



## ENTEĞRE BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE KİMYASAL AZALTIMI VE KİMYASAL DEĞİŞİMİ UYGULAMASI

Emrah ÖZTÜRK\*

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Aksu Mehmet Süreyya Demiraslan Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Kimyasal Envanteri,  
Kimyasal Değişimi,  
Kimyasal Azaltımı,  
Tekstil,  
Temiz Üretim.*

### Öz

Bu çalışmada ağırlıklı olarak pamuklu dokuma ve örgü kumaş üretimi yapan entegre bir tekstil işletmesinde kimyasal tüketimlerinin azaltılması ve çevresel açıdan riskli kimyasalların çevre dostu ikameleriyle değişimi amaçlanmıştır. Tesiste yerinde detaylı incelemeler ve veri toplama çalışmaları yapılmıştır. Prosesler bazında spesifik boyarmadde ve spesifik yardımcı kimyasal tüketimleri hesaplanmıştır. Tesisin spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimleri literatürde ve Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol (IPPC) Tekstil Sektörü için Mevcut En İyi Teknikler Referans Dokümanında (BREF) yer alan benzer tesis verileriyle kıyaslanmıştır. Böylelikle tesisin boyarmadde ve kimyasal kullanımı açısından azaltım potansiyelleri değerlendirilmiştir. Ayrıca tesiste toplam 450 kimyasalın malzeme güvenlik bilgi formları (MGBF) biyodegradasyon oranları, toksik özellikleri ve mikrokirletici içerikleri açısından incelenmiştir. Buna göre 48 kimyasalın çevresel açıdan riskli olduğu belirlenmiş ve çevre dostu ikameleriyle değişimleri önerilmiştir. Tesiste yürütülen saha çalışmaları ve veri analizi çalışmaları sonucunda elde edilen bilgilerden yararlanılarak tesis yönetimi ve teknik personeliyle birlikte 10 adet kimyasal azaltım tekniğinin uygulanmasına karar verilmiştir. Belirlenen her bir teknik için azaltım oranları, yatırım maliyetleri ve geri ödeme süreleri belirlenmiştir. Tesiste belirlenen tekniklerin tümünün uygulanmasıyla boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinde %14,9-27,3 arasında azaltım sağlanabileceği bulunmuştur. Uygulamaların geri ödeme süresinin 41 aydan daha kısa olacağı hesaplanmıştır.

## IMPLEMENTATION OF CHEMICAL REDUCTION AND CHEMICAL SUBSTITUTION IN AN INTEGRATED TEXTILE FACILITY

### Keywords

*Chemical Inventory,  
Chemical Substitution,  
Chemical Reduction,  
Textile,  
Cleaner Production.*

### Abstract

In this study, it was aimed to reduce chemical consumption and replace environmentally risky chemicals with environmentally friendly substitutes in an integrated textile facility that mainly produces cotton woven and knitted fabrics. Detailed on-site investigations and data collection studies were carried out in the facility. Specific dyestuff and specific auxiliary chemical consumptions were calculated on the basis of processes. Specific dyestuff and auxiliary chemical consumptions of the facility were compared with similar textile facilities in the literature and Best Available Techniques Reference Document for the Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Textile Industry (BREF). Thus, the reduction potentials of the facility in terms of dyestuff and chemical consumptions were evaluated. In addition, material safety data sheets (MSDS) of a total of 450 chemicals were examined in terms of biodegradation ratios, toxic properties and micropollutant contents. Accordingly, 48 chemicals were determined to be environmentally risky and their replacement with environmentally friendly substitutes was suggested. It was decided to implement 10 chemical reduction techniques together with the facility management and technical personnel, using the information obtained from field and data analysis studies carried out in the facility.

\* İlgili yazar / Corresponding author: emrahozturk@isparta.edu.tr , +90-246-341-2363

For each determined technique, reduction ratios, investment costs and payback periods were calculated. It was found that with the application of all the techniques determined in the facility, a reduction of 14.9-27.3% could be achieved in the consumption of dyestuffs and auxiliary chemicals. Payback period of the practices could be less than 41 months.

#### Alıntı / Cite

Öztürk, E., (2023). Entegre Bir Tekstil İşletmesinde Kimyasal Azaltımı ve Kimyasal Değişimi Uygulaması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 198-211.

#### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Öztürk, 0000-0001-6421-6474

#### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	25.07.2022
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	05.09.2022
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	10.09.2022
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	27.03.2023

## IMPLEMENTATION OF CHEMICAL REDUCTION AND CHEMICAL SUBSTITUTION IN AN INTEGRATED TEXTILE FACILITY

### Emrah ÖZTÜRK\*

Department of Environmental Protection Technologies, Aksu Mehmet Sureyya Demiraslan Vocational School, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Turkey

#### Highlights

- A chemical minimization and substitution study was carried out in a textile mill.
- A chemical inventory study was examined for 450 dyestuff and auxiliary chemicals.
- Chemical replacement was suggested for 48 chemicals.
- 10 minimization techniques were determined to reduce chemical consumption.
- A reduction of 14.9-27.3% could be achieved in the consumption of dyestuffs and auxiliary chemicals.
- A 14.9-27.3% reduction in the chemical consumption can be achieved by the determined techniques.

#### Purpose and Scope

The main purpose of this study is to reduce chemical consumption and replace environmentally risky chemicals with environmentally friendly substitutes in an integrated textile facility that mainly produces cotton woven and knitted fabrics.

#### Design/methodology/approach

Detailed on-site investigations and process based data collection studies were carried out in the studied textile facility. Specific dyestuff and auxiliary chemical consumptions were calculated basis on the production processes. Calculated specific consumptions were compared with similar textile mills data in the literature and IPPC Textile BREF document. Thus chemical reduction potentials were calculated. In addition, material safety data sheets (MSDS) of 450 chemicals were examined in terms of biodegradation ratios, toxic properties and micropollutant contents. Toxic and environmentally hazardous chemicals were identified. In addition, techniques were determined to reduce chemical consumption. The reductions and payback periods to be achieved by the application of these techniques were calculated.

#### Findings

It was proposed to replace the 48 chemicals used in the facility with environmentally friendly substitutes. It was decided to implement 10 chemical reduction techniques in the facility. It was found that a reduction of 14.9-27.3% could be achieved in the consumption of dyestuffs and auxiliary chemicals. Payback period of the practices could be less than 41 months.

#### Originality

In this study, it is aimed to both reduce chemical consumption and replace environmentally risky (toxic and low biodegradation) chemicals with environmentally friendly substitutes with chemical reduction techniques in an integrated textile facility that makes cotton weaving and knitted fabric finishing, dyeing and printing. According to the results of the literature research, this study is the first and original study on chemical reduction and chemical substitution, especially in a textile facility that woven-knitted fabrics dyeing and printing on a large

\* Corresponding author: emrahozturk@isparta.edu.tr, +90-246-341-2363

scale. The methodology applied in this study and the findings obtained can provide a roadmap for similar textile facilities to evaluate their own chemical use performance.

## 1. Giriş (Introduction)

Tekstil endüstrisi imalat sanayisinin en eski sektörlerden biridir. Tekstil endüstrisi karmaşık üretim proseslerinden ve çok sayıda alt sektörden oluşan heterojen bir sektördür. Tekstil üretim proseslerinin en önemli proses girdilerinden birini kimyasallar (boyarmadde ve yardımcı kimyasallar) oluşturmaktadır (Yukseler vd., 2017; Mor vd., 2018). Tekstil terbiye ve boyamasında yoğun olarak kullanılan kimyasallar; asitler, bazlar, yüzey aktif maddeler, enzimler, stabilizatörler, dispersiyon ajanları, geciktiriciler, tuzlar, solventler, emülgatörler, fiksaj kimyasalları, kompleks yapıcı ajanlar ve çeşitli boyarmaddeler olarak sınıflandırılabilir (Marechal vd., 2012). Tekstil tesislerinde üretim prosesleri haricindeki yardımcı proseslerde de kimyasal kullanımları söz konusu olmaktadır. Su yumuşatma ünitelerinde katyonik iyon değiştiricilerin rejenerasyonunda yüksek miktarda tuz tüketilmektedir. Buhar kazanlarında kazan taşı oluşumunu ve buhar hatlarında kışır oluşumunu engellemek üzere kireç ve korozyon önleyiciler kullanılmaktadır. Makine bakım atölyeleri, tesis ve ekipman temizliği ve idari binaların temizliği (yemekhane, duş vb. dahil) kimyasal tüketimleri gerçekleştirilmektedir. Tekstil üretim proseslerinde kimyasal tüketimi; üretim yapısına, uygulanan tekniklere, kullanılan teknoloji seviyesine ve lif türüne bağlı olarak değişmektedir. Tekstil üretiminde 8000'den fazla çeşitte kimyasal kullanılmaktadır (Kumar ve Saravanan, 2017). Ayrıca tekstil üretiminde lif ağırlığının %10-100 arasında kimyasal tüketimi gerçekleştirilmektedir (Ozturk vd., 2009). Pamuklu iplik terbiye-boyamasında spesifik boyarmadde tüketimi 25 g/kg ürün, spesifik tekstil yardımcı kimyasal tüketimi 70 g/kg ürün ve temel kimyasal tüketimi 400 g/kg ürün olmaktadır (EC, 2003). Polyester iplik terbiye-boyamasında spesifik boyarmadde, spesifik tekstil yardımcı kimyasal ve spesifik temel kimyasal tüketimleri sırasıyla 18-36 g/kg ürün, 80-130 g/kg ürün ve 95-125 g/kg ürün aralığında değişmektedir. Pamuklu örgü kumaş terbiye-boyamasında spesifik boyarmadde tüketimi 18 g/kg ürün, spesifik tekstil yardımcı kimyasal tüketimi 100 g/kg ürün ve spesifik temel kimyasal tüketimi 570 g/kg ürün'dür (EC, 2003). Sentetik örme kumaş terbiye-boyamasında spesifik boyarmadde, spesifik tekstil yardımcı kimyasal ve spesifik temel kimyasal tüketimleri sırasıyla 15-50 g/kg ürün, 45-150 g/kg ürün ve 50-280 g/kg ürün aralığında değişmektedir (EC, 2003). Pamuklu dokuma kumaş terbiye-boyamasında spesifik boyarmadde tüketimi 10-20 g/kg ürün, spesifik tekstil yardımcı kimyasal tüketimi 180-200 g/kg ürün ve spesifik temel kimyasal tüketimi 200-250 kg/ürün arasında değişmektedir (EC, 2003). Ağırlıklı olarak pamuklu kumaş terbiyesi-boyaması yapan ve büyük kumaş baskı dairesine sahip tekstil işletmelerinde spesifik boyarmadde tüketimi 80-100 g/kg ürün, spesifik tekstil yardımcı kimyasal tüketimi 180-200 g/kg ürün ve spesifik temel kimyasal tüketimi 800-850 g/kg ürün aralığında değişmektedir (EC, 2003). Yünlü kumaş terbiyesi-boyaması yapan tekstil işletmelerinde spesifik boyarmadde, spesifik tekstil yardımcı kimyasal ve spesifik temel kimyasal tüketimleri sırasıyla 10-30 g/kg ürün, 140-160 g/kg ürün ve 85-95 g/kg ürün arasında değişmektedir (EC, 2003; Ozturk vd., 2020). Tekstil üretim terbiye-boyama proseslerinde kullanılan kimyasalların tamamı tekstil lifleri üzerinde kalmamakta ve kullanılan kimyasalların %35-50'si atıksu akımlarıyla uzaklaştırılmaktadır (Ogugbue ve Sawidis, 2011; Thiry, 2011; Desore ve Narula, 2018; Ozturk vd., 2020). Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (IPPC) Tekstil Sektörü için Mevcut En İyi Teknikler (MET) Referans Dokümanı'nda (BREF) konvansiyonel baskı patı sevk sistemlerinde, kayıp miktarlarının aplike edilen her renk için raklelerden, şablonlardan ve boru-pompalardan 6,5-8,5 kg baskı patının kaybedildiği rapor edilmiştir (EC, 2003). Bu yüzden tekstil atıksularının taşıdıkları kimyasal yükler yüksek olmaktadır (Tanapongpipat vd., 2008; Arivithamani vd., 2014). Yüksek kimyasal yük içeren tekstil atıksularının arıtılması, yüksek miktarda toksik, biyolojik olarak parçalanamayan organik bileşikler, tuzlar ve ağır metaller nedeniyle çok zor olmaktadır (Archna ve Siva, 2012; Carmen ve Daniela, 2012). Tekstil atıksuları, uygun arıtma yapılmadan alıcı su kütlelerine deşarj edilirse geri dönüşü olmayan çevresel sorunlara neden olabilir (Yaseen ve Scholz, 2018). Bu nedenle çevre ve insan sağlığı açısından riskli kimyasalların değişimi ve kimyasal tüketimlerinin azaltımı tekstil işletmeleri için oldukça önemli olmaktadır.

Bir tekstil işletmesinde hammaddeden sonra en önemli maliyet kalemini kimyasal maliyetleri oluşturmaktadır (Mia vd., 2016). Bu nedenle bir tekstil işletmesinde kimyasal tüketiminin ve maliyetlerinin azaltılması piyasa rekabet gücünün artırılması açısından çok önemlidir (Radej ve Zakotnik, 2003). Tekstil üretim proseslerinde çeşitli önleyici ve azaltım teknikleri uygulanarak kimyasal tüketimi ve maliyeti azaltılabilir (Ozturk vd., 2016; Ozturk vd., 2020). Ayrıca, tekstil işletmelerinde kimyasal azaltımı ve kimyasal değişimi uygulamaları yapılarak üretim verimliliğinin artırılmasına, mevcut ve gelecekteki tekstil standartlarını karşılanmasına, çevresel etkilerin azaltılmasına, çalışanların ve son kullanıcıların sağlığının korunmasına da önemli katkılar sağlanabilir (Ozturk vd., 2020).

Bu çalışmada pamuklu dokuma ve örgü kumaş terbiye, boyama ve baskısı yapan entegre bir tekstil işletmesinde kimyasal azaltım teknikleriyle hem kimyasal tüketimlerinin azaltılması hem de çevresel açıdan riskli (toksik ve biyodegradasyonu düşük olan) kimyasalların çevre dostu ikameleriyle değişimlerinin yapılması amaçlanmıştır.

Literatür araştırması sonuçlarına göre bu çalışma özellikle büyük ölçekte dokuma-örgü kumaş baskı boyaması yapan bir tekstil işletmesinde kimyasal azaltımına ve kimyasal değişimine yönelik ilk ve orijinal bir çalışmadır. Bu çalışma kapsamında yerinde prosesler bazında kimyasal tüketimine yönelik detaylı incelemeler ve veri toplama çalışmaları yapılmıştır. Prosesler bazında spesifik boyarmadde ve kimyasal tüketimleri hesaplanmıştır. Tesisin spesifik boyarmadde ve kimyasal tüketimleri literatürde ve IPPC Tekstil BREF dokümanında yer alan benzer tesis verileriyle kıyaslanarak potansiyel tasarruf oranları hesaplanmıştır. Ayrıca tesiste kullanılan tüm kimyasallar için bir kimyasal envanter çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda çevresel açıdan riskli kimyasallar belirlenmiş ve çevre dostu ikameleriyle değişimi önerilmiştir. Bununla birlikte elde edilen veriler doğrultusunda tesis yönetimi, mühendisler, uzmanlar/danışmanlar ve operatörlerle birlikte tesiste kimyasal tüketiminin azaltılması için kimyasal azaltım tekniklerine karar verilmiştir. Belirlenen kimyasal azaltım teknikleri için teknik, ekonomik ve çevresel açılardan fizibilite çalışması yapılmıştır. Buna göre belirlenen her bir teknik için kimyasal azaltım oranı, yatırım maliyetleri ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada uygulanan metodoloji ve elde edilen bulgular benzer tekstil tesislerinin kendi kimyasal kullanım performanslarını değerlendirmesi açısından bir yol haritası sağlayabilir.

## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışma, yıllık 94 milyon metre üretim kapasitesiyle Avrupa'nın en büyük ev tekstili üreticisi olan entegre bir tekstil işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Tesiste pamuklu dokuma kumaş ve örgü kumaş terbiye ve boyaması olmak üzere iki temel üretim hattı bulunmaktadır. Dokuma kumaş üretim hattında pamuklu dokuma kumaşların ön terbiyesi, boyaması (pad-batch), baskısı (şablon baskı, rotasyon baskı ve dijital baskı) ve apresi yapılmaktadır. Örgü kumaş üretim hattında ise ön terbiye, boyama (HT boyama makinelerinde) ve apre işlemleri yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, kimyasal tüketimi gerçekleşen temel ve yardımcı proseslerde yerinde detaylı incelemeler yapılmış ve veri toplama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Veri toplama çalışmalarında tesisin mevcut kimyasal tüketimine ve satın alınmasına dair kayıtlardan yararlanılmıştır. Tesiste yürütülen saha çalışmalarında kimyasal tüketimleri 2018-2020 yılları aralığına ait verilerden toplanmıştır. Bu kapsamda tesisin üretim ve yardımcı prosesleri bazında yıllık boyarmadde tüketimi, yıllık yardımcı kimyasal tüketimi ve yıllık üretim miktarı değerleri toplanmıştır. Elde edilen verilerden ve Eşitlik 1'den yararlanılarak tesis geneli ve prosesler bazında spesifik boyarmadde ve spesifik yardımcı kimyasal tüketimleri hesaplanmıştır. İşletmenin spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimleri literatürde ve IPPC Tekstil BREF dokümanında sunulan benzer tesis verileriyle kıyaslanmıştır. Buna göre tesisin boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinde sağlanması mümkün olan potansiyel tasarruf oranları hesaplanmıştır.

$$\text{Spesifik kimyasal tüketimi (g/kg ürün)} = \frac{\text{Yıllık kimyasal tüketimi (kg/yıl)} \times 10^3}{\text{Yıllık üretim miktarı (kg ürün/yıl)}} \quad (1)$$

Tesiste kullanılan kimyasalların tümü için bir envanter çalışması yapılmış ve kullanılan tüm kimyasalların malzeme güvenlik bilgi formları (MGBF) toplanmıştır. MGBF yararlanılarak tüm kimyasalların kimyasal içerikleri, biyodegradasyon/biyoeliminasyon özellikleri, ölümcül doz (LD<sub>50</sub>) (dermal), LD<sub>50</sub> (oral), ölümcül konsantrasyon (LC<sub>50</sub>) (balık), LC<sub>50</sub> (alg) ve etkili konsantrasyon (EC<sub>50</sub>) (Daphnia) değerleri listelenmiştir. Kimyasalların biyodegradasyon oranını belirlemek için MGBF'lerinde yer alan Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) 301A ve 302B (Zahn-Wellens) test değerleri kullanılmıştır. Kimyasal envanter çalışması kapsamında listelenen tüm kimyasallar Tablo 1'de sunulan sucül toksisite sınıflandırmasına göre incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Ayrıca IPPC Tekstil BREF Dokümanı'nda biyodegradasyon oranları %70'in altında olan kimyasalların biyodegradasyonu daha yüksek olanlarla değiştirilebileceği tavsiye edilmektedir (EC, 2003). Kimyasal envanter ve kimyasal değişimi çalışmaları bu bilgilere göre yapılmıştır. Bununla birlikte tüm kimyasallar mikrokirletici içerikleri açısından analiz edilmiştir. Bu kapsamda Avrupa Komisyonu Su Çerçeve Direktifi'nde (2000/60/EC) (EC, 2000) ve Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği'nde (YSKYY, 2015) sunulan mikrokirletici listeleri kullanılmıştır. Kimyasal envanter çalışması kapsamında biyodegradasyon oranı <%70, sucül ortam açısından toksik özelliklere sahip ve mikrokirletici içeren kimyasal çevresel açıdan riskli olarak belirlenmiş ve çevre dostu ikameleriyle değişimleri önerilmiştir.

**Tablo 1.** Sucül Toksikite Sınıflandırması (EC, 2003) (Aquatic Toxicity Classification)

Tosisite seviyesi	LC <sub>50</sub> /EC <sub>50</sub> Konsantrasyonu (mg/L)
Yüksek derecede toksik	<0,1
Çok toksik	0,1-1
Toksik	1-10
Orta derecede toksik	10-100
Düşük derecede toksik	>100

Tesiste prosesler bazında kimyasal tüketimi analiz çalışmalarından elde edilen bulgulardan ve saha çalışmaları kapsamındaki gözlemlerden yararlanılarak kimyasal tüketiminin azaltılmasına yönelik teknikler listelenmiştir. Bu teknikler tesis yönetimi, mühendisler, uzmanlar/danışmanlar ve operatörlerle birlikte değerlendirilmiştir. Buna

göre tesiste uygulanacak nihai kimyasal azaltım tekniklerine karar verilmiştir. Belirlenen tekniklerin her biri teknik uygulanabilirlik, ekonomiklik ve çevresel açıdan değerlendirilmiştir. Tesiste belirlenen tekniklerin uygulanmasıyla kimyasal tüketiminde sağlanabilececek potansiyel azalmalar hesaplanmıştır. Bununla birlikte her bir uygulama için tesis yönetimi tarafından tedarikçi firmalardan fiyat teklifleri alınmış ve yatırım maliyetleri belirlenmiştir. Bu verilerden ve Eşitlik 2'den yararlanılarak belirlenen her bir kimyasal azaltım tekniği için tahmini geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

$$\text{Geri ödeme süresi (ay)} = \frac{\text{İlk yatırım maliyeti (TL)}}{\text{Kimyasal tasarrufu} \left(\frac{\text{TL}}{\text{yıl}}\right)} \times 12 \text{ (ay/yıl)} \quad (2)$$

### 3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

#### 3.1. Prosesler Bazında Boyarmadde ve Kimyasal Tüketimleri (Dyestuff and Chemical Consumption on the Basis of Processes)

Tesiste yerinde yürütülen veri toplama ve saha çalışmaları kapsamında üretim prosesleri bazında kimyasal tüketimleri belirlenmiştir. Tesiste toplam ortalama 338 ton/yıl boyarmadde ve 10.990 ton/yıl yardımcı kimyasal tüketimi gerçekleşmektedir. Tesiste dokuma kumaş boyama ve baskı proseslerinde toplam boyarmadde tüketiminin %77,4'ü gerçekleştirilmiştir. Örgü kumaş boyama prosesinde ise toplam boyarmadde tüketiminde %22,6 paya sahiptir. Dokuma kumaş boyamada, şablon-rotasyon baskı ve dijital baskı proseslerinde toplam boyarmaddenin sırasıyla %55,8, %20,9 ve %0,7'si tüketilmektedir. Dokuma kumaş boyamasında emdirme yöntemine göre düz reaktif boyama yapılmaktadır. Dokuma kumaş boyama prosesinde boyarmadde tüketiminin yüksek olması boyarmadde tüketiminde bir verimsizliğe işaret etmektedir. Şablon ve rotasyon baskı makinelerinde ise toplam boyarmadde miktarlarına erişilebilmiştir. Tesiste şablon ve rotasyon baskı prosesleri için boyarmadde tüketimleri ayrı ayrı tutulmaktadır. Dolayısıyla bu durum prosesler bazında veri tutma konusunda bir eksiklik olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu durum şablon ve rotasyon baskı makinelerinde boyarmadde tüketimleri açısından bir performans değerlendirmesi yapılmasını olumsuz etkilemektedir. Tesiste dokuma kumaş ve örgü kumaş üretim prosesleri toplam kimyasal tüketiminde sırasıyla %82,7 ve %13,1 paylara sahiptir. Su yumuşatma sisteminde ise katyonik iyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonunda ise 466 ton/yıl tuz tüketimi gerçekleşmektedir. Bu değer toplam kimyasal tüketiminin %4,2'sini oluşturmaktadır. Dokuma kumaş ön terbiye prosesleri toplam kimyasal tüketiminin %25,7'sinden sorumludur. Dokuma kumaş boyama ve baskı prosesleri toplam kimyasal tüketiminin sırasıyla %28,1 ve %25,5'ini oluşturmaktadır. Dokuma kumaş son terbiye prosesleri ise toplam kimyasal tüketiminde %3,4 paya sahiptir. Örgü kumaş ön terbiye, boyama (çektirme tekniğine göre boyama), ve apre prosesleri toplam kimyasal tüketiminin sırasıyla %1,2, %10,5 ve %1,4'ünü oluşturmaktadır.

Tesisin ortalama üretim miktarı 18.200 ton/yıl'dır. Toplam üretimin %7'sini örgü kumaş ve %93'ünü dokuma kumaş üretimi oluşturmaktadır. Yıllık ortalama boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimi verileri ve yıllık ortalama üretim verileri kullanılarak prosesler bazında spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimleri hesaplanmıştır (Tablo 2). Tesiste spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimleri sırasıyla 19±4 ve 604±9 g/kg ürün bulunmuştur. Dokuma kumaş yakma-haşıl sökme, kasar ve merserizasyon proseslerinde spesifik yardımcı kimyasal tüketimleri sırasıyla 8±0,3, 55±1, 855±175 g/kg ürün'dür. Dokuma kumaş boyama ve baskı proseslerinde spesifik yardımcı kimyasal tüketimleri sırasıyla 1.313±134 ve 234±7 g/kg ürün bulunmuştur. Dokuma kumaş boyama, şablon-rotasyon baskı ve dijital baskı proseslerinde spesifik boyarmadde tüketimleri sırasıyla 81±23, 6±1, 4±3 g/kg ürün'dür. Dokuma kumaş son terbiyesinde yıkama prosesinde spesifik yardımcı kimyasal tüketimi 14±1 g/kg ürün ve apre prosesinde yardımcı kimyasal tüketimi 15±1 g/kg ürün bulunmuştur. Örgü kumaş boyamasında spesifik boyarmadde tüketimi 69±32 g/kg ürün'dür. Örgü kumaş ön terbiye, boyama ve apre proseslerinde spesifik yardımcı kimyasal tüketimleri sırasıyla 111±33, 1.007±300 ve 385±114 g/kg ürün bulunmuştur.

Tesiste dokuma kumaş merserizasyon prosesinde, boyama prosesinde ve örgü kumaş boyama proseslerinde spesifik yardımcı kimyasal tüketimlerinin yüksek olduğu bulunmuştur. Merserizasyon prosesinde yüksek miktarda kostik kullanılmaktadır. Tesiste merserizasyon atıksularından kostiğin bir kısmı çok etkili evaporatörler yardımıyla geri kazanılmaktadır. Ancak elde edilen verilere göre kostik geri kazanım sisteminin optimize edilmesi ve daha fazla kostik geri kazanımı sağlanmalıdır. Dokuma kumaş ve örgü kumaş boyama prosesinde kimyasal optimizasyonu çalışmalarına ihtiyaç vardır. Bu proseslerde spesifik boyarmadde tüketimleri IPPC Tekstil BREF dokümanında ve literatürdeki benzer tesis verileriyle kıyaslandığında 4-8 kat daha fazla bir boyarmadde tüketimi olduğu sonucuna varılmıştır (EC, 2003). Bu proseslerde boyarmadde tüketiminin yüksek olmasının başlıca nedenleri arasında boyama fularında kalan boyaların geri kazanılmaması, boya hazırlamada otomatik dozlama sistemlerinin kullanılmıyor olması ve reçete optimizasyonu çalışmalarının yapılmamasıdır.

**Tablo 2.** Prosesler Bazında Spesifik Boyarmadde Ve Yardımcı Kimyasal Tüketimleri (Specific Dyestuff And Auxiliary Chemical Consumptions On The Basis Of Processes)

Prosesler	Ortalama tüketim miktarları (ton/yıl)		Ortalama dağılım (%)		Ortalama spesifik tüketim miktarları (g/kg ürün)	
	Boyarmadde	Yardımcı kimyasal	Boyarmadde	Yardımcı kimyasal	Boyarmadde	Yardımcı kimyasal
<b>Dokuma kumaş</b>						
<b>Ön terbiye</b>						
Yakma ve haşıl sökme		113		1		8±0,3
Kasar		928		8,4		55±1
Merserizasyon		1.791		16,3		855±175
<b>Boyama ve baskı</b>						
Boyama (pad-batch)	188	3.091	55,8	28,1	81±23	1.313±134
Şablon ve rotasyon baskı	71	2.802	20,9	25,5	6±1	234±7
Dijital baskı	3		0,7		4±3	
<b>Son terbiye</b>						
Yıkama		123		1,1		14±1
Apren		248		2,3		15±1
<b>Örgü kumaş</b>						
Ön terbiye		127		1,2		111±33
Boyama (HT)	76	1.153	22,6	10,5	69±32	1.007±300
Apren		149		1,4		385±114
<b>Diğer</b>						
Su yumuşatma (rejenerasyon)		466		4,2		
<b>Toplam</b>	<b>338</b>	<b>10.990</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>19±4</b>	<b>604±9</b>

Dokuma kumaş boyama prosesinde spesifik boyarmadde tüketiminin yüksek olmasında ve tesis yönetimi tarafından bir önlem alınmamış olması proses bazlı boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinin izlenmesinde, raporlanması ve değerlendirilmesinde eksiklikler olduğuna da işaret etmektedir. Benzer problemlerin örgü kumaş boyama prosesinde de olduğu sonucuna varılmıştır. Tesiste su yumuşatma sisteminde yerinde yapılan incelemelerde tuz tüketiminin azaltılabileceği bulunmuştur. Su yumuşatma sisteminde rejenerasyon sıklıkları ve sürelerinin daha önceden optimize edilmemiştir. Su yumuşatma sisteminin optimize edilmesiyle rejenerasyon atıksuyu ve tuz tüketimlerinde önemli miktarlarda azalmalar sağlanabileceği bulunmuştur.

### 3.2. Kimyasal Envanteri ve Kimyasal Değişimi (Chemical Inventory and Chemical Substitution)

Tesiste detaylı bir kimyasal envanter çalışması yürütülmüştür. Tesiste toplam 450 farklı kimyasal kullanılmaktadır. Bu kimyasalların %35'ini baskı kimyasalları, %2'sini dokuma kimyasalları, %9'unu boyama kimyasalları, %9'unu yemekhane ve diğer alanlarda kullanılan temizlik kimyasalları, %28'ini makine bakım kimyasalları, %7'sini apren kimyasalları, %6'sını örgü kimyasalları ve %4'ünü ortak kimyasallar oluşturmaktadır. Toplam 450 kimyasalın MGBF incelenmiştir. Bu kapsamda kimyasalların kimyasal içerikleri, biyodegradasyon oranları, LD<sub>50</sub> (dermal), LD<sub>50</sub> (oral), LC<sub>50</sub> (balık), LC<sub>50</sub> (alg) ve EC<sub>50</sub> (Daphnia) değerleri listelenmiştir. Biyodegradasyon oranı düşük (<%70), mikrokirletici içeren ve toksik karakterdeki (Tablo 1'e göre toksik, çok toksik ve yüksek derecede toksik olan) kimyasallar çevre ve insan sağlığı açısından riskli kimyasallar olarak değerlendirilmiştir. Tesiste kullanılan toplam 450 kimyasaldan 9'unun çok toksik ve 19'unun toksik karakterde olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte 13 kimyasalın düşük biyodegradasyon özelliklerine sahip olduğu bulunmuştur. Toplam 450 kimyasalın kimyasal içerikleri incelendiğinde 7 kimyasalın mikrokirletici içerdiği tespit edilmiştir. Buna göre toplamda 48 kimyasal çevresel açıdan riskli bulunmuştur (Tablo 3). Tablo 3'de sunulan 1-9 arasındaki kimyasallar çok toksik karakterde, 10-28 arasındaki kimyasallar toksik karakterde, 29-41 arasındaki kimyasal düşük biyodegradasyon özelliklerine sahip ve 42-48 arasındaki kimyasallar mikrokirletici içermektedir. Ayrıca kimyasal 10 ve 22 hem mikrokirletici içermekte hem de toksik karakterdedir. Kimyasal 1 hem çok toksik karakterde hem de düşük biyodegradasyon özelliklerine sahiptir. Bununla birlikte kimyasal 12, 26 ve 27 hem toksik karakterde hem de düşük biyodegradasyon özelliklerine sahiptir. Kimyasal 44 ise hem düşük biyodegradasyon özelliklerine sahiptir hem de mikrokirletici içermektedir. Kimyasal envanter çalışması kapsamında belirlenen 48 kimyasalın çevre dostu ikameleriyle (mikrokirletici içermeyen, biyodegradasyon oranı >%70 olan, LD<sub>50</sub> >2000 mg/kg ve LC<sub>50</sub> >100 mg/L) değişimi önerilmiştir.

Tesiste Oeokotex 100 standardı bulunmaktadır. Bu standart, tekstil ürünlerinin zararlı kimyasallardan arındırıldığını ve insan kullanımı için güvenli olduğunu belirtir. Bu nedenle tesiste zararlı ve yasaklı kimyasallar zaten kullanılmamaktadır. Bu uygulamaların kalıcı olması için kimyasal tedarik prosedürü oluşturulmasına karar verilmiştir. Bu, satın alma birimi tarafından basit bir yazılım kullanılarak gerçekleştirilebilir. Böylece çevre ve insan sağlığı açısından risk oluşturan kimyasalların satın alınmasının önüne geçilebilir ve uygulamanın sürdürülebilirliği sağlanabilir.

**Tablo 3.** Çevre Dostu İkameleriyle Değişimi Önerilen Kimyasallar (Chemicals Recommended For Replacement With Environmentally Friendly Substitutes)

Kimyasal No	CAS No <sup>a</sup>	Biyodegradasyon özelliği/oram (%)	Toksik özellikler				
			LD <sub>50</sub> (Oral)	LD <sub>50</sub> (Dermal)	LC <sub>50</sub> (Balık)	LC <sub>50</sub> (Alg)	EC <sub>50</sub> (Daphnia)
			(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1	7681-52-9	Biyolojik olarak parçalanmaz.	>2000	- <sup>b</sup>	0,1-1	0,1-1	1-10
2	68037-01-4 132983-41-6 115-86-6	Belirlenmemiştir.	-	-	>100	-	0,1-1
3	-	-	<2000	<2000	0,1-1	0,1-1	1-10
4	7790-28-5 7664-93-9	-	-	-	0,1-1	1-10	0,1-1
5	1336-21-6	-	<2000	-	0,1-1	-	1-10
6	56073-07-5 3734-33-6	-	-	-	0,1-1	-	-
7	9012-54-8	-	>2000	-	10-100	0,1-1	-
8	67-63-0 124-38-9 64742-49-0	-	>2000	>2000	10-100	1-10	0,1-1
9	68955-53-3	-	<2000	<2000	1-10	0,1-1	1-10
10	79-01-6 64742-88-7	-	>2000	>2000	1-10	-	1-10
11	68037-01-4 13298-41-6 115-86-6	Belirlenmemiştir.	-	-	>100	-	-
12	64742-47-8	Biyolojik olarak parçalanmaz.	>2000	>2000	1-10	-	-
13	80-56-8	>90	>2000	>2000	-	-	1-10
14	64742-88-7	-	>2000	>2000	1-10	-	1-10
15	112-34-5-2 160875-66-1	<90	>2000	-	1-10	-	-
16	7722-84-1 7732-18-5	-	<2000	<2000	10-100	1-10	1-10
17	69011-36-5 112-34-5	>90	>2000	-	1-10	-	-
18	7631-86-9	-	>2000	-	1-10	>100	1-10
19	69011-36-5	-	>2000	>2000	1-10	-	-
20	75718-16-0 69011-36-5	-	>2000	>2000	1-10	-	-
21	67-63-0 200-661-7	>90	>2000	-	1-10	-	-
22	67-63-0 126-73-8	>90	>2000	-	1-10	-	-
23	64742-49-0 67-63-0	Doğada kendiliğinden kolaylıkla çözünebilir.	>2000	-	1-10	>100	1-10
24	111-76-2 141-43-5 67-63-0 1310-73-2 68439-50-9	-	>2000	<2000	1-10	>100	-
25	75-28-5 106-97-8 74-98-6 64742-49-0	-	>2000	-	-	-	1-10
26	-	Biyolojik olarak parçalanmaları çok güçlüdür.	<2000	>2000	10-100	-	1-10
27	93951-21-4	Biyolojik olarak parçalanmaları çok güçlüdür.	<2000	>2000	10-100	-	1-10
28	68439-51-0 9011-36-5 7732-18-5	>90	>2000	-	1-10	1-10	-
29	107-21-1 55965-84-9	Biyolojik olarak parçalanmaz.	-	-	-	-	-
30	68955-53-3 1330-78-5	Biyolojik olarak birikme potansiyeli vardır.	>2000	-	-	-	-
31	68955-55-3 1330-78-5	Biyolojik olarak birikme potansiyeli vardır.	-	-	-	-	-
32	-	Biyokimyasal bozunma olması beklenir.	>2000	>2000	>100	>100	10-100
33	-	Yüksek ısılarda polimerik madde bozunmaya uğrayabilir.	>2000	>2000	>100	10-100	>100
34	700-820-5	Biyolojik olarak parçalanması güçlüdür.	>2000	-	>100	-	-
35	212652-59-0	Biyolojik olarak parçalanması güçlüdür.	>2000	-	>100	-	-
36	-	Biyolojik olarak parçalanması güçlüdür.	>2000	-	>100	-	-

**Tablo 3. (Devamı)**

37	7417-99-4 107-21-1	Biyolojik olarak parçalanmaz.	>2000	-	-	10-100	-
38	7681-52-9 1310-58-3	Biyolojik olarak parçalanmaz.	>2000	-	-	-	-
39	1310-73-2	Biyolojik olarak parçalanmaz.	-	-	>100	-	>100
40	-	Biyolojik olarak parçalanması güçtür.	>2000	-	>100	-	-
41	-	Biyolojik olarak parçalanmaz.	>2000	-	>100	>100	>100
42	128-39-2	Doğada kendiliğinden yok olması beklenmektedir.	-	-	-	-	-
43	128-39-2	Doğada kendiliğinden yok olması beklenmektedir.	-	-	-	-	-
44	79-01-6 127-18-4 67-56-1	Kendiliğinden doğada kolaylıkla çözünmez.	-	-	-	-	-
45	75-09-2 67-56-15 64-18-6	-	<2000	-	-	-	-
46	74-98-6 95-63-6 106-97-8 64742-48-9 68608-26-4	-	>2000	>2000	>100	>100	>100
47	74-98-6 95-63-6 64742-65-0 64742-48-9 106-97-8	-	>2000	>2000	>100	>100	>100
48	68955-53-3 128-39-2 112-90-3	-	-	-	-	-	-

<sup>a</sup> CAS: Chemical Abstract Service Number. <sup>b</sup> Veri bulunmamaktadır.

### 3.3. Tesisin Kimyasal Azaltım Potansiyellerinin Belirlenmesi (Determination of the Chemical Reduction Potentials of the Facility)

Tesisin spesifik boyarmadde ve kimyasal tüketimleri literatürde ve IPPC Tekstil BREF dokümanlarında yer alan benzer tesis verileriyle kıyaslanmıştır. IPPC Tekstil BREF dokümanında ağırlıklı olarak pamuklu dokuma kumaş terbiye-boyaması yapan ve büyük ölçekli baskı dairesine sahip tekstil işletmelerinde spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinin sırasıyla 80-100 g/kg ürün ve 980-1.050 g/kg ürün aralığında değiştiği rapor edilmiştir (EC, 2003). Literatürdeki benzer çalışmalarda pamuklu dokuma kumaş terbiyesi-boyaması yapan tesislerde spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimleri 9-51 g/kg ürün ve 347-1.776 g/kg ürün arasında olduğu belirtilmiştir (Kalliala ve Talvenmaa, 2000; EIE, 2006; Öztürk, 2014). IPPC Tekstil BREF dokümanında ağırlıklı olarak pamuklu örgü kumaş terbiyesi-boyaması yapan tekstil işletmelerinde spesifik boyarmadde tüketimi 18 g/kg ürün ve spesifik yardımcı kimyasal tüketimi 670 g/kg ürün olarak rapor edilmiştir (EC, 2003). Literatürde ise pamuklu örgü kumaş terbiyesi yapan tekstil işletmelerinde spesifik boyarmadde ve kimyasal tüketimleri sırasıyla 10-50 g/kg ürün ve 233-1.552 g/kg ürün olarak belirtilmiştir (Kalliala ve Talvenmaa, 2000; EIE, 2006; Öztürk, 2014). Buna göre tesisin spesifik boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinin benzer tesis verilerinin minimum değerlerine kadar düşürülebilmesi için gerekli potansiyel azalma oranları hesaplanmıştır (Tablo 4). Tesiste dokuma kumaş üretiminde boyarmadde tüketiminde %38±18 ve yardımcı kimyasal tüketiminde %35±2 oranında azaltım potansiyeli olduğu bulunmuştur. Örgü kumaş üretiminde boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinde sırasıyla %69±18 ve %49±34 oranında azaltım potansiyeli olduğu bulunmuştur. Tesis genelinde ise boyarmadde tüketiminde %37±18 ve yardımcı kimyasal tüketiminde %61±1 oranında azaltım potansiyeli bulunmaktadır.

**Tablo 4. Benzer Tekstil Tesisleri İle Spesifik Değerlerin Karşılaştırılması Ve Potansiyel Tasarruf/Azaltma Oranları (Comparison Of Specific Values And Potential Savings/Reduction Rates With Similar Textile Plants)**

Kimyasal	Proses	Birim	Tekstil tesisi	Benzer tekstil tesisleri <sup>a</sup>	IPPC Tekstil BREF dokümanı <sup>b</sup>	Potansiyel azaltım oranı (%)
Boyarmadde	Dokuma kumaş	g/kg ürün	15±3	9-51	80-100	38±18
	Örgü kumaş		69±32	10-50	18	69±18
	Tesis geneli		19±4	9-51	18-100	37±18
Yardımcı kimyasal	Dokuma kumaş	g/kg ürün	535±9	347-1.776	980-1.050 <sup>c</sup>	35±2
	Örgü kumaş		1.248±371	233-1.552	670	49±34
	Tesis geneli		604±9	233-1.776	670-1050 <sup>c</sup>	61±1

<sup>a</sup> Kalliala ve Talvenmaa, 2000; EIE, 2006; Öztürk, 2014. <sup>b</sup> EC, 2003. <sup>c</sup> Tekstil yardımcı kimyasalı ve temel kimyasal tüketimlerini ifade etmektedir.



### 3.4. Kimyasal Azaltımı ve Kimyasal Değişimi Uygulamaları (Chemical Reduction and Chemical Substitution Practices)

Tesiste yürütülen saha çalışmaları ve analiz çalışmaları sonucunda elde edilen bilgilere göre tesis özelinde toplam 10 kimyasal azaltım tekniğinin uygulanmasına karar verilmiştir (Tablo 5). Bu tekniklerin uygulanmasıyla elde edilecek tasarruf, çevresel fayda ve geri ödeme süreleri ile ilgili detaylar aşağıdaki alt başlıklar altında sunulmuştur.

**Tablo 5.** Kimyasal Azaltım Oranları Ve Geri Ödeme Süreleri (Chemical Reduction Rates And Payback Periods)

Teknikler	Azaltım oranı (%)	Yatırım maliyeti (TL)	Geri ödeme süresi (ay)
Kimyasal tüketimlerinin prosesler bazında izlenmesi	1-2	550.000-1.550.000	3-17
Çevresel açıdan daha az risk taşıyan kimyasalların tercih edilmesi	- <sup>a</sup>	- <sup>b</sup>	Hemen
Kimyasal reçetelerinin optimize edilmesi	1,5-3,2	-	Hemen
Örgü kumaş boyamada flotte oranlarının azaltılması	2,6-4,5	-	Hemen
Laboratuvar-boyahane koordinasyonun iyileştirilmesi	1,5-3	150.000-300.000	1-2
Otomatik kimyasal hazırlama ve dozlama sisteminin kurulması	3,5-5	3.500.000-10.000.000	8-32
Şablon ve rotasyon baskı makinelerinde baskı patı kayıplarının azaltılması	3-4,5	350.000-750.000	4-14
Şablon ve rotasyon baskı makinelerinde arta kalan baskı patının geri kazanımı	0,5-3,2	125.000-350.000	2-38
Su yumuşatma sisteminin optimizasyonu	0,8-0,9	126.000-160.000	8-11
Uygun proses atıksularının artılmadan geri kullanımı	0,5-1	150.000-375.000	8-41 <sup>c</sup>
<b>Toplam</b>	<b>14,9-27,3</b>		

<sup>a</sup> Azaltım sağlanması beklenmemektedir. <sup>b</sup> Tesisin kendi imkanlarıyla gerçekleştirileceğinden ilk yatırım maliyeti bulunmamaktadır. <sup>c</sup> Geri ödeme süresi tuz maliyeti esas alınarak hesaplanmıştır.

#### 3.4.1. Kimyasal Tüketimlerinin Prosesler Bazında İzlenmesi (Monitoring of Chemical Consumption on the Basis of Processes)

Tesiste su, enerji ve buhar tüketimleri prosesler bazında bilgisayar destekli yazılımlar ve izleme ekipmanlarıyla çevrimiçi olarak izlenmektedir. Ancak prosesler bazında kimyasal tüketimlerinin çok az bir kısmı izlenebilmektedir. Bu nedenle proseslerde kimyasal kullanım verimliliği tam olarak belirlenememektedir. Tesiste kimyasalları izlemek için gerekli ekipmanların kurulması, kimyasal tüketimlerinin kayıt altına alınması ve elde edilen verilerin mevcut proses bazlı izleme sistemine entegre edilmesi önerilmiştir. Bununla birlikte izleme sisteminden alınan verilerin hedeflenen değerlerle kıyaslanarak aylık olarak üst yönetime raporlanması için gerekli prosedürlerin oluşturulması önerilmiştir. Tesiste bu uygulamalar gerçekleştirilmiş ve böylelikle prosesler bazında kimyasal kullanım verimliliği izlenebilir hale getirilmiştir. Bu tesiste kimyasal kayıplarının önlenmesi ve gereksiz kimyasal kullanımlarının engellenmesi adına da önemli katkılar sağlamıştır. Prosesler bazında girdi-çıkıtların izlenmesi bir endüstriyel tesiste temiz üretimin yapılandırılması ve sürdürülebilirliğinin ilk koşulunu oluşturmaktadır (EC, 2003; Yu vd., 2014). Literatürde kimyasal tüketimlerinin prosesler bazında izlenmesiyle boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinde sırasıyla %1-6 oranında azalmalar sağlanabileceği rapor edilmiştir (Ozturk vd., 2016; 2020). Ayrıca kimyasal tüketimlerinin prosesler bazında izlenmesi uygulamasının geri ödeme süresi 12 aydan daha kısa olabilmektedir (Ozturk vd., 2020). Tesiste üretim prosesleri bazında kimyasal tüketimlerinin izlenmesiyle boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinde %1-3 oranında bir azalma sağlanabilir. Bunda özellikle baskı boyama proseslerinde baskı patı kayıplarının azaltılması etkili olmaktadır. Uygulama için tesisin kendi teknik personelinin iş gücünden ve halihazırda bir bilgisayar destekli izleme sistemi alt yapısının olması ilk yatırım maliyetlerini önemli ölçüde azaltmıştır. Ancak prosesler bazında gerekli ölçüm, tartım ve analizör maliyetlerinin 550.000-1.550.000 TL arasındadır. Uygulamanın potansiyel geri ödeme süresi 3-17 ay arasında bulunmuştur.

#### 3.4.2. Çevresel Açıdan Daha Az Risk Taşıyan Kimyasalların Tercih Edilmesi (Preferring Chemicals With Less Environmental Risk)

Tesiste kullanılan toplam 450 kimyasal için detaylı bir kimyasal envanter çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda çevre ve insan sağlığı açısından risk taşıyan 48 kimyasalın çevre dostu ikameleriyle değişimleri önerilmiştir. Bu uygulamanın sürdürülebilirliği için bir prosedür oluşturulmuş ve basit bir yazılım geliştirilmiştir. Böylelikle satın alma departmanı tarafından alınacak kimyasalların seçiminde öncelikle MSDS formlarında yer alan bilgiler oluşturulan yazılıma girilmekte ve çevresel açıdan risk taşımadığının teyit edilmesi üzerine satın alma işlemine geçilmesi planlanmıştır. Ayrıca tesiste kullanılan tüm kimyasalların MGBF'lerinin sistemde depolanması sağlanmıştır. Ozturk vd. (2009), denim ürünleri üreten bir tekstil işletmesinde kimyasal değişimi çalışması yapmışlar ve toplam 128 kimyasaldan 8'inin sorunlu olduğunu tespit etmişlerdir. Bu kimyasalların daha az toksik olanlarla değiştirilmesi önerilmiştir. Kimyasal değişiminden sonra, sülfat içeren boyalarda %5 azalma ve atıksuyun sülfat içeriğinde %76 azalma sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Böylelikle kompozit atıksuyun biyolojik olarak parçalanabilirliğini %25 oranında artırılmasını sağlamışlardır (Ozturk vd., 2009). Ozturk vd. (2020) yünlü kumaş üretimi yapan entegre bir tekstil işletmesinde 371 kimyasal için envanter çalışması yapmışlar ve toplam 23 kimyasalın çevre dostu ikameleriyle değişimini sağlamışlardır. Böylelikle kimyasal tüketiminde ve atıksuların

kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) yüklerinde sırasıyla %3-5 ve %2-8 arasında azalma sağlamayı başarmışlardır. Uygulamanın geri ödeme süresinin yaklaşık 24 ay olduğunu rapor etmişlerdir (Ozturk vd., 2020). Tesiste bu uygulamayla boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinde azalma sağlanması beklenmemektedir. Ancak atıksuların KOİ yüklerinde önemli azalmalar sağlanabilir. Uygulama tesisin kendi personeli ve imkanları kullanılarak yapılmıştır. Dolayısıyla ilk yatırım maliyeti bulunmamaktadır. Ancak bazı kimyasalların çevre dostu ikameleri mevcut kimyasallara göre bir miktar daha pahalı olabilir. Uygulamanın geri ödeme süresinin hemen olacağı tahmin edilmektedir.

### 3.4.3. Kimyasal Reçetelerinin Optimize Edilmesi (Optimizing Chemical Recipes)

Tesiste yürütülen saha ve veri analizi çalışmalarından elde edilen bilgilere göre tesiste en sık kullanılan reçetelerden başlamak üzere tüm boyama-baskı reçetelerinin optimize edilmesinin gerekli olduğu görülmüştür. Kimyasal reçetelerinin optimizasyonu tesise önerilen diğer uygulamaların hayata geçirilmesi durumunda mecburen yapılması gereken bir uygulamadır. Reçetelerin optimize edilmesiyle gereğinden fazla kimyasal kullanımının ve kimyasal kayıplarının azaltılması hedeflenmiştir. Bu uygulama laboratuvar-boyahane koordinasyonunun iyileştirilmesi, otomatik kimyasal hazırlama ve dozlama sistemlerinin kurulması uygulamalarıyla da ilişkilidir. Barclay ve Buckley (2000) bir tekstil işletmesinde reçete optimizasyonu uygulamasıyla toplam kimyasal tüketiminde ve atıksuların kimyasal yüklerinde %10-50 arasında değişen oranlarda azaltım sağlanabileceğini rapor etmişlerdir. Başka bir çalışmada bir tekstil işletmesinde reçete optimizasyonu kimyasal tüketiminde %9-13 arasında azalma sağlanabilmiştir (Öztürk, 2014). Yünlü bir tekstil işletmesinde en sık kullanılan boyama reçetelerinin optimize edilmesiyle kimyasal tüketiminde ve atıksuların KOİ yüklerinde %2-4 arasında azalma sağlanabilmiştir (Ozturk vd., 2020). Tesiste kimyasal reçetelerinin optimize edilmesiyle boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinde %1,5-3,2 oranında azalmalar sağlanabileceği bulunmuştur. Uygulama için ilk yatırım maliyeti bulunmamakla birlikte geri ödeme süresinin hemen olması beklenmektedir.

### 3.4.4. Örgü Kumaş Boyamada Flotte Oranlarının Azaltılması (Reducing Liquor Ratios in Knitting Fabric Dyeing)

Tesiste spesifik boyarmadde ve spesifik yardımcı kimyasal tüketiminin en yüksek olduğu proseslerden birini örgü kumaş boyama prosesi oluşturmaktadır. Örgü kumaş ön terbiye, boyama ve son terbiye işlemleri HT boyama makinelerinde 1:10 flotte oranında yapılmaktadır. Örgü kumaşlar hassas karakterde olmalarına rağmen mevcut flotte oranlarının 1:8 seviyesine düşürülmesi ürün kalitesi üzerinde bir etki oluşturmayacaktır. Bu nedenle tesiste kullanılan HT boyama makinelerinde flotte oranlarının 1:10'dan 1:8'e düşürülmesine karar verilmiştir. Bu uygulamayla örgü kumaş üretiminde toplam boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinde %20'ye yakın bir azalma sağlanabilirken toplam üretim içerisinde örgü kumaş üretiminin daha az paya sahip olması nedeniyle toplam boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinde %2,6-4,5 oranında bir azalma sağlanabileceği hesaplanmıştır. IPPC Tekstil BREF dokümanında HT boyama makinelerinde flotte oranlarının azaltılmasıyla kimyasal ve su tüketimlerinde %40 oranında azalma sağlanabileceği ve yünlü kumaş dışında diğer kumaş türleri için bu uygulamanın yapılabileceği rapor edilmiştir (EC, 2003). Uygulamanın geri ödeme süresinin hemen olması beklenmektedir.

### 3.4.5. Laboratuvar-Boyahane Koordinasyonunun İyileştirilmesi (Improvement of Laboratory-Dyehouse Coordination)

Tekstil terbiye ve boyahanelerinde kimyasal kullanımında verimliliğin en önemli bileşenlerinden birini reçetelerin hazırlandığı kimyasal laboratuvarları ve hazırlanan reçetelerin uygulandığı proseslerdir. Kimyasal laboratuvarında reçetelerin hazırlanmasında mümkün olduğunca yüksek seviyede bir hassasiyete ihtiyaç vardır. Tekstil terbiye-boyamasında genellikle reçeteler öncelikle örnek boyamalar yapmak üzere hazırlanır, tekstil haslıkları analiz edilir ve müşteri onayı alındıktan sonra tam ölçekli üretime geçilmektedir. Reçete hazırlama sırasında gerekenden çok az miktarda daha fazla boyarmadde veya yardımcı kimyasal eklenmesi üretimde tonlarca kimyasalın gereksiz kullanımına, ekonomik kayıplara ve atıksu KOİ yüklerinin artmasına neden olmaktadır. Günümüzde birçok tekstil işletmesinde reçete hazırlama laboratuvarlarında bilgisayar destekli otomatik kimyasal hazırlama sistemleri kullanılmaktadır. Ancak sektörün büyük bir bölümünde kimyasal reçeteleri manuel yöntemlerle hazırlanmaktadır ve bu reçetelerde hata payını artırmaktadır. Kimyasalların verimli kullanımına etki eden diğer önemli bir bileşen ise laboratuvar ve laboratuvarla ilişkili diğer birimler arasındaki koordinasyonundaki eksikliklerdir. Laboratuvar ve üretim prosesleri arasındaki koordinasyonun iyileştirilmesi en yüksek seviyede veri tutmak ve elde edilen verilerin doğru analiz edilmesiyle gerçekleştirilebilir. Tesiste yürütülen saha çalışmalarında özellikle dokuma kumaş ön terbiye ve boyama-baskı proseslerinde ve örgü kumaş boyama proseslerinde spesifik boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Dokuma kumaş boyama proseslerinde boyama sonrasında fularda çok fazla miktarda boyarmadde kalmakta ve israf edilmektedir. Diğer taraftan dokuma kumaş şablon ve rotasyon baskı işlemlerinde gerek baskı patı besleme

tanklarının boyutunun uygun olmaması gerekse de rakle, pompa ve borularda yüksek miktarda (%10-15 oranında baskı patı kaybı) baskı patının israf edilmesi yüksek boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinde etkili olduğu bulunmuştur. Örgü kumaş boyamasında ise boyama sonrasında taşar yıkamaların çok sık yapıldığı tespit edilmiştir. Boyama sonrası yıkama işlemleri tekstil materyali üzerinde kalan fazla boyanın uzaklaştırılması için yapılır. Eğer proses işletim şartlarında veya boyama reçetesinde bir hata varsa tekstil materyali üzerinde çok daha fazla boyarmadde kalmaktadır. Bu fazla boyarmaddeyi uzaklaştırmak için taşar yıkama yapılması gerekli olmaktadır. Tesiste laboratuvar ve boyahane koordinasyonunun iyileştirilmesi için mevcut izleme yazılımının proses bazlı geri dönüş sağlayacak şekilde revize edilmesi, kimyasal hazırlamada daha hassas bilgisayar destekli otomatik ve modern sistemlerin kullanılması, kimyasal ve baskı patı hazırlamada optimum miktarda kimyasal hazırlanması için gerekli prosedürlerin hazırlanması ve uygulanması, denetlenebilir ve izlenebilir performansın geliştirilmesi değerlendirme prosedürlerinin hazırlanması ve uygulanması önerilerinde bulunulmuştur. Bu uygulamaların büyük bir bölümü tesisin kendi kaynaklarından karşılanacak olsa da gerekli ölçüm ve laboratuvar donanımları için 150.000-300.000 TL arasında bir ilk yatırım maliyeti gerekli olmaktadır. Uygulamayla boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinde %1,5-3 oranında azaltım sağlanacağı bulunmuştur. Uygulamanın geri ödeme süresi 1-2 ay arasında olacağı hesaplanmıştır. Ozturk vd. (2020) yünlü bir tekstil işletmesinde labotatuvar-boyahane arasındaki koordinasyonun iyileştirilmesiyle toplam kimyasal tüketiminde %1-6 ve kompozit atıksuların KOİ yüklerinde %1-3 oranında azalmalar sağlanmışlardır. Uygulama için geri ödeme süresinin 12-24 ay arasında olacağını hesaplamışlardır.

### **3.4.6. Otomatik Kimyasal Hazırlama ve Dozlama Sisteminin Kurulması (Installation of Automatic Chemical Preparation and Dosing System)**

Tekstil işletmeleri için otomatik kimyasal dozajlama ve kimyasal hazırlama sistemleri, yüksek yatırım maliyetleri gerektirebilir, ancak önemli kimyasal tasarruflar sağlar (Ozturk vd., 2020). Otomatik kimyasal dozlama sistemlerini kullanarak, kimyasal tüketiminin %11-20'sini ve atıksuların taşıdıkları kimyasal yükün %20-50'sini azaltmak mümkündür (DEPA, 2002; LCPC, 2010). Tesise göre değişmekle birlikte uygulamanın geri ödeme süresi yaklaşık 36 aydır (UNIDO, 2012). Ozturk vd. (2020) bir tekstil işletmesinde otomatik dozlama sistemlerinin kullanımıyla kimyasal tüketiminde %4-6 oranında azaltım sağlanmışlardır. Uygulamanın geri ödeme süresini 4-12 ay arasında bulmuşlardır. Tesiste yürütülen çalışmalarda kimyasal kayıplarının azaltılması, fazla kimyasal kullanımının önlenmesi ve laboratuvar-boyahane arasındaki koordinasyonun iyileştirilmesi için bilgisayar destekli otomatik kimyasal hazırlama ve dozlama sistemlerinin kurulmasına karar verilmiştir. Tesiste otomatik kimyasal dozlama sistemi bulunmaktadır. Ancak kimyasal dozlama sistemiyle boyarmaddelerin ve bazı kimyasalların dozlaması yapılmamaktadır. Boyarmaddelerin ve dolanmayan yardımcı kimyasalların da mevcut dozlama sistemine entegre edilmesine karar verilmiştir. Bu uygulama için gerekli ilk yatırım maliyeti 3.5-10 milyon TL'dir. İlk yatırım maliyetinin neredeyse yarısını otomatik kimyasal hazırlama sistemleri oluşturmaktadır. Tesiste hali hazırda otomatik dozlama sistemi altyapısı bulunması ve sadece diğer kimyasalları da kapsayacak şekilde revize edilmesi gerektiğinden ilk yatırım maliyeti beklenenden daha az bulunmuştur. Uygulamayla toplam boyarmadde ve kimyasal tüketiminde %3,5-5 oranında azalmalar sağlanacağı hesaplanmıştır. Uygulamanın geri ödeme süresi 8-32 ay arasında bulunmuştur.

### **3.4.7. Şablon ve Rotasyon Baskı Makinelerinde Baskı Patı Kayıplarının Azaltılması (Reducing Printing Paste Losses in Flatbed and Rotary Screen Printing Machines)**

Tekstil şablon ve rotasyon baskı makinelerinde hazırlanan baskı patının önemli bir bölümü kaybedilmektedir. Basılacak tekstil materyalinin desenine ve miktarına bağlı olarak, baskı patı telefinin miktarı, tekstil materyali üzerine aktarılan baskı patı miktarından daha yüksek bile olabilmektedir (EC, 2003). Örneğin 250 m bir kumaş için 7 farklı renk kullanılarak baskısı yapılması durumunda 40 kg baskı patına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak raklede, borularda, pompalarda ve şablonlarda kalan baskı patları her bir renk için ortalama 6,5-8,5 kg olabilmektedir. Bu durumda 250 m uzunluğunda bir kumaşın baskı işlemleri sırasında toplam 45-60 kg baskı patı (kumaşa apliance edilenden daha fazla) israf edilmektedir (EC, 2003). Tesiste yürütülen saha ve analiz çalışmalarından elde edilen bilgilere göre şablon ve rotasyon baskı makinelerinde yüksek miktarda baskı patının israf edildiği tespit edilmiştir. Bunun ortadan kaldırılmasına yönelik olarak raklelerin modifikasyonu, baskı patı kaplarının optimize edilmesi, baskı patı besleme prosedürlerinin optimize edilmesi, besleme ekipmanlarında kalan baskı patlarının geri kazanılması önerilmiştir. Uygulama için gerekli ilk yatırım maliyeti 350.000-750.000 TL ve uygulamayla toplam boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinde %3-4,5 oranında azalmalar sağlanabileceği hesaplanmıştır. Uygulamanın geri ödeme süresi 4-14 ay arasında bulunmuştur.

### 3.4.8. Şablon ve Rotasyon Baskı Makinelerinde Arta Kalan Baskı Patının Geri Kazanımı (Recovery of Printing Paste from Flatbed and Rotary Screen Printing Machines)

Tesiste şablon ve rotasyon baskı makinelerinde artakalan baskı patlarının geri kazanımı önerilmiştir. Bu kapsamda artakalan farklı renklerdeki baskı patları ayrı toplanıp birleştirilerek siyah renk boya üretimi sağlanabilmektedir. Tesiste bu uygulamayla yıllık 11 tona yakın siyah boya üretimi gerçekleştirilmiştir. Uygulama için gerekli ilk yatırım maliyeti 125.000-350.000 TL arasındadır ve gerekli donanımların büyük bir bölümü tesisteki mevcut imkanlarla sağlanmış olması ilk yatırım maliyetlerinin düşük olmasında etkili olmuştur. Uygulamayla toplam boyarmadde ve kimyasal tüketiminde %0,5-3,2 oranında azalmalar sağlanacağı belirlenmiştir. Uygulamanın potansiyel geri ödeme süresinin 38 aydan daha kısa olacağı bulunmuştur.

### 3.4.9. Su Yumuşatma Sisteminin Optimizasyonu (Optimization of Water Softening Unit)

Su yumuşatma sistemleri neredeyse tüm imalat sanayide proses suyu hazırlamada kullanılmaktadır. Su yumuşatma sisteminde kullanılan katyonik iyon değiştirici reçinelerin yüzeyleri belirli miktarda su yumuşatma işlemi sonrasında  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  iyonlarıyla kaplanmaktadır. Bu durumda reçinelerin tuzlu suyla geri yıkayıp rejenere edilmeleri gerekli olmaktadır. Özellikle tekstil işletmeleri gibi yüksek miktarda proses suyu tüketilen işletmelerde katyonik iyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonu için toplam su tüketiminin %5-10'u kullanılmaktadır (AIG, 2012; Ozturk vd., 2016). Her bir rejenerasyon işleminde yıkama, rejenerasyon ve durulama yapılmaktadır. Rejenerasyon atıksuları yüksek miktarda tuz içerdiğinde yüksek elektriksel iletkenliğe sahiptir. Genellikle doğrudan atıksu kanalına verilerek uzaklaştırılmaktadır.

Tesiste proses suyu hazırlamada katyonik iyon değiştirici reçineler kullanılmaktadır. Yürütülen saha çalışmalarında toplam su tüketimindeki yüksek payları nedeniyle su yumuşatma sistemlerinde rejenerasyon sıklıkları ve sürelerinin optimize edilmesi gerektiği görülmüştür. Bu kapsamda su yumuşatma ünitesinde bulunan her bir katyonik iyon değiştiriciye online sertlik sensörleri kurularak rejenerasyon sıklıklarının optimize edilmiştir. Ayrıca rejenerasyon sürelerinin (yıkama ve durulama dahil) yaklaşık %25 kısaltılmıştır. Bu uygulamalar için gerekli ilk yatırım maliyeti 126.000-160.000 TL'dir. Uygulamayla toplam kimyasal tüketiminde %0,8-0,9 oranında (su yumuşatma sisteminde kullanılan tuz tüketiminde %20) azalma sağlanacağı hesaplanmıştır. Uygulamanın geri ödeme süresi 8-11 arasında bulunmuştur.

### 3.4.10. Uygun Proses Atıksularının Artılmadan Geri Kullanımı (Reuse of Suitable Process Wastewaters Without Treatment)

Tekstil terbiye ve boyamasında kullanılan kimyasalların yarısına yakını atıksu akımlarıyla birlikte prostesten uzaklaştırılır. Özellik ön terbiye ve son terbiye (apre) işlemlerinden kaynaklanan atıksular nispeten temiz karakterdedir ve artılmadan aynı proseste geri kullanılabilir (Ozturk vd., 2016; Ozturk vd., 2020). Ön terbiye işlemlerinde yıkama makinelerinin son banyoları, merserizasyon sonrası yıkama banyoları, nötr yıkama banyoları, sabunlama banyoları ve yumuşatma banyoları genellikle artılmadan aynı proseste geri kullanılabilir nitelikte olmaktadır (Ozturk ve Cinperi, 2018). Böylelikle bu atıksuların içerdikleri kimyasalların da geri kullanımı sağlanabilmektedir (Öztürk, 2014). Böylelikle atıksu miktarları ve atıksuların taşıdıkları kimyasal yükler de azaltılabilmektedir (USEPA,1996; EEAA, 1999; EC, 2003). Ozturk vd. (2020) bir tekstil işletmesinde son yıkama-durulama banyoları, yumuşatma banyosu ve nötralizasyon banyosu atıksularının geri kullanımıyla kimyasal tüketiminde %6-9 ve kompozit atıksuların KOİ yüklerinde %3-10 arasında azalmalar sağlandığını rapor etmiştir. Uygulamanın geri ödeme süresinin 24 aydan daha kısa bulunmuştur. Tesiste yürütülen çalışmalarda merserizasyon atıksularından kostik geri kazanım ünitesinin (evaporatör) daha etkin kullanımı, sabunlama banyosu ve yumuşatma banyolarında oluşan atıksuların geri kullanımı, nötr yıkama banyolarının geri kullanımı uygulamalarının yapılmasına karar verilmiştir. Tesiste merserizasyon atıksularından kostiğin geri kazanılması kostik kullanımının azaltılmasında ve atıksu arıtma tesisine verilen kimyasal yüklerin azaltılmasında etkili olacaktır. Diğer taraftan kompozit atıksuyun nötralizasyon gereksiniminin de azaltılmasında etkili olacaktır. Nötr yıkama banyoları genellikle asidik karakterdedir. Nötr yıkama banyolarının aynı proseste geri kullanılması asit tüketimini azaltacak ve atıksu arıtma tesisine verilen kompozit atıksuyun asit yüklerini azaltacaktır. Kumaş yumuşatma işlemlerinde ise yüksek miktarda yumuşatıcılar kullanılmaktadır. Yumuşatma banyolarının aynı proseste geri kullanımı yumuşatıcıların geri kazanılan suyla birlikte kullanımını sağlayacağından hem yumuşatıcı tüketiminin azaltılmasında hem de kompozit atıksuların taşıdıkları kimyasal yüklerinde önemli azalmalar sağlayacaktır. Önerilen bu su ve kimyasal geri kazanımı uygulamalarıyla kompozit atıksuların taşıdıkları kimyasal yükler miktarsal olarak azalacağı gibi atıksu arıtma tesisinin biyolojik arıtma performansının da iyileşmesine katkı sağlanacaktır. Bu uygulamalarla toplam yardımcı kimyasal tüketiminde %0,5-1 arasında azalmalar sağlanacağı hesaplanmıştır. Uygulama için gerekli ilk yatırım maliyeti 150.000-375.000 TL ve geri ödeme süresi 8-41 ay arasında bulunmuştur.

#### 4. Sonuçlar (Conclusions)

Entegre bir tekstil tesisinde kimyasal azaltımı ve kimyasal envanter çalışması yapılmıştır. Kimyasal analiz çalışmaları kapsamında tesisin spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimleri sırasıyla  $19\pm 4$  ve  $604\pm 9$  g/kg ürün bulunmuştur. Tesiste spesifik boyarmadde tüketiminin en yüksek olduğu prosesler dokuma kumaş boyama ( $81\pm 23$  g/kg ürün) ve örgü kumaş boyama ( $69\pm 32$  g/kg ürün) proseslerinde bulunmuştur. Tesiste spesifik yardımcı kimyasal tüketimlerinin ise dokuma kumaş mercerizasyon ( $855\pm 175$  g/kg ürün), boyama ( $1.313\pm 134$  g/kg ürün) ve örgü kumaş boyama ( $1.007\pm 300$  g/kg ürün) ve apre ( $385\pm 114$  g/kg ürün) proseslerinde olduğu tespit edilmiştir. Tesisin spesifik boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimleri benzer tesis verileriyle kıyaslanarak potansiyel tasarruf oranları belirlenmiştir. Buna göre tesisin spesifik boyarmadde ve spesifik yardımcı kimyasal tüketimlerinde sırasıyla  $\%37\pm 18$  ve  $\%61\pm 1$  oranlarında potansiyel azaltım sağlanabileceği bulunmuştur.

Tesiste boyarmadde ve kimyasal tüketimlerinin azaltılmasına yönelik olarak kimyasal tüketimlerinin prosesler bazında izlenmesi, kimyasal reçetelerinin optimize edilmesi, örgü kumaş boyamada flote oranlarının azaltılması, laboratuvar-boyahane koordinasyonunun iyileştirilmesi, otomatik kimyasal hazırlama ve dozlama sistemlerinin kurulması, şablon ve rotasyon baskı bakinelerinde baskı patı kayıplarının azaltılması ve geri kazanımı, su yumuşatma sisteminin optimizasyonu ve uygun proses atıksularının arıtılmadan geri kullanımı tekniklerinin uygulanmasına karar verilmiştir. Ayrıca tesiste kullanılan toplam 450 kimyasalın MGBF incelenerek kapsamlı bir kimyasal envanter çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda toplam 48 kimyasalın çevresel açıdan riskli (çok toksik/toksik karakterde, biyodegradasyon oranı  $<\%70$  olan ve mikrokirletici içeren) olduğu tespit edilmiştir. Bu kimyasalların daha çevre dostu ikameleriyle (toksik olmayan ya da düşük toksisteye sahip, biyodegradasyon oranı  $>\%70$  ve mikrokirletici içermeyen) değişimleri önerilmiştir.

Tesiste kimyasal tüketimlerinin azaltılması ve kimyasal değişimi için toplam 10 tekniğin uygulanmasına karar verilmiştir. Belirlenen tekniklerin her biri ile kimyasal tüketimlerinde sağlanacak azalma oranları hesaplanmıştır. Ayrıca belirlenen her bir teknik için tahmini yatırım maliyetleri belirlenmiş ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Belirlenen tekniklerin tesiste uygulanmasıyla toplam boyarmadde ve yardımcı kimyasal tüketimlerinde  $\%14,9-27,3$  arasında değişen oranlarda azalmalar sağlanabileceği bulunmuştur. Uygulamaların tümü göz önüne alındığında geri ödeme süresinin 41 aydan daha kısa olacağı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar düşük maliyetli uygulamalarla tekstil üretimindeki verimsizlikleri ortadan kaldırarak kimyasal tüketiminde önemli azaltımlar sağlanabileceğini göstermiştir.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

#### Kaynaklar (References)

- Archana, L.K.N., Siva, K.R.R., 2012. Biological Methods of Dye Removal from Textile Effluents-A Review. *J Biochem Technol* 3, 177–180. <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1393263>
- Arivithamani, N., Agnes, Mary. S., Senthil Kumar. M., Giri, Dev V.R., 2014. Keratin Hydrolysate as an Exhausting Agent in Textile Reactive Dyeing Process. *Clean Techn Environ Policy* 16, 1207–1215. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0718-7>
- Australian Industry Group (AIG), 2012. Water Saving Fact Sheet: Textile Industry. Austrian Industry Group.
- Barclay, S., Buckley, C., 2000. Waste Minimization Guide for the Textile Industry: A Step Towards Cleaner Production. The South African Water Research Commission, the Pollution Research Group, South African Republic.
- Carmen, Z., Daniela, S., 2012. Textile Organic Dyes-Characteristics, Polluting Effects and Separation/Elimination Procedures from Industrial Effluents-A Critical Overview. In: Puzyn, T., (Ed.) *Environmental Sciences: Organic Pollutants Ten Years after the Stockholm Convention-Environmental and Analytical Update*. InTech Press, pp 55–86. ISBN 978-953-307-917-2
- Danish Environmental Protection Agency (DEPA), 2002. Danish Experience Best Available Techniques-BAT in the Clothing and Textile Industry. Danish Environmental Protection Agency (DEPA), Working Report.
- Desore, A., Narula, A.S., 2018. An Overview on Corporate Response Towards Sustainability Issues in Textile Industry. *Environ Dev Sustain* 20, 1439–1459. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-9949-1>
- Egyptian Environmental Affairs Agency (EEAA), 1999. Guidance Manual Cleaner Production for Textiles Water and Energy Conservation. Technical Co-operation Office for the Environment, UK.
- European Commission (EC), 2000. European Commission Water Framework Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. Off. J. Eur. Communities.
- European Commission (EC), 2003. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) reference document on Best Available Techniques for the Textile Industry (BREF). European Commission IPPC Bureau, Seville.

- Intelligent Energy Europe (IEE), 2006. EMS-Textile Project: promotion of energy management practices in the textile industries of Greece, Portugal, Spain and Bulgaria, benchmarking information V.4. (IEE/04/113/S07.38648), European Commission, Brussels, Belgium.
- Kalliala, E., Talvenmaa, P., 2000. Environmental Profile of Textile Wet Processing in Finland. *J Clean Prod* 8, 143–154. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(99\)00313-3](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(99)00313-3)
- Kumar, P.S., Saravanan, A., 2017. Sustainable Wastewater Treatments in Textile Sector. In: Muthu, S.S., (Ed.) *The Textile Institute Book Series: Sustainable Fibers And Textiles*. Elsevier Woodhead Publishing, pp. 323–346. ISBN: 978-0-08-102042-5
- Lebanese Cleaner Production Center (LCPC), 2010. *Cleaner Production Guide for Textile Industries*. Lebanese Cleaner Production Center, Beirut.
- Marechal, A.M.L., Krizanec, B., Vajnhandl, S., Valh, J.V., 2012. Textile Finishing Industry as an Important Source of Organic Pollutants. *Organic Pollutants Ten Years after the Stockholm Convention-Environmental and Analytical Update*.
- Mia, M.S., Hasan, F.K.M., Ashaduzzaman, A.M.R., Hasan, S.F., 2016. Effective Processing Time & Cost of Management of Dyes. *Chemicals & Utilities (Heat, Gas, Electricity, Air & Water etc.) Used in Knit Dyeing For Combed & Compact Yarn Manufactured Fabric of Dyeing Textile Industries*. *Am J Energy Environ* 1, 1–16.
- Mor, S., Chhavi, M.K., Sushil, K.K., Ravindra, K., 2018. Assessment of Hydrothermally Modified Fly Ash for the Treatment of Methylene Blue Dye in the Textile Industry Wastewater. *Environ Dev Sustain* 20, 625–639. <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9902-8>
- Ogugbue, C.J., Sawidis, T., 2011. Bioremediation and Detoxification of Synthetic Wastewater Containing Triarylmethane Dyes by *Aeromonas Hydrophila* Isolated from Industrial Effluent. *Biotechnol Res Int*. <https://doi.org/10.4061/2011/967925>
- Öztürk, E., 2014. *Tekstil sektöründe entegre kirlilik önleme ve kontrolü ve temiz üretim uygulamaları*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 525s, Isparta.
- Ozturk, E., Cinperi, N.C., 2018. Water Efficiency and Wastewater Reduction in an Integrated Woolen Textile Mill. *J Clean Prod*. 201, 686–696. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.021>
- Ozturk, E., Cinperi, N.C., Kitis, M., 2020. Green Textile Production: A Chemical Minimization and Substitution Study in a Woolen Fabric Production. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27, 45358–45373. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10433-8>
- Ozturk, E., Koseoglu, H., Karaboyaci, M., Yigit, N.O., Yetis, U., Kitis, M., 2016. Minimization of Water and Chemical Use in a Cotton/Polyester Fabric Dyeing Textile Mill. *J Clean Prod* 130, 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.080>
- Ozturk, E., Yetis, U., Dilek, F.B., Demirer, G.N., 2009. A Chemical Substitution Study for a Wet Processing Textile Mill in Turkey. *J Clean Prod* 17, 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.05.001>
- Radej, B., Zakotnik, I., 2003. Environment as a Factor of National Competitiveness Inmanufacturing. *Clean Techn Environ Policy* 5, 254–264. <https://doi.org/10.1007/s10098-003-0202-2>
- Tanapongpipat, A., Khamman, C., Pruksathorm, K., Hunsom, M., 2008. Process Modification in the Scouring Process of Textile Industry. *J Clean Prod* 16, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.06.016>
- Thiry, M.C., 2011. *Staying Alive: Making Textiles Sustainable*. AATCC Review November/December.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), 2012. *Energy Efficiency in Electronic Motor Systems: Technology Saving Potentials and Policy Options for Developing Countries*. United Nations Industrial Development Organization, Vienna.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1996. *Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry*. USEPA Office of Research Information, Cincinnati.
- Yaseen, D.A., Scholz, M., 2018. Treatment of Synthetic Textile Wastewater Containing Dye Mixtures with Microcosms. *Environ Sci Pollut Res* 25, 1980–1997. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0633-7>
- Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY), 2015. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Resmi Gazete Sayı: 29327. Erişim linki: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150415-18.htm>
- Yu, J.Q., Chen, Y., Shao, S., Zhang, Y., Liu, S., Zhang, S., 2014. A Study on Establishing an Optimal Water Network in a Dyeing and Finishing Industrial Park. *Clean Techn Environ Policy* 16, 45–57. <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0592-8>
- Yukseler, H., Uzal, N., Sahinkaya, E., Kitis, M., Dilek, F.B., Yetis, U., 2017. Analysis of the Best Available Techniques for Wastewaters from a Denim Manufacturing Textile Mill. *J Environ Manag* 203, 1118–1125. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.041>