

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ABİLİM DALI

**TEKSTİL SANAYİİNDE BOYAHANE ATIKSUYUNDAN ISI GERİ
KAZANIMI: GERÇEK BİR İŞLETME ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre KALAYCI

OCAK - 2021

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TEKSTİL SANAYİİNDE BOYAHANE ATIKSUYUNDAN ISI GERİ
KAZANIMI: GERÇEK BİR İŞLETME ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre KALAYCI

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Evren ÇAĞLARER

Ocak – 2021

ETİK BEYAN

Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Emre KALAYCI
15/ 01/ 2021

ÖZET

TEKSTİL SANAYİİNDE BOYAHANE ATIKSUYUNDAN ISI GERİ KAZANIMI: GERÇEK BİR İŞLETME ÖRNEĞİ

Emre KALAYCI

Yüksek Lisans Tezi

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Evren ÇAĞLARER

Ocak 2021, 106 sayfa

Teknolojinin hızla gelişmesi ve dünya nüfusunun artması, yaşam standartlarında değişikliklere yol açmıştır. Buna paralel olarak artan ihtiyaca karşılık, başta fosil kökenliler olmak üzere enerji kaynaklarındaki azalma, bu kaynakların etkin ve verimli kullanımını kaçınılmaz kılmaktadır.

Diğer taraftan hemen her sektörün temel girdisi olan enerji, tekstil sektöründe de ana maliyet unsurlarından biridir. Türkiye’de özellikle istihdam ve ihracat açısından önemli bir yeri olan sektörün, gelişen teknolojiye ve hızla büyüyen rekabet ortamına ayak uydurma zorunluluğu vardır.

Tekstil terbiye işletmelerinde kullanılan, boyarmadde ve diğer kimyasal maddeler atıksu kirliliğine yol açmaktadır. Dünya genelinde yılda 700 000 ton boya üretildiği belirlenmiştir. Tekstil endüstrisinde bir ton ürün başına 200 ile 350 m³ aralığında atıksu oluşmaktadır.

Bugün hem enerji tüketimini, hem de önemli kirlilik içeriği bulunan atıksu oluşumunu azaltmak, tekstil sanayiinin öncelikli konuları arasına girmiştir.

Bu çalışmada gerçek bir tekstil işletmesinde boyahane atıksuyundan ısı geri kazanımı konu edilmiştir. Atıksudan ısı geri kazanımı ile sağlanan enerji tasarrufu ve sistemin kurulum maliyetini karşılama süresi hesaplanmış, ulaşılan sonuçlar değerlendirilerek önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Isı geri kazanımı, tekstil, enerji.

ABSTRACT

HEAT RECOVERY FROM PAINTING WASTEWATER IN THE TEXTILE INDUSTRY: A REAL BUSINESS EXAMPLE

Emre KALAYCI

PhD Thesis

Kirklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Dr. Lecturer Evren ÇAĞLARER

Ocak 2021, 106 pages

The rapid development of technology and the increase in the world population has led to changes in living standards. In parallel with the increasing need, the decrease in energy resources, especially those of fossil origin, makes the efficient and effective use of these resources inevitable.

On the other hand, energy, which is the main input of almost every sector, is also one of the main cost elements in the textile sector. a particularly important place in terms of employment and exports within the sector in Turkey, there is necessity to keep pace with rapidly evolving technology and growing competition.

Dyestuffs and other chemicals used in textile finishing businesses cause wastewater pollution. It has been determined that 700,000 tons of paint are produced annually worldwide. In the textile industry, 200 to 350 m³ of wastewater is generated per ton of product.

Today, reducing both energy consumption and wastewater generation with significant pollution content has become one of the priority issues of the textile industry.

In this study, heat recovery from dyehouse wastewater in a real textile business is discussed. The energy savings provided by heat recovery from wastewater and the time to cover the installation cost of the system were calculated, the results obtained were evaluated and recommendations were made.

Keywords: Heat recovery, textile, energy.

TEŞEKKÜR

Tekboy Tekstil Sanayi ve Ticaret A. Ş.'nde, işletme enerji verimliliği yönetiminin bir parçası olarak, kontamine atıksulardan ısı geri kazanımının teknolojik ve ekonomik uygulanabilirliği içerikli çalışmamda;

Sürecin her aşamasında beni yönlendiren, değerli bilgilerini ve hoşgörüsünü esirgemeyen ve çalışmanın ortaya çıkmasında büyük emekleri bulunan danışman hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Evren ÇAĞLARER'e ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan sevgili aileme içten şükranlarımı sunarım.

İşletmelerinde çalışmalarımı yürütmem için sağladıkları kolaylık ve gösterdikleri anlayış için “Tekboy Tekstil Sanayi ve Ticaret A. Ş.” fabrika Müdürü Sayın Süha N. ARTUN ve çalışma arkadaşlarına yürekten teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
KAVRAMLAR VE AÇIKLAMALARI.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı	4
1.2. Literatür Araştırması	4
2 TEKSTİL SANAYİİ VE ENERJİ	13
2.1. Dünyada Tekstil Sanayii	13
2.2. Türkiye’de Tekstil Sanayii	14
2.3. Tekstil Sanayiinde Enerji	16
3. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE SU VE ATIKSU YÖNETİMİ	19
3.1. Dünyada Su Durumu	19
3.2. Türkiye’de Su Durumu.....	20
3.3. Tekstil Sanayiinde Su Kullanımı.....	20
3.3.1. Atıksu Arıtma Çalışmaları	24
3.3.1.1. Fiziksel arıtma	24
3.3.1.2. Kimyasal arıtma	24
3.3.1.3. Biyolojik arıtma	24
3.3.2. Suyun Tekrar Kullanılabilme Durumu.....	25
4. TEKSTİL BOYAHANE ATIKSUYUNDAN ISI GERİ KAZANIMI.....	27
4.1. Isı Geri Kazanım Sistemleri	28
4.1.1. Isı değiştiriciler.....	29
4.1.1.1. Geometrik şekline göre ısı değiştiriciler	30
4.1.1.1.1 Borulu tip ısı değiştiriciler	31
4.1.1.1.1.1. Çift borulu ısı değiştiriciler	31
4.1.1.1.1.2. Gövde boru tipi değiştiriciler	32

4.1.1.1.3. Spiral borulu ısı değiştiriciler.....	32
4.1.1.1.2. Plakalı tip ısı değiştiriciler	33
4.1.1.1.2.1. Contalı-plakalı ısı değiştiriciler.....	34
4.1.1.1.2.2. Spiral-plakalı ısı değiştiriciler	34
4.1.1.1.2.3. Lamelli-plakalı ısı değiştiriciler	35
4.1.1.1.3. Kompakt tip ısı değiştiriciler.....	35
4.1.1.1.4. Kanatlı-plakalı kompakt ısı değiştiriciler.....	36
4.1.1.1.5. Kanatlı-borulu kompakt ısı değiştiriciler	37
4.1.1.2. Isı aktarım mekanizmasına göre ısı değiştiriciler.....	37
4.1.1.3. Geçiş yoluna göre ısı değiştiriciler.....	37
4.1.1.4. Akış yörüngelerine göre ısı değiştiriciler.....	38
4.1.1.5. Isı aktarım türüne göre ısı değiştiriciler	38
4.1.1.5.1. Doğrudan temaslı ısı değiştiriciler	38
4.1.1.5.2. Dolaylı temaslı ısı değiştiriciler	38
4.1.2. Isı Pompaları	38
4.1.2.1. Isı Pompalarının Çalışma Prensipleri.....	39
4.2. Tekstil Boyahanesi Atıksu Karakteristiği.....	45
5. GERÇEK BİR İşLETME ÖRNEğİ	49
5.1. İşletme Genel Bilgileri	49
5.2. Ürün ve Üretim Hattı Bilgileri	50
5.2.1. Üretim hattı makine fonksiyonları	52
5.2.1.1. Yaş açma makinesi.....	52
5.2.1.2. Şardon makinesi	53
5.2.1.3. Makaslama (Tıraş) makinesi	55
5.2.1.4. Dijital baskı makinesi.....	55
5.2.1.5. Rotasyon baskı makinası.....	56
5.2.1.6. Baskı Buharlama	57
5.2.1.7. Gaze (yakma) makinesi.....	58
5.2.1.8. Boyama makineleri	59
5.2.1.9. Kontinü (Continue) kasar makinesi	64
5.2.1.10. Ramöz	65
5.2.1.11. Sanfor makinesi.....	68
5.3. Örnek İşletme Boyahanesi Atıksuyundan Isı Geri Kazanımı.....	71
5.3.1. Atık ısı geri kazanım prosesi.....	71
5.3.2. Isı geri kazanım sistemi ekonomik getirisi.....	73

5.4. IGK Sistemi ile Sağlanan Tasarruf ve Geri Ödeme Süresi	75
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
6.1. Sonuçlar.....	77
6.2. Tartışma ve Öneriler.....	77
KAYNAKLAR.....	79
EKLER.....	87
EK A.....	87
EK B.....	88
EK C.....	89
EK D.....	90
EK E.....	91
EK F.....	92
ÖZGEÇMİŞ	93

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 1.1. Klasik Sistemde Atıksudan Isı Geri Kazanımı Uygulaması	10
Şekil 2.1. İlkelerin 2018 Yılı Giyim İhracat Miktarları	13
Şekil 2.2. Ülkelerin 2018 Yılı Tekstil İhracat Miktarları	14
Şekil 4.1. Tekstil İşletmesi Boyahanesi İçin Atık Kaynakları Akım Şeması	28
Şekil 4.2. Borulu Isı Değiştiriciler	31
Şekil 4.3. Çift Borulu Isı Değiştiriciler	32
Şekil 4.4. Gövde Boru Tipi Isı Değiştiriciler	32
Şekil 4.5. Spiral Boru Tipi Isı Değiştiriciler	32
Şekil 4.6. Plaka Tip Isı Değiştiriciler	33
Şekil 4.7. Contalı Plakalı Tip Isı Değiştiriciler	34
Şekil 4.8. Spiral-Plakalı Tip Isı Değiştiriciler	35
Şekil 4.9. Lamelli-Plakalı Tip Isı Değiştiriciler	35
Şekil 4.10. Kompakt Tip Isı Değiştiriciler	36
Şekil 4.11. Kanatlı-Plakalı Kompakt Isı Değiştiriciler	36
Şekil 4.12. Kanatlı-Borulu Kompakt Isı Değiştiriciler	37
Şekil 4.13. Isı Pompası Elemanları	39
Şekil 4.14. Isı Pompası Şematik Çalışma Prensibi Gösterimi	40
Şekil 4.15. Isı Pompası Tesisat Çevrimi	40
Şekil 4.16. Isı Geri Kazanımında Isı Pompası Uygulaması	42
Şekil 4.17. Çeşitli Tekstil Boyarmadde Örnekleri	45
Şekil 4.18. Tekstil Terbiye İşlemlerinde Oluşan Atıksu Karakteristiği	47
Şekil 5.1. İşletmedeki iş akım şeması özet gösterimi.	52
Şekil 5.2. Yaş Açma Makinesi	53
Şekil 5.3. Şardon Makineleri	54
Şekil 5.4. Tıraş Makinası	55
Şekil 5.5. Dijital Baskı Makinesi	56
Şekil 5.6. Rotasyon baskı makinesi	56
Şekil 5.7. Baskı Buharlama Makinesi	57
Şekil 5.8. Gaze Makinası	58
Şekil 5.9. HT-Levent Boyama Makinesi	60

Şekil 5.10. HT Jet Boyama Makinesi	60
Şekil 5.11. Over-Flow Boya Makinesi	62
Şekil 5.12. Örnek Polyester Boyama Proses Akış Şeması	63
Şekil 5.13. Örnek Pamuk Boyama Proses Akış Şeması	63
Şekil 5.14. Boya Makinesinde Kumaş Yükleme ve Boşaltma	63
Şekil 5.15. Kontinü Kasar Makinesi.....	64
Şekil 5.16. Pamuk/ Viskon Kumaş Elektrostatik Gerilim Sonuçları.....	67
Şekil 5.17. Ramöz Makinesi Genel Görünüş	67
Şekil 5.18. Ramöz Makinesi Önden Görünüş	68
Şekil 5.19. Örme Kumaş Açık En Sanfor Makinesi.....	69
Şekil 5.20. Dokuma Kumaş Sanfor Makinesi	69
Şekil 5.21. Örme Kumaş Tüp Sanfor Makinesi	70
Şekil 5.22. IGK Sistemi.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
C_p (kJ/kgK)	Özgül ısı
h (kJ/kg)	Entalpi
$\dot{m}$ (kg/s)	Debi
T (°C)	Sıcaklık
Q (W)	Toplam aktarılan ısı
T_b (°C)	Buharlaştırıcının sıcaklığı
T_{bg} (°C)	Buharlaştırıcıya suyun giriş sıcaklığı
$T_{bç}$ (°C)	Buharlaştırıcıdan suyun çıkış sıcaklığı
$T_{tsç}$ (°C)	Temiz suyun giriş sıcaklığı
$T_{tsç}$ (°C)	Temiz suyun çıkış sıcaklığı
$T_{asç}$ (°C)	Atıksuyun giriş sıcaklığı
$T_{asç}$ (°C)	Atıksuyun çıkış sıcaklığı
T_y (°C)	Yoğuşturucunun sıcaklığı
T_{yg} (°C)	Yoğuşturucuya suyun giriş sıcaklığı
$T_{yç}$ (°C)	Yoğuşturucudan suyun çıkış sıcaklığı
W_h (W)	Sistemin harcadığı elektrik enerjisi
η_m	Kompresörün mekanik verimi
η_i	Kompresörün iç verimi

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AAT	Atıksu arıtma tesisi
AB	Avrupa Birliği
AKM	Askıda katı madde
BOİ	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
DSİ	Devlet Su İşleri
GSYH	Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla
IGK	Isı geri kazanımı
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
İTKİB	İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
KOBİ	Küçük ve Orta Boyutlu İşletme
MET	Mevcut En İyi Teknikler
PLC	Programmable Logic Controller
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SGK	Sosyal Güvenlik Kurumu
TMMOB	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
USİAD	Ulusal Sanayici ve İşadamları Derneği

1. GİRİŞ

Canlı yaşamı için suyun önemi tartışılmaz bir gerçektir. Günümüzde nüfusla birlikte artan ihtiyaca karşılık iyi yönetilememesi, suyun önemini çok daha kritik bir noktaya taşımıştır. Geçmişte kontrollü su tüketimi söz konusu bile değilken, bugün kontrol mekanizmaları gittikçe yoğunlaştırılmak durumunda kalınmıştır. Su kirliliği, su tasarrufu ve geri dönüşümü/ geri kazanımı günümüzün önemli çalışma konuları arasına girmiştir.

Sanayide, su tüketimi açısından tekstil sektörü ilk sıralarda yer almaktadır. Türk tekstil sanayiinde, 1 ton tekstil ürünü için, elyaf cinsine, tabi tutulduğu işlemlere ve yöntemlerine de bağlı olarak 20 m³ ile 230 m³ arasında su tüketilmektedir.

Öte yandan sektörde bu yüksek su tüketimi ile orantılı olarak kimyasal madde kullanıldığı görülmektedir. Bu miktar tekstil materyaline uygulanan ön işlem, boyama ve diğer proseslere bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Kullanılan toplam kimyasal madde miktarının, ürününün ağırlıkça % 10'u ile % 100'ü arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Tekstil boyahanelerindeki işlemler sonucu ortaya çıkan farklı sıcaklıklardaki atıksular, ısı enerjisi tasarrufu yönü ile azımsanmayacak bir öneme sahiptir. Bu kirli sulardan enerji geri kazanımı için kurulan ısı geri kazanım (IGK) sistemleri, geri dönüş süresinin kısa olması ve projenin uygulama kolaylığı gerekçeleri ile ekonomik açıdan oldukça kârlı bir yatırım olarak görülmektedir. Diğer taraftan atıksudan ısı geri kazanımının, özellikle enerji sektöründe neredeyse tamamen dışa bağımlı olan Türkiye ekonomisine sağlayacağı katkı oldukça anlamlıdır.

Tekstil boyahanelerinde oluşan atık sıcak sudan IGK sistemi ile; yakıt tasarrufu, üretim artışı, düşük sıcaklıkta drenaj ile atıksu arıtma tesisinin verimine ve çevreye katkı, yatırımların kısa sürede geri dönüşü ve dolayısı ile güçlü rekabet edebilme gibi önemli avantajlar sağlanması mümkündür.

Tekstil endüstrisinde atıksuların kaynakları; tekstil materyalinin yıkanması, ağartılması, boyanması ve diğer yaş terbiye işlemleridir.

Atıksuların kalitatif ve kantitatif içeriği, yapılan işlemlerde kullanılan boyarmaddelere ve kimyasal maddelere bağlı olarak değişiklikler gösterir. Bu sebeple bu tür atıksuların arıtılmasında belli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu atıksular yüksek konsantrasyonda boyarmadde, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve askıda katı madde (AKM) içermektedir. Aynı zamanda çoğunlukla yüksek alkalinite ve sıcaklığa sahiptirler [1]. Özellikle, biyolojik olarak parçalanamayan yapıdaki partiküller de içeren bu atıksuların doğrudan deşarjı, alıcı ortam suyunun oksijen seviyesini düşürerek su kalitesinin bozulmasına yol açmaktadır.

Kaynaklar, dünyadaki boya üretimini 700 000 ton/ yıl olarak vermektedir [2,3].

Ana maliyet kalemlerinden biri olan enerji fiyatlarındaki aşırı dalgalanmalar tekstil işletmeleri için endişe kaynağıdır. Bu sebeple, enerji verimliliği çalışmaları bu işletmeler için öncelikli konulardan biridir.

Buna rağmen, halâ bazı işletmelerin bu gerçeğe kayıtsız kaldığı görülebilmektedir. Tekstil işletmelerinin önemli bir bölümünün Küçük ve Orta Boyutlu İşletme (KOBİ) sınıfında olması, enerji verimliliği uygulamalarına dair doğru/ yeterli bilgiye sahip olmamaları bu kayıtsızlıkta etkilidir. Keza, bu bilgilere kolayca ulaşabilmek için gerekli alt yapıya, personele ve yeterli ekonomik güce önemli sayıda işletme sahip değildir. Bu sorunun çözümü için enerji verimliliği teknolojileri ve uygulamalarına ilişkin oluşturulacak bilgi havuzunun anılan işletmelerle paylaşılması yararlı olacaktır. Diğer taraftan, tasarruf edilecek enerji miktarı ve gerçek maliyetin ortaya konması noktasında standart ölçütlerin tespitinde bir takım bazı zorluklar vardır. Bu konunun fizibilite etüdü, tesisin toplam ve fiili kapasitesi, makine parkuru/ konumları, işletme proses tercihleri, üretim teknolojileri, ürün portföyü, enerji ve hammadde temin yöntemi gibi birçok etkene bağlıdır. Bu sebeple de, her işletme için ayrı çalışma yapılması gerekmektedir [4].

İşletmelerde prosesler sonucu oluşan kontamine düşük sıcaklıklı atıksular doğrudan atıksu arıtma tesisine gönderilirken, daha yüksek sıcaklığa sahip atıksular ise IGK sisteminde değerlendirilerek yüksek kârlılık elde edilebilir.

Bu şekilde 15-20 °C sıcaklık ve 25 -175 m³/h debideki temiz soğuk suya, aynı debiye sahip atık sıcak suyun ısısı aktarılarak, soğuk suyun sıcaklığı 55-60 °C ye kadar kolaylıkla yükseltilebilir. Bu yolla, yıllık yaklaşık 1 000 000 Euro'ya varan tasarruf sağlanması mümkündür. Bu yatırımın 2 ile 9 ay arasında geri dönüş süresi söz konusudur.

Boyahanelerdeki giderler; elektrik enerjisi, yakıt, su, insan kaynağı ve kimyasal maddelerden oluşturmaktadır. Bunlardan “yakıt” kaleminin toplam maliyet içindeki payının % 35'lere varmış ve kendini yenilemeyen kaynaklı olması, yatırımcıyı bu alanda daha fazla tasarrufa yöneltmiştir [5,6].

Bilinen ısı tasarruf yöntemleri tekstil boyahaneleri için de geçerlidir. Buhar kazanlarındaki verim artırıcı çalışmalar ile ısı aktarımındaki doğru tercihler, yakıt giderini azaltmaları yönü ile önemlidir. Baca gazının minimum sıcaklıkta deşarjı, doğru yalıtım, buhar kaçaklarının önlenmesi, daha az enerji ile yapılabilirliği olan proseslerin güncellenmesi gibi hususlar bu çalışmalardan sayılır.

Tekstilde yıkama ve boyama işlemleri, bütün azaltma çalışmalarına rağmen, halâ önemli miktarda temiz su kullanımı gerektiren işlemlerdir. Kullanılan bu su yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmakta ve işlevi bitikten sonra deşarj edilmektedir. Kontamine olması bu suyun işletme içinde tekrar kullanımına imkân vermediğinden doğrudan atıksu arıtma tesisine gönderilmektedir. Oysa belli bir sıcaklığındaki üstündeki bu atıksu, geri kazanımı mümkün olan önemli oranda ısı enerjisine sahiptir.

Kontamine sudan ısı geri kazanımı plânlanan işletmelerde, atıksuyun sıcaklığına göre soğuk ve sıcak olarak farklı hatlarla tahliye edilmesi gereklidir. Bu suların gidiş hatları makinelerden çıkış sıcaklığına göre belirlenmelidir. Bu şekilde, IGK sistemindeki kullanılacak su sıcaklığının alt limitinden düşük sıcaklıktaki kontamine atıksu arıtma tesisine giderken, yüksek sıcaklıktaki atıksular ise ayrı bir depoya alınarak, ısısından yararlanılması sonrası yine arıtma tesisine gönderilmektedir. Böylece hem ısı geri kazanımı sağlanmış, hem de atıksu arıtma tesisi (AAT) verimi için, giriş suyu uygun sıcaklığa getirilmiş olacaktır.

Ancak günümüz işletmelerinin büyük çoğunluğu tek hattan besleme ve tek hattan deşarj şeklinde çalışmaktadır. Oysa bu şekilde, sıcak ve soğuk atıksuların karışması toplam sıcaklığı düşürerek ısı geri kazanımını zorlaştırmaktadır.

Keza, debi ile birlikte ekipman kapasitelerinin, dolayısı ile yatırım ve işletme maliyetlerinin de artışı söz konusudur. Bu durumda bile, yatırımın kendini geri ödeme süresi 1 yıldan kısa bir süredir. Yapılan araştırmalar, tekstil boyahane atıksuyundan IGK sisteminin 2 ay kadar bir sürede kurulabildiğini ve yaklaşık 2-8 ay kadarlık bir sürede de kendini geri ödediğini göstermiştir.

Bu çalışma ile tekstil boyahanelerindeki kontamine atıksuyun, işletmeye giren temiz soğuk suyu ısıtması ile sağlanacak ısı enerjisi tasarrufu ortaya konulmuştur. Doğru ısı değiştirici tercihi ve otomasyon sistemli kontrol mekanizmasının kurulumu sistem etkinliği için son derece önemlidir. Bu şekilde en az hata ile azami verim elde edilmiş olacaktır.

1.1. Tezin Amacı

Yapılan bu çalışmada, Türkiye'deki gerçek bir tekstil boyahanesinde oluşan atıksuların ısısından yararlanarak, işletmeye giren temiz soğuk suyun ısıtılması ile kazanılan ısı enerjisi incelenmiştir. Kazanılan enerji miktarı ve yatırımın geri ödemesi süresi matematiksel verilerle ortaya konularak, edinilen kazanımlar değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur. Bu şekilde, girdi maliyetleri ve bunların başında gelen enerji giderlerinin azaltılması, dolayısı ile işletmenin rekabet gücünün artırılması amaçlanmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

Enerjide sürekli artan maliyet ve dışa bağımlılığa karşın, enerji ihtiyacının sürekli artması, bu alanda tasarruf ve verimliliği zorunlu kılmaktadır.

Kontamine olduğu için proste kullanılamayan, ancak taşıdığı ısı enerjisi yönü ile kıymet ifade eden tekstil boyahane atıksularından IGK projesi, fizibilite açısından son derece ekonomik bir yatırımdır. Bunun yanı sıra, ısı enerjisi kısmen alınan bu suların atıksu arıtma tesisine daha düşük sıcaklıklarda girmesi, biyolojik arıtma tesislerinin verimleri açısından önemlidir.

IGK sistemlerinin gelişmiş otomasyon ile kontrolü verim açısından son derece önemlidir. Öyle ki araştırmalar otomasyon sistemi kurulmayan işletmeler için 5 °C sıcaklık kaybına karşılık, 50 ton/h kapasiteli bir IGK projesinde yılda 20 000 ile 30 000 Euro aralığında enerji kaybı olduğunu ortaya koymuştur.

Tekstil sanayiinde atıksudan ısı geri kazanımı

Türkiye’de tekstil sektörünün hızlı büyüme dönemlerinde ağırlıklı olarak fazla üretim ve kâr amacı güden bir anlayış hâkim olmuştur. Bunda sektörün yeni olması kadar, kolay kazanç yolu olarak görülmesi, kullanılan boyarmaddeler ve diğer kimyasal maddeler üzerinde yeterince denetimin olmaması, arzın talebi karşılama oranının düşük kalması gibi birçok faktör etkili olmuştur. Ancak işletme sayılarının artması ile rekabet ortamının oluşması, arz-talep dengesinin birbirine yaklaşması, dünya ekonomik dengelerinin değişmesi, enerji ihtiyacının ve maliyetinin artması gibi gerekçeler, daha kaliteli ve daha fazla ürünün, daha az maliyetle üretilme zarureti ortaya çıkarmıştır. Bu süreçte daralan pazar piyasası yatırımcıları daha düşük kâr payları ile çalışmak zorunda bırakmıştır.

Mevcut koşullarda, tekstil işletmecileri birim maliyeti düşürebilmek adına her türlü çabayı göstermek durumundadırlar. Tekstil sektörü, enerji tüketimi açısından sanayi kolları arasında orta seviyede bir yerde almaktadır. Bu sektörde en çok ihtiyaç duyulan enerji türü ısı enerjisidir. Bu enerji miktarında, ürün türü ile birlikte proses seçimi ana etkenlerdir. Tekstil sektörü prosesleri içinde, yaklaşık % 70’lik oran ile en yüksek enerji sarfıyatı terbiye bölümünde olmaktadır. Bu değerin kendi içinde dağılımı da;

Boyama (Yaş): % 45-75,

Kurutma : % 15-40,

Diğer : % 8-18 şeklindedir [7,8].

Yapılan bir çalışmada, 12 adet boya makinesinden oluşan 250 ton/gün debideki sıcak kontamine su filtre edilerek, bir ısı değiştirici yardımıyla 18 °C’deki temiz yumuşak suyun ısıtılması için kullanıldığında, soğuk suyun sıcaklığının 55 °C’ye çıktığı görülmüştür. Bu çalışmada aylık ortalama 210 000 kWh enerji tasarrufu sağlandığı ve 7 ay gibi bir sürede yatırımın kendini geri ödediği belirlenmiştir [9].

Isı enerjisi tasarrufu yönünden en uygun potansiyel tekstil sektöründedir. Özellikle yıkama, ağartma, apreleme, haşıl sökme, merserizasyon, boyama, baskı gibi yaş işlemler bu açıdan uygun proseslerdir.

Bir başka boyahanede yapılan enerji verimliliği çalışmasında, Tablo 1.1.'de yer aldığı üzere, overflow boya makinelerine gelen 20 °C sıcaklıktaki şebeke suyunun buhar ile ısıtılarak, prosese göre 20-95 °C arasında değişen sıcaklıklarda kullanıldığı, kontamine soğuk suyun, taşar yıkamalar hariç 9 defa deşarj edildiği görülmüştür.

Bu işletmede oluşan atıksular bir kanal vasıtası ile toplanarak atıksu arıtma tesisine iletilmektedir. Bu şekilde içerikleri sebebiyle işletmede tekrar kullanılmaları mümkün olmayan bu sularla birlikte, önemli değerdeki ısı enerjisi de heba edilmektedir.

İşletmedeki overflow boya makinaları için, aşağıdaki veriler kapsamında yapılan hesaplamalar sonucu yapılacak tasarrufun ekonomik değeri ve yatırımın geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

Soğuk su giriş sıcaklığı, °C	: 20
Ortalama atıksu sıcaklığı, °C	: 70
Toplam overflow kapasitesi, kg	: 4 175
Flotte oranı,	: 1/10
Yıllık çalışma süresi, h	: 7 200
Günlük şarj sayısı	: 2,2

Bu verilere sahip bir işletmede yapılacak ısı geri kazanımı ile sağlanacak enerji tasarrufu ile birlikte, temiz soğuk suyun ısınması için geçecek zaman kısalacağından, üretimde de artış olacaktır. Hesaplamalarda, her deşarj edilen su miktarının aynı ve sıcaklık ortalamasının 70 °C olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 1.1. Örnek bir boyamada atıksu deşarj sıcaklıkları.

S/N	İşlem	Sıcaklık, °C	Süre, dk	Su sıcaklığı, °C
1	Kasar	95	60	95
2	Taşar durulama	20	5	
3	Yıkama	90	10	90
4	Nötralize etme	50	10	50
5	Boyama	60	120	60
6	Taşar durulama	20	5	
7	Nötralize etme	50	20	50
8	Sabunla yıkama	95	10	95
9	Yıkama	90	10	90
10	Yıkama	80	10	80
11	Taşar durulama	20	5	
12	Apré	50	20	50
Yükleme Boşaltma ve Bekleme Süresi			360	
Toplam İşlem Süresi			655	
Ortalama Sıcaklık				73,3
Su Deşarj Sayısı				9

Yapılan çalışmada, tekstil boyamada, kontamine sudan temiz suya ısı aktarımını etkileyen parametreler irdelenmiştir. Bu maksatla, atık IGK sistemlerinde, etkili çalışma koşullarına yönelik, termodinamik ve ekonomik bir inceleme yapılmıştır. Buna göre, atık IGK yolu ile enerji sarfiyatında tasarrufun mümkün olduğu görülmüştür. Bu anlamda Türkiye’de ciddi miktarda geri kazanılabilecek atık ısı enerjisi söz konusudur.

Kontamine atıksu ve temiz su için sıcaklık, debi, basınç gibi parametrelerin ısı aktarımına ve genel anlamda projenin verimi üzerine etkileri ele alınmıştır.

Bu çalışmada; projenin geri ödeme süresinin 6 aydan az olduğu, basit ve geniş uygulama alanı olduğu, çevresel olumlu etkileri ve ekonomik getirisi başta olmak üzere, birçok avantajları sebebiyle, tekstilin yanı sıra otomotiv ve diğer sektörlerde de atık IGK projelerinin yapılması gerektiği, sonuçlarına ulaşılmıştır.

Ayrıca sanayi sektörü ile de yakın işbirliği içinde, geleceğe dönük araştırmaların devamı önerilmiştir [10,11].

Türkiye’de pamuk ve akrilik elyaf boyama faaliyet gösteren bir başka işletmede, ters akışlı plakalı ısı değiştirici kullanılarak yapılan çalışmada, ısı aktarımına ilişkin sistem parametreleri incelenmiştir.

Sistem; ısı geri kazanımının yapılacağı kontamine atıksuların depolandığı yer altında konumlandırılmış depo, sistemde tıkanma ve muhtemel arızalara karşı otomatik filtre sistemi, pompa, özel imal edilmiş geniş aralıklı plakalı tip ısı değiştiricisi ve yine yer altındaki sıcak temiz su deposu bölümlerinden meydana gelmektedir.

Çalışmada, plakalı ısı değiştiricisinin termodinamik verimliliği ve ideal çalışma koşulları incelenmiştir. Kontamine sıcak su ve temiz soğuk su optimum debilerinin tespiti sonrası, bu iki değer sabit tutularak, kontamine atıksu değişken sıcaklıklarına karşı, ekserji analizleri yapılmıştır. Keza, benzer şekilde aynı tetkik, değişken soğuk su debilerine karşı sistemdeki verim artışları şeklinde de irdelenmiştir.

Bu incelemede, hesaplamaların ve değerlendirmelerin sağlıklı yapılabilmesi için aşağıdaki kabullerden hareket edilmiştir:

1. Sistem adyabatik ve süreklidir.
2. Isı değiştiricide, akış yönüne dik kesit boyunca sıcaklık değeri sabittir.
3. Isı plakalarında, ısı değiştiricisinin her yeri için ısıl direnç sabittir.
4. Isı aktarımı, akışa diktir, akış yönüne paralel ısı aktarımı yoktur.
5. Akışkanlar sıvı fazdadır ve faz değişimi yoktur. Sıvılar su olarak alınmıştır.
6. Sistemde hiçbir kimyasal tepkime yoktur.
7. Sistem üzerine, potansiyel enerji ve kinetik enerji etkileri ihmal edilmiştir.

Plakalı ısı değiştiricisi kullanılarak yapılan bu deneysel çalışmada ulaşılan termodinamik verilere göre:

Sistemde kullanılan plakalı ısı değiştirici etkinliği (fiilî ısı transferinin, maksimum teorik ısı transferine oranı) ile aktarım birim sayısı arasında üstel bir ilişki vardır. 10 m³/h değerinde sabit tutulan kontamine sıcak su debisine karşılık, optimum temiz soğuk su debisi 7 m³/h olarak tespit edilmiştir.

Bu sistemlerde sağlanan avantajlar; enerji birim maliyeti ve ısı üretim ihtiyacında azalma, kumaş boyama ön işlemleri için gerekli enerji ve zamandan tasarruf, suyun ısıtılması sürecinde boya makinelerinde yaşanan yıpranmada azalma ve nihayet toplam üretim maliyetinin düşmesi olarak sıralanmıştır [11,12].

Tekstil boyahanesinde prosesler sonucu oluşan kontamine sıcak sudan ısı geri kazanımı için, plakalı ısı değiştirici ile ısı pompası kıyaslanması yapılmıştır. Sektörde birçok işletmede, önemli miktarda yumuşak temiz su proseste kullanıldıktan sonra, 90 °C gibi yüksek sıcaklıklarda ya işletmeye ait tekil ya da merkezi AAT'ye gönderilmektedir. Oysa AAT'lerde verimli bir arıtma için giriş suyu sıcaklığının yüksek olması istenmez.

Bu çalışma ile bir tekstil işletmesi boyahanesinde oluşan 65 °C sıcaklıktaki kontamine atıksu ısının geri kazanımı için Tablo 1.2.'deki plakalı ısı değiştirici ve ısı pompası karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 1.2. Isı değiştiricisi ve ısı pompası karşılaştırılması.

Sistem	Yatırım Maliyeti (€)	Enerji Tasarruf Miktarı (€/yıl)	Geri Ödeme Süresi (ay)
Isı Pompası	120 000	132 000	11
Plakalı Isı Değiştirici	100 000	261 662	5

Buna göre, ısı pompasına göre plakalı ısı değiştiricisi; ilk yatırım maliyeti açısından 20 000 Euro, enerji tasarrufu açısından 129 662 €/yıl ve yapılan ilk yatırımın geri ödeme süresi yönü ile de 6 ay daha kârlı bir yatırım olarak ortaya çıkmıştır.

Bu haliyle, atıksudan ısı geri kazanımı için plakalı ısı değiştirici tercihinin gerekli olduğu görülmektedir [8].

Isı geri kazanımının yararları

Çevresel Açıdan; Isı enerjisi tasarrufu ile yakıt tüketimi azalacağından, hava kirliliğinde azalma, atık sıcak su ısısı nedeniyle, termal kirlilikte iyileşme, AAT'lere giren kontamine su sıcaklığının düşük olması sebebiyle arıtma verimine olumlu etkisi,

İşletme açısından; Tüketimdeki azalma nedeniyle kârlılık, proseslerde suyun ısınması esnasındaki zaman kaybındaki azalmaya bağlı olarak, birim zaman başına üretimde artış, makinelerin içindeki ısıl gerilimlerde azalma ve dolayısı ile bakım onarım maliyetinin düşmesi,

Ülke ekonomisi açısından; Düşen maliyetler sebebiyle, ülkenin sektörde rekabet şansının ve kârlılığının artması, öz kaynakların ve iş gücünün verimli kullanımı kaynaklı ekonomik getiriler, ısı geri kazanımı ile tüketimi azalan enerji sebebiyle enerji ithalatında azalma, işletme kârlılığının artması ile sektöre olan ilgide canlılık ve buna bağlı ekonomik gelişmeler, şeklinde sıralanabilir.

Klasik sistem ile ısı geri kazanımı

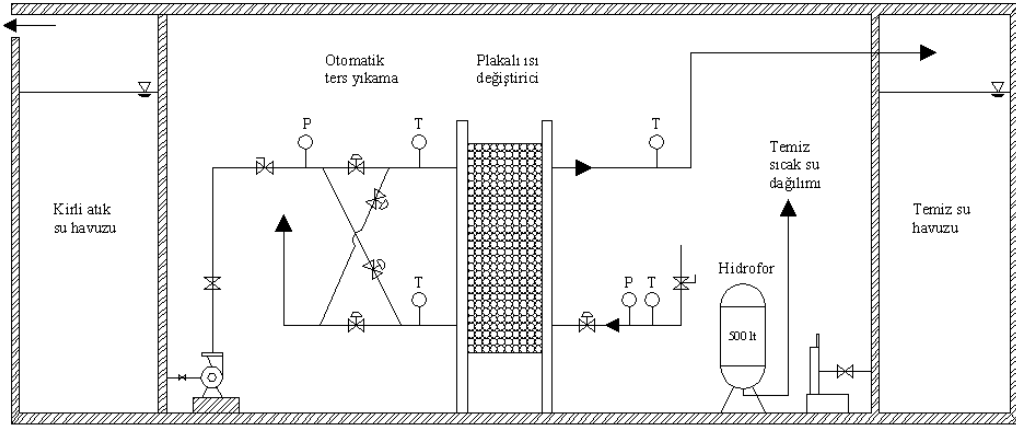
Tekstil materyallerine ıslak işlemleri uygulamak için, önemli miktarda temiz yumuşak suya gereksinim vardır. İşlemler sonrası sıcaklığı, prosese göre değişmekle birlikte, birçok uygulamada 90 °C'ye ulaşabilen kontamine su, münferit veya merkezi atıksu arıtma sistemine tahliye edilmektedir. Zira boyarmadde ve diğer kimyasallarla kirlenmiş bu suyun mevcut şekliyle tekrar kullanımı mümkün değildir.

Kontamine atıksudan İKG sisteminin etkinliği için tekstil boyahanelerinde, boya makinelerinde sıcak ve soğuk hat olarak çift tahliye sistemi kurulmalıdır.

Kontamine sıcak sudan ısı geri kazanımı sisteminde, prosesler sonucu oluşan atık sıcak su filtre edilerek, işlem yapılan materyal ve kullanılan diğer malzemeler kaynaklı kirliliklerden arındırılır. Bu maksatla otomatik çalışabilen değişik tipte filtreler geliştirilmiştir: Dönel, statik veya kanala yerleştirilmiş bir dizi ızgara tip filtreler bu amaçla üretilmiştir. Bu filtrelerin esas işlevi, sistemde kullanılan başta pompalar ve ısı değiştirici olmak üzere, ekipmanın tıkanmasını önlemektir.

İKG sisteminde sıcak kirli su, tahliye noktası seviyesine göre tasarlanmış bir dengeleme havuzuna alınır. Bu su, havuzun alt kısmına yakın noktadan bir pompa vasıtası ile ısı değiştiricisine gönderilir. Burada ısısı temiz soğuk suya aktarılır, ısının bir bölümünü kaybederek sıcaklığı düşen su, atıksu arıtma tesisine sevk edilir. Temiz işletme giriş suyu ise, ısı değiştiricinin ikincil devresine girerek, kirli sıcak suyun verdiği ısıyı alır ve ısınmış olarak temiz sıcak su deposuna iletilir. Buradan da ihtiyaca göre, depo alt bölümüne yakın noktadaki hidrofor ile proseslerde kullanılmak üzere işletme sıcak su hattına basılır.

Yer tasarrufu açısından havuzların zemin altında yapılması ve makine dairesinin bu iki havuz arasında konuşlandırılması tercih edilebilir. Klasik sistem ısı geri kazanım şematik gösterimi Şekil 1.1.'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Klasik sistemde atıksudan ısı geri kazanımı uygulaması.

Tekstil boyahaneleri için, ısıtılmış temiz su ve işletmede prosesler sonucu oluşan kirlili sıcak su havuzlarının her biri için 100 m³'lük hacim genellikle yeterli olmaktadır.

Havuz kapasiteleri işletmeye göre farklılık gösterse de 100-200 m³ arası uygun olmaktadır. Havuzların, sızdırmaya ve ısı kaybına karşı yalıtımlı üretilmeleri gereklidir. Havuz seviyeleri kontrol edilerek, sistemin sağlıklı çalışması temin edilir. Havuzlardaki sıvı miktarları, otomatik kontrol sistemi ile takip edilmekte, ısısını verecek kontamine su seviyesi minimum set değerine indiğinde, bu suyu ısı değiştiricisine basan pompa otomatik olarak durmakta, seviye normal düzeye çıktığında da tekrar kendiliğinden devreye girmektedir.

Keza, ısıtılmış temiz su deposundaki su miktarı kritik seviyeye düştüğünde hidrofor dururken, seviye normale geldiğinde de otomatik olarak devreye girmektedir. Yine seviye maksimuma geldiğinde de aynı şekilde sistem devreye girmektedir.

Öte yandan, ısı değiştirici üzerinde, boru ve vanalardan oluşan otomatik ters yıkama düzeneği bulunur. Bu düzenek sayesinde muhtemel bir tıkanma, henüz başlangıç aşamasında giderilebilir. Aksi takdirde proseslerden gelen atıksu içindeki elyaf ve benzeri kaba partiküllerin ekipmanda tıkanmaya yol açarak, sistemin işleyişini olumsuz etkilemesi beklenen bir durumdur.

Ters yıkama vanaları, ölçülen basınç değerini/ değişimini standart bir elektriksel veriye çeviren transmitter ile kontrol edilir. Basınç farkı, önceden set edilen limit üstüne çıkması halinde, ters yıkama otomatik olarak devreye girer.

Ters yıkama işlemi, basınç transmitterinin yanı sıra, belli periyotlarla devreye girecek şekilde ayarlanmış zaman sayacı veya basınç şalteri ile de kontrol edilebilmektedir.

Bu sistem için öngörülen kurulum süresi havuzlarla birlikte yaklaşık 2 ay ve sistemin kendini geri ödeme süresi 4-6 ay kadar olmaktadır.

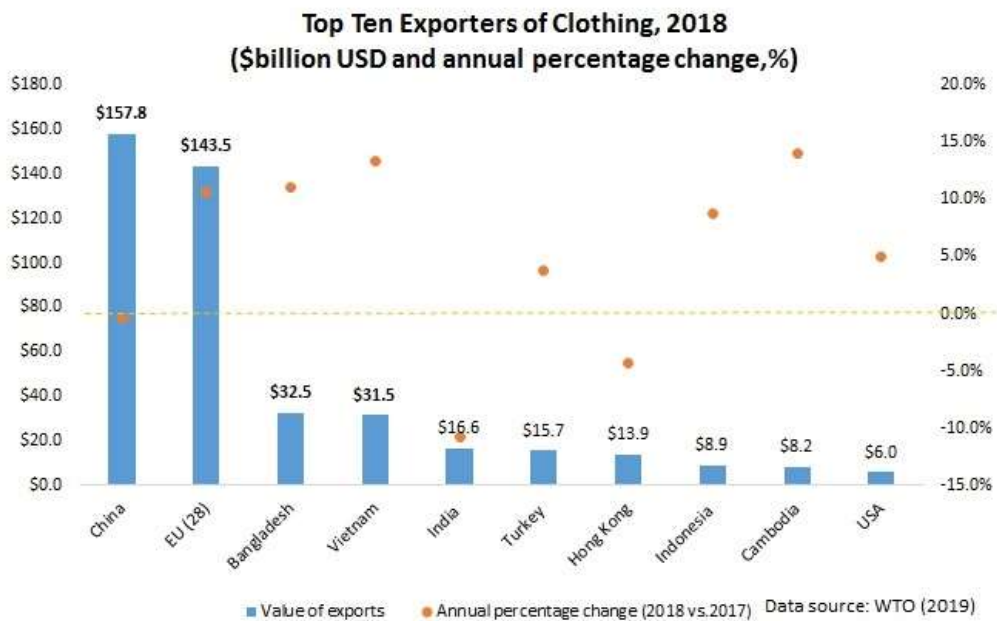
IGK sistemlerinde, ısı transferinin gerçekleştiği plakalı ısı değiştiricilerine plaka ilavesi ile belli ölçüde kapasite artırımına gidilebilmesi mümkündür. Ayrıca bu plakalar temizlenmek üzere kolayca sökülüp takılabilmektedir. Plakalı ısı değiştirici tercihinde kritik noktalardan biri de plaka tipidir [13,8].

2. TEKSTİL SANAYİİ VE ENERJİ

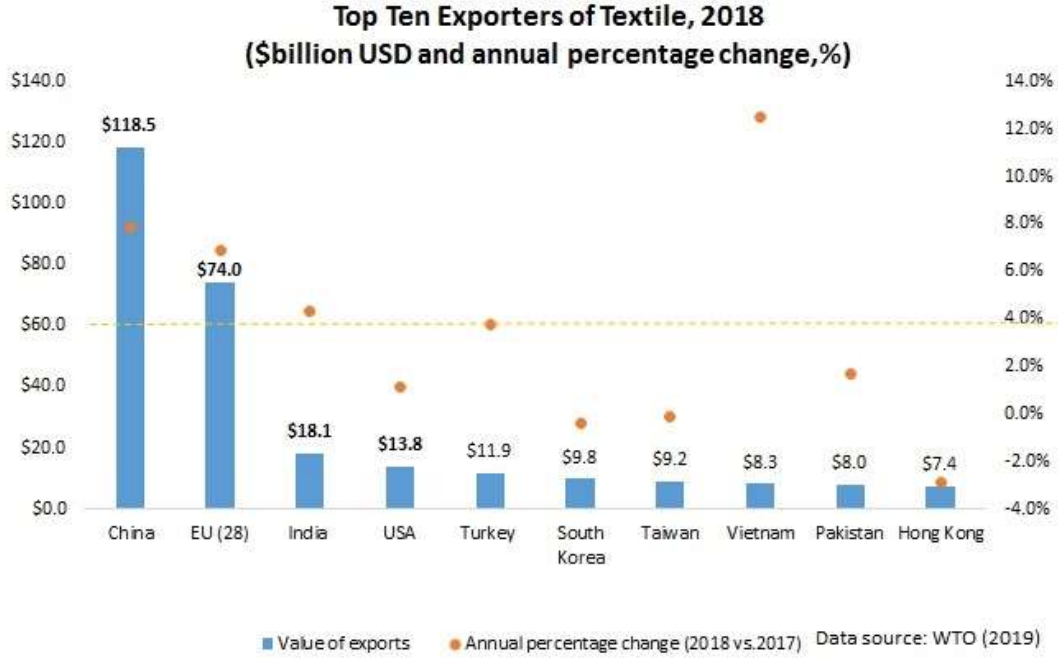
2.1. Dünyada Tekstil Sanayii

Tekstil sanayii, binlerce yıldır uygarlığın gelişiminde etkili olmuştur. Sanayi devriminde, demir-çelik ve kömürün yanında pamuk sektörü temel alınmıştır. 18. yüzyılın ikinci yarısında İngiltere’de başlayan teknolojik gelişim, daha sonra tüm Avrupa’ya yayılmış ve pamuk üretiminde büyük artışlar sağlanmıştır. Sentetik elyaf üretimi ise 20. yüzyılın başından itibaren hızlı bir gelişme kaydetmiştir [14,4].

Tekstil sektörü, dünyada emek yoğun ve işgücü arzı öncelikli sektör olarak kendine yer bulmuştur. Tekstil ve giyim alanında Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde 2006 yılında yaklaşık 2,45 milyon kişi istihdam edilmiştir [15,4]. Keza 2008 yılında bu istatistik; ABD’de yaklaşık 500 000 ve Çin’de de 2005 yılında 8 milyon kişidir [16,17,4]. Çin, % 40’lık pay ile dünyanın en büyük tekstil ve giyim ürünü ihracatçısıdır [18,4]. Aynı ülkedeki tekstil işletmesi sayısı ise, yaklaşık 32 400 kadardır [19,4]. Aşağıdaki iki grafikte; dünya tekstil sanayiinde önde gelen ülkelerin 2018 yılı ihracat miktarları, tekstil ve giyim sektörü için ayrı ayrı ABD doları cinsinden değerleri verilmiştir.



Şekil 2.1. Ülkelerin 2018 yılı giyim ihracat miktarları [20].



Şekil 2.2. Ülkelerin 2018 yılı tekstil ihracat miktarları [20].

Şekil 2.1. ve Şekil 2.2.’den, giyim ihracatı açısından dünyanın en büyük 3 ülkesi; Çin, Avrupa Birliği ve Bangladeş iken, tekstil ihracatı açısından ise Çin, Avrupa Birliği ve Hindistan’ın olduğu anlaşılmaktadır.

2.2. Türkiye’de Tekstil Sanayii

Tekstil materyallerinin (elyaf, iplik, kumaş, giysi vb.) niteliklerini kullanım alanına veya tüketici isteğine göre değiştirmek için uygulanan işlemlerin tümü “Tekstil Terbiye İşlemleri” olarak anılmaktadır. Tekstil mamulünün renklendirilmesinde kullanılan ve mamule bağlanan materyal “boyarmadde”, yapılan işlem de “boyama” olarak adlandırılır. Terbiye işlemleri yapılacak tekstil materyali; elyaf, taranmış lif tülbenti, iplik, kumaş, tekstil ürünü (giysi, ev tekstili vb.) şeklinde olabilir. Tekstil terbiye işlemleri çok geniş bir alanı ifade eder. Bütünüyle teknolojinin izin verdiği ölçüde talebe göre şekillenen bir alandır. Türkiye’de en çok uygulanan temel terbiye işlemleri Tablo 2.1.’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Terbiye işlemleri.

TERBİYE İŞLEMLERİ				
ÖN TERBİYE (KASAR)	RENKLENDİRME		APRE	
	BOYAMA	BASKI	KİMYASAL (YAŞ) APRE	MEKANİK (KURU) APRE
Yakma	Elyaf boyama	Direkt Baskı (Direct Printing)	Yumuşaklık apresi	Şardonlama
Hidrofilileştirme	Tops veya Tow boyama	Üst Baskı (Over Printing)	Sert tutum apresi	Zimparalama
Ağartma	İplik boyama	Sivama Baskı (Cover Printing)	Kayganlık apresi	İstim vererek zimparalama
Merserizasyon	Kumaş boyama	Zemin Baskısı veya Lap Baskı (Allower Printing)	Dolgunluk apresi	Makaslama
Karbonizasyon	Giysi boyama	Ronjon-Aşandırma Baskı (Discharge Printing)	Parlaklık apresi	Tumbler yapma
Yıkama	Çile boyama	Rezerve Baskı (Resist Printing)	Kır iticilik apresi	Sanfor
Termofiksaj		Transfer Baskı (Transfer Printing)	Su iticilik apresi	Kalandırlama
Beyazlatma		Devore Baskı (Burn Out Printing)	Su geçirmezlik apresi	Kalıcı şekil
		Flok Baskı (Flock Printing)	Güç tutuşurluk apresi	Krablama
		Plastik Baskı (Plastic Printing)	Buruşmazlık apresi	Dekatur
		Varak Baskı (Metallic Printing)	Saydamlaştırma apresi	Presleme
		Gofre Baskı (Embossed Printing)	Antiseptik apre	Ratine
			Keçeleşmezlik apresi	Hav polisajı
			Güve yemezlik apresi	Dinkleme
			Antistatik apre	Fikse
			Anti pilling apresi	

Genel anlamda, elyaftan başlayıp, sırasıyla iplik, ham kumaş, mamul kumaş ve dikilmiş ürün süreçleri tekstil ve hazır giyim sektörlerini kapsar. Elyaftan mamul kumaşa kadar olan kısım “tekstil”, mamul kumaşı kıyafet şekline getiren süreç ise “hazır giyim” sektörünü oluşturmaktadır [21,22].

Tekstil sektörü, Türkiye ekonomisinde başta istihdam olmak üzere, Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYH) içindeki payı ve ihracat boyutu ile önemli bir yere sahiptir.

2015 yılı için Türkiye, dünya tekstil ihracatından aldığı %3,5’lik pay ile ülkeler arasında 7 nciliği ve dış ticaret fazlası verme açısından Türkiye’deki sektörler arasında da ilk sırayı almıştır. Türkiye GSMH’sının % 10’undan fazlası tekstil ve hazır giyim sektörü tarafından sağlanmaktadır [23,22].

Tekstil sektörü, birçok diğer endüstri alanı ile yakın etkileşim içindedir. Petro-kimya, tarım, hayvancılık, otomotiv, inşaat, mağazacılık ve lojistik alanları bu sektörlerden sadece birkaçıdır [24,22].

Tablo 2.2.’den Ağustos 2019 ayında Türkiye genel ihracatı içinde, tekstil ve tekstil hammaddeleri ihracatının payı % 5,5 seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir.

Tablo 2.2. 2019 Yılı Ağustos Ayı İhracatı Performans Raporu [25].

Genel İhracat Performansı İçinde Toplam Tekstil ve Hammaddeleri Sektörü İhracatının Payı						
Birim, 1000 \$	2018 Ağustos	2019 Ağustos	Değişim	2018 Ocak-Ağustos	2019 Ocak-Ağustos	Değişim
Türkiye Genel İhracatı	12.931.913	13.150.130	% 1,7	113.990.976	117.252.270	% 2,9
Toplam Tekstil ve Hammaddeleri Sektörü İhracatı	772.900	727.857	% -5,8	6.959.121	6.562.245	% 5,8
Toplam Tekstil ve Hammaddeleri Sektörü İhracatının Payı, %	% 6,0	% 5,5		% 6,1	% 5,6	
Sanayi İhracatı	10.100.326	10.213.599	% 1,1	88.457.736	90.720.310	% 2,6
Toplam Tekstil ve Hammaddeleri Sektörü İhracatının Sanayi İhracatındaki Payı, %	% 7,7	% 7,1		% 7,9	% 7,2	

Öte taraftan sektörün toplam istihdam içindeki payı daha anlamlıdır. Aralık 2016 ayı Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) verilerine göre, toplam sigortalı çalışan sayısı 13 775 188 iken, imalat sanayiinde çalışanlar 3 519 638 kişi ve bunların da 408 554’ü tekstil imalat sektöründe istihdam edilmektedir. Diğer bir söyleyişle, imalat sanayiinin % 11,6’sı tekstil alanında çalışmaktadır [21,24,22].

2.3. Tekstil Sanayiinde Enerji

Fosil kökenli yakıtlar kontrolsüz ve plânsız kullanıma da bağlı olarak hızla azalmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı verilerine göre, 2015 yılı sonu itibari ile dünya toplam rezervi 1,7 trilyon varil olan petrol 51 yıl, 187 trilyon m³ lük rezervi olan doğal gaz 53 yıl ve kömür de 114 yıl sonra tükenme durumu ile karşı karşıyadır.

Teknolojik gelişmeler ve nüfus artışıyla birlikte sürekli büyüyen enerji ihtiyacına mukabil, kaynaklardaki azalma, mevcut enerji kaynakların etkin kullanımını zorunlu kılmıştır [26,27,28].

Endüstriyel tesislerdeki enerji sarfiyatının dörtte birinin alıcı ortama salınan, ısı ve gaz kaynaklı olduğu öngörülmektedir. Bu derece büyük bir kaybın uygun teknolojilerle tekrar geri kazanımı, az sayılmayacak ilk yatırım maliyetine rağmen, kısa sürede geri dönüşümü ve çevreyi koruyucu etkisi sebebiyle endüstriyel tesislerde tercih edilmektedir [29,11].

Diğer taraftan maliyet kalemleri arasında enerji ana giderlerdendir. Bundan dolayı işletmeler enerji verimliliği çalışmalarını hızlandırmak durumunda kalmışlardır.

Enerji kayıpları arasında önemli bir yer tutan ısı enerjisi için, özellikle son yıllarda atık IGK sistemleri tercihinde önemli bir artış söz konusudur.

Proses sonucu oluşan ve sıcaklığı atmosferik sıcaklığın üstünde olan ısı, “atık ısı” olarak tanımlanırken, bu ısının geri kazanılması için projelendirilen sistemler de “atık IGK sistemleri” olarak adlandırılmaktadır. Sıcaklık değerine göre atık ısılar; 120 °C’ye kadar düşük sıcaklıkta, 120 °C-650 °C arası orta sıcaklıkta ve 650 °C üstü de yüksek sıcaklıkta ısı olarak tasnif edilmektedir [11].

Sanayide elektrik enerjisi tüketimi olarak, demir-çelik sektöründen sonra tekstil, hazır giyim ve deri sektörleri 15 521 GWh’lık oranla ciddi bir yer tutar. Bu oranın önemli bir bölümü de tekstil terbiye işletmelerinden kaynaklanmaktadır. Bu işletmeler için temel girdiler; elektrik, doğal gaz, ısı enerjisi ve buhardır. Birden çok faktör etkili olmakla birlikte, tekstil terbiye tesislerinde yaklaşık olarak 1 kg ürün üretimi için harcanan elektrik enerjisi 1, 5 kW/h iken, bu miktar doğal gaz için 1,10 cm³’tür [24,29].

Tekstil işletmelerinde kullanılan enerjinin çok büyük kısmı elektrik enerjisidir. Türkiye’de tüketilen toplam enerjinin % 6-7 kadarlık bölümü tekstil sektörüne aittir. Tekstil sektörü, bu yönüyle demir-çelik ve çimento sektöründen sonra üçüncü sırayı işgal eder [30,31].

Tekstil üretiminde, toplam giderler içinde enerjiye düşen pay % 6-14 arasındadır. Toplam sanayi içinde tekstil sektörünün enerji tüketim payı ise %7,2’dir. Özellikle bitim işlemleri de denilen proses son aşamalarında ısı enerjisi sarfiyatı artmaktadır. En yüksek ısı enerjisi tüketimi, % 75’lerdeki bir değerle tekstil terbiye proseslerinde söz konusudur [33,22].

Tekstil sanayi, istihdam arzı yönü ile olduğu kadar enerji tüketimi açısından da yoğun bir sektördür. Bu alandaki iki lider ülkeden Çin’de toplam enerji tüketimi içinde tekstil sektöründe kullanılan enerji payı % 4 iken, ABD’de ise bu oran % 2’nin altındadır [34,35].



3. TEKSTİL SEKTÖRÜNDE SU VE ATIKSU YÖNETİMİ

3.1. Dünyada Su Durumu

Dünya nüfusunun üç katına çıkmasına karşın, son yüz yılda tüketilen su miktarı yedi kat artmıştır [36,37]. Küresel nüfustaki artış, ekolojik dengenin korunmasında yeni zorlukları da beraberinde getirmiştir [38,39].

Ülkelerin su zengini ve fakiri olma durumunun tespitinde, kişi başına düşen yıllık ortalama su miktarı esas alınmaktadır. Kişi başına düşen miktar ise, uzun yıllar boyu su miktarının o ülke nüfusuna oranı ile bulunur. Su kıtlığı eşiğinin tespiti, “Falkenmark Göstergesi” veya “Standart Hidrolojik Gösterge” olarak da bilinen “Shiklomanov Göstergesi” yardımı ile yapılır [40].

Tablo 3.1. Falkenmark Göstergesi.

Kategori	Su Miktarı (m ³ /kişi/yıl)
Su baskısı yok	>1700
Su baskısının başlaması	1700 – 1000
Yoğun su baskısı	1000 – 500
Yoğun su problemlerinin yaşanması	< 500

Bugün mevcut su kaynaklarının dağılımındaki eşitsizlik ve dengesizlik, dünya nüfusunun % 40’ının arz edilen suya ulaşamamasına sebep olmaktadır [41].

Sadece Türkiye için, su kıtlığından etkilenecek kişisi sayısının 2050 yılında 90 milyonu bulacağı öngörülmektedir [42,43]. Keza, dünya genelinde 1,8 milyar kişinin 2025 yılında sürekli su kıtlığı olan bölgelerde yaşıyor olacağı tahminleri yapılmaktadır [43].

Birleşmiş Milletlerin tespitlerine göre; 2012 yılı, 1 milyar kişi için su stresi değerinin altında geçmiştir. Toplam dünya nüfusunun % 2’si ise temiz içme ve kullanma suyuna hiçbir şekilde erişememektedir. Aynı verilere göre, 3 milyarı aşkın bir nüfusun 2025 yılı itibari ile su stresi ile karşı karşıya kalacağı ve yaklaşık 15 ülkenin su stresinden su kıtlığı durumuna geçeceği tahmin edilmektedir [44].

Dünyada çekilen suyun yaklaşık % 20'si endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Türkiye için 2012 yılında % 17,2 olan bu değerin 2030 yılında % 20'lere ulaşarak dünya seviyesine gelmesi öngörülmektedir. Bu verinin Avrupa ortalaması ise % 40'tır. Bu değerler, enerji üretimi maksatlı kullanılan suyu da içermektedir. Enerji üretiminde kullanılan su hesaba katılmadığında, endüstriyel üretim için kullanılan su oranı % 4 kadardır [45, 46]. Aynı veri Avrupa için ortalama % 10 olarak tespit edilmiştir [47, 46]. Çekilen suyun sanayide kullanılan miktarları, gelişmiş Avrupa ülkelerinden Avusturya, Belçika, Fransa ve Hollanda'da % 70'in üzerinde iken, İsveç, Çek Cumhuriyeti, Romanya, Bulgaristan ve Litvanya'da çekilen yüzey suyunun toplam çekimdeki oranı % 50 kadardır. Macaristan ve Belçika'da ise % 80 oranında yeraltı suyu çekimi yapılmaktadır [48, 46].

3.2. Türkiye'de Su Durumu

Türkiye'de su yönetimi, mevcut su potansiyeli ve yağış rejimi ile birinci derecede ilişkilidir. İklimsel olarak yarı kurak bir bölgede yer alması, ülke su kaynaklarının azami ölçüde korunmasını ve kullanılabilir su oranının artırılmasını kaçınılmaz kılmaktadır.

Bölgelere göre değişmekle birlikte, Türkiye için 1981-2017 yılları arası ortalamaya göre, yıllık yağış miktarı 574 mm olup, bu değer hacimsel olarak ortalama 450 milyar m³/yıl'a tekabül etmektedir. Kullanılabilir olan yeraltı ve yerüstü su potansiyeli ise 112 milyar m³'tür [49,50].

Türkiye'de yıllık tatlı suya erişim oranı, hem gelişmiş ülkelere göre, hem de dünya ortalamasına göre daha düşüktür. Genel kanının aksine Türkiye, kişi başına düşen 1543 m³/yıl su miktarı ile su stresi yaşayan ülke konumundadır [51]. Diğer bir deyişle Türkiye "su fakiri" ülke olma riski ile karşı karşıyadır [52,53,54].

3.3. Tekstil Sanayiinde Su Kullanımı

Tekstil terbiye sektöründe fazla su sarfiyatının yanı sıra önemli ölçüde yardımcı kimyasal madde kullanımı da söz konusudur. Bu miktar proses türüne, işlem yapılan materyal cinsine, makine tipine göre, materyalin ağırlıkça % 10'u ile % 100'ü arasında değişkenlik gösterebilmektedir [55,56]. Dünyada sadece tekstil endüstrisinden kaynaklı günde 4 milyar ton atıksu oluştuğu öngörüsü yapılmaktadır. Bu derece yüksek miktarda atıksu oluşumu ve dolayısı ile su tüketimi, tekstil

sektöründe suyun iyi yönetimini zorunlu hale getirmiştir. Özellikle tekstil terbiye işlemleri sonucu oluşan atıksuyun ekolojik değerlere zarar vermeyecek şekilde geri kazanımı/ bertarafı başlı başına bir sorun halini almıştır.

Tekstil terbiye teknolojisi genel anlamda; ön terbiye, boya/ baskı ve bitim işlemleri olarak üç ana başlığa ayrılabilir. Bu proseslerden bazı mekanik apre işlemleri dışındaki proseslerin tamamı su kullanılarak yapılan işlemlerdir ki bu yüzden yaşı işlemler olarak anılırlar [56].

Tablo 3.2.'deki Türkiye İstatistik Enstitüsü Kurumu (TÜİK) verilerine göre, Türkiye'de sanayide kullanılan su miktarları aşağıdaki şekildedir [57]:

Tablo 3.2. NACE kodlarına göre sanayide su tüketimi.

İktisadi faaliyet kodu (NACE)	İktisadi faaliyet kod (NACE Rev.2) tanımı	Temin edilen su miktarı (1000 m ³)	Tüketilen proses suyu miktarı (1000 m ³)	Sektörde kaybedilen su (%)
10	Gıda ürünlerinin imalatı	132 326,67	110 112,62	2,4
11	İçecek imalatı	13 744,07	11 902,37	0,20
12	Tütün ürünleri imalatı	742,34	401,29	0,04
13	Tekstil ürünlerinin imalatı	176 182,30	160 477,30	1,72
14	Giyim eşyalarının imalatı	22 870,19	14 318,34	0,94
15	Deri ve ilgili ürünlerin imalatı	3 364,48	2 648,68	0,08
16	Ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri imalatı (mobilya hariç); saz, saman ve benzeri malzemelerden örülerek yapılan eşyaların imalatı	8 014,76	6 995,49	0,11
17	Kâğıt ve kâğıt ürünlerinin imalatı	27 687,64	25 463,62	0,24
18	Kayıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	483,96	62,68	0,05
19	Kok kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri imalatı	25 364,26	21 458,85	0,43
20	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı	358 434,19	354 436,00	0,44
21	Temel eczacılık ürünlerinin ve eczacılığa ilişkin malzemelerin imalatı	2 907,06	2 073,16	0,09
22	Kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	9 884,66	5 639,08	0,47
23	Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	67 941,60	54 509,69	1,47
24	Ana metal sanayii	17 481,57	14 173,09	0,36
25	Fabrikasyon metal ürünleri imalatı (makine ve teçhizat hariç)	10 359,68	5 171,91	0,57
26	Bilgisayarların, elektronik ve optik ürünlerin imalatı	650,41	0,00	0,07
27	Elektrikli teçhizat imalatı	7 523,99	3 840,01	0,40
28	Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı	6 318,28	1 649,01	0,51
29	Motorlu kara taşıtı, treyler (römork) ve yarı treyler (yarı römork) imalatı	12 740,69	7 235,74	0,60
30	Diğer ulaşım araçlarının imalatı	1 012,40	525,85	0,05
31	Mobilya imalatı	3 177,59	783,37	0,26
32	Diğer imalatlar	1 648,37	943,88	0,08
33	Makine ve ekipmanın kurulumu ve onarımı	570,35	64,20	0,06
TOPLAM	1822863,02	1609772,38		

Tablodan, en çok su tüketen ilk 3 sektörün; gıda ürünleri imalatı, tekstil ürünleri ile metalik olmayan mineral ürünlerinin üretimi olduğu görülmektedir.

Temin edilen su miktarı yönüyle ise % 39,3 ile en büyük pay kimyasalların ve kimyasal ürünlerin üretimine aittir. Bunu % 19,3 ve % 14,5 oranları ile tekstil ve gıda üretimi takip etmektedir.

2016 yılında tekstil sektörünün, endüstriyel alanda su tüketimindeki payı % 19'dur. Özellikle tekstil sanayiindeki yüksek su tüketimi, sektörün yoğun olduğu bölgelerde su kaynakları kullanımı açısından sıkıntılara yol açmaktadır. Bu sebeple sektörde başta su tüketiminin azaltılması olmak üzere, yeni teknolojilerin tercih edilmesi, Mevcut En İyi Teknik (MET) uygulamalarına geçilmesi oldukça önemlidir [46].

3.3.1. Atıksu Arıtma Çalışmaları

Türkiye’de su, atıksu ve genel anlamda çevre yönetimine ilişkin çok sayıda hukuk normu vardır. Bunlar; anayasa, kanunlar, cumhurbaşkanlığı kararnameleri, tüzükler, yönetmelikler ve genelgeler ve ilgili kurumlarca yayımlanan diğer talimatlar şeklinde sıralanan uygulamaya yönelik yazılı kurallardır. Tekstil sektörü için, işletmelerin faaliyetleri sonucu oluşan atıksuların arıtılarak, alıcı ortama deşarj edilebilecekler asgari teknik evsafı ortaya koyan ve ihtiyaç duyuldukça güncellenen temel mevzuat Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğidir. Bu yönetmelikte tekstil atıksuları “Tablo-10: Tekstil Sanayii Atıksularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları” başlığı altında, proses ve elyaf türü de dikkate alınarak 7 farklı tabloda yer almıştır. Örnek olarak “pamuklu tekstil ve benzerleri” için deşarj sınırları Tablo 3.3.’te verilmiştir [58].

Tablo 3.3. Tekstil Sanayii (Pamuklu Tekstil ve Benzerleri) atıksu deşarj limitleri.

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE (2 saatlik)	KOMPOZİT NUMUNE (24 saatlik)
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	250	200
Askıda Katı Madde (AKM)	(mg/L)	160	120
Amonyum Azotu (NH ₄ -N)	(mg/L)	5	-
Serbest Klor	(mg/L)	0.3	-
Toplam Krom	(mg/L)	2	1
Sülfür (s ⁻²)	(mg/L)	0.1	-
Sülfid	(mg/L)	1	-
Yağ ve Gres	(mg/L)	10	-
Balık Biyodeneyi (ZSF)	-	4	3
pH	-	6-9	6-9
Renk	(Pt-Co)	280	260

Görüldüğü üzere, numune alma şekline göre sağlanması gereken parametreler ve limit değerleri farklılıklar göstermektedir.

Keza, gıda ile birlikte su tüketiminin en çok olduğu sektörlerin başında gelen tekstil sektöründen kaynaklı çevre kirliliğine neden olabilecek faaliyetlerin etkilerinin minimize edilmesine yönelik 14.12.2011 tarih ve 28142 sayılı Resmi Gazete’de “Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği” yayımlanmıştır [50].

Bu tebliğ ile tekstil işletmelerine;

-Temiz üretim planı hazırlama/ hazırlatma ve onaylatmak,

-Faaliyetlerinde atık oluşumunu azaltıcı, çevre ile uyumlu teknolojileri/ temiz üretim tekniklerini kullanmak

-Oluşan atıkların (emisyon, deşarj ve diğer atıklar) kontrolünü sağlayarak, mevcut en iyi teknikleri (MET) uygulamak, gibi sorumluluklar verilmiştir.

Sanayi atıksu arıtma yöntemleri fiziksel, biyolojik ve ileri arıtım aşamalarından oluşmakta olup Tablo 3.4.’de bu yöntemlere ait örnekler verilmiştir [59].

Tablo 3.4. Arıtma yöntemleri.

FİZİKSEL ARITMA	BİYOLOJİK ARITMA	İLERİ ARITIM
Izgara	Aktif Çamur	Nitrifikasyon + Denitrifikasyon
Elek	Damlatmalı Filtre	Yumaklaştırma + Çökeltme
Kum ve Yağ Tutucu	Biyodiskler	Filtrasyon
Filtreler	Havalandırılmalı Lagünler	MBR
Çökeltme Havuzu	Stabilizasyon Havuzları	Karbon Adsorpsiyonu
Dengeleme	Anaerobik Arıtım	İyon Değiştime

3.3.1.1. Fiziksel arıtma

Atıksu kirlilik içeriğine göre değişik yöntemler vardır. Belirleyici olan kirliliğin fiziksel (büyüklüğü, akıcılığı, yoğunluğu..) özellikleridir. Kaba ızgara, ince ızgara, kum tutucu, çökeltme ve filtrasyon havuzu bu arıtmanın ünitelerindendir. Temel amaç atıksu içindeki parçaların, sistem elemanlarında tıkanma ve arızalara yol açmasını önlemek, ayrıca sonraki arıtma basamaklarına geçecek kirlilik yükünü azaltmaktır.

3.3.1.2. Kimyasal arıtma

Arıtılacak atıksu, kimyasal malzemelerle muamele edilerek kirlilik sebebi safsızlıkların önce büyük parçacıklara dönüşmesi, sonra da çöktürülmesi sağlanır. Atıksu arıtmada kullanılan temel kimyasal malzemeler; Kostik (NaOH), kireç, Polialüminyumklorür (PAC), Demir-3 klorür, Alüminyum Sülfat, Baryum Klorür, Sodyum Meta Bisülfid, Toz Aktif Karbon, Sodyum Hipoklorit, Anyonik Polielektrolit, Katyonik Polielektrolit, ozon şeklinde sıralanabilir. Bu maddelerin her birinin; nötralizasyon, sülfat giderimi, krom giderimi, dezenfektan, flokülasyon, koagülasyon gibi farklı işlevleri vardır.

3.3.1.3. Biyolojik arıtma

Biyolojik arıtma, atıksu muhteviyatındaki organik parçacıkların, mikroorganizmalar tarafından besin ve enerji kaynağı olarak kullanılmak suretiyle uzaklaştırılması şeklindeki arıtma türüdür. Fiziksel arıtmada ayrıştırılamayan organik maddeler bu aşamada giderilir.

Biyolojik arıtmada yaygın olarak büyüklükleri 0,5-3 µm büyüklüğündeki tek hücreli mikroorganizmalar kullanılır. Bu bakteriler; C (karbon), N (Azot), Fosfor (P) ve Kükürt (S) bileşiklerinin arıtımında etkilidirler [60,59].

Biyolojik arıtma prosesleri, mikroorganizmaların oksijenli ve oksijensiz ortamda faaliyet göstermelerine göre; aerobik ve anaerobik şeklinde iki gruba ayrılır. Anaerobik proses; yüksek enerjik değere sahip biyogaz oluşumu, oksijenli prosese göre 5-10 kat daha büyük sistemler için uygun olmaları, proses sonucu aerobik prosese göre 4-5 kat daha az çamur oluşumu gibi avantajlarının yanı sıra, koku oluşumu, anaerobik bakterilerin 30-37 °C sıcaklık aralığında aktif olmaları sebebiyle ayrıca ısı enerjisine gereksinim duyulması ve tam giderim sağlamadığından, tekrar oksijenli prosese ihtiyaç olması şeklinde dezavantajları da vardır [61,59].

3.3.2. Suyun Tekrar Kullanılabilir Durumu

Günümüzde mevcut teknolojilerle atıksuların tekrar kullanılması, yaygın uygulaması olan bir proses değildir. Uygulamada, temiz suya ulaşım atıksuyun arıtılıp tekrar kullanılmasından daha ekonomik olabilmektedir. Burada belirleyici kriter temiz suya ulaşım kolaylığı ve maliyet boyutudur.

Tekstil boyahanelerinde prosesler sonucu oluşan atıksuların, kirlilik düzeyine göre arıtılarak tekrar kullanımı mümkündür. Atıksuyun kirlilik içeriği ve arıtımı için gerekli maliyet, arıtma kalitesi için giriş verileridir. Hatta soğutma suyu örneğinde olduğu üzere, bazı proses suları hiçbir işleme gerek kalmadan tekrar kullanılabilir niteliktedir.

Atıksuyun yeniden kullanımı için muhteviyatına göre belli arıtma yöntemlerine tabi tutulması gerekir. Özellikle metal içeriği, bu suların birçok işlemde kullanılmasına engel teşkil eder. Tekstil boyahanelerinde, proses suyunda metal varlığı, kimyasal maddeler ile tepkimeye girerek, işlem gören materyal üzerinde, delik ve leke oluşumu gibi, telafisi zor zararlara yol açabilir.

Keza, ağırlıklı olarak boyarmadde ve kısmen diğer kimyasal maddeler kaynaklı renk kirliliği de suyun tekrar kullanımı için önemli bir sorundur. Bu yüzden renk giderimi işleminin de yapılması gerekir.

Atıksu, yeniden kullanılabilmek üzere bir dizi filtrasyon veya kimyasal işlemlere tabi tutulduktan sonra, ulaşılan arıtma verimine ve dolayısı ile suyun geldiği temizlik düzeyine göre kullanım yeri tercih edilir. Çok temiz bir hale gelen atıksu doğrudan boyama veya yıkama işleminde kullanılabilirken, ikinci derece arıtılabilen su ise makinelerin temizliğinde veya koyu renkli karışık kumaşların ön yıkanmasında kullanılabilir. Bu tercihlerde, suyun arıtılma verimi kadar, kullanılacağı işlemin ihtiyaç duyduğu hassasiyet de belirleyicidir. Ancak, arıtma hassasiyeti arttıkça, maliyetin de yükseldiği dikkat edilmesi gereken bir husustur. Bu açıdan pamuk elyaftan mamul iplik/ kumaş boyama prosesleri sonucu oluşan atıksuyun arıtımı, içeriğindeki tuz sebebiyle ekstra işlem gerektirmektedir. Çok iyi bir arıtım ile tekrar boyama işleminde kullanılabilmesi, içerdiği tuz oranının tam olarak tespiti ve ilave tuz hesabının ona göre yapılabilmesine bağlıdır.

Görüldüğü üzere, boyahane çıkış atıksuyunun aynı maksatla tekrar kullanımı için arıtılmasında belli zorluklar vardır. Bu sebeple de günümüzde bu yönde kayda değer bir tercih olduğunu söyleyebilmek mümkün değildir. Zira bu aşamada, taze temiz suyun temini ve maliyeti, atıksuyu tekrar kullanmak üzere arıtılması işleminin karışıklığı ve maliyeti karşısında daha ekonomik görünmektedir.

Ancak gelecekte nüfusla birlikte temiz su ihtiyacı da arttıkça, atıksuyun kullanımına yönelik yeni teşviklerle/ yaptırımlarla karşılaşılması şaşırtıcı olmayacaktır [56].

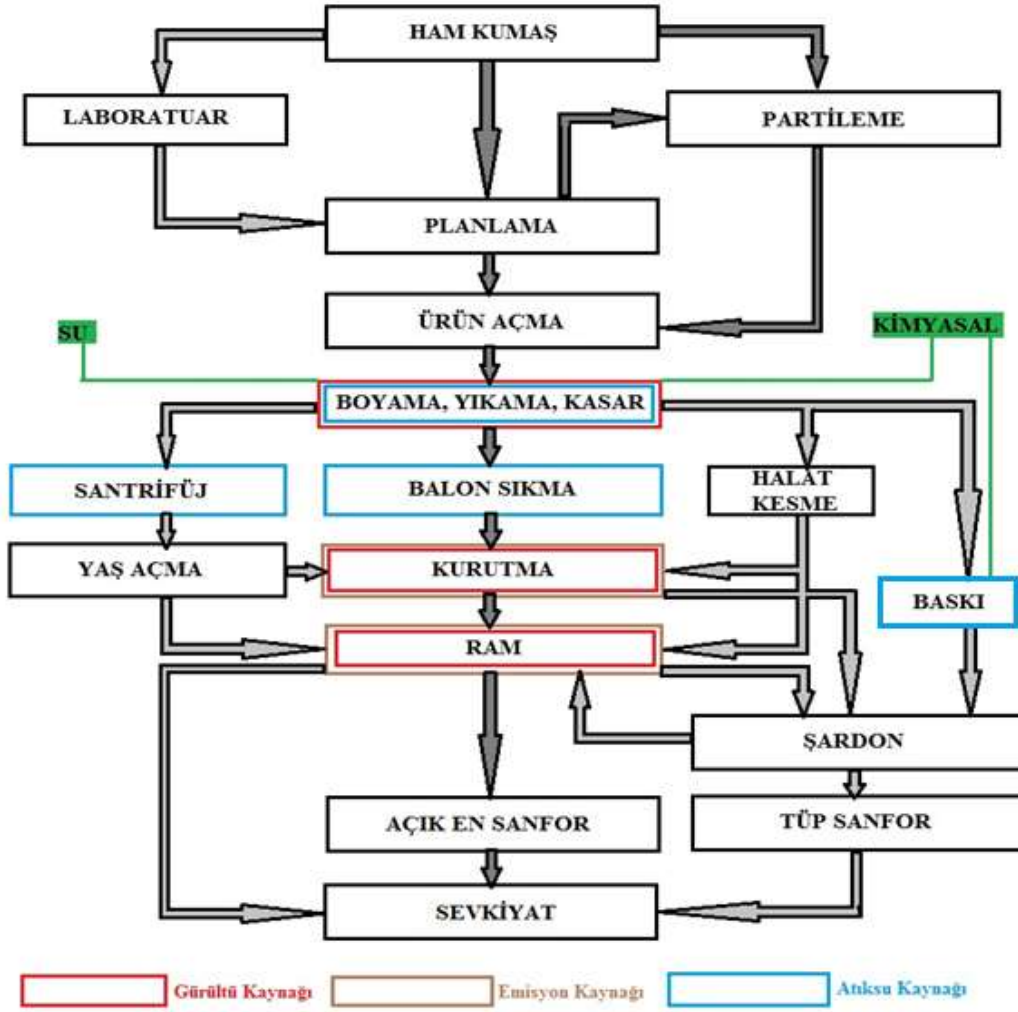
4. TEKSTİL BOYAHANE ATIKSUYUNDAN ISI GERİ KAZANIMI

Tekstil boyahaneleri, sadece boyama işleminin yapıldığı yerler değil, aynı zamanda, kumaşın işletmeye girişinden başlayıp, ham kontrol, açma, gaze, yıkama/ kasar, haşıl sökme, yaş açma, kurutma, apre, sanfor, şardon, son kalite kontrol, ambalaj gibi bir dizi işlemlerin de yapıldığı tesislerdir.

Bu sebeple önemli ölçüde suya ihtiyaç duyan bir sektör olduğu gibi, enerji anlamında da ciddi bir tüketim söz konusudur. Diğer bir ifade ile su ve enerji tasarruf çalışmaları sektörün önceliklerindendir.

Orta ölçekli bir tekstil boyahanesi için yapılan işlemler ve atık kaynakları Şekil:4.1.'deki akış şemasında özetlenmiştir. Şekilde yer aldığı üzere, boyama, yıkama, kasar, santrifüj, balon sıkma ve baskı gibi işlemler sonucu atıksu oluşmaktadır. Bu suyun miktarı işletme toplam kapasitesine değil, fiili kapasiteye bağlıdır. Türkiye için, sektörde çoğunlukla fason üretim söz konusu olduğundan, standart bir kapasite söz konusu değilse de, ortalama bir aralıktan bahsedilebilir. Bu nedenle işletme bazında ısı geri kazanımı sistemi projelendirilmesi için bir belirsizlik sorunu yoktur. Kaldı ki esas olan oluşan atıksu miktarıdır ki, günümüzde su artık titizlikle takip edilen bir değer haline almıştır.

Diğer taraftan başta enerji olmak üzere, girdi maliyetlerindeki artışa karşılık, kâr oranındaki düşüş ve yaşanan rekabet, tekstil işletmelerinin enerji tasarrufuna yönelmelerini tercihten öte zaruret haline getirmiştir [10].



Şekil 4.1. Tekstil işletmesi boyahanesi için atık kaynakları akış şeması.

4.1. Isı Geri Kazanım Sistemleri

Atık IGK sistemlerinde, belirleyici parametrelerden biri de ısı değiştirici verimidir. Isı değiştiriciler; farklı sıcaklıklardaki akışkanlar arasında ısı transferini sağlayan cihazlardır. Günümüzde ısı değiştirici tasarımında; ağırlık ve ebatla küçülme, sistem çıkışı akışkan sıcaklıklarını olabildiğince birbirine yaklaştırarak verimde ve dolayısı ile aktarılan ısı enerjisinde artma önceliklendirilmektedir. Isı değiştirici malzemesi seçimi, ısı aktarım yüzey alanı ve akış türü diğer temel parametrelerdir [62,63].

Isı değiştirici tasarımında, geniş ısı aktarım yüzeyleri ile akışın türbülansını, dolayısı ile ısı ve kütle transferini artıracak konstrüksiyon çalışmaları işin esasını oluşturur. Kanatçık malzeme türü, yüzey ile birleşim geometrisi, montaj şekli gibi hususlar ayrı ayrı tasarlanır. Bunlardan birindeki bir tasarım hatası, ısı değiştirici veriminde, dolayısıyla IGK sistemi etkinliğinde azalmaya yol açar [63,64].

Tekstil boyahanelerinde atık sıcak sudan ısı geri kazanımı

İşletmede proses sonucu oluşan 50 °C ve daha fazla sıcaklıktaki kirli atık sıcak suyun kaba filtreden geçirilerek, betondan veya paslanmaz çelikten mamûl depoya alınması,

Bu depodan paslanmaz malzemedan özel üretilmiş santrifüj pompayla emilen kontamine sıcak suyun, 1 000 mikrondan büyük parçacıkları tutabilen bir filtreden geçerek ısı değiştiricinin primer devresine basılması,

İşletme girişi yumuşak su deposundaki yaklaşık 18 °C'deki temiz suyun ısı değiştiricinin sekonder devresine basılması,

Isı aktarımı sonrası ısınan suyun, ihtiyaç halinde hidroforla basılarak işletme proseslerinde kullanılmak üzere, temiz sıcak su deposuna alınması,

Tekstil sektörü için özel olarak üretilen filtrenin otomatik ters yıkama işlemine tabi tutulması, aşamalarından oluşur.

Sistem ekipmanı; 2 kademeli, paslanmaz malzemedan üretilmiş mekanik kaba atıksu filtresi, pompa ile ısı değiştirici arasına yerleştirilmiş, sistemin durmasına gerek duyulmayan, otomatik temizlenme özellikli, paslanmaz kirli sıcak su filtresi, tekstil sektörü için özel üretilmiş plakalı ısı değiştirici, 110 °C'ye kadar sıvı çalışma sıcaklığı ve 19 mm katı madde geçirgenliğine sahip atıksu pompası, vanalar, elektromanyetik debimetreler ile hava kontrollü aktivatörlü kelebek vanalardan oluşur.

IGK sistemlerinin kontrolü, internet yardımı ile bilgisayar üzerinden 24 saat izlenebilen PLC otomasyon ve SCADA yazılımı ile kolaylıkla mümkündür. Hatta bu sistem ile belli problemlere teknik müdahale edilmesi de mümkündür.

Tekstil boyahane atık sıcak suyundan ısı geri kazanımı yolu ile yakıt tasarrufu, üretimde artış, atıksu arıtma tesisine bakteriler için daha uygun olan düşük sıcaklıkta atıksu verilmesi, kontrol sistemleri ile daha az enerji sarfıyatı, yatırımın hızla geri dönüş süresi gibi kazanımlar söz konusudur [65].

4.1.1. Isı değiştiriciler

Atık IGK sisteminin en önemli ünitesi ısı değiştiricidir. Anılan sistem için, Logaritmik Sıcaklık Farkı (ΔT_m) çok küçük olan plakalı ısı değiştirici tercih edilmektedir. Plakalı ısı değiştiricilerinde ısı aktarım katsayıları borulu sistemlere göre 5-6 kat daha büyüktür. Bu da aynı miktar ısı aktarımı için, plakalı ısı değiştirici boyutunun, borulu sistemlere göre o derece küçük tasarlanabileceği anlamına gelir.

Plakalı ısı değiştiricilerde, plaka tipi seçimi önemlidir. Çünkü plaka üzerindeki kanal yapıları ve plakalar arası açıklık tekstil elyaflarının tıkanmamasını sağlayacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Temiz su ve buhar için üretilen plakalı ısı değiştiriciler, boyahane atıksuyundan ısı aktarımı için uygun değildir [66].

Bu gibi yüksek viskoziteli sıvı ve elyaf içeren kâğıt, gıda ve tekstil sektörü için özel olarak üretilmiş plakalar mevcuttur. Bu maksatlı, sabit genişlikli kanal aralığı 6 mm ve kalınlığı 0,8 mm veya sabit genişlikli kanal aralığı 12 mm, kalınlığı 0,9 mm ölçülerindeki serbest akışlı plakalar bulunan ısı değiştiricilerin en uygun seçim olduğu değerlendirilmektedir. Kanal aralığının hiçbir daralma olmadan devamı önemlidir. Aksi halde daralma tıkanmaya sebebiyet verir. Bu ısı değiştiricilerinin diğer bir avantajı da, sadece plaka ilavesi ile kapasitenin belli ölçülerde artırılmasına imkân vermesidir. Keza, bu sistemde, temizlenmesi için rahatlıkla sökölüp takılabilen plakaların varlığı, işletme kolaylığı sağlamaktadır.

Plakalı ısı değiştirici tiplerinde boyalı su ile temiz suyun birbirine temas olasılığı plaka delinmesi dışında imkânsızdır. Muhtemel conta kaçaklarında ise, akışkan dış ortama akacağından, işlemeye verilecek temiz suyun kirlenmesi söz konusu değildir.

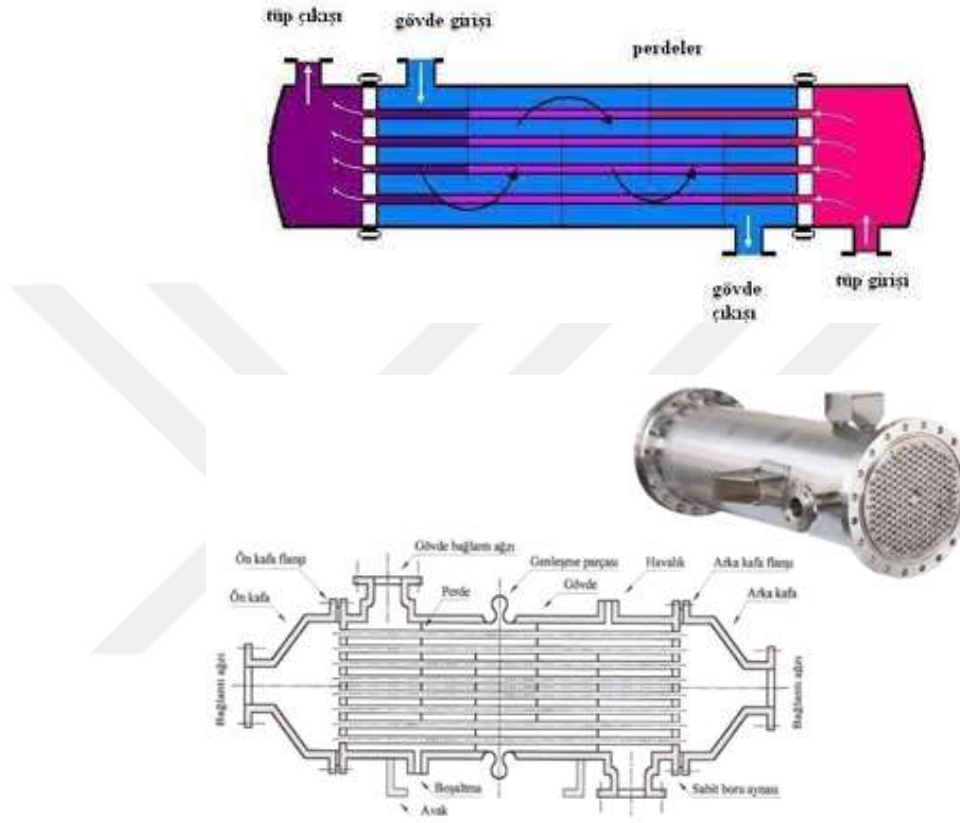
Isı değiştiriciler, her gün gelişen teknolojinin de etkisiyle, ihtiyaca çok çeşitli tip, ebat ve kapasitede üretilmektedir. Sektörde çok farklı adlandırmalar olmakla birlikte, genel olarak 5 gruba ayırmak mümkündür:

4.1.1.1 Geometrik şekline göre ısı değiştiriciler

Konstrüksiyon geometrisine göre ısı değiştiriciler; borulu, plakalı ve kompakt şeklinde üç şekilde tasnif edilebilir.

4.1.1.1.1 Borulu tip ısı değıştirciler

Borulu ısı değıştircilerde, Şekil 4.2.'de gösterildiği üzere, bir akışkan içteki tüpten geçerken, diğerk akışkan da dış kısımdaki tüpten geçerek ısı alış verışı sağlanır. Bu sistemler, önemli ölçüde modüler olduğundan tasarımları da kolaydır. Tüp çapları, uzunlukları ve sayıları isteğe göre değıştirilebilir.



Şekil 4.2. Borulu ısı değıştirciler.

Borulu tip ısı değıştirciler de kendi içinde üç kısma ayrılır;

4.1.1.1.1.1 Çift borulu ısı değıştirciler

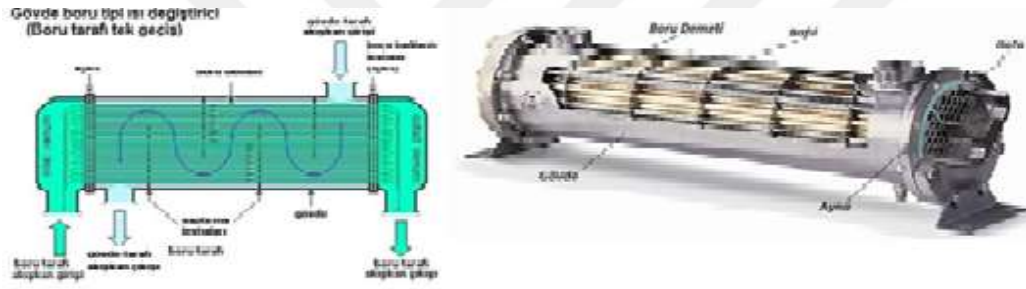
Sistemde, Şekil 4.3.'deki gibi iç içe geçmiş farklı çaplı, aynı eksenli iki borudan imal edilir. Uygulamada iç içe iki boru yerine, çok sayıda boru demetinden yapılanları da vardır. Akışkan akış yönleri paralel veya ters yönlü olabilir.



Şekil 4.3. Çift borulu ısı değıştirciler.

4.1.1.1.2 Gövde boru tipi değıştirciler

Bu tür ısı değıştircilerde karışmada ve dolayısı ile ısı aktarımında verimi artırmak amaçlı çoğunlukla saptırıcı levhalar kullanılır. Şekil 4.4'te gövde boru tipi ısı değıştircilere örnek verilmiştir.



Şekil 4.4. Gövde boru tipi ısı değıştirciler

4.1.1.1.3 Spiral borulu ısı değıştirciler

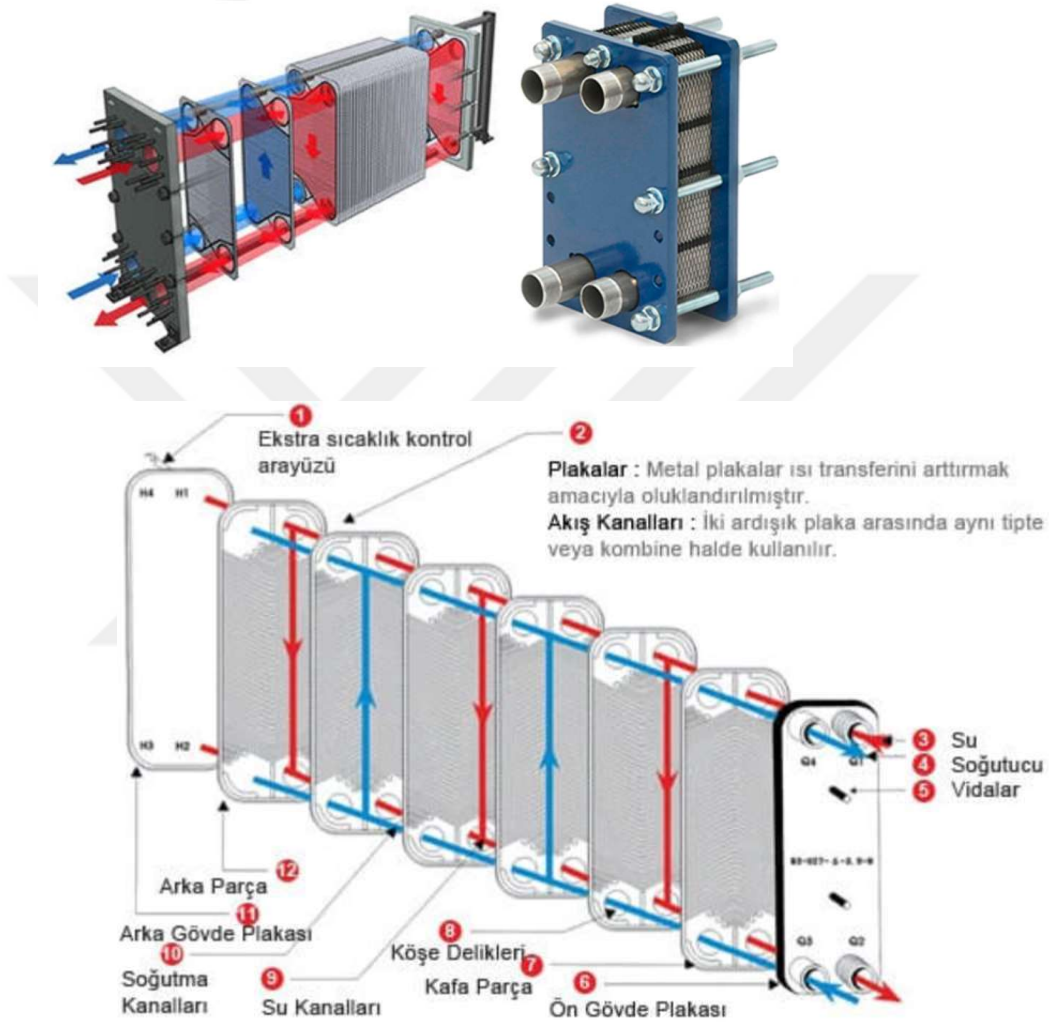
Spiral borulu ısı değıştirciler, soğutma sistemi elemanları olan evaporatör ve kondenserler için üretilir. Düz borulu sistemlere göre, bu borunun ısı aktarım katsayısı daha yüksektir. Ancak, çok temiz akışkanlar için tercih edilebilirler, çünkü Şekil 4.5.'teki görülen geometrileri sebebiyle fiziksel olarak temizlenmeleri çok zordur.



Şekil 4.5. Spiral boru tipi ısı değıştirciler.

4.1.1.1.2 Plakalı tip ısı değıştirciler

Bu ısı değıştirciler Şekil 4.6.'da göröleceğı üzere, ince plakalardan imal edilen akış kanallarından oluşur. Akışkan akımları, düz plakalarla bölmelenmiştir. Gaz, sıvı veya her iki fazdaki akışkanlar için kullanışlıdır. Contalı-plakalı, spiral-plakalı ve lamelli şeklinde üç grupta incelenebilirler.



Şekil 4.6. Plakalı tip ısı değıştirciler [67,68].

Tekstil boyahanelerinde atık IGK sistemlerinde atıksu, ön filtrasyon sonrası, elyaftan tıkanmayacak şekilde sektör için özel üretilen geniş plaka kanal aralığına sahip, plakalı ısı değıştircisine gönderilir. Sistemin kontrolü PLC ya da elektromekanik bir sistem ile mümkündür.

4.1.1.1.2.1 Contalı-plakalı ısı değıştirciler

Bu sistemlerde akışkanları plakalar içinde istenildiği şekilde yönlendirme ve sızmaları önlemek contalar için kullanılmaktadır. 250 °C ve 25 bar koşullarına kadar ancak çalışılabilir sistemlerdir. Gövde borulu sistemler kadar sıcak ve basınç dayanımı yoktur.

Buna karşılık Şekil 4.7.'de görülen contalı plakalı tip ısı değıştirciler, kolaylıkla temizlenebilir olduğundan, özellikle gıda sektöründe tercih edilmektedirler.

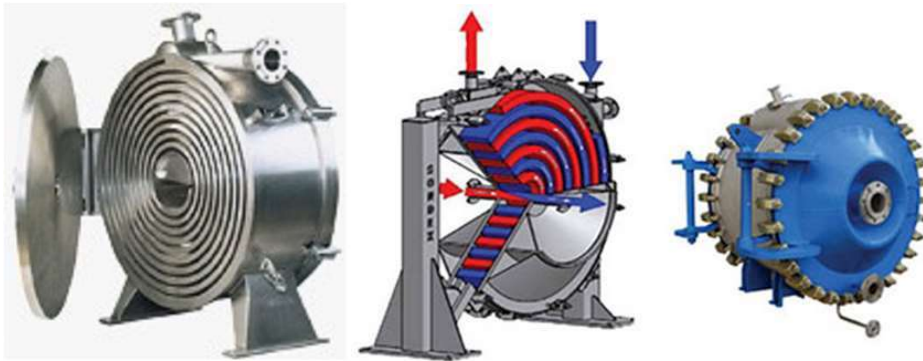


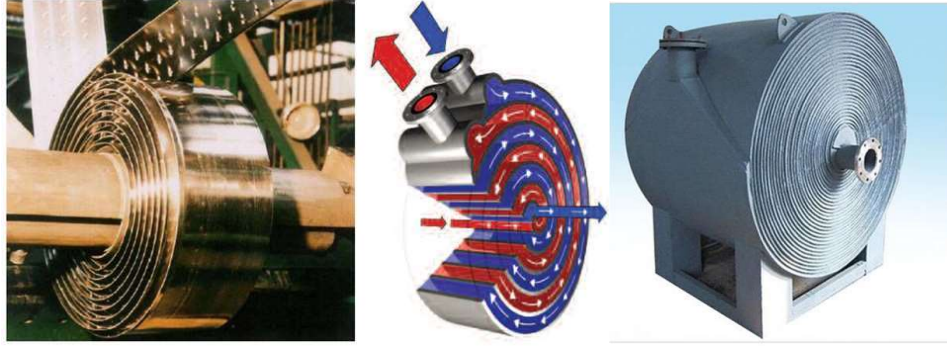
Şekil 4.7. Contalı plakalı tip ısı değıştirciler.

4.1.1.1.2.2 Spiral-plakalı ısı değıştircileri

Örnekleri Şekil 4.8.'de verilen bu tip ısı değıştirciler birbirine paralel iki uzun plakanın yuvarlatılıp, kenarlarından diğer plakalara kaynatılması ile akış kanalları oluşturulur. Akışkan debisine göre bu kanal boşluklar ayarlanabilir.

Çalışma verimleri yüksektir, temizlik ve bakımları kolaydır. Yüksek hızlı akışkanlar için uygundur. Bu sebeple de akış dağılımı iyi olup, hassas akışkanlar için uygun bir seçimdir. Ayrıca istenmesi halinde, plakalar üzerine oluk ilavesi ile kapasite artırımı mümkündür.





Şekil 4.8. Spiral-plakalı tip ısı değıştirciler.

4.1.1.1.2.3 Lamelli-plakalı ısı değıştircileri

Bu tip ısı değıştirciler, bir gövdeye yerleştirilen, paralel birçok ince plaka kanalları ya da lamellerden oluşur. Lameller, Şekil 4.9.'daki gibi düzleştirilmiş boru ya da dikdörtgen geometrisinde olabilirler.



Şekil 4.9. Lamelli-plakalı tip ısı değıştirciler.

Yüzeylerinin düzgünlüğü, akış dağılımı düzenli kargaşalı akım sebepleriyle, lamellerin kolaylıkla kirlenme durumları söz konusu değıldir. Plakalar kolaylıkla sökülüp takılabildiğinden bakımları kolaydır.

Lamelli-plakalı ısı değıştircileri, 35 bar basınç ve conta direncine göre 500 °C sıcaklığa kadar işlevseldirler. Tam karşıt akış elde edildiğinden ısı verimleri yüksektir.

4.1.1.1.3 Kompakt tip ısı değıştirciler

Bu tür ısı değıştirciler, ısı aktarım alanını artırmak amacıyla, standart tip sistemler üzerine, yeni eklentiler yapılması suretiyle elde edilir. Bu sebeple genişletilmiş yüzeyli ısı değıştirciler olarak da bilinirler. Mevcut yapı (plaka/ boru) üzerine kanat veya değışik şekiller ilave edilerek, ısı geçiş yüzey alanı genişletilir.

Şekil 4.10.'görüldüğü gibi standart bir şekiller yoktur.



Şekil 4.10. Kompakt tip ısı değıştirciler.

Karmaşık şekilli bu sistemlerin temizliği zor olduğundan, ancak temiz akışkanlar için kullanılabilirler.

4.1.1.1.4 Kanatlı-plakalı kompakt ısı değıştirciler

Bir örneği Şekil 4.11.'de görülen kanatlı-plakalı kompakt ısı değıştirciler, akışkanların her ikisinin de gaz fazında olduğu ısı aktarımı işlemlerinde kullanılır.

Kullanım alanları; gaz ve buhar türbinleri, kara ve hava taşıt motorları soğutma sistemleri, soğutma ve iklimlendirme tesisleri, elektronik devrelerin soğutma devreleri, ısı pompaları ile enerji geri kazanım sistemleri şeklinde sıralanabilir.

Gaz akışkanların düşük debide akışı, temizlenmesi oldukça güç olan kanalların kirlenme eğilimini artırır. Bu sebeple, ısı aktarım akışkanlarının temiz olması gereği vardır.

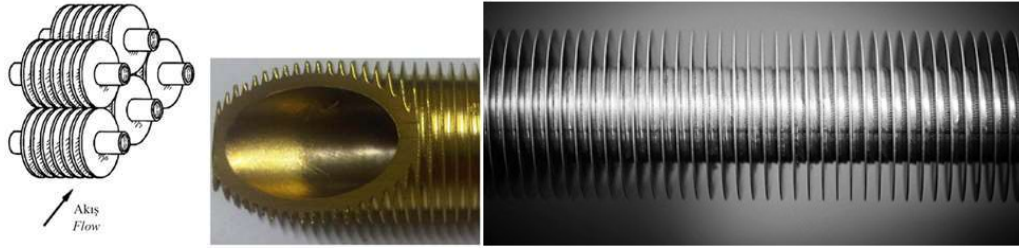


Şekil 4.11. Kanatlı-plakalı kompakt ısı değıştirici.

4.1.1.1.5 Kanatlı-borulu kompakt ısı değiştiriciler

Kanatlı-borulu kompakt ısı değiştiriciler, gaz fazındaki akışkandan, sıvı fazdaki akışkana ısı transferi için kullanılırlar.

Isı değiştirici, şekilde 4.12.'deki gibi dış taraflarında sabit kanatlar bulunan çok sayıda borudan oluşmuştur.



şekil 4.12. Kanatlı-borulu kompakt ısı değiştiriciler.

Kanatlar, borular ile birlikte üretilbildiği gibi, daha sonra da borulara eklemlenebilirler. İklimlendirme, güç santralleri, pervaneli soğutma grupları ile iklimlendirme ve soğutma tesisatları kullanım alanlarıdır.

4.1.1.2. Isı aktarım mekanizmasına göre ısı değiştiriciler

Isı transfer metoduna göre ısı değiştiricilerini; iki yüzde de tek fazlı taşınım, bir yüzde tek diğerinde iki fazlı taşınım ve her iki tarafta da çift fazlı taşınım şeklinde üç sınıfa ayırmak mümkündür.

İki yüzde de tek fazlı taşınımın olduğu sistemleri olarak; kazan hava ısıtıcıları, kompresör ara soğutucuları, ekonomizerler, rejeneratörler, otomobil radyatörleri, yağ soğutucuları gösterilebilir.

Kazanlar, buhar jeneratörleri, klima radyatörleri, evaporatörler ve kondenserler ise her iki yüzde de çift fazlı ısı transferine örnektir. Sözelimi, kondenserlerde ısı değiştiricinin bir tarafında yoğuşma (buhar+sıvı faz) görölürken, diğer yüzde ise kaynama (sıvı+buhar faz) söz konusudur.

4.1.1.3. Geçiş yoluna göre ısı değiştiriciler

Akışkanların ısı transferi esnasında akacakları yol güzergâhı temel alınarak ısı değiştiricileri; tek geçişli ve çok geçişli şeklinde tasnif edilebilir.

Tasarımında; ısı aktarım verimi, basınç düşüşü, akışkan hız limitleri, sıcaklık düzeyleri gibi parametreler göz önüne alınır.

4.1.1.4. Akış yörüngelerine göre ısı değiştiriciler

Isı değiştiriciler, akışkanların akış yörüngeleri esas alınarak da, paralel akış, karşıt akış ve çapraz akış olarak üç kategoriye ayrılabilirler.

4.1.1.5. Isı aktarım türüne göre ısı değiştiriciler

Isı aktarım işlemlerine göre ısı değiştiriciler; doğrudan temaslı ve dolaylı temaslı olarak iki gruba ayrılır.

4.1.1.5.1. Doğrudan temaslı ısı değiştiriciler

Bu tip ısı değiştiricilerde, akışkanlar arasında doğrudan temas vardır, arada duvar yoktur. Isı transferi akışkanlar yüzeyleri boyuncadır.

Bu sistemlerde, akışkanların karışmaması gerekir. Bu yüzden; sıvı-sıvı, gaz-sıvı ve katı-sıvı fazlar için birbiri ile karışmamaları koşulu ile kullanılabilen ısı değiştiricilerdir. Çoğunlukla, ısı aktarımı ile birlikte, eşzamanlı olarak kütle aktarımı da söz konusudur.

4.1.1.5.2. Dolaylı temaslı ısı değiştiriciler

Isı transferinin ara duvarlar üzerinden sağlandığı ve sıcak-soğuk akışkanın doğrudan birbiri ile temas etmediği sistemler, dolaylı temaslı ısı değiştiriciler olarak adlandırılırlar [69].

4.1.2. Isı Pompaları

Düşük sıcaklıktaki bir ısı kaynağından, yüksek sıcaklıktaki bir ısı kaynağına ısı geçişinin gerçekleştirildiği termodinamik sistemler ısı pompası olarak adlandırılır. Diğer bir anlatımla, elektrik enerjisi desteği ile ısı formundaki enerjiyi, bir ortamdan bir başka ortama nakleden sistemlerdir. Termodinamiğin ikinci yasasına göre çalışırlar.

Buna göre, ısı kendiliğinden daima sıcaklığı yüksek kaynaktan, daha düşük sıcaklığa sahip kaynağa doğru akar. Sıcaklığı düşük kaynaktan, yüksek kaynağa ısı aktarımı, ancak üçüncü bir enerji kaynağının varlığına bağlıdır.

Isı pompası, buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminin aksi prensibe göre çalışır. Ters yönlü çalıştırılırsa, soğutma işlemi de yapmış olur ki bu özellik önemli bir avantajdır.

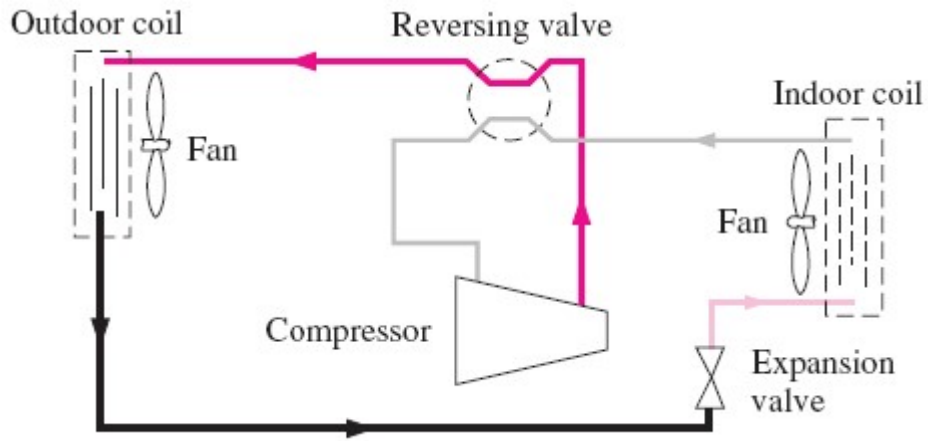
Günlük yaşamda terim olarak çok bilinir olmasa da, aslında ısı pompası hayatımızın birçok alanında vardır. Hemen her evde bulunan buzdolabı ile klima, nem giderici ve dondurucular ısı pompası sistemi ile çalışan ürünlerdir [70,71,72,8].

Isı pompaları, gelişmiş ülkelerde konfor amaçlı kullanımlar yanında, başta gıda ve tekstil olmak üzere, endüstriyel alanda da kendine geniş kullanım alanları bulmuştur. Özellikle kurutma proseslerinde, mevcut sistemlere göre önemli büyüklükte enerji tasarrufu sağlanabilmektedir [73,74,8].

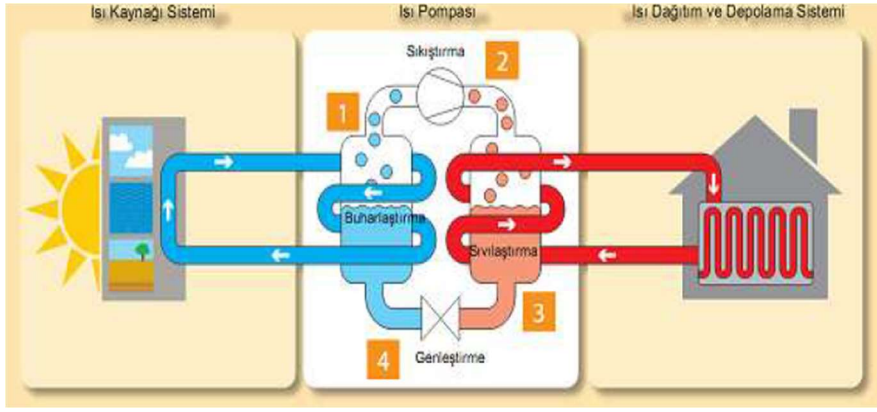
Düşük sıcaklıklar için verimli çalışan ısı pompaları, 40 °C altındaki atıksulardan ısı geri kazanımı için fizibil sonuçlar vermektedir. Sanayide bu maksatla kullanılan ısı değiştiricilerin etkinlik aralığı 40 ile 100 °C arasındır. Diğer bir deyişle 40 °C altı sıcaklıklarda, ısı değiştirici yerine ısı pompası düşünülmelidir.

4.1.2.1. Isı Pompalarının Çalışma Prensibi

Isı pompaları, Şekilde 4.13.'de görüldüğü gibi; kondenser, genleşme vanası, evaporatör, genleşme vanası ve ayar vanasından oluşur [75,76].

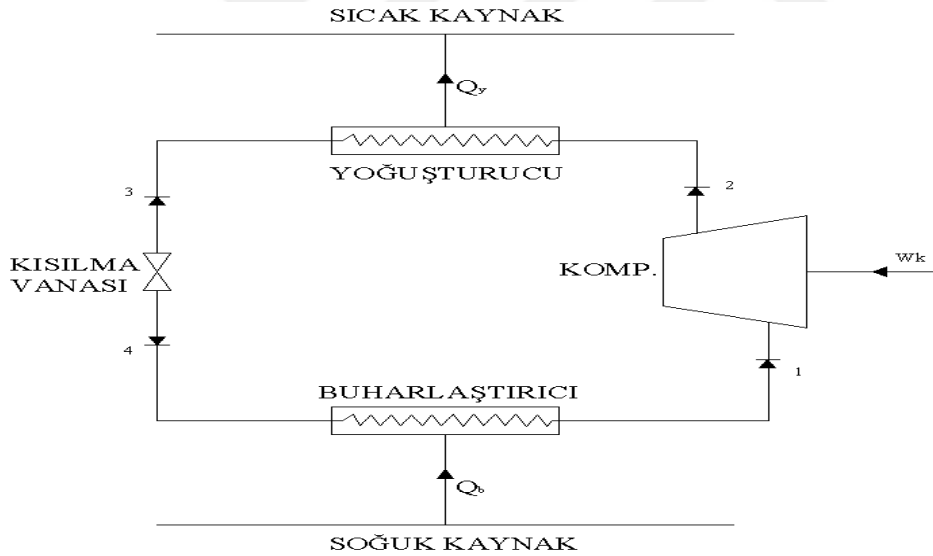


Şekil 4.13. Isı pompası elemanları.



Şekil 4.14. Isı pompası şematik çalışma prensibi gösterimi [77].

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere, zıt yönlü çevrimde, ısıнын soğuk kaynaktan sıcak kaynağa aktarılması, soğutma devresindeki bir kompresör yardımı ile olur. Buharlaştırıcı yardımı ile soğuk kaynaktan alınan ısı, bu kompresör vasıtası ile soğutucu akışkan sistemde dolaştırılır ve yine soğutucu akışkan yardımıyla sıcak kaynağa pompalanır.



Şekil 4.15. Isı pompası tesisat çevrimi.

Soğutucu akışkanın çevrim basamakları:

1-2: Soğutucu akışkan doymuş buhar fazındayken, kompresör tarafından emilir ve sıkıştırılır. Nihayet yine kompresör tarafından sıkıştırılarak yoğuşturucu basıncına yükseltilir.

2-3: Isısını dış ortama veren soğutucu akışkan, kızgın buhar fazından sıvı faza geçer. Bu aşamada, sistemin temel amacı olan ısıtma meydana gelmiş olur.

3-4: Artık sıvı formda olan soğutucu akışkan, kısılma vanasında basıncı azaltılıp, buharlaştırıcıya girer.

4-1: Basıncı düşmüş soğutucu akışkan, sıcaklığı kendisinden fazla olan ortamdan ısı olarak buharlaşır. Nihayet tekrar kompresör tarafından emilir ve çevrim bu şekilde devam eder [78,8].

Kullanım sahalarına göre ısı pompaları; evsel ve endüstriyel olarak iki kategoride ele alınabilir. Keza, aldığı ısı kaynağına göre; su, hava, toprak, güneş enerjisi, atık ısı ve diğerleri şeklinde de ayrı bir sınıflandırma mümkündür. Ulaşılma kolaylığı sebebiyle, bu kaynaklardan en çok tercih edilen ısı kaynağı havadır.

Aşağıda Tablo 4.1.'de, ısı pompalarında kullanılan kaynaklar için sıcaklık aralıkları verilmiştir.

Tablo:4.1. Isı pompaları için ısı kaynakları ve sıcaklık aralıkları.

Isıl kaynak	Toprak	Atık hava	Dış hava	Deniz	Nehir	Göl	Kayaçlar	Yeraltı suyu	Atıksu veya sıvılar
Sıcaklık aralığı, °C	0-10	15-25	-10-5	3 - 8	0 - 10	0 - 10	0 - 5	4 - 10	>10

Isı pompaları, tahrik enerjisine veya harekete geçebilmek için ihtiyaç duydukları üçüncü enerji kaynağına göre; elektrik enerjili ve termal enerjili olarak ikiye ayrılır.

Isı aktarım şekline göre ise dokuz başlıkta tasnif edilebilirler:

1. Absorbsiyonlu ısı pompası
2. Gaz çevrimli ısı pompası
3. Adsorbsiyonlu ısı pompası
4. Resorbsiyonlu ısı pompası
5. Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası
6. Stirling çevrimli ısı pompası
7. Rankine/buhar sıkıştırırmalı ısı pompası
8. Termoelektrik ısı pompası
9. Jet buhar püskürtmeli ısı pompası

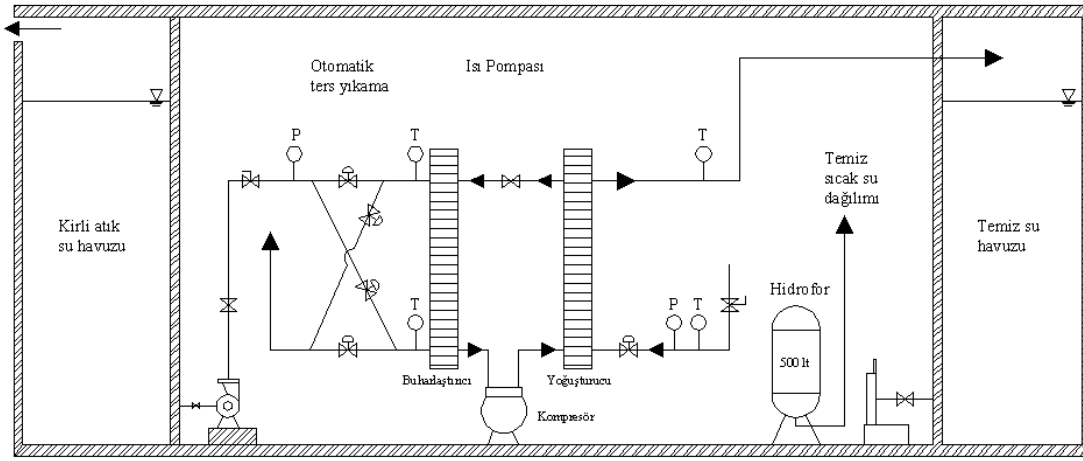
Isı pompaları kullanımındaki en büyük olumsuzluk, birincil enerjinin elektrik enerjisine dönüşüm veriminin düşük olması, bu sebeple de elektrik enerjisi ile harekete geçen pompalarda maliyetlerin yüksek olmasıdır.

Bu sebeple, İsviçre ve İsveç gibi elektrik enerjisinin ucuz olduğu ülkelerde kent ısıtmalarında ısı pompaları kullanımı yaygın iken, yüksek yakıt maliyetli İngiltere’de bina ısıtılmasında kullanımı çok düşüktür [79].

Ekonomik Analiz

Enerji geri kazanımında plakalı ısı değiştirici yerine ısı pompalı sistemin kullanılması

Tekstil işletmelerinde klasik sistem yerine ısı pompası uygulaması Şekil 4.16.’daki gibidir.



Şekil 2.16. Isı geri kazanımında ısı pompası uygulaması.

Klasik IGK yöntemde plakalı ısı değiştiricisine gönderilen sıcak kirli atıksu, bu sistemde, ısı pompası buharlaştırıcısına gönderilir. Sıcak kirli atıksu ısısıyla buharlaşan soğutucu akışkan, kompresör tarafından emilerek, yoğuşturucuya iletilir. Yüksek sıcaklık ve basınca sahip kızgın buhar fazındaki soğutucu akışkan, yoğuşturucuya girerek, ısısını bu bölüme gönderilen temiz işletme suyuna vererek tekrar sıvı faza geçer.

Bu çalışmada;

Yoğuşturucunun sıcaklığı $T_y=65\text{ }^{\circ}\text{C}$

Buharlaştırıcının sıcaklığı $T_b=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temiz suyun giriş sıcaklığı $T_{ts_g}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temiz suyun çıkış sıcaklığı $T_{ts_ç}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Atıksuyun giriş sıcaklığı $T_{asg}=65\text{ }^{\circ}\text{C}$

Atıksuyun çıkış sıcaklığı $T_{asç}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Atıksuyun miktarı $m_{asu}=35\text{ ton/h}$

Kompresörün mekanik verimi $\eta_m=\%85$

Kompresör iç verimi $\eta_i=\%80$

İşletmenin günlük çalışma saati: 20 sa

Yılda çalışılan gün sayısı: 300 gün, kabulleri ile yapılan hesaplamada, yıllık 132 000 Euro enerji tasarrufu sağlandığı hesaplanmıştır [80,8].

Isı pompalı projenin maliyeti

Bu kazanca karşılık proje maliyeti ise:

Makine-teçhizat, teknik destek, bağlantı parçaları, elektrik malzemeleri, montaj, test ve ayarlar, üretim kayıpları ve beklenmeyen giderler şeklindeki kalemler için, toplam tahmini maliyet 120 000 Euro'dur. Bu bedel ilgili firmalardan alınan değerler ile ilgili resmi kurum birim fiyatları üzerinden hesaplanmıştır.

Klasik yöntemle IGK sisteminde olduğu gibi;

Geri Ödeme Süresi (Ay) = Yatırım Maliyeti/ Yıllık Tasarruf

Geri Ödeme Süresi (Ay) = $[(120\ 000\ \text{TL/yıl})/(132\ 000\ \text{TL})](12\ \text{ay/1 yıl})$

Geri Ödeme Süresi=10,9 ay.

Yaklaşık 11 ay olarak hesaplanmıştır [8].

Görüldüğü üzere, ilk yatırım maliyeti açısından plakalı ısı değiştiricisi, ısı pompasına göre 20 000 € daha ucuzdur. Keza, yılda 129 662 € değerinde enerji tasarrufu söz konusudur. Bu verilere bağlı olarak geri ödeme süreleri yönü ile de plakalı ısı değiştiricisinin 6 aylık bir avantajı söz konusudur.

Diğer bir deyişle, 65 °C sıcaklığındaki kirli atıksudan ısı enerjisi geri kazanımında ısı pompası yerine plakalı ısı değiştiricisi kullanımı tercih edilmelidir [8].

Endüstride çok sayıda kullanım alanı olan, PLC (Programlanabilir Mantık Denetleyici) ve SCADA (Veri Tabanlı Kontrol ve Gözetleme) sistemleri,

güvenilirliklerinin yanı sıra, her gün güncellenen teknolojileri ile son derece fonksiyonel otomasyon teknolojisinin iki temel unsurudur **[81,82]**.

PLC, ihtiyaca göre programlanabilme özelliğine sahip, sistemin kumanda edilmesi ve kontrolü görevini gören bir elemandır.

SCADA yazılımı ise işletme içindeki ünitelere ve dış ağlara bağlanarak, kullanıcılarına işletme parametrelerine gerçek zamanlı olarak ulaşma imkânı sağlamaktadır **[82,83]**.

PLC ve SCADA sistemi, klasik kontrol yöntemlerine göre çok daha kolay ve hızlı şekilde hatanın tespitine ve müdahaleye imkân vermektedir. SCADA bilgisayarlarının bulunduğu odadan, proseslerden gelen ikaz ve mesajlar anlık olarak takip edilmekte ve üniteler arası koordinasyon otomatik olarak sağlanmaktadır **[84,82]**.

PLC ve SCADA sistemlerinin sağladığı otomasyon ile çalışan kişi sayısı ve iş kazalarında da azalma olmakta, bu sebeple de üretim kapasitesi artmakta ve işletme giderleri azalmaktadır **[82]**.

Endüstride prosesleri kontrol etmek üzere klasik kumanda sistemlerinde kullanılan elektrik-elektronik ekipmanın (kontaktörler, röleler, elektronik dönüştürme kartları, sayıcılar...) PLC kontrol sistemlerinde olmaması, ilk yatırım maliyetini azaltması açısından önemlidir.

Proses aşamalarının planlanan sıra kontrolü ve anlık izlenmesi süreci olarak tanımlanabilecek olan otomasyon iki temel başlık altında ele alınabilir. İlki, klasik yöntem denebilecek mekanik aksamın kullanıldığı yöntem, ikicisi ise kurulum ve kullanım kolaylığı, üretim giderlerinin azaltılması, hassasiyeti ve güvenilirliği gibi birçok artısı bulunan ve bugün çok sayıda sektörde kullanım alanı bulunan PLC tabanlı otomasyon sistemleridir **[85,86]**.

Uzaktan iletişime uygun olmalarının yanı sıra, fiziksel ulaşımı güç operasyon noktalarını tek bir noktadan anlık olarak izleyebilme ve kontrol edebilmeye uygun olmaları, PLC kontrol sistemlerinin, diğer önemli avantajları olarak sayılabilir. Endüstride PLC ile proseslerin uzaktan takibi ve kontrolü için SCADA sistemi kullanılmaktadır **[87,88,86]**.

Günümüzde bu sistem; su, çimento, tekstil, ısıtma/ soğutma sistemleri, güvenlik, ulaşım gibi birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılır durumdadır [87,89,86].

Her ne kadar ilk yatırım maliyetinin uygunluğu gerekçesiyle, sıvı depolama tanklarında klasik yöntemlerle kontrol yapılıyor olsa da, bu sistemde verilerin analog olması sebebiyle okuma hataları söz konusudur.

Keza, depolama tankları çoğu kez kontrol merkezine uzak noktalarda olduğundan, anlık takip olmadığı durumlarda muhtemel arızalardan geç haberdar olma ve geç müdahale söz konusudur. Buna karşın insan kaynaklı hataları en aza indirgeyen ve sorunlara anlık izleme ile anında müdahale imkânı veren SCADA yazılım sisteminde bu sorunlar büyük ölçüde çözülmüştür [90,91,86].

4.2. Tekstil Boyahanesi Atıksu Karakteristiği

Tekstil sektörü atıksuyu karakteri, materyalin gördüğü işlemlere bağlıdır. Başta kullanılan boyarmaddeler olmak üzere, yardımcı kimyasal maddeler ve diğer apre malzemeleri çoğu orijinal yapısı değişmiş olarak atıksu ile birlikte makineden deşarj edilirler.

Tekstil baskı ve boyahanelerinde, örnekleri Şekil 4.17’de görüldüğü üzere çok çeşitli boyarmaddeler kullanılmaktadır.



Şekil 4.17. Çeşitli tekstil boyarmadde örnekleri.

Bu boyarmaddeleri, çeşitli şekillerde tasnif edilse de, boyama prosesine göre yapılan sınıflandırma en isabetli olanıdır.

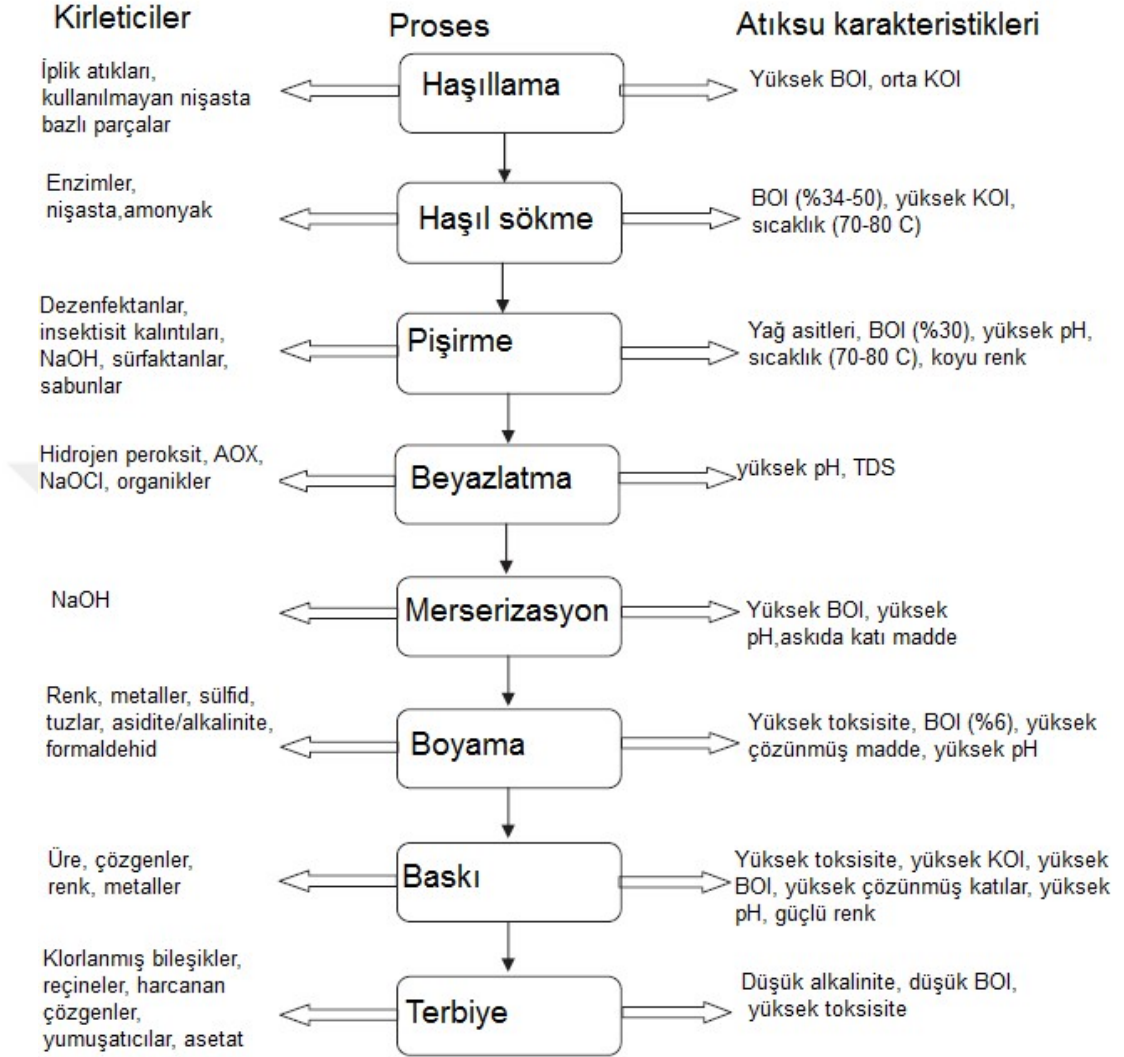
Sık kullanılan boyarmaddeler:

- **Reaktif boyarmaddeler:** Selülozik elyafa kimyasal reaksiyon ile bağlanır. Direkt boyarmaddelere göre, renk gamı ve parlaklığı daha fazladır. Düşük sıcaklıklarda da selülozik elyaf ile reaksiyona girebilir. Kullanım alanı geniştir.
- **Direkt boyarmaddeler:** Suda rahatlıkla çözünürler. Selülozik elyafa kolayca bağlanırlar ve boyama prosesleri basittir. Boyama sonunda fiksator ile boyarmaddenin kumaşa fikse edilmesi sağlanır.
- **Asit boyarmaddeler:** Poliamid ve protein elyafın boyanmasında tercih edilirler. Farklı metal içerikli grupları vardır.
- **Dispers boyarmaddeleri:** Suda çok az çözünürler. Boyama banyosunda basınç altında çoğunlukla polyester kumaşların boyanmasında kullanılırlar.

Ayrıca, pigment, bazik, metal kompleks, kükürt, küpe (vat), azoik, mordan, krom ve optik beyazlatıcılar gibi renklendirici çok sayıda boyarmadde vardır.

Görüleceği üzere, tekstil sektöründe her biri farklı kimyasal yapıda çok sayıda boyarmadde grupları vardır. Keza, boyama prosesleri ve kısmen kullanılan yardımcı kimyasal maddeler de farklılıklar göstermektedir. Dolayısı ile atıksu içine bıraktıkları kirlilik karakteristiğinde de farklılıklar olması olağandır.

Tekstil sektörü için örnek prosesler ve oluşan atık karakteristiği Şekil 4.18.'deki gibidir.



Şekil 4.18. Tekstil terbiye işlemlerinde oluşan atıksu karakteristiği [2,3].

Görüldüğü üzere, boyama bölümünün hemen her ünitesinde atıksu oluşumu söz konusudur.

Tekstil sektöründe kullanılan boyarmaddeler, toksik içerikleri ve biyolojik olarak parçalanma zorlukları sebepleriyle, alıcı ortam için önemli risk kaynağıdır. Özellikle çinko (Zn), kurşun (Pb), bakır (Cu), alüminyum (Al), krom (Cr), civa (Hg), kobalt (Co), kadmiyum (Cd), nikel (Ni) ve arsenik (As) gibi ağır mataller ve bazı organik bileşikler gibi çevre ve insan sağlığı açısından tehlikeli içerikleri nedeniyle bu suların çok iyi bir arıtma işlemine tabi tutulması kaçınılmazdır [92].

Tekstil sektöründeki yaş işlemler için ihtiyaç duyulan yoğun miktardaki yumuşak su, prosesler sonrası çoğu kez almış olduğu ısı enerjisi ile birlikte makineleri terk etmektedir [93].

Dolayısıyla ısı geri kazanımı yapılmadığı müddetçe, önemli oranda bir enerji kaybı söz konusudur.



5. GERÇEK BİR İŞLETME ÖRNEĞİ

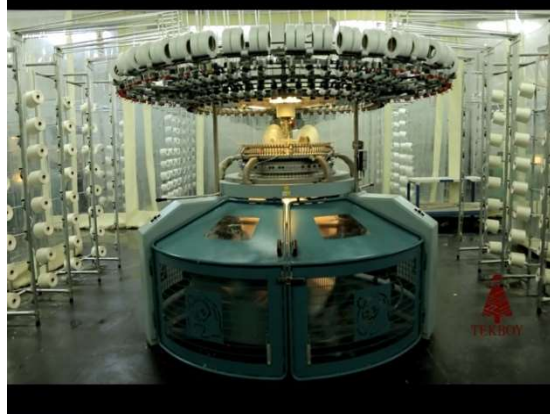
5.1. İşletme Genel Bilgileri

Tekboy Tekstil Sanayi ve Tic. A. Ş., 1981 yılında iplik boyama ile başladığı faaliyetine, 1986 yılında ilave ettiği, 3 ton/gün kapasiteli örme kumaş boyama tesisi ile devam etmiş ve ilerleyen yıllarda bu kapasite 15 ton/güne ulaşmıştır. 1996 yılında ise, 15 000 m/gün kapasiteli rotasyon baskı tesisi kurulmuş ve 2002 yılında yapılan kapasite artırımı ile kumaş baskı üretimi 30 000 m/gün'e çıkarılmıştır. 1999 yılında, Kırklareli-Lüleburgaz'da 100 000 m²'lik arazi üzerinde 12 000 m² kapalı alanda yeni bir fabrika inşa edilerek aynı yıl üretime geçilmiştir. İşletme şu anda 10 ton/gün kapasiteli iplik boyahanesi ve 25 ton/gün kapasiteli örme kumaş boyahanesi ile tekstil sektörüne hizmet vermektedir.

2003 yılında yapılan 2.2 megavatlık kojenerasyon yatırımıyla, Lüleburgaz fabrikası ihtiyacı elektrik enerjisinin tamamı ve İstanbul fabrikasının elektrik ihtiyacının da %80'ini karşılanmaktadır. İşletmeye ait 2015 yılı enerji tüketim miktarları EK (A;B;C;D)'de ve enerji dağılım grafiği de EK E'dedir.

İşletme görüntüleri Resim 5.1.'de görülen Tekboy Tekstil, günde ortalama 45 ton üretim yapan 600 kişilik kadrosuyla, 2003 yılında ilk 1 000 Türk sanayi kuruluşunun arasında yer almıştır.

İşletmenin 2015 yılı aylık üretim miktarları EK F'de verilmiştir.



Resim 5.1. Tekboy tekstil işletme görüntüleri.

İşletmede hâlihazırda; örgü, pad-batch, iplik ve kumaş boyama, rotasyon baskı, dijital baskı işlemleri yapılmaktadır.

5.2. Ürün ve Üretim Hattı Bilgileri

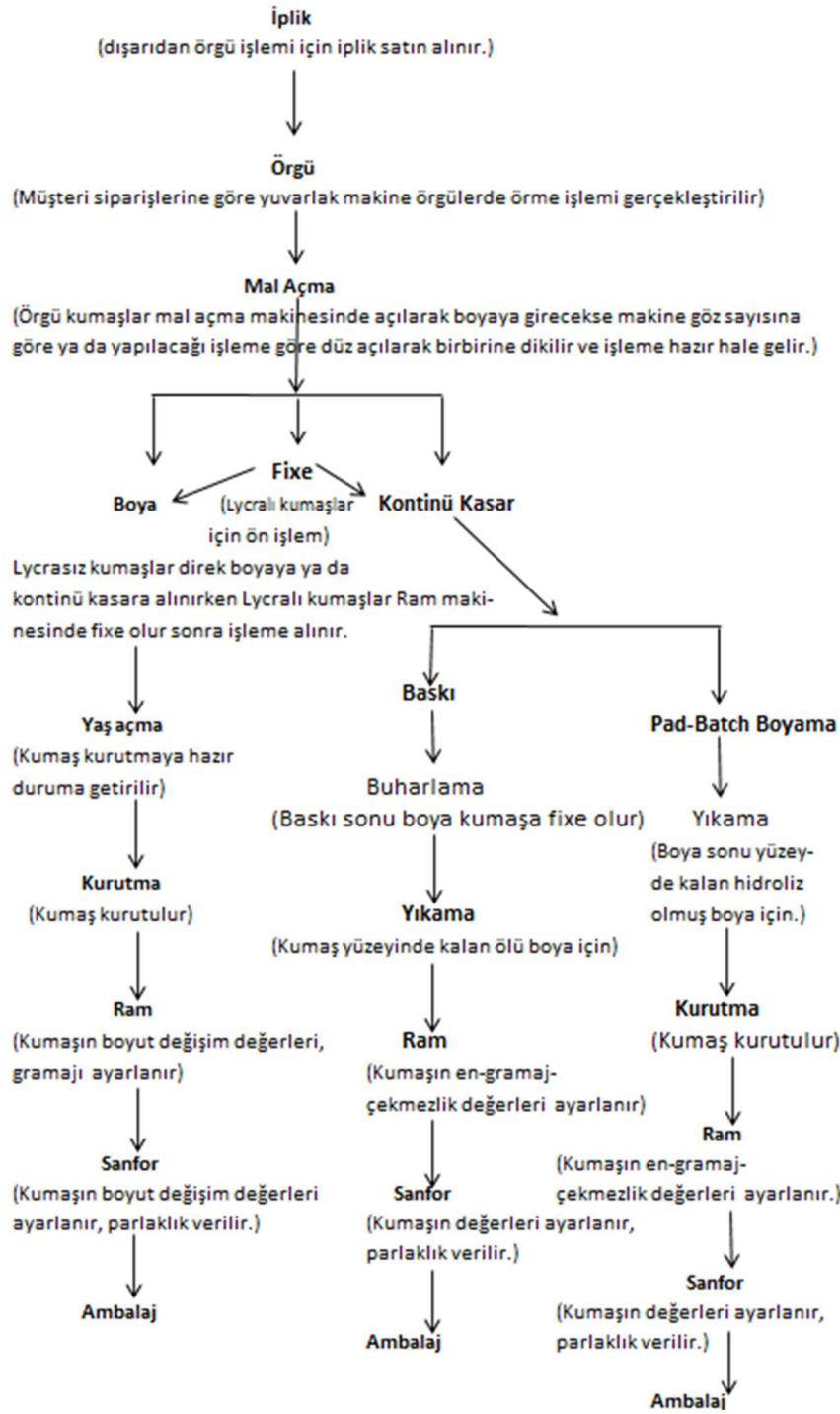
İşletme üretim hattı; iplik örme, baskı ve boyama olarak üç departmandan oluşmaktadır. Üretim sürecinde kullanılan makine parkuru Tablo:5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. İşletme makine parkuru.

MAKİNE	AÇIKLAMA	ADET
Ramözler	Her biri özelliklerine göre; kurutma, boyut değişim stabilitesi, gramaj ayarı, fiksaj, apre işlemleri için kullanılmaktadırlar.	8
Sanforlar	Buharın da elyafı şişirmesi boyut değişim stabilitesi amacıyla kullanılmaktadır.	3
Kumaş Boya Makineleri	3 kg'dan 1000 kg'a kadar değişen kapasitelerde, muhtelif konfigürasyonlardaki bu makinelerde kumaş boyama işlemleri yapılmaktadır.	19
İplik Boya Makineleri	20 adet iplik boyama ve 2 adet de kurutma amaçlı mikro dalga fırın vardır.	20+2
Ham İplik Aktarma Makineleri	İplik boyahanesine gidecek iplikler bu makinelerde hazırlanmaktadır.	6
Boyalı İplik Aktarma Makineleri	Boyanmış ürün, bu makinelerle örgü veya satış bölümüne beslenir.	7
Açma Makineleri	3 adet mal açma ve 1 adet de kurutucudan ibarettir.	3+1
Örme Makineleri	Aynı özellikli makinelerdir.	34
Baskı Makinesi	Biri 10, diğeri ise 2 renkli desen basabilmektedir.	2
Kontinu Yıkama Makinesi	Yıkama işlemi ile boyanın sabitlenmesi sağlanır. Kurutma ünitesi ile birliktedir.	1
Kontinu Kasar Makinesi	Kumaşların beyazlaştırılması bu makinede yapılır. Ana kimyasal madde olarak Hidrojen Peroksit (H_2O_2) kullanılmaktadır.	1
Shrink Makineleri	Ürünleri ambalajlama için kullanılmaktadırlar. Shrinklenen ürün; paket olarak, parlak, estetik ve şeffaf bir görünüm kazanır.	4

5.2.1. Üretim hattı makine fonksiyonları

İşletmedeki iş akım şeması özet şematik gösterimi Şekil 5.1.' dir.



Şekil 5.1. İşletmedeki iş akım şeması özet gösterimi.

5.2.1.1. Yaş açma makinesi

Yaş açma makinesi, Şekil 5.2.'de görüldüğü üzere, boya makinelerinden halat halinde çıkan kumaşların açılıp, kırışıklarının olabildiğince giderilmesini ve kurutma makinesine hazır hale getirilmesini sağlar. Ayrıca kumaşın yüzeyindeki su bu aşamada kumaş silindirler arasından geçerek süzülür ve kurutma işleminin daha kolay düşük enerji ile gerçekleştirilmesi sağlanır.



Şekil 5.2. Yaş açma makinesi.

5.2.1.2. Şardon makinesi

Şardon, battaniye, kışlık giyecekler, eşofman, döşemelik kumaş gibi, kalın kumaşlara uygulanan mekanik bir terbiye işlemidir. İşlemin esası, Şekil 5.3.'te görülen makinelerin ana tamburu üzerinde, belli hızda ve yönde dönen çok sayıda tarayıcı ve koparıcı silindirlere gergin vaziyette geçirilen kumaşın tüylendirilmesidir.

Bu işlemle, tüycüklerden oluşturulan hava boşlukları sayesinde ısı yalıtımı sağlanmasının yanı sıra, yumuşak bir tuşe ve dolgun bir tutum da elde edilmiş olur. Bu efektlerin şekli ve ölçüsü, kumaş geçiş parametreleri ve makine ayarları değiştirilerek, elde edilebilir.

Şardonda; ısı ve tuşedeki iyileştirici özelliklerle birlikte, ayrıca kumaşa su ve leke itici özellik de kazandırılmış olur.

Bu olumlu yönleri ile birlikte, özellikle hatalı işlemler, dönüşü mümkün olmayan sonuçlara yol açabilir. Şardon işleminin aşırı yapılması, elyaf zedelenmesi sonucu kumaşın direncini düşürür. Tüy dökülmeleri ve pilling görülebilir.



Şekil 5.3. Şardon makineleri.

5.2.1.3. Makaslama (Tıraş) makinesi

Makaslama makinesinde kumaş, makas masasıyla düz ve spiral bıçakların arasından geçirilir.

Şekilde 5.4.'de görüldüğü gibi, dönen spiral bıçak sayesinde, kumaş yüzeyindeki lif fazlalıkları ve havlar belli bir uzunlukta kesilir. Böylelikle kumaş yüzeyi pürüzsüzleşirken, aynı zamanda yüzey parlaklığı da artar.

Makaslama esas olarak iki şekilde yapılır;

1. Üstten makaslama: Kumaş yüzeyindeki tüylerin istenen uzunlukta kesilmesi işlemidir. Makaslama yüksekliği, kumaşa önceki proste (şardonda tüylendirilmiş, keçeleştirilmiş, dik tüylü, yatık tüylü) yapılan işleme göre değişir.

2. Dipten makaslama: Talebe göre, proses gereği tüylendirilmiş mamulün parlaklığını artırmak ve örgü desenlerinin belirginleşmesi için mamul yüzeyindeki havların kumaş yüzeyinden uzaklaştırması işlemidir.



Şekil 5.4. Tıraş makinesi.

5.2.1.4. Dijital baskı makinesi

Dijital baskı, bilgisayarda tasarlanan çalışmanın kumaş üzerine aktarılması esasına dayanır. Bu baskı türünde, renk sayısının fazlalığı ton kaybına veya canlılıkta bir azalmaya yol açmaz. Şekil 5.5.'teki gibi renk çeşitliliğinin yanı sıra, görsel kalite açısından yüksek çözünürlük dijital baskının avantajlı taraflarından biridir.

Emprime baskıda, kumaş yüzeyinde görülen sertlik, bu baskıda daha yumuşak bir doku olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.5. Dijital baskı makinesi.

5.2.1.5. Rotasyon baskı makinası

Uzun metrajlı baskılar için en çok tercih edilen baskı tekniği rotasyon baskıdır. Üzerine baskı yapılacak kumaş, kaymayı önlemek için üzerine polivinilalkol sürülmüş sonsuz blankete yapıştırılır. Blanket, kumaş ile birlikte hareket ederken, içine pompa ile otomatik baskı patı basılan, Şekil 5.6.'da görülen baskı şablonları sürekli dönerek, içindeki patı rakleler aracılığı ile kumaşa aktarırlar. Desene göre her bir şablonun baskı yapılacak kısımları açık, diğer bölümleri kapatılmıştır. İlk yatırım maliyeti yüksek olmakla birlikte, üretim hızı, rulo ve film-druck baskılara göre daha yüksektir. Baskı patını kumaşa aktaran metal rakleler, bu görevlerini blanket altında oluşan yüksek magnetik etki yardımıyla yaparlar. Baskı işleminde, koyu renkten başlanarak açık renge doğru sıralama esas alınır. Bunda, koyu rengin kendinden önceki açık renkli boyayı kirletmemesi amaçlanır.



Şekil 5.6. Rotasyon baskı makinesi.

Bu baskı metodu, diğer baskı türlerine göre; üretim hızının yüksekliği, rakle çizgileri, renk kirliliği gibi sorunların yaşanmaması ve baskı eninin genişliği gibi bir dizi avantaja sahiptir. Buna karşılık, şablon hazırlama maliyetinin yüksekliği, şablonların kolay zarar görebilmesi, çok büyük raportların basılamaması, yatırım maliyetinin yüksekliği, küçük metrajlı baskılarda uygun olmaması ve tüp kumaşlarda kullanılamaması gibi olumsuz tarafları söz konusudur. Ancak, özellikle uzun metrajlı baskılarda, yüksek üretim hızı nedeniyle günümüzde çok tercih edilen baskı türüdür.

5.2.1.6. Baskı Buharlama



Şekil 5.7. Baskı buharlama makinesi

Şekilde 5.7.'deki baskı buharlama makinesi, baskı sonrası renklerde canlılığı ve baskı boyasının kumaşa fiksajını sağlamada kullanılır. Baskı fiksasi için kumaş türüne göre makine hızı ve sıcaklığı ayarlanır. Tablo 5.2.'de yaklaşık fiksaj değerleri, verilmiştir.

Tablo 5.2. Bazı kumaş tipleri için baskı sonrası fikse parametreleri.

Elyaf türü	Pamuklu	Viskoz	Yün	İpek	PES	PES/Pamuk
Boya türü						
Pigment	160 °C 6-8 dk.	160 °C 6-8 dk.				
Reaktif	102 °C 12-14 dk.	102 °C 12-14 dk.				160 °C 6-8 dk.
Dispers					170 °C 8-10 dk.	
Asit			102 °C 30-45 dk.	102 °C 30-15 dk.		

5.2.1.7. Gaze (yakma) makinesi

Çoğunlukla pamuklu materyal yüzeyindeki istenmeyen tüycükleri ve lif uçlarını alevle yakarak kumaştan uzaklaştırma işlemi gaze olarak anılır. Kumaşın tek tarafına yapılabildiği gibi, her iki yüzeye de uygulanabilir. Kısa elyaftan mamûl kumaşlardaki havlar, boya sonrası dalgalı ve donuk bir görünüme sebep olduğu gibi, baskı işleminde de özellikle hassas konturlu desenlerde kaliteyi düşürürler. Bu yüzden çoğu kez uzaklaştırılmaları gerekir.

Gaze işleminde, uygulama şekline ve kumaş türüne göre farklılıklar gösterse de, genellikle yüzeyde alev etkisiyle sararmalar görülebilir. Ancak bu durum, boyama öncesi yapılan ön işlem/ kasar sırasında ortadan kalkar.

Pamuk dışında, kesikli (streichgarn) liflerden imal edilen, ancak yüzey parlaklığı istenen polyester kumaşlara da uygulanabilmektedir.

Gaze işleminde; alev yoğunluğu/ genişliği, alev-kumaş arası mesafe ve kumaş geçiş hızı kritik parametrelerdir. Bu değerler, her kumaş türü ve hatta talebe göre kendine özgü tespit edilir. Uygulamada tecrübe ile edinilen değerler, en sağlıklı sonucu verir. Hava-gaz karışım oranı ve diğer parametreler, günümüzde sanayinin artık vazgeçilmezi olan otomasyon sistemleri sayesinde neredeyse kusursuz olarak kontrol edilebilmektedir. Bu şekilde, manuel sistemlere göre üretimde kalite ve süreklilik kolaylıkla sağlanabilmektedir. Şekilde 5.8.'de bir gaze makinesi görülmektedir.



Şekil 5.8 Gaze makinesi.

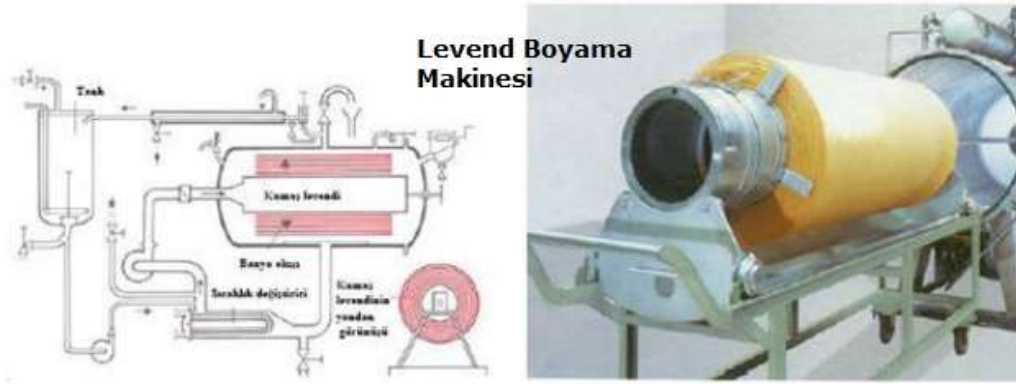
5.2.1.8. Boyama makineleri

Tekstil boyama işletmelerinde kullanılan boyama makineleri, sürekli yenilenen teknolojileri ile çok geniş bir yelpazeye sahiptir. Yenilenmenin sürekliliğinde, gelişen teknoloji kadar sektördeki rekabete bağlı olarak azalan kâr payı, enerji maliyetlerindeki öngörülemeyen artışlar ile temiz suya ulaşımında yaşanan zorluklar da etkili olmuştur. Bu yüzden makine üreticileri, hatasız boyama kadar, enerji ve su tasarrufunu da dikkate alan projeler üzerinde çalışmak durumundadırlar.

Boyama makineleri, boyanacak ürünün sabit, boya banyosunun hareketli olduğu; iplik boyama, floş, gipür ve organze gibi ince hassas kumaşlar için yatık HT, boya banyosunun sabit, ürünün hareketli olduğu; tamburlu, haspel ve jigger ile her ikisinin de hareketli olduğu; over-flow ve düzeli jet boyama makineleri şeklinde tasnif edilebilirler.

Sözgelimi, üzeri çok sayıda küçük parçalarla işlemeli, hassas bir kumaşın, yüksek hızlarla makine içinde dönmesi durumunda yıpranması hatta bazen parçalanması kaçınılmazdır. Bu tür kumaşlar yatay, delikli levant adı verilen bir silindire sarılarak, silindirin içinden ve dışından belli basınçta flotte püskürtülmek suretiyle, hareketsiz kumaş zarar görmeden boyanabilmektedir.

Bu makineler atmosferik basınçta ön terbiye işlemleri için de kullanılabilir. Bu boyamada en önemli sorun, flottenin kumaşın her noktasına homojen nüfuz edememe riskidir. Bu açıdan, Şekil 5.9.'da sarılmış hali görülen kumaşın levante sarılım gerilimi çok önemlidir. Aşırı sıkı ya da gevşek sarımda boyama hataları kaçınılmazdır. Levant boya makinelerinin 130-140 °C'lerde polyester ve naylon gibi sentetik kumaş için kullanılan tipleri vardır [94,95].



Şekil 5.9. HT-Levent boyama makinesi.

Kesikli çalışan HT boyama makineleri, atmosferik basıncın yanı sıra yüksek basınçta da çalışacak şekilde, paslanmaz malzemeden tasarlanmıştır. Çektirme yöntemi ile kumaşların boyanmasında, 4-5 bar basınç ve 140 °C sıcaklığa kadar varabilen koşullarda çalışabilirler. Özellikle, yüksek basınca ihtiyaç duyan polyester (PES) ve karışımı materyallerin boyanmasında tercih edilmektedirler.

Türkiye’de önemli ölçüde üretimi bulunan ve konfigürasyonları sürekli yenilenen HT boya makinelerinde 50 g/m²’den 2 000 g/m²’ye kadar hemen her gramajdaki kumaşın boyanması mümkündür. Şekil 5.10.’da 300 kg’lık bir örneği görülen makinelerin, piyasada 50 kg ile 1 500 kg arası kapasiteli olanları yaygındır.



Şekil 5.10. HT jet boyama makinesi.

Boyama makinelerinde en önemli parametrelerden biri, kuru kumaş ağırlığının boya banyosuna oranını ifade eden flotte oranıdır. Bu oranın önemi; hem su, hem de boyarmadde dışındaki yardımcı kimyasalların su miktarı üzerinden verilmesi sebebiyle kimyasal madde tasarrufu yönüyledir.

Kumaş boya makine sektöründe 1990'ların başında 1/12-1/20'lerdeki flotte oranlarında çalışan makineler kullanılırken, günümüzde bu oran 1/4'ler düzeyinde olan makineler üretilmiştir. Ancak yüksek flotte oranında çalışan makine kullanımları halen yaygındır.

HT jet boya makinelerinde, boyanan kumaş ve boya banyosu birlikte hareket ederler. Kumaş hareketinde, düze (jet) lerden püskürtülen banyo suyu birinci derecede etkilidir. Ayrıca haspel (çıkırık) de bu harekete destek işlevi görür. Bu makinelerde, boya banyosu ile kumaşın sürekli temas halinde olması, boya kırığı oluşumunu ve abrajı önemli ölçüde önler.

Bazı jet boya makine modelleri hem tam dolu, hem de yarı dolu flotte ile çalışabilmektedir. Tam dolu flotte ile çalışan makinelerde, düşük hızda çalışıldığından enerji maliyeti düşer, ancak su sarfıyatı yüksektir. Flotte fazlalığı sebebiyle köpürme sorunu yaşanmadığından, ayrıca köpük önleyici madde kullanımına ihtiyaç duyulmaz.

Öte yandan, flotte oranı daha düşük makinelerde yüksek flotte hızında çalışıldığı için, enerji maliyeti artar. Keza köpürme, kumaş yüzeyinde boya lekesi oluşuma yol açabilir. Ayrıca otomasyon sisteminin çalışmasında sıkıntılara yol açabilir.

Jet boyama makineleri temel olarak; ana gövde, ısı değiştirici, sirkülasyon pompası, düze (jet), filtre, besleme tankı, haspel (çıkırık) ve kumaş yükleme boşaltım parçalarından oluşur. Bu aksam, düze hariç çoğu boya makinesinin de ortak parçalarıdır.

Çektirme yöntemi ile kesikli olarak çalışan ve sektörde çok kullanılan bir diğer makine türü over-flow boyama makineleridir. Atmosferik basınçta çalıştığından, çoğunlukla örgü kumaşlar için kullanılsa da, yüksek basınç gerektirmeyen hemen her türlü kumaş, tüp/ halat veya örme/ dokuma kumaşlar bu makinede boyanabilir.

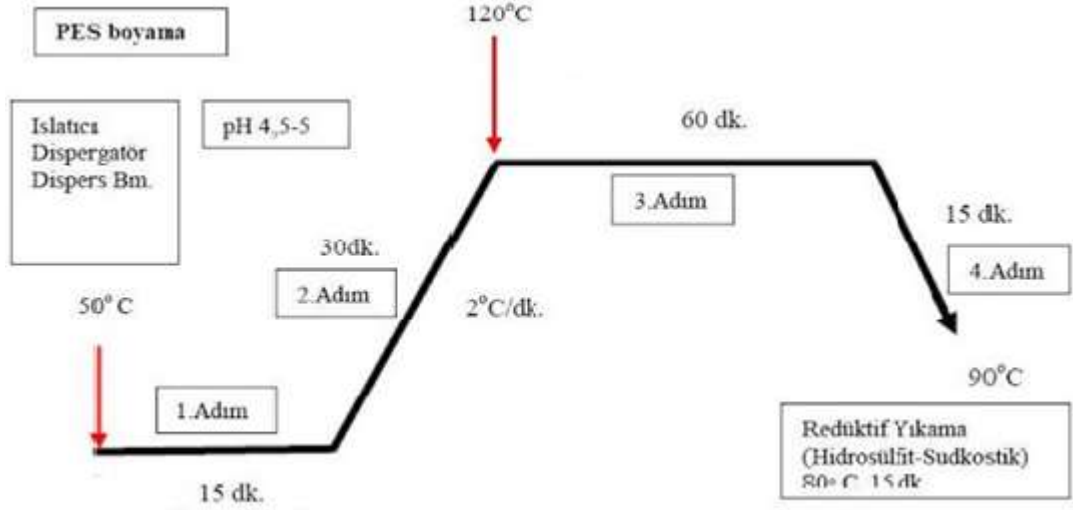
Boyama işlemi yumuşak stilde yapıldığı için, hassas örme kumaşların boyanmasında özellikle tercih edilir. Kumaş, sirkülasyon pompasının tahrik ettiği flotte ve haspelin desteği ile sağlanır. Flotte istenen hızda sirküle edilebilir. Ancak bu hızın, haspel hızı ile uyumlu olması gerekir. Aksi halde, ya kumaşın haspele sarılması ya da kumaşın aşırı gerilmesi, hatta dikiş yerlerinden kopması gibi sorunlar kaçınılmaz olur. Diğer taraftan flotte hızı boyama verimine doğrudan etki eder. Bu hızın tespitinde, kumaş cinsi, gramajı, boyarmadde yapısı gibi faktörler etkindir. Sözelimi aşırı sirkülasyon sonucu tüylenme görülebilecek bir kumaş veya hassas dokulu bir materyal için düşük hız tercihi kaçınılmazdır.

Boya öncesi yıkama/ kasar ve sonrası apre verme gibi işlemler genellikle aynı makine içinde yapılır. Her göz başına boyama kapasitesi, 100 kg kuru kumaş ağırlığı kadardır. Şekilde 5.11.'de 5 gözlü bir over-flow boyama makinesi görülmektedir. Bu makine 500 kg kuru kumaş boyama kapasitesine sahiptir. Bu veriler, yaklaşık değerler olup, bu makineler % 20'lere varan esneme payını tolere edebilecek yapıdadırlar. Boyama verimi açısından, fazla kumaş miktarının partilemede gözlere eşit dağılımına dikkat edilmelidir.

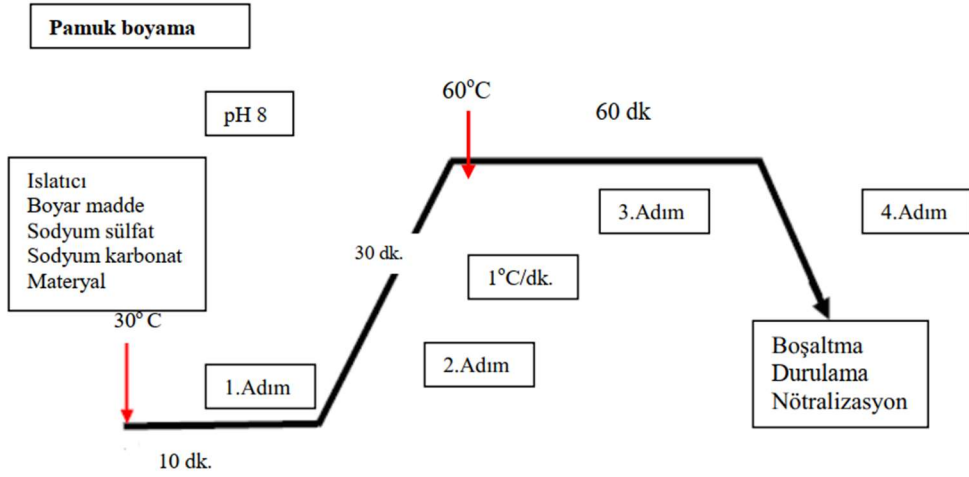


Şekil 5.11. Over-flow boya makinesi.

Yüksek basınçta polyester kumaş boyama örnek grafiği Şekil 5.12.'de, atmosferik basınçta pamuk boyama grafiği Şekil 5.13.'te ve boya makinelerine kumaş yükleme ve boşaltma gösterimi de Şekil 5.14.'te verilmiştir. Bu grafikler belli boyalar ve elyaf türüne özgü olup, her boyarmadde için geçerli değildir.



Şekil 5.12. Örnek polyester boyama proses akış şeması.



Şekil 5.13. Örnek pamuk boyama proses akış şeması.



Şekil 5.14. Boya makinesinde kumaş yükleme ve boşaltma.

Teknolojik gelişmeler, boyama makinelerinde bütün işlemlerin tam otomatik sistemlerle kontrolüne imkân sağlamıştır.

Su, tuz, boyarmaddeler ve diğer bütün proses kimyasal maddelerinin makineye girişi, su dolum ve boşaltım işlemleri, sıcaklık ve basınç kontrolü gibi işlemler, hiç de komplike olmayan programlarla uzaktan bilgisayar üzerinden kolaylıkla takip edilebilmektedir.

Bu otomasyon sistemlerine sahip işletmeler, boyama hatalarıyla çok daha az karşılaşmaktadırlar. Kurulumları 1990'lerde başlayan bu sistemlere geç adapte olan tesisler, sektörde 1998'lere başlayan krizden daha çok etkilenmiş ve bir kısmı faaliyetine son vermek veya devredilmek zorunda kalmıştır. Zira bu sistemlerle, boyarmadde ve kimyasal maddelerin hassas tartımı, eritme işlemleri, malzemelerin makineye verilme zamanları ve süresi, basınç ve özellikle sıcaklık gradyenti parametrelerinin kontrolü, oluşan boyama hatalarını minimize etmiştir. Süreç içinde kâr marjlarının azalması ile günümüzde manuel çalışan işletmelerin sayısı yok denecek düzeye inmek durumunda kalmıştır.

5.2.1.9. Kontinü (Continue) kasar makinesi



Şekil 5.15. Kontinü kasar makinesi.

Temel anlamda kasar işleminin kumaşın ağartılmasıdır ve boyamada oldukça önemli bir prostestir. Kasar işleminin düzgün yapılmaması başta boyama olmak üzere, sonraki işlemlerin istenen kalitede olmasını engeller. İşlem içeriği; kumaş cinsine, sonraki proseslere ve talebe göre farklılıklar gösterir.

Şekil 5.15.'te görülen kontinü (continue) kasarda, ilk bir veya iki tekne sıcak ön yıkama teknesidir. Ön yıkamadan sonrası kumaş, her birinin farklı görevi olan; ıslatıcı, iyon tutucu, stabilizatör, kostik, hidrojen peroksit gibi kimyasal maddelerin bulunduğu banyodan geçer. Bu maddeler kumaşa kazandırdıkları beyazlatıcı, lifleri açıcı, kumaş hidrofilitesini artırıcı özelliklerin yanı sıra, bir sonraki boyama işlemine zarar verebilecek olan ve pamuğun doğasında bulunan yağ, çöpel ve doğal boyaların da kumaştan uzaklaşmasını sağlarlar.

Bu işlem sonrası pamuk kumaş, buharlama işlemi için 100 °C sıcaklıktaki buharlama ünitesine geçer.

Burada kumaş türüne göre 10-20 dk. arası bekletilerek, ağartma/ kasar işlemi tamamlanmış olur. Buharlama, kontinü kasar işleminin en hassas ünitesidir. Bekletme süresi bitiminde kumaş yıkama kamaralarına gönderilir. Yıkama sonrası PH değeri 5,5-6'ya ayarlanmış nötralizasyon bölgesine geçen kumaş, burada kostik ve peroksit gibi kimyasallardan iyice arındırılır. Aksi halde bu kimyasallar, bir sonraki boyama aşamasında ciddi sorunların ortaya çıkmasına sebep olur.

5.2.1.10. Ramöz

Sektörde ram olarak da anılan bu makineler, ıslak işlemlerin yapıldığı tesislerin vazgeçilmezidir. Dokuma ve örgü mamûller için, boya ve baskı için ön hazırlık, kurutma, kırışıklık giderme, kuru/ yaş apre, boyama sonrası ebat ve gramaj tespiti, kuru/ yaş termofiksaj ve kondenzasyon gibi birçok işlem bu makinelerde yapılabilmektedir.

Ramöz makinesinin en önemli aksamı, sıcaklıkları ayarlanabilen kamaralardır. Oda sıcaklıkları, prosese göre yaklaşık 100 °C ile 200 °C aralığında ayarlanabilmektedir. Ancak, polyester veya polyester karışımlı kumaşların, kuru ısı fiksajı yolu ile yapılan thermosol boyamalarında, kamara sıcaklıkları 230 °C'ye kadar çıkabilmektedir.

Her bir oda yaklaşık 1,5 m ile 3,5 m arası değişen boydadır. Oda sayısı işletme kapasitesine ve tercihinine göre değişmekle birlikte, çoğunlukla 2 ile 12 arasındadır.

Kumaş, makinenin bir ucundan girip öteki ucundan çıkarken, geçtiği odalarda ısı işleme tabi tutulur. Oda sıcaklıkları, prosese göre her oda için istenen değerde tutulabilir. Sıcaklık ve hız, proses için en önemli iki parametredir.

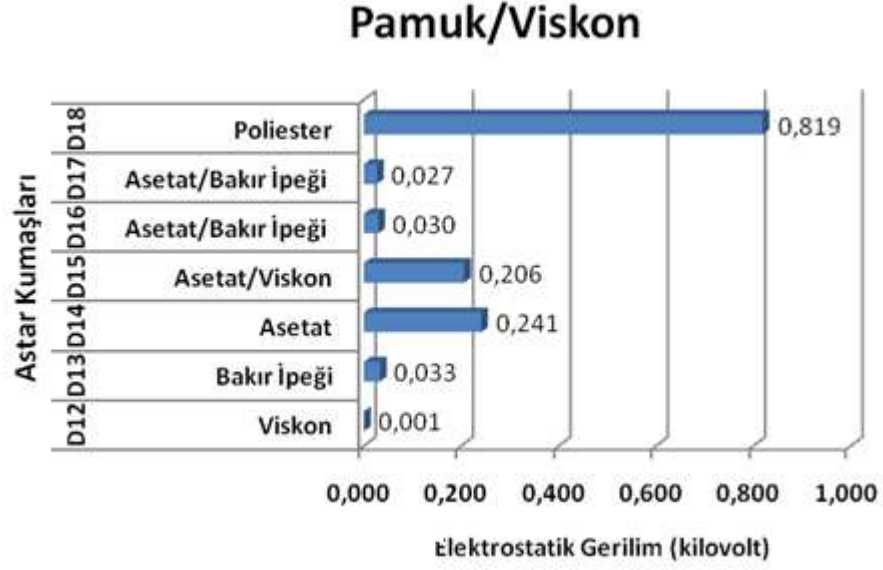
Bu değerler, üründen beklenen evsafa, kumaş türüne, gramajına, içerdęi nem miktarına göre belirlenir. Bu sebeple de, makine girişı kumaş özellikleri tespit edilmelidir. Aynı özellikleri muhtevi kumaşlar için, işlem parametreleri önceden kayıt altına alınarak, sonraki üretimlerde aynı kalitenin yakalanması sağlanır.

Kumaş, makine girişinden çıkışına kadar, sonsuz uzunluklu paletler veya iğneler yardımıyla kenarlarından tutulur. Odalar istenen sıcaklığa getirildikten ve makine hızı, kumaş eni ve besleme oranı gibi ayarlar yapıldıktan sonra makine çalıştırılır.

Boyama prosesleri sonrası kumaşa uygulanan fizikokimyasal işlemler bitim işlemleri ya da işletmelerde kullanılan ifade ile apre olarak adlandırılırlar. Yaş apre kimyasal maddelerle, fiziksel (kuru) apre ise mekanik yöntemlerle yapılır. Ramözde emdirme şeklinde uygulanan kimyasal/ yaş apre, kontinü ve hızlı uygulanan bir apredir. Ayrıca over-flow gibi kesikli (discontinue) makinelerde, özellikle örme kumaşlar için çekirme yöntemi ile de kimyasal/ yaş apre işlemleri yapılmaktadır.

Ramöz, kimyasal apre için en çok kullanılan makine türüdür. Makinenin kesiksiz ve hızlı olması, silindir basınçları ile emdirme miktarının ayarlanabilmesi çok önemli özelliklerdir.

Apre işlemleri ile kumaşa kullanım amacına yönelik iyileştirici özellikler kazandırılmaktadır. Bu özelliklerin bir bölümü (yumuşaklık, kayganlık apresi gibi) konfor içerikli iken, bazı apreler (yangın tekstillerine uygulanan güç tutuşurluk apresi gibi) kullanım amacına göre zorunludur. Keza, kullanım amacından ayrı olarak, her tür elyafa uygulanabilen apreler olduğu gibi, sadece bir elyaf türüne uygulanabilen apreler de söz konusudur. Sözelimi selülozik elyaftaki statik elektriklenme rahatsız edici değilken, sentetik elyafta, kullanımı etkileyecek düzeyde etkili olabilir. Nitekim Şekil 5.16'dan görüleceği üzere, yapılan deneysel çalışmalar, pamuk/ viskon ile kombine edilen astarlardan, viskon ve bakır ipeği neredeyse hiç anti statik etki göstermezken, polyester en fazla etkiyi gösteren materyal olmuştur.



Şekil 5.16. Pamuk/ viskon kumaş elektrostatik gerilim sonuçları [96].

Bu durumda, statik elektriklenmeyi azaltıcı (anti statik) aprenin, doğal elyaf yerine, sentetik elyaftan mamûl kumaşlara yapılması gerektiği görülmektedir.

En yaygın apre çeşitleri; yumuşaklık apresi, sert tutum apresi, kayganlık (silikon) apresi, parlaklık apresi, kir iticilik apresi, su iticilik apresi, su geçirmez apre, güç tutuşurluk (yanmazlık) apresi, buruşmazlık apresi, antiseptik apre ve antipilling apresi olarak sayılabilir.



Şekil 5.17. Ramöz makinesi genel görünüş.



Şekil 5.18. Ramöz makinesi önden görünüşü.

Şekil 5.17.'de verilen ramözde apre işlemi; makinenin giriş bölümünde, fulard adı verilen bir teknede bulunan, önceden hazırlanmış apre çözeltisinin kumaşa emdirilmesi ile başlar. Ramöz giriş bölümü Şekil 5.18.'de görülmektedir.

Kumaş, emdirilen bu çözeltinin fazlasını iki silindir arasında sıkılarak tekrar aynı tekneye bırakır. Kumaşın apre öncesi görmüş olduğu işlemler ile rengine ve cinsine göre, belli sürelerde fularddaki apre çözeltisi kirlenir. Bu husus makine operatörü tarafından gözle tespit edilebileceği, sistemli çalışan işletmelerde, standartlar oluşturularak, hangi üründe kaç metre aralıklarla fularddaki çözeltinin değiştirileceği önceden bilinir, hatta otomatik boşaltma ve besleme sistemleri ile kontrol edilebilir.

Ramöz boyunca sıcak odalardan geçen kumaşa, buralarda çift taraflı düzelerden sıcak basınçlı hava püskürtülerek, fazla suyun buharlaşması ve aprenin kumaşa aplikasyonu sağlanır.

5.2.1.11. Sanfor makinesi

Kumaşlarda sanfor işleminin temel maksadı, kullanım esnasında, özellikle sıcak su ile yapılan yıkamalar sonunda, kumaş ebadının stabil kalmasını, diğer bir deyişle boyut değişiminin minimize edilmesini sağlamaktır. İkincil beklentiler ise kırışıklık giderimi, kaygan/ yumuşak bir tutum (tuşe) ve görünüm eldesi şeklinde sayılabilir.

Bu işlem çok büyük oranda selülozik esaslı kumaşlara uygulanmakta ise de, son dönemlerde farklı tür kumaşlar için de ağırlıklı olarak tuşe ve görünüm kazandırmak için kullanılmaya başlanmıştır.

Örgü ve dokuma kumaşlar için, Şekil 5.19. ve Şekil 5.20.’de yer aldığı gibi, temel çalışma prensipleri benzer olmakla birlikte, kumaş türüne göre farklı sanfor makineleri kullanılır. Keza örgü kumaşlarda, tüp formu ve açık en formu için de ayrı makineler söz konusudur. Şekil 5.21’’de örme tüp kumaş sanfor makinesi görülmektedir.



Şekil 5.19. Örme kumaş açık en sanfor makinesi.



Şekil 5.20. Dokuma kumaş sanfor makinesi.



Şekil 5.21. Örme kumaş tüp sanfor makinesi.

Pamuk kumaşlar, iplik üretim safhasındaki çekme ve büküm ile dokuma esnasındaki germeler sebebiyle, doğal yapılarında değildirler.

Kumaş su ile temas ettiğinde liflerde meydana gelen şişme, yumuşama ve rahatlama ile gerilimden doğal hale dönme eğilimi ortaya çıkar.

Dolayısı ile kumaş boyutları stabilitesini kaybeder. Sanfor işlemi, esas olarak bu değişimin önüne geçilmesini hedefleyen bir prosestir. İşlemdeki temel kontrol parametreleri; makine hızı, sıcaklık, selülozik elyafın sıkıştırılma derecesi ve nem miktarı olarak sıralanabilir. Sıkıştırma, girişte blanket hızının üzeri bir hızla kumaşın sevki ile sağlanır. Buharla kabartılan ve gerilimleri azaltılan lifler, birbirine yaklaştırılarak kaynaştırılır ve olabildiğince stabiliteyi sağlar. Aslında, hız farkından yararlanılarak yapılan fazla besleme, aynı şekilde ramözlerde de uygulanan bir yöntemdir. Sanfor makinesinin ekstra avantajı, ayrıca sıkıştırma işleminin yapılmasıdır. Besleme avansı, hız, sıcaklık ve buhar debileri, otomatik sistemler ile kontrol edilerek, kalitede süreklilik sağlanır. Bu değerler, kumaş türüne ve özellikle sanfor giriş boyut stabilite değerlerine göre ayarlanır.

Sanfor işleminde, özellikle açık en triko kumaşlarda önemli zorluklar söz konusudur. İnce (100 g/m² civarı) kumaşlarda liflerin birbiri içine yedirilmesi zor olduğundan, sanfor işlemi özel itina gerektirir. Diğer taraftan, hassas kumaşlara sanfor öncesi işlemlerde de özel hassasiyet gösterilmesi gerekir. Sözelimi boya/ kasar veya kurutmada bu tür kumaşların aşırı gerdirilmesi, boyutsal stabilitesini olumsuz etkileyeceğinden, sanfor işlemini zorlaştıran işlemlerdir. O yüzden doğru makine seçimi ve kurutmada doğru besleme avansı verilmesi sanfor işlemini kolaylaştırıcı etkenlerdir.

5.3. Örnek İşletme Boyahanesi Atıksuyundan Isı Geri Kazanımı

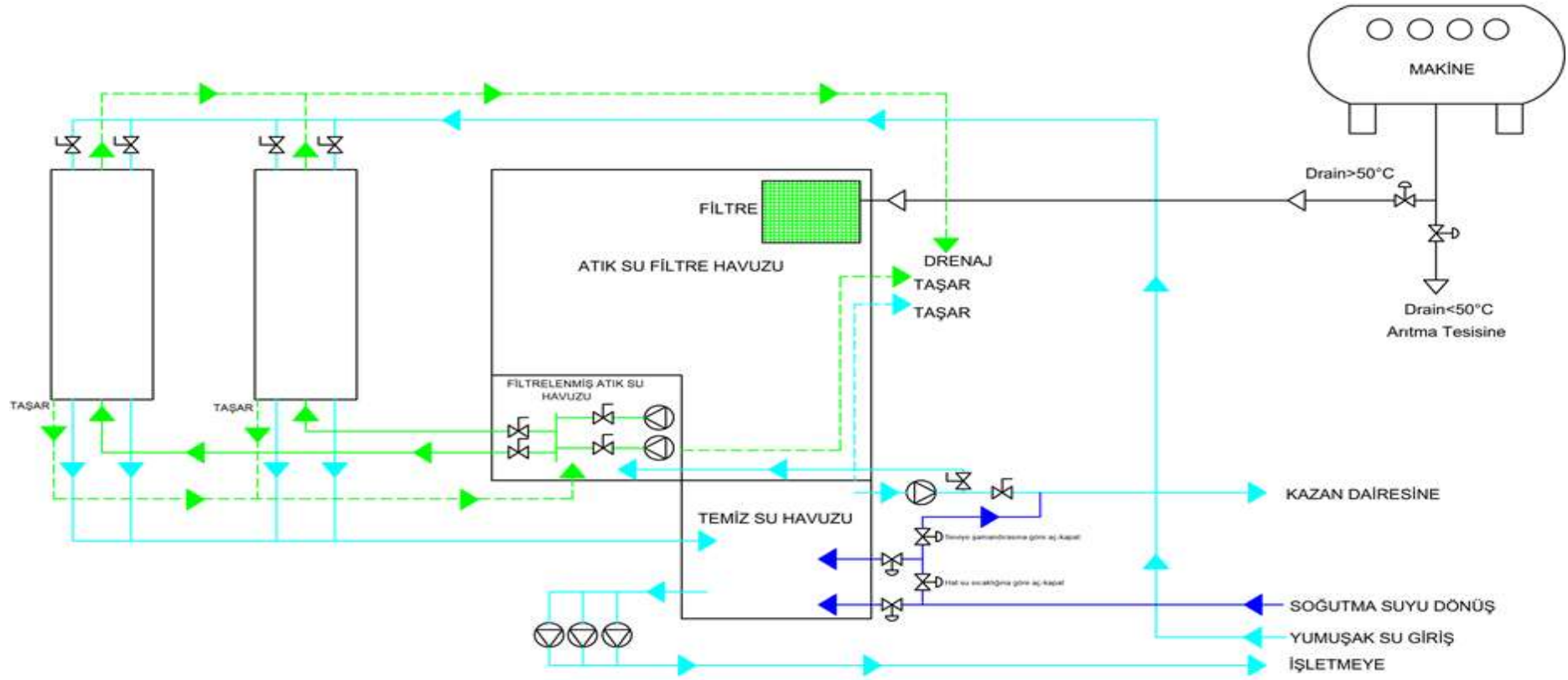
5.3.1. Atık ısı geri kazanım prosesi

IGK sisteminde, ısısından yararlanılacak kontamine su, öncelikle kaba filtrasyondan geçirilerek, içerdiği büyük partiküllerden arındırılır. Kontamine su giriş hattı üzerinde kurulacak otomatik ters yıkama sistemi, ısı değiştiricisini tıkayabilecek elyaf ve sair parçacıkların önceden sistemden uzaklaşmasını sağlaması açısından önemlidir. Bu maksatla farklı modellerde sistemler (döner, statik veya atıksu kanalına monte edilmiş ızgara tipi filtreler) kullanılabilir. Bu şekilde, sistemde kullanılacak diğer ekipmanın (pompalar, ısı değiştirici...) tıkanması önlenmiş olur.

Kaba filtreden geçen kontamine sıcak su, deşarj kanalı seviyesine göre tasarlanmış bir havuza alınır. Bu kirli su, havuzun dip seviyesine yakın bir noktadan pompa ile plakalı ısı değiştiricisine gönderilerek, ısısından mümkün olan kadarı temiz soğuk suya aktarılır. Bu şekilde belli bir sıcaklığa kadar soğuyan bu su, drenaj kanalı ile atıksu arıtma tesisine gönderilir.

Düşük sıcaklıktaki temiz su, ısı değiştiricisinde kontamine sıcak suyun enerjisi ile ısıtılıp, temiz su deposuna gönderilir. Keza, istenen sıcaklığa gelmiş soğutma suları da temiz olduğundan, aynı depoya aktarılır. Depo tabanından hidrofor bölümüne alınan sıcak temiz su, ihtiyaca göre işletmede kullanılmak üzere ilgili hatta gönderilir.

IGK sistemi şematik gösterimi Şekil 5.22.'dedir.



Şekil 5.22. IGK Sistemi

5.3.2. Isı geri kazanım sistemi ekonomik getirisi

Atıksudan ısı geri kazanımı için çeşitli prosesler mevcuttur. Bunlardan en fizibil olanının tespitinde kullanılacak argümanlar, yeni kurulacak tesisler ile mevcut tesisler için bire bir aynı değildir. Mevcut tesisler, var olan yerleşim planını ve tesisat projesini de dikkate almak zorundadırlar. Diğer taraftan, işletme yönetiminin konuya bakış açısı ile ayırmayı planladığı bütçe de proje tercihinde belirleyicidir.

Tekboy Tekstil Sanayi ve Tic. A.Ş.'nde 100 ton/h debide kontamine atıksu oluşmaktadır. Bu miktarda atıksu oluşumu, aynı miktar temiz suyun ısıtılması için sarf edilen enerji anlamına gelmektedir. İşletmede 10 °C'deki temiz giriş suyu sıcaklığını 90 °C'ye çıkardığımız yaklaşımı ve ısı değiştiricinin tam yalıtımlı olduğu/ çevreye ısı kaybı olmadığı, potansiyel ve kinetik enerjilerin sisteme etkilerinin önemsiz olduğu, sistemde kimyasal tepkime olmadığı, ısı değiştirici plakaları için her noktada ısıl direncin aynı olduğu varsayımları ile 100 ton/h debideki temiz giriş suyuna aktarılan ısı;

$\dot{Q} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$ eşitliğinden ve akışkan özgül ısılarının aynı ve sabit olduğu, faz değişiminin olmadığı koşullarda da,

$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_2 - T_1)$ eşitliğinden hesaplanır [97].

Yukarıdaki eşitliklerde;

$\dot{m}$ (kg/h); akışkanın kütleli debisini

h (kJ/kg); akışkanın entalpisini,

C_p (kJ/kgK); akışkanın özgül ısısını,

T (°C) akışkanın sıcaklığını,

1 ve 2 indisleri ise sırasıyla, akışkan giriş ve çıkış sıcaklıklarını simgelemektedir.

Suyun özgül ısısı $C_p=4,18$ kJ/kgK alınarak, işletme giriş sıcaklığı 10 °C olan suyu 90 °C'ye getirmek için gerekli ısı;

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p (T_2 - T_1) = (100\,000 \text{ kg/h})(4,18 \text{ kJ/kgK})(90-10) \text{ K} = 37\,620\,000 \text{ kJ/h}$$

$Q=(37\ 620\ 000\ \text{kJ/h})(1\text{h}/3600\ \text{s})=10\ 450\ \text{kW}$ enerji ihtiyacı vardır.

İşletme için serbest tüketici satış fiyatlarına ait değerler listesinde, 01-31 Aralık 2020 tarihleri için doğal gaz fiyatı 0,15766034 TL/kWh olarak görülmüştür [98].

Bu durumda; 10 °C'deki 100 ton suyu 90 °C'ye ısıtmak için 1 saatlik gider;

$(10\ 450\ \text{kWh})(0,15766034\ \text{TL/kWh})= 1\ 647,55\ \text{TL},$

Buna % 18'lik Katma Değer Vergisini (KDV) de eklersek;

$(1\ 647,55\ \text{TL})(1,18)\approx 1\ 944\ \text{TL}$ (1 saatte harcanan doğal gaz bedeli)

İşletmenin, tam gün esasına ve yılda toplam 336 gün çalıştığı verisi ile;

$(1\ 944\ \text{TL/h})(24\ \text{h/gün})(336\ \text{gün/yıl})=15\ 677\ 300\ \text{TL/yıllık sarfiyat söz konusudur.}$

Görüldüğü üzere IGK sistemi bulunmayan orta ölçekli bir işletme için, 10 °C'deki suyu 90 °C'ye ısıtmak için harcanması gerekli doğal gazın karşılığı 15 677 300 TL/yıl ve 25 Aralık 2020 tarihi değeri ile,

$(15\ 677\ 300\ \text{TL/yıl})(1\ \$ /7,56\ \text{TL})\approx 2\ 073\ 717\ \$ /yıl'dır.$

Öte taraftan atıksu sıcaklığı için belirleyici parametre proseslerdir. Her proses kendine özgü sıcaklıklarda gerçekleşir. Tekstil boyama için bu değerler; giriş suyu sıcaklığından, polyester kumaş boyamalarında ve basınçlı makine temizliklerinde olduğu üzere 135 °C sıcaklıklara kadar çıkabilmektedir. Bu durumda atıksu sıcaklığı için mutlak bir değer yerine, eldeki argümanlardan yararlanarak ortalama bir değer alınması isabetlidir. Nitekim literatürdeki yaklaşımlar da bu doğrultudadır.

IGK sistemi için temiz su işletme giriş sıcaklığı 20 °C olarak alınmıştır

Aynı cins ve farklı sıcaklıktaki iki akışkan arasındaki ısı aktarımında belirleyici parametreler; ısı aktarım yüzey alanı ve akışkanlar arası sıcaklık farkı ve akışkanların ısı değiştiricisindeki akış türbülans düzeyleridir [63,64].

Plakalı ısı değiştiricisinde, plaka sayısına (ısı aktarım yüzey alanına) göre transfer edilen ısı miktarı belli ölçüde değiştirilebilir.

Örnek işletme için öngörülen ve hesaplanan değerler Tablo 5.3.’teki şekildedir:

Tablo 5.3. Örnek işletme IGK parametre değerleri ve kazanılan ısı hesabı

Parametre	Birim	Değeri
Atık sıcak kirli suyun ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı	°C	60
Temiz soğuk suyun ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı, T_1	°C	20
Temiz ısıtılan suyun ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığı, T_2	°C	50
Temiz ısıtılan suyun ısı değiştiricisine giriş debisi, m	ton/h	80
Aktarılan ısı miktarı: $Q=m.c_p.(T_2-T_1)$	kJ/h	$(80\ 000\text{ kg})(4,18\text{ kJ/kgK})(50-20)\text{ K}$
Isı değiştiricide geri kazanılan ısı miktarı	kJ/h	$10\ 032\ 000\text{ kJ/h}=10\ 032\text{ MJ/h}$

Yukarıda suyun ısıtılması için harcanan doğal gaz maliyet hesabı için yapılan bütün kabuller, burada da geçerlidir.

Sisteme giren yumuşak sudaki 30 °C’lik sıcaklık artışına karşılık, 10 032 MJ/h’lik enerji elde edilmiş olur.

1 m³ doğal gazın taşıdığı enerji: 34,485 MJ olduğundan [8],

Sisteme giren suya aktarılan ısı enerjisinin doğal gaz karşılığı;

$(10\ 032\ \frac{\text{MJ}}{\text{h}})/(34,485\text{ MJ/m}^3)=290,909\text{ m}^3/\text{h}$ olarak bulunur.

Çalışma süreleri olarak; 24 h/gün ve 336 gün/ yıl için;

Tasarruf edilen ısı enerjisinin doğal gaz karşılığı:

$(290,909\text{ m}^3/\text{h})(24\text{ h/1 gün})(336\text{ gün/yıl})=2\ 345\ 890,909\text{ m}^3/\text{yıl}$ doğal gaz bulunur.

Bu hesaplamalar, IGK sistemi ile yıllık 2 345 890,909 m³ doğal gaza eşdeğer ısı enerjisi tasarrufu yapılabildiğini ortaya koymaktadır.

5.4. IGK Sistemi ile Sağlanan Tasarruf ve Geri Ödeme Süresi

01-31 Aralık 2020 tarih aralığı için doğal gaz fiyatı 0,15766034 TL/kWh,

1 m³ doğal gaz; 10,64 kWh enerjiye eşdeğer olduğundan [99],

$$(2\,345\,890,909\text{ m}^3/\text{yıl})(10,64\text{ kWh}/1\text{ m}^3)(0,15766034\text{ TL}/\text{kWh})= 3\,935\,246\text{ TL}/\text{yıl}$$

% 18'lik KDV'yi de ilave edersek:

Yıllık tasarruf edilen bedel $(3\,935\,246\text{ TL}/\text{yıl})(1,18)= 4\,643\,590\text{ TL}$ olarak bulunur.

25 Aralık 2020 tarihinde; $(4\,643\,590\text{ TL} * 1\text{ \$}/7,56\text{ TL})= 614.231\text{ \$}$ 'a karşılık gelir.

IGK uygulamaları yapan işletmeden, örnek işletme IGK sistemi (ekipman, mühendislik, kablolar, montaj, testler, ayarlar, otomasyon sistemi vs.) kurulumu için ilk yatırım maliyeti olarak 100 0000 € değeri alınmıştır. Buradan;

25 Aralık 2020 tarihi itibari ile 1 €=9,21 TL olarak alındığında,

$$\text{İlk yatırım maliyeti}=(100\,000\text{ €})(9,21\text{ TL}/1\text{ €})=925\,000\text{ TL}$$

$$\text{Geri Ödeme Süresi (ay)} = \text{Yatırım Maliyeti}/\text{Yıllık Tasarruf}$$

$$\text{Geri Ödeme Süresi}=[(925\,000\text{ TL})/(4\,643\,590\text{ TL}/\text{yıl})](12\text{ ay}/1\text{ yıl})$$

Geri Ödeme Süresi =2,39 ay olarak bulunur.

Görüldüğü üzere, ilk yatırım maliyetinin yüksekliğine rağmen, özellikle eski/sistemlerini güncellemeyen işletmeler için % 20'lik ısı verimlilik kaybında bile yaklaşık $2,39*1,2=2,86\approx 3$ ay gibi bir sürede yatırım maliyeti ısı enerjisi tasarrufu olarak geri dönmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

a. IGK sistemi ile işletmeye giren 20 °C'deki temiz su 50 °C'ye ısıtılarak yıllık yaklaşık 2 345 890,909 m³ doğal gaz karşılığı ısı enerjisi tasarrufu sağlanmaktadır. Tasarruf edilen bu enerjinin KDV dahil bedeli 4 643 590 TL (25 Aralık 2020 tarihinde 614 231 \$)'dir.

b. Sistemi ile yaklaşık 3 (üç) ay içinde -ilk yatırım bedeli olan- 100 000 €'luk tasarruf sağlanacaktır.

c. Sistemde kaba elyaf vs. partiküller tutulduğundan, AAT yükünde kısmî azalma olacaktır. Ayrıca soğuyan kontamine su, sistem öncesine göre daha düşük sıcaklıkta AAT'ne giderek arıtma verimine katkı sağlanacaktır.

d. IGK sistemi sayesinde, daha az yakıt tüketileceğinden, çevre kirliliğinin azaltımına katkı verilmiş olacaktır. Bu açıdan da çevreci bir yatırımdır.

e. Proses giriş su sıcaklıkları yaklaşık sabit bir değer olacağından, üretimde kalite ve tekrarlanabilirliğe katkı verilecektir. Ayrıca işletme suyu artık ısıtılmış olduğundan süreden kazanılacak, bu da üretimde artış anlamına gelecektir.

f. IGK sistemi ile buhar ihtiyacı azalacağından, buhar kazanı ekipmanı (fan, pompalar..) daha az çalıştırılmak zorunda kalınacaktır. Bu durumda enerji ve su tasarrufunun yanı sıra ilgili ekipman bakım onarım maliyetleri de azalmış olacaktır.

g. Zaman, yakıt ve enerji tasarrufuyla işletmenin kazancında ve rekabet gücünde artış sağlanmış olacaktır.

6.2. Tartışma ve Öneriler

a. IGK sistemi yeni işletmeler için kontamine sıcak atıksu, işletme giriş soğuk su ve soğutma suları için ayrı ayrı hatlar üzerinden tasarlanmalıdır.

b. İşletme koşulları gereği; ürün ya da müşteri kaybı endişesi ile çalışmaya belli bir süre ara vermekten kaçınan mevcut işletmelerde ise atıksu 3 yollu otomatik kontrollü bir vana ile sıcaklığına göre doğrudan AAT'ye veya kontamine sıcak su havuzuna gönderilmelidir.

c. IGK sisteminin bütün üniteleri PLC otomasyon sistemi ile yönetilmeli ve SCADA yazılımı ile kontrol ve izlenmesi yapılmalıdır. Bu şekilde hata oranı asgari seviyeye indirilmiş, sistemden azami verim alınmış olacaktır.

d. Sistemde tekstil sektörü için özel üretilmiş, tıkanmaya karşı geniş plaka aralıklı, bakımı ve temizliği kolay, 40-100 °C aralığındaki atıksular için yüksek verime sahip plakalı tip ısı değiştiriciler kullanılmalıdır. Tekstil boyahane atıksularının yaklaşık % 80'i bu sıcaklık aralığındadır. Buna karşı ısı pompaları dışarıdan ayrıca enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar. Çok büyük oranda dış kaynaklı olan enerji fiyatlarının kontrol zorluğu ciddi dezavantajdır. Ayrıca yapılan hesaplamalar ve tespitler 40 °C ve üzeri sıcaklıklar için ısı pompasının fizibil olmadığını ortaya koymuştur. Dahası bunun altı sıcaklıklarda oluşan atıksu miktarı toplam atıksuyun ancak % 20'si kadardır.

e. IGK sistemi ile hem çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı verilmiş, hem de Türkiye toplam ithalatının 1/5'inden fazlasını oluşturan enerjide tasarruf edilmiş olacaktır. Çok kısa sayılabilecek yatırımın geri dönüş süresi dikkate alınarak, üniversiteler, ilgili kurumlar ve özel sektör temsilcileri başta olmak üzere, bütün paydaşların katılımı ile mevzuata kadar gidebilecek bir yol haritası oluşturulmasında hem işletmeler hem Türkiye ekonomisi açısından azımsanmayacak kazanımlar olacağı değerlendirilmektedir.

"Dünya herkesin ihtiyacına yetecek kadarını sağlar, herkesin hırsına yetecek kadarını değil..."

Mahatma Gandhi

KAYNAKLAR

1. Mercimek H. A., Çolak Ö. (2008). *Trametes Versicolor*'ın Tekstil Boyalarının Gideriminde Kullanım Olanakları, Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Yıl:2008 Cilt:17-3, s. 117, Adana.
2. Bahadır, E. B. (2012). Tekstil Endüstrisi Arıtılmış Atıksularında Renk ve Öncelikli Kirleticilerin Ozon Teknolojisi ile Gideriminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
3. Verma, A. K., Dash, R. R., Bhunia, P., (2012), A Review on Chemical Coagulation/Flocculation Technologies for Removal of Colour From Textile Wastewaters, *Journal of Environmental Management* 93; 154-168
4. Hasanbeigi A., Price L., (2012) A Review Of Energy Use And Energy Efficiency Technologies For The Textile Industry., *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 3648–3665.
5. Gifford, R (2014). *Environmental Psychology, Principles and Practice*, 5th ed. Optimal Books, Canada.
6. Dursun İ., Belit M. (2017). Bir Sosyal Pazarlama Hedefi Olarak Enerji Tasarrufu Ve Ölçümü, Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Yıl: Temmuz 2017 Cilt-Sayı: 10(3) s. 130-153.
7. Moser, F. ve Schnitzer, H. (1985) *Heat Pump in Industry*, Elsevier, New York.
8. Yamankaradeniz, N., Coşkun, S., Can. M., (2007). Tekstil Sanayiinde Atık Isıdan Yararlanılarak Enerji Tasarrufunda Klasik Sistem ile Isı Pompasının Karşılaştırılması, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 12(1), s. 115-124.
9. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2017). 8. Enerji Verimliliği Forumu ve Bildiriler Kitabı, Serkan Bereket, s. 107-110.
10. Pulat E., Etemoğlu A. B., Can M. (2009). Waste-Heat Recovery Potential in Turkish Textile Industry: Case Study For City Of Bursa, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Cilt:13, s. 663-672.
11. Tokgöz N., Özgün Ö., (2019). Atık Isı Geri Kazanım Sistemlerine Yönelik Literatür Araştırması ve Sanayiden Örnek Vaka İncelemesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), s. 57-72
12. Kandilli C, Koçlu A. (2011). Tekstil Endüstri Boyama Prosesinde Plakalı Isı Değiştiricilerle Atık Isı Geri Kazanım Sistemi Enerji ve Ekserji Analizi, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir. 1913-1925.
13. Demir, Y. (2003). Tekstilde Plakalı Tip Isı Değiştiricilerinin Isı Geri Kazanımı Uygulamalarındaki Avantajları, *Tesisat Dergisi*, 86, 146-150.

14. Shanmuganandam D. (1997). Study on tow-for-one twisting. Available at; <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/technology-industry-article/study-on-two-for-one-twisting/study-on-two-for-one-twisting1.asp>.
15. European Commission. (2009). Textiles and Clothing. Industry-External Dimension.: Available at: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/textiles/statistics/index_en.htm.
16. Van de Ruit H. (2000). Improve Condensate Recovery Systems. Hydrocarbon Processing 2000; 79(12):47–53.
17. Radgen P, Blaustein E. (2001). Compressed Air Systems In The European Union, Energy, Emissions, Savings Potential And Policy Actions. Fraunhofer Institute, Karlsruhe, Germany.
18. Greer L., Egan Keane S., Lin Z. (2010). NRDC’s Ten Best Practices For Textile Mills to Save Money and Reduce Pollution. Available at: <http://www.nrdc.org/international/cleanbydesign/files/rsifullguide.pdf>
19. National Bureau of Statistics of China. (2011). China Statistical Yearbook-2010. China Statistics Press.
20. Tekstil ve Hazır Giyim Sektörü Dünya İhracat Rakamları. Erişim Adresi: <https://www.ihracat.co/2019/11/tekstil-ve-hazir-giyim-sektoru-dunya.html>, (Erişim Adresi: 12.12.2020)
21. Uyanık, S., Oğulata, R. T.; (2013), “Türk Tekstil ve Hazır Giyim Sanayiinin Mevcut Durumu ve Gelişimi”, Tekstil ve Mühendis, Cilt:20, Sayı:92, s.59-78.
22. Uyanık, S., Çelikel, D. C., (2019). Türk Tekstil Endüstrisi Genel Durumu, Teknik Bilimleri Dergisi, Gaziantep Üniversitesi Teknik Bilimler MYO, Cilt 9, Sayı 1, 32-41.
23. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2012). Tekstil, Hazır Giyim, Deri ve Deri Ürünleri Sektörleri Raporu (2012/1). Erişim Adresi: <https://tekstilsayfasi.blogspot.com/2012/11/2012-tekstil-ve-hazir-giyim-sektoru.html>, (Erişim Tarihi:24.12.2020).
24. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2017). Tekstil, Hazır Giyim, Deri ve Deri Ürünleri Sektörleri Raporu-2017.
25. Tekstil Sektör Şubesi, İTKİB Genel Sekreterliği (2019). Toplam Tekstil ve Hammaddeleri Sektörü 2019 Yılı Ağustos Ayı İhracatı Performans Raporu.
26. Kalaycı E., Türker G., Çağlar E., (2019). Kırklareli İlinin Hayvansal Atık Potansiyelinin Biyogaz Üretimi Çerçevesinde Değerlendirilmesi ve Güncel Yapının Yorumlanması, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 8 (4), 1489-1497.
27. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2018), Erişim Adresi: <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx> (Erişim Tarihi: 10.11.2018).
28. Şen, H. M. (2007). Türkiye’nin Genel Enerji Durumu, Türkiye’de Enerji ve Geleceği, İTÜ Görüşü, 27-35, Nisan 2007, İstanbul.

29. Selbaş, R. (1992). Atık Isı Enerjisinden Yararlanma Yöntemleri ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
30. Öztürk, E. (2012). Tekstil Sektöründe Enerji Tasarrufu Olanaklarının Araştırılması ve Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
31. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT). (2005). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi.
32. Enerjinin Etkin Kullanımı ve Enerji Tasarrufu İle İlgili Teknolojiler-Alt Grup Raporu. (2017). Erişim Adresi: <http://www.inovasyon.org/pdf/eek.bolum5.3.pdf> (Erişim Tarihi:11.01.2019).
33. Enerjinin Etkin Kullanımı ve Enerji Tasarrufu ile İlgili Teknolojiler-Alt Grup Raporu. (2017). Erişim Adresi: <http://www.inovasyon.org/pdf/eek.bolum5.3.pdf> (Erişim Tarihi:11.01.2019).
34. Marbek Resource Consultants. (2001). Textile Mill Effluents Study: Final Phase 1 Report, Identification and Evaluation of Best Available Technologies Economically Achievable (BATEA) for Textile Mill Effluents. Erişim Adresi: <https://p2infohouse.org/ref/41/40651.pdf> (Erişim Tarihi: 23.12.2020)
35. United States Department of Energy (U.S. DOE). (2006). Industrial Assessment Center (IAC), Industrial Assessment Center (IAC) Database. Department of Energy, Washington, DC, USA;. Available at: <http://iac.rutgers.edu/database/index.php>.
36. Ulusal Sanayici ve İşadamları Derneği (USİAD) (2010). Su Kaynakları Bakanlığı Kuruluş Kanunu Tasarı Taslağı Önerisi, Ada Strateji, Ankara, s. 124.
37. Şahin, B. (2016). Küresel Bir Sorun, Su Kıtlığı ve Sanal Su Ticareti, Yüksek Lisans Tezi, Çorum Hitit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çorum.
38. Rosegrant M.W., Cai X., Cline S., (2003), Will the world run dry?, Environment, 45, 24–36.
39. Bates B., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J., (2008). Climate Change and Water: IPCC Technical Report VI, IPCC Secretariat, Geneva.
40. Bilen, Ö. (2008). Türkiye’nin Su Gündemi Su Yönetimi ve AB Su Politikaları, s. 56-58. DSİ, Ankara.
41. Su Raporu (2007). Ulusal Su Politikası İhtiyacımız, Ulusal Sanayici ve İşadamları Derneği (USİAD), Ed. Yıldız D., Ada Strateji, Ankara, s. 162.
42. Atabay, S., Karasu, M., Koca, C. (2014). İklim Değişikliği ve Geleceğimiz, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Sayı: YTÜ.MF-BK-2014.0884, İstanbul, s.148
43. Şahin, B., (2016). Küresel Bir Sorun, Su Kıtlığı ve Sanal Su Ticareti, Yüksek Lisans Tezi, Çorum Hitit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, s. 128.

44. B.M., (2012), WWAP-World Water Assessment Programme. Managing Water under Uncertainty and Risk, The United Nations World Water, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 75352 Paris 07 SP, France.
45. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2013). Çevresel Göstergeler Kitapçığı.
46. Çapar, G., Yetiş, Ü. (2018), Sanayide Su Verimliliğinin Ülkemizdeki Durumu, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü Yayını, Sayı: 354, s. 19-29.
47. European Environment Agency (1999). Environmental Assessment Report of No 1: Sustainable Water Use in Europe, Share 1: Sectoral Use of Water.
48. Eurostat, (2018). http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Archive:Water_use_in_industry.
49. DSİ 2018 Ajandası. (2018). DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
50. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Ulusal Su Planı (2019-2023).
51. Muluk, B., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan, M.A., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G., Zeydanlı, U., (2013). Türkiye’de Suyun Durumu ve Su Yönetimine Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif, Golden Medya Matbaacılık ve Ticaret A.Ş. Doğa Koruma Merkezi, s. 112.
52. Aksay, C. S., Ketenoğlu, O., Kurt, L., (2005). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği, S. Ü. Fen Fakültesi Dergisi, 25, 29-41.
53. Karadağ, A. A., (2008). Türkiye’deki Su Kaynakları Yönetimine İlişkin Sorunlar ve Çözüm Önerileri, TMMOB Su Politikaları Kongresi Bildiriler Kitabı, 2, 389-400.
54. Gezer, A., Erdem, A. (2018) “Su Stresi, Su Kıtlığı ve Su Tasarrufu Hakkında Halkın Farkındalığının Belirlenmesi: Akdeniz Üniversitesi Örnek Çalışması” Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 2018; 4(2): 113-122.
55. Hendrickx, I. ve Boardman, G.D., (1995). Pollution Prevention Studies In The Textile Wet Processing Industry, Department of Environmental Quality, Office of Pollution Prevention, Virginia, USA.
56. Can, Y. (2014). Tekstil Sektöründe Su Kullanımı ve Atık Su Yönetimi, ISEM 2014 Sempozyum Kitabı, 24-26 Ocak, Adıyaman, s. 820-826
57. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). 2016.
58. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete’de Yayımlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği.
59. Bostan, M., B. (2017). Atıksu Arıtma Tesislerinde Havalandırma Sistemlerinin ve Havalandırma Ekipmanlarının İncelenmesi, Karşılaştırılması, İller Bankası Anonim Şirketi Uzmanlık Tezi.
60. Muslu, Y. (1990). Kullanılmış Suların Tasfiyesi Cilt 1. İstanbul: İ.T.Ü. Matbaası, 8

61. Anaerobic Biological Wastewater Treatment, Erişim Adresi: <https://emis.vito.be/en/techniekfiche/anaerobic-biological-wastewater-treatment> (Erişim Tarihi: 28.04.2016).
62. Sunden, B. (1999). Heat Transfer and Fluid Flow in Rib-Roughened Rectangular Ducts, Heat Transfer Enhancement of Heat Exchangers, (Ed.) Kakac S., Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 355, s. 123-140.
63. Buyruk, E., Karabulut, K. (2017). Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde Kanat Açıının Isı Transferine Olan Etkisinin Üç Boyutlu Sayısal Olarak İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakóltesi Dergisi, 32(1), s. 49-62.
64. Tauscher, R., Mayinger, F. (1999). Heat Transfer Enhancement in a Plate Heat Exchanger with Rib-Roughened Surfaces, Heat Transfer Enhancement of Heat Exchangers, (Ed.) S. Kakac, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 355, 207-221.
65. Atık Boyalı Sıcak Sudan Isı Geri Kazanımı. Erişim Adresi: <http://www.ozlumuhandislik.com/site/atik-sicak-su-isi-geri-kazanım-sistemi/> (Erişim Tarihi. 02.07.2020)
66. Isı Geri Kazanım, Tekstilde Isı Geri Kazanım Uygulamaları. Erişim Adresi: http://www.arasta.com/eng/isi_geri_kazanım.asp. (Erişim Tarihi: 02.07.2020)
67. Aslan H. (2015). Isı Geri Kazanım Sistemleri ve Çalışma Prensipleri, Isı Transferinde İyileştirme Yöntem Araştırmaları, Eskiřehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakóltesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Eskiřehir.
68. Milli Eğitim Bakanlığı, (2013). Kimya Teknolojisi, s. 41, Ankara.
69. Özdoğan M., (2020). Isı Değiştiricilerin Sınıflandırılması, Isı Değiştiricilerin Tasarımı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakóltesi, Makina Mühendisliği Bölümü.
70. Demir, H., Mobedi, M., Ülkü, S., (2005). VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, s. 544.
71. Ürün E., Çay Y., Kurt H. (2011). Isı Borulu Isı Geri Kazanım Sistem Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi”, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
72. Macmichael, R. (1979). Heat Pumps Design And Application, Pergamon Pres, Great Britain.
73. Coşkun, S. (1993). Kurutma İşlemlerinde Isı Pompası İle Enerji Tasarrufu Sağlanmasının İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa
74. Durgun, İ. (1996) Isı Pompasının Endüstriyel Uygulamaları, Y. Lisans Tezi, U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
75. Sanayide Enerji Yönetimi. (1997). C. I, III, EIEI/UETM, Ankara.
76. Kaya D, Güngör C., (2002). ”Sanayide Enerji Tasarrufu Potansiyeli-II”, Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı:515.

77. Kıncay Olcay. (2015). Isı Pompaları, Erişim Adresi: <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/IsiPompasi.pdf> (Erişim Tarihi: 05.12.2019).
78. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Coşkun, S., (2002). Soğutma Tekniği ve Uygulamaları. Vipaş A.Ş., Bursa.
79. Yamankaradeniz, N. (2011). Endüstride Isı Pompası Kullanılarak Atık Isıdan Isı Geri Kazanımının Teorik Ve Deneysel İncelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, Doktora Tezi.
80. Etemoğlu, A. B., İşman, M. K., Can, M. (2006). Bursa ve Çevresinde Jeotermal Enerjinin Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 11(1), 55-64.
81. Kul, N. (2009). 1500 KVA Gücünde 6.3 KV Çıkış Gerilimli Jeneratör Grubu ve Yüksek Gerilim Kesicilerinin PLC-SCADA ile Uzaktan İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
82. Kılıç, M., Özdemir, Ş., (2010). SCADA Sistemi ile Bir İşletmenin Dış Saha Otomasyonu, AKÜ Fen Bilimleri Dergisi, s. 59-67.
83. Kulaksız, I., Özgönenel, O. (2010). Alçak Gerilimde Enerji Otomasyonu-Örnek Bir Uygulama. Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği (ELECO) Sempozyumu 128-132.
84. Kılıç, M. (2010). PLC ve SCADA Sistemlerinin Bir MDF Presi Dış Saha Besleme Hattına Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
85. K. Ji, Y. Dong, Y. Lee, J. Lyoul. (2006). Reliability Analysis Safety Programmable Logic Controller, SICE-ICASE International Joint Conference, Kore, ss18-21.
86. Bayındır, R., Kaplan, O., Bayyigit, C., Sarıkaya, Y., Hallaçlıoğlu, M. (2011). PLC ve SCADA Kullanılarak Bir Endüstriyel Sistemin Otomasyonu, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, c.27 sayı:1, s.107-115.
87. D. Bailey, E. Wright. (2003). Practical SCADA for Industry. Newnes, Australia.
88. Gulle, S., Erdil, A. (2004). System Design with SCADA in Process Laboratory, Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics, İstanbul, 492-496.
89. Çilek, A. (2005). PLC ile Endüstriyel Otomasyon Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
90. Şahin, S., İşler, Y., Selek, M. B., (2007). Sanal Aygıtlarla Sıvı Seviyesi ve Sıcaklık Kontrolü Deneyine Örnek Bir Uygulama, CBÜ Soma Meslek Yüksek Okulu Teknik Bilimler Dergisi, 2 (8), 1-10.
91. Çetin, R., (2005). S7- 200 PLC'lerle Otomasyon, Ankara.
92. Erkuş, A., Oygün, E., Türkmenoğlu, M., Aldemir, A. (2018). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23 (3), 308-319.

93. Elahee, K. (2010). Heat Recovery in The Textile Dyeing and Finishing Industry: Lessons from Developing Economies, Journal of Energy in Southern Afrika, Volume:21, Issue:3, pp.9-15
94. Kıroğlu, M. (2018)., Levent Boyama Kalitesinin İyileştirilmesi Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı.
95. Anış, P., Eren, H. A. (2016). Tekstil Terbiyesine Giriş Dersi Şekilleri.
96. Cilveli, G. (2012). Tekstil Ürünlerindeki Elektrostatik Yüklenmenin Kullanım Performansına ve Konfor Algısına Etkileri, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
97. Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera F. P., Dewitt D. P. (2011). Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Seventh Edition.
98. Doğal gaz Abone Satış Fiyatlarına Ait Değerler, Erişim Adresi: <https://portal.enerya.com.tr/DogalGazBirimFiyatlari/index.xhtml?city=07> (Erişim Tarihi: 10.12.2020)
99. Kuş, Ç. A., Çomaklı, K. (2015). Farklı Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Ekonomik Analizi, Tesisat Mühendisliği, Sayı:148, s.13-21.



EKLER

EK A

2015 Yılı Aylık Elektrik Enerjisi Tüketim Bilgileri

ELEKTRİK							
Aylar	Tüketim				Maliyet (TL)		
	Satın Alınan		Üretilen				
	kWh	TEP	kWh	TEP	Satın Alınan	Üretilen	Toplam
Ocak	30.722	3	1.024.829	88	6.335	267.726	274.061
Şubat	65.181	6	931.093	80	13.440	240.267	253.707
Mart	25.515	2	1.268.274	109	5.261	288.953	294.215
Nisan	112.724	10	1.305.088	112	23.244	269.055	292.299
Mayıs	138.287	12	1.174.356	101	28.515	257.979	286.494
Haziran	158.113	14	873.516	75	32.603	205.761	238.364
Temmuz	71.962	6	500.559	43	14.839	113.778	128.617
Ağustos	152.835	13	857.491	74	31.515	200.975	232.490
Eylül	72.170	6	953.003	82	14.881	217.536	232.418
Ekim	42.601	4	1.180.558	102	8.784	273.185	281.969
Kasım	80.514	7	1.094.696	94	16.602	248.511	265.113
Aralık	127.830	11	1.004.652	86	26.359	234.747	261.105
Toplam	1.078.454	93	12.168.115	1.046	222.377	2.818.474	3.040.851

EK B

2015 Yılı Aylık Doğal Gaz Enerjisi Tüketim Bilgileri

DOĞAL GAZ							
Aylar	Tüketim				Maliyet (TL)		
	Satın Alınan		Kojen. Doğal Gaz				
	Sm3	TEP	Sm3	TEP	Satın Alınan	Kojen Doğal Gaz	Toplam
Ocak	585.392	483	318.931	263	471.465	267.726	739.191
Şubat	517.689	427	286.220	236	435.405	240.267	675.672
Mart	641.471	529	344.218	284	539.588	288.953	828.542
Nisan	624.910	516	320.514	264	525.926	269.055	794.980
Mayıs	568.693	469	307.320	254	478.829	257.979	736.809
Haziran	449.577	371	245.115	202	378.771	205.761	584.532
Temmuz	254.438	210	135.539	112	214.470	113.778	328.248
Ağustos	470.046	388	239.414	198	396.254	200.975	597.229
Eylül	478.255	395	259.142	214	403.117	217.536	620.653
Ekim	604.410	499	325.434	268	509.674	273.185	782.859
Kasım	547.637	452	296.041	244	462.117	248.511	710.628
Aralık	502.700	415	279.644	231	424.159	234.747	658.906
Toplam	6.245.218	5.152	3.357.533	2.770	5.239.775	2.818.474	8.058.249

2015 Aylık Kömür Enerjisi Tüketim Bilgileri

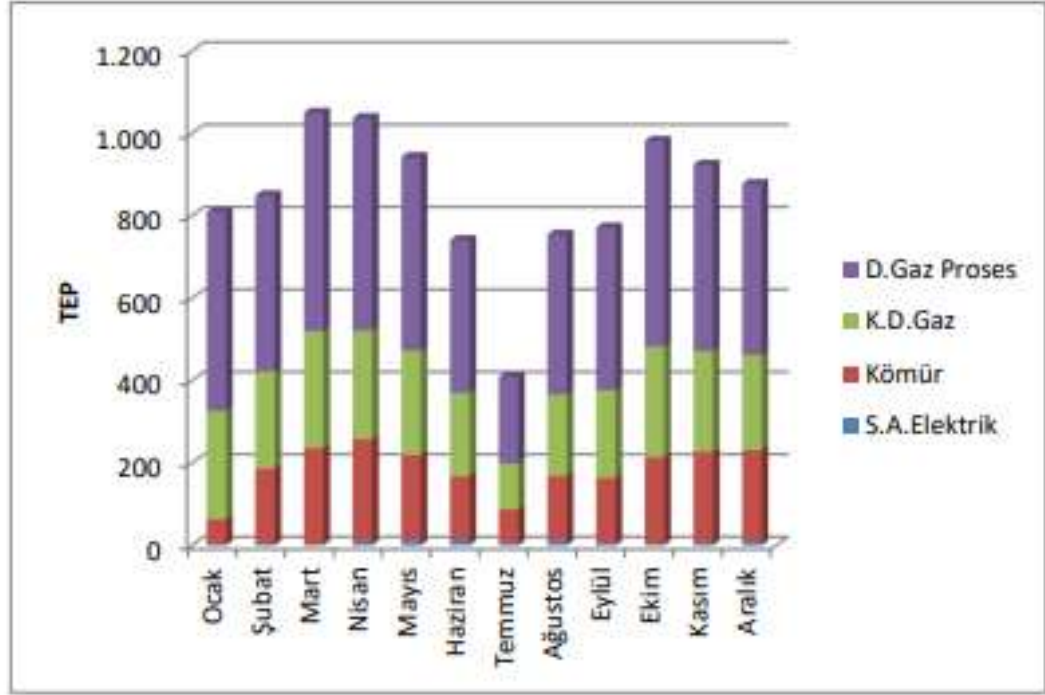
KÖMÜR						
Aylar	Tüketim				Maliyet (TL)	
	Satın Alınan		Üretilen			
	Kg	TEP	Kg	TEP	Satın Alınan	Toplam
Ocak	142.008	61			32.662	32.662
Şubat	423.000	181			97.290	97.290
Mart	548.000	234			126.040	126.040
Nisan	579.000	248			133.170	133.170
Mayıs	486.000	208			111.780	111.780
Haziran	361.000	154			83.030	83.030
Temmuz	190.000	81			43.700	43.700
Ağustos	364.000	156			83.720	83.720
Eylül	367.000	157			84.410	84.410
Ekim	493.000	211			113.390	113.390
Kasım	517.000	221			118.910	118.910
Aralık	516.000	221			118.680	118.680
Toplam	4.986.008	2.132			1.146.782	1.146.782

EK D

2015 Yılı Aylık Toplam Enerji Tüketim Bilgileri

	TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİ						
	Elektrik		Katı Yakıt	Gaz Yakıt	Gaz Yakıt	Toplam	Toplam Maliyet
	Alınan	Üretilen	(Kömür)	(K.D.Gaz)	(D.Gaz)		
Aylar	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TL
Ocak	3	88	61	263	483	809	778.188
Şubat	6	80	181	236	427	850	786.402
Mart	2	109	234	284	529	1.050	959.843
Nisan	10	112	248	264	516	1.037	951.394
Mayıs	12	101	208	254	469	942	877.103
Haziran	14	75	154	202	371	741	700.165
Temmuz	6	43	81	112	210	409	386.787
Ağustos	13	74	156	198	388	754	712.464
Eylül	6	82	157	214	395	771	719.944
Ekim	4	102	211	268	499	982	905.033
Kasım	7	94	221	244	452	924	846.140
Aralık	11	86	221	231	415	877	803.944
Toplam	93	1.046	2132	2.770	5.152	10.147	9.427.408

EK E



2015 Yılı Aylık Enerji Dağılım Grafiği

2015 Aylık Üretim Miktarları

Aylar	Üretim			
	Toplam	İplik Ünitesi	Kumaş Ünitesi	Baskı Ünitesi
	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
Ocak	221.106	15.885	180.698	24.523
Şubat	220.139	22.334	168.152	29.653
Mart	309.788	25.352	238.548	45.888
Nisan	306.810	28.707	245.019	33.084
Mayıs	298.719	26.288	238.647	33.784
Haziran	214.510	22.306	175.030	17.173
Temmuz	192.579	8.857	157.575	26.147
Ağustos	186.246	18.969	95.357	71.920
Eylül	298.447	23.456	200.500	74.491
Ekim	304.446	26.306	198.099	80.041
Kasım	232.125	25.312	152.598	54.215
Aralık	243.453	24.753	185.817	32.884
Toplam	3.028.368	268.525	2.236.041	523.802

