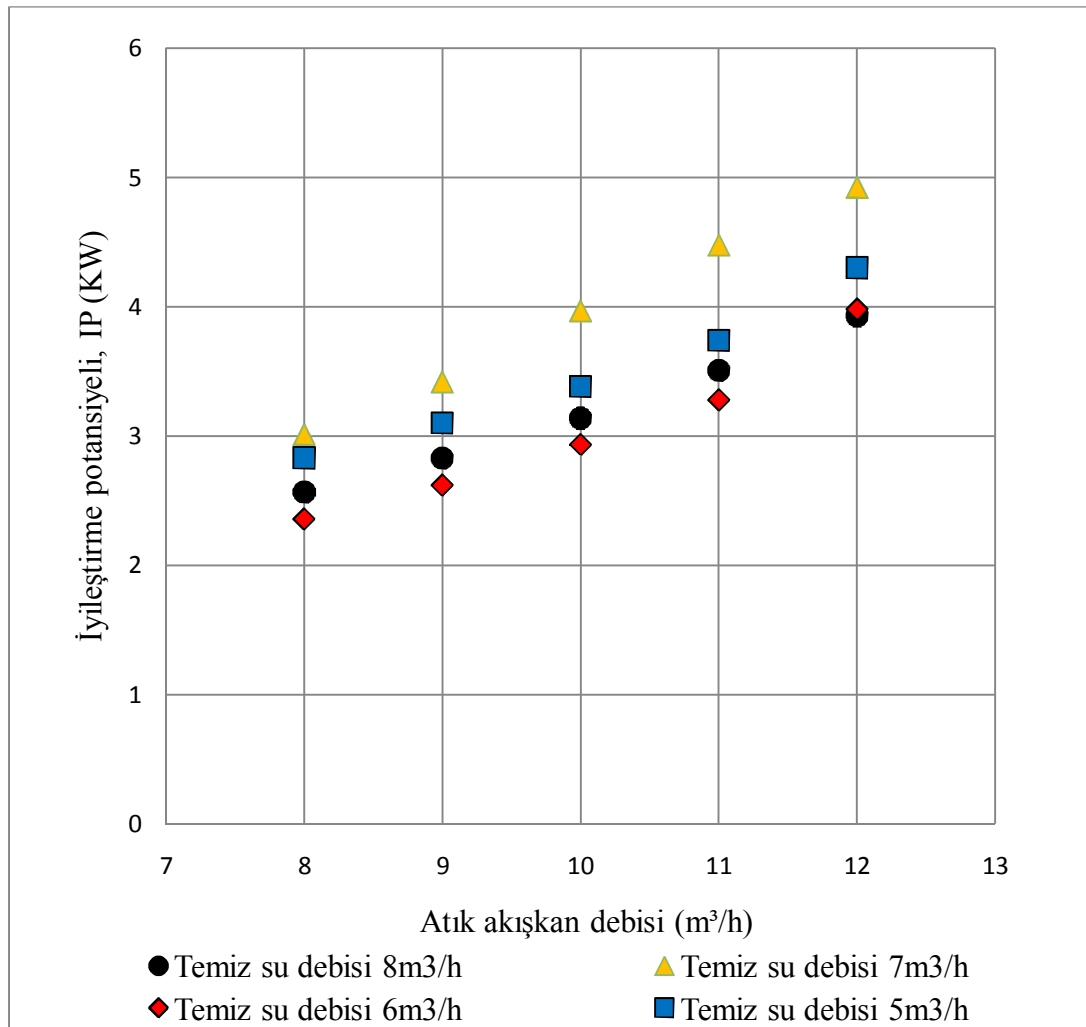


Şekil 10.13 Atık akışkan debisi 10 m³/h ve soğuk su debisi 7 m³/h için ekserji yıkımı ve ekserji veriminin, atık akışkan sıcaklığına bağlı değişimi



Şekil 10.14 Atık akışkan debisi 10 m³/h ve soğuk su debisi 7 m³/h için etkinlik ve ekserji veriminin, atık akışkan sıcaklığına bağlı değişimi

Şekil 10.15 Farklı soğuk su debisindeki iyileştirme potansiyelinin atık akışkan debisine bağlı değişimi grafiğinde ekserjetik iyileştirme potansiyelinin farklı soğuk su debilerinde atık sıcak su debisine bağlı değişimi görülmektedir. Burada atık sıcak su debisi, temiz su debisinin 5, 6, 7, 8 m³/h değerlerinin her biri için 8, 9, 10, 11, 12 m³/h değerlerindeki ekserjetik iyileştirme potansiyeli incelenmiştir. Ekserjetik iyileştirme potansiyeli 2,06 kW ile 4,92 kW değerleri arasında değişmektedir. Şekil 10.15 de görüldüğü gibi ekserjetik iyileştirme potansiyeli atık sıcak su giriş debisi arttıkça yükselmektedir. En büyük ekserjetik iyileştirme potansiyeli temiz su debisinin 7 m³/h olduğu atık su debisinin de 12 m³/h değerindedir.



Şekil 10.15 Farklı soğuk su debisindeki iyileştirme potansiyelinin atık akışkan debisine bağlı değişimi

10.2. Ekonomik Analiz

Sistemin ekonomik analizi Net Şimdiki Değer (NPV) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Tesisin bir aylık sürede günlük 24 saat çalışma ile 26 gün çalıştığı kabul edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda elektrik ve doğalgaz birim fiyatı işletmenin elektrik ve doğalgaz tedarikinin gerçekleştirdiği Uşak Organize Sanayi Bölgesi Ocak 2011 dönemi tarifelerinden alınmıştır. Elektrik birim fiyatı üç zamanlı tarifenin ortalaması olan 0,103 \$/kWh olarak alınmıştır. Doğalgaz birim fiyatı 0,316 \$/m³ olarak kabul edilmiştir. Doğalgaz alt ısı değeri 8250 kcal/m³, yanma verimi de %93 olarak alınmıştır. Çizelge 10.1 Aylık geri kazanılacak doğalgaz miktarı (m³/ay) hesabı ortaya konmuştur..

Çizelge 10.1 Aylık geri kazanılacak doğalgaz miktarı (m³/ay)

1saate ısı geri kazanım sisteminden kazanılacak enerji	255 193,82 kcal
1 saate kazanılacak enerjiye eşdeğer doğalgaz miktarı	33,62 m ³ /h
Tasarruf edilecek doğalgaz	20 978,88 m ³ /ay
1 m ³ doğalgaz bedeli	0,316\$
Tasarruf edilecek doğalgaz bedeli	6629,32 \$/ay

Sistemin toplam yatırım bedeli 56 128,9\$ dir. Bu bedel içerisinde satın alma yöntemi ile tedarik edilen atık ısı geri kazanım sistemi (plakalı geniş aralıklı ısı değiştirici, yatık milli atık akışkan pompası, otomatik ters yıkamalı filtre, hassas diskli filtre, depolanan sıcak suyu işletmeye iletecek hidrofor), sistemin işletmeye bağlantı tesisatları malzeme ve işçilik giderleri, yer altı depolarının yapımındaki hafriyat ve inşaat giderleri, yalıtım giderleri mevcuttur. Net bugünkü değer yöntemi kullanılan ekonomik analizde, iskonto oranı %0,625 olarak kabul edilmiştir. Sistemin enerji sarfiyatı otomatik filtre ve atık su pompasının harcadığı enerji miktarı 3,8 kWh ölçülmüştür. 24 saat çalışma ve 0,103 kWh lik enerji birim fiyatı ile aylık enerji

gideri 244,2\$ dır. Bakım gideri olarak aylık 100\$ olarak bütçe öngörölmüştür. Sistemin doğalgaz sarfiyatının azalmasından sağlayacağı 6629,3\$ olan aylık getirisi elektrik sarfiyatı ve bakım gideri düşöldükten sonra 6285,1\$ olarak hesaplanmıştır. Net tasarruflar ve toplam giderler dikkate alınarak (8.27) ve (8.28) numaralı bağıntılarla sistemin net bugünkü değer yöntemi ile ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizde aylara göre NPV ortaya konulmuştur. Bu değerin pozitif döndüğü aydan itibaren sistem kendini amorti etmekte ve kâra geçmektedir. Çizelge 10.2’de atık ısı geri kazanım sistemine ait ekonomik analiz sonuçları sunulmuştur. Belirtilen çalışma şartlarına göre sistemin NPV değeri 10. ayda pozitif olmakta ve bu aydan itibaren yatırım maliyetini karşılayıp kazanca geçmektedir.

Çizelge 10.2 Ekonomik analiz sonuçları

Aylar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Toplam yatırım maliyeti (\$)	-56128,9										
Aylık getiri (\$)		6629,3	6629,3	6629,3	6629,3	6629,3	6629,3	6629,3	6629,3	6629,3	6629,3
Enerji sarfiyatı (\$)		-244,2	-244,2	-244,2	-244,2	-244,2	-244,2	-244,2	-244,2	-244,2	-244,2
Yıllık faiz oranı	0,625%	0,625%	0,625%	0,625%	0,625%	0,625%	0,625%	0,625%	0,625%	0,625%	0,625%
Bakım onarım gideri (\$)		-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0
Net nakit akış (\$)	-56128,9	6285,1	6285,1	6285,1	6285,1	6285,1	6285,1	6285,1	6285,1	6285,1	6285,1
İndirim oranı	1	0,9938	0,9876	0,9815	0,9754	0,9693	0,9633	0,9573	0,9514	0,9455	0,9396
İskontolu net nakit akış (\$)	-56128,9	6246,0	6207,3	6168,7	6130,4	6092,3	6054,5	6016,9	5979,5	5942,3	5905,4
NPV (\$)		-49882,8	-43675,6	-37506,9	-31376,5	-25284,2	-19229,7	-13212,8	-7233,4	-1291,0	4614,4

Ekonomik analiz yapılırken yalnızca ısı geri kazanımdan elde edilecek ısı karşılığı tasarruf edilen doğalgaz miktarına göre bir hesap yapılmıştır. Bu hesapta, buhar kazanının tasarruf edilen enerji kadar daha az çalışacağı dikkate alındığında kazanın çalıştığı sürede harcayacağı elektrik enerjisi ve diğer işletme giderleri dikkate alınmamıştır.

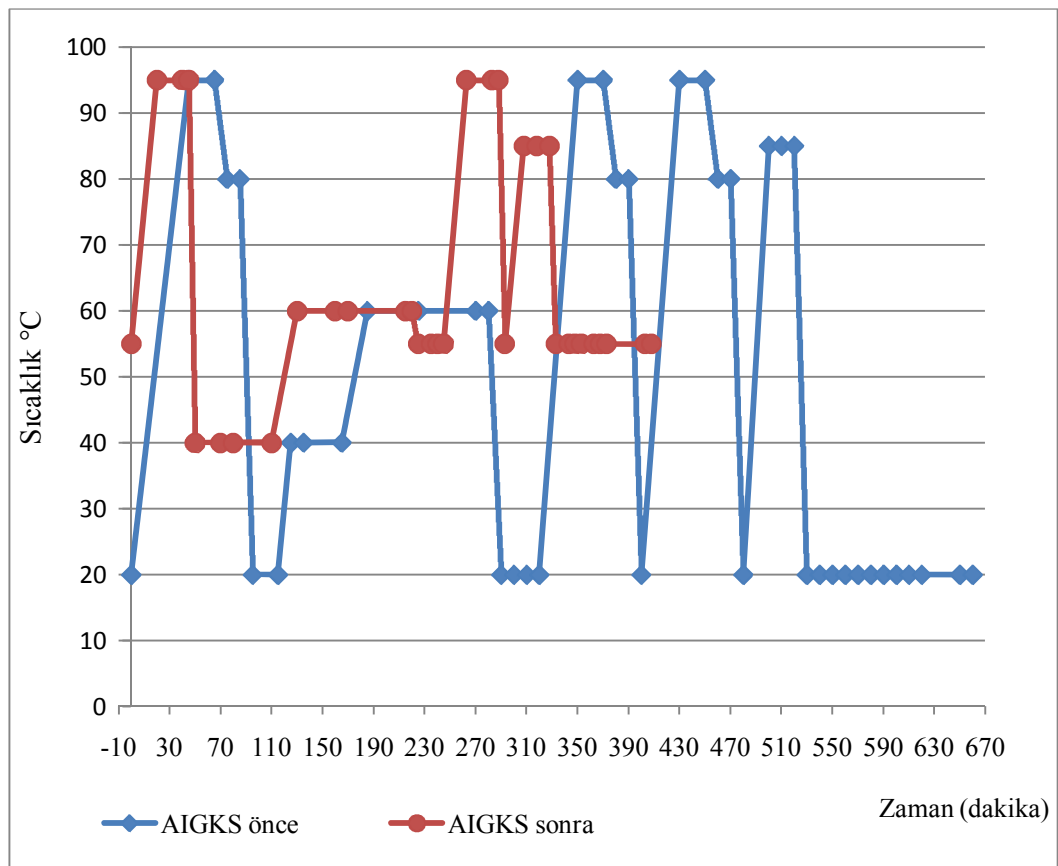
Sistem ısı geri kazanımı ile 1 günde 806,88 m³ doğalgaz tasarruf imkânı sağlamaktadır. İşletmenin bir günlük doğalgaz tüketimi işletme verilerine göre ortalama 2750 m³ dür. Tasarruf oranına bakıldığında 1 günlük doğalgaz tüketiminde yaklaşık %29 lük bir tasarruf oranı yakalanmıştır.

Sistemin bir diğer avantajı ise işletmenin kazan kapasitesinin yaklaşık %29 u boşa çıkmıştır. Yeni makine alımı gerçekleşmesi halinde buhar gereksinimi için kazan kapasite problemi yaşanmayacaktır.

9.3. Sistemin üretim verimliliği artışına sağladığı katkılar

Atık ısı geri kazanımının kurulması ve sistemde yapılan iyileştirmeler ile ısı geri kazanımı ile işletmenin enerji maliyetlerinin düşmesi yanında ciddi anlamda proses sürelerinde kısalma ve buna bağlı olarak üretim verimlerinde artış görülmüştür. Şekil 10.16 da görülen grafikte atık ısı geri kazanımı kurulan tesiste pamuk boyama prosesinin AIGKS sisteminin kurulmasından önceki ve sonraki sıcaklık ve zamana bağlı değişimi görülmektedir. AIGKS öncesi pamuk boyama prosesinin adımları Ek 2’de verilmektedir. Grafikte görüldüğü gibi atık ısı geri kazanım sisteminin işletmeye entegre edilmesi sayesinde boyama prosesinde şebeke suyu (18-22°C) yerine sıcak su kullanılmaya başlanmış bu sayede ısıtma için gerekli süre azalmıştır. Ölü boyar maddelerin uzaklaştırılması için yapılan soğuk ve sıcak yıkama işlemleri, sistemin kurulması ile birlikte sıcak su ile yapılmaya başlanmış ve sıcak su kullanımı ile yıkama sayıları azalmıştır. Şekil 10.16 da görülen ve Ek 3’te aşamaları verilen grafikte atık ısı geri kazanım sisteminin kurulması ile daha önce 660 dakika süren bir pamuk boyama prosesi 406 dakikada tamamlanmaktadır. Atık ısı geri kazanım sistemi ile birlikte incelenen proste 252 dakikalık bir kısalma söz konusudur. Bu kısalma ile zamandan %38 lik bir kazanç sağlamaktadır. Sistemden önceki proste 10 defa su boşaltma işlemi yapılırken sistemin kurulması ile birlikte proste su boşaltma sayısı 8 e düşmüştür. Görüldüğü gibi yeni proste %20 daha

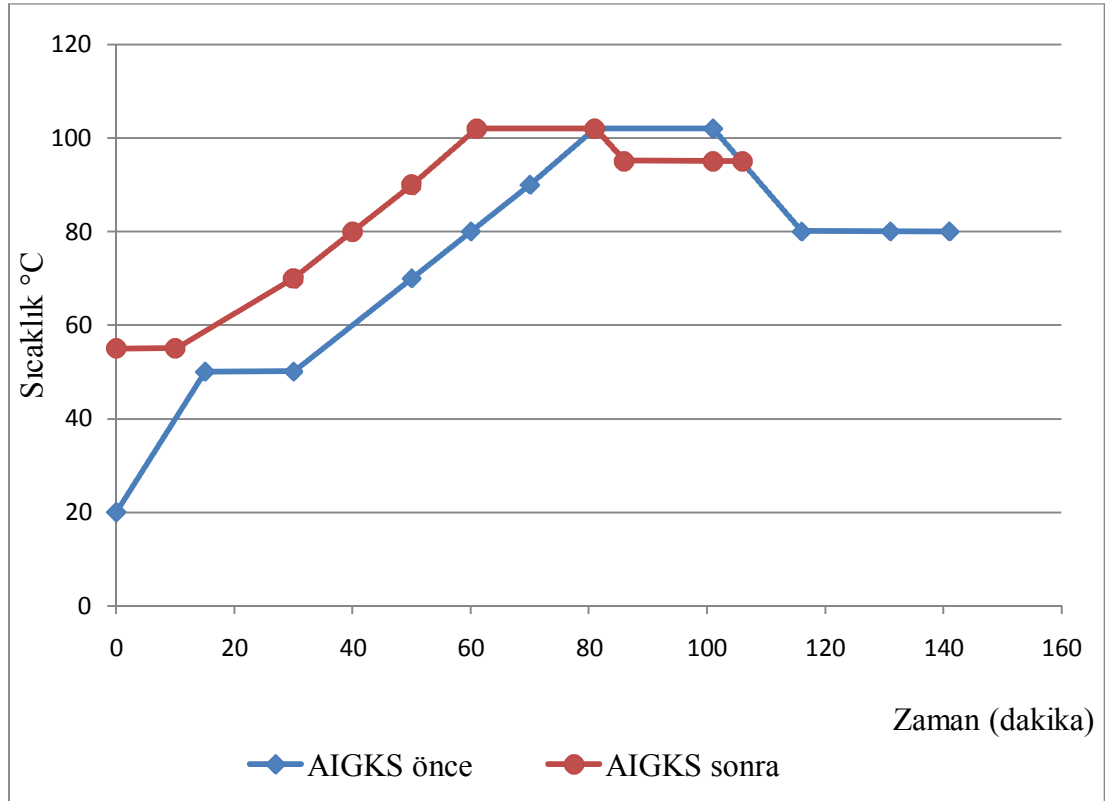
az su kullanılmaktadır. Daha az su kullanmak daha az kimyasal kullanmak anlamına geleceğinden kullanılan kimyasal miktarında da bir azalma görülecektir. Bununla birlikte, daha az su tüketiminin getirdiği başka avantajlar da mevcuttur. Su tüketiminin azalması aynı zamanda su yumuşatma sisteminde ters yıkama sayısını azaltacağından kullanılan tuz ve su miktarını da azaltmaktadır. Bunun sonucunda Organize Sanayi Bölgesi'ne ödenen arıtma su bedelinde de önemli oranda bir azalma sağlanmaktadır.



Şekil 10.16 Pamuk Boyama prosesinin atık ısı geri kazanım sisteminden önceki ve sonraki Sıcaklık ve zamana bağlı değişimi

Akrilik boyama prosesinde ise Şekil 10.17 de görüldüğü gibi bir değişim gerçekleşmiştir. Boyama işlemine ortalama 20°C sıcaklıkta suyla başlanması yerine 55°C lik sıcak suyla başlanması ile ısıtma sürelerinin kısalması ile birlikte su alma ve boşalma sürelerinin de kısalması sayesinde 141 dakikalık boyama prosesi 106 dakikaya inmektedir. Bu proseste 35 dakikalık bir kısalma olmaktadır. Bu da

zamandan yaklaşık %25 lik bir kazanç sağlamaktadır. Akrilik boyama prosesinde başlangıçta alınan suyla boyama işlemi gerçekleştiğinden boşaltma sayılarında bir değişim olmamıştır. Burada en önemli kazanç ısıtma için harcanan süresinin ve soğutma için harcanan sürenin kısalmasından sağlanmaktadır. Ek 4 de akrilik boyama prosesinin AIGKS öncesi adımları ve Ek 5 de AIGKS sonrası aşamaları verilmektedir.

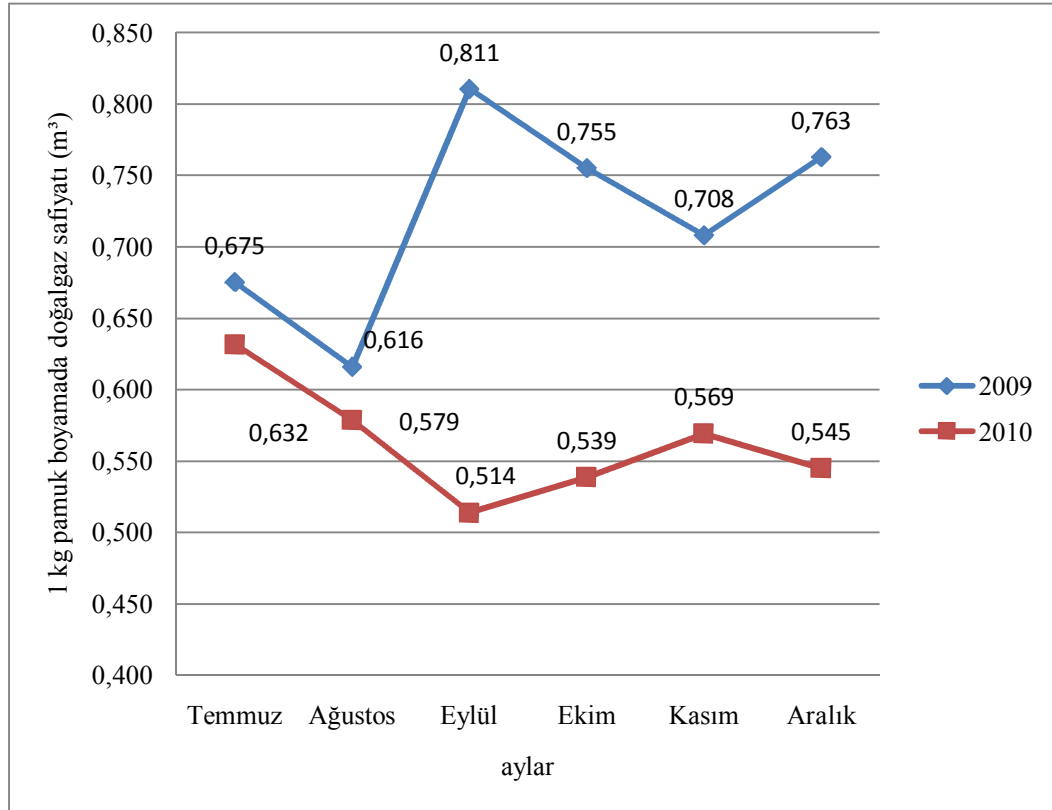


Şekil 10.17 Akrilik Boyama prosesinin atık ısı gerim kazanım sisteminden önceki ve sonraki Sıcaklık ve zamana bağlı değişimi

Şekil 10.18 İşletmenin 2009 ve 2010 yılında Temmuz-Aralık döneminde 1kg pamuk boyama ve kurutma için harcadığı doğalgaz miktarı verilmektedir. 2010 yılı Ağustos ayında sistemin kurulmasına başlanılmış ve Eylül ayında tam olarak faaliyete geçmiştir. İşletmenin yaz döneminde pamuğu güneşten faydalanılarak dış ortamda kurutulması sebebiyle yaz dönemlerinde kurutma işlemi için enerji harcanmamaktadır. Ancak güneşin etkisinin azaldığı Eylül ayından itibaren pamuk kurutma işleminin kurutma makinesinde buhar kullanılarak yapılması ile doğalgaz

sarfiyatında yaz dönemine göre önemli oranda bir artış yaşanmaktadır. Ancak Eylül 2010 da sistemin devreye girerek ısı geri kazanımı yapmaya başlaması ile birlikte doğalgaz tüketiminde çok ciddi bir oranda düşme olduğu açıkça görülmektedir.

Gerekli doğalgaz miktarındaki aynı yılın ayları arasında farklılığın nedenleri çalışma gün sayılarına bağlı olarak buhar kazanının kapatılıp açılma sayılarının farklı olması ve boyama yapılan renklerin proses sürelerinin farklı olmasıdır.



Şekil 10.18 İşletmenin 2009 ve 2010 yılında Temmuz-Aralık döneminde 1kg pamuk boyama ve kurutma için harcadığı doğalgaz miktarı

Çizelge 10.3 de görüldüğü gibi 2009 Temmuz ve Ağustos aylarında 1kg pamuk boyama ve kurutma için $0,675\text{m}^3$ ve $0,616\text{m}^3$ gaz tüketilirken 2010 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında bu rakam $0,632\text{ m}^3$ ve $0,579\text{m}^3$ olarak gerçekleşmiştir. 2010 yılı Temmuz ayında bir önceki yılın aynı dönemine göre 1kg pamuk boyama için kullanılan doğalgaz tüketimi %6,44 azalırken, Ağustos ayında bir önceki yıla göre %6,05 oranında azalma olmuştur. Pamuk kurutmanın buhar yardımı ile yapılması ile birlikte 1 kg pamuk boyama ve kurutma için kullanılan gaz miktarları 2009 yılı Eylül ayında itibaren $0,811$; $0,755$; $0,708$ ve $0,768\text{m}^3$ olarak

gerçekleşmiştir. 2010 yılında atık ısı geri kazanım sistemi ile birlikte bu rakamlar sırasıyla 0,514; 0,539; 0,569 ve 0,545m³ olarak gerçekleşmiştir. Aylar arasında doğalgaz gaz sarfiyatında değişimler boyanan pamuğun renk dağılımına göre proses süresinin ve aşamalarının değişmesine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Ancak atık ısı geri kazanım sisteminin devreye girmesi ile birlikte doğalgaz miktarındaki azalma bir önceki yıllara kıyaslandığında Temmuz ve Ağustos aylarında %6,44 ve %6,05 iken, Sistemin devreye girmesi ile Eylül ayında %36,6; Ekim ayında %28,67; Kasım ayında %19,61 ve Aralık ayında %28,97 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 10.3 İşletmenin 2009 ve 2010 yılında Temmuz-Aralık döneminde 1kg pamuk boyama ve kurutma için harcadığı doğalgaz miktarı ve yüzdesel farkı

Aylar	2009	2010	yüzdesel fark
	1kg pamuk boyama ve kurutma için gerekli doğalgaz miktarı	1kg pamuk boyama ve kurutma için gerekli doğalgaz miktarı	
Temmuz	0,675	0,632	-6,44%
Ağustos	0,616	0,579	-6,05%
Eylül	0,811	0,514	-36,60%
Ekim	0,755	0,539	-28,67%
Kasım	0,708	0,569	-19,61%
Aralık	0,763	0,545	-28,57%

11. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde atık ısı geri kazanım sisteminin deneysel verileri ışığında gerçekleştirilen termodinamik ve ekonomik analizlerinden ulaşılan sonuçlar listelenmiş, ardından sistemin daha verimli çalıştırılabilmesi ve geliştirilebilmesi için öneriler sunulmuştur.

11.1. Sonuç

- a) Deneysel sistemde kullanılan ısı değiştirici etkinliği 0,773-0,996 aralığında değişirken, aktarım birim sayısı 3,41-8,60 aralığında değişmektedir.
- b) Sistemin ısı transfer oranı 223 416,9 W (atık akışkan debisi 8 m³/h ve temiz su debisi 5 m³/h) ile 368 836,4 W (atık akışkan debisi 12 m³/h ve temiz su debisi 7 m³/h) arasında değişmektedir.
- c) Temiz su debisi 8 m³/h debide sabit tutulup atık akışkan debisi 8-12 m³/h debi değerleri arasında değiştirildiğinde Ekserji yıkımı; 6,54 kW ile 9,36 kW değerleri arasında değişmektedir. Ekserji verimi; 0,608 ile 0,580 arasında değişirken etkinlik, 0,813 ile 0,933 değerleri arasında değişmektedir.
- d) Temiz su debisi 7m³/h debide sabit tutulup atık akışkan debisi 8-12 m³/h debi değerleri arasında değiştirildiğinde ekserji yıkımı; 9,19 kW ile 13,68 kW değerleri arasında değişmektedir. Ekserji verimi; 0,672 ile 0,640 arasında değişirken etkinlik, 0,854 ile 0,949 değerleri arasında değişmektedir.
- e) Temiz su debisi 6m³/h debide sabit tutulup atık akışkan debisi 8-12 m³/h debi değerleri arasında değiştirildiğinde ekserji yıkımı; 6,29 kW ile 9,36 kW değerleri arasında değişmektedir. Ekserji verimi; 0,625 ile 0,575 arasında değişirken etkinlik, 0,813 ile 0,933 değerleri arasında değişmektedir.
- f) Temiz su debisi 5m³/h debide sabit tutulup atık akışkan debisi 8-12 m³/h debi değerleri arasında değiştirildiğinde ekserji yıkımı; 6,74 kW ile 9,27 kW değerleri arasında değişmektedir. Ekserji verimi 0,580 ile 0,536 arasında değişirken etkinlik, 0,974 ile 0,996 değerleri arasında değişmektedir.

- g) Atık akışkan optimum kütleli debi değeri 10 m³/h, temiz soğuk akışkan debi değeri 6,45 m³/h olarak belirlenmiştir.
- h) Optimum çalışma debisinin atık sıcak su için 10,00 m³/h ve soğuk su için 7,00m³/h için atık sıcak su giriş sıcaklığı 52,4-59,5°C değerleri arasında değişirken, ekserji yıkımı; 5,40 ile 9,46 kW; ekserji verimi; %68,7 ile %61,6 değerleri aralığında değişmekte, ısı değiştirici etkinliği de 0,969 ile 0,924 arasında değerler almaktadır.
- i) İyileştirme potansiyeli, atık akışkan debisi 8-12 m³/h ve soğuk akışkan debisi 5-8m³/h için 2,35 kW-4,92 kW arasında değerler almaktadır.
- j) Sistemin toplam yatırım maliyeti 56128,9\$ dolardır.
- k) Sistem 26 gün/ay çalışmayla 20978,88 m³/ay bir doğalgaz tasarrufu sağlayacaktır.
- l) Ekonomik analize göre sistem 10. Aydan itibaren yatırım bedelini geri ödeyerek kazanç sağlamaya başlamaktadır.
- m) Atık ısı geri kazanım sisteminin kullanılmaya başlanması ile boyama süresinde ciddi anlamda kısalma olmuştur İşletmede orta renk pamuk boyama prosesinde %38'lik, akrilik boyama prosesinde ise %25'lik bir kısalma gerçekleşmiştir.
- n) Pamuk boyama prosesinde 10 olan su alma ve boşaltma sayısı 8'e düşmüştür. Bu durum %20'lik bir su tasarrufu sağlamaktadır.
- o) İşletmenin sistemin kurulması ile birlikte 2010 yılı Eylül-Ekim-Kasım aylarında 1 kg pamuk boyama için harcadığı doğalgaz miktarında, 2009 yılı aynı dönemlerine göre sırasıyla %36,6; %28,67; %19,61 ve %28,57 olmak üzere ortalama %28,36 oranında bir azalma kaydedilmiştir.

11.2. Öneriler

Konu ile ilgili yapılacak sonraki çalışmalara ışık tutması bakımından, Sesli Tekstil A.Ş de kurulan ve test edilen atık sıvılardan plakalı ısı değiştiriciler ile ısı geri kazanımı sisteminin geliştirilmesi ve uygulama verimin artmasına yönelik öneriler aşağıda sıralanmıştır:

- a) Plakalı ısı değiştiricisinde, farklı plaka geometrileri ve konfigürasyonlarının sistem performansına etkisi incelenerek, sistem verimini artıracak konfigürasyonlar denenebilir.
- b) Plakalı ısı değiştiricisine plaka ilavesi ile sistem gücü arttırılabilir ve termodinamik analizler yapılarak sistem veriminin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılabilir.
- c) Farklı geometrilerdeki plakaların toplam ısı transfer katsayısına etki eden faktörler incelenerek sistem performansının geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılabilir.
- d) Atık ısı geri kazanım sistemi ile ısı geri kazanımı yanı sıra suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilerek atık suyun prosese uygun hale getirilerek kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılabilir.
- e) Her ne kadar yumuşak su ile çalışmasına rağmen sistemde zamanla oluşabilecek akış kanallarındaki yabancı madde birikimlerine karşı sistem, belli dönemlerde uygun kimyasallar kullanarak temizlenebilmelidir.
- f) Boyama prosesinin işleyişine göre zaman zaman atık akışkan su sıcaklığında değişmeler olmaktadır. Bu yüzden işletmede kullanılan atık ısı geri kazanımından elde edilen temiz su sıcaklığında da değişimler olmaktadır. Sabit sıcaklıkta temiz su eldesi için temiz su debisi kontrol edilebilir. Debi değerinin sıcaklığa bağlı değiştirilmesi ise pompa devrinin hız kontrol cihazı değiştirilmesi suretiyle elde edilebilir.
- g) Sistemin kurulması ile elde edilen sıcak suya göre proseslerde değişiklikler yapılmıştır. Ancak boyahanenin tatiller sonrası çalışmaya başladığında, sistemin çalışması için gerekli atık akışkan boyama prosesine göre belirli bir süre sonra ortaya çıkmaktadır. Sıcak su deposundaki depolanan sıcak su da soğumuş olduğundan sisteme belirli bir süre sıcak su verilememektedir. Boyama prosesleri de sıcak suyla boyama yapılacak şekilde revize edildiğinden iş akışında sıkıntılarla karşılaşılmaktadır. Bu sıkıntıların önlenmesi adına sıcak su havuzundaki

suyun işletmenin uzun süreli duruşlarından sonra hızlı bir şekilde ısıtılmasına yönelik bir uygulama uygun olacaktır.

Tekstil firmalarının zor günler yaşadığı günümüzde atık ısıdan geri kazanım sistemleri daha da önem arz etmektedir. Bu sistemler ciddi anlamda tasarruf potansiyeli taşımakta olup, proses doğru analiz edilip uygun bir sistem tasarlandığında oldukça düşük geri ödeme sürelerine sahiptirler. Sektörde yapılacak ısı geri kazanım sistemleri enerji maliyetlerini düşürmekle birlikte buradan elde edilecek enerji ile üretim verimleri de artırılmış olacak ve mevcut enerji üretim kapasitesi de artırmış olacaktır.

Enerji sektöründeki dışa bağımlılığımız ve yüksek maliyetler düşünüldüğünde, sanayide atık ısı kaynakları, enerji tasarrufu bakımından önemli bir potansiyel olarak karşımıza çıkmaktadır. Gelişmiş ülkelerin kısa ve orta vadede enerji verimliliklerinin artırılmasına yönelik hedefler koyduğu ve bu hedeflerin gerçekleşmesi için bütçeler ayırdığı günümüzde bu yarışta geride olmamıza rağmen enerji talebimizin sürekli artışı ve buna bağlı olarakta enerji ithalat için ödediğimiz döviz miktarını da göz önüne alarak politikalar oluşturulmalı ve tasarruf potansiyeli değerlendirilmelidir. Unutamayalım ki tasarruf sonucu elde edeceğimiz enerjini maliyeti yok denecek kadar azdır.

12. KAYNAKLAR

1. Stehlík, P., Wadekar, V., V., “Different Strategies to Improve Industrial Heat Exchange”, *Heat Transfer Engineering*, 23(6):36-48 (2002)
2. Kavak, K., “Dünyada ve Türkiyede Enerji verimliliği ve Türk sanayinde Enerji verimliliğinin İncelenmesi”, *Uzmanlık Tezi, Devlet Planlama Teşkilatı İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü*, Ankara, 2004
3. Tarakçıoğlu A., “Sanayide Atık Isıdan Yararlanma Yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul,2006
4. Varol, Y., “Rejeneratif Isı Değiştirgeçleri Yardımıyla Enerji Geri Kazanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 1991
5. Selbaş, R., “Atık Isı Enerjisinden Yararlanma Yöntemleri ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya, 1992
6. Rajavel, R., K., Saravanan, K., “An Experimental Study Of Spiral Plate Heat Exchanger For Electrolytes”, *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 43(2): 255-260 (2008)
7. Güngör, A., “Enerji Geri Kazanım Sistemleri”, 93 *Teskon*, İzmir, 415-450 (1993)
8. Durmaz, M., “Isı Geri Kazanım Isı Değiştiricilerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu” , Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul , 2007
9. Özsoy, A., “Isıtma Sistemlerinden Isı geri Kazanımında Isı Borularının Uygulanabilirliği, Ekserji ve Ekonomik Analizi”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimlerli Enstitüsü*, Isparta, 2005
10. San, J., Y., Lin, G.,S., Pai, K., L., “Performance of a serpentine heat exchanger: Part I – Effectiveness and heat transfer characteristics”, *Applied Thermal Engineering*, 29: 3081–3087 (2009)
11. Benli, H., Gül, H., Durmuş, A., “Değişik Yüzey Profiline Sahip Tek Geçişli Plaka Tipli Isı Değiştiricilerinde Isı Transferinin İncelenmesi”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 18 (4):569-575 (2006)
12. Kılıç, B., “Plakalı ısı eşanjörlerinin ısıtma ve soğutma uygulamaları için optimum çalışma şartlarının araştırılması”,Yüksek lisans tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 2008

13. Gut, J., A., W., Pinto, J., M., “Modeling of plate heat exchangers with generalized configurations”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46 :2571–2585 (2003)
14. Şencan, A., Selbaş , R., Kılıç, B., “Isıtma ve Soğutma Uygulamalarında Kullanılan Plakalı Isı Eşanjörlerinin Deneysel Analizi” *Tübv Bilim Dergisi*, 3(1):35-44 (2010)
15. Dwivedi, A.,K., Das, S., K., “Dynamics of plate heat exchangers subject to flow variations”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50: 2733–2743 (2007)
16. Arsenyeva, O., Tovazhnyansky, L., Kapustenko, P.,Khavin, G., “Mathematical Modelling and Optimal Design of Plate-and-Frame Heat Exchangers”, *Chemical Engineering Transactions*, 18:791-796 (2009)
17. Singh. R., Kachhwaha ,S.,S., “Thermal hydraulic analysis of aplate heat exchanger”, *Journal of scientific Industrial Research* ,69:121-124 (2010)
18. Danışman, C., “Plakalı Eşanjör Etkinlik Parametrelerinin Deneysel Analizi”, Yüksek lisans tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 2010
19. Gut, J., A.,W., Fernandes, R., Pinto, J.,S., Tadinin, C., C., “Thermal model validation of plate heat exchangers with generalized configurations”, *Chemical Engineering Science* , 59:4591-4600 (2004)
20. Vestergen ,U., “Jeotermal uygulamalarda plakalı ısı eşanjörleri”, *Teskon*, İzmir, 375-390 (2003)
21. Can, M., “Endüstriyel atık akışkanların değerlendirilmesi ve ülke ekonomisine katkısı”, *Ekoloji çevre dergisi*, 17:22-28 (1995)
22. Yetis, Ü., Kocabas, A., M., Yukseler, H., Dilek, F., B., “Adoption of European Union’s IPPC Directive to a textile mill: Analysis of water and energy consumption”, *Journal of Environmental Management*, 1–12 (2009)
23. Kocabas, A., M., “Improvements in energy and water consumption performances of a textile mill after bat applications” Yüksek lisans tezi ,*The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University*, Ankara, 2008
24. Oğulata, R.,T.,“Utilization of waste-heat recovery in textile drying” *Applied Energy*, 79 :41–49 (2004)
25. Yamankaradeniz, N., “Tekstil sanayinde atık ısıdan enerji tasarrufunda klasik sistemlerle ısı pompası sistemlerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 2007
26. Kaplan E., Koç, E., “Türk Tekstil Sanayinde Enerji Kullanımının Genel Değerlendirilmesi ”, *Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 19 (2):97-111 (2004)

27. Pulat, E., Etemoğlu, A. B., Can M., “Waste heat recovery potential in Turkish textile industry; case study for city of Bursa”, *Renewable and sustainable Energy Reviews*,13:663-672 (2007)
28. Hepbaşlı, A., “A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12:593–661 (2008)
29. Yılmaz, M., Sara, O., N., “Performance evaluation criteria for heat exchangers based on second law analysis”, *Exergy International Journal*, 1(4): 278–294 (2001)
30. Naphan, P., “Second law analysis on the heat transfer of the horizontal concentric tube heat exchanger”, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 33:1029-1041 (2006)
31. Oğulata, R., T., Doba, F., Yılmaz, T., “Second law and experimental analysis of across flow heat exchanger”, *Heat transfer Engineering*, 2:20-27 (1999)
32. Dazlak, S., “Bir Doğalgaz Santralinde Atık Isı Kazanım Tesisinin Enerji ve Ekserji Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 2006
33. Enerji Verimliliği Derneği, “Enerji ve enerji verimliliği çalışmaları raporu”, *TEVEM*, Ankara, (2009)
34. International Energy Agency, “Key Word Energy Statistic”, *IEA, Paris*, (2007)
35. International Energy Agency, “Key Word Energy Statistic”, *IEA, Paris*, (2009)
36. T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı “2006 Genel Enerji Dengesi” http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=y_istatistik&bn=244&hn=244&id=398 (2011)
37. T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı “2006 Genel Enerji Dengesi” http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=y_istatistik&bn=244&hn=244&id=398 (2011)
38. T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı “2007 Genel Enerji Dengesi” http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=y_istatistik&bn=244&hn=244&id=398 (2011)
39. T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı “2008 Genel Enerji Dengesi” http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=y_istatistik&bn=244&hn=244&id=398 (2011)

40. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı “2009 Genel Enerji Dengesi”
http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=y_istatistik&bn=244&hn=244&id=398 (2011).
41. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı “Sektörel Enerji Tüketimleri”
http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=y_istatistik&bn=244&hn=244&id=398 (2011).
42. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi “Sanayide Enerji Yönetim Esasları IV ” *EİE, Ankara*, 18.1-18.5 (2004).
43. Genceli, O. F, “Isı değiştiricileri”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 90-109 (2005).
44. Güneş, M., “Su ve havanın bazı termodinamik özellikleri için korelasyonlar”, *Termodinamik Dergisi*, 6(67):64,69 (1998).
45. Kakaç, S., Liu, H., “Heat Exchangers Selection Rating and Thermal Design”, *CRC Press*, New York, 373-412 (1998).
46. Çengel, Y.A., Boles, A., “Mühendislik yaklaşımıyla Termodinamik”, Ali Pınarbaşı, *Güven Bilimsel*, İzmir, 423-486(2008).
47. Wang, L., Sundén, B., Manglik, R., M., 2007, “Plate Heat Exchangers Design, Applications and Performance”, *Wit Press*, Southampton, Boston.
48. http://www.universalkazan.com.tr/urun_detay.asp?uno=816283 (2011)
49. http://www.arasta.com/tr/free_flow.asp (2011)
50. <http://www.esanjor.com.tr/esanjor.asp?t=Plakal%FD%20Is%FD%20E%FEanj%F6r%FCn%20%C7al%FD%FEma%20Prensibi%20Nedir> (2011)
51. <http://www.arasta.com/tr/urunler.asp> (2011)
52. <http://www.plakaliesanjor.com/1/79/B3-30-Model-Lehimli-E%C3%BEanj%C3%B6r.htm> (2011)
53. <http://www.arasta.com/tr/geabloc.asp> (2011)
54. <http://www.esanjor.com.tr/esanjor.asp> (2011)

EKLER

EK-1. Plakalı Eşanjör Seçim Çıktısı

ÜNİVERSAL PHE - Dizayn ve Data Sayfası

V0998H

SESİLİ TEKSTİL
021

11.03.2010

Item: 3

PHE Tip	ÜWG4-P16-37-TL-LIQUID	Sıcak Taraf	Soguk Taraf
Debi	(m ³ /h)	10,00	7,00
Giris Sicakligi	(°C)	60,00	15,00
Cikis Sicakligi	(°C)	31,88	55,00
Basinc Kaybi	(bar)	0,28	0,15
Kapasite	(kW)	323	

Termodinamik Ozellikler		Water	Water
Ozgul Agirlik	(kg/m ³)	989,78	993,72
Ozgul Isi	(kJ/kg*K)	4,18	4,18
Termak Iletkenlik	(W/m*K)	0,64	0,62
Ortalama Viskozite	(mPa*s)	0,60	0,72
Duvar Viskozite	(mPa*s)	0,72	0,60
Kirlenme marji	(m ² *K/kW)	0,07	0,07
Marj	%	32,55	
Giris		B2	F3
Cikis		F4	B1

Govde ve Plaka Dizayni			
Plaka Dizilimi		2 x 3 + 3 x 4	
Plaka Dizilimi		2 x 3 + 3 x 4	
Plaka Sayisi		37	
Efektif Isi Tranfer Alani	(m ²)	000001	20,02
K-Degeri Kirli/Temiz	(W/m ² *K)	1.653,17	2.191,26
Plaka Malzemesi		0.9 mm AISI 316	
Conta Malzemesi		NITRIL	
Maks. Dizayn Basinci	(°C)	120,00	
Maks. Calisma/Test Basinci	(bar)	10,00	13,00
Maks. Basinc Farki	(bar)	6,00	
Test		None	
Akiskan Hacmi	(liter)	108	
Govde Uzunlugu	(mm)	1100	Maks. Plaka Sayisi 59
Net Agirlik	(kg)	1021	
Gove Tipi		IS	
Sıcak Taraf Baglanti	: DN 100 Flange St.37 PN16		
Soguk Taraf Baglanti	: DN 100 Flange St.37 PN16		

EK-2. Pamuk Boyama Prosesi Adımları AIGKS önce

Proses İşlemi	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)	Toplam süre (dk)
Şebeke suyu ile başlangıç	20	0	0
Kasar için kimyasal alma ve ısıtma	95	45	45
Kasar işlemi	95	20	65
Soğutma	80	10	75
Boşaltma	80	10	85
Su alma	20	10	95
Enzim verme	20	20	115
Isıtma	40	10	125
İyon tutucu	40	10	135
Tuz verme	40	30	165
Isıtma	60	20	185
Soda verme	60	30	215
Kostik verme	60	10	225
Boyama işlemi	60	45	270
Boşaltma	60	10	280
Su alma	20	10	290
Asitli yıkama	20	10	300
Boşaltma	20	10	310
Su alma	20	10	320
Isıtma	95	30	350
Bekleme	95	20	370
Soğutma	80	10	380
Boşaltma	80	10	390
Su alma	20	10	400
Isıtma	95	30	430
Bekleme	95	20	450
Soğutma	80	10	460
Boşaltma	80	10	470
Su alma	20	10	480
Isıtma	85	20	500
Bekleme	85	10	510
Boşaltma	85	10	520
Su alma	20	10	530
Yıkama	20	10	540
Boşaltma	20	10	550
Su alma	20	10	560
Yıkama	20	10	570
Boşaltma	20	10	580
Su alma	20	10	590
Yıkama	20	10	600
Boşaltma	20	10	610
Su alma	20	10	620
Nötr asit verme ve fikseleme	20	30	650
Boşaltma	20	10	660

EK-3. Pamuk Boyama Prosesi Adımları AIGKS den sonra

Proses İşlemi	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)	Toplam süre (dk)
Sıcak su ile başlangıç	55	0	0
Kasar için kimyasal alma ve ısıtma	95	20	20
Kasar işlemi	95	20	40
Boşaltma	95	5	45
Su alma	40	5	50
Enzim verme	40	20	70
Isıtma	40	0	70
İyon tutucu	40	10	80
Tuz verme	40	30	110
Isıtma	60	20	130
Soda verme	60	30	160
Kostik verme	60	10	170
Boyama	60	45	215
Boşaltma	60	5	220
Su alma	55	5	225
Asitli yıkama	55	10	235
Boşaltma	55	5	240
Su alma	55	5	245
Isıtma	95	18	263
Bekleme	95	20	283
Boşaltma	95	5	288
Su alma	55	5	293
Isıtma	85	15	308
Bekleme	85	10	318
Boşaltma	85	10	328
Su alma	55	5	333
Yıkama	55	10	343
Boşaltma	55	5	348
Su alma	55	5	353
Yıkama	55	10	363
Boşaltma	55	5	368
Su alma	55	5	373
Nötr asit verme ve fikseleme	55	30	403
Boşaltma	55	5	408

EK-4. Akrilik Boyama Prosesi Adımları AIGKS den önce

Proses işlemi	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)	Toplam süre (dk)
Şebeke suyu ile başlama	20	0	0
Isıtma	50	15	15
Kimyasal ve boya verme	50	15	30
Isıtma	70	20	50
Isıtma	80	10	60
Isıtma	90	10	70
Isıtma	102	11	81
Bekleme	102	20	101
Soğutma	80	15	116
Yumuşatıcı verme	80	15	131
Boşaltma	80	10	141

EK-5. Akrilik Boyama Prosesi Adımları AIGKS den sonra

Proses İşlemi	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)	Toplam süre (dk)
Sıcak su ile başlama	55	0	0
Kimyasal ve boya verme	55	10	10
Isıtma	70	20	30
Isıtma	80	10	40
Isıtma	90	10	50
Isıtma	102	11	61
Bekleme	102	20	81
Soğutma	95	5	86
Yumuşatıcı verme	95	15	101
Boşaltma	95	5	106

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KOÇLU, Aytaç
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 18.06.1976 Avusturya
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (276) 266 79 79
 Faks : 0 (276) 266 79 00
 e-mail : aytackoclu@gmail.com; aytack@sesli.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Ana Bilim Dalı	2011
Lisans	Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü	1998
Lise	Uşak Endüstri Meslek Lisesi	1993

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2001-	Sesli Tekstil A.Ş.	Makine Enerji Yöneticisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Kandilli,C., Koçlu, A., “Tekstil Endüstrisi Boyama Prosesinde Plakalı Isı Değiştiricilerle Atık Isı Geri Kazanım Sistemi Enerji ve Ekserji Analizi”, *X. Ulusal Tesisat Kongresi Bildiriler Kitabı*, İzmir;1911-1925, 2011.

Hobiler

Kitap okuma, Seyahat etme.