



TEKSTİL TERBİYE FABRİKALARINDA ENERJİ KAYIPLARININ BELİRLENMESİ ve
KIZGIN YAĞLI MERKEZİ KAZANDAN ATIK ENERJİ GERİ KAZANIM UYGULAMASI

Hakan KAVAK

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim dalı

Aralık - 2018

TEKSTİL TERBİYE FABRİKALARINDA ENERJİ KAYIPLARININ BELİRLENMESİ ve
KIZGIN YAĞLI MERKEZİ KAZANDAN ATIK ENERJİ GERİ KAZANIM UYGULAMASI

Hakan KAVAK

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Nimeti DÖNER
Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Çisil TİMURALP

Aralık - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Hakan KAVAK'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı Tekstil Terbiye Fabrikalarında Enerji Kayıplarının Belirlenmesi ve Kızgın Yağlı Merkezi Kazandan Atık Enerji Geri Kazanım Uygulaması başlıklı bu çalışma, jürimizce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

27/12/2018

Prof. Dr. Önder UYSAL

Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Ramazan KÖSE

Bölüm Başkanı, Makina Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Nimeti DÖNER

Danışman, Makina Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Çisil TİMURALP

Ortak Danışman, EOG Makina Mühendisliği Bölümü

Sınav Komitesi Üyeleri

Doç. Dr. Erhan PULAT

Makine Mühendisliği Bölümü, Uludağ Üniversitesi

Doç. Dr. Nimeti DÖNER

Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Çisil TİMURALP

Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ümran ERÇETİN

Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Zerrin SERT

Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 12 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Doç. Dr. Nimeti DÖNER

Hakan KAVAK

TEKSTİL TERBİYE FABRİKALARINDA ENERJİ KAYIPLARININ BELİRLENMESİ VE KIZGIN YAĞLI MERKEZİ KAZANDAN ATIK ENERJİ GERİ KAZANIM UYGULAMASI

Hakan KAVAK

Makina Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Tez Danışmanı: Doç Dr. Nimeti DÖNER

Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Çisil TİMURALP

ÖZET

Bu tez çalışmasında tekstil terbiye fabrikalarının çalışma prensipleri, enerji tüketimleri ve kayıpları genel olarak tanımlanmıştır. Tekstil sektöründe enerji tüketimi, üretim maliyetinin önemli bir kısmını tutmaktadır. Türkiye tekstil üretim sektöründe Avrupa’da birinci ve Dünya’da üçüncü olması ve enerji temini yönünden dışa bağımlılık nedeniyle, enerji kayıplarının azaltılması ve gerekli tedbirlerin alınması son derece önemlidir.

Bir tekstil terbiye fabrikasındaki kızgın yağ kazanından enerji geri kazanımı uygulaması olarak gövde borulu ısı değiştiricisi tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan ısı değiştiricisinin hesaplamaları ve çizimleri anlatılmıştır. Sistemde uygulandığında yaklaşık olarak %76 enerji geri kazanımının sağlandığı görülmüştür. Gövde borulu ısı değiştiricisinde, alüminyum malzemeden yapılmış, kanatçıklı borular kullanılmıştır. Bu kanatçıklı sistemin de ısı analizi yapıldığında ısı geçiş katsayısına toplam %7,5 gibi etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışma parametrelerine göre, eş eksenli ısı değiştiricisi hesaplaması ve ısı analizi yapıldığında, yaklaşık olarak %13 ısı enerjisi geri kazanımı sağlayabileceği bulunmuştur. Gövde borulu ısı değiştiricisinin atık ısı geri kazanımında daha fazla tercih edilmesinin nedeni, bu rakamsal karşılaştırma ile teyit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık ısı geri kazanımı, Enerji kayıpları, Gövde-borulu ısı değiştiricileri, Tekstil terbiye fabrikaları.

DETERMINATION OF ENERGY LOSSES IN TEXTILE FINISHING PLANTS AND APPLICATION OF WASTE ENERGY RECOVERY FROM HOT OIL CENTRAL BOILER

Hakan KAVAK

Mechanical Engineering, M.S. Thesis, 2018

Thesis Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Nimeti DÖNER

Co – Advisor : Asst. Prof. Dr. Çisil TİMURALP

SUMMARY

In this thesis, the working principles, energy consumption and losses of textile finishing factories are generally defined. Energy consumption in the textile sector is a significant section of the production cost. The textile sector of Turkey is in the first in Europe and at the third in the world. To reduction of energy losses and to increase of energy conservation in the textile sector of Turkey is extremely important due to the supplying of energy from outside.

As an energy recovery application from the hot oil boiler in a textile finishing factory, the shell and tube heat exchanger was designed and manufactured. The calculations and drawings of the designed heat exchanger are presented. It is seen that the energy recovery was approximately 76% when the designed system was applied. The shell and tube heat exchanger was manufactured in different kind of fins system, that material is aluminum, which are located inside tubes. It has been determined that the effect of its on total heat transfer coefficient is to be 7.5% when the thermal analysis of the fins system was performed. It was found that when the coaxial heat exchanger is applied under the same operating parameters, the thermal system would provide the waste energy recovery of 13%. By this comparison, it can be seen that why the shell and tube heat exchanger is more preferred in waste heat recovery.

Key Words: Waste energy recovery, Energy losses, Shel-and-tube heat exchangers, Textile process plants.

TEŐEKKÜR

Bu tezde bana yardımcı olan baŐta danışman hocalarım Doç. Dr. Nimeti DÖNER ve Dr. Öğretim Üyesi Çisil TİMURALP`e, desteğini hep yanımda hissettiğim aileme ve emeği geçen herkese teŐekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. TEKSTİL TERBİYE PROSESLERİ	9
3.1. Terbiye Maddesinin Tekstil Mamülüne Aktarılması (Aplikasyon).....	10
3.2. Yıkama İşlemleri.....	12
3.3. Kurutma İşlemleri	13
4.TEKSTİL TERBİYE İŞLEMLERİNDE ENERJİ.....	16
4.1. Tekstil Terbiye Fabrikalarında Enerji Tüketimi Örnekleri.....	16
5. ATIK ISI GERİ KAZANIM UYGULAMASI	23
5.1. Gövde Borulu Isı Değiştiricileri.....	24
5.1.1. Kanatsız durum.....	29
5.1.2. Kanatlı durum	31
5.2. Eş Eksenli Isı Değiştiricisi	32
6. SONUÇLAR VE YORUMLAR	36
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Tekstil terbiye işlemlerinin genel sınıflandırması	9
4.1. Tekstil terbiye fabrikalarında buhar kazanının kullanıldığı alanlar.....	17
4.2. Boya kazanının normal çalışma şartlarındaki sıcaklık-zaman değişimi	18
4.3. Bir entegre tekstil terbiye fabrikasının geçmiş yıllardaki elektrik-doğalgaz tüketim grafikleri	19
4.4. Ramöz makinası.....	20
4.5. Kompresör maliyetleri	21
4.6. Kompresör enerji kayıpları	22
5.1. Isı geri kazanımı için, kızgın yağ kazan sistemine ilave edilen ısı değiştiricisi	25
5.2. Kızgın yağ kazan sistemi için uygulanan gövde-borulu ısı değiştiricisi	26
5.3. Kanatçıklı boru ve kesiti	26
5.4. Isı değiştiricisindeki sıcaklık değişim grafiği.....	28
5.5. Uygulanan gövde borulu ısı değiştiricisi.....	34
5.6. Gövde borulu ısı değiştiricisi tesisat görüntüsü	35
5.7. Isı geri kazanımda ısıtılan suyun kullanıldığı beş kabinli kontini yıkama makinesi.....	35

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Üç ramöz makinesinin bir aylık elektrik ve doğalgaz tüketimi.....	20
4.2. Kompresörlerde kaçak durumunda oluşan maliyetler.....	22
5.1. Atık ısı geri kazanım için uygulanan ısı değiştiricisinin çalışma şartları ve geometrik özellikleri	27
6.1. Ekim 2015’de sistemden alınan veriler.....	36
6.2. Kasım 2015’de sistemden alınan veriler	36
6.3. Aralık 2015’de sistemden alınan veriler	36

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
A	Isı değiştiricisi alanı
A_f	Kanat yüzey alanı
ε	Etkenlik
μ	Dinamik viskozite
U	Toplam ısı geçiş katsayısı
\dot{Q}	Hacimsel Debi
NTU	Geçiş birim sayısı
μ	Dinamik viskozite
ρ	Yoğunluk
C	Isıl kapasite
D	Boru apı
F	Düzeltme faktörü
h	Taşımın katsayısı
L	Boru uzunluğu
k	Isı iletim katsayısı
\dot{m}	Akışkan debisi
Nu	Nusselt sayısı
q	Isı geçiş miktarı
Pr	Prandtl sayısı
R_f	Boru içindeki kirlilik faktörü (m^2K/W)
Re	Reynolds sayısı
t	Boru et kalınlığı
T	Sıcaklık
ΔT_m	Ortalama logaritmik sıcaklık farkı
V	Akışkan hızı
η	Yüzey etkenliği
d	Yarıçap

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**Simgeler****Açıklamalar****Alt İndisler**

<i>c</i>	Soğuk akışkan
<i>ç</i>	Çıkış
<i>g</i>	Giriş
<i>h</i>	sıcak akışkan
<i>i</i>	iç
<i>o</i>	dış
<i>f</i>	kanat
<i>max</i>	maksimum
<i>min</i>	minimum

1.GİRİŞ

Tekstil mamullerinin, görünümünü (boyama, basma, parlaklaştırma vs.), tutumunu (yumuşatma, sertleştirme, dirileştirme, kayganlaştırma vs.) ve kullanma özelliklerini (kolay ütülenir, güç tutuşur, su itici, çekmez vs.) geliştirmek için yapılan işlemlere tekstil terbiye işlemleri denir.

Terbiye işlemi kumaşa katma değer katan önemli bir üretim aşamasıdır. 962000 ton (Tekstil imalat sanayi 2014 - İstanbul Sanayi Odası) üretim ile Avrupa'nın en büyük üretimine sahip Türk tekstil terbiye sanayisi özellikle orta kaliteye sahip ürünlerin üretiminde çok geniş bir tecrübeye sahiptir. Tekstil terbiye alt sektöründe Türkiye Avrupa'nın en büyük, Dünya'nın Çin ve Hindistan'dan sonra en büyük üçüncü üretim kapasitesine sahip üretim kapasitesine sahiptir.

TÜİK 2017 yılı verilerine göre sektörel enerji tüketim istatistiklerine bakıldığında, sanayi sektöründe 91 milyon 370 bin 932 TEP enerji tüketimi olmuştur. Bu enerji tüketiminin %27,2'lik kısmı doğalgaz iken elektrik tüketimi ise %11,2 ile dördüncü sırada yer almaktadır.

Tekstil terbiye işlemlerinde toplam maliyetin %35'ini ısı enerjisi oluşturmaktadır. Enerji maliyetlerini düşürmek şirketlerin kar odaklı büyüme stratejilerini belirlemede ve geleceğe yönelik kararlar alma aşamasında oldukça önemli rol almaktadır. İkinci bölümde anlatıldığı gibi, mevcut pek çok çalışmada tekstil sektöründeki enerji kayıpları incelenmiş, olası çözüm yöntemleri araştırılarak test edilmiştir. Ramöz makineleri, tamburlu kurutucular ve yakma sistemleri ayrı ayrı incelenmiştir. Tekstil terbiye işletmelerinde kullanılan pompa ve kompresör gibi güç aktarma parçalarındaki kayıplarda, enerji tüketiminde önemli yer almaktadır.

Gövde borulu ısı değiştiricileri kolay imalat ve bakım özellikleri sebebiyle endüstriyel tesislerde en fazla uygulanan ısı değiştiricisi tipidir. Boru sayısı, boruların yerleştirilme düzenleri, şaşırtma levhalarının yeri, açıklığı ve şekilleri gibi pek çok geometrik parametreler bu ısı değiştiricilerinin performanslarını etkilemektedir. Geçen yirmi yıllık süreçte bu konuda birçok araştırma yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında örnek bir tekstil terbiye fabrikasında ısı geri kazanım uygulaması için gövde borulu ısı değiştiricisi uygulaması yapılmıştır. Bunun için gövde borulu tek geçişli, kanatçıklı bir ısı değiştiricisi tasarımı ve hesaplamaları verilmiştir. Gövde içinde şaşırtma levhası kullanılmamıştır. Sistemde yapılan sıcaklık, debi ve akış hızı ölçümlerine göre amaçlanan enerji geri kazanımının sağlandığı görülmüştür. Kanatsız ve kanatlı gövde borulu ısı

değiştiricisi ile eş eksenli ısı değiştiricilerinin yapılan ısı analizleri sonunda %76,25 gibi enerji geri kazanımının sağlandığı tespit edilmiştir. Kanatçıklı yüzeilerin ısı geçişine 32,62 kW'lık artış sağladığı, toplam ısı geçiş katsayısı üzerine %7,5'lik iyileşme sağlandığı görölmüştür. Gövde borulu yerine, bazı termodinamik özellikleri aynı kalmak üzere, eş eksenli ısı değiştiricisi tercih edilseydi yaklaşık %13~15 gibi bir ısı kazanç sağlanacağı da hesaplanmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tekstil sektörü, kullanılan malzeme ve çeşitliliği ile, gelişmiş makine sistemleri ve üretim kalitesi ile Türkiye'nin Avrupa'da ve Dünya'da söz sahibi olduğu bir endüstriyel alandır. Dolayısıyla bu alandaki verimlilik, enerji tüketimi ve enerji geri kazanımı konusu Türkiye'de son yirmi yıldır araştırılmaktadır. Olgun ve arkadaşları (2009), sanayi ve konutlarda enerji verimliliği ve Türkiye'deki yönetmeliklere değinerek mevzuat hakkında genel bir değerlendirme yapmışlardır. Yapılan istatistikleri incelediklerinde Türkiye'de enerjinin verimli ve etkin kullanılmadığını tespit etmişlerdir. Enerji verimliliği ile ilgili yeterli bilinci oluşturmak için mevzuat çalışmalarının devam etmesi gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Can (1995), çalışmasında Bursa bölgesindeki sanayide atık akışkanlardan elde edilebilecek enerji tasarrufunu irdelemiştir. Tekstil sektöründe yer alan boyahanelerden aldığı örneklerle yaptığı çalışmasında bir işletmenin detaylı olarak ekonomik analizini yapmış diğer işletmeler için de tahminlerde bulunmuştur. Her bir boyahane için sağlanabilecek enerji tasarrufunu 476 ton Fuel-Oil/yıl olarak tespit etmiştir. Oğulata (2004) tekstil kurutmada atık ısı geri kazanımının kullanılmasını incelemiştir. Temiz hava kütesinin kurutucu giriş hava sıcaklığı ile değişimini, buharlaşan su kütesinin kuruma oranıyla değişimini, ısıtıcı kapasitesinin kurutucu giriş hava sıcaklığı ile değişimini ve rekuperatör verimiyle kurutucu giriş hava sıcaklığı değişimini karşılaştırmış; kurutmada ısı geri kazanımının enerji tasarrufu için dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Kaplan (2004) enerji durumunu genel olarak değerlendirerek tekstil endüstrisi hakkında bilgi vermiş ve tekstildeki iplik işletmeleri, dokuma-örme işletmeleri ve terbiye işletmelerindeki maliyet unsurlarını ele almıştır. Kaplan'a göre tekstil işletmelerinde en çok elektrik enerjisi tüketilmektedir. Düşük enerji harcayan veya düşük sıcaklıkta aynı sonucu veren proseslerin seçilmesi, uygun klima şartları ve atık su veya kurutma sonrası ısının geri kazanımı ile enerji tasarrufu sağlanabileceğini belirtmiştir.

Öcal (2006), tekstil boyahanelerindeki madde ve enerji tüketimlerini incelemiş, bununla ilgili bir maliyet analizi hazırlamıştır. Enerji yönetim programıyla maliyetin azaltılması gerektiğini belirtmiştir. Ramöz atık havasını yıkama kulesinde kullanarak elde edilebilecek ısı geri kazanımıyla işletme suyunun ne kadar ısıtılacağını Karaaslan (2006) çalışmasında değerlendirmiştir. Oğulata ve arkadaşları (1999) tekstil sektöründe kullanılan taşıma bantlı radyo frekanslı ve ramoz kurutma makinalarını incelemişlerdir.

Koç ve Kaplan (2007), tekstil terbiye işletmelerinde enerji kullanım yerleri ve düzeylerinin genel bir değerlendirmesi ile birlikte, Mersin ve Denizli illerinde seçtikleri iki

tekstil terbiye işletmesi için karşılaştırmalar yapmışlardır. Bu işletmelerde yer alan makine çeşitleri ve sayılarını, aylar bazında bir yıllık üretim miktarı ve kaynağına göre tüketilen enerji miktarlarını ve birim kumaş miktarı için enerji kullanımını tablolar halinde sunmuşlardır. Elektrik, ısı ve toplam enerji için yaptıkları varyans analizine göre bu enerji tüketiminde işletme türünün etkin olduğu, tüketimin hangi ayda gerçekleştiğinin etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır. Bursa'daki bir tekstil fabrikası boyahanesinde kullanılan plakalı ısı eşanjörü yerine ısı pompası kullanılması durumunda her iki sistemin ekonomik analizini, ilk yatırım maliyetini, yıllık enerji tasarrufu ve geri ödeme sürelerini Yamankaradeniz ve arkadaşları (2007) yaptıkları çalışmada karşılaştırmışlardır. Plakalı eşanjörün ısı pompasına göre ilk yatırım maliyeti ve geri ödeme süresinin daha düşük, yıllık enerji tasarrufunun ise daha yüksek olması nedeniyle yüksek sıcaklıklarda plakalı eşanjör kullanımının daha uygun olduğunu görmüşlerdir.

Çınar (2008), çalışmasında altı tekstil fabrikası için enerji yönetimi ve enerji verimlilik analizleri yapmıştır. Her işletme için kullanılan enerji çeşitleri ve miktarları, kullanılan makineler ve kazanlar, iş ve enerji akış şemaları verilerek baca gazı analizleri de yapılmış ve elde edilebilecek enerji tasarrufları üzerinde durulmuştur. Önsöz (2008) yaptığı çalışmada tekstil sektöründe enerji verimliliğini araştırarak verimli motor sistemlerini incelemiş, hız kontrol cihazları ile elde edilebilecek enerji tasarrufu üzerinde durmuştur.

Ünlü (2009), sanayide enerji tasarrufu çalışmalarının önemini vurgulayarak buhar kullanan işletmelerde buharın üretilmesi, dağıtılması ve tüketimi ile olan kayıplar hakkında bilgi vermiştir. Ayrıca ülkemizde faaliyet gösteren bir kimya şirketinde atık baca gazı ısısından, bir tekstil firmasındaki buhar kazanı otomasyonundan, bir oteldeki kazan dairesindeki flaş buhar geri kazanım sisteminden, gıda işletmesindeki proses fırınlarının bacalarından atılan gazlardan, ambalaj sektörü işletmesindeki baca gazı analizinden, tekstil sektöründe buhar dağıtım hatlarının izolasyonu, gıda üretim işletmesinde kazan teşhis ve tanı sisteminin uygulanmasıyla ve tekstil firmasının boyahanesinde atık boyalı sudan geri kazanım sistemi ile enerji tasarrufu uygulama örneklerini vererek bunlardan elde edilecek toplam tasarruf miktarlarını ve yatırım amortismanlarını hesaplamıştır. Pulat ve arkadaşları (2009) Bursa'da tekstil sanayiinde boya işleminden elde edilen atık ısı geri kazanım potansiyelini değerlendirmişlerdir. Atık ısı geri kazanım sistemlerinin etkili çalışma koşullarının optimize edilmesi ve tanımlanması için termodinamik ve ekonomik analizler yapmışlardır. Sistem performansını etkileyen atık su giriş sıcaklığı, kütle akış hızı, soğutma suyu giriş basıncı gibi parametrelerinin değişimleri incelenmiştir. Atık su kütle akış hızının artmasıyla ekserji yıkım oranı ve ekonomik karın arttığını, atık su giriş sıcaklığı arttıkça ikinci yasa verimliliğinin azaldığını görmüşlerdir.

Uçak (2010) kurutma, apre ve fikse amaçları için konveksiyon kurutma metodunu kullanan bir ramöz makinasında farklı kumaşlar ile deneysel çalışmalar yapmış ve kalite şartlarının devamı için sistemin düzenli çalışması gerektiği sonucuna varmıştır. Bir tekstil fabrikasında atık ısı geri kazanımı için plakalı ısı değiştiricisi uygulaması yapan Koçlu (2011), sistemdeki enerji geri kazanımının maliyet analizlerini yaparak mevcut sistemle karşılaştırmıştır. Yılmaz (2012) doktora çalışmasında Türkiye’de enerji tüketimini sektörel olarak incelemiş ve analizler sonucunda Türkiye’de birincil enerji tüketiminin üretimdeki değişiklikler ile doğru orantılı etkilendiğini yani artan üretimin birincil enerji tüketimini arttırdığını tespit etmiştir. Buna göre, Türkiye’de temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı arttırılmalı, verimlilik bilinci geliştirilerek verimlilik arttırıcı teknolojiler uygulanmalı ve kayıp-kaçakların azaltılması için gerekli önlemler alınması sonucuna varmıştır.

Tekstil işletmelerinde kullanılan tambur tipi kurutma makinasındaki ısı geri kazanımı Devay (2010) tarafından Sakarya’daki bir tekstil işletmesinden elde edilen verilerle ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, önerilen ısı geri kazanım cihazının kullanılmasıyla sistemde %34’lük enerji tasarrufu olacağı hesaplanmıştır.

Elahee (2010), Afrika Mauritian bölgesindeki tekstil boyama ve terbiye işletmelerindeki atık su ve egzoz havasından ısı geri kazanımı uygulamalarını araştırmıştır. Çoğu durumlarda ısı geri kazanımı için yapılan yatırımların düşük maliyetli ve geri ödeme süresinin 2 yıldan daha az olduğunu tespit etmiştir. Tekstil sektörü boyama prosesinde plakalı ısı değiştiricilerle atık ısı geri kazanım sisteminin enerji ve ekserji analizini Kandilli ve Koçlu [14] Uşak’ta bir tekstil firması için yapmışlardır. Kurdukları sistemde karşı akışlı plakalı ısı değiştirici kullanarak atık ısı ve temiz su kaynaklarının farklı debilerdeki değerleri için sıcaklıkları ölçülerek sistemin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda atık sıcak akışkanın kütleli debisinin arttıkça ısı değiştiricisinin 2. Yasa veriminin azaldığını, tersinmezlik ve etkinliğinin arttığını görmüşler ayrıca optimum akışkan debilerini ve optimum sıcaklık değerlerini bulmuşlardır.

Hasanbeigi ve Price (2012), tekstil endüstrisinde enerji kullanımı ve bu sektörde geçerli enerji verimliliği teknolojileri hakkında bilgi vermişlerdir. Yaptıkları çalışmada farklı ülkelerdeki tekstil fabrikalarını inceleyerek tekstil endüstrisine uygulanabilir 184 enerji verimlilik ölçütü tanımlayarak, mümkün olan durumlar için enerji kazanımlarını ve maliyetlerini, bükme, dokuma, boyama-baskı ve yapay elyaf üretimi gibi enerjinin büyük bir kısmının tüketildiği ana tekstil proseslerindeki enerji verimliliğini arttırmak için alınabilecek önlemler üzerinde durmuşlardır. Bu çalışma tekstil endüstrisi için çok fazla sayıda enerji

verimlilik ölçütü olduğunu ve birçoğunun basit geri ödeme süresi olduğunu göstermiştir. Yine bir tekstil fabrikasında makine ve proses bazında enerji kayıplarını inceleyen Öztürk (2012) yatırım ve amortisman süresini göz önüne alarak izolasyon çalışmaları, kondens geri dönüş miktarının artırılması, flaş buharları ve blöf suları ısılarının değerlendirilmesiyle, ram makinaları, hava kompresörleri ve hava fanlarından geri kazanabilecek enerji miktarlarını hesaplamıştır.

Sherin ve Prince (2013), Hindistan'daki tekstil endüstrisindeki atık ısı kullanımını, buhar kazanı, yoğuşma suyu ve atık sudan elde edilen kazanım şeklinde ayırarak tekstil fabrikalarında buhar kullanımındaki teknolojileri incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda kazanların geliştirilmesi, yoğuşma ve atık su geri kazanımı ve besleme suyu yönetimiyle enerji kayıplarını en aza indirerek tekstil sektöründeki ısıl sistemlerin performanslarının iyileşeceğini görmüşlerdir. Hasanbeigi ve Price (2015) yaptıkları diğer bir çalışmada tekstil endüstrisinde enerji ve su kirliliği ile kirlilik azaltılması için gelişen teknolojilerin teknik değerlendirmesini ele almışlardır. Tekstil endüstrisinin enerji kullanımını ve çevresel emisyonları azaltmak için enerji tasarrufu, maliyet, ticarileştirme durumu ve 18 yeni teknolojiye ilişkin referanslar hakkındaki mevcut bilgileri derlemişlerdir.

Akdaş ve Ömür (2016), yaptıkları çalışmada sanayide tesisat yalıtımı yapılırken göz önünde bulundurulması gereken unsurları sıralayarak yönetmeliğe göre bunların seçiminde aranan temel özellikleri tanımlamışlardır. Yalıtımlı ve yalıtımsız durumlar için hesaplamalar yapılarak nerede ve nasıl enerji tasarrufu sağlanabileceğini değerlendirmişlerdir.

Kılınç (2016), sanayide fırın bacasındaki atık ısıyı, ısı değiştirici kullanarak geri kazanımla elde edilecek enerjinin soğutma ve ısıtma sistemlerinde değerlendirilmesini hesaplamışlardır. Hesaplamalarında bir demir çelik işletmesindeki verileri kullanmışlardır. Isı değiştiriciler sayesinde atık baca gazı ısıyla mahallin ısıtılabilceğini ve sıcak su ihtiyacının karşılanabileceğini göstermişlerdir.

Rakib ve arkadaşları (2017), atık ısı kullanımını en aza indirebilecek sürdürülebilir teknolojileri araştırarak Bangladeş tekstil sektöründe enerji tüketimini incelemişlerdir. Çalışmada tekstil endüstrisinin yoğun olduğu bölgelerden rastgele yedi işletme seçilmiştir. Atık ısı geri kazanım tahminleri için jeneratör egzoz gazı, kazanlar için ekonomizer, boyalı atık sudan ısı ekstrasyonu, buhar yoğuşması geri kazanımı, ramöz egzozundan atık ısı kazanımı ve geri ödeme süresine bakmışlardır. Söz konusu atık ısı kazanım teknolojilerinin performans testleri ve tasarımlarının atık ısı geri kazanımında oldukça etkili olduğu ve uygulanmasının daha

az karmaşık olduğu ortaya çıkmıştır. Tekstil endüstrileri için kısa geri ödeme süresi ve ekonomik olması nedeniyle kolaylıkla uygulanabileceğini önermişlerdir.

Fiaschi ve arkadaşları (2017), endüstriyel tekstil kurutma makinasının (Ramöz) düşük sıcaklıktaki egzoz ısı geri kazanım ağının iyileştirilmesini sunmuşlardır. Isı geri kazanım sistemi, genel performans iyileştirmesinin ardından yeniden tasarlanmıştır. Yeni ısı değiştiricilerin tasarımıyla egzozlardan ısı geri kazanımı yaklaşık %180 arttığını gözlemlemişlerdir.

Benzer bir çalışma ile Kabakçı (2011), tekstil sektöründe işletmelerin minimum tasarruf potansiyellerini belirlemeye çalışmıştır. Kabakçı bu çalışmasında, 37 tekstil firmasıyla enerji verimliliği ile ilgili anket çalışması yaparak minimum tasarruf potansiyellerini değerlendirmiştir. Elektrik enerjisi kullanan sistemlerde yapılabilecek tasarrufu ve ısı enerjisi kullanan ekipmanlar için verimlilik çalışmalarını maddeler halinde sıralamıştır. Anket sonuçlarına göre aynı alandaki işletmelerde enerji yoğunluğu değerlerinde çok büyük farklar görülmüş, bu değerlerin referans değerlerine ulaşmasıyla %0,96-%21,67 arasında değişen tasarruf elde edilebileceğini göstermiştir.

Tekstil sektöründe enerji tüketimi, sanayide enerji tüketimi ile üretimi arasındaki ilişkiyi inceleyen Demirbaş (2014) çalışmasını ölçümler ve analizler yaparak değerlendirmiştir. Enerji tasarrufu için kumaş boyama makinası, kumaş kurutma makinası, atık sulardan enerji geri kazanımını ayrıntılı bir şekilde inceleyerek yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgar enerjisinin kullanılmasının işletmeye katkısını göstermiştir.

Gelir (2017), tekstil sektöründe terbiye bölümündeki ramöz makinelerinden ısı geri kazanımını araştırmıştır. Termodinamik analizi yapılan ramöz makinası için ısı geri kazanım eşanjörü tasarımı yapılarak ısı geri kazanım öncesi ve sonrası için yakıt tüketim değerleri karşılaştırılmıştır. Isı geri kazanım eşanjörünün kullanılmasıyla yakıt tüketiminde %21,6'lık bir tasarruf sağlandığı görülmüştür.

Çay (2009), Kızgın yağla Isıtmalı ramözde (KYIR) ekserji tahribinin büyük bir bölümünün kızgın yağ kazanında ortaya çıktığını gözlemlemiştir. Direkt doğal gaz ısıtmalı ramözde (DGIR) bu kayıplar ram bacalarından çıkan atık hava nedeniyle oluşurken, kızgın yağ ısıtmalı ramözde hem baca atık havasından hem de kızgın yağ kazanının bacasından atılan baca gazı kayıplarından oluştuğunu tespit etmiştir. KYIR ile DGIR toplam sistem ekserji verimleri karşılaştırılmaktadır. Buna göre, Çay (2009) yaptığı çalışmasında, KYIR sisteminde yakıtın ayrı bir kazanda yakıldığı ve yakıt enerjisinin bir kısmının yanma gazlarıyla, kazan yüzeyinden ve

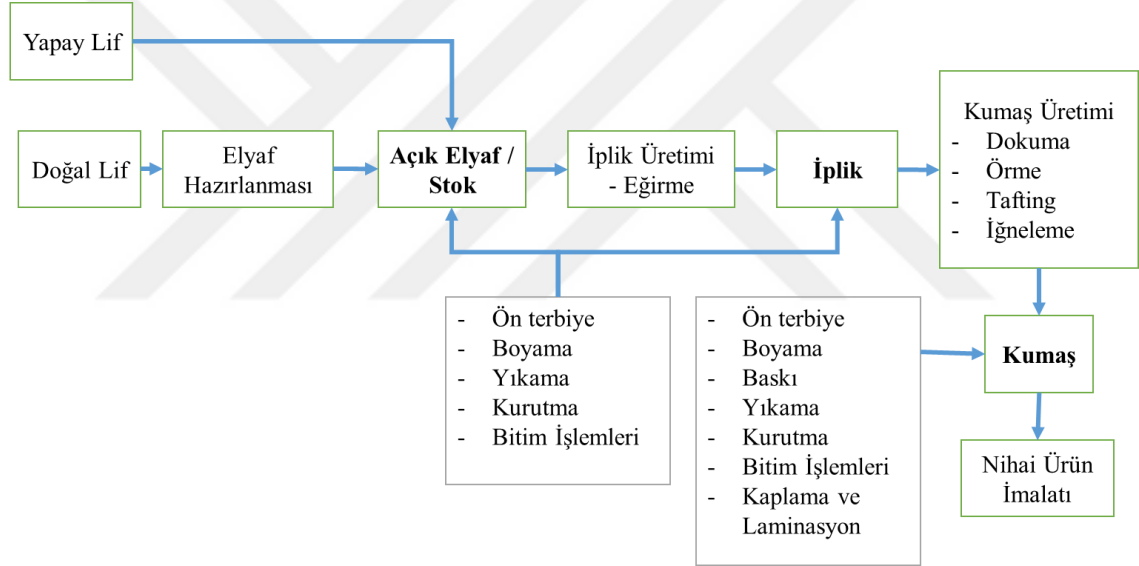
boru hattından ısı transferiyle kaybedildiğini, yakıt enerjisinin, kızgın yağa, ardından kızgın yağın enerjisinin kurutma havasına iletilmesinin enerji kayıplarına sebep olduğunu belirleyip, KYIR'nin ekserji veriminin daha düşük olduğu sonucunu bulmuştur.



3. TEKSTİL TERBİYE PROSESLERİ

Bu bölümde ayrıntılı olarak “terbiye işlemleri” şeklinde nitelendirilen işlemler (yıkama ve kurutmalar dahil, ön terbiye, boyama, baskı, bitim işlemleri ve kaplamalar) anlatılacaktır. Genel tanımlamaları Şekil 3.1’de gruplar halinde verilmiştir. Şekil 3.1’den görüldüğü gibi, tekstil terbiye işlemleri üretim zincirinin farklı basamaklarında gerçekleştirilmektedir.

“Tekstil terbiyesi” bir standart işlemler dizisi olarak tanımlanamaz; bu tanım daha ziyade nihai kullanıcının gereksinimlerine bağlı olarak, tekstil ürünlerinin üretilmesi sırasında uygulanabilen birim işlemlerin kombinasyonudur. Bu nedenle terbiye işlemleri, uygulanabilecek işlem sırası dikkate alınmadan, birim işlemler şeklinde tanımlanır.



Şekil 3.1. Tekstil terbiye işlemlerinin genel sınıflandırması.

Ham tekstil yüzeylerini ağartma, NaOH verme (kostik verme-merserizasyon), boyama, kimyasal ve fiziksel apre gibi işlemlerden geçirilerek kullanılacağı yere uygun tuşe (tutum), renk, parlaklık, çekmezlik, buruşmazlık, keçeleşmeme (antipiling), tutuşmazlık, anti bakteriyel, anti statik, leke tutmama gibi özellikler kazandırılır. Bu süreçteki işlemler ağırlıklı olarak kimyasal işlemlerdir.

Terbiye işlemi kumaşa katma değer katan önemli bir üretim aşamasıdır. 962000 ton (İstanbul sanayi odası-Tekstil imalat sanayi 2014) üretim ile Avrupa'nın en büyük üretimine sahip Türk tekstil terbiye sanayisi özellikle orta kaliteye sahip ürünlerin üretiminde çok geniş bir tecrübeye sahiptir. Tekstil terbiye alt sektöründe Türkiye Avrupa'nın en büyük Dünya'nın

Çin ve Hindistan'dan sonra en büyük üçüncü üretim kapasitesine sahiptir. (İstanbul sanayi odası-Tekstil imalat sanayi İstanbul Sanayi Odası Meslek Komiteleri Sektör Stratejileri Geliştirilmesi Projesi).

Tekstil terbiye sektörü sermayesi yoğun bir sektör olmakla birlikte iş gücü, enerji, kimyasal, lojistik maliyetleri de rekabet koşullarını belirleyen temel etkenler arasındadır. İç piyasada rekabet şartlarında yarışabilmek için rakip firmaların tüketim seviyelerine inmek yada üretim fiyatlarını yükseltip bu şartlarda müşterilere hizmet verebilmek için çok çeşitli pazarlama yöntemleri geliştirmek gerekmektedir. Tüketim miktarlarını azaltma durumu için işçi giderleri ve lojistikte asgari şartlar değiştirilerek istenen durum sağlanabilir ancak bu durum kaliteyi, dolayısıyla müşteri memnuniyetini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu yüzden tüketim kalemlerinde verimlilik sağlanabilecek en uygun iki parametre söz konusudur: Bunlar, kimyasallar ve enerjidir. Kimyasallara kısaca değinmek gerekirse merserizasyon işleminde kostiğin geri kazanılması rekabet şartlarına uyum sağlamak için olmazsa olmazlardan önemli bir parametredir. Kimyasal kullanımlarında çalışanın kimyasalı taşıma devrine son verilip otomasyonla veya basit taşıyıcı hatlar kurulup pompalar vasıtasıyla ilave kaplara yada fular teknelerine taşınmalı aksi taktirde hem zaman kaybına hem de çalışanların dikkatsizliğinden kaynaklı dökülmeler neticesinde maddi kayıplara sebep olabilmektedir. Mutlaka kimyasal taşıma işlemleri çalışanların yükü olmaktan çıkartılmalı imkanlar el veriyorsa otomasyon sistemi kurulmalıdır.

İkinci unsur ise enerji olup bu tezin kapsamında ayrıntılı olarak incelenecektir. Tekstil sektöründe enerjinin kullanımı tam anlaşılamadığı için üretimdeki maliyetleri faturalardaki fiyatlara göre değerlendirilmektedir. Üretim raporlarındaki birim maliyetlerdeki yanlış hesaplamalar müşteriye yanlış fiyat verilmesine, bu da işletmelerin zarar etmesine hatta kapanması gibi vahim sonuçlara sebep olabilmektedir.

3.1. Terbiye Maddesinin Tekstil Mamülüne Aktarılması (Aplikasyon)

Boyahanelerde, baskı bir kenara bırakılırsa ham mamüle ön terbiye, boya ve bitim işlemleri uygulanarak ürün haline getirilir. Bu işlemlerde sulu flottede bulunan terbiye maddesinin tekstil mamülüne aplikasyonu genellikle:

- a) Uzun flottede çektirme
- b) Emdirme
- c) Aktarma

- d) Sürme
- e) Püskürtme
- f) Köpükle aplikasyon

yöntemleriyle sağlanmaktadır. Bu yöntemlerin uygulanış şekillerinde, uygulanma miktarlarında değişimler olabilmektedir. Bu gelişmeler, bir taraftan üretimi hızlandırma, el emeği ihtiyacını azaltma, kaliteyi geliştirme amaçlarına yönelik iken diğer taraftan da az enerji, su ve kimyasal madde tüketmeye yöneliktir (Tarakçıoğlu, 1979).

- a) Uzun Flottede Çektirme:

Ön terbiye ve boyama işlemlerinde en fazla uygulanan yöntem olan çekirme yönteminde;

- su tüketiminin fazla olması
- enerji tüketiminin fazla olması
- insan gücü ihtiyacının fazla olması
- üretim hızının düşük olması

gibi nedenlerden dolayı bu yöntemin önemi son yıllarda azalmış olup; açık elyaf, iplik, trikotaj ve bitmiş parçaların terbiyesinde en fazla uygulanan yöntemdir. Çektirme yönteminde genellikle mamül, terbiye banyosu içerisine konulmakta ve işlem sırasında ya mamül hareket ettirilmekte (haspel, jigger, çile boyama makinesinde olduğu gibi) veya flotte hareket ettirilmektedir (yapak, çile, bobin ve kumaş boyamada olduğu gibi). Son yıllarda ise hem kumaşın hem de flottenin hareket ettirildiği cihazların kullanımı artmıştır. Bu cihazlarda kumaş ve flottenin yoğun ve daha sık bir şekilde teması sağlanabildiğinden hem daha kısa flotte oranlarında çalışılabilmekte hem de işlem süresi kısalmaktadır.

- Olabilecek minimum derecede kısa flotte oranında çalışmanın:

- su tasarrufu
- enerji tasarrufu
- boyar madde tasarrufu
- kimyasal madde tasarrufu
- daha kısa doldurma, ısıtma ve boşaltma sürelerinden dolayı zaman tasarrufu

sağlama gibi avantajları vardır. Bunun yanında tabii ki bir takım dezavantajları da bulunmaktadır.

b) Emdirme:

Eğer tekstil mamülleri kısa flotte oranındaki bir banyo içerisinde kısa süre içerisinde geçirilir ve sıkılırsa bu aplikasyon işlemine emdirme (empregnasyon) denir. Emdirme için kullanılan en basit ve yaygın makine fulardır. Fulardın esasını, içerisinde flottenin bulunduğu bir tekne ile iki veya daha fazla sıkma merdanesi oluşturur. Tekne şekline, merdane sayısına ve yerleştiriliş şekline göre çok değişik fulard türleri vardır. Boyacılıkta genellikle küçük tekneli, ön terbiye ve bitim işlemlerinde ise daha büyük tekneli fulardlar tercih edilmektedir.

c) Aktarma:

Özel fulardlarda yapılan bu aplikasyon yönteminde genellikle kumaşın kendisi flotteye daldırılmaz. Terbiye maddesini içeren flotte, içerisinde dönen bir merdane tarafından alınır ve kumaşın alt yüzüne aktarılır. Aktarma merdanesi veya kumaş üzerindeki flotte fazlası rakle adı verilen bıçaklar yardımıyla sıyrılarak uzaklaştırılır. Bu yöntem yüksek viskoziteli flottelerle uygulanabilmektedir.

d) Sürme (Kaplama):

Viskozitesi yüksek olan terbiye flotteleri, kumaşın bir yüzüne doğrudan sürülebilirler. Bu şekilde aplikasyon sonucu yüksek miktarda terbiye maddesi mamül yüzeyine aktarılabilir.

e) Püskürtme:

Bazı çok hassas kumaşların bitim işlemlerinde terbiye maddesinin aplikasyonunda kullanılan yöntemdir.

f) Köpükle Aplikasyon:

Sulu flotteler yerine köpüklü flottelerin kullanıldığı yöntemdir. Sıvı olarak normal aplikasyon yöntemlerinde kullanılan sulu flotteler, gaz olarak da hava kullanılmaktadır.

3.2. Yıkama İşlemleri

Terbiye dairelerinde en fazla su ve enerjinin tüketildiği işlemler arasında yıkama ve durulamalar gelmektedir. Yıkama prosesinde yıkama makinesindeki su sabit bir sıcaklıkta kalması gerektiğinden dışarıdan ısı verilmesi gerekmektedir. Bitim işlemlerinin büyük bir kısmı

dışında hemen hemen bütün ön terbiye, boya veya baskı işlemleri sonunda bir sonraki işleme geçilmeden önce, hatta bazen işlem arasında bile yıkama veya durulama yapılaması gerekmektedir. Yani yıkama ve durulamaların çoğunluğu yaş terbiye işlemi sırasında liflere fikse olmayan, tepkimeye girmeyen boyar madde ve diğer terbiye maddeleriyle, işlem sırasında istenen tepkimelerin meydana gelmesini sağlayan, kolaylaştıran kimyasal maddeleri tekstil mamülünden uzaklaştırmak için yapılır. Bunun dışında liflerin içerisinde veya üzerinde bulunan yabancı maddeleri uzaklaştırmak için yapılan yıkamalar da vardır. Yıkamanın üç adımda meydana geldiği kabul edilebilir:

1. Liflerin ıslanması ve suda çözülmeyen yabancı maddelerin de suyla mamülden uzaklaşabilecek duruma gelmeleri,
2. Yabancı maddelerin mamülden yıkama flottesine geçmesi,
3. Yıkama flottesine geçmiş yabancı maddelerin mamülden uzaklaştırılmaları

3.3. Kurutma İşlemleri

Yaş bir işleme tabi tutulmuş veya yıkanmış bir tekstil mamülü, banyodan hiç sıkmadan çıkarıldığında üzerinde ağırlığının %150-700'ü kadar su kalmaktadır. Tekstil mamülündeki suyun tamamen uzaklaştırılabilmesi için ısı enerjisi kullanılması gerekmektedir. Fakat enerji maliyetlerini en aza indirmek için su öncelikle mekanik yöntemlerle uzaklaştırılır. Enerji tasarrufunun ilk adımını uygulamak için suyun tekstil mamülüyle etkileşimini belirlemek gerekir.

Suyun hepsi aynı durumda bulunmayıp bulunduğu yere ve tekstil mamülüyle arasındaki bağa göre şu ayırım yapılabilir:

- Damlayan su: Liflere hiçbir şekilde bağlı olmayan su kısmıdır. Bu su mekanik yollarla uzaklaştırılabilir.

- Yüzey suyu: İpliklerin yüzeyine adhezyon kuvvetleriyle bağlı olan yüzey suyu, yoğun mekanik kuvvetlerle uzaklaştırılabilir.

- Kapılar suyu: İpliklerin içerisinde liflerin yüzeyine adhezyon kuvvetleriyle bağlıdır. Ön kurutma ile uzaklaştırılabilir.

- Şişme suyu: Lif moleküllerine dipol kuvvetleriyle bağlı olan bu su, mekanik kuvvetlerle uzaklaştırılmaz. Ancak ısı enerjisi yardımıyla uzaklaştırılabilir.

- Kristal suyu (higroskopik nem): Şişme suyu gibi liflerin içerisinde miseller arasında bulunan su, normal kuru bir tekstil mamülünde bulunması gereken nemdir. Bu nedenle, iyi bir kurutmanın sonunda bu su kısmının liflerde kalması sağlanmalıdır. Tekstil mamüllerinin kurutulmaları sırasında unutulmaması gereken önemli bir nokta, suyun ısı enerjisi yardımıyla uzaklaştırılmasının, mekanik kuvvetler yardımıyla uzaklaştırılmasından çok daha pahalı olduğudur. Bu nedenle suyun mümkün olan kısmı mekanik yolla uzaklaştırılmalı ve bu şekilde uzaklaştırılmayan kısım için ısı enerjisi kullanılmalıdır.

a) Ön Kurutma:

-sıkma

-santrifüjleme

-emme veya püskürtme

yöntemlerine göre yapılmaktadır. Çok etkili bir ön kurutma yöntemi olan santrifüjleme halat halindeki kumaşlara uygulanmaktadır. Sıkma ise özellikle açık en kumaşlarda uygulanmaktadır.

b) Esas Kurutma:

Mekaniksel kuvvetlerle yapılan ön kurutmadan ayırt edebilmek için ısı enerjisi ile yapılan kurutmalara esas kurutma denir. Terbiye dairelerinde en fazla enerji tüketilen işlemlerden birisi de, bu esas kurutmalar ile benzeri makinelerde yapılan termofiksaj, kondensasyon ve termosolleme işlemleridir.

Isı enerjisiyle yapılan kurutmalarda beş temel prensip uygulanmaktadır:

- 1) Konveksiyon kurutma: Genellikle gaz halindeki bir maddedeki (örneğin havadaki) ısının, bu gazın kurutulacak olan mamüle değerek geçmesi sırasında mamüle, mamüldeki su buharının da kurutma gazına transferi şeklinde gerçekleşmektedir.
- 2) Kontakt kurutma: Maddelerin birbirine değmesi sonucu, ısının, sıcak maddeden daha soğuk olan maddeye transferi ile olur. Bu kurutmada esas, yaş tekstil mamülünü ısıtılmış silindir veya levhalara değdirerek, suyun buharlaşıp uzaklaşmasını sağlamaktır. Bu prensibe göre çalışan kurutucular içerisinde en fazla kullanılanı barabanlardır.
- 3) Işınlama (radyasyon) ile kurutma: Isının, elektromanyetik dalgalar halinde, daha sıcak olan maddeden daha soğuk olan maddeye transferi ile gerçekleşmektedir.
- 4) Yüksek frekansla/Mikro Dalgalarla Kurutma: Yüksek frekanslı alternatif akım alanında kalan su moleküllerinin sürekli olarak yerleşim şekillerinin değişmesi

sırasındaki sürtünmeyle kurutulacak olan malın içerisinde ısı açığa çıkması (elektrik enerjisinin kinetik, kinetik enerjinin ısı enerjisine dönüşmesi) Şeklinde gerçekleşmektedir.

- 5) Yakarak Kurutma: Uzaklaştırılacak sıvının bir kısmının yanıcı olması halinde, bunun buharlarının yakılmasıyla doğrudan kurutulacak malın çevresinde ısı açığa çıkması Şeklinde olmaktadır.



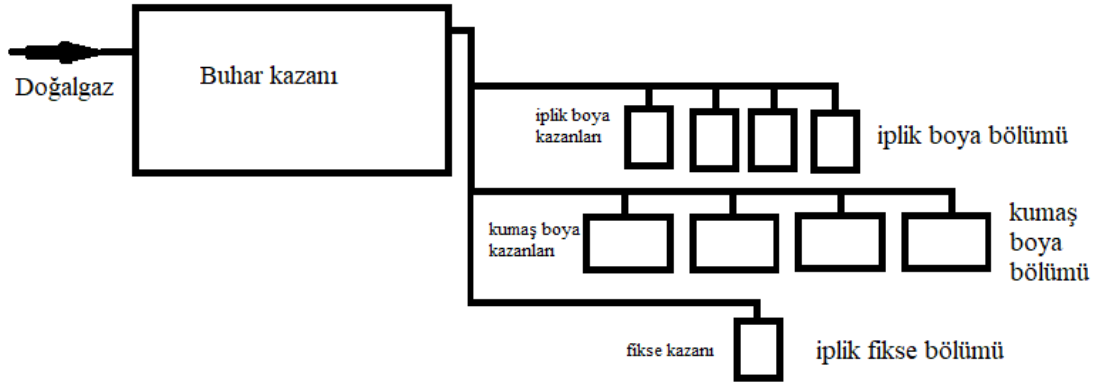
4. TEKSTİL TERBİYE İŞLEMLERİNDE ENERJİ

Bölüm 3’de anlatılan tekstil terbiye işlemlerin hemen hepsinde ısı, mekanik veya yanma şeklinde, enerji kullanımı gerekmektedir. Aşağıda tekstil terbiye sektöründe enerjinin kullanımına yönelik birkaç örnek verilmiştir.

4.1. Tekstil Terbiye Fabrikalarında Enerji Tüketimi Örnekleri

Boya jetlerinde kumaşın boyanması için kazan içine alınan proses suyunun 130 C sıcaklıklarına kadar ısıtılması gerekmektedir. Isıtma işlemi için enerjiye ihtiyaç vardır. Bunun için direkt elektrik kullanılabilir, fakat elektrikle buhar üretmek pahalı bir yöntem olmasından dolayı ısıtma işlemi genellikle merkezi kazandan üretilen buharla yapılmaktadır. Buhar üretmek için buhar kazanına ve kazanın buharı üretmesi için de fosil yakıtlara, elektrik enerjisi ile çalışan pompalara ve brülöre ihtiyacı vardır. Kazanda üretilen buharın kalitesi için iyonize edilmiş ve CaCO_3 ’dan arındırılmış su gereklidir. Bunların hepsi bir araya geldiğinde fosil yakıtın (doğalgaz, kömür fuel oil vb.) yanma reaksiyonu ile enerjisini suya aktararak buhar haline gelmesi sağlanır. Buhar basınç farkıyla ilerleyerek ısıtma yapacağı bölüme kadar gelir geldiği noktada vana engeli ile karşılaşır. Vanayı açıp kapatacak bir kontrol sistemi gerekir. Genelde bu kontrolör PLC sistemleri üzerinden otomatik gerçekleşir. PLC’ nin açma ve kapama komutları elektriksel bir gerilim veya akım ile gerçekleşir. Yine elektrik enerjisi ile kompresör yani basınçlı hava üreten sistemlerden gelen basınçlı havanın vanaya ulaşması sağlanır. Devamında vananın çalışması ile buhar vanadan geçerek harici bir eşanjörden geçirilerek boya kazanındaki proses suyunun ısıtılması sağlanır.

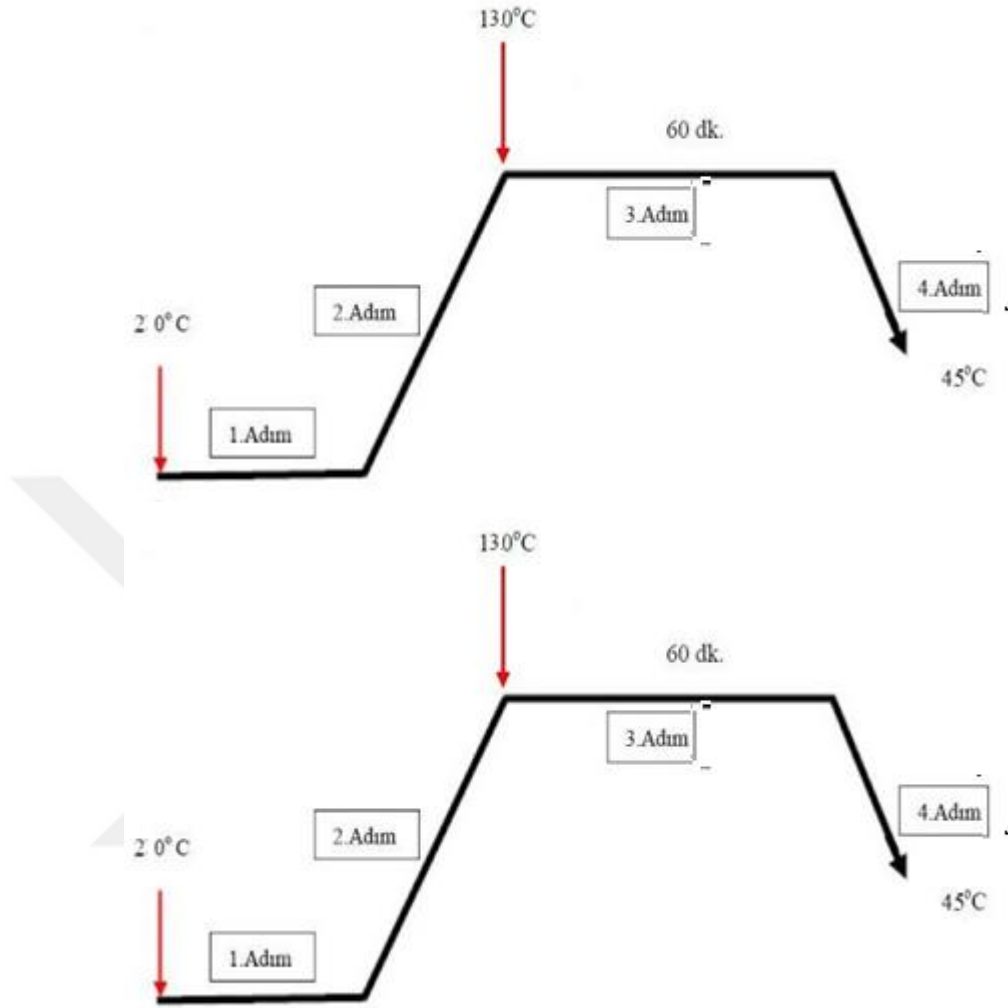
Tekstil terbiye fabrikalarında enerji kullanımının genel anlatımı olarak, doğalgazlı bir buhar kazanı ve beslediği proses kazanlarının şematik gösterimi de Şekil 4.1’de verilmiştir. Buradan görüldüğü üzere, merkezi kazanın ve diğer beslediği kazanların ısı yüklerinin ve sürekliliğinin sağlanması, enerjinin korunumunu gerektirir.



Şekil 4.1. Tekstil terbiye fabrikalarında buhar kazanının kullanıldığı alanlar.

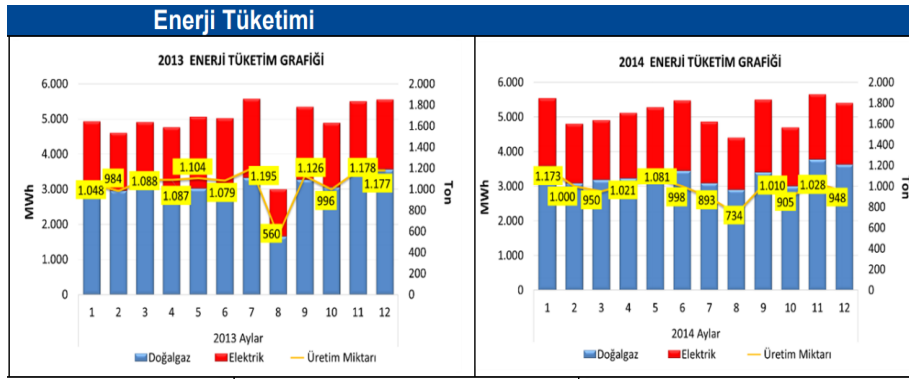
Yukarıda anlatılan kazan çalışması ve enerji tüketiminde, kazan veriminin düşmesi önemli bir husus olup, kazanın gereğinden daha fazla aşırı hava değerlerinde çalıştırılması kazan veriminin düşmesine neden olur. Eğer yanma kontrol sistemi uygun ve gerektiği şekilde çalışmıyorsa; yakıt/hava oranının, yük değişiklikleri veya anormal şartlar için aşırı duruma gelmemesini temin etmek üzere hava akışını artırma eğilimi vardır. Eğer yakıt/hava oranı çok yüksekse ki bu yanma havası eksikliği var demektir-, kazanın verimsiz çalışmasına yol açabilecek istikrarsız yanma şartlarını oluşturur. Uygun ve gerektiği gibi çalışan bir yanma kontrol sistemi, yük değişiklikleri sırasında uygun yanma sürdürülebilir bir şekilde devam ederken, izin verilebilir en düşük aşırı hava seviyesinde çalışmaya imkan sağlar. Tipik olarak fazla havanın yüzde 20'den yüzde 10'a düşüşü, yanma verimini yüzde 1,5 kadar artırmaktadır. Besleme suyu (proses suyu) ve kazan suyu kalitesinin doğru şekilde kontrol edilmesi ve bakımı, kondens dönüşünün en üst seviyeye çıkarılması ve yük kaymalarının düzeltilmesi, kayıpları en aza indirgeyecektir. Blöf ısı geri kazanım sistemlerinin uygulanması, enerji kayıplarının kontrol edilmesine yardımcı olacaktır.

Örneğin Şekil 4.2'de normal çalışma şartlarında bir boya kazanı için gerekli sıcaklık ve zaman değişim grafiği verilmiştir. Burada, kazanda 20 °C de alınan proses suyu üç ya da dört saat içerisinde 130 °C' lik sıcaklığa ulaşmakta ve yaklaşık 1 saat boyunca 130 °C sabit sıcaklıkta kaldıktan sonra, tekrar üç saat içerisinde 45°C'lik sıcaklığa düşmektedir. İfade edilen sıcaklık değişimi Şekil 4.2'de sıcaklık-zaman durum değerlendirmesinden görülmektedir.



Şekil 4.2. Boya kazanının normal çalışma şartlarındaki sıcaklık-zaman değişimi.

Yine bir entegre tekstil terbiye fabrikasının geçmiş yıllara ait enerji tüketim grafikleri aşağıda Şekil 4.3'de verilmiştir. Elektrik ve doğalgaz tüketim grafikleri incelendiğinde, doğalgazla tüketilen enerjinin elektrik tüketimine göre daha fazla olduğu ve enerji tüketim ortalamasının bir önceki yıla göre arttığı görülür. Enerji tüketimleri grafikten de anlaşılacağı üzere yıldan yıla artış göstermektedir.



Şekil 4.3. Bir entegre tekstil terbiye fabrikasının geçmiş yıllardaki elektrik-doğalgaz tüketim grafikleri.

Tekstil terbiye fabrikalarında kumaşların kurutulmasında kullanılan ramöz makinelerinde hem elektrik hem de ısı enerjisi tüketilmektedir. Şekil 4.4'te bir örneği gösterilen ramözler, kumaşların ramöz kabinlerinden geçirilmesi ve bu aşamada kumaşa sıcak havanın alt ve üst düzelerden üflenerek kumaş üzerinde bulunan nemin taşınımıyla ısı transferi yardımıyla uzaklaştırılmasını sağlayan bir sistemdir. Ramöz makinelerinde yaygın olarak iki ısıtma sistemi kullanılır.

Birinci tip ramöz makinalarında, kurutma havası direkt doğalgaz hattına bağlı yakıcı sistemlerden (brülörlerden) sağlanır. En yaygın kullanılan ramöz makina tipleridir. İkinci tip ramöz makinalarında, sıcaklığı 270 - 400 °C ulaşan kızgın yağ, ram içinde bulunan radyatörlerden geçirilip tekrar merkezi kazana gönderilir. Diğer taraftan fan motorları ram kabinlerine temiz havayı radyatörlerden alarak sıcak hava kumaşın üzerine düzelerle üflenerek kumaş üzerindeki nemin uzaklaşması sağlanır. Kızgın yağ (termik) kapalı sistem tesisatla taşınır. Çizelge 4.1'de bir tekstil terbiye fabrikasındaki üç ramöz makinesinin bir aylık elektrik ve doğalgaz tüketim miktarları verilmektedir.

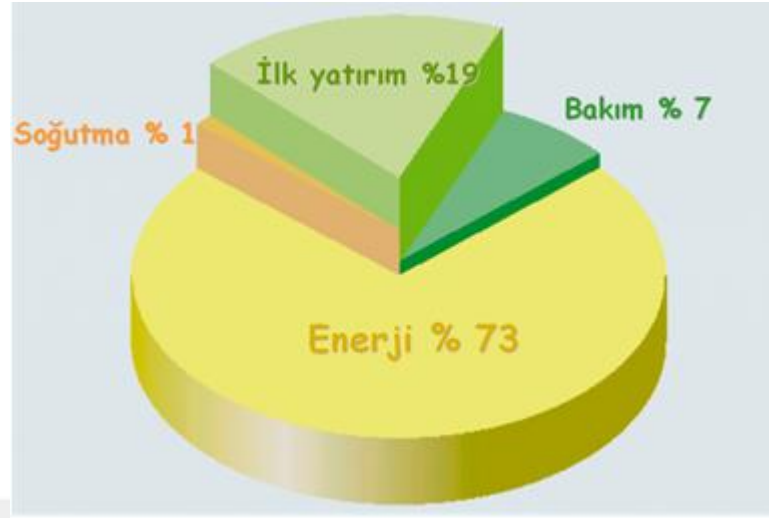


Şekil 4.4. Ramöz makinası.

Çizelge 4.1. Üç ramöz makinesinin bir aylık elektrik ve doğalgaz tüketimi.

Hafta	Tüketilen enerji (Elektrik+doğalgaz)
1. ve 2. hafta	47480 kWh + 34618 m ³
3.Hafta	30200 kWh + 23633 m ³
4.Hafta	30160 kWh +22701 m ³
Toplam	107840 kWh + 80952 m ³

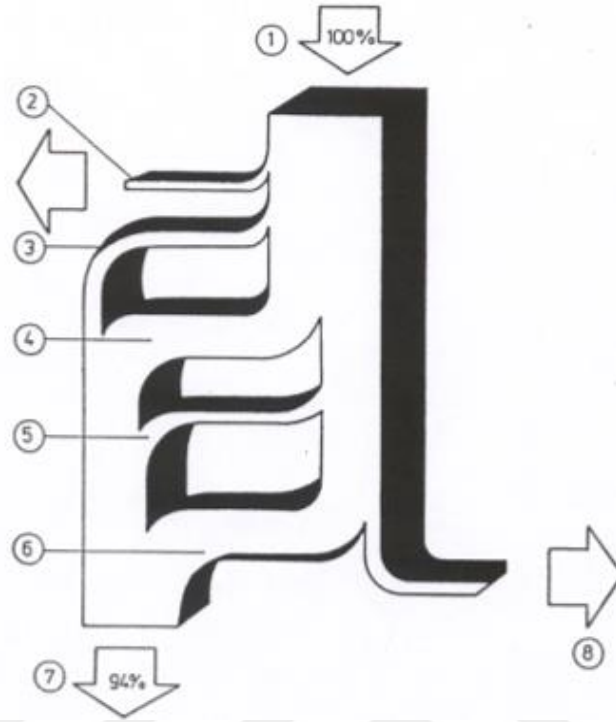
Tekstil terbiye fabrikalarında enerjinin yoğun olarak tüketildiği bir başka ekipman ise basınçlı hava üreten makinelerdir. Basınçlı hava yalnızca tekstil fabrikalarının değil tüm sanayinin en önemli enerji gider kalemlerinden biridir. İşletmelerin elektrik tüketimlerinin yaklaşık %10 ile %30'unu hava kompresörleri oluşturmaktadır. Kompresör maliyetlerini gösteren Şekil 4.5'e göre, kompresörlerin toplam maliyetlerinin %73 ünü elektrik enerjisi oluşturmaktadır. Kompresörlerde enerji kayıpları, ya da küçük (toplu iğne ucu kadar) bir kaçak olması durumunda, kompresörlerin performanslarında ve enerji tüketimlerinde oluşacak azalma, basınç ve çap durumlarına göre ekonomik maliyetleri Çizelge 4.2'de sunulmuştur. Tekstil terbiye tesislerinde birçok kompresör olması sebebiyle, maliyetleri kompresör sayısı ile çarparak değerlendirmek daha doğru olacaktır.



Şekil 4.5. Kompresör maliyetleri (Atlas Copco).

Bir kompresörde elektrik enerjisi ile elde edilen gücün ısı olarak dağılımı aşağıda verilmiş ve Şekil 4.6'da Sankey diyagramında da gösterilmiştir.

1) Elektrik motorundan şafta verilen güç	%100
2) Radyasyon kayıpları	%4
3) Alçak basınç kademesinden ısı geri kazanımı	%4
4) Ara soğutucudan ısı geri kazanımı	%43
5) Yüksek basınç kademesinden ısı geri kazanımı	%4
6) Son soğutucudan ısı geri kazanımı	%43
7) Teorik olarak geri kazanabilir ısı	%94
8) Basınçlı havada kalan ısı	%6



Şekil 4.6. Kompresör enerji kayıpları (Compressed Air Manuel, Nifes Consulting Group).

Çizelge 4.2. Kompresörlerde kaçak durumunda oluşan maliyetler (Enerji verimliliği kurs kitabı, Festo, Germany, 2002).

Basınç\Çap (Bar)\(mm)	Basınçlı hava kaçakları maliyetleri [maliyet (Euro)/yıl]					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
3	90	361	812	1444	2256	3248
4	113	451	1015	1805	2820	4061
5	135	541	1218	2166	3384	4873
6	158	632	1421	2527	3948	5685
7	180	722	1624	2888	4512	6497
8	203	812	1827	3248	5076	7309

Tekstil terbiyede enerji tüketim noktalarından bir diğeri de pompalardır, bir akışkanın basıncını arttırarak bir yerden başka bir yere taşınmasını sağlayan ekipmanlardır. Pek çok çeşidi olmakla birlikte, uygulamada en sık rastlanan pompalar, santrifüj pompadır. Fanı bir salyangoz içinde dönen pompalara santrifüj pompa denir. Bir gövde içinde yer alan kanatlı bir pervaneden (çark) oluşan bu pompalarda sıvı, bir girişten çarkın ortasına iletilir. Basınç, sıvının çarkla döndürülmesiyle elde edilir. Enerji geri kazanımı için doğru pompanın seçilmesi gerekir ya da sürücü uygulamaları sisteme entegre edilmelidir.

5. ATIK ISI GERİ KAZANIM UYGULAMASI

Bir ısı değiştiricisinin ısı geçiş miktarı sıcak ve soğuk akışkanlara göre Denklem 1 ve Denklem 2 ile yazılır. Burada, \dot{m} ktle akış miktarını (kg/s), T sıcaklıkları, h , c , i ve o alt indisleri, sıcak ve soğuk akışkanları, ısı değiştiricisine giriş ve çıkış durumlarını temsil etmektedir. Akışkanların yoğunlukları sabit olduğundan, sabit basınç özgül ısı (C_p) değerleri kullanılabilir (Incropera ve DeWitt, 2001).

$$q = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (1)$$

$$q = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,i} - T_{c,o}) \quad (2)$$

Bir ısı değiştiricisinin ısı geçişi, ısı değiştiricisinin alanı A olmak üzere, toplam ısı geçiş katsayısı U (W/m^2K) ve ortalama sıcaklık farkı ΔT_{lm} terimlerinin kullanımı ile de hesaplanabilir.

$$q = UA\Delta T_{lm} \quad (3)$$

Isı geçişinin Denklem (3) ile tanımlanan ifadesinde, ısı değiştiricisinin konstrüksiyon özelliğine göre düzeltme arpanı (F) kullanılmaktadır.

Bir ısı değiştiricisinin toplam ısı geçiş katsayısı Denklem (4)'deki gibi yazılır (Kakaç ve Liu, 2000).

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{\eta_c h_c A_c} + \frac{R''_{f,c}}{A_c} + \frac{\ln(D_o / D_i)}{2\pi kL} + \frac{R''_{f,h}}{A_h} + \frac{1}{\eta_h h_h A_h} \quad (4)$$

Burada η kanatçıklı yüzeylerin toplam etkenliği, R''_f akışkanların kirlilik faktörleri olup, eşitliğin sağ tarafındaki üçüncü terim silindirik koordinatlardaki iletim direncini ifade etmektedir. İ yüzeylerdeki kanatçık etkenliği:

$$\eta_i = 1 - \frac{A_f}{A_i} (1 - \eta_f) \quad (5)$$

ifadesi kullanılarak hesaplanır. A_f ve A_i sırasıyla kanatçıklı yüzeylerin alanı ve tüm kanatçıklı yüzeyin alanını ifade etmektedir. A_f kanat yüzey alanı, kanat şekline göre çeşitli formüllerden hesaplanır. Kanatlardan geçen ısı miktarı

$$q_f = \sqrt{hpkA_c} \theta_b \tanh(mL_f) \quad (6)$$

formülü ile hesaplanır. Akışkanın yoğunluğu (ρ), akış hızı (V), boru çapı (D) ve akış kesiti ($A = \pi \times D^2/4$) olmak üzere, kütle akış miktarı (kg/s) Denklem (7) ile ifade edilir.

$$\dot{m} = \rho VA \quad (7)$$

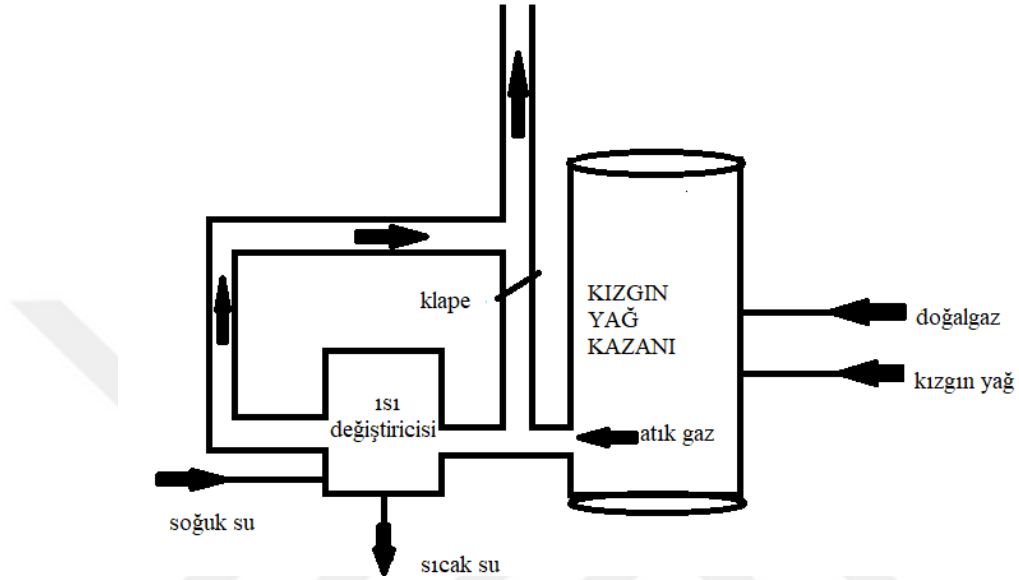
5.1. Gövde Borulu Isı Değiştiricileri

Gövde borulu ısı değiştiricileri, plakalı ısı değiştiricileri, kanatçıklı borulu ısı değiştiricileri gibi farklı konfigürasyonlara sahip ısı değiştiricileri kimya endüstrisi, güç üretimi, gıda sektörü, atık ısı geri kazanımı, iklimlendirme ve soğutma gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunların içerisinde en bilinen gövde borulu ısı değiştiricileri basit üretimleri ve farklı çalışma şartlarına uyumluluğu nedeniyle daha çok tercih edilmektedir (Mukherjee, 1998). Çalışma basınç ve sıcaklığında 400 bar ve 800 °C gibi büyük bir aralığına sahiptirler (Stehlik ve Wadekar, 2002). Gövde borulu ısı değiştiricilerinin dizaynında çeşitli geometrik parametreler (boru uzunluğu, gövde çapı, akış düzenlemesi, geçiş sayısı, şaşırtma levhalarının yeri) olup, endüstriyel uygulamalarda en uygun tasarımı bulmak için minimum maliyet ve minimum alan amaçlanır (Muralikrishna ve Shenoy, 2000). Benzer bir çalışma ile Babu ve Munawar (2007), ısı değiştiricilerinin dizaynında istenilen ısı transferi için minimum ısı transfer alanının esas amaç olduğunu belirtmişlerdir.

Patel ve Rao (2010) tarafından gövde borulu ısı değiştiricilerin maliyet ve performans analizi yapılmıştır. Yazarların sonuçlarına göre, gövde içerisindeki boru sayısı arttırılınca, % 1,8'lik boru tarafındaki ısı transfer katsayısının azalmasıyla, boru tarafındaki akış hızı azalır. Gövde çapındaki azalma, %12,1'lik gövde kısmındaki ısı transfer katsayısının artışıyla bu kısımdaki akış hızını artırır. Alperen ve Kurt (2016) yaptıkları deneysel çalışmada, bir gövde borulu ısı değiştiricisinde gövde tarafına göre ısı performans analizlerini Kern, Bell-Dalavere ve basitleştirilmiş Bell-Dalavere yöntemlerini kullanılarak karşılaştırmışlardır. Bu çalışma ile Bell Dalavere yönteminin ısı performans için en hassas çözüm yöntemi olduğunu tespit etmişlerdir.

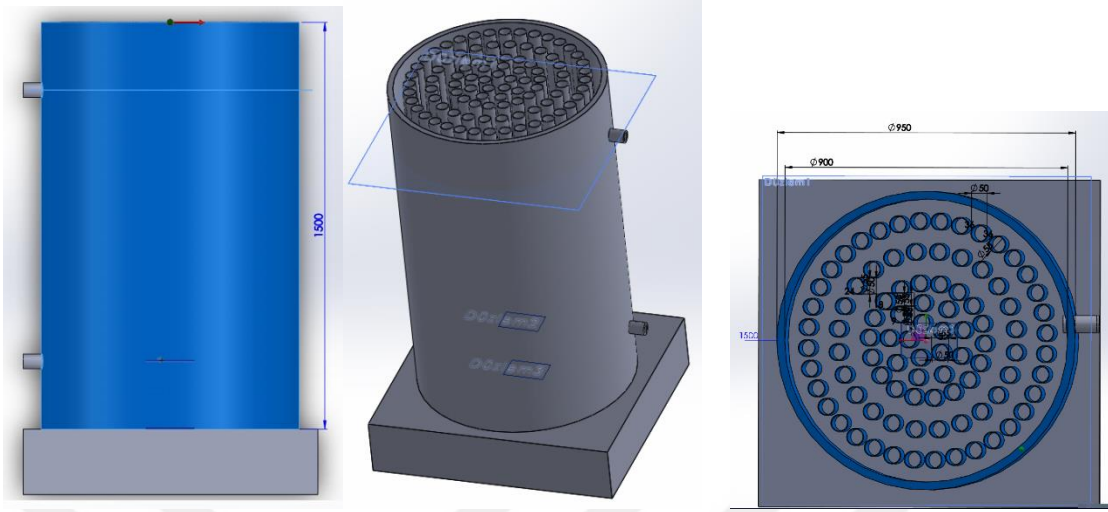
Gövde borulu ısı değiştiricisinin şaşırtma levhalarına göre performans çalışması yapan Top (2010), şaşırtma levhası kesmesi ve şaşırtma levhasının aralığının artması ile ısı taşınım katsayısı ve basınç düşümünün azalmasına neden olduğunu tespit etmiştir. Isı taşınım katsayısının azalması ise gerekli ısı transferinin sağlanması için ısı transfer yüzeyinin arttırılmasını gerekli kılmaktadır.

Bir tekstil terbiye fabrikasında kızgın yağ kazanına atık enerji geri kazanımı için uygulanan gövde borulu ısı değıştircisinin ve klape nin şematik gösterimi Şekil 5.1’de verilmiştir.

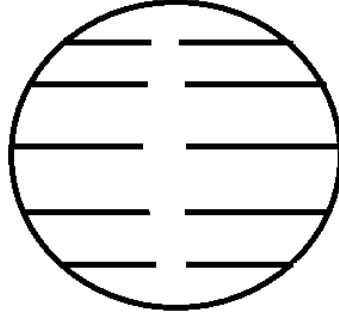


Şekil 5.1. Isı geri kazanımı için, kızgın yağ kazan sistemine ilave edilen ısı değıştircisi.

Isı geri kazanımı için, 250°C sıcaklıkta çıkan buharın baca vasıtasıyla atmosfere salınımından önce, kızgın yağ kazan sistemine gövde-borulu bir ısı değıştircisi uygulanmıştır ve bu sistem şematik olarak Şekil 5.2’de anlatılmaktadır. Sıcak akışkan (hava) tarafına ısı geçiş miktarını artırmak amacıyla, ısı geçiş yüzeyini artıran kanatçık sistemi uygulanmıştır. Kullanılan kanatçıklı boru geometrisinin kesiti Şekil 5.3’de gösterilmektedir. Gövde-borulu ısı değıştircisinin çalışma ve geometrik bilgileri Çizelge 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Kızgın yağ kazan sistemi için uygulanan gövde-borulu ısı değıştiricisi.



Şekil 5.3. Kanatçıklı boru ve kesiti.

Çizelge 5.1. Atık ısı geri kazanım için uygulanan ısı değiştiricisinin çalışma şartları ve geometrik özellikleri.

Özellikler	Değerleri
Boru boyu (L)	1500 mm
Gövde iç çapı (D)	900 mm
Gövde et kalınlığı ($t_{gövde}$)	8 mm
Boru iç çapı (d)	50 mm
Boru et kalınlığı (t_{boru})	2 mm
Boru adedi	97 adet
Boru malzemesi	316 paslanmaz çelik
Gövde malzemesi	304 paslanmaz çelik
Kanatçık malzemesi	Aluminyum
Kanatçık boyu	1000 mm
Kanatçıklı boru adedi	60 adet
Sıcak akışkan (ekzoz gazı) sıcaklığı	250°C
Sıcak akışkan hızı	2,60 m/sn
Soğuk akışkan(su) sıcaklığı	15-18°C
Baca çapı	0,41 m
Maliyeti (2014 yılı için)	14000 TL (5650\$)

Hesaplamalar

Gövde borulu ısı değiştiricisinin tasarımında, sıcak akışkanın (hava) boruların içinden geçmesi düşünölmüştür. Buna göre, ideal gaz kabulüyle, ısı değiştiricisine giriş ve çıkış sıcaklıklarına göre ortalama sıcaklık 425 K olup Incropera kitabındaki (Tablo A4) atmosfer basıncında havanın termofiziksel özellikleri tablosundan interpolasyon ile bulunan değerleri aşağıda verilmiştir.

$$C_p = 1017,5 \text{ J/kgK}, \rho = 0,8226 \text{ kg/m}^3, \mu = 240,4 \times 10^{-7} \text{ Ns/m}^2, k = 0,0356 \text{ W/mK}, Pr = 0,688$$

Isı değiştiricisinin gövde kısmında akan soğuk akışkan (su) için ortalama sıcaklık 321 K olup Incropera kitabındaki (Tablo A6) doymuş suyun termofiziksel özellikleri tablosundan interpolasyon yardımıyla elde edilen özellik değerleri aşağıda yazılmıştır.

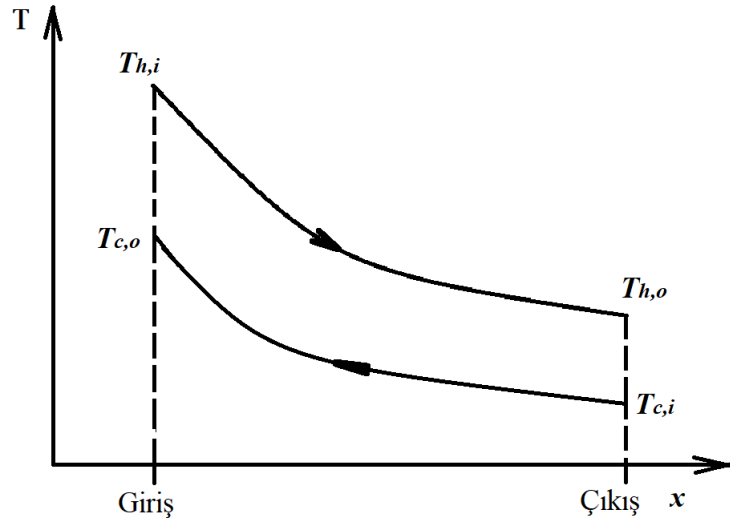
$$C_p = 4180 \text{ J/kgK}, \rho = 989,1197 \text{ kg/m}^3, k = 0,64 \text{ W/mK}, Pr = 3,77, \mu = 577 \times 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

Sıcak akışkan (hava) kütle akış miktarı $\dot{m}_h = 0,8226 \times 2,60 \times \pi \times \frac{(0,41)^2}{4} = 0,2824 \text{ kg/s}$

Soğuk akışkan (suyun) hacimsel debisi ölçüm sonuçlarındaki debi miktarından yaklaşık $1 \text{ m}^3/\text{h}$ çıkmaktadır. Hacimsel debi formülünden $\dot{Q} = V \times A$, $V = 0,00175 \text{ m/s}$ proses suyunun hız değeri elde edilmektedir. Akış alanı hesabında, gövde çapından içteki boruların alanları çıkarıldığındaki etkin çap $(\pi \times 0,9^2 / 4) - 97(\pi \times 0,05^2 / 4) = 0,45 \text{ m}$ kullanılmıştır. Buna göre, soğuk akışkan (su) için kütleli debi,

$$\dot{m}_c = 989,1197 \times 0,00175 \times \pi \times \frac{(0,45)^2}{4} = 0,275 \text{ kg/s}$$

bulunur. Gövde borulu ısı değıştiricisi uygulamasının sıcaklık değışim grafiği Şekil 5.4'de verilmektedir.



Şekil 5.4. Isı değıştiricisindeki sıcaklık değışim grafiği.

Soğuk akışkan (su) için Reynolds sayısı:

$$\text{Re} = \frac{0,275 \times 989,12 \times 0,45}{577 \times 10^{-6}} \approx 212138$$

İşlemlerin devamında, gövde tarafındaki soğuk akışkanın (su) Nusselt Sayısı

$$\text{Nu}_D = 0,023(\text{Re}^{0,8})(\text{Pr}^{0,4}) = 713,77$$

olarak hesaplanır. Isı taşınım katsayısı ise

$$Nu_D = \frac{h_0 D}{k} \text{ eşitliğinden } h_0 = \frac{30,457 \times 0,64}{0,9} = 1015,14 \text{ W/m}^2\text{K}$$

elde edilir. Boruların içinden akan sıcak akışkan (hava) için Reynolds sayısı

$$Re = \frac{4 \times 0,2824 / 97}{\pi \times 0,05 \times 240,4 \times 10^{-7}} = 3083,9$$

elde edilir. Boru içinden akış için Reynolds sayısı > 2300 olduğunda akış rejimi türbülanslıdır.

$$\text{Nusselt sayısı } Nu = 0,023(Re)^{0,8} (Pr)^{0,4} = 0,023(3083,9)^{0,8} (0,688)^{0,3} = 12,71$$

Isı taşınım katsayısı

$$h_i = \frac{Nu \times k}{D} = \frac{12,71 \times 0,0356}{0,05} = 9,05 \text{ W/m}^2\text{K}$$

hesaplanır. Isı transfer yüzey alanı (tek geçişli olarak)

$$A = N(\pi D)L = 97(\pi \times 0,05) \times 1,5 = 22,855 \text{ m}^2$$

bulunur. Gövde içindeki boruların dışındaki akış için kirlilik faktörü $R_{f,o}'' = 0,0002 \text{ m}^2\text{K/W}$ değeri Incropera kitabından seçilmiştir. Boruların içinden gaz akışı söz konusu olduğu için kirlilik faktörü ihmal edildi.

Paslanmaz çelik A316'nın ısı iletim katsayısı 400 K için $k = 18,3 \text{ W/mK}$ olarak Incropera kitabındaki Tablo A1'den alınmıştır. Boruların ısı iletim direnci aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$R_w = \frac{\ln(D_2 / D_1)}{2\pi kL} = \frac{\ln(54 / 50)}{2\pi \times 18,3 \times 1,5} = 0,00045 \text{ K/W}$$

5.1.1. Kanatsız durum

Boru içinden akan sıcak akışkan tarafındaki ısı geçiş yüzey alanına göre toplam ısı geçiş miktarı hesaplanır.

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{9,05} + \frac{0,0002 \times 0,05 \times 97}{0,9} + 0,00045 \times \pi \times 0,05 \times 1,5 \times 97 + \frac{0,05 \times 97}{1015,14 \times 0,9} \frac{1}{U_i} = 0,1272$$

$$U_i = 7,86 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Buradan gövde borulu ısı değiştiricisinin boru tarafındaki toplam ısı geçiş katsayısı aşağıdaki gibi bulunur.

$$U_i A_i \approx 180 \text{ W/m}^2\text{K}$$

ε -NTU yöntemi ile çözüme devam edilir. Sistemdeki akışkanların ısıl kapasiteleri hesaplanarak, minimum ve maksimum kapasiteye sahip olan akışkanlar tespit edilir.

$$C_{min} = C_{hava} = 0,2824 \text{ kg/s} \times 1017,5 \text{ J/kgK} = 287,342 \text{ W/K}$$

$$C_{max} = C_{su} = 0,275 \text{ kg/s} \times 4180 \text{ J/kgK} = 1149,5 \text{ W/K}$$

Soğuk akışkana (su) geçen ısı miktarı basitçe aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$q = \dot{m} c_p (T_{c,o} - T_{c,i}) = h_o A \Delta T$$

$$q = 1015,14 \text{ W/m}^2\text{K} \times (\pi \times 0,05 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}) \times (64 \text{ K}) = 15307,95 \text{ W} = 15,31 \text{ kW}$$

Isı değiştiricisindeki olabilecek maksimum ısı geçiş miktarı

$$q_{max} = C_{min} (T_{h,i} - T_{c,o}) = 287,342 (250 - 16) = 67238,028 \text{ W} = 67,2 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır. Bu durumda etkenlik- ε ve geçiş birimi sayısı-NTU (Number of transfer unit) değerleri

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} = \frac{C_{max} (T_{c,o} - T_{c,i})}{C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i})} = \frac{15,31}{67,2} = 0,23$$

$$NTU = \frac{U_i A_i}{C_{min}} = 0,72$$

formüllerinden elde edilir. Isı değiştiricisinin ortalama logaritmik sıcaklık farkı hesaplandığında

$$\Delta T_{lm} = \frac{(250 - 80) - (53 - 16)}{\ln \frac{(250 - 80)}{(53 - 16)}} = 87,22 \text{ K}$$

bulunur. Gövde borulu ısı değiştiricisinin toplam ısı geçiş miktarı Denklem (3) ile hesaplanır. Burada F düzeltme faktörüdür ve tek geçişli olduğu için bir olarak alınmıştır.

$$q = U A \Delta T_{lm} F$$

$$q = 180 \times 87,22 = 15699,6 \text{ W} = 15,7 \text{ kW}$$

Gövde borulu ısı değiştiricisi uygulanmadığında, kazan çıkışında sıcak akışkanın sıcaklığı ($T_{h,o} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$) olup, baca çıkışı ile direkt atmosfere ısı transferi gerçekleşmektedir. Atmosfer sıcaklığı normal şartlar altındaki hava sıcaklığı olan $20 \text{ }^\circ\text{C}$ alınmıştır.

Bu durumdaki ısı geçişi

$$q = 0,2824 \times 1017,5 \times (250 - 20) = 66088,66 \text{ W} = 66,1 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır ve buna göre ısı kazancı hesaplandığında

$$\text{Isıl kazanç (\%)} = \frac{66,1 - 15,7}{66,1} \times 100 \approx \% 76,25$$

bulunur. Burada, sıcak akışkanın (hava) ısı taşınım katsayısı ($h_i = 9,05 \text{ W/m}^2\text{K}$), soğuk akışkanın (su) ısı taşınım katsayısı ($h_o = 1015,14 \text{ W/m}^2\text{K}$) ile karşılaştırıldığında çok çok küçük olması sebebiyle $\frac{1}{h_i} \gg \frac{1}{h_o}$, toplam ısı geçişi katsayısı üzerinde sıcak akışkanın ısı taşınım katsayısının etkisi daha fazla olmaktadır. Fiziksel olarak bu durum şöyle yorumlanabilir; küçük ısı taşınım katsayısına sahip olan akışkan ısı geçişinde darboğaz gibi davranmakta ve ısı transferini önemli oranda sınırlandıracak şekilde rol oynamaktadır.

5.1.2. Kanatlı durum

Kanatçık malzemesi alüminyumun 400 K sıcaklıktaki ısı iletim katsayısı Incropera kitabındaki (Tablo A1) metallerin termofiziksel özellik tablolarından $k = 186 \text{ W/mK}$ olarak okundu.

Sıcak akışkan tarafındaki kanatçıklı yüzeyin etkenliği hesaplanıp, Denklem (4) ile verilen toplam ısı geçişi katsayısı formülünde ilave edilmelidir. Kanat yüzeyi hesabında, boru içindeki kanatçıkların toplam uzunlukları

$$\text{Kanat yüzey alanı } A_f \approx 0,232 \text{ m}^2$$

$$\text{Kanatçıklı yüzey alanı } A_i \approx 13,882 \text{ m}^2$$

Tek bir kanatçık etkenliği için $m = 6,98 \text{ m}^{-1}$ ve $L_f = 0,09 \text{ m}$ olup aşağıdaki formülde yerine uygulandığında

$$\eta_f = \frac{\tanh(mL_f)}{mL_f} = 0,998$$

elde edilir. Böylece, tüm kanatlı yüzeylerin etkinliği Denklem 5 ile $\eta_i = 0.998$ olarak bulunur. Toplam kanatlarla birlikte iç yüzey alanı $A_i = 36,735 \text{ m}^2$ olup, içteki sıcak akışkan tarafına göre yazılmış toplam ısı geçiş katsayısı formülünde uygulandığından

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{9,05 \times 0,998} + \frac{0,0002 \times 36,735}{\pi \times 0,9 \times 1,5} + 0,00045 \times 36,735 + \frac{36,735}{1015,14 \times \pi \times 0,9 \times 1,5}$$

$$\frac{1}{U_i} = 0,1315$$

$$U_i = 7,27 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Elde edilir. Sıcak akışkan tarafına göre toplam ısı geçiş alanı ile birlikte $U_i A_i = 267,16 \text{ W/K}$ ısı değeri bulunur. Kanatlı durumdaki ısı geçiş miktarı Denklem (3) ile hesaplandığında

$$q = 267,16 \times 87,22 = 23302,01 \text{ W} = 23,3 \text{ kW}$$

Buna göre, kanatçıklı gövde borulu ısı değiştiricisinin ısı kazancı

$$\text{Isıl kazanç (\%)} = \frac{66,1 - 23,3}{66,1} \times 100 \approx \% 65$$

bulunur. Kanatçıkların toplam ısı geçiş katsayısı üzerine yaklaşık olarak %7,5'lik bir etkisi olduğu görülmüştür. Bu durum kanatçıklı boru sayısının 60 adet olmasından ve tüm boru boyunca olmayıp, sadece 1 m lik uzunluğa sahip bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kanatların gövde borulu ısı değiştiricisinin ısı transferi üzerine toplam etkisinin %32,6 olduğu görülür.

5.2. Eş Eksenli Isı Değiştiricisi

Tekstil terbiye fabrikasında ısı geri kazanımı için, gövde borulu ısı değiştiricisi yerine, eş eksenli çift borulu bir ısı değiştiricisi uygulansaydı, bu durumda ısı değiştiricisinin geometrik özelliklerinin hesaplanması gerekmektedir.

Eş eksenli ısı değiştiricisinin etkenlik ve NTU değerleri gövde borulu ısı değiştiricisinininki ile aynı olmayacaktır. Gövde borulu ısı değiştiricisi uygulamasındaki, soğuk ve sıcak akışkanların kütle akış miktarları ile boru boyları eşanjörün kızgın yağ kazanı arkasında konulacağı alanın sınırlı olmasından dolayı uzunluğu aynı ($L = 1,5 \text{ m}$) almak zorundayız. Ters akışlı ısı değiştiricisi için, sıcak ve soğuk akışkanların ısı geçişi ifadelerinden, enerji dengesi kullanılarak ısı değiştiricisinin toplam ısı geçiş katsayısı bulunur.

$$q_{hot} = 0,2824 \text{ kg/s} \times 1017,5 \text{ J/kgK} \times (250-50) = U \times A \times \Delta T_{lm}$$

$$UA = 658,89 \text{ W/K}$$

Minimum akışkan ısı kapasitesi bilindiğine göre NTU formülü uygulandığında, NTU = 2,3 hesaplanır.

Ters akışlı içi içe borulu ısı değiştiricileri için hazırlanan etkenlik- ε ve NTU grafikleri kullanılarak $\varepsilon = 0,87$ olarak okunur.

Soğuk akışkana göre

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} = \frac{U(\pi D_o \times L)(T_{c,o} - T_{c,i})}{C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i})} = \frac{U(\pi D_o \times L)(80 - 16)}{C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i})}$$

$$UD_o \approx 194 \text{ W/mK}$$

Sıcak akışkana göre

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} = \frac{U(\pi D_i \times L)(T_{c,o} - T_{c,i})}{C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i})} = \frac{U(\pi D_i \times L)(250 - 50)}{C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i})}$$

$$UD_i \approx 62,07 \text{ W/mK}$$

Buradan eş eksenli ısı değiştiricisinde çapların oranının $D_i / D_o \approx 0,32$ olması gerektiği bulunur. Isıl kazanç hesabı için sıcak akışkanın ısı geçiş miktarı ($q_{hot} = 57468.4 \text{ W}$) kullanılarak, ısı geri kazanım uygulanmadığındaki ısı geçişi ile değerlendirildiğinde

$$\text{Isıl kazanç (\%)} = \frac{66,1 - 57,5}{66,1} \times 100 \approx \% 13$$

sonucu elde edilir. Eş eksenli ısı değiştiricisinde %13'lük ısı kazanç, gövde borulu ısı değiştiricisinin %76,25 lük ısı kazancına göre daha azdır. Benzer çalışmaları ayrıntılı inceleyen literatür çalışmasında Omid ve arkadaşları (2017), eş eksenli ısı değiştiricilerinin performanslarına geometrik (dizayn) özelliklerinin etkilerini belirtmişlerdir. Bu durum, ısı geri kazanım uygulamalarında genellikle gövde borulu ısı değiştiricisi kullanılmasının (veya tercih edilmesinin) rakamsal önemini göstermektedir.

Tez çalışması kapsamında tekstil terbiye fabrikasında, 1500000 kcal/h 'lik enerji kapasitesine sahip kızgın yağ kazanına monte edilen gövde borulu ısı değiştiricisinin resmi

Şekil 5.5’de ve ekonomizer su çıkışındaki tesisatın resmi ise Şekil 5.6’da sıcak suyun kullanıldığı makine ise Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Uygulanan gövde borulu ısı değiştiricisi.



Şekil 5.6. Gövde borulu ısı değiştiricisi tesisat görüntüsü.



Şekil 5.7. Isı geri kazanımda ısıtılan suyun kullanıldığı beş kabinli kontiner yıkama makinesi.

6. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Tekstil terbiye fabrikasında kızgın yağlı kazandan ısı geri kazanım amacıyla uygulanan ısı değiştiricisi sonrasında kontrol amaçlı sistemden alınan düzenli çalışma verileri aşağıda Çizelge 6.1, Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Ekim 2015’de sistemden alınan veriler.

Kazan çıkış sıcaklığı	275°C	280°C
Baca çıkış sıcaklığı	25°C	28°C
Giren suyun sıcaklığı	16°C	16°C
Çıkan suyun sıcaklığı	85°C	80°C
Su miktarı (m ³)	57822,3	57831,7
Zaman	10:40	17:28

Çizelge 6.2. Kasım 2015’de sistemden alınan veriler.

Kazan çıkış sıcaklığı	280°C	275°C
Baca çıkış sıcaklığı	52,5°C	40°C
Giren suyun sıcaklığı	15°C	15°C
Çıkan suyun sıcaklığı	74°C	80°C
Su miktarı (m ³)	57874,4	57878,6
Zaman	14:15	18:20

Çizelge 6.3. Aralık 2015’de sistemden alınan veriler.

Kazan çıkış sıcaklığı	220°C	280°C	260°C	285°C
Baca çıkış sıcaklığı	43°C	50°C	43°C	58°C
Giren suyun sıcaklığı	14°C	14°C	14°C	14°C
Çıkan suyun sıcaklığı	70°C	79°C	68°C	78°C
Su miktarı (m ³)	57882	57884,1	57888,7	57891,5
Zaman	9:53	11:49	16:22	18:42

Gövde borulu ısı değiştiricisi uygulamasından sonraki üç aylık zaman dilimindeki veriler incelendiğinde, kızgın yağ kazanından çıkan 250°C sıcaklığındaki atık gazın, baca çıkış sıcaklığı ilk uygulama ayında ortalama 28 °C ye kadar düşürölmüş iken diğer iki aydaki sıcaklık

ortalama olarak 50 °C'ye çıkmıştır. Diğer çalışma akışkanı olan proses suyunun ilk uygulama ayındaki ortalama çıkış sıcaklığı 80 °C iken, diğer iki aydaki ortalama çıkış sıcaklığı 70 °C olduğu görülür. Bu durumun proses suyundaki kirlilikten ve iklim şartlarına bağlı olarak ortam sıcaklığının düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Gövde borulu ısı değiştiricisinin kanatsız durumdaki toplam ısı geçiş miktarı 17,9 kW, ısı kazancının %76,25 olduğu hesaplamalardan tespit edilmiştir. Kanatlı yüzeyin ısı geçişine 32,6% lik artış sağladığı bulunur. Aynı çalışma şartları için eş eksenli çift borulu bir ısı değiştiricisi uygulansaydı %13 lük bir ısı kazanç sağlanacağı da ısı analizlerinden görülür.

Üretilen sıcak su yıkama proseslerinde kullanılmaktadır. Şekil 6.3'de gösterilen 5 kabinli yıkama makinesinin hacmi ortalama 2 m³'tür. Toplam kabin sayısı beş adet olup bir yıkama işleminde ortalama 10 m³ su almaktadır, proses gereği kabinlerin içindeki suyun 80 °C sıcaklığa ısıtılması gerekmektedir. Normal şartlarda 15 °C sıcaklığındaki su kabinlerdeki serpantinlerden geçirilerek 80 °C sıcaklıklara kadar ısıtılmaktadır.

1500000 kcal/h kapasiteli günlük gaz tüketim değerleri altta verilmiş kızgın yağlı kazanın atık ısısından elde edilen ortalama 70 °C ve 1,05 m³/h debiye sahip sıcak suyun yıkama prosesinde kullanılması ile fazladan buhar tüketimi önlenmektedir.

Enerjinin korunumu ve teorik kazan verimi dikkate alındığında,

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

$$1050 \text{ kg su} \times (70-15) \text{ }^\circ\text{C} \times 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} = 57750 \text{ Kcal}$$

enerji üretimi sağlamaktadır. Bu enerjinin (15 °C dan 70 °C sıcaklığa çıkarılmış su) iletimi esnasında depoda bulunan sıcak suyun 70°C de kabinlere ulaştırılması önem arz etmektedir bu sebeple depodan kazana suyun transferinde kullanılan hatların yalıtılması gerekmektedir.

Eğer 57750 kcal'lik enerji ihtiyacı buhar kazanından sağlanmış olunsaydı

Doğalgazlı kazan verimi %95

İletimden kaynaklı radyasyon kayıpları % 4

1050 kg suyun 15 °C den 70 °C ye ısıtması için gerekli enerji

$$W = 1050 \text{ kg su} \times (70-15) \text{ }^\circ\text{C} \times 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times 1,05 \times 1,04 = 63322 \text{ kcal}$$

Standart kalorifik (üst ısı) değer = 9155 kcal/Sm³

1050 kg 15°C suyu 70°C getirmek için gerekli doğalgaz = $63322 \text{ kcal}/9155 = 6,91 \text{ Sm}^3$
/kgsu

Üretilen tüm sıcak su bu işlem sırasında tüketilmektedir. Günlük yaklaşık 25200 kg su üretilmektedir.

Günlük doğalgaz tüketimi = $6,91 \text{ Sm}^3 \times 25,2 = 174,132 \text{ Sm}^3/\text{gün}$

Doğalgaz Aralık dönemi günlük kazanç = $174,32 \text{ Sm}^3/\text{gün} \times 0,82 \text{ TL}/\text{Sm}^3 = 142,78 \text{ TL}/\text{gün}$

Doğalgaz günlük kazanç = 142,78 TL/Gün

Eşanjör imalatı = 14000 TL

Sistemin geri ödeme süresi = $14000 \text{ TL}/142,78 \text{ TL}/\text{Gün}$

= 98 gün ~ 3,5 ay

Kızgın yağ kazanından atılan 260-280 °C derecedeki 0,28 kg/sn debideki atık gaz 30-50 °C sıcaklıklara inerken ısıtılan suyun enerji kullanımının azaltılması ile sistem kendi maliyetini 3,5 ayda geri ödemekte olup gazın yüksek sıcaklıklarda atmosfere salınmasıyla oluşacak termal kirlilikte önlenmiş olmaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Akdaş, M., Ömür, B. (2016), Sanayide tesisat yalıtımının önemi ve uygulamaları, Tesisat Mühendisliği Sayı 151, Ocak/Şubat.

Alperen, M. A., Kurt, H. (2016), Gövde borulu ısı değiştiricilerinde gövde tarafı ısı performansın belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin deneysel verilerle uyumluluğunun değerlendirilmesi, 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016), 3-5 November 2016 Antalya/Alanya Turkey.

Babu, B. V., Munawar, S. A. (2007), Differential evolution strategies for optimal design of shell and tube heat exchangers, Chemical Engineering Science, 62 (2007) 3720-3729.

Can, M. (1995), Endüstriyel atık akışkanların değerlendirilmesi ve ülke ekonomisine katkısı, Ekoloji Çevre Dergisi, Sayı 17, Ekim-Kasık-Aralık.

Çay, A. (2009), Tekstil terbiye işletmelerinin enerji, ekserji ve eksergoekonomik analiz yöntemlerinin uygulanmasıyla performansının belirlenmesi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Şubat (2009) 148-167.

Çınar, T. (2008), Tekstil sanayisinde enerji yönetimi ve enerji verimlilik analizi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Temmuz.

Demirbaş, E. (2014), Tekstil fabrikasında çeşitli enerji tüketim mekanizmalarının incelenerek teknik analizlerinin yapılarak verimliliğin optimizasyonunun sağlanması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Nisan.

Devay, E. (2010), Tekstil tipi tamburlu kurutma makinesinde ısı geri kazanım uygulaması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Nisan.

Elahee, K. (2010), Heat recovery in the textile dyeing and finishing industry: lessons from developing economies, Journal of Energy in Southern Africa, C.21, No.3, August.

Fiaschi, D., Manfrida, G., Russo, L., Talluri, L. (2017), Improvement of waste heat recuperation on an industrial textile dryer: Redesign of heat exchangers network and components, Energy Conversion and Management 150 (2017) 924–940.

Gelir, B. Ç. (2017), Tekstil sektöründe kullanılan ramöz makinelerinde ısı geri kazanımı ile enerji tasarrufu, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

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.

Hasanbeigi, A., Price, L. (2015), A technical review of emerging technologies for energy and water efficiency and pollution reduction in the textile industry, Journal of Cleaner Production 95 (2015) 30-44.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Incropera, F. P., DeWitt D. P. (2001), Isı ve kütle geçişinin temelleri, Çev.: Derbentli, T., Genceli, O., Güngör, A., Hepbaşı, A., İlken, Z., Özbalta, N., Özgüç, F., Parmaksızoğlu, C., Uralcan, Y., Birinci Basım, Literatür Yayıncılık, Şubat 2001.

İstanbul Sanayi Odası (2014), Tekstil imalat sanayi İstanbul sanayi odası meslek komiteleri sektör stratejileri geliştirilmesi projesi XIV.

Kabakçı, O. K. (2011), Tekstil sanayi sektöründe minimum enerji tasarruf potansiyelinin belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yüksek lisans tezi Ocak.

Kakaç, S., Liu, H. (2000), Heat exchangers selection, rating and thermal design, Second Edition, CRC Press LLC, 2000 N. W. Florida 33431.

Kandilli, C., Koçlu, A. (2011), Tekstil endüstrisi boyama prosesinde plakalı ısı değiştiricilerle atık ısı geri kazanım sistemi enerji ve ekserji analizi, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi-13/16 Nisan 2011 İzmir, s.1913-1925.

Kaplan, E. (2004), Tekstil sektöründe maliyet unsurları-enerji maliyetlerinin genel değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Karaaslan, M. A. (2006), Ramöz atık havasından ısı geri kazanımı, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs.

Kılınç, H. (2016), Sanayide atık ısı geri kazanımında ısı değiştiricilerin kullanılması, Tesisat Mühendisliği Sayı 151, Ocak/Şubat.

Koç, E., Kaplan, E. (2007), Tekstil terbiye işletmelerinde enerji kullanımı-genel değerlendirme, Tekstil ve Mühendis, Sayı 65, (2007) 39-47.

Koçlu A. (2011), Tekstil endüstrisinde plakalı ısı değiştiricilerle atık ısı geri kazanım sistemi ve performansının değerlendirilmesi, Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs.

Mukherjee, R. (1998), Effectivly design shell and tube heat exchangers, Chemical Engineering Progress, February.

Muralikrishina, K., Shenoy, U. V. (2000), Heat exchanger design targets for minimum area and cost, Chemical Engineerin Researc and Design, 78:2 (2000) 161-167.

Oğulata, R. T. (2004=, Utilization of waste-heat recovery in textile drying, Applied Energy 79, 41-49.

Oğulata, R. T., Doba Kadem, F., Koç, E. (1999), Tekstilde kurutma yöntem ve makinaları, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 4/7 Kasım 1999, İzmir, 803-810.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Olgun, B., Kurtuluş, O., Gültek, S., Heperkan, H. A. (2009), IX Ulusal tesisat mühendisliği kongresi ve sergisi-Enerji verimliliği ve Türkiye’de mevzuat sempozyum bildirisi.

Omidi, M., Farhadi, M., Jafari, M. (2017), A comprehensive review on double pipe heat exchangers, *Applied Thermal Engineering* 110 (2017) 1075–1090.

Öcal, F. (2006), Tekstil sanayiinde madde ve enerji bilançoları, örnek boya sanayii, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Temmuz.

Önöz, E. (2008), Tekstil sanayinde enerji verimliliği ve enerji verimli motor sistemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran.

Öztürk, E. (2012), Tekstil sektöründe enerji tasarrufu olanaklarının araştırılması ve uygulanması, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nisan.

Patel, V. K., Rao, R. V. (2010), Design optimization of shell- and- tube heat exchanger using particle swarm optimization technique, *Applied Thermal Engineering*, 30 (2010) 1417-1425.

Pulat, E., Etemoglu, A.B., Can, M. (2009), Waste-heat recovery potential in Turkish textile industry: Case study for city of Bursa, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 663–672.

Rakib, M. I., Saidur, R., Mohamad, E. N., Afifi, A. M. (2017), Waste-heat utilization-The sustainable technologies to minimize energy consumption in Bangladesh textile sector, *Journal of Cleaner Production* 142 (2017) 1867-1876.

Sherin, K. M., Prince, M. G. (2013), Potential of Waste Heat Recovery in Textile Industries, *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, C. 3, S,5, Sep-Oct 2013, s.324-328.

Stehlik, P., Wadekar, V. V. (2002), Different Strategies to Improve Industrial Heat Exchange, *Heat Transfer Engineering* 23(6) (2002) 36-48.

Top, Y. (2010), Gövde borulu ısı değiştiricisi tasarımı, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

Uçak, F. (2010), Tekstil terbiye işletmelerinde ramöz makinasında enerji tasarrufu, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi.

Ünlü, O. (2009), Sanayide enerji tasarrufu çalışmalarının önemi ve buhar sistemleri ile ilgili uygulama örnekleri, Temmuz.

Yamankaradeniz, N., Coşkun, S., Can, M. (2007), Tekstil sanayiinde atık ısıdan yararlanılarak enerji tasarrufunda klasik sistem ile ısı pompasının karşılaştırılması, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 12, Sayı 1.

Yılmaz, A. (2012), Türkiye’de sektörel enerji tüketimini etkileyen faktörler ve alternatif enerji politikaları, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi.