

## TEKSTİLDE BOYAMA ATIK SUYUNDAN ISI GERİ KAZANIMI: GERÇEK İŞLETME ÖRNEĞİ

*Emre KALAYCI* \*  
*Evren ÇAĞLARER* \*\*

Alınma: 03.02.2021; düzeltme: 17.06.2021; kabul: 07.08.2021

**Öz:** Hızla gelişen teknoloji ve artan dünya nüfusu, insanların yaşam standartlarında değişikliklere yol açmaktadır. Öte yandan dünya enerji kaynakları hızla azalmakta iken, buna karşılık enerji ihtiyacı sürekli artmaktadır. Enerji çoğu sektör için olduğu gibi, tekstil için de temel gider kalemlerinden biridir. Türkiye ekonomisi için, istihdam ve ihracat anlamında önemli bir yere sahip olan tekstil işletmeleri, gelişen rekabet şartlarına uyum sağlamak zorundadırlar. Bu yüzden de giderlerini ve özellikle enerji maliyetlerini azaltmak durumundadırlar. Kaldı ki, birincil enerji kaynaklarında % 72,6 oranında dışa bağımlı olan Türkiye için enerji verimliliği kaçınılmazdır. Tekstil terbiye işletmelerinde, boyarmaddelerle birlikte atık su karakterini önemli ölçüde belirleyen çok sayıda kimyasal madde kullanılmaktadır. Birçoğu çevresel açıdan risk içeren bu maddeler, atık su ile birlikte bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Tekstil sanayiinde 1 ton ürüne karşılık 200 m<sup>3</sup> ile 350 m<sup>3</sup> arasında atık su oluşumu söz konusudur. Bu çalışmada, Türkiye'deki gerçek bir tekstil boyahanesinde oluşan atık suların 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.

**Anahtar Kelimeler:** Isı geri kazanımı, Tekstil boyama, Atık su.

### Heat Recovery From Textile Dyeing Waste Water: Real Business Example

**Abstract:** Rapidly developing technology and increasing world population cause changes in people's living standards. On the other hand, while the world's energy resources are decreasing rapidly, the need for energy is constantly increasing. Energy is one of the main expense items for textiles as well as for most sectors. for Turkey's economy, the textile company which has an important place in terms of employment and exports, must adapt to the changing competitive conditions. Therefore, they have to reduce their expenses and especially energy costs. Moreover, 72.6% of which is dependent on foreign energy efficiency in primary energy sources for Turkey is inevitable. A large number of chemicals are used in textile finishing businesses, together with dyestuffs, that significantly determine the character of wastewater. These substances, many of which are environmentally risky, emerge as a problem with wastewater. In the textile industry, there is a wastewater generation between 200 m<sup>3</sup> and 350 m<sup>3</sup> for 1 ton of product. In this study, by utilizing the heat of the wastewater produced in a real textiles dye in Turkey, the heat energy recovered by heating the entity incoming fresh cold water was investigated. The amount of energy gained and the payback period of the investment are presented with mathematical data, the gains gained have been evaluated and recommendations have been made.

**Keywords:** Energy recovery, Textile dyeing, Wastewater.

\* Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye

\*\* Kırklareli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, 39060 Kırklareli, Türkiye  
İletişim Yazarı: Emre KALAYCI ([emre\\_06@hotmail.com](mailto:emre_06@hotmail.com))

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Dünyadaki Su Potansiyeli

Dünya'da su rezervi 1.384.120.000 km<sup>3</sup>tür. Bunun % 97,5 gibi büyük bir kısmı deniz ve okyanuslardaki tuzlu sudur. Tablo 1.'de dünya su rezervleri dağılımı görülmektedir.

**Tablo 1. Dünyada su rezervleri dağılımı.**

Su kaynağı	Miktar, km <sup>3</sup>	%
<b>Denizler (tuzlu sular)</b>	1.348.000.000	97,39
<b>Tatlı sular</b>		
<b>Kutuplardaki buzullar</b>	27.820.000	2,01
<b>Yer altı suları</b>	8.062.000	0,58
<b>Göller ve nehirler</b>	225.000	0,02
<b>Atmosferdeki buhar</b>	13.000	0,0001
<b>Toplam</b>	1.384.120.000	100

Tuzlu suyun kullanılabilir hale getirilmesi için arıtılması (desalination) gerekir. Ancak bu işlem, enerjiye ihtiyaç duyduğundan, maliyeti sebebiyle çoğunlukla ekonomik olmamaktadır. Keza arıtım sonucu oluşan toksik çamurlar, içerik ve miktar yönü ile çevresel açıdan sorun teşkil etmektedir. Kalan % 2,5'lik kısım ise kutuplardaki buz ve yeraltı sularından oluşur. Kullanıma elverişli tatlı su oranı toplam suyun sadece % 0,007'si kadardır ki bu da 98.000 km<sup>3</sup>'lük miktara karşılık gelir.

Günümüzde nüfusa birlikte artan ihtiyaca karşılık iyi yönetilememesi, su varlığını ne yazık ki kritik bir seviyeye taşımıştır.

Uzak geçmişte su tüketimi için kriterlerin oluşturulmamış olmasında; sanayi gelişim hızının öngörülememesi, temiz suyun tükenmez olduğu inancı ve kısmen ticari kaygılar etkili olmuş olabilir. Oysa yakın gelecek için aynı tezin ileri sürülebilmesi mümkün değildir. Zira yıllardır su kıtlığına dair, ilgili çevrelerce araştırma sonuçlarına dayalı ciddi uyarılar yapılmaktadır. Birleşmiş Milletler Dünya Su konseyi (UNCWW), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Kaynakları Enstitüsü (IWR) gibi su ile ilgili teşkilatlar ve bağlı birimlerince; 1990'larda 300 milyonluk nüfusu barındıran 26 ülkede su sıkıntısı yaşanırken, 2050 yılında 66 ülke ile dünyanın 2/3'ünü etkilemesi öngörülen küresel düzeyde şiddetli bir su kıtlığına işaret edilmektedir.

Ülkelerin su baskı değeri hesabında kişi başına düşen yıllık ortalama su miktarı önemlidir. Bu değerlendirmede Tablo 2.'deki "Falkenmark Göstergesi" veya "Shiklomanov Göstergesi" esas alınır (Bilen, 2008).

**Tablo 2. Falkenmark Göstergesi**

Kategori	Su Miktarı (m <sup>3</sup> /kişi/yıl)
Su baskısı hiç yok	>1700
Su baskısı az var	1700 – 1000
Su baskısı çok var	1000 – 500
Yoğun su problemleri var	< 500

Su kaynaklarındaki eşitsiz ve dengesiz dağılım, dünya nüfusunun % 40'ının suya ulaşımını imkânsız kılmaktadır (USİAD, 2007).

Türkiye’de ise, 2050 yılında 90 milyon kişinin su kıtlığından etkileneceği tahminleri yapılmaktadır (Atabay ve diğ., 2014, Şahin, 2016).

## 1.2. Türkiye’deki Su Potansiyeli

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 m<sup>3</sup>/yıl’a karşılık gelmektedir. Kullanılabilir olan yeraltı ve yerüstü su potansiyeli ise 112 milyar m<sup>3</sup>’tür (DSİ 2018; Tarım 2019).

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 1.543 m<sup>3</sup>/yıl su miktarı ile su stresi yaşayan ülke konumundadır (Muluk ve diğ., 2013).

Diğer bir deyişle Türkiye “su fakiri” olma riski ile karşı karşıyadır (Aksay ve diğ., 2005; Karadağ, 2008; Gezer, A. ve Erdem, A. 2018).

## 1.3. Tekstil Sektörü ve Enerji

Enerji üretim teknolojilerinin temel girdisi yakıt ile birlikte sudur. Enerji sektöründe su kullanan teknoloji oranı % 90’lar düzeyindedir. Özellikle soğutma sistemlerinde yoğun bir kullanım söz konusudur.

Yenilenebilir enerji kaynakları için ise bu oran çok düşüktür. Doğal gaz santrallerine göre, güneş enerjisi sistemlerinde (GES) 5 kat daha az su kullanımı söz konusu iken, rüzgâr enerji santrallerinde (RES) ise suya ihtiyaç yoktur.

Diğer taraftan, kontrolsüz kullanımın da bir sonucu olarak, günümüzde enerji rezervlerindeki azalma hızı endişe verici boyutlara ulaşmıştır. Resmi verilere göre 2015 yılı sonu itibari ile petrolün dünya toplam rezervi 1,7 trilyon varildir. Diğer bir ifade ile petrol 51 yıl sonra dünyada tükenme durumu ile karşı karşıyadır. Benzer şekilde 187 trilyon m<sup>3</sup>’lük rezerve karşılık doğal gaz 53 yıl ve kömür ise 114 yıl sonra aynı küresel krizin beklenen diğer unsurları olacaktır (Enerji, 2018; Şen, 2007).

Her yıl yapılan tespitlerin de doğruladığı bu vahim tabloya karşın, enerjiye duyulan ihtiyaç her gün artmaktadır. Bu durum mevcut enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanımını zorunlu hale getirmektedir (Kalaycı ve diğ., 2019).

Sanayide enerji tüketiminin % 25’i alıcı ortama (hava, su, toprak) salınan gazlardan ve farklı formlardaki ısılardan kaynaklanmaktadır. Endüstriyel tesisler için ana gider kalemlerinden olan enerjideki bu kayıp, ilk yatırım giderine karşın, geri kazanım projelerine ilginin artmasına yol açmaktadır (Selbaş,1992; Tokgöz ve Özgün, 2019).

Bu kayıplar arasında önemli bir yeri olan ısı enerjisi için, tekstil sanayii olmak üzere birçok sektörde ısı geri kazanım (IGK) sistemleri kurulması yönünde önemli mesafeler alınmıştır.

Endüstride muhtelif proseslerde oluşan ve sıcaklığı atmosfer sıcaklığının üstünde olan ısı “atık ısı” olarak anılır. Diğer bir ifade ile atık ısı; değerlendirilemediği için alıcı ortama verilen ısı enerjisidir. Bu şekilde; enerji kaybının yanı sıra, başta küresel ısınma olmak üzere, hava ve su kirliliği gibi önemli çevresel problemlere de sebebiyet verilmektedir. Bundan dolayıdır ki, atık ısı geri kazanım sistemleri, hem enerji verimliliği hem de ekolojik denge için vazgeçilmez projelerdir. Atık ısının geri kazanılması için projelendirilen sistemler “Atık IGK Sistemleri” olarak bilinirler.

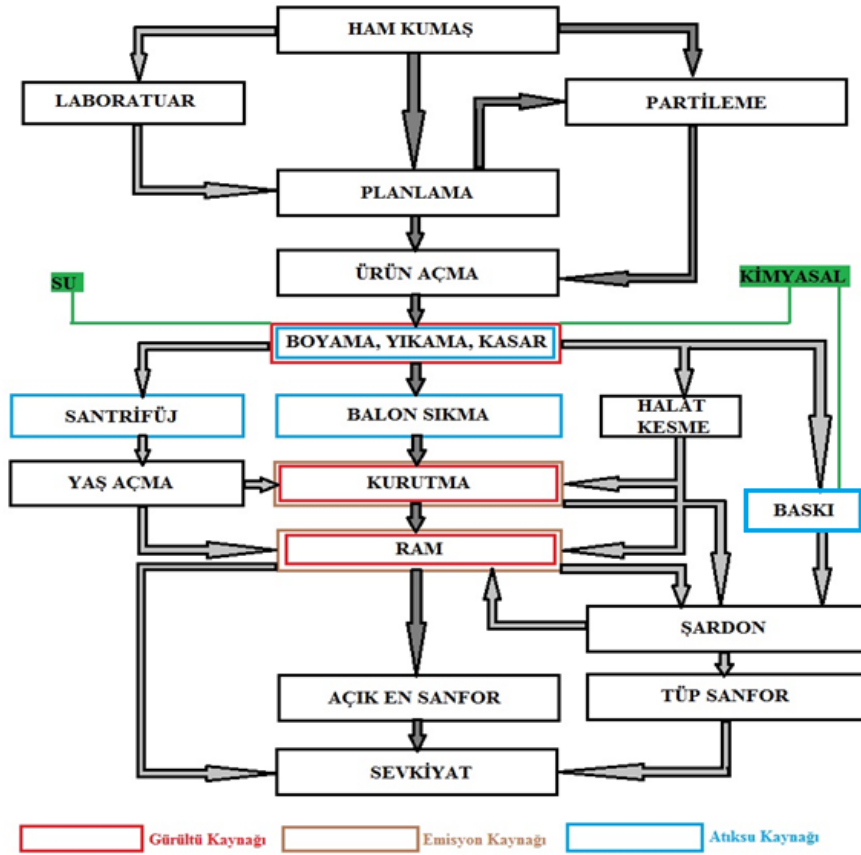
Atık ısılar sıcaklık değerine göre tasnif edilirler; 120 °C’ye kadar düşük sıcaklık, 120 °C-650 °C arası orta sıcaklık ve 650 °C üstü de yüksek sıcaklık sınıfı ısılardır (Tokgöz ve Özgün, 2019).

Tekstil, enerji tüketimi açısından yoğun bir sektördür. Tekstil sektöründeki iki lider ülkeden Çin’de toplam enerji tüketimi içinde tekstil sektöründe kullanılan enerji payı % 4 iken, ABD’de ise bu oran % 2’nin altındadır (BATEA, 2001.; U.S. DOE. 2006).

Türkiye’de tekstil sektörünün toplam sanayi içinde enerji tüketim payı ise %7,2’dir. Tekstil üretiminde, toplam giderler içinde enerjiye düşen pay % 6-14 arasındadır. Özellikle bitim işlemleri de denilen ürüne dönüşün son merhalelerinde yüksek ısı enerjisi tüketimi söz konusudur. Tekstil terbiye prosesleri, % 75’i aşan değerle sektör içinde en fazla enerji tüketen süreçlerdir (İnovation Org, 2018; Uyanık ve diğ., 2019). Demir-çelik sektöründen sonra, sanayide 15.521 GWh’lık elektrik tüketimi ile sıralamada ikinciliği tekstil-hazır giyim ve deri sektörleri alır. Bu miktarın önemli bir bölümü tekstil terbiye işlemlerinde tüketilir. Ana enerji girdileri doğal gaz, elektrik enerjisi, ısıl enerji ve buhar olan bu işletmelerden tekstil terbiye tesislerinde, çok sayıda faktör etkili olmakla birlikte, 1 kg ürün için harcanan elektrik enerjisi yaklaşık 1,5 kW/h iken, doğal gaz 1,10 cm<sup>3</sup>tür (Bilim ve San. Bak., 2017; Uyanık ve diğ., 2019).

#### 1.4. Tekstil Sektöründe Atık Su Karakteristiği

Sanayide, su tüketimi yönü ile tekstil sektörü ilk sıralarda yer almaktadır. Tekstil kumaşı için, uygulanan proseslere ve elyaf türüne bağlı olarak, ton ürün başına 20 m<sup>3</sup> ile 230 m<sup>3</sup> arasında su tüketilmektedir. Ortalama bir tekstil işletmesinde atık su kaynakları Şekil:1’de verilmiştir.



Şekil 1:

*Tekstil işletmesi boyahanesi için atık kaynakları gösterimi.*

Atık IGK sistemleri için bu suyun toplam miktarının yanı sıra, sıcaklığı da önemlidir. Isı aktarımı yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru olacağından, bu fark ne kadar yüksek olursa, ısı transfer miktarı da o derece fazla olacaktır (Pulat, 2009).

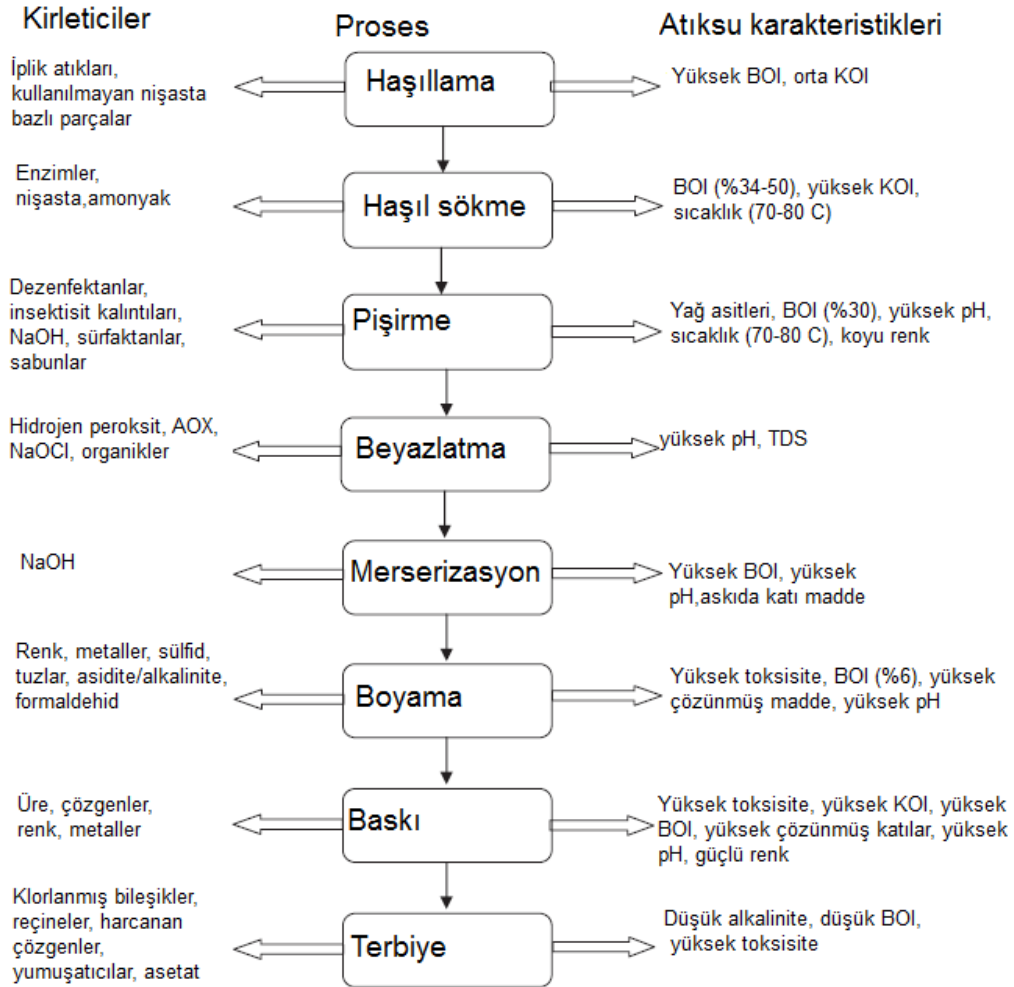
Su tüketimine paralel olarak, sektörde önemli ölçüde kimyasal madde sarfiyatı da söz konusudur. Bu miktar, elyaf türüne, kumaşa uygulanan yaş ve kuru işlemlere, boyarmadde tür ve rengi gibi birçok parametreye bağlıdır.

Yapılan tespitler, üretilen tekstil materyalinin ağırlıkça % 10'u ile % 100'ü arasında kimyasal madde tüketildiğini ortaya koymuştur.

Diğer taraftan, elyaf türüne göre kullanılan her biri farklı yapıda çok sayıda boyarmadde grupları vardır. Atık su karakterini önemli ölçüde bu boyarmaddeler ve bunlara bağlı olarak kullanılan kimyasal maddeler belirler. Kirlenici içerikleri bulunan bu sular, atık su arıtma tesislerinde arıtılmayı takiben alıcı ortama verilebilmektedir (Mercimek ve diğ., 2008).

Özellikle içerdikleri biyolojik olarak parçalanamayan partiküllerin doğrudan deşarjı, sucul ortamda oksijen seviyesini düşürerek, canlı yaşamını tehdit etmektedir (Bahadır E. B. ve diğ., 2012; Verma A. K. ve diğ., 2012).

Tekstil sektörü için sık uygulaması olan prosesler ve oluşan atıkların karakteristiği Şekil 2:'de verilmiştir (Bahadır E. B. ve diğ., 2012; Verma A. K. ve diğ., 2012).



Şekil 2:  
Tekstilde atık su karakteristiği.

Şekil 2:'de;

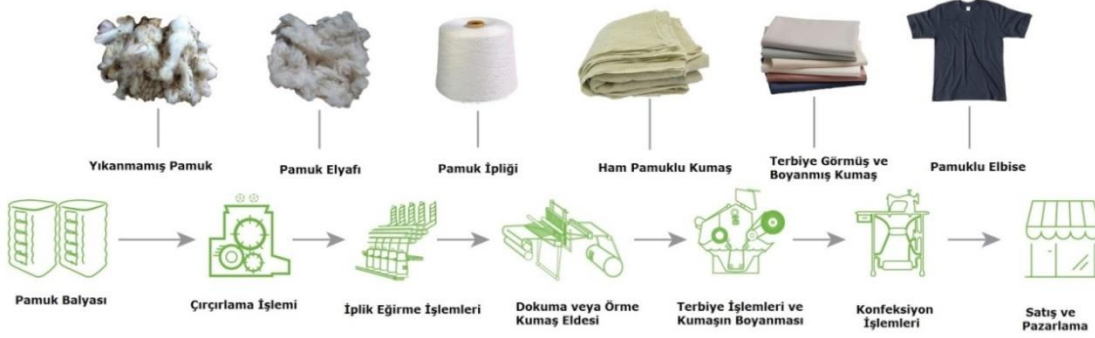
BOİ (Biyokimyasal/ Biyolojik Oksijen İhtiyacı); Aerobik şartlarda, su içeriğindeki organik maddelerin bakteriler tarafından tüketilebilmesi için gerekli oksijen miktarını,

KOİ (Kimyasal oksijen ihtiyacı): Suda bulunan yükseltgenbilir maddelerin oksitlenmeleri için gerekli oksijen miktarını,

TDS (Total Dissolved Solids): Suda çözülmüş toplam katı maddeleri, ifade etmektedir.

Görüldüğü üzere, boyahane öncesi de dâhil, materyalin tabi tutulduğu işlemlere göre farklı muhteviyatta atıklar oluşmaktadır.

Şekil 2:'de kumaşa uygulanan yaş işlemler sonucu oluşan atıklarla birlikte, enzim, nişasta, yağ asitleri gibi kumaş haline gelmeden önceki işlemlerden kaynaklı atıklara yer verilmiştir. Boyama işlemine tabi tutulan kumaş Şekil 3:'teki pamuk örneğinde görüldüğü üzere, bu aşamaya kadar çok sayıda evrelerden geçmektedir.



**Şekil 3:**

*Pamuktan giysiye üretim aşamaları.*

Sözgelimi, selülozik elyaf, kumaş formuna gelinceye kadar geçtiği aşamaların bir bölümünde farklı maddelerle işleme sokulur. Somutlaştırmak gerekirse, çözü (boyuna) iplikleri, dokuma sırasında karşılaştıkları mekanik etkilere karşı mukavemetlerini artırmak için “haşıl” adı verilen malzemelerle muamele edilmektedirler.

Keza pamuk lifi, % 88-96 selülozdan oluşmakla birlikte, doğasından gelen % 2,0-3,5 nem, % 1,5-5.0 protein/ pektin, anorganik maddeler ve % 1'den az da vaks ve yağlar içerir. Materyalin haşıl, yağ, vaks vb. bu tür safsızlıklardan arındırılması gerekir. Aksi halde düzgün bir boyama elde edilmesi mümkün değildir.

## 2. TEKSTİL BOYAHANESİ ATIK SUYUNDAN ISI GERİ KAZANIMI

Tekstil boya işletmelerinde ana giderler; yakıt, elektrik enerjisi, kimyasal maddeler, su ve insan kaynağıdır. Yakıt giderinin, toplam giderin % 35'i seviyelere gelmesi, yatırımcıları bu konuda tasarrufa yönelmek zorunda bırakmıştır. Kullanılan enerjinin büyük çoğunluğu, kendini yenilemeyen esaslı olduğundan, bu tasarruf kaçınılmazdır (Gifford 2012.; Dursun ve diğ., 2017).

Tekstilde kumaş boyahane atık sularının ısısından yararlanmak üzere uygulanan IGK sistemleri projesi, kendini geri ödeme süresi en kısa yatırımlardan biridir. Bu sebeple de son zamanlarda projeye ilgi artmış olmakla birlikte, birçoğu fason çalışan işletmelerde, uygulama süresince üretime ara verilmesine bağlı muhtemel müşteri kaybı en önemli çekince olarak ortaya çıkmaktadır.

Yapılan bir çalışmada bir tekstil boyahanesinde oluşan 250 ton/gün debideki atık sıcak suyun ısısı ile, 18 °C'deki temiz işletme giriş suyunun 55 °C'ye ısıtılması sonucu 210.000 kWh enerji tasarrufu sağlandığı ortaya konulmuştur. Bu çalışma için yatırımın geri ödeme süresi ise 7 ay olarak hesaplanmıştır (Bereket 2017).

Keza bir başka tekstil işletmesindeki çalışmada ise, 65 °C sıcaklıktaki atık sudan ısı geri kazanımında; 100.000 € yatırıma karşılık, 261.662 €/yıl kadar enerji tasarrufu sağlanmıştır. Bu projede yatırımın geri ödemesi süresi 5 ay kadardır (Yamankaradeniz ve diğ., 2007).

Ters akışlı plakalı ısı değiştirici için, ısı aktarım parametrelerinin incelendiği, akrilik ve pamuk elyaf boyanan bir fabrikada yapılan 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 olduğu tespiti yapılmıştır. Ayrıca, atık sıcak su debisi 10 m<sup>3</sup>/h değerinde sabit iken, temiz soğuk giriş suyu için optimum debinin 7 m<sup>3</sup>/h olduğu ortaya konulmuştur. İdeal şartların sağlanması ile; 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 şeklinde avantajların sağlandığı tespitleri yapılmıştır.

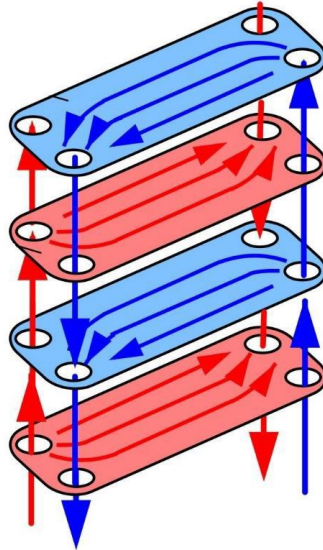
Bu çalışmada aşağıdaki ön kabullerden yola çıkılmıştır:

1. Sistem adyabatik ve süreklidir.
2. Isı değiştiricide, akış yönüne dik kesit boyunca sıcaklık değeri sabittir.
3. Isı plakalarında, ısı değiştiricisinin her yeri için ısı 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. (Tokgöz ve Özgün, 2019; Kandilli ve Koçlu, 2011).

IGK sisteminde işletme kapasitesi, dolayısı ile atık su debisi arttıkça geri kazanılan atık ısı miktarı artacağından, yatırımın geri ödenme süresi de doğal olarak kısalmış olacaktır.

IGK sistemlerinde ısı değiştirici/ ısı pompası tercihinde temel belirleyici kriter atık su sıcaklığıdır. Atık su sıcaklığının 40 °C'nin altında olduğu hallerde, ısı pompaları verimli sonuçlar vermektedir. Buna karşılık 40 °C ile 100 °C arasında ise plakalı ısı değiştiricilerin daha ekonomik olduğu ortaya konulmuştur.

IGK sistemlerinin en kritik donanımı ısı değiştiricilerdir. Plakalı ısı değiştirici devre şeması Şekil 4:'te gösterilmiştir.



**Şekil 4:**  
*Plakalı ısı değiştirici devre şeması.*

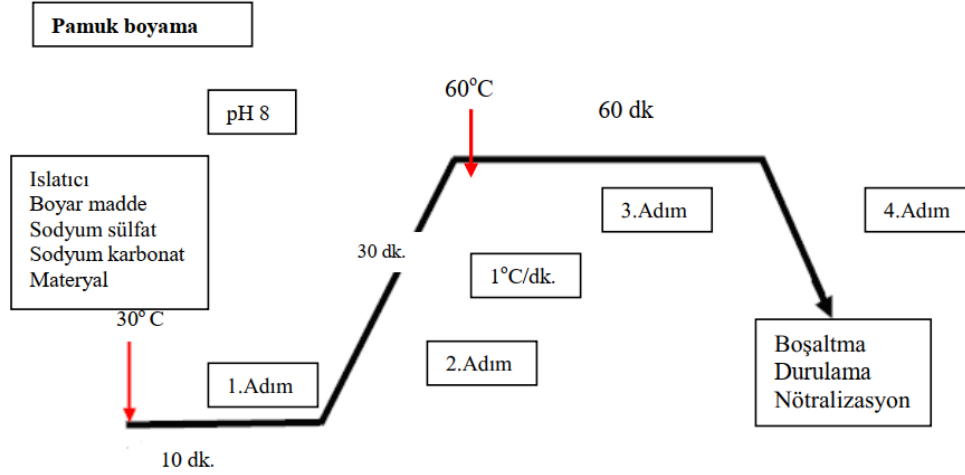
Plakalı ısı değiştiricilerde, plakaların üzerinde oluşturulan akış kanallarından geçen akışkanlar, contalar vasıtasıyla, birbirleriyle karışmaksızın akarlar. Isı değiştiriciyi oluşturan plakaların ebat ve sayıları; kullanım amacına bağlı olarak, akışkan debisine, sıcaklığına, fiziksel özelliklerine, basınç düşmelerine ve istenen maksimum dayanımlarına göre tespit edilir.

Plakalı ısı değiştiricilerinde ısı aktarım katsayıları borulu sistemlere göre 5-6 kat daha büyüktür. Bu, daha küçük boyutlarda aynı işlevi görebildikleri anlamına gelir. Tekstil boyamada kullanılacak ısı değiştirici plakaları üzerindeki kanal yapıları ve plakalar arası açıklık tekstil

elyafının tıkamayacağı şekilde olmalıdır. Bu sebeple üreticiler, yüksek viskoziteli sıvı ve elyaf içeren kâğıt, gıda ve tekstil sektörü için özel plakalar üretmektedirler.

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 (Kaya ve diğ., 2002; Yamankaradeniz ve diğ., 2007).

Öte yandan, Şekil 5:'deki örnek pamuk boyama prosesindeki su sıcaklıkları Tablo:3'te gösterilmiştir.



**Şekil 5:**  
Pamuk boyama proses şeması.

**Tablo 3. Örnek pamuk boyama süreci su sıcaklıkları.**

S/N	İşlem	Sıcaklık, °C	Süre, dk.	Su sıcaklığı, °C
1	Kasar	95	60	95
2	Taşırarak durulama	20	5	
3	Sıcak yıkama	90	10	90
4	Nötralizasyon	50	10	50
5	Boyama	60	120	60
6	Taşırarak durulama	20	5	
7	Nötralizasyon	50	20	50
8	Sabunlu Yıkama	95	10	95
9	Sıcak yıkama	90	10	90
10	Sıcak yıkama	80	10	80
11	Taşırarak durulama	20	5	
12	Yumuşatıcı apre	50	20	50
Yükleme Boşaltma ve Bekleme Süresi			360	-
Toplam İşlem Süresi			655	-
Ortalama Sıcaklık				73
Su Değiştirme Sayısı				9

Tablo 3.'te görüldüğü üzere 12 defa su alan boya makinesinde su sıcaklıklarının aritmetik ortalaması 60 °C'dir. Diğer bir ifade ile bu değer, pamuk boyama sürecinde kullanılan toplam suyun ortalama sıcaklığıdır. Ancak, pamuk elyafı için 60 °C yerine 98 °C'de işlem gören çok sayıda boyarmadde bulunduğundan, genel sıcaklık ortalamasının bu değer de üstünde olması



beklenir. Dahası her ne kadar boyama sıcaklığında atık su deşarjı yapılmıyor olsa da, polyester kumaşlarda, basınç altında 130 °C'ye kadar varan sıcaklıklarda boyama işlemi yapılmaktadır.

Literatür, kumaş boyahanelerinde oluşan atık su miktarını, boyanan kumaş miktarının ortalama 100 katı olarak vermektedir. Bu verinin kontrolü adına; yukarıdaki boyama prosesinde, taşar suları ihmal bile etmiş olsak, 1/10 flotte oranı ile çalışılan bir makine için, 100 kg kumaşa karşılık, tek şarjda 1.000 kg su sarf edilir. 12 defa su alındığından 12.000 kg'lık atık su oluşumu vardır. Görüldüğü gibi atık su kapasitesi kumaşın 120 katıdır. Ancak, sentetik boyamalarda atık su oluşumu daha düşük olduğundan, 100 kat ortalama değeri makuldür.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Gerçek İşletme Verileri ve Gerekçeli Yaklaşımlar:

Tekstil boyahanesinde oluşan atık sudan IGK çalışması için, proses zenginliği ve kapasitesi de dikkate alınarak, alanında lider tesislerden biri olan, Kırklareli-Lüleburgaz'da faaliyet gösteren Tekboy Tekstil Sanayi ve Tic. A. Ş. Örnek tesis seçilmiştir.

İşletmede diğer işlemlerin yanı sıra, 10 ton/gün kapasite ile iplik ve 25 ton/gün kapasiteli örme kumaş boyama işlemleri yapılmaktadır.

Öncelikle işletmedeki makine parkuru ve uygulanan prosesler irdelenmiştir.

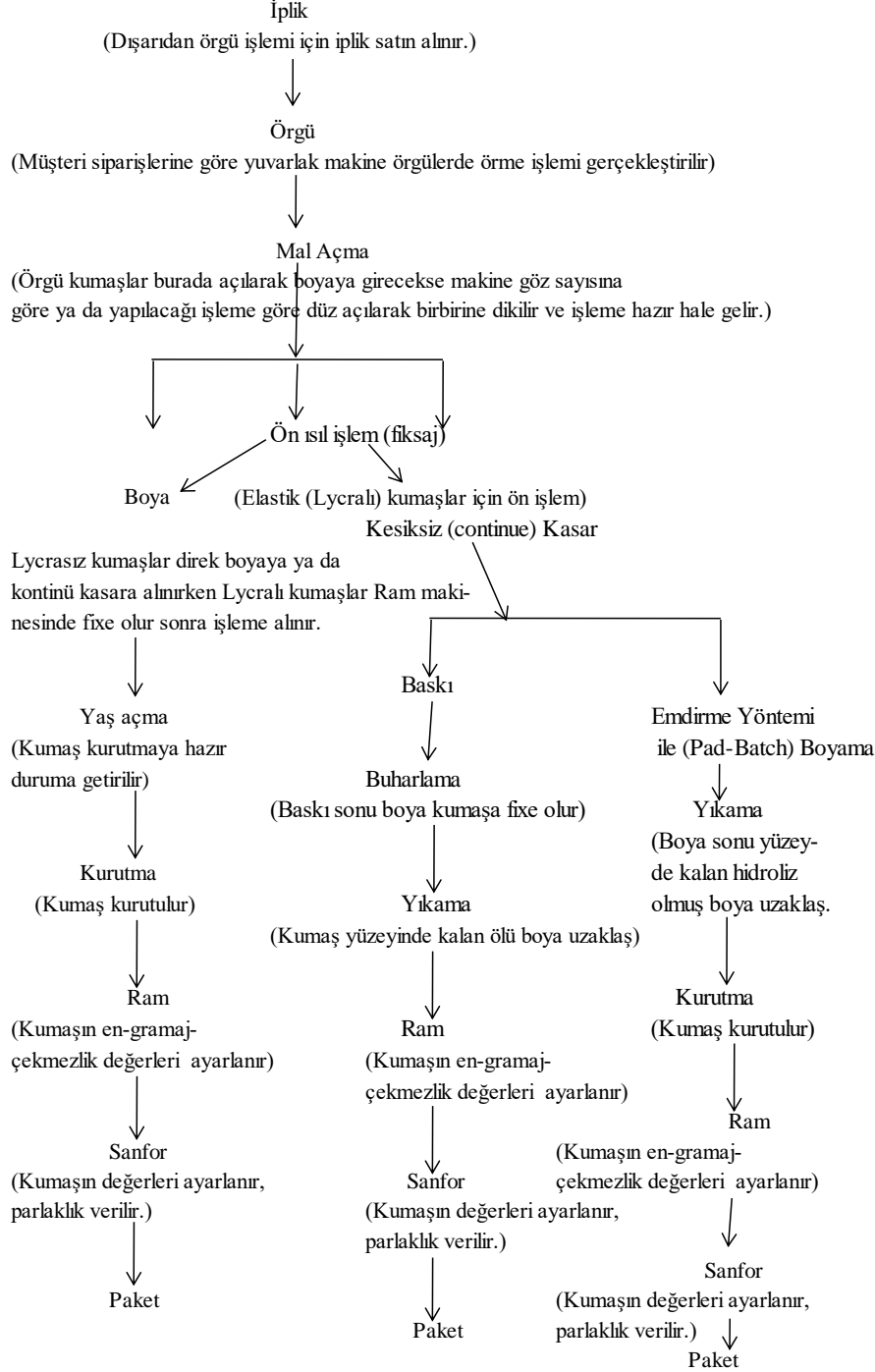
İşletme üretim hattı; iplik örme, baskı ve boyama olarak üç bölümden oluşmaktadır. Üretim sürecinde kullanılan makine parkuru Tablo 4.'te verilmiştir.

**Tablo 4. İşletme makine parkuru.**

MAKİNE	AÇIKLAMA	ADET
<b>Ramözler</b>	Kurutma, boyut değişim stabilitesi, gramaj ayarı, apre işlemleri için kullanılmaktadırlar.	8
<b>Sanforlar</b>	Kumaşta boyut değişim stabilitesi amacıyla kullanılmaktadır.	3
<b>Kumaş Boya Makineleri</b>	3 kg'dan 1000 kg'a kadar değişen kapasitelerde, muhtelif konfigürasyonlardaki bu makinelerde kumaş boyama işlemleri yapılmaktadır.	19
<b>İplik Boya Makineleri</b>	20 adet iplik boyama ve 2 adet de kurutma amaçlı mikro dalga fırın vardır.	20+2
<b>Ham İplik Aktarma Makineleri</b>	İplik boyahanesine gidecek iplikler bu makinelerde hazırlanmaktadır.	6
<b>Boyalı İplik Aktarma Makineleri</b>	Boyanmış ürün, bu makinelerle örgü veya satış bölümüne beslenir.	7
<b>Açma Makineleri</b>	3 adet mal açma ve 1 adet de kurutucudan ibarettir.	3+1
<b>Örme Makineleri</b>	Aynı özellikli, iplikleri triko kumaş formuna getiren makinelerdir.	34
<b>Baskı Makinesi</b>	Biri 10, diğeri ise 12 renkli desen basabilmektedir.	2
<b>Kontinu Yıkama Makinesi</b>	Yıkama işlemi ile boyanın sabitlenmesi sağlanır. Kurutma ünitesi ile birliktedir.	1
<b>Kontinu Kasar Makinesi</b>	Kumaşların beyazlaştırılması bu makinede yapılır. Ana kimyasal madde olarak Hidrojen Peroksit (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) kullanılmaktadır.	1
<b>Shrink Makineleri</b>	Ürünleri ambalajlama için kullanılmaktadırlar. Shrinklenen ürün; paket olarak, parlak, estetik ve şeffaf bir görünüm kazanır.	4

Ayrıca geçmiş yıllara ait baskı, kumaş ve iplik departmanlarındaki aylık üretim miktarları incelenmiştir. Genel olarak en yüksek üretimin sırasıyla ilkbahar ve sonbahar aylarında, en düşük üretimin ise yaz ayında gerçekleştiği görülmüştür. Özellikle fason çalışan işletmelerin büyük çoğunluğu için geçerli olan bu durum dışında, azami ve asgari üretim değerleri arasında uçurum bulunmaması, işletmenin üretimde istikrarı sağlamış olduğu şeklinde değerlendirilmiştir.

İşletme iş akım şeması Şekil 6:'dadır.



**Şekil 6:**  
Tekboy Tekstil San. ve Tic. A. Ş. İş Akım Şeması

İşletmede, IGK sisteminde kullanılacak atık suyun tespitinde; proseslerden kaynaklanan atık suların toplamı, su tüketim miktarı ve toplam kapasite birlikte değerlendirilmiştir.

Ayrıca kapasiteyi belli ölçüde yüksek tutmanın; ilk yatırım ve işletme maliyeti üzerindeki etkisinin kabul edilebilir seviyede olması, sistemin düşük kapasitede de çalışabilmesi ve emniyet payı parametreleri dikkate alındığında, toplam atık su miktarının bir miktar yüksek tutulması isabetli bir yaklaşımdır.

İşletmede tüketilen aylık su miktarları Tablo 5.'da yer almaktadır. Tablodan, 01 Ağustos 2017-31 Temmuz 2018 arası 12 aylık dönemde kullanılan yeraltı su miktarı toplamı 703.646 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 5. İşletmenin 2017-2018 yılları içindeki 1 yıllık yeraltı suyu tüketimi.**

Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2017 Yılı Tüketim (m <sup>3</sup> )								50559	47699	62469	66062	50777
2018 Yılı Tüketim (m <sup>3</sup> )	50766	50729	63585	69329	74645	58559	58562	-	-	-	-	-

Bu durumda 1 yılda 336 gün ve 1 günde 24 saat çalışılan işletmede, 1 saatte tüketilen su miktarı;  $(703.646 \text{ m}^3/\text{yıl})(1 \text{ yıl}/336 \text{ gün})(1 \text{ gün}/24 \text{ h}) = 87,235 \text{ m}^3/\text{h}$  olarak hesaplanır.

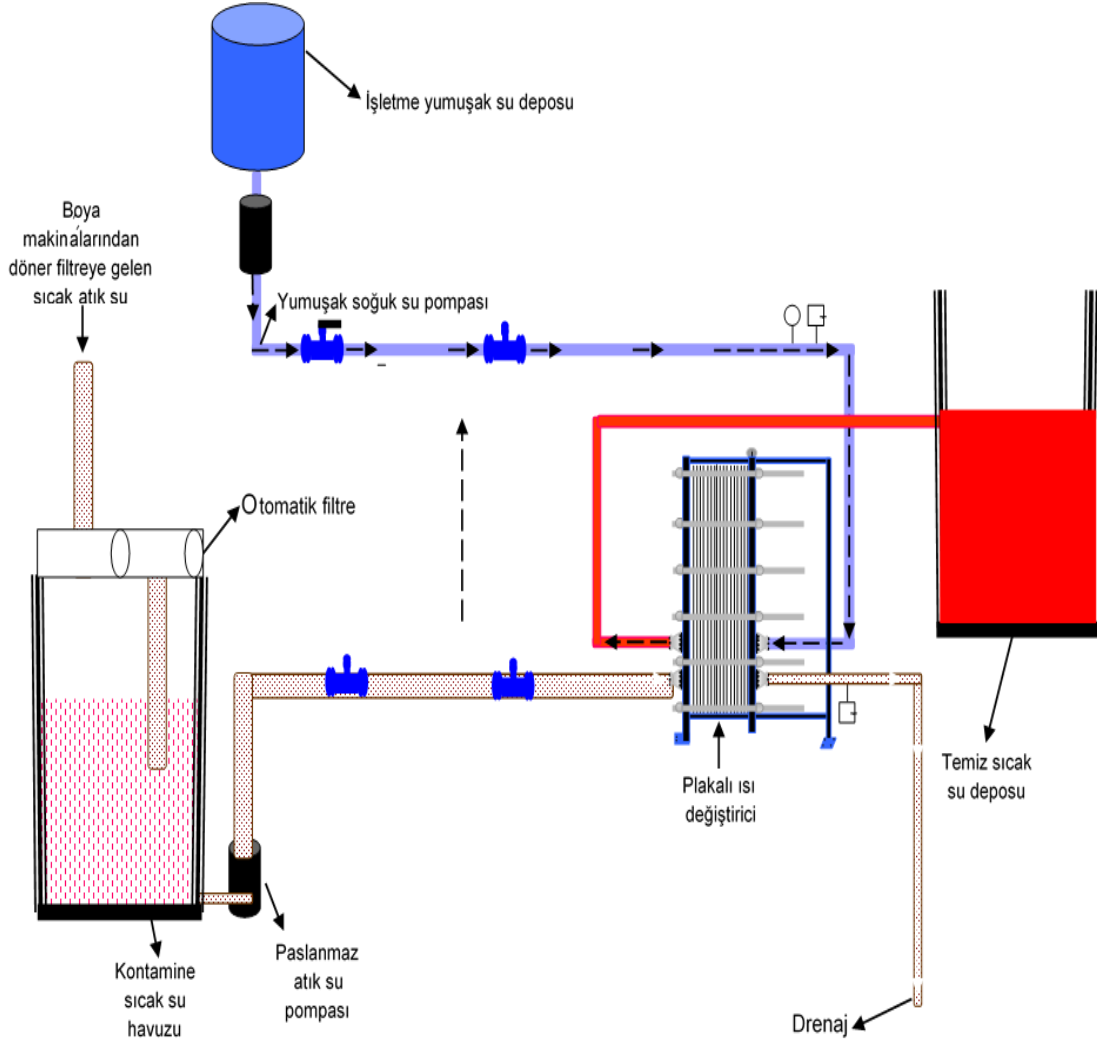
Belirtilen tarih aralığı için yapılan hesaplamada, en düşük su tüketiminin olduğu Ağustos 2017'deki 50.559 ton ve en yüksek tüketim ayı olan Mayıs 2018'deki 74.645 ton ile ikisi arasındaki 10 değerlerin ortalaması alınmıştır. Dolayısı ile bu tür hesaplarda, işletmede herhangi bir aksaklık ve depolama problemi yaşanmaması adına, sadece ön fikir veren ortalamanın değil, en yüksek değer dikkate alınması gerekir. Kaldı ki, işletmenin tam kapasite ile çalışması halinde, oluşacak atık su miktarı daha da yüksek olacaktır.

İşletmede % 80 kadarı IGK sisteminde kullanılacak olan atık su toplam debisi 100 ton/h olarak alınmıştır.

### 3.2. İşletme İçin Öngörülen Isı Geri Kazanım Sistemi ve Ekonomik Analizi

Mevcut ekipmana ilave olarak, işletme için öngörülen IGK Sistemi temel üniteleri; plakalı ısı değiştiricisi, kontamine sıcak su ve temiz sıcak su havuzları, PLC (Programmable Logic Controller) ile SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) yazılım ve donanımları, 3 yollu vana, dijital termostat ile elektrik ve su tesisatından oluşmaktadır.

Şekil 7:'de şematik gösterimi bulunan sistemde, sıcak kirli su, otomatik ters yıkama sistemli kaba filtreden geçirilir. Bu şekilde elyaf gibi parçacıkların sistem ekipmanını (pompalar, ısı değiştiriciler..) tıkanması önlenmiş olur. Filtre edilen bu su, kirli sıcak su havuzuna alınır.



**Şekil 7:**  
IGK Sistemi Şematik Gösterimi

Havuzun alt noktasından pompa yardımı ile bu su plakalı ısı değiştiricisine gönderilir. Aynı andan yumuşak temiz su deposundan giren sertliği giderilmiş temiz su ile ısı değiştiricisinde karşılıklı ısı aktarımı gerçekleşmiş olur.

Isısının bir bölümü kaybeden sıcak su, doğrudan atık su arıtma tesisine gönderilir. Isı alarak, sıcaklığı yükselen temiz su ise işletmede kullanılmak üzere, sıcak temiz su deposuna iletilir.

Ayrıca, proseslerden gelen sıcak kirli suların, 30 °C'nin altında olanların ayrışarak doğrudan atık su arıtma tesisine (AAT), üstü sıcaklıkta olanların ise sıcak kirli su havuzuna gidişini sağlamak üzere, 3 yollu otomatik kontrollü vanadan yararlanır. Vana birer adet ısı sensörü ve dijital termostat ile donanır. Olası bir tıkanma veya vananın açılmaması gibi haller için de, atık suyu doğrudan AAT'ne iletecek bir emniyet hattı ilave edilir.

Sistemde kullanılan plakalı tip ısı değiştirici, tekstil sektöründe IGK sistemleri için özel üretilmiş, geniş plaka aralıklı olmalıdır. Aksi halde her ne kadar sıcak kontamine su deposu girişinde atık sıcak su filtre edilse de, ısı değiştirici ve diğer aksamın parçalanmış elyaf kalıntıları ile tıkanması muhtemeldir. Isı değiştirici, boyahane atık sularının yaklaşık % 80'inin olduğu 40-100 °C aralığındaki atık suların ısı aktarımı için yüksek verimli olmalıdır.

Sistem parametreleri; PLC otomasyon sistemi ve SCADA programı ile otomatik olarak takip/ kontrol edilerek, hem sistemin kusursuza yakın çalışması temin edilmiş olacak, hem de olası bir aksaklıkta uzaktan müdahale edebilme imkânı sağlanmış olacaktır.

İşletmede su ısıtma gideri için, 10 °C'deki suyu 90 °C'ye ısıtmak için gerekli doğal gaz maliyet hesabı aşağıdaki şekildedir:

Isı değiştiriciden çevreye ısı kaybının olmadığı, kinetik ve potansiyel enerjilerin sisteme etkilerinin önemsiz olduğu, sistemde hiçbir kimyasal etkileşimin bulunmadığı, ısı değiştirici plakalarının her noktasında aynı ısı direncinin bulunduğu varsayımları ile 100 ton/h debideki akışkana geçen ısı miktarı;

$\dot{Q} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$  eşitliği ile hesaplanır. Akışkanda faz değişiminin olmadığı ve özgül ısıların aynı ve sabit olduğu kabulü ile ısı değiştiricide transfer olması gereken ısı akı miktarı ise;  $\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_2 - T_1)$  eşitliğinden hesaplanır (Bergman ve diğ., 2011 ).

Yukarıdaki eşitliklerde;

$\dot{m}$  (kg/s); 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 olduğundan, işletme giriş sıcaklığı 10 °C olan suyu 90 °C'ye getirmek gerekli ısı miktarı;

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p (T_2 - T_1) = (100.000 \text{ kg/h})(4,18 \text{ kJ/kgK})(90-10) \text{ K} = 37 620 000 \text{ kJ/h}$$

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

Örnek işletme için serbest tüketici satış fiyatlarına ait değerler listesinde, 01-31 Aralık 2020 tarih aralığı için doğal gaz fiyatının 0,15766034 TL/kWh olduğu görülmüştür (portal.enerya, 2020).

Bu durumda; 10 °C deki 100 ton suyu 90 °C ye ısıtmanın 1 saatlik bedeli:

$$(10 450 \text{ kWh})(0,15766034 \text{ TL/kWh}) = 1.647,5 \text{ TL,}$$

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

$$(1.647,5 \text{ TL})(1,18) = 1.944 \text{ TL (1 saatte harcanan doğal gaz bedeli)}$$

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

1 yılda harcanan doğal gaz bedeli;

$(1.944 \text{ TL}/1 \text{ h})(24 \text{ h}/1 \text{ gün})(336 \text{ gün}/1 \text{ yıl})=15.677.300 \text{ TL}/\text{yıl}$  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 14 Aralık 2020 tarihi değeri ile  $(15.677.300 \text{ TL}/\text{yıl})(1 \text{ \$ } /7,86 \text{ TL})\approx 1.994.567 \text{ \$}/\text{yıl}$ 'dır.

Öte taraftan işletmede proseslere göre farklı akışkan sıcaklıklarına ihtiyaç duyulur. Bu değerler, soğuk yıkama/ durulamadan, polyester kumaş boyamalarında ve basınçlı makine temizliklerinde olduğu üzere 135 °C'lere kadar ulaşmaktadır. Dolayısı ile akışkan sıcaklığı için sabit bir değer yerine, bu verilerden yola çıkarak yaklaşık bir değer esas alınması mümkündür ki, literatürdeki tespitler de bu yöndedir. İşletme için ortalama temiz su giriş sıcaklığı 20 °C olarak alınmıştır.

Aynı cins ve farklı sıcaklıktaki iki akışkan arasındaki ısı aktarımında belirleyici parametreler; ısı aktarım yüzey alanı, akışkanlar arası sıcaklık farkı ve akışkanların ısı değiştiricisindeki akış türbülans düzeyleridir (Tauscher ve Mayinger 1999; Buyruk ve Karabulut 2017).

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

100 ton/h debideki atık suyun % 80'inin IGK sistemine verilecek sıcaklıkta olduğundan hareketle, örnek işletme için öngörülen/ hesaplanan değerler Tablo 6.'daki gibidir (Bergman ve diğ., 2011):

**Tablo 6. Isı değiştiricisinde aktarılan ısı hesap tablosu.**

Parametre	Birim	Değeri
İşletme sıcak kirli atık su debisi	ton\h	100
Sıcak kirli atık suyun ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı	°C	60
Temiz soğuk suyun ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı, T <sub>1</sub>	°C	20
Temiz suyun ısı değiştiriciden çıkış sıcaklığı, T <sub>2</sub>	°C	50
Temiz suyun ısı değiştiricisine giriş debisi, m	ton\h	100
Aktarılan ısı: $Q=m.c_p.(T_2-T_1)$	kJ\h	$(80.000 \text{ kg})(4,18 \text{ kJ}/\text{kgK})(50-20) \text{ K}$
Isı değiştiricide geri kazanılan ısı miktarı	kJ\h	$10.032.000 \text{ kJ}/\text{h}=10.032 \text{ MJ}/\text{h}$

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

Buna göre, sisteme giren yumuşak sudaki 30 °C'lik sıcaklık artışına karşılık, 10.032 MJ/h'lık enerji elde edilmiş olur.

$1 \text{ m}^3$  doğal gazın taşıdığı enerji: 34,485 MJ olduğundan (Yamankaradeniz ve diğ., 2007),

Sisteme giren suya aktarılan ısı enerjisinin doğal gaz eş değeri;

$(10.032 \frac{\text{MJ}}{\text{h}})/(34,485 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3})=290,909 \text{ m}^3/\text{h}$  olarak bulunur.

İşletmenin günde 24 saat ve yılda 336 gün çalıştığı verisinden hareketle,

Tasarruf edilen ısı enerjisinin yıllık 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 olarak elde edilir.

Görüleceği üzere, IGK sistemi ile yıllık  $2.345.890,909 \text{ m}^3$  doğal gaza eşdeğer ısı enerjisi tasarrufu yapılmaktadır.

Doğal gaz işletmelerinin verilerinden, 01-31 Aralık 2020 tarih aralığı için doğal gaz fiyatı  $0,15766034 \text{ TL/kWh}$  olduğu anlaşılmıştır (portal.enerya, 2020).

$1 \text{ m}^3$  doğal gaz enerjisi,  $10,64 \text{ kWh}$  değerine takâbül ettiğinden

$(2.345.890,909 \text{ m}^3/\text{yıl})(10,64 \text{ Kwh/1 m}^3)(0,15766034 \text{ TL/kWh})= 3.935.246 \text{ TL}$

% 18'lik KDV'yi de ilave edersek:

Yıllık tasarruf edilen bedel:

$(3.935.246 \text{ TL/yıl})(1,18)=4.643.590 \text{ TL}$  olarak bulunur (Kuş ve diğ., 2015).

İşletmelere IGK sistemleri kuran bir firmadan,  $100.000 \text{ ton/h}$ 'lık atık su kapasitesi için, komple IGK sistemi (ısı değiştirici, temiz su pompası, atıksu pompası, filtre, otomasyonlu elektrik ve otomasyon sistemi, paket-modüler sistemin verilen proje doğrultusunda yerine koyularak pompalar, hidroforlar ve depolarla gerekli mekanik ve elektrik bağlantılarının montajı, devreye alınması, işletilmesinin işletme personeline öğretilmesi, 1 yıl süre ile çalışma ve ücretsiz servis verilmesi, bütün montaj, testler, ayarlar vs. dahil) kurulumu için ilk yatırım maliyeti olarak  $100.0000 \text{ €}$  verisi alınmıştır. Bu veriden yola çıkılarak;

11 Aralık 2020 tarihi itibari ile  $1 \text{ €}=9,58 \text{ TL}$  olarak alındığında

İlk yatırım maliyeti= $(100.000 \text{ €})(9,58 \text{ TL/1 €})=958.000 \text{ TL}$

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

Geri Ödeme Süresi=  $[(958.000 \text{ TL})/(4.643.530 \text{ TL/yıl})](12 \text{ ay/1 yıl})$

Geri Ödeme Süresi =  $(0,206 \text{ yıl})(12 \text{ ay/yıl})=2,47 \text{ ay}$  olarak bulunur.

Görülmektedir ki, ilk yatırım maliyeti yüksek görünmekle birlikte, özellikle eski/ sistemlerini güncellemeyen işletmeler için ısı verimlilik kaybı olarak % 20'lik bir farkı da dikkate almış olsak  $(2,47 \text{ ay})(120/100)=2,96\approx 3 \text{ ay}$  sürede yatırım kendini amorti etmektedir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

##### 4.1. Sonuçlar

Çalışma alanı olarak seçilen işletmede yapılan tespitler ve hesaplamalara göre;

**a.** İşletmeye giren temiz suyu  $20 \text{ °C}$ 'den  $50 \text{ °C}$ 'ye ısıtmak için tasarlanan IGK sistemi ile yıllık  $2.932.384,89 \text{ m}^3$  doğal gaz eşdeğeri enerji tasarrufu elde edilebilir. Tasarruf edilen bu doğal gazın KDV dahil bedeli  $5.804.530 \text{ TL}$ 'dir.

**b.** İşletmede IGK sistemi için yapılan toplam  $100.000 \text{ €}$ 'luk yatırımın geri ödeme süresi 3 ay kadardır.

**c.** Kirli sıcak su, kısmen de olsa filtre edildiğinden, AAT'ye hem elyaftan arınmış olarak, hem de daha az kirlilik yükü ile gitmiş olacaktır. Bu açıdan tasarlanan IGK sistemi çevreci bir yatırımdır.

**d.** IGK sisteminden çıkan ve ısı vererek sıcaklığı azalan kontamine su, tercih edildiği şekliyle AAT'ne daha düşük sıcaklıkta gitmiş olacaktır.

e. Boyama prosesleri için giriş suyu sıcaklığının yaklaşık sabit olması, aynı kalitede boyamaya olumlu katkısı ve soğuk su ısıtılması için harcanacak zamandan tasarruf yönleri ile üretimde artış sebebi olacaktır.

f. Soğuk suyu ısıtmada kullanılacak buhar üretiminin azalması ile birlikte, buhar kazanı ekipmanı (fan, pompalar..) daha az çalışmış olacaktır. Bu şekilde enerjiden ve sudan tasarruf edildiği gibi, ekipman bakım/ onarım giderleri de azalacaktır.

g. Yakıt, ısı enerjisi ve zaman tasarrufuyla birlikte, işletmenin rekabet gücü artmış olacaktır.

#### 4.2. Öneriler

a. Kontamine atık sudan IGK sistemi plânlanan işletmelerde, sıcak ve soğuk su hatları ayrı tasarlanmalıdır.

b. İşletme koşulları gereği; üretim/ müşteri kaybı endişesi ile çalışmaya belli bir süre ara vermektan kaçınan mevcut işletmelerde ise atık su 3 yollu otomatik kontrollü bir vana ile sıcaklığına göre doğrudan AAT'ye veya kontamine sıcak su havuzuna gönderilebilir.

c. IGK sisteminin bütün üniteleri, mevcut en iyi teknolojiyi kullanan otomasyon sistemi ile yönetilmeli ve SCADA yazılımı ile kontrol ve izlenmesi yapılmalıdır. Bu şekilde olası hatalar kabul edilebilir düzeye indirilmiş olacaktır.

d. Sistemde tıkanmaya karşı geniş plaka aralıklı, bakımı ve temizliği kolay, 40-100 °C aralığındaki atık sular için yüksek verime sahip, tekstil sektörü için özel üretilmiş plakalı tip ısı değiştiriciler kullanılmalıdır. Tekstil boyahane atık sularının 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 atık su miktarı toplam atık suyun 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 sağlanacağı öngörülmektedir. Bu anlamda belli kapasite üzerinde sıcak atık suyu oluşan tekstil boyahaneleri için IGK sistemleri kurulması kademeli olarak teşvik edilmeli ve gerekli altyapının oluşturulmasını müteakip, zorunlu hale getirilmesi hususu değerlendirilmelidir.

f. Gün geçtikçe artan kirliliğin ulaştığı tehlikeli boyutlara rağmen, çevresel değerler, insanoğlunun hırslarına ve daha çok kazanma arzusuna feda edilmeye devam edilmektedir. Bu yüzden de teorik söylemler ve matematiksel hesaplar, ne yazık ki neticeye yeterince hizmet etmemektedir. Yapılan bilimsel yayın sayısı ile bu yayınların sanayide uygulanabilme oranı arasındaki uçurumun varlığı bu söyleme işarettir. Bu sebeple, akademik çevrelerin araştırmalarında bilimsel derinlik kadar, sadelik ve uygulanabilirlik konularını da dikkate almalarında yarar olduğu değerlendirilmektedir.

g. Isı geri kazanımı gibi enerji tüketimini azaltmaya yönelik her türlü projeyi uygulamaya koyan işletmelere ilk yatırım maliyetine esas belli ölçüde kaynak desteği verilebilir. Ya da esas olan yatırımın uygulanması olduğundan -atık su arıtma tesislerini sağlıklı işleten tesislere verilen destek benzeri- geri kazanılan/ tasarruf edilen enerjinin belli bir yüzdesi oranında enerji harcaması, ilgili kamu kurumunca karşılanabilir.

h. Ekonomik ve sosyokültürel gelişmişliğin çevreye olan saygıyı da beraberinde getirdiğinin en somut göstergesi, gelişmiş dünya ülkelerindeki durumdur. Türkiye'de çevresel anlamda, koku dâhil, hemen her tür çevresel kirliliğe dair onlarca mevzuatın yanı sıra, tekstil özelinde Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği gibi ayrıca özel bir mevzuat da yayımlanmış olmasına karşılık, istenen noktaya gelinebilmiş olduğu açıktır. Yasal



tedbirlerin ve denetimlerin tek başına yeterli olmaması, güzel davranışların alışkanlık haline getirilmesi gerektiği gerçeğini bir kez daha ortaya koymaktadır.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/ kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

## YAZAR KATKISI

Emre KALAYCI; çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin belirlenmesi, veri toplama ve makale taslağının oluşturulması ile son onay ve tam sorumluluk, Evren ÇAĞLARER ise; çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin yönetimi, veri analizi ve yorumlama ve fikrinsel içeriğin eleştirel incelemesi ile son onay ve tam sorumluluk bölümlerine katkı sağlamıştır.

## KAYNAKLAR

1. Aksay C. S., Ketenoglu O., Kurt L. (2005). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Fakültesi Dergisi*, 25, 29-41.
2. 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
3. Bahadır, E. B. (2012). Tekstil Endüstrisi Artırılmış Atık Sularında Renk ve Öncelikli Kirleticilerin Ozon Teknolojisi ile Gideriminin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.  
Bağlantı: <http://hdl.handle.net/20.500.11776/904>
4. Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera F. P., Dewitt D. P. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Seventh Edition.
5. Bilen, Ö. (2008). *Türkiye'nin Su Gündemi Su Yönetimi ve AB Su Politikaları*, s. 56-58. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
6. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2017). *Tekstil, Hazır Giyim, Deri ve Deri Ürünleri Sektörleri Raporu-2017*.
7. Buyruk E., Karabulut K. (2017). Plakalı Kanatçıklı Isı Değiştiricilerde Kanat Açısının Isı Transferine Olan Etkisinin Üç Boyutlu Sayısal Olarak İncelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1), s. 49-62.
8. Doğalgaz Abone Satış Fiyatlarına Ait Değerler, Erişim Adresi: <https://portal.enerya.com.tr/DogalGazBirimFiyatlari/index.xhtml?city=07> (Erişim Tarihi: 10.12.2020).
9. DSİ (2018). *DSİ 2018 Ajandası*. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
10. 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. doi: 10.25287/ohuiibf.301050
11. 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).
12. Bereket S. (2017). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 8. Enerji Verimliliği Forumu ve Bildiriler Kitabı, s. 107-110.
13. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2018). Erişim Adresi: <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx> (Erişim Tarihi: 10.11.2018).

14. 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. doi: 10.21324/dacd.408379
15. Gifford, R (2014). *Environmental Psychology, Principles and Practice*, 5th ed. Optimal Books, Canada.
16. Kalaycı E., Türker G., Çağlar E. (2019). Kırklareli İlinin Hayvansal Atık Potansiyelinin Biyogaz Üretimi Çerçevesinde Değerlendirilmesi ve Güncel Yapının Yorumlanması, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (4), 1489-1497. doi: <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.593791>.
17. Kandilli C., Koçlu A. (2011). Tekstil Endüstri Boyama Prosesinde Plakalı Isı Değiştiricilerle Atık Isı Geri Kazanım Sistemi Enerji ve Ekserji Analizi, X. Ulusal Tesilat Mühendisliği Kongresi, İzmir. 1913-1925.
18. Karadağ A. A., (2008). Türkiye'deki Su Kaynakları Yönetimine İlişkin Sorunlar ve Çözüm Önerileri, *TMMOB Su Politikaları Kongresi Bildiriler Kitabı*, 2, 389-400.
19. Kaya, D. ve DüNDAR, C. (2002). Sanayide Enerji Tasarrufu Potansiyeli-II, *Mühendis ve Makine*, 515.
20. Kuş, Ç. A., Çomaklı K. (2015). Farklı Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Ekonomik Analizi, *Tesisat Mühendisliği*, Sayı:148, s.13-21.
21. 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)
22. Mercimek H. A., Çolak Ö. (2008). *Trametes Versicolor*'in Tekstil Boyalarının Gideriminde Kullanım Olanakları, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yıl:2008 Cilt:17-3, s. 117.
23. 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.
24. 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.671. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.002>
25. Selbaş, R. (1992). Atık Isı Enerjisinden Yararlanma Yöntemleri ve Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
26. Su Raporu (2007). Ulusal Su Politikası İhtiyacımız, Ulusal Sanayici ve İşadamları Derneği (USİAD), Ed. Yıldız D., *Ada Strateji*, Ankara, s. 162.
27. 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.
28. Şahin, B. (2016). Küresel Bir Sorun, Su Kıtlığı ve Sanal Su Ticareti, *Yüksek Lisans Tezi*, Çorum Hitit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
29. Şen, H. M. (2007). Türkiye'nin Genel Enerji Durumu, Türkiye'de Enerji ve Geleceği, *İstanbul Teknik Üniversitesi Görüşü*, 27-35, İstanbul.

30. Tarım ve Orman Bakanlığı Ulusal Su Planı (2019-2023).
31. 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.
32. 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.  
doi: <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.608955>
33. United States Department of Energy (U.S. DOE), Industrial Assessment Center (IAC), Industrial Assessment Center (IAC) Database. Department of Energy, Washington, DC, USA; 2006. Available at: <http://iac.rutgers.edu/database/index.php>.
34. Uyanık S., Çelikel D. C., (2019). Türk Tekstil Endüstrisi Genel Durumu, *Teknik Bilimleri Dergisi*, Cilt 9, Sayı 1, 32-41.
35. 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.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.09.012>
36. 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.  
URI: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/202791>

