



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

1997/144

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ

YÜNLÜ KUMAŞ SON İŞLEMLERİNDE

GERİ KAZANIM VE YENİDEN KULLANIM

2002-268 9

Yer Deniz ve Atmosfer Bilimleri Araştırma Grubu

Earth Marine and Atmospheric Sciences
Researches Grant Group

1997114

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ

YÜNLÜ KUMAŞ SON İŞLEMLERİNDE

GERİ KAZANIM VE YENİDEN KULLANIM

2002-268 9

PROJE NO: YDABÇAG-199Y114

FATOŞ GERMİRLİ-BABUNA
HAKAN DULKADİROĞLU
SERDAR DOĞRUEL
GÜLEN EREMEKTAR
DERİN ORHON
HİJLAL ÜNER
ÖZLEM KARAHAN GÜL

Temmuz 2002
İSTANBUL

ÖNSÖZ

Tekstil endüstrisi dalında yoğun üretimin gerçekleştirildiği ülkemizde, çevre kirliliğine katkı yönünden bu endüstri dalı dikkate alınmalı ve gerekli önlemler zaman kaybedilmeksizin hayata geçirilmelidir. Ülkemizde genellikle tesis içi kontrol aşaması gözardı edilerek, oluşan atıksuyun doğrudan arıtılarak uzaklaştırılması benimsenmiştir. Ancak bu tip bir yaklaşım ile atık yükünün kaynağa azaltılması, bazı maddelerin geri kazanılması ve tekrar kullanılması mümkün olamamaktadır.

Bu proje yünlü kumaş son işlemler altkategorisinde faaliyet gösteren seçilen bir tekstil endüstrisi örneğinde kirlenme profillerin meydana getirilmesi, ayrık akımlar üzerinde gerekli kısmi arıtma ihtiyacının saptanarak geri kazanım, yeniden kullanım alternatiflerinin belirlenmesi ve geri kazanım, yeniden kullanımın biyolojik arıtılabilirlik üzerindeki etkilerinin saptanmasını içermektedir.

Bilimsel araştırmalara katkıları nedeniyle bu çalışmayı destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	vi
KISALTMALAR	x
BÖLÜM 1: GİRİŞ	1
BÖLÜM 2: GELİŞME	2
2.1. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ	2
2.1.1. Tesis İçi Kontrol	3
2.1.1.1. Suyun Tekrar Kullanımı	3
2.1.1.2. Su Kullanımının Azaltılması	4
2.1.1.3. Kullanılan Kimyasalların Değiştirilmesi	5
2.1.1.4. Madde Geri Kazanımı	6
2.1.1.4.1. Boya Banyolarının Yeniden Kullanımı	7
2.1.1.4.2. Haşıl Geri Kazanımı	7
2.1.1.4.3. Kostik Geri Kazanımı	7
2.1.1.4.4. Diğer Geri Kazanım Uygulamaları	8
2.1.2. Arıtma Teknolojileri	8
2.2. KAVRAMSAL YAKLAŞIM	10
2.2.1. Biyolojik Arıtılabilirlik	10
2.2.1.1. Konvansiyonel Atıksu Karakterizasyonu	10
2.2.1.2. Biyolojik Arıtılabilirlik Bazlı Atıksu Karakterizasyonu	10
2.2.2. Kimyasal Arıtılabilirlik	12
2.2.2.1. Koagülasyon-Flokülasyon	13
2.2.2.2. Kimyasal Oksidasyon	13
2.3. DENEYSEL YAKLAŞIM	16
2.3.1. İnert KOİ Bileşenlerinin (S_I , X_I) Belirlenme Yöntemleri	16
2.3.2. Hızlı Ayrışan Organik Madde (S_S) Belirleme Yöntemi	19
2.3.3. Yavaş Ayrışan Organik Madde (X_S , S_H) Bileşenlerinin Belirleme Yöntemi	22
2.3.4. Materyal ve Metod	23

2.4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DEĞERLENDİRME	26
2.4.1. Su Kullanımının Azaltılması ve Geri Kazanılabilir Atıksu Akımlarının Belirlenmesi	26
2.4.1.1. %100 Yün – İpliği Boyalı ve %96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı Prosesi	27
2.4.1.1.1. Proses Tanımı ve Atıksu Kaynakları	27
2.4.1.1.2. Atıksu Karakterizasyonu	28
2.4.1.1.3. Değerlendirme	32
2.4.1.2. %100 Yün – Melanj (koyu renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (koyu renk) Prosesi	33
2.4.1.2.1. Proses Tanımı ve Atıksu Kaynakları	33
2.4.1.2.2. Atıksu Karakterizasyonu	34
2.4.1.2.3. Değerlendirme	34
2.4.1.3. %50 Yün + %50 Polyester – Top Boyama ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Top Boyama Prosesi	39
2.4.1.3.1. Proses Tanımı ve Atıksu Kaynakları	39
2.4.1.3.2. Atıksu Karakterizasyonu	39
2.4.1.3.3. Değerlendirme	39
2.4.1.4. %50 Yün + %50 Polyester – İpliği Boyalı ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – İpliği Boyalı Prosesi	42
2.4.1.4.1. Proses Tanımı ve Atıksu Kaynakları	42
2.4.1.4.2. Atıksu Karakterizasyonu	42
2.4.1.4.3. Değerlendirme	43
2.4.1.5. %50 Yün + %50 Polyester – Melanj (koyu renk) ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (koyu renk) Prosesi	46
2.4.1.5.1. Proses Tanımı ve Atıksu Kaynakları	46
2.4.1.5.2. Atıksu Karakterizasyonu	47
2.4.1.5.3. Değerlendirme	47
2.4.1.6. Genel Değerlendirme ve Öneriler	52
2.4.2. Tesis İçi Kontrol Metodolojisi ve Uygulanması	54
2.4.3. Geri Kazanılabilir Akımların Arıtılabilirliği	56
2.4.4. Tesis İçi Kontrol Uygulamalarının Oluşan Atıksuyun Arıtılabilirliği Üzerindeki Etkisi	58

BÖLÜM 3: SONUÇLAR VE TARTIŞMA	60
--------------------------------------	-----------

KAYNAKLAR	62
------------------	-----------

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1.1 Tekstil Endüstrisinde Suyun Tekrar Kullanımı İçin Kontrol Adımları	4
Tablo 2.1.2 Boya Ekipmanlarında Su Tasarrufu İçin Alınabilecek Önlemler	5
Tablo 2.1.3 Kullanılan Ağartıcılara Göre AOX düzeyleri	6
Tablo 2.1.4 Tekstil Endüstrisi Atıksularına Uygulanan Çeşitli Arıtma Yöntemleri ve Arıtma Verimleri	9
Tablo 2.4.1 Apre prosesleri üretim verileri	26
Tablo 2.4.2 %100 Yün – İpliği Boyalı ve %96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı (A.2) Prosesi 1. Uygulama Atıksu Karakterizasyonu	31
Tablo 2.4.3 %100 Yün – İpliği Boyalı ve %96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı (A.2) Prosesi 2. Uygulama Çözünmüş KOİ Değerleri	32
Tablo 2.4.4 %100 Yün – İpliği Boyalı ve %96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı (A.2) Prosesi geri kazanım ve su tasarrufu değerlendirme sonuçları	33
Tablo 2.4.5 %100 Yün – Melanj (Koyu Renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (A.3) Prosesi 1. Uygulama Atıksu Karakterizasyonu	37
Tablo 2.4.6 %100 Yün – Melanj (Koyu Renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (A.3) Prosesi, 2. Uygulama Çözünmüş KOİ Değerleri	38
Tablo 2.4.7 %100 Yün – Melanj (Koyu Renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (A.2) Prosesi geri kazanım ve su tasarrufu değerlendirme sonuçları	38
Tablo 2.4.8 %50 Yün + %50 Polyester – Top Boyama ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Top Boyama (B.1) Prosesi Atıksu Karakterizasyonu	41
Tablo 2.4.9 %50 Yün + %50 Polyester – Top Boyama ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Top Boyama (B.1) Prosesi geri kazanım ve su tasarrufu değerlendirme sonuçları	42
Tablo 2.4.10 %50 Yün + %50 Polyester – İpliği Boyalı ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – İpliği Boyalı (B.2) Prosesi Atıksu Karakterizasyonu	45
Tablo 2.4.11 %50 Yün + %50 Polyester – İpliği Boyalı ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – İpliği Boyalı (B.2) Prosesi geri kazanım ve su tasarrufu değerlendirme sonuçları	46
Tablo 2.4.12 %50 Yün + %50 Polyester – Melanj (Koyu Renk) ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (B.3) Prosesi, 1. Uygulama Atıksu Karakterizasyonu	50
Tablo 2.4.13 %50 Yün + %50 Polyester – Melanj (Koyu Renk) ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (B.3) Prosesi, 2. Uygulama Çözünmüş KOİ Değerleri	51
Tablo 2.4.14 %50 Yün + %50 Polyester – Melanj ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (koyu renk) (B.1) Prosesi geri kazanım ve su tasarrufu değerlendirme sonuçları	52
Tablo 2.4.15 Su Kullanımı Kısıtlaması Uygulanabilir ve Geri Kazanılabılır Nitelikli Atıksu Akımların Toplam Atıksuya Oranları	54

Tablo 2.4.16 Tekstil Boyama Atıksuları için Geri Kazanım Kriterleri	55
Tablo 2.4.17 Önerilen Tesis İçi Kontrol Uygulamalarının Sonuçları	56
Tablo 2.4.18 Ham Geri Kazanılabilir Atıksu Karakterizasyonu	56
Tablo 2.4.19 Ozonlama Sonuçları	57
Tablo 2.4.20 Kimyasal Arıtılabilirlik Sonuçları	57
Tablo 2.4.21 Ham ve Kalan Atıksuların Konvansiyonel Karakterizasyonu	58
Tablo 2.4.22 Ham Atıksu ve Kalan Atıksuyun KOİ Bileşenleri	59

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1.1 Ters Akımlı Yıkama veya Durulama	5
Şekil 2.2.1 Atıksudaki (arıtma tesisi giriş akımındaki) toplam KOİ fraksiyonları	11
Şekil 2.2.2 Aktif Çamur Sistemi	11
Şekil 2.2.3 Arıtma tesisi çıkış akımındaki KOİ fraksiyonları	12
Şekil 2.3.1 İnert KOİ profilleri	17
Şekil 2.3.2 KOİ profilleri	19
Şekil 2.3.3 Bileşenlerin OTH Profiline etkisi (Ubay Çokgör, 1997)	21
Şekil 2.3.4 OTH grafiği ile S_{SO} belirlenmesi	22
Şekil 2.3.5 OTH profili ile S_{SO} belirleme	22
Şekil 2.3.6 PCI GL1 Ozon Jeneratörü	24
Şekil 2.4.1 %100 Yün – İpliği Boyalı ve %96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı (A.2) Prosesi, 1. Uygulama akım şeması	29
Şekil 2.4.2 %100 Yün – İpliği Boyalı ve %96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı (A.2) Prosesi, 2. Uygulama akım şeması	30
Şekil 2.4.3 %100 Yün – Melanj (Koyu Renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (A.3) Prosesi, 1. Uygulama akım şeması	35
Şekil 2.4.4 %100 Yün – Melanj (Koyu Renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (A.3) Prosesi, 2. Uygulama akım şeması	36
Şekil 2.4.5 %50 Yün + %50 Polyester – Top Boyama ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Top Boyama (B.1) Prosesi akım şeması	40
Şekil 2.4.6 %50 Yün + %50 Polyester – İpliği Boyalı ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – İpliği Boyalı (B.2) Prosesi akım şeması	44
Şekil 2.4.7 %50 Yün + %50 Polyester – Melanj (Koyu Renk) ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (B.3) Prosesi, 1. Uygulama akım şeması	48
Şekil 2.4.8 %50 Yün + %50 Polyester – Melanj (Koyu Renk) ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (B.3) Prosesi, 2. Uygulama akım şeması	49

SEMBOL LİSTESİ

b_H	içsel solunum katsayısı
C_{TI}	toplam giriş KOİ' si
f_{EX}	biyokütlenin partiküler inert fraksiyonu
f_{ES}	biyokütlenin çözünmüş inert fraksiyonu
k_h, k_{hs}	maksimum hidroliz katsayısı
K_S	yarı doygunluk katsayısı
K_X, K_{XS}	hidroliz yarı doygunluk sabitleri
$OUR (OTH)$	oksijen tüketim hızı
S_H	hızlı hidroliz olabilen KOİ
S_I	çözünmüş inert KOİ
S_0	oksijen konsantrasyonu
S_P	çözünmüş inert metabolik ürün
S_S	luzlu ayrışabilir KOİ
S_T	toplam çözünmüş KOİ
X_H	aktif heterotrofik biyokütle
X_I	partiküler inert KOİ
X_P	partiküler inert metabolik ürün
X_S	yavaş hidroliz olabilen KOİ
Y_H	heterotrofik dönüşüm oranı
Y_{SP}	çözünmüş inert metabolik dönüşüm oranı
θ_X	çamur yaşı
θ_h	hidrolik bekletme süresi
$\hat{\mu}_H$	maksimum heterotrofik büyüme hızı

ÖZET

Tekstil endüstrisi ülkemizdeki endüstri dallarının en önemlilerinden biri olduğundan, bu endüstride üretim ve atıksu karakterizasyonu arasındaki ilişkileri doğru kurabilmek, tesis içi kontrol uygulamalarını sağlıklı belirleyebilmek çevre kirlenmesi kontrolüne önemli katkılar sağlayacaktır. Tekstil endüstrisi kullanılan hammadde ve kimyasal maddelerin, gerçekleştirilen işlemlerin, her işlem için uygulanan teknolojilerin çeşitliliği nedeni ile son derece değişken yapıya sahip bir endüstridir. Tekstil endüstrisinde tesis içi kontrol yöntemleri uygulanarak su kullanımı ve atıksu oluşumu, hammadde ve enerji sarfıyatı ve hatta bazı durumlarda deşarj edilen kirletici miktarlarında kayda değer oranlarda azalmalar sağlanmaktadır. Tesis içi kontrol yöntemleri, suyun tekrar kullanımı, su kullanımının azaltılması, kullanılan kimyasallarda değişiklik ve madde geri kazanımı olarak dört ana grupta toplanabilir. Tekstil endüstrisinde tesis içi kontrol yöntemlerinden gereksiz su kullanımlarının kısıtlanması ile su tüketiminde %10-30 arasında azalma sağlanabilmektedir. Öte yandan tüm endüstriyel faaliyetler için olduğu gibi tekstil endüstrisinde de kullanılacak su yüksek maliyetlerle elde edildiğinden atıksu geri kazanım ve tekrar kullanımı önem kazanmaktadır. Bu çerçevede bu çalışmada, seçilen bir yün son işlemler endüstrisinde atıksu oluşumu, atıksu karakterizasyonu, kirlenme profili, gereksiz su tüketen noktaların belirlenmesi, geri kazanım gerçekleştirilecek atıksu akımlarının tanımlanması, atıksu yeniden kullanımı için gerekli arıtma düzeyinin saptanması, su tüketiminin kısıtlanması ve atıksu geri kazanımından meydana gelen tesis içi kontrol uygulamalarının oluşacak atıksuların biyolojik ayrışma düzeyleri üzerindeki etkisinin belirlenmesini içeren bir incelemeyi kapsamaktadır. Geri kazanılabilir atıksu akımları üzerinde yürütülen kimyasal arıtılabilirlik çalışmalarının yanısıra, atıksuyun KOİ bileşenlerini kapsayan biyolojik arıtılabilirlik deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Yürütülen çalışmanın sonuçlarına göre tesis içi kontrol ile su tüketiminde % 34 oranında bir azalma sağlanabileceği ve oluşan atıksuların % 23'ü geri kazanılıp uygun bir arıtmadan geçirildikten sonra tekrar kullanılabilmesi belirlenmiştir. Tesis içi kontrol uygulamalarının meydana gelecek atıksudaki KOİ bileşenlerinin oranları üzerinde bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiş, ancak tesis içi kontrol sonucu beklendiği gibi daha kuvvetli bir atıksu elde edildiğinden inert KOİ konsantrasyonunda % 100'ün üzerinde bir artış saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler Tekstil endüstrisi, Geri kazanım, Yeniden kullanım, Yünlü kumaş son işlemleri, KOİ bileşenleri

ABSTRACT

Since the textile industry is one of the most important branches of industries for Turkey, this industry is selected as a pilot case for this research activity. Textile industry has a very complex nature in terms of raw materials used, the processes and technologies employed, chemicals applied and products. Implementation of in-plant control techniques for a textile industry can help to reduce water use and wastewater production, raw material and energy consumption and even in some cases the polluters present in the effluent considerably. In-plant control techniques are summarized in four groups as water reuse, water use reduction, chemical substitution and recovery of valuable substances. By preventing the unnecessary water consumption in textile industry, 10 to 30 % reduction in water use can be realized. On the other hand wastewater reuse applications are among the favorable in-plant practices for textile industry, resulting from the elevated costs of industrial fresh water supply. In this context, this study involves a comprehensive plant survey including wastewater generation and characterization together with the identification of recoverable streams and the assessment of unnecessary water consumption for a selected wool finishing plant. The study also outlines the results of a detailed treatability survey. Biological treatability studies covering the assessment of COD fractionation are conducted on raw wastewater samples obtained before and after the application of proposed appropriate in-plant control measures. Treatability of reusable wastewater fraction is also investigated. The experimental results indicate that a 34% reduction in water consumption is possible and 23% of the generated wastewaters can be recovered and reused after being subjected to a suitable pretreatment. The application of in-plant control has no distinct effect on the COD fractionation of wastewater streams. Such an application imparts however a higher soluble inert COD level due to dealing with a more concentrated remaining wastewater. An increase over 100% is determined in initial soluble inert COD level when in-plant control measures are implemented.

Keywords : Textile industry, Recovery, Reuse, Wool finishing, COD fractions

KISALTMALAR

AKM	asılı katı madde
BOİ	biyokimyasal oksijen ihtiyacı
TÇM	toplam çözünmüş madde
TOK	toplam organik karbon
KOİ	kimyasal oksijen ihtiyacı
UAKM	uçucu asılı katı madde
TP	toplam fosfor
TKN	toplam Kjeldahl azotu

BÖLÜM 1: GİRİŞ

Tekstil endüstrisinde son dönemde üretim gelişmiş ülkelerden gelişmekte olanlara kaydırılmaktadır. Günümüzde Türkiye dünya piyasasında tekstil endüstrisi açısından önemli bir konuma gelmiştir. Yıllık istatistikler doğrultusunda 1995 yılında gerçekleştirilen çalışmalar, 1992'den sonra ülkemizin toplam ihracat gelirlerinin %36-39'u tekstil ürünlerinden sağlanmakta olduğunu ve tekstil endüstrisinin, ülkemiz endüstriyel üretiminin %13'ünü oluşturduğunu göstermektedir (İTKİB, 1995).

Ülkemiz ekonomisindeki yeri yadsınamaz olan tekstil endüstrisi çevre kirliliğine katkı yönünden dikkate alınmalı ve gerekli önlemler ivedilikle hayata geçirilmelidir. Tüm endüstriyel atıklar gibi tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıklar da uygun bir yönetim çerçevesinde kontrol ve denetim altına alınmalıdır. Tekstil endüstrisinde endüstriyel kirlenme kontrolü, tesis içi kontrolün uygulanması ve sonuçta oluşacak atıksu miktar ve karakterine göre tasarlanacak bir arıtma tesisinin işletilmesi aşamalarından meydana gelen sağlıklı bir yaklaşım izlenerek gerçekleştirilmelidir. Ülkemizde genellikle benimsenen yaklaşım tesis içi kontrol aşaması gözardı edilmesi ve oluşan atıksuyun doğrudan arıtılarak uzaklaştırılmasına dayalıdır. Ancak bu tip bir yaklaşım atık yükünün kaynaktan azaltılmasını sağlayamadığından kurulacak arıtma sisteminin ilk yatırım ve işletme maliyetleri çoğunlukla yüksek olmakta ve bunun ötesinde endüstriye ekonomik girdi sağlayabilecek madde geri kazanım ve tekrar kullanımı gözönüne alınmamaktadır.

Tekstil endüstrisinde temiz üretim teknolojilerinin kullanımı atıksu hacmini ve atıksuda bulunan kirleticileri kayda değer düzeyde azaltırken, gereğinden fazla hammadde ve enerji kullanımını da önler. Tesis içi atıksu kontrolü ile; üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve pahalı arıtma gereksinimlerinin azaltılması olarak sıralanabilecek çok önemli iki ekonomik avantaj sağlanmaktadır. Tesis içi atıksu kontrol stratejilerinden en önemlilerinden biri, suyun geri kazanılarak tekrar kullanılmasıdır. Böylelikle arıtma sistemine girecek hidrolik yükler azaltılabilmektedir. Öte yandan, gereksiz su tüketimlerinin azaltılması sonucu %10-30 düzeylerinde su tasarrufu sağlanabilmektedir. Proseslere dayalı su kullanımının azaltılması konusunda unutulmaması gereken nokta, sözü edilen uygulamalar sonucunda elde edilecek düşük debili, yüksek konsantrasyonda kirletici içeren atıksuların arıtımında karşılaşılabilecek güçlüklerdir. Konuya ilişkin bir arıtılabilirlik araştırması yapılmadan tesis içi kontrol uygulamalarının devreye sokulması önemli bir problem kaynağı olabilir.

Bu çerçevede projenin amacı yünlü son işlemleri gerçekleştiren bir tekstil endüstrisinde proseslerde gereksiz su tüketen noktaların saptanması ve atıksu geri kazanım olasılıklarının belirlenmesini kapsayan tesis içi kontrol uygulamaları ve bu uygulamaların oluşacak atıksuyun biyolojik arıtılabilirliği üzerindeki etkilerinin ortaya konulmasını içermektedir. Çalışmada sözüedilen tesis içi kontrol uygulamalarına yönelik bir metodoloji geliştirilmiş ve ayrıca geri kazanılabilir nitelikteki atıksuların arıtılabilirliği incelenmiştir. Hem tesis içi kontrolün ele alınmadığı hal için, hem de tesis içi kontrol gerçekleştirildiğinde arıtılacak atıksuyun biyolojik arıtılabilirlik bazı karakterizasyonu saptanmıştır.

2.1. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ

Tekstil endüstrisi doğal, sentetik ve yapay elyafları kullanarak tekstil ürünleri imal eden tesisleri kapsayan endüstri dalı olarak nitelendirilmektedir. Doğal elyafların temizlenmesi ve iplik haline getirilmesi, tekstil endüstrisi kapsamında bulunmaktadır; buna karşın çırçırılama, kimyasal elyafların üretimi ve giyim sanayi tekstil endüstrisi kategorisinin dışında kalmaktadır. Tekstil endüstrisi doğal, sentetik ve yapay ipliklerin hazırlanması; dokuma, örme veya başka yöntemler aracılığıyla dokunmuş kumaş, örgü kumaş, halı gibi tekstil ürünleri elde edilmesi; iplik, elyaf, örgü kumaş ve dokunmuş kumaşa boya, baskı, apre gibi terbiye işlemlerinin uygulanmasını içermektedir (Göknil ve diğ., 1984; Tünay, 1996).

Türkiye ekonomisinde önemli bir yer tutan tekstil endüstrisinde hammadde olarak elyaf kullanılmaktadır. Elyaflar ya kesik halde, ya da sonsuz uzunlukta filamanlar şeklinde bulunmakta; doğal elyaflar, sentetik elyaflar ve yapay elyaflar olmak üzere üç ayrı grupta incelenmektedir. Doğal elyaflar, hayvansal veya bitkisel kökenli olabilmektedir. Hayvansal kökenli elyaflar, protein elyaflar şeklinde nitelendirilmektedir; yün ve ipek, protein elyaflara örnek olarak gösterilebilir. Bitkisel kökenli elyaflar ise, selülozik elyaflar şeklinde adlandırılmaktadır; pamuk, jüt ve keten selülozik elyaflar arasında yer almaktadır. Sentetik elyaflar, selülozik olmayan organik maddelerden sentetik olarak üretilmekte; başlıca sentetik elyaf türleri arasında polüester, naylor ve poliakrilik bulunmaktadır. Doğal selülozdan kimyasal proseslerin uygulanması sonucunda elde edilen elyaflara ise yapay elyaflar denmektedir; viskoz rayon ve asetat rayon, yapay elyaflar grubunda ele alınmaktadır (Germirli ve diğ., 1990).

Tekstil endüstrisinde üretimde yer alan prosesler, işlenen hammaddenin özelliğine bağlı olarak bazı farklılıklara sahip olmakla birlikte genelde birbirleriyle benzerlik göstermektedir. Hammaddenin özelliğinden dolayı farklı kimyasal maddelerin kullanılması, endüstride uygulanan proses ve işlemleri en çok kullanılan hammadde türlerine göre ayrı ayrı ele alıp incelemeyi zorunlu kılmaktadır (Göknil ve diğ., 1984).

Tekstil endüstrisinde her bir prosesteki su kullanımı, flote oranına bağlı olarak belirlenmektedir. Flote oranı, kullanılan birim su hacmi başına işlenen tekstil kütlesi olarak tanımlanmakta ve ton kumaş/m³ su birimiyle ifade edilmektedir. Tekstil endüstrisindeki su kullanımı, yıkama ve durulama işlemlerinde çok miktarda suya gereksinim duyulması nedeniyle diğer endüstrilere göre fazladır. Proseslerde uygulanan yöntemlerin, kullanılan ekipmanların ve kimyasal maddelerin farklılığına bağlı olarak su kullanımı bazen geniş aralıklarda değişmektedir (Göknil ve diğ., 1984; Tünay, 1996).

Tekstil endüstrisi atıksularının kontrolü amacıyla en uygun arıtma teknolojisine bağlı olarak deşarj kalite limitlerine temel oluşturacak parametrelerin belirlenmesi aşamasında, tekstil endüstrisinin birbirinden oldukça farklı üretim yapan; bu nedenle de atıksu karakteristikleri çok farklı bir endüstri dalı olduğu göz önüne alınmaktadır (Göknil ve diğ., 1984). Söz konusu değerlendirmelerin ışığı altında, tekstil endüstrisi genelinde atıksuları karakterize eden başlıca kirletici parametreler arasında KOİ, AKM, yağ ve gres, renk, toplam krom, fenoller, toplam sülfür, yüzey aktif maddeler, pH ve sıcaklık yer almaktadır. Bu parametrelerin sayı ve

önemlerinin, tesisten tesise ve belirli bir tesiste zamana bağlı olarak değiştiği göz ardı edilmemelidir (Tünay, 1988).

Tekstil endüstrisi, çok sayıda ve birbirinden oldukça farklı ürünlerin üretimini kapsamaktadır. Kullanılan temel hammaddeler olan yün, pamuk, yapay, sentetik elyaf ve bunların karışımlarıyla başlayan üretim farklılıkları dokuma, örme, keçeleştirme ve benzeri işlemler aracılığıyla yarı ürünlerin oluşturulması sonucunda genişlemekte ve son işlemler olarak nitelendirilen mercerizasyon, ağartma, boyama ve apre gibi işlemler sırasında en fazla çeşitliliğe ulaşmaktadır. Ürünlerdeki ve üretim yöntemlerindeki bu çeşitlilik, tekstil endüstrisi atıksularında da kendisini göstermektedir. Tekstil endüstrisi, kullanılan ham ve kimyasal maddelerin; yürütülen işlemlerin; her işlem için uygulanan teknolojilerin çeşitliliği ile farklı su kullanımlarına bağlı olarak değişken yapıya sahip bir endüstri dalıdır (Germirli ve diğ., 1990; Lin ve Peng, 1994; Freeman, 1995; Eremektar ve diğ., 1997; Lin ve Chen, 1997).

Endüstriyel kirlenme kontrolü açısından ele alındığında tekstil endüstrisine sağlıklı yaklaşımın iki aşamalı yürütülmesi gereği ortaya çıkmaktadır (Germirli Babuna ve diğ., 1998a). Aşamalardan ilki tesis içi kontrolün uygulanması ve ikincisi ise sözkonusu tesis içi kontrol sonucu meydana gelecek atıksuyun arıtımına dayalıdır. Ülkemizde genellikle tesis içi kontrol aşaması atlanarak atıksu arıtımı üzerinde durulmaktadır. Böylesi düzenlenmiş bir yaklaşım atık yükünün kaynaktan azaltılmasını sağlayamamakta, uygulanacak arıtma sisteminin ilk yatırım ve işletme maliyetleri artmaktadır. Ayrıca endüstriye ekonomik girdi sağlayabilecek madde geri kazanım ve tekrar kullanımı da dışlanmaktadır.

2.1.1. Tesis İçi Kontrol

Tekstil endüstrisinde uygulanacak tesis içi atıksu kontrolü

1. Suyun Tekrar Kullanımı
2. Su Kullanımının Azaltılması
3. Kullanılan Kimyasallarda Değişiklik
4. Madde Geri Kazanımı

olmak üzere 4 ana gruba ayrılabilir (UNEP IE, 1994). Aşağıda bunlara ilişkin genel bilgiler sunulmaktadır.

2.1.1.1. Suyun Tekrar Kullanımı

Tekstil endüstrisinde bazı durumlarda proses sularının birden fazla işlemde kullanılması ile arıtma sistemine girecek atıksu debisi azaltılabilmektedir (Van Veldhuisen, 1994). Tablo 2.1.1.'de tekstil işletmelerinde suyun tekrar kullanılması için uygulanması öngörülen kontrol adımları sıralanmıştır (UNEP IE, 1994).

Tablo 2.1.1. Tekstil Endüstrisinde Suyun Tekrar Kullanımı İçin Kontrol Adımları

1. Değişik ıslak proseslerde ve çeşitli proses dışı amaçlar için kullanılan ortalama su hacminin vardiya bazında tespiti
2. Su kullanan ana proseslerde istenilen ürün kalitesi için kullanılacak su kalitelerinin belirlenmesi
3. 2. adımda belirtilen prosesler için çıkış suyu kalitesinin örnekleme ile ya da uygun kütle dengeleri kurularak hesaplanması
4. İlk üç adımda elde edilen bilgiler doğrultusunda, tekrar kullanım için uygulama alternatiflerin belirlenmesi (uygulama söz konusu olduğunda, proseslerin yerleşimi, mevcut boru sistemi ve prosesin ya da kumaşın su kalitesine karşı hassasiyeti ve su arıtımı ile ilgili teknolojik sınırlamalar da gözönüne alınmalıdır)
5. Tüm alternatiflerin kurulma, işletme ve onarım da dahil olmak üzere maliyetlerinin aşağıdaki noktalar dikkate alınarak belirlenmesi:
 - a) Su kullanımındaki azalma ve dolayısıyla su faturasının azalması. Buradan kazanılacak suyun daha üretken amaçlar için kullanılabilir olması.
 - b) Atıksu hacminin ve arıtma maliyetlerinin azalması.
 - c) Çıkış suyu hacminin azalması sonucu çıkış konsantrasyonlarında artış ve buna bağlı olarak, ön arıtma masraflarının artması.
 - d) Ek boru, su depoları, pompa gibi ekipmanların, atıksuyun ilave arıtımının, işletme maliyetlerinin getirdiği ekonomik yük.

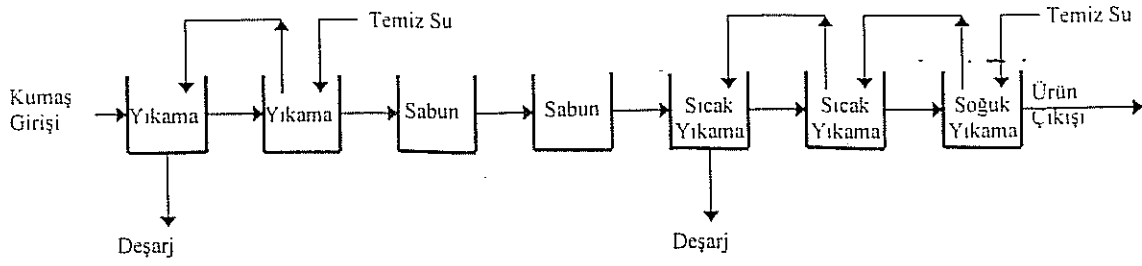
Tekstil endüstrisinde suyun tekrar kullanımı için yapılabilecek en yaygın uygulamalar, kirlenmemiş soğutma suyunun, sıcak su gerektiren proseslerde kullanılması ve bir prosteden çıkan suyun, farklı bir prosteste kullanılması olarak gruplanabilir (Van Veldhuisen, 1994). Kondensatör, ısı eşanjörleri, yün kurutucuları, basınçlı boya makinaları, hava kompresörleri gibi çeşitli ekipmanlarda kullanılan temassız soğutma sularının, hiçbir işlemde geçirilmeden toplanılıp tekrar kullanılması da önemli oranda enerji tasarrufu sağlayacak ve gereksiz su tüketimini engelleyecektir. Öte yandan son durulama sularının, ilk durulama banyosu hazırlanırken yeniden kullanılması deşarj edilen atıksu debisinin büyük oranda azalmasına yol açacaktır.

2.1.1.2. Su Kullanımının Azaltılması

Literatürde bu endüstri için gereksiz su tüketimlerinin kısıtlanması sonucu su kullanımında %10-30 arasında azalma gerçekleştirilebileceği kaydedilmektedir (Smith, 1986; Smith, 1988; Van Veldhuisen, 1994). Proses banyolarının gerektiğinden daha fazla su ve banyo kimyasalları ile hazırlanmasından kaçınmak, vana vs. gibi aletlerin bozukluğunun farkedildiği anda değiştirilmesi, işlem sona erdiğinde soğutma suyu kullanımını hemen kesmek, gereksiz ürün yıkamalarının kısıtlanması için üretim yapılan alanın kirden, yağdan, pastan vs. arınmış olmasını sağlamak tekstil endüstrisinde su kullanımını sınırlandıran son derece basit ancak etkin önlemlerdir.

Proseslerde kullanılan su miktarının düşürülmesi için uygulanabilecek yöntemlerden bir tanesi ters akımlı yıkama veya durulamadır. Kolay ve ucuz olan bu yöntem, son yıkamadan kaynaklanan en az kirlenmiş atıksuyun, bir önceki yıkama adımında yeniden kullanılması ve sistemin bu şekilde sondan başa doğru düzenlenmesi esasına dayanır (Smith, 1986; Smith, 1988). Yeniden kullanılan sudaki kirletici düzeyi suyun hangi aşamada deşarj edilmesi gerektiğini belirler. Şekil 2.1.1'de bir örneği verilen ters akımlı yıkama veya durulama

yönteminin sürekli boyama, haşıl sökme, ağartma gibi proseslerde uygulanabileceği kaydedilmektedir. (UNEP IE, 1994).



Şekil 2.1.1. Ters Akımlı Yıkama veya Durulama

Boyama ekipmanları açısından su korunumu için alınabilecek önlemler Tablo 2.1.2'de görülmektedir (UNEP IE, 1994).

Tablo 2.1.2 Boya Ekipmanlarında Su Tasarrufu İçin Alınabilecek Önlemler

Kesikli İşlemler

- Haspel Boyama: Boya banyosunu döküp, durulama sırasında karışımı önlemek, su tüketimini %25 azaltabilir.
- Beam Boyama (Levent Boyama): Çalkalama ve durulama sırasında taşmanın önlenmesi ile, %60 su tasarrufu sağlanabilir.
- Jigger Boyama: Taşmalı boyama yerine, basamaklı durulama uygulandığında %15-79 arasında değişen oranlarda su tasarrufu sağlar.
- Jet Boyama: Overflow boyama makinalarının basınçlı jet makinalar ile değiştirilmesi sonucu su tüketiminin %50 oranında azaltılması mümkündür.

Sürekli İşlemler

Otomatik su kontrolü ile %20-30 su tasarrufu sağlanabilir. Ters akışlı yıkama en etkili yöntem olarak verilmektedir.

Proseslere dayalı su kullanımının azaltılması konusunda göz ardı edilmemesi gereken nokta, bu uygulamalar sonucunda elde edilecek düşük debili, yüksek konsantrasyonda kirletici içeren atıksuların arıtımında karşılaşılabilecek güçlüklerdir. Dolayısıyla bu açıdan bir ön araştırmanın yapılarak sözkonusu tesis içi düzenlemenin fizibilitesine bakılmalıdır. Ayrıca su tüketiminin kısıtlanması sonucu ürün kalitesinde olumsuz yönde bir değişimin olmamasına dikkat edilmelidir.

2.1.1.3. Kullanılan Kimyasalların Değiştirilmesi

Aşağıda tekstil endüstrisi proseslerinde kullanılan yüksek kirletici yüklere sahip veya toksik özellikli atıksu oluşumuna neden olan kimyasal maddelerin, başka kimyasallarla değiştirilmesine ilişkin önemli noktalar özetlenmektedir.

Pamuklu tekstil ürünlerinin işlenmesi sırasında ağartma adımı sıkça kullanılan hipoklorit önemli bir AOX (absorbe edilebilen organik halojen) kaynağıdır. Ortaya koydukları AOX miktarları açısından farklı ağartıcı maddelerin, karşılaştırılması Tablo 2.1.3'te sunulmaktadır

(Elvers, 1995). Diğer yandan hipoklorit ile gerçekleştirilen ağartma işlemleri 11 mg/l'te kadar yükselebilen düzeylerde kloroform oluşumuna da neden olabileceğinden, ağartma işlemlerinde hipoklorit yerine hidrojen peroksit kullanımı önerilmektedir. Böylelikle oluşacak atıksudaki AOX ve serbest klor içeriğini düşürülmüş olacaktır (Elvers, 1995).

Tablo 2.1.3. Kullanılan Ağartıcılara Göre AOX düzeyleri

Hipoklorit ile ham pamuklu ağartma	30mg/l
Hipoklorit ile haşılı sökülmiş pamuklu ağartma	80mg/l
Sodyum Klorit	10mg/l
Hidrojenperoksit	<0.5mg/l

Küp boyaların oksidasyonunda dikromat kullanımı çıkış suyunda krom düzeyini arttırmaktadır. Bu nedenle oksidan olarak, dikromat yerine periyodat veya peroksit kullanılması uygun olacaktır (Smith, 1988; The World Bank, 1997).

Tekstil boyalarından, özellikle yeşil ve mavi renkte olanları metal içermektedir. Bu boyaların tekstil son işlemlerinde kullanımları sonucu oluşan atıksularda bulunan metal düzeylerini azaltabilmek için iki farklı yol izlenebilir. İlk yol metal içeren boyaların kullanımından vazgeçmektir. Çoğu zaman metalli atıksular üreten direkt veya reaktif boyaları, metali bulunmayan küp boyalarla değiştirmek olasıdır. Diğer yol ise boyanın elden geldiğince elyaf üzerinde tutturmasını sağlayarak, atıksuya karışmasını engellemeye çalışmaktadır (Smith, 1988).

Reaktif boyamada kesikli prosesler yerine sürekli veya yarı sürekli proseslerin uygulanarak tuz kullanımından kaçınılabılır (Elvers, 1995).

Oluşacak atıksuyun organik madde içeriğinin azaltılması amacıyla; haşıl sökme işleminde asetik asit yerine sülfürik asit ve haşılama da ise nişasta yerine ise sentetik haşılalayıcılar kullanılabilir (Van Veldhuisen, 1994). Nişasta ile haşılama gerçekleştirildiğinde, daha sonraki adım olan haşıl sökme enzim kullanılarak yapılacak olursa atıksuda çok yüksek organik yük getiren anhidro-glukozlar oluşacaktır. Dolayısıyla nişasta haşıllarını sökmede nişastayı CO₂ ve suya ayrıştıran hidrojen peroksit ile oksidasyon önerilmektedir (Smith, 1988).

Merserizasyon işleminde kostik yerine sıvı amonyak kullanımı ile hem yüksek düzeyde bazik atıksu oluşumu engellemekte hem de amonyak gazının geri kazanımı ve tekrar kullanımı sağlamaktadır (Smith, 1986; Smith, 1988: Route, 1996).

Biyolojik ayrışabilirliğinin % 100'ler düzeyinde olması nedeniyle linear alkil etoksilatların (LAE) yüzey aktif madde olarak kullanılması önerilmektedir (Smith, 1988; Van Veldhuisen, 1994; The World Bank, 1997).

2.1.1.4. Madde Geri Kazanımı

- boya banyolarının yeniden kullanımı,
 - haşıl geri kazanımı ve
 - kostik geri kazanımı
- tekstil endüstrisinde en yaygın uygulanan madde geri kazanım örnekleridir.

Madde geri kazanımı daha az kirletici deşarj edilmesi yönünden ve ekonomik açıdan yarar sağlar. Bunların ötesinde boya banyolarının yeniden kullanımı gibi uygulamalarla da enerji tasarrufu gerçekleştirilebilir.

2.1.1.4.1. Boya Banyolarının Yeniden Kullanımı

Tekstil son işlemlerinde yoğun olarak gerçekleştirilen kesikli boyama operasyonlarında, boyama banyolarına su, boya, tampon çözeltiler (pH kontrolü için), tuz, ısıtıcı; köpük kırıcı deterjan vs. gibi maddeler eklenir. Boyama prosesi sırasında ise sadece boya (boya tipine bağlı olarak %60-99 düzeylerinde) ve az miktarda diğer katkı maddeleri elyaf üzerinde tutulur, geriye kalan tüm maddeler atıksuya geçerek deşarj edilir (Elvers, 1995). Bu çerçevede boya banyolarının yeniden kullanımı ile daha az kirlenmiş atıksu üretilir ve ısıtılmış banyo tekrar kullanılacağından enerji tüketimi de kısıtlanmış olur.

Boya banyolarının yeniden kullanımı için aşağıdaki adımların izlenmesi önerilmektedir (Smith, 1986; Smith, 1988):

- boya banyosu deşarjını depolamak
- depolanan boya banyosunun boya ve kimyasal madde içeriklerini analiz etmek veya tahmin etmek
- analiz sonuçları uyarınca gerekli ek boya ve kimyasalları banyoya ilave etmek
- hazırlanan boya banyosunu bir başka boyama işleminde yeniden kullanmak

Asit, bazik, direkt ve dispers boyalar boyama işlemi sırasında kimyasal reaksiyona girmedikleri için yapıları bozulmaz (Smith, 1986). Dolayısıyla boya banyolarının yeniden kullanımı genellikle sözü edilen boyalar ile yapılan boyama işlemlerinde uygulanır. Bu tesis içi kontrol yönteminde asit boya ile naylon ve yünlü boyama; bazik boya ile akrilik boyama; direkt boya ile pamuklu boyama; ve dispers boya ile sentetik polimer boyama en yaygın uygulanan sistemlerdir (Smith 1986; Smith 1988).

2.1.1.4.2. Haşıl Geri Kazanımı

Haşılama işleminde en çok kullanılan madde nişastadır. Haşılamayı izleyen adım olan haşıl sökme asit, enzim veya oksitleyiciler ile gerçekleştirildiğinde haşıllamada kullanılan nişasta ayrıştırıldığından geri kazanılamaz hale gelir (Smith, 1988). Polivinilalkol, poli(met)akrilat gibi sentetik haşılleyicilerin sözkonusu olduğu durumlarda ise ultrafiltrasyon vb. metodlar yardımıyla geri kazanım sağlanabilir (Elvers, 1995). Öte yandan polivinil alkol nişastadan daha pahalıdır. Bu nedenle geri kazanım uygulamasının ekonomik analizi önem kazanmaktadır. Haşıl maddesinin seçiminde ayrıca biyolojik ayrışabilirlik de ele alınmalıdır.

2.1.1.4.3. Kostik Geri Kazanımı

Tekstil endüstrisinde pamuklu karışımlarının mersevizasyonunda kullanılan konsantre sodyum hidroksit çözeltisi membran teknolojileri ve buharlaştırma yöntemlerini uygulayarak, mersevizasyon prosesi atıksularından kostik soda olarak %98 oranında geri kazanılabilir (UNEP IE, 1994; Elvers, 1995). Sözü edilen bu uygulama ile kimyasal madde harcamalarının %80'lere varan düzeylerde azaltılabileceği kaydedilmiştir (The World Bank, 1997).

2.1.1.4.4. Diğer Geri Kazanım Uygulamaları

Reaktif boya ile kesikli yapılan boyama işlemlerinde litrede 100 grama kadar ulaşan konsantrasyonlarda tuz kullanılmaktadır. Tuz, tuzun ilave edildiği banyo ve bunun izleyen ilk yıkama suyu ultrafiltrasyondan geçirilerek geri kazanılabilir (Elvers, 1995).

Jean kumaş boyamada kullanılan indigo boyalar ters ozmoz veya ultrafiltrasyon işlemleri ile geri kazanılabilir (Elvers, 1995; Grau, 1991). Ters ozmoz ile dışardan ilave edilmesi gerekli boya miktarı %80 oranında azaltılabilir (Grau, 1991).

Yukarıda sözü edilen tesis içi kontrol uygulamalarının özel bir türü de Pad-batch boyama işleminin kullanımıdır. Bu bir boyama işleminde tuz ve kimyasal madde kullanımının minimizasyonu sağlanarak maliyet düşürülür ve kirletici yükün azaltılmış olur (Smith, 1986; Smith, 1988; UNEP IE, 1994). Pad-batch boyamada kumaş daha önceden hazırlanmış alkali-reaktif boya karışımıyla işlem görür. Kumaş üzerinde tutunmayan boya merdanelerle sıkılır ve atmosferden CO₂ gazı adsorbsiyonunu önlemek için yüzeyi ince plastik film tabakasıyla kaplanan ürün 2-12 saat bekletilir (Smith, 1986; Smith, 1988; UNEP IE, 1994). Pad-batch makinalarda dokunmuş ve örgü kumaşlara reaktif boya uygulanabilir. Pamuk, rayon ve bunların karışımı gibi materyaller üzerinde yürütülebilen pad-batch boyama, enerji, su, boya ve kimyasal madde giderimlerini azaltır (Smith, 1986; Smith, 1988). Ayrıca reaktif boyalar küp veya sülfür boyalarda olduğu gibi oksidasyon veya redüksiyon maddesi gerektirmediğinden ve pad-batch boyamada köpük kırıcı gibi kimyasal maddeler kullanılmadığından sözkonusu boyama uygulamaları sonucunda KOİ yükünde %80'lere, enerji ve su kullanımında ise %80-90'lara varan azalma sağlanmaktadır (UNEP IE, 1994; The World Bank, 1997).

2.1.2. Arıtma Teknolojileri

Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemler, genellikle tek tek değil; birbirlerinin ardı sıra uygulanmaktadır (Groves ve Buckley, 1980; Hamza ve Hamoda, 1980; McKay, 1980; McKay, 1984; Brower ve Reed, 1987; Paprowicz ve Slodczyk, 1988; Tünay, 1988; Tünay ve diğ., 1989). Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında kullanılabilecek başlıca arıtma teknolojileri arasında ızgaradan geçirme, krom indirgeme, çökeltme-yüzdürme, dengeleme, nötralizasyon, emülsiyon kırma, kimyasal çöktürme, biyolojik arıtma, aktif karbon adsorpsiyonu ve kimyasal oksidasyon bulunmaktadır. Sözüedilen endüstriden kaynaklanan atıksulara uygulanan çeşitli arıtma yöntemleri arıtma verimleriyle birlikte Tablo 2.1.4'de özetlenmektedir (UNEP IE, 1994). Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında ileri arıtma teknikleri olarak renk ve çözünmüş madde giderimini sağlamak üzere ters osmoz, iyon değişimi gibi arıtma yöntemleri de uygulanmaktadır. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında uygulanmakta olan arıtma alternatifleri arasında en yaygın kullanım alanına sahip olanı, karbon gideriminin verimli ve ekonomik olarak gerçekleştirildiği aktif çamur biyolojik arıtma sistemleridir.

2.2. KAVRAMSAL YAKLAŞIM

2.2.1. Biyolojik Arıtılabilirlik

Günümüz çevre biyoteknolojisi anlayışı uyarınca biyolojik arıtılabilirlik çalışmalarının en önemli adımını arıtılabilirlik bazlı atıksu karakterizasyonu oluşturmaktadır. Bu nedenle atıksu üzerinde gerçekleştirilecek konvansiyonel parametreleri içeren karakterizasyon mutlaka arıtılabilirlik bazlı karakterizasyon ile desteklenmelidir.

2.2.1.1. Konvansiyonel Atıksu Karakterizasyonu

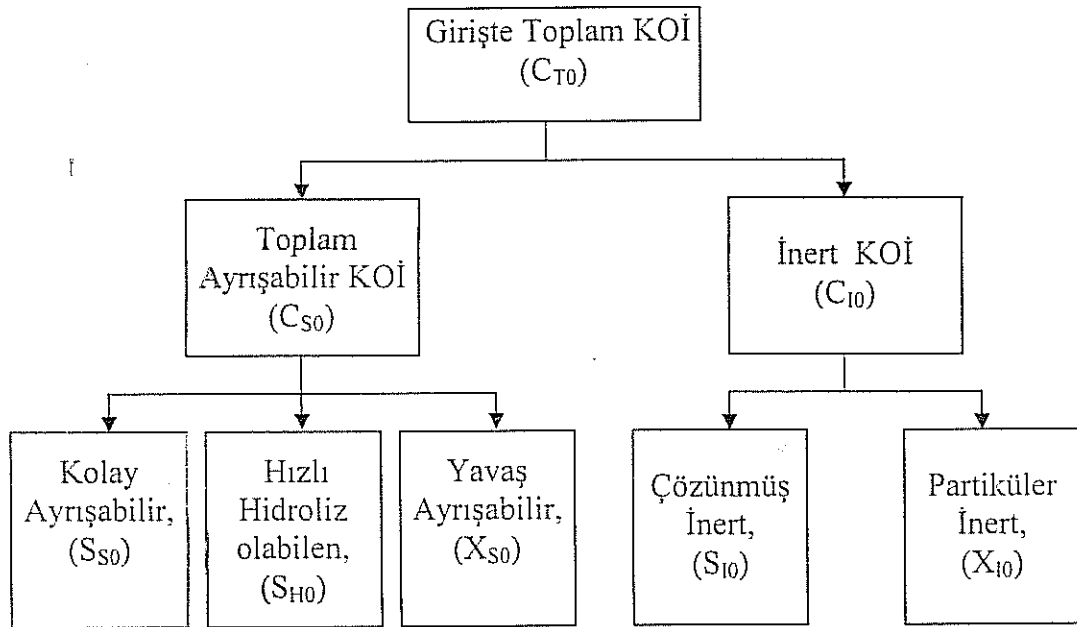
Atıksularda bulunan organik madde, Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOI_5), Toplam Organik Karbon (TOK), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) gibi kolektif parametrelerin ölçümü ile yapılır. Toplam Organik Karbon (TOK) parametresi atıksudaki organik maddelerin oksidasyon kademesi hakkında bir bilgi vermediğinden ve biyolojik olarak metabolize edilebilen ve edilemeyen organik madde ayırımını yapamadığından sınırlı kullanıma sahiptir. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOI_5) parametresi ise, deney sırasında organik maddenin biyolojik olarak yükseltgenmesinin 5 günde tamamlandığı varsayılarak yürütülür, ve dolayısı ile atıksuyun organik madde içeriğini tam olarak yansıtamaz. Deneyde aşı olarak kullanılan mikroorganizmanın atıksuya aklime edilmemesi ve atıksuyun içinde mikroorganizmalar üzerinde inhibitör etkisi yapabilecek maddelerin bulunabilmesi, deneylerdeki sıcaklık, çözünmüş oksijen ve benzeri ortam özelliklerinin biyolojik arıtma sistemlerindeki farklılık göstermesi; BOI_5 analizlerinin hatalı sonuç vermesine yol açarak, arıtma tesisi dizayn ve işletmesinde bu parametrenin kullanılmasını engeller. Atıksuların organik madde içeriği Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) parametresi ile de saptanabilir. KOİ analizlerinde biyolojik ayrışmaya dirençli (inert) bazı maddelerin Cr^{6+} yı indirgemeleri pozitif hataya, biyolojik olarak ayrıştırılabilen bazı aromatik yapıdaki hidrokarbonların Cr^{6+} ile reaksiyona girmemeleri negatif hataya neden olmaktadır. Bu dezavantajlarına karşın, KOİ parametresi, biyolojik arıtma sistemleri dizayn ve işletmesinde, kısa sürede sonuç vermesi; substrat, biyokütle ve oksijen arasındaki elektron alış verişini ve organik madde içeriğini verimli olarak yansıtmamasından dolayı, diğer yukarıda sözüedilen diğer kolektif parametrelere göre daha yaygın kullanıma sahiptir. Ancak KOİ analizleri sonucunda saptanan organik maddenin mikro-organizmalar tarafından biyolojik olarak ayrıştırılıp ayrıştırılamayacağı bilinmemektedir.

2.2.1.2. Biyolojik Arıtılabilirlik Bazlı Atıksu Karakterizasyonu

Atıksulardaki organik madde içeriğinin ölçümünde kullanılan KOİ parametresi, farklı biyolojik ayrışabilirliklerdeki KOİ bileşenlerinin toplamını verir.

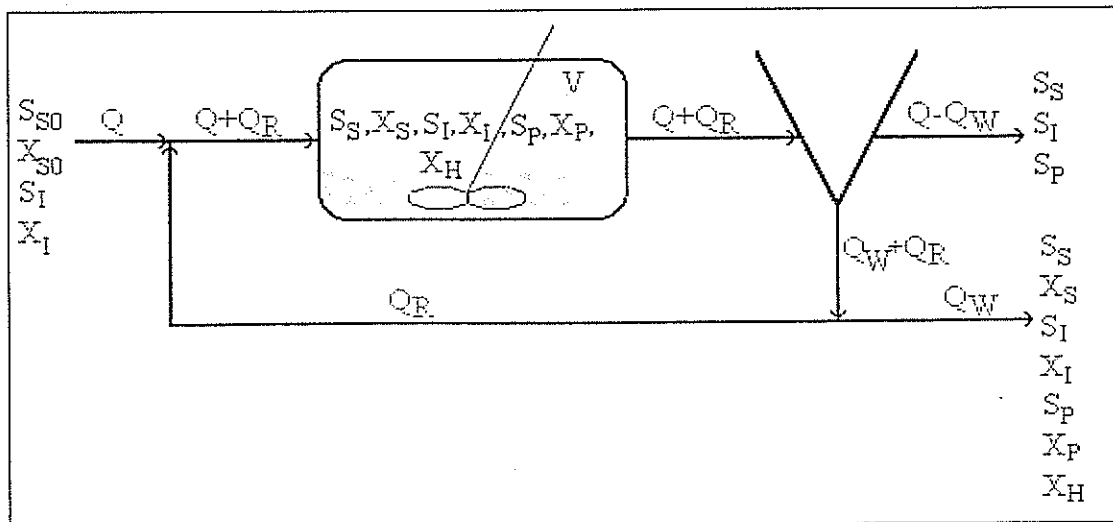
Atıksuda ölçülen toplam KOİ, C_{T0} , toplam ayrışabilir ve inert KOİ olarak ikiye ayrılır. Biyolojik olarak ayrışamayan (inert) KOİ, biyolojik arıtımın gerçekleştiği reaktördeki biyokimyasal reaksiyonlardan etkilenmeksizin biyolojik arıtmaya girdiği gibi çıkar. Ayrışmayan KOİ kapsamında ele alınan çözünmüş inert KOİ, S_{I0} , biyolojik arıtma tesisi çıkışında ölçülen KOİ içinde gözlemlenirken, partiküler formdaki inert KOİ, X_{I0} , çamura geçer ve atılan çamur ile sistemden ayrılır. Atıksudaki (arıtma tesisi girişi) biyolojik ayrışabilir KOİ; çok sayıda farklı biyolojik ayrışma hızlarına sahip bileşenden meydana gelmiştir (Dold ve diğ., 1980), ancak pratikte farklı biyolojik ayrışma hızlarına sahip iki grupta toplanabilirler; kolay ayrışabilir KOİ, S_{S0} ve yavaş ayrışabilir KOİ, X_{S0} . Geliştirilmiş

bir aktif çamur modelinde (Dold ve diğ., 1980), partiküler organikler olarak tanımlanan, biyolojik olarak yavaş ayrışabilir fraksiyonun, partikül boyutuna göre çözünmüş, koloidal ve kompleks yapıda organik yapıdaki maddelerden oluştuğu kabul edilmiştir. Söz konusu maddelerin mikroorganizmalar tarafından kullanılabilmesi hücre dışında hidrolize uğramalarından sonra gerçekleşir. Öte yandan hidroliz prosesi yavaş ayrışan organik maddelerin kullanım hızı nedeniyle hız sınırlayıcı adımı oluşturmaktadır. Hidroliz hızının tek bir değer ile tanımlanması, atıksularda farklı yapıda maddeler bulunabileceğinden doğru sonuç vermeyebilir. Bu nedenle hidroliz sonucu kolay ayrışabilir organik madde yapısına dönüştükten sonra mikroorganizma tarafından tüketilecek olan yavaş ayrışabilir organik madde, hızlı hidroliz olabilen KOİ, S_{H0} ve yavaş hidroliz olabilen KOİ, X_{S0} şeklinde iki ayrı KOİ bileşenine ayrılmalıdır (Henze, 1992; Orhon ve Artan, 1994). Arıtma tesisi girişinde yani atıksuda bulunan KOİ bileşenleri Şekil 2.2.1'de gösterilmektedir.



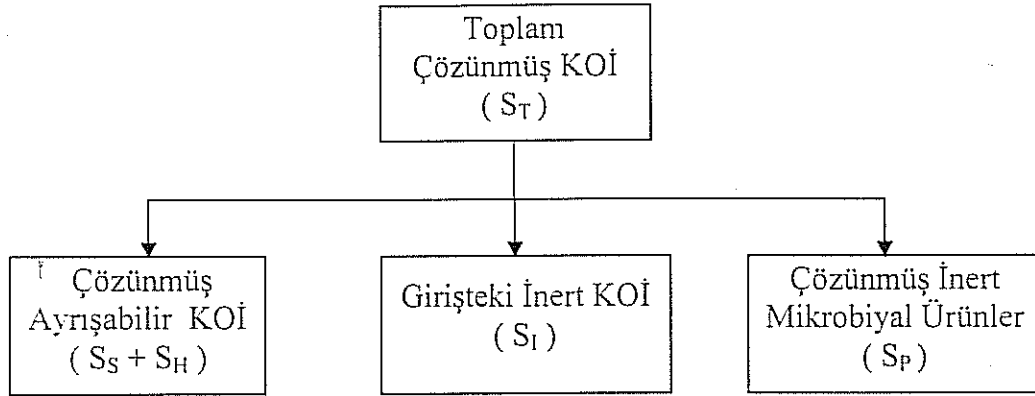
Şekil 2.2.1 Atıksudaki (arıtma tesisi girişi) toplam KOİ fraksiyonları

Aktif çamur sistemine ait şematik gösterim ise Şekil 2.2.2'de verilmektedir.

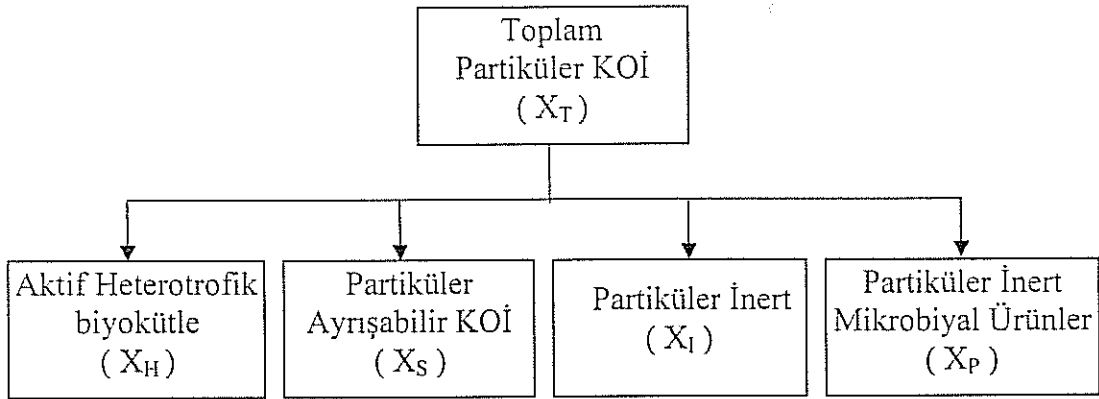


Şekil 2.2.2 Aktif Çamur Sistemi

Biyolojik arıtma tesisi çıkış akımında, atıksudakinden farklı bir KOİ yapısı gözlemlenir. Çözünmüş KOİ, S_T , biyolojik ayrışmaya direnci nedeniyle sisteme girdiği gibi çıkan (inert) kısım, S_I , biyolojik reaksiyonlarda tüketilmeden kalan az miktardaki ayrışabilir nitelikli KOİ, S_S ve arıtma sırasında metabolik olarak üretilen kalıcı çözünmüş KOİ, S_P 'yi içermektedir (Şekil 2.2.3a). Çıkış akımında bulunan partiküler KOİ ise; reaksiyonu gerçekleştiren aktif heterotrofik biyokütle, X_H , partiküler yavaş ayrışabilir, KOİ, X_S , biyolojik arıtma reaktöründe gerçekleşen reaksiyona uğramadan sisteme girdiği gibi çıkan girişteki partiküler inert, X_I , ve biyokimyasal süreçte oluşan partiküler inert mikrobiyal ürünler, X_P , den oluşmaktadır (Şekil 2.2.3b).



(a) Çözünmüş KOİ Bileşenleri



(b) Partiküler KOİ Bileşenleri

Şekil 2.2.3 Arıtma tesisi çıkış akımındaki KOİ fraksiyonları

2.2.2. Kimyasal Arıtılabilirlik

Atıksulardaki kirleticilerin arıtımı amacıyla kullanılan, kimyasal reaksiyonlar ve kimyasal değişime dayalı işlemlerin tamamı kimyasal arıtma olarak adlandırılır. Kimyasal arıtma çok çeşitli kimyasal proseslerden meydana gelmektedir. Bu proseslerin en önemlileri ve en çok uygulananları arasında tat-koku giderimi, siyanür giderimi, renk giderimi gibi amaçlarla kullanılan kimyasal oksidasyona dayalı prosesler ile sertlik giderimi, metallerin arıtımı, fosfor giderimi gibi amaçlarla kullanılan kimyasal çöktürmeye dayalı prosesler yer almaktadır. Söz

konusu işlemler dışında absorpsiyon, nötralizasyon, pH ayarı gibi fiziksel ve kimyasal işlemlerin beraber kullanıldığı prosesler ve UV, UV/H₂O₂, UV/Ozon, H₂O₂/Ozon oksidasyonları, kataliz, elektroliz, elektroforez gibi henüz gelişmekte olan prosesler de kimyasal arıtma kapsamında ele alınmaktadır (Tünay, 1996).

2.2.2.1 Koagülasyon-Flokülasyon

Koagülasyon-flokülasyon prosesi, suda çözünmüş veya askıda bulunan maddelerin fiziksel durumunu değiştirerek çökelmelerini sağlamak amacıyla kullanılan bir arıtma metodudur. Koagülasyon, kolloidal ve askı formunda bulunan katı maddelerin kimyasal madde, diğer bir deyişle koagülant, ilavesiyle bir araya getirilmesi adımı olarak tanımlanmaktadır. Flokülasyon ise, destabilize hale getirilen kolloidlerin bir araya getirilip yumak halinde dönüştürüldüğü işlem şeklinde tanımlanmaktadır.

Koagülasyon-flokülasyon prosesinde en sık kullanılan koagülant türleri arasında alüminyum sülfat (alum) [Al₂(SO₄)₃·xH₂O], sodyum alüminat [(NaAlO₂)], demir klorür [FeCl₃], demir sülfat [FeSO₄], kireç [CaO veya Ca(OH)₂] ve bentonit [Al₂(Si₄O₁₀(H₂O)₂)·xH₂O] yer almaktadır. Koagülasyon-flokülasyon işlemi sırasında, katı madde tanecikleri arasındaki etkileşimlerin artırılması yoluyla çökeltme veriminde bir artış elde edilebilmektedir. Bu amaç doğrultusunda, ilave edilen kimyasal maddenin yanında birtakım yardımcı maddeler kullanılmaktadır; aktif silika ve polielektrolitler (organik polimerler), en sık kullanılan yardımcı maddeler arasında ilk iki sırayı almaktadır.

Yüksek bir çökeltme verimi sağlamak amacıyla kimyasal maddenin suyun içerisinde homojen olarak dağılması gerekmektedir. Bölgesel aşırı dozlama verimsiz bir çökelmeye, bölgesel eksik dozlama ise yetersiz kolloid nötralizasyonu ile yetersiz yumak oluşumuna yol açmaktadır. Kolloidlerin yük nötralizasyonu ve ilave edilen maddenin hidroliz reaksiyonları çok kısa bir zaman diliminde gerçekleşmektedir. Yeterli karışım koşullarının sağlanamaması halinde, ilave edilen kimyasal madde etkin bir şekilde değerlendirilemediğinden dolayı çökeltme verimi bu durumdan olumsuz yönde etkilenmektedir. Genelde koagülasyon için gerekli süre 50-300 saniye olarak tanımlanmaktadır; karıştırma sırasında uygulanan hız gradyanı ise 200-400 sn⁻¹ aralığında olması gerektiğinin altı çizilmektedir.

Flokülasyon kademesinde, arıtılacak örnek yavaş bir şekilde karıştırılarak koagülasyon adımı meydana getirilen taneciklerin çökebilen daha büyük yumaklar haline dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Flokülasyon esnasında, oluşan yumakların dağılmasına olanak tanımamak amacıyla karıştırma işlemi oldukça yavaş bir biçimde gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda, flokülasyon için gerekli süre 900-3000 saniye olarak nitelendirilmektedir; flokülasyon sırasında uygulanan hız gradyanı ise 30-100 sn⁻¹ şeklinde tanımlanmaktadır (Weber 1972; Pontius 1990).

2.2.2.2 Kimyasal Oksidasyon

Su ve atıksu arıtımında kimyasal oksidasyon, renk ve koku oluşturma, zehirlilik, birikicilik gibi özellikleri nedeniyle istenmeyen bileşiklerin zararsız bileşiklere dönüştürülmesi ve daha sonraki arıtma işlemleri için uygun hale getirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Kimyasal oksidasyonun çevre mühendisliğindeki başlıca uygulamaları arasında demir ve manganın, organik bileşiklerin, mikroorganizmaların, rengin, tat ve kokunun, şayanürün, sülfürün ve amonyakın giderilmesi sayılabilmektedir.

Kimyasal oksidasyonun uygulanmasında, oksidasyon mekanizmasına bağlı olarak birtakım kısıtlamalar bulunmaktadır; oksidanın reaksiyon sonucunda zararlı artıklar bırakmaması, söz konusu kısıtlamalar içerisinde ilk sırayı almaktadır. Aynı zamanda oksidanın yüksek arıtma verimi sağlaması, diğer arıtma işlemlerini olumsuz etkilememesi, kolay uygulanabilir ve ekonomik olması arzu edilmektedir. Adı geçen koşulları, özellikle de ekonomik olma koşulunu sağlayan oksidan sayısı çok azdır; bu nedenle çevre mühendisliğinde kimyasal oksidasyon uygulaması, dezenfeksiyonun yanı sıra atıksulara uygulanan sülfür ve siyanür oksidasyonu gibi işlemlerle sınırlı kalmıştır. Ancak günümüzde eser organik madde giderilmesi, inert organik maddelerin biyolojik olarak ayrışabilir hale getirilmesi ve tehlikeli atık arıtımı gibi konularda kimyasal oksidasyon uygulamaları yeniden gündeme gelmiş ve yaygınlık kazanmaya başlamıştır (Tünay, 1996).

Atıksu bünyesindeki organik ve inorganik maddelerin oksidasyonunda kullanılan başlıca oksidanlar arasında oksijen, klor, klor dioksit, potasyum permanganat ve hidrojen peroksitin yanı sıra ozon yer almaktadır. Diğer oksidanlara göre daha büyük bir oksidasyon potansiyeline sahip olan ozon, renksiz; çok zehirli ve reaktif bir gazdır. Ozon, oksijenin daha enerjik olan üç atomlu modifikasyonudur. Ozonun etkinliği, kuvvetli oksidasyon kapasitesinden ileri gelmektedir (ATV-Handbuch, 1997). Normal basınç ve sıcaklıkta gaz halinde olan ozon, oksijenin bir allotropudur (Schönberger, 1994; Tünay, 1996).

Ozonla kimyasal oksidasyon, tekstil endüstrisi atıksularında genellikle renk giderimine yönelik olarak uygulanmaktadır. Tekstil endüstrisi atıksularında renk giderilmesinde en çok kullanılan yöntemler arasında kimyasal oksidasyonun yanı sıra kimyasal çöktürme ve adsorpsiyon mekanizmaları yer almaktadır. Tekstil endüstrisi atıksularında renk gideriminde uygulanan kimyasal çöktürme mekanizması, aralarında dispers boyaların da bulunduğu çözünmeyen boyaların renginin giderilmesinde etkili olmaktadır; fakat aynı durum, çözünebilir boyalar için söz konusu değildir (Kuo, 1992). Bununla birlikte kimyasal çöktürme işlemi sonucunda, kendisi de bir kirlenici olan ve arıtma maliyetini arttıran çamur oluşmaktadır (Kuo, 1992; Gaehr ve diğ., 1994). Aktif karbon adsorpsiyonu, çözünmeyen boyaların renginin giderimi için uygun değildir. Biyolojik prosesler, tekstil endüstrisinin üretiminde kullanılan boyaların renginin giderilmesinde etkili olamamaktadır; çünkü birçok ticari boya, bu proseslerde işlem gören organizmalar için toksik tesir yaratmaktadır (Kuo, 1992). Çok az sayıdaki uygulamanın dışında boyalar, aerobik koşullar altında biyolojik olarak ayrışmamaktadır; örneğin kuvvetli renge sahip atıksuların oluşumuna neden olan reaktif boyalar, reaksiyonlara katılmadan ve arıtma tesislerine giriş konsantrasyonları değişmeden biyolojik arıtma proseslerinden çıkmaktadır (Jedele, 1982; Abeta ve diğ., 1984; Sewekow, 1993). Reaktif boyalar, diğer boya türlerine oranla suda çok daha fazla çözünmekte ve biyolojik ayrışabilirliklerinin az olması nedeniyle konvansiyonel aktif çamur tesislerinde çok zor arıtılabilmektedir (Gurnham, 1965; Dohanyas ve diğ., 1978; Pagga ve Brown, 1986; Demmin ve Urich, 1988; Grau, 1991; Powell ve diğ., 1992; Sewekow, 1993; Ganesh ve diğ., 1994; Lin ve Peng, 1994; Pagga ve Taeger, 1994; Schröder, 1994; Knapp ve Newsby, 1995; Wagner, 1995; Lin ve Lo, 1997; Young ve Yu, 1997). Ozonla kimyasal oksidasyon yöntemi ise, tekstil endüstrisi atıksularındaki rengin etkin bir şekilde giderimini sağlamaktadır (Snider ve Porter, 1974; Beszedits, 1980; Green ve Sokol, 1985; Gould ve Groff, 1987; Lin ve Lin, 1992; Gaehr ve diğ., 1994). Ozonla oksidasyon işlemi sonucunda boyalara renk kazandıran çift bağların kırılması sağlanmaktadır. Bu kimyasal değişime bağlı olarak boya molekülü, renk kazandırma özelliğini kaybetmektedir (Jedele, 1982). Gaz formunda kullanımından ileri gelen atıksuyun hacmini arttırmama ve çamur meydana getirmeme, ozonun en büyük avantajları arasında yer almaktadır. Biyolojik olarak ayrışamayan, diğer bir deyimle refrakter maddelerle tepkimelere girmesi ozonun bir diğer önemli özelliğidir.

Ozonlama, akım ayrımı yapılmış reaktif boyalar içeren atıksularda yüksek verimde renk giderimi elde etmek amacıyla uygulanmaktadır. Ozonlama işlemi sonucunda toksik olmayan metabolitler meydana gelmekte; refrakter maddeler giderilmekte; çamur oluşumu gözlenmemektedir. Özellikle reaktif boyaların kullanımı halinde, ozonlama işlemi diğer arıtma yöntemlerine göre daha fazla avantaja sahiptir. Ozonlama işlemi - diğer arıtma yöntemlerine bir alternatif olmaktan çok - diğer arıtma yöntemlerini destekleyici bir işlev görmektedir (Gaehr ve diğ., 1994).

2.3. DENEYSEL YAKLAŞIM

2.3.1. İnert KOİ Bileşenlerinin (S_I , X_I) Belirlenme Yöntemleri

Atıksuların çözünmüş inert KOİ içeriklerinin önemine yukarıdaki bölümlerde değinilmiştir. Literatürde bu bileşenlerin belirlenmesine ilişkin farklı yöntemler bulunmaktadır.

Henze ve diğerleri 1987'de gerçekleştirdikleri çalışmalarında, 10 günden büyük çamur yaşına sahip sürekli bir aktif çamur reaktörü içeriğinin kesikli bir reaktörde havalandırılması ve reaktörden alınan numunelerde süzölmüş KOİ analizleri yürütülmesi önerilmektedir. Süzölmüş KOİ'nin değişmeden kaldığı plato değerinin, S_{I0} 'a eşit olduğu varsayılmaktadır.

Ekama ve diğerleri (1986) ise, çamur yaşı 10 ile 20 gün arasında olan aktif çamur sistemlerinin çıkışındaki çözünmüş KOİ değerinin girişteki inert KOİ'ye eşit olacağını ifade etmektedirler. Ancak sözkonusu yöntemler bakteriler tarafından üretilen inert ürünler (S_P) gözardı edilerek geliştirilmişlerdir.

Öte yandan laboratuvar ölçekli, tam karışımli bir aktif çamur reaktöründe kararlı denge halinde elde edilen verilerin kinetik analizine dayanan ve IAWQ Task Group tarafında önerilen partiküler inert KOİ X_{I0} saptama metodu da (Ekama ve diğerleri, 1986; Henze ve diğerleri, 1987), Y_H , b_H , f_{EX} büyüklüklerinin doğru olarak saptanmasını gerektirmektedir. Özellikle endüstriyel atıksularda Y_H , b_H , f_{EX} büyüklüklerin sağlıklı olarak saptanması önemli bir sorun kaynağıdır.

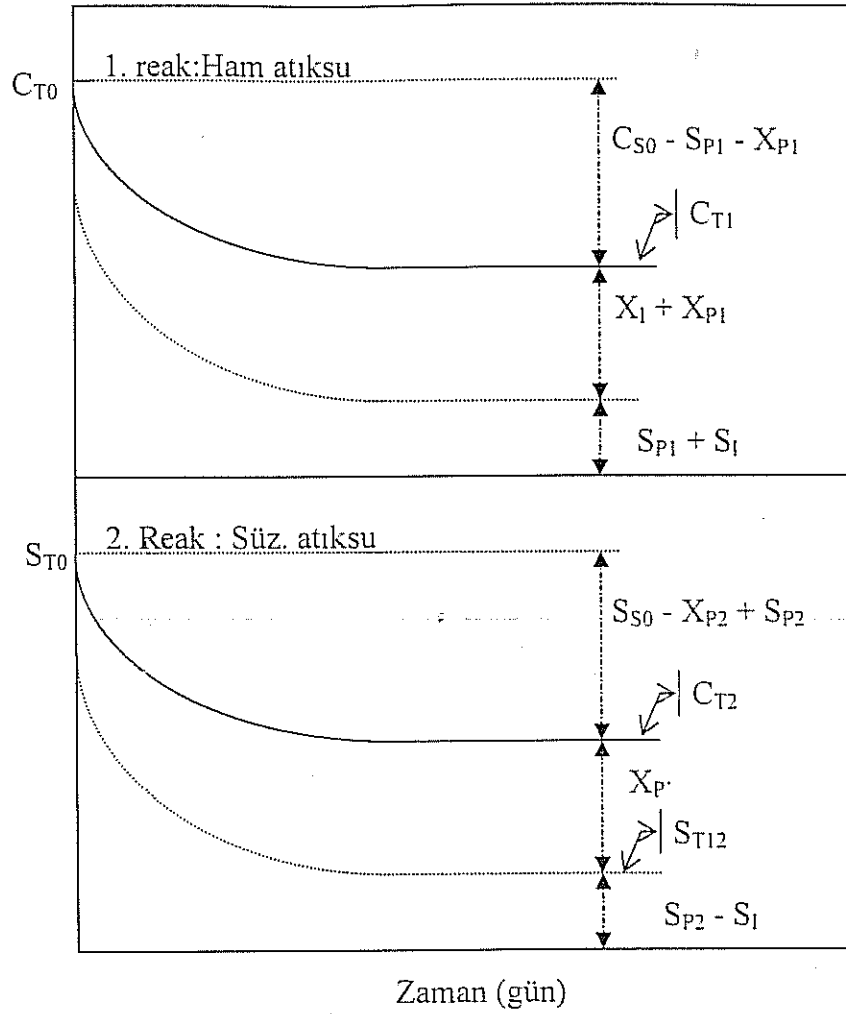
Literatürde atıksularda çözünmüş ve partiküler inert maddeleri belirleyen deneysel ölçümlere dayalı bir başka metod daha bulunmaktadır (Germirli ve diğ., 1993; Orhon ve diğ., 1994). Bu yöntemin ele alınan atıksuda yeterli düzeyde partiküler KOİ olması durumunda kullanılması öngörülmektedir. Sözkonusu yöntem uyarınca girişteki inert bileşenler ve reaksiyon sırasında oluşan çözünmüş inert organikler ayrı olarak tanımlanmış ve partiküler inert madde tayininde S_P girişiminden kaçınılmıştır. Ayrıca IAWQ Task Group tarafından ortaya koyulan metodda önceden belirlenmesi gereken Y_H , b_H ve f_{EX} gibi stokiyometrik ve kinetik sabitler de bu yöntem uyarınca inert fraksiyonların saptanmasında kullanılmamaktadır. Çözünmüş ve partiküler mikrobiyal ürünlerin (S_P , X_P), girişteki biyolojik ayrışabilir KOİ (C_{S0})'nin bir fraksiyonu olduğu kabul edilmektedir. Deneysel çalışmada, biri süzölmüş (S_{T0}), diğeri toplam atıksu (C_{T1}) ile beslenmiş iki reaktörde biyolojik olarak ayrışabilir tüm substratın kullanıldığı ve tüm biyokütlenin mineralize olduğu zaman, diğeri bir değişle biyolojik aktivite sona erdiğinde, KOİ ölçümlerinin değişmediği bir eşik değere ulaşıncaya kadar toplam ve çözünmüş KOİ değerleri izlenmektedir (Şekil 2.3.1). Başlangıç aşamasında, her iki reaktöre de önceden akline olmuş çok düşük düzeyde (yaklaşık 10-50 mg UAKM/l) biyokütle ilave edilmektedir. Toplam atıksu reaktöründe (1. Reaktör) deneyin başlangıcında KOİ içeriği,

$$C_{T0} = S_{S0} + S_I + X_{S0} + X_I \quad (2.1)$$

denklemleriyle tanımlanabilir. Deney sonunda ise ortamda;

$$C_{T1} = S_{P1} + S_I + X_{P1} + X_I \quad (2.2)$$

olarak gösterilebilecek KOİ bileşenleri kalmaktadır.



Şekil 2.3.1 İnert KOİ profilleri

Deney süresince S_S , X_H ve X_S' in tamamen tükendiği kabulü yapıldığından toplam KOİ giderimi ΔC_{T1} ;

$$C_{S0} = S_{S0} + X_{S0} \quad (2.3)$$

$$\Delta C_{T1} = C_{T0} - C_{T1} = S_{S0} + X_{S0} - X_{P1} - S_{P1} \quad (2.4)$$

şeklinde formüle edilebilir. Reaksiyon süresince oluşan çözünmüş ve partiküler mikrobiyal ürünler, biyokütle tarafından tüketilen C_{S0} 'ın bir fraksiyonu olarak;

$$X_{P1} = Y_{PX} C_{S0} \quad (2.5)$$

ve

ve

$$S_{P1} = Y_{PS} C_{S0} \quad (2.6)$$

şeklinde verilecek olursa, (2.4) eşitliği,

$$\Delta C_{T1} = C_{S0} - X_{P1} - S_{P1} = (1 - Y_{PX} - Y_{PS}) C_{S0} \quad (2.7)$$

değerini alır. Toplam atıksu reaktörü için (1. Reaktör) deneyin başlangıcında KOİ içeriği;

$$S_{T0} = S_{S0} + S_I \quad (2.8)$$

ifadesi ile tanımlanabilir ve reaksiyon sonunda ise;

$$C_{T2} = S_{P2} + S_I + X_{P2} \quad (2.9)$$

$$S_{T2} = S_{P2} + S_I \quad (2.10)$$

eşitlikleri yazılabilir. İkinci reaktörde (süzülmüş atıksu) de KOİ giderimi,

$$\Delta C_{T2} = S_{T0} - C_{T2} = S_{S0} - S_{P2} - X_{P2} \quad (2.11)$$

ve birinci (toplam atıksu) reaktörde ifade edildiği gibi;

$$X_{P2} = Y_{PX} S_{S0} \quad (2.12)$$

ve

$$S_{P2} = Y_{PS} S_{S0} \quad (2.13)$$

$$\Delta C_{T2} = S_{T0} - C_{T2} = (1 - Y_{PS} - Y_{PS}) C_{S0} \quad (2.14)$$

(2.5) ve (2.12) denklemleri kullanılarak, toplam atıksu için mikrobiyal partiküler ürün X_{P1} ,

$$X_{P1} = X_{P2} \frac{C_{S0}}{S_{S0}} \quad (2.15)$$

ifadesi oluşturulabilir. Buna bağlı olarak (2.7) ve (2.14) denklemleri kullanıldığında,

$$\frac{X_{P1}}{X_{P2}} = \frac{\Delta C_{T1}}{\Delta C_{T2}} \quad (2.16)$$

elde edilir. Toplam atıksuda inert partiküler ve çözünmüş madde sırasıyla,

$$X_I = C_{T1} - S_{T1} - X_{P1} \quad (2.17)$$

$$X_I = C_{T1} - S_{T1} - (C_{T2} - S_{T2}) \frac{\Delta C_{T1}}{\Delta C_{T2}} \quad (2.18)$$

$$S_I = S_{T1} - (S_{P2} \frac{\Delta C_{T1}}{\Delta C_{T2}}) \quad (2.19)$$

denklemleri uyarınca saptanabilir.

Atıksuyun çözünmüş KOİ içeriğinin yüksek olması yani toplam KOİ değerine çok yakın olması halinde Germirli ve diğ. (1991) tarafından önerilen metod ile inert KOİ bileşenleri belirlenebilir. Bu yöntem uyarınca daha önce doldur-boşalt reaktörlerde %50 atıksu + %50 glukoz karışımına alıştırılmış biyokütle ile aşılana bir süzölmüş atıksu, diğeri glukoz ile beslenen iki aerobik kesikli reaktör kullanılmakta ve reaktörlerdeki başlangıç KOİ değerleri aynı olacak şekilde ayarlanmaktadır. Her iki reaktörde de zamana karşı çözünmüş KOİ değerleri izlenmelidir (Şekil 2.3.2). Çözünmüş KOİ profili, reaktördeki biyolojik aktivite tükendiğinde, yani ayrışabilir nitelikli tüm organik madde mikroorganizmalar tarafından ayrıştırıldıktan sonra belirli bir değere ulaşp değişmeden kalmaya başlar. Bu değer ile başlangıçtaki KOİ değerleri yardımıyla atıksuda bulunan çözünmüş inert madde saptanabilir.

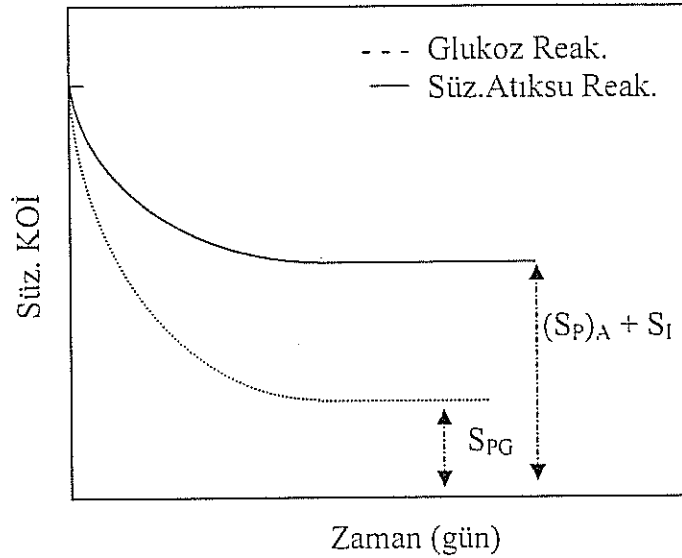
Deneyde her iki reaktör kararlı hale geldiğinde;

$$(S_I)_{\text{Atıksu}} = (S_I + S_P)_{\text{Atıksu}} - (S_P)_{\text{Glukoz}} \quad (2.20)$$

eşitliği yazılabilir. Bu yöntemde sonuç,

$$(S_P)_{\text{Atıksu}} \cong (S_P)_{\text{Glukoz}} \quad (2.21)$$

kabulü ile belirlenmektedir.



Şekil 2.3.2 KOİ profilleri

2.3.2. Hızlı Ayrışan Organik Madde (S_S) Belirleme Yöntemi

Biyokütle tarafından doğrudan tüketilen aminoasitler, basit hidrokarbonlar, adsorblanan uçucu yağ asitleri ve alkolleri içeren kolay ayrışabilir KOİ, günümüzde yürürlükte olan aktif çamur modellerinde, atıksudaki toplam KOİ'nin bir fraksiyonu (f_{SS}) olarak tanımlanmaktadır.

Organik maddenin bir elektron transfer edilmesiyle bu elektronu alacak elektron alıcısı miktarının deneysel olarak belirlenmesi esasına dayalı respirometrik yöntemlere göre elektron alıcısı (O₂) tüketim hızı, atıksudaki organik maddenin hidroliz hızına bağlı olarak yavaşlamaktadır.

En genel halde e⁻ alıcısı;

$$\frac{e^- \text{ alıcısı miktarı}}{\Delta t} = -(1-f_x Y) \frac{(C_{S1}-C_S)}{\Delta t} - (1-f_E).b.f_x.X \quad (2.22)$$

eşitliği ile tanımlanabilir. Denklemin sağ tarafındaki ilk terim çoğalmanın, ikinci terim içsel solunumun göstergesidir. Eşitlikte;

Y : Dönüşüm oranı (mg UAKM/mg KOİ)

b : İçsel solunum hızı (1/gün)

f_E : İnert biyokütle fraksiyonu

f_x : KOİ/UAKM oranı

X : Aktif biyokütle konsantrasyonu (mg UAKM/l)

C_{S1} : Giriş akımında biyolojik arıtılabilen organik madde konsantrasyonu (mg KOİ/l)

C_S : Çıkış akımında biyolojik arıtılabilen organik madde konsantrasyonu (mg KOİ/l)

şeklinde tanımlanabilir.

Öte yandan oksijenin zamanla değişimi;

$$\frac{\Delta S_o}{\Delta t} = - (1-Y_H) \frac{(S_{T0} - S_T)}{\Delta t} - (1-f_E).b_H.X_H \quad (2.23)$$

olarak ifade edilebilir. Bu denklemde X_H aerobik solunum yapan heterotrofik aktif biyokütleyi; S_O oksijen konsantrasyonunu göstermektedir. Ekama ve diğ. (1986), aerobik ve anoksik koşullarda, kesikli reaktörlerde zamana karşı Oksijen Tüketim Hızının (OTH) ölçümünü esas alan respirometrik bir yöntem ortaya koymuşlardır.

Heterotrofik mikroorganizmaların çoğalmasının kolay ayrışabilen substrat üzerinde gerçekleştiği kabulü aşağıda verilen iki denklemin yazılmasını sağlar;

$$\frac{dX_H}{dt} = \mu_H X_H \quad (2.24)$$

$$\frac{dX_H}{dt} = Y_H \frac{dS_s}{dt} \quad (2.25)$$

Bu denklemler (2.23) ifadesiyle birlikte kullanarak;

$$\frac{\Delta S_o}{\Delta t} = - \frac{(1-f_x Y_H)}{Y_H} \mu_H X_H - (1-f_E).b_H.f_x.X_H \quad (2.26)$$

tanımı elde edilir. Sözkonusu yöntemde Oksijen Tüketim Hızı (OTH) profilinin S_s üzerinde çoğalma süresince yatay olarak kaldığı; S_s'in tükenmesine yakın, zamanla azaldığı ve hidroliz

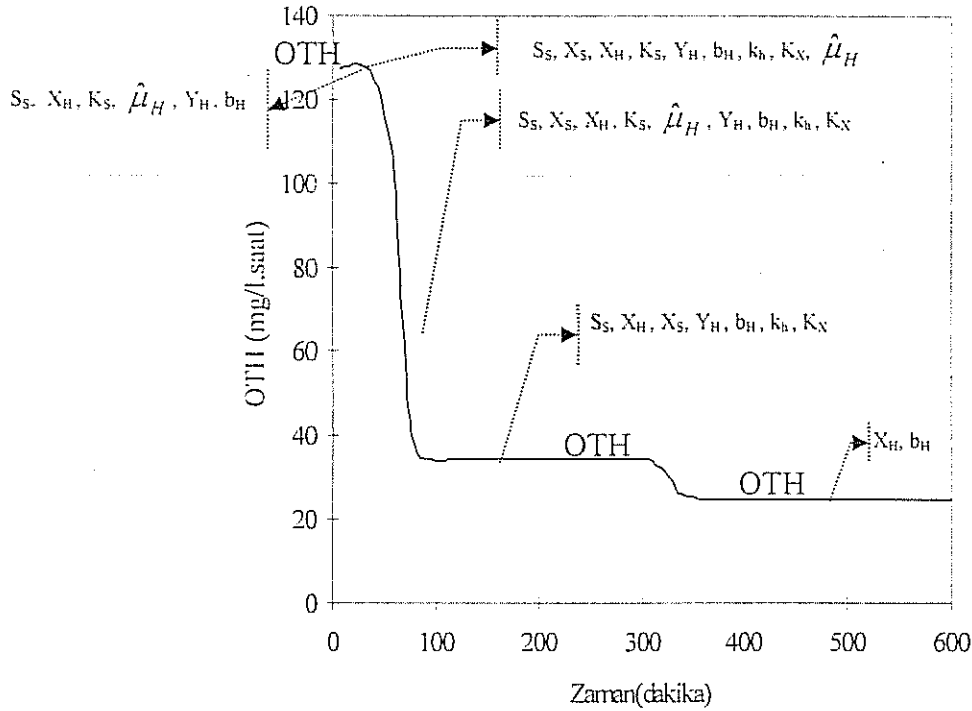
safhasında ikinci bir plato yaptığı gözlemlenmektedir. OTH profili üzerinde proses bileşenlerinin etkisi Şekil 2.3.3'de verilmektedir. Başlangıçta, atıksuda mevcut olan kolay ayrışabilir substratın Δt süresince tamamen kullanıldığı kabul edilecek olursa, aşağıdaki denklemle toplam oksijen tüketimi gösterilebilir;

$$O.T. = (1 - f_X Y_H) \int_0^t \frac{dS_S}{dt} \Delta t \quad (2.27)$$

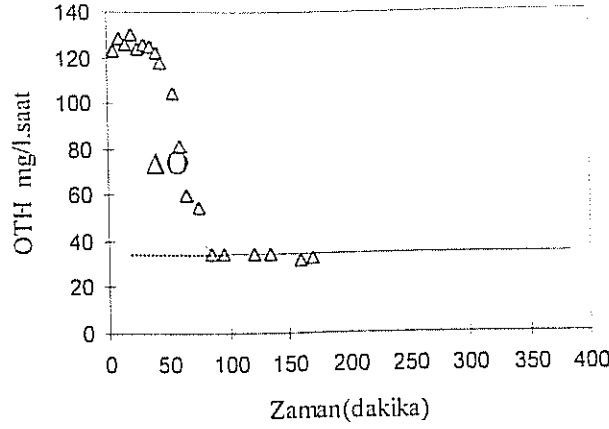
Böylelikle;

$$S_{S0} = \frac{\Delta O}{1 - f_X Y_H} \quad (2.28)$$

ifadesi elde edilir. ΔO , OTH profilinin altında kalan alanı göstermektedir (Şekil 2.3.4).



Şekil 2.3.3 Bileşenlerin OTH Profiline etkisi (Ubay Çokgör, 1997)



Şekil 2.3.4 OTH grafiği ile S_{50} belirlenmesi

Oksijen Tüketim Hızı (OTH) ölçümü ile S_{50} belirlenmesine yönelik çalışmalardan bir diğeri de, Kappelaar ve Gujer tarafından 1992'de gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem uyarınca belirli bir F/M oranında çalıştırılan kesikli bir reaktörde, 3-4 saat süresince OTH'taki azalma gözlemlendiğinde (Şekil 2.3.5), atıksudaki kolay ayrışabilir organik madde;

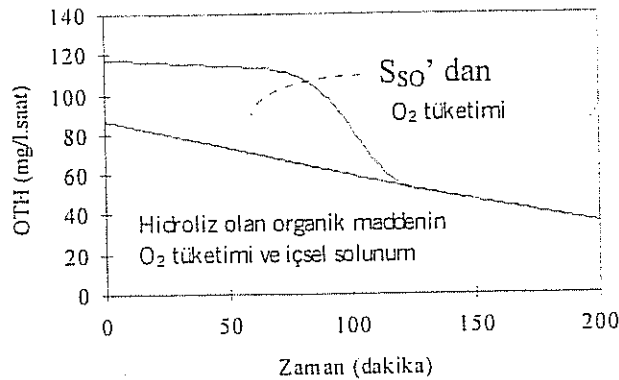
$$S_{50} = \frac{1}{1 - Y_H} \left[\int r_{O_2, T} - \int r_{O_2, REF} \right] \quad (2.29)$$

bağıntısı yardımıyla saptanmaktadır.

Denklemden;

$r_{O_2, T}$: Toplam oksijen tüketim hızı

$r_{O_2, REF}$: Hidroliz ve içsel solunuma bağlı olarak OTH referans düzeyi'ni göstermektedir.



Şekil 2.3.5 OTH profili ile S_{50} belirleme

2.3.3. Yavaş Ayrışan Organik Madde (X_S , S_H) Bileşenlerinin Belirleme Yöntemi

Atıksulardaki ayrışabilir organik maddenin yavaş ayrışan organik madde (X_S) ve kolay ayrışabilir organik madde (S_S) bileşenlerinden oluştuğundan daha önce sözedilmişti.

Çözünmüş ve partiküler formda olan bazı yüksek molekül ağırlıklı organik moleküller yavaş ayrılan organik madde kapsamında ele alınmakta ve çözünmüş S_{H0} ve partiküler X_{S0} olarak ifade edilmektedir (Orhon ve Artan, 1994).

Ham atıksuda toplam KOİ;

$$C_{T0} = S_{S0} + S_{H0} + S_{I0} + X_{S0} + X_{I0} \quad (2.30)$$

süzülmüş KOİ ise;

$$S_{T0} = S_{S0} + S_{H0} + S_{I0} \quad (2.31)$$

denklemleri ile tanımlanabilirler. Bu ifadelerde geçen KOİ bileşenleri;

S_{S0} : Kolay ayrışabilir çözünmüş organik madde

S_{H0} : Yavaş ayrışabilir çözünmüş organik madde

S_{I0} : Çözünmüş inert organik madde

X_{S0} : Yavaş ayrışabilir partiküler organik madde

X_{I0} : Partiküler inert madde

şeklinde sıralanabilir.

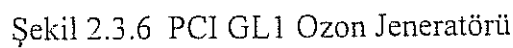
Atıksulardaki yavaş ayrışan organik madde bileşenlerini yukarıda belirtilen 2.30 bağıntısı yardımıyla saptamak olasıdır.

2.3.4. Materyal ve Metod

Deneysel çalışmanın ilk bölümünü tesisten kaynaklanan ayırık akımların konvansiyonel karakterizasyonu, diğer bölümünü ise arıtılabilirlik analizleri oluşturmaktadır. Öncelikle ayırık akımların konvansiyonel karakterizasyonu değerlendirilerek gereksiz su tüketimlerinin kısıtlanması yönünde öneriler hazırlanmış ve geri kazanılabilir nitelikli atıksu akımları belirlenmiştir. Arıtılabilirlik çalışmaları geri kazanılabilir atıksular üzerinde ve tesis içi kontrol uygulamaları sonucu ortaya çıkan “kalan” olarak isimlendirilen atıksular ile hiç bir tesis içi kontrol yapılmadan elde edilen atıksular kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geri kazanılabilir atıksular ozon oksidasyonu ve koagülasyon-flokülasyona tabi tutulmuş, sonuçlar atıksuların tekrar kullanımına uygunluğu açısından değerlendirilmiştir. Arıtılabilirlik deneylerinin ikinci aşaması tesis içi kontrolün uygulanması ve uygulanmaması durumlarında elde edilecek atıksuların biyolojik arıtılabilirlik bazlı karakterizasyonundan oluşmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, tesisi işletenlerle gerçekleştirilen temaslar sonucu önerilen tesis içi kontrol uygulamalarının işletmede kullanılması sağlanmış ve “kalan” atıksu böylelikle elde edilmiştir.

KOİ parametresi hariç tüm konvansiyonel kirletici parametreler Standard Methods (1998)’de tanımlandığı şekilde yürütülmüştür. KOİ ölçümleri ise ISO 6060 (1986)’a göre gerçekleştirilmiştir. Numunelerin vakum filtrasyonu kullanılarak 0.45µm por çaplı Millipore membran filtrelerden süzülen kısmı “çözünmüş” olarak tanımlanmıştır. Askıda katı madde (AKM) ve uçucu askıda katı madde (UAKM) ölçümlerinde Millipore AP40 tipi cam yünü filtreler kullanılmıştır. 436, 525 ve 620 nm’de olmak üzere üç farklı dalgaboyunda yürütülen absorbans ölçümleri 0.45 µm’luk membran filtreden süzölmüş numunelerde 1 cm’lik kalınlığa

Geri kazanılabilir nitelikli atıksular üzerinde gerçekleştirilen ozonlama deneylerinde, ozon üretimi PCI GL1 ozon jeneratörü aracılığıyla ve besleme gazı olarak havanın kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir; deneyler, etkin derinliği 23 cm olan 1.5 l hacmindeki reaktöre 1 l atıksu numunesi konarak 103.45 kPa basıncında yürütülmüştür. Ozon difüzyonu, yukarı akış difüzyonu şeklinde uygulanmaktadır; bu yöntem uyarınca ozon gazı, sinterlenmiş cam levha difüzörün yardımıyla reaktör tabanına iletilmektedir. %2 KI çözeltisi içeren dört adet gaz yıkama şişesinden ikisi ozon akısının belirlenebilmesi amacıyla ozon jeneratörüne, geriye kalan ikisi de kullanılmayan ozon miktarının ölçülebilmesi amacıyla reaktöre bağlanmıştır. PCI GL1 ozon jeneratörü, Şekil 2.3.6’da gösterilmiştir.



24

Biyolojik arıtılabilirlik çalışması daha önce de sözü edildiği gibi tesis içi kontrolün uygulanması ve uygulanmaması durumlarında elde edilecek atıksular üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her iki atıksu aerobik koşullar altında inert KOİ deneylerine tabi tutulmuştur. Aerobik inert KOİ testleri Germirli ve diğ. (1993) tarafından tanımlandığı şekilde, 3 litrelik iki adet silindirik kesikli reaktörde yürütülmüştür. Bu reaktörlerden bir tanesi filtre edilmemiş atıksu (C_{T0}) ile, bir diğeri de filtre edilmiş atıksu (S_{T0}) ile aynı seyrelme oranları sağlanacak şekilde beslenmiştir. Reaktörlerde kullanılan aşı, aynı atıksu ile beslenen ve kararlı denge halinde çalışan laboratuvar ölçekli bir doldur-boşalt aktif çamur sisteminden alınmıştır. Her iki reaktöre de başlangıç biyokütle konsantrasyonu 40 mg/l UAKM olacak şekilde aşılama yapılmıştır. Aerobik testlerde nitrifikasyon girişimini önlemek için sisteme nitrifikasyon inhibitörü (Formül 2533TM, Hach Company) ilave edilmiştir. Kesikli reaktörlerin tam karışımlarından inert KOİ testleri için düzenli olarak alınan örneklerde toplam KOİ ve çözünmüş (filtre edilmiş) KOİ analizleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, ardışık numunelerde eşik değeri %3-5 den daha az değişiklik gösteren kararlı KOİ değerleri elde edilinceye kadar sürdürülmüştür. Ayrıca bu atıksuların kolay ayrışabilir KOİ (S_{S0}) içerikleri de respirometrik ölçümler ile saptanmıştır. Oksijen tüketim hızı (OTH) ölçümlerinde 1 litrelik aerobik kesikli reaktörler kullanılmıştır. Yukarıda değinildiği gibi reaktörlere nitrifikasyon inhibitöründen ilave edilmiştir. Reaktörler başlangıçta aynı atıksu örneği ile beslenmiş ve uygun bir F/M oranının (C_{T0}/X_{T0}) elde edilmesi için yeterli miktardaki biyokütle ile aşılama yapılmıştır. Reaktörler çözünmüş oksijen konsantrasyonu 6-8 mg/l olacak şekilde sürekli havalandırılmıştır. Biyokütle çamur yaşı 10 gün olacak şekilde ayarlanan bir doldur-boşalt sistem yardımıyla atıksuya önceden alıştırmıştır. Kolay ayrışabilir KOİ, Ekama ve diğ. (1986) tarafından önerilen metoda uygun olarak saptanmıştır. Bölüm 2.3.3'de denklem 2.30 ve denklem 2.31 ile verilen toplam KOİ (C_{T0}) ve çözünmüş KOİ (S_{T0}) kütle dengesi eşitlikleri, atıksuyun diğ. KOİ bileşenlerinin (giriş hızlı hidroliz olabilen KOİ, S_{H1} ve giriş yavaş hidroliz olabilen KOİ, X_{S0}) hesaplanmasında kullanılmıştır.

OTH ölçümleri WTW OXI DIGI 2000 marka oksijenmetre ve yazıcısı kullanılarak elde edilmiştir. Deneysel çalışma sırasında numunelerin pH'sı biyolojik aktivite için uygun olan 7-8 aralığına ayarlanmıştır.

Tüm aerobik reaktörler 18°C sıcaklıkta tutulmuştur.

2.4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DEĞERLENDİRME

2.4.1. Su Kullanımının Azaltılması ve Geri Kazanılabilir Atıksu Akımlarının Belirlenmesi

İncelenen tekstil endüstrisi yünlü ve yünlü karışımı kumaşlara apreleme işlemlerinin uygulandığı bir tesistir. Bu çalışmanın amacı doğrultusunda tesisdeki prosesler geri kazanılabilir atıksu akımlarının ayrılması ve gereksiz su kullanımlarının kısıtlanması yönlerinden irdelenmiştir. Tesiste yer alan apre prosesleri aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

A - %100 YÜN ve %96 YÜN + %4 LYCRA

A.1 - Top Boyama

A.2 - İpliği Boyalı

A.3 - Melanj (Koyu Renk)

B - %50 YÜN + %50 POLYESTER ve %48 YÜN + %48 POLYESTER + %4 LYCRA

B.1 - Top Boyama

B.2 - İpliği Boyalı

B.3 - Melanj (Koyu Renk)

C - KETEN (Aprede Yıkanmıyor)

D - ÇEŞİTLİ APRELER

D.1 - Top Boyama

D.2 - İpliği Boyalı

D.3 - Melanj (Koyu Renk)

Araştırma çalışmasında tesis yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucu, apre bölümü 1999 yılı ve 2000 yılının ilk 4 ayı üretim verilerinin, gelecekteki üretimi yansıtır nitelikte olduğu kabul edilmiştir. Söz konusu zaman dilimine ait üretim verileri Tablo 2.4.1'de özetlenmektedir.

Tablo 2.4.1. Apre prosesleri üretim verileri

Proses	İşlenen Kumaş (m kumaş/16 ay)	İşlenen Kumaş (m kumaş/gün)	İşlenen Kumaş (kg kumaş/gün)	Üretim Yüzdesi (%)	Makina Tipi
A.1	1,465,940	3,023	907	13.6	Geniş Yıkama*
A.2	780,402	1,609	483	7.2	Turbo
A.3	2,031,329	4,188	1,256	18.8	Turbo
B.1	1,834,181	3,782	1,135	17.0	Spiral
B.2	2,042,497	4,211	1,263	18.9	Turbo
B.3	2,163,269	4,460	1,338	20.1	Turbo
D.1	83,313	172	52	0.8	
D.2	316,675	653	196	2.9	
D.3	62,408	129	39	0.6	
Toplam	10,780,014	22,227	6,668	100.0	

İncelenen prosesler

* Bu tip makinelerde su tasarrufu veya geri kazanımı olanaksızdır

Tablodaki veriler uyarınca toplam üretimin %7.2'sini oluşturan “%100 Yün – İpliği Boyalı ve %96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı” prosesi, %18.8'ini kapsayan “%100 Yün – Melanj (koyu renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (koyu renk)” prosesi, %17.0'sini meydana getiren “%50 Yün + %50 Polyester – Top Boyama ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Top Boyama” prosesi, %18.9'unu oluşturan “%50 Yün + %50 Polyester – İpliği Boyalı ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – İpliği Boyalı” prosesi ve %20.1'ini oluşturan “%50 Yün + %50 Polyester – Melanj (koyu renk) ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (koyu renk)” proseslerinin su tasarrufu uygulanması ve geri kazanılabilir atıksu akımlarının saptanması açılarından incelenmesi uygun görülmüştür. Böylesi bir araştırma sonucunda apre bölümü toplam üretiminin %82.1'inin irdeleneceği ifade edilebilir.

Aşağıda sözkonusu incelemeye esas oluşturmak üzere üretim düzenleri tek tek ele alınarak tanıtılmıştır.

2.4.1.1. %100 Yün – İpliği Boyalı ve %96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı Prosesi

2.4.1.1.1. Proses Tanımı ve Atıksu Kaynakları

“%100 Yün – İpliği Boyalı” ve “%96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı” prosesi A.2 olarak kodlandırılmıştır. A.2 prosesi kesikli Turbo MAT makinelerde, 1/10 flote oranı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Sözkonusu prosesin iki farklı uygulamasına ait akım şemaları Şekil 2.4.1 ve Şekil 2.1.2'de verilmektedir.

Şekil 2.4.1'de görüldüğü gibi, 1. uygulamanın doldur-boşalt yıkama aşamasında 300 kg kumaş, 3 m³ su ile birlikte tanka alınmakta ve bu işlemin sonucunda 3 m³ atıksu oluşmaktadır. 10 dakika sürecek olan ön yıkamada 3 m³ su ile beraber asetik asit, deterjan ve kırık önleyici ilavesi yapılmakta ve 3 m³'lük atıksu deşarj edilmektedir. Bu adımı dakikada 200 litre su ile gerçekleştirilen, 10 dakikalık ön yıkama akar çalkalaması izlemektedir. Ön yıkama akar çalkalamasında 2 m³ atıksu oluşmaktadır. Daha sonraki 3 m³ su, deterjan ve kırık önleyicinin eklendiği 30 dakika süren gerçek yıkamadan 3 m³ atıksu kaynaklanmaktadır. 30 dakikalık akar çalkalama dakikada 200 litre su ile yapılmakta ve bu adımdan 6 m³ atıksu oluşmaktadır.

Son aşama olan yumuşatmada 3 m³ su, asetik asit ve yumuşatıcı ilavesi sonucunda 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir.

A.2 prosesinin bu uygulaması (1. uygulama), tüm işlemler ele alındığında, 300 kg kumaş başına 20 m³ atıksu veya diğer bir deyişle kg kumaş başına 0.067 m³ atıksu üretmektedir.

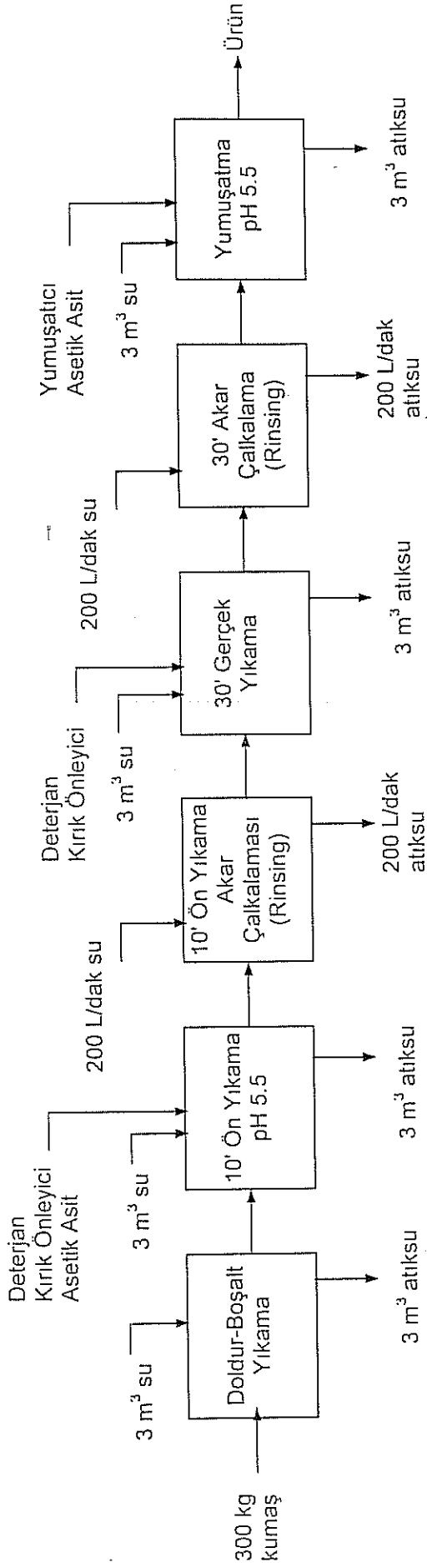
Aynı prosesin Şekil 2.4.2'de gösterilen farklı bir uygulamasında (2. uygulama) ise ilk doldur-boşalt yıkama adımı 300 kg kumaş 3 m³ su ile yıkanmakta ve 3 m³ atıksu oluşmaktadır. Daha sonra 10 dakika sürecek olan ön yıkamada 3 m³ su, deterjan ve kırık önleyici ile kumaş işlenmekte ve 3 m³ atıksu deşarjı yapılmaktadır. Sonraki aşama 10 dakikalık ön yıkama akar çalkalamasıdır. Sözü edilen aşamada dakikada 200 litre su kullanıldığından 2 m³ atıksu oluşmaktadır. 3 m³ su, deterjan ve kırık önleyici ile uygulanan 30 dakikalık gerçek yıkama sonunda 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir. 40 dakika boyunca dakikada 200 litre su ilavesi ile gerçekleştirilen akar çalkalama adımı ise 8 m³ atıksu meydana gelmektedir. Son işlem olan yumuşatmada 3 m³ su, asetik asit ve yumuşatıcı tanka eklenmekte ve sözkonusu işlem sonucu 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir.

Şekil 2.4.2’de gösterilen uygulama (2. uygulama) için A.2 prosesi işlemlerinin tümünden 300 kg kumaş başına 22 m³ atıksu veya diğer bir değişle kg kumaş başına 0.073 m³ atıksu oluşmaktadır.

2.4.1.1.2. Atıksu Karakterizasyonu

A.2 olarak adlandırılan prosesin Şekil 2.4.1’de verilen 1. uygulaması için bir önceki bölümde saptanan atıksu kaynaklarından elde edilen atıksu numuneleri sıcaklık, pH, iletkenlik, toplam KOİ, çözünmüş KOİ ve 436 nm, 525 nm, 620 nm’lerde okunan absorbans değerleri ile belirlenen renk parametreleri açısından karakterize edilmiştir. Sözü edilen karakterizasyon proseste yer alan iki akar çalkalama için 10 dakika aralıkla alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu veriler Tablo 2.4.2’de görölmektedir.

Veriler değerlendirildiğinde, akar çalkalama adımlarının bu çalışma açısından önemi ortaya çıkmış ve akar çalkalama adımlarının daha detaylı bir şekilde ele alınması gerektiği saptanmıştır. Bu amaç doğrultusunda aynı prosten (A.2) tekrar numune alınmıştır (2. uygulama). A.2 prosesinin Şekil 2.4.2’de şematik olarak verilen uygulaması üzerinde yürütölen deneyssel çalışmanın, akar çalkalama adımlarından iki dakikada bir alınacak numuneler üzerinde çözünmüş KOİ parametresi ile yapılması uygun görölmüştür. Sözkonusu veriler Tablo 2.4.3’te sunulmaktadır.



Numune No:

A.2.1

A.2.2

A.2.3 - A.2.7

A.2.8

A.2.9 - A.2.16

A.2.17

Makina : Turbo MAT

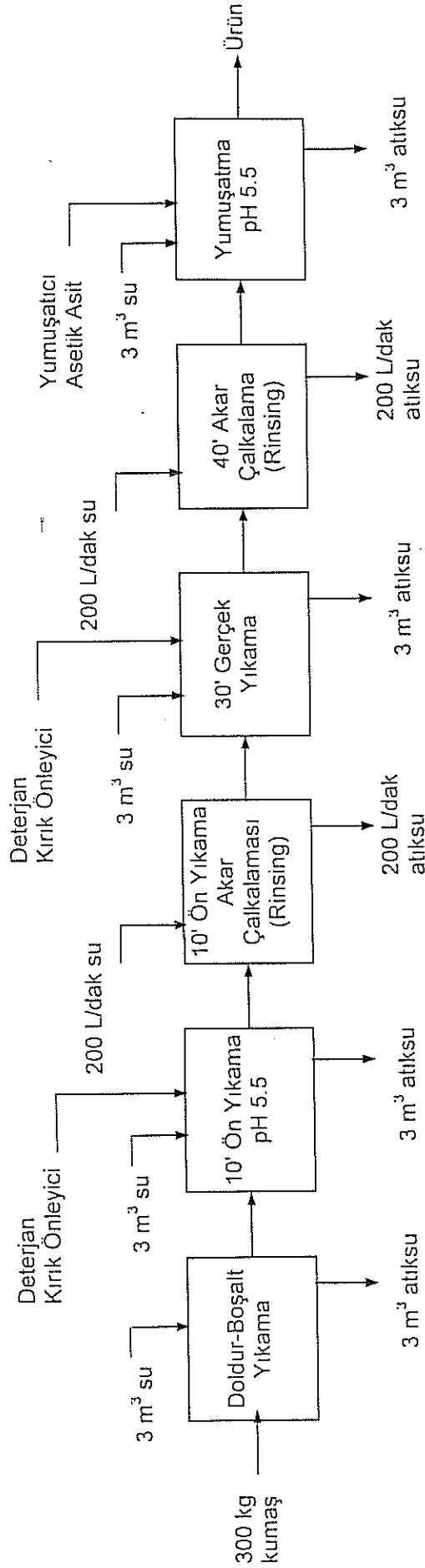
Flote Oranı : 1/10

Su Tüketimi = $20 \text{ m}^3 \text{ su} / 300 \text{ kg kumaş} = 0,067 \text{ m}^3 \text{ su} / \text{kg kumaş}$

Günlük Üretim = $483 \text{ kg kumaş} / \text{gün}$

Günlük Su Tüketimi = $483 \text{ (kg kumaş / gün)} \times 0,067 \text{ (m}^3 \text{ su / kg kumaş)} = 32,2 \text{ m}^3 \text{ su / gün}$

Şekil 2.4.1. %100 Yün – İpliği Boyalı ve %96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı (A.2) Prosesi, 1. Uygulama akım şeması



Numune No:

A.2.1

A.2.2

A.2.3 - A.2.7

A.2.8

A.2.9 - A.2.16

A.2.17

Makina : Turbo MAT

Flote Oranı : 1/10

Su Tüketimi = $22 \text{ m}^3 \text{ su} / 300 \text{ kg kumaş} = 0.073 \text{ m}^3 \text{ su} / \text{kg kumaş}$

Günlük Üretim = $483 \text{ kg kumaş} / \text{gün}$

Günlük Su Tüketimi = $483 \text{ (kg kumaş / gün)} \times 0.073 \text{ (m}^3 \text{ su / kg kumaş)} = 35.4 \text{ m}^3 \text{ su} / \text{gün}$

Şekil 2.4.2. %100 Yün – İpliği Boyalı ve %96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı (A.2) Prosesi, 2. Uygulama akım şeması

Tablo 2.4.2. %100 Yün – İpliği Boyalı ve %96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı (A.2) Prosesi 1. Uygulama Atıksu Karakterizasyonu

Makina : Turbo MAT
Flote : 1/10
Tarih : 29.03.2000

Numune No	Sıcaklık (°C)	pH	İletkenlik (µS/cm)	Top. KOİ (mg/L)	Çöz. KOİ (mg/L)	Renk (Absorbans)		
						436 nm	525 nm	620 nm
A.2.1	24.0	7.2	592	1390	375	0.060	0.041	0.035
A.2.2	24.5	5.0	649	2830	1620	0.089	0.061	0.052
A.2.7 (10")	23.8	7.5	487	155	<10	0.007	0.012	0.003
A.2.8	24.0	7.3	493	1325	895	0.056	0.045	0.036
A.2.10 (10")	24.2	7.7	494	40	30	0.003	0.002	0.001
A.2.12 (20")	23.9	7.8	494	30	25	0.002	0.001	0.001
A.2.14 (30")	24.1	7.8	496	20	20	0.000	0.000	0.000
A.2.17	24.5	5.0	649	695	565	0.000	0.000	0.000

Akar çalkalamalar

Tablo 2.4.3. %100 Yün - İpliği Boyalı ve % 96 Yün + %4 Lycra - İpliği Boyalı (A.2)
Prosesi 2. Uygulama Çözünmüş KOİ Değerleri

Makina	: Turbo MAT	
Flote	: 1/10	
Numune No	Akar Çalkalama No	Çözünmüş KOİ (mg/L)
A.2.3 (2')	1	40
A.2.4 (4')	1	40
A.2.5 (6')	1	35
A.2.6 (8')	1	30
A.2.7 (10')	1	25
A.2.9 (5')	2	80
A.2.10 (10')	2	70
A.2.11 (15')	2	35
A.2.12 (20')	2	30
A.2.13 (25')	2	25
A.2.14 (30')	2	15
A.2.15 (35')	2	15
A.2.16 (40')	2	<10

2.4.1.1.3. Değerlendirme

Anıksu karakterizasyonu sonucunda elde edilen ve Tablo 2.4.2 ve Tablo 2.4.3'te gösterilen veriler, su tasarrufu ve geri kazanımı açısından değerlendirildiğinde, su tasarrufu yapılabilecek ve geri kazanılabilecek akımların akar çalkalama aşamaları olduğu belirlenmiştir.

İlk akar çalkalama veya ön yıkama akar çalkalaması olarak isimlendirilen (Tablo 2.4.2 ve Tablo 2.4.3'te A.2.3-A.2.7 numaralı numuneler uyarınca) işlemin ilk 5 dakika sonrasında kesilmesi ve ikinci akar çalkalama veya akar çalkalama olarak adlandırılan (Tablo 2.4.2 ve Tablo 2.4.3'te A.2.9-A.2.16 numaralı numuneler uyarınca) işlemin ise ilk 10 dakika sonrasında kesilmesi su tasarrufuna yönelik önlemleri kapsamaktadır.

İlk akar çalkalama veya ön yıkama akar çalkalaması (Tablo 2.4.2 ve Tablo 2.4.3'te A.2.3-A.2.7 numaralı numuneler uyarınca) işleminin su tasarrufundan geriye kalan tüm atıksuları (akar çalkalamanın başından, ilk 5 dakikanın sonuna kadar) geri kazanım için ayrılabilir. Benzer şekilde, ikinci akar çalkalama veya akar çalkalama olarak nitelendirilen (Tablo 2.4.2 ve Tablo 2.4.3'te A.2.9-A.2.16 numaralı numuneler uyarınca) adımın su tasarrufu uygulaması sonrası tüm atıksuları (akar çalkalamanın başından, ilk 10 dakikanın sonuna kadar) geri kazanıma yönlendirilebilir.

A.2 prosesinin geri kazanım ve su tasarrufuna yönelik değerlendirme sonuçları Tablo 2.4.4'te özetlenmektedir.

Tablo 2.4.4. %100 Yün – İpliği Boyalı ve %96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı (A.2) Prosesi geri kazanım ve su tasarrufu değerlendirme sonuçları

Numune No	Banyo İşlem Tipi	Atıksu Oluşumu (m ³ /300 kg kumaş)	Geri Kazanılabilir (m ³ /300 kg kumaş)	Tasarruf Edilebilir (m ³ /300 kg)
A.2.1	Doldur-Boşalt	3	-	-
A.2.2	Doldur-Boşalt	3	-	-
A.2.3-A.2.7	Akar Çalkalama (10')	2	1 (ilk 5')	1 (5'-10')
A.2.8	Doldur-Boşalt	3	-	-
A.2.9-A.2.16	Akar Çalkalama 30' (1. Uygulama) veya 40' (2. Uygulama)	6 (1. Uygulama) veya 8 (2. Uygulama)	2 (ilk 10')	4 (10'-30') (1. Uygulama) veya 6 (10'-40') (2. Uygulama)
A.2.17	Doldur-Boşalt	3	-	-
Toplam	-	20 (1. Uygulama) veya 22 (2. Uygulama)	3	5 (1. Uygulama) veya 7 (2. Uygulama)

2.4.1.2. %100 Yün – Melanj (koyu renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (koyu renk) Prosesi

2.4.1.2.1. Proses Tanımı ve Atıksu Kaynakları

A.3 olarak kodlandırılan “%100 Yün – Melanj (Koyu Renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk)” prosesinin iki ayrı uygulamasına ait akım şemaları Şekil 2.4.3 ve Şekil 2.4.4’te sunulmaktadır. A.3 prosesi kesikli Turbo MAT makinelerde, 1/10 flote oranı ile gerçekleştirilmektedir.

Şekil 2.4.3’te verilen 1. uygulama uyarınca 300 kg’lık kumaş 3 m³ su ile doldur-boşalt yıkanmakta ve 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir. Bu işlemi izleyen 10 dakikalık ön yıkama aşamasında deterjan, asetik asit ve kırık önleyici, 3 m³ su ile tanka ilave edilmekte ve işlem sonunda 3 m³ atıksu oluşmaktadır. 10 dakikalık ön yıkama akar çalkalaması dakikada 200 litre su ile gerçekleştirilmekte ve bu adımda 2 m³ atıksu meydana gelmektedir. Daha sonraki gerçek yıkama aşamasında deterjan, kırık önleyici ve 3 m³ su sisteme beslenmekte ve 30 dakika sonunda 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir. Bu adımı dakikada 200 litre su ile gerçekleştirilen ve 30 dakika süren akar çalkalama izlemektedir. Akar çalkalamadan 6 m³ atıksu kaynaklanmaktadır. Son işlem olan yumuşatmada asetik asit ve yumuşatıcı, 3 m³ su ile beraber tanka eklenmekte ve oluşan 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir.

A.3 prosesinin sözü edilen 1. uygulamasında 300 kg kumaş başına 20 m³ atıksu veya kg kumaş başına 0.067 m³ atıksu oluşmaktadır.

A.3 prosesinin Şekil 2.4.4'te akım şeması verilen 2. uygulaması 300 kg kumaşın 3 m³ su ile gerçekleştirilen doldur-boşalt yıkama adımında yıkanması ile başlamaktadır. Bu adımda 3 m³ atıksu oluşmaktadır. Sonraki 10 dakikalık ön yıkamada 3 m³ su, deterjan ve asetik asit ile beslenmekte ve 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir. 15 dakika süren, dakikada 200 litrelik su katkısı ile uygulanan ön yıkama akar çalkalamasından 3 m³ atıksu meydana gelmektedir. 3 m³ su, deterjan ve asetik asit, 30 dakikalık gerçek yıkamada tanka ilave edilmekte ve 3 m³ atıksu deşarjı yapılmaktadır. 8 m³ atıksu oluşturan bir sonraki aşama, 40 dakika süren ve dakikada 200 litre su beslenen akar çalkalamadır. Prosesin en sonunda 3 m³ su, asetik asit ve yumuşatıcı eklenerek gerçekleştirilen ve 3 m³ atıksu üreten yumuşatma adımı bulunmaktadır.

A.3 prosesinin 2. uygulamasında 300 kg kumaş başına 23 m³ atıksu veya diğer bir deyişle kg kumaş başına 0.077 m³ atıksu oluşmaktadır.

2.4.1.2.2. Atıksu Karakterizasyonu

A.3 prosesinin 1. uygulamasında bir önceki bölümde belirlenen tüm atıksu kaynaklarının kaynak bazında sıcaklık, pH, iletkenlik, toplam KOİ, çözünmüş KOİ ve 436 nm, 525 nm, 620 nm'lerde okunan absorbans değerleri ile saptanacak olan renk parametreleri açısından analiz edilmesi uygun görülmüştür. Proseste bulunan iki ayrı akar çalkalamadan söz konusu karakterizasyonun gerçekleştirilebilmesi için 10 dakika aralık ile numuneleme yapılması öngörülmüştür. 1. uygulamadan elde edilen atıksu karakterizasyonuna ilişkin veriler Tablo 2.4.5'te sunulmaktadır.

Veriler değerlendirildiğinde, akar çalkalama adımlarının su tasarrufu ve geri kazanım alternatiflerinin saptanması için önemli olduğu ortaya çıkmış ve sözü edilen adımlardan iki dakikada bir alınacak numuneler üzerinde çözünmüş KOİ deneylerinin yapılması gerektiği belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda (2. uygulama) gerçekleştirilen analiz sonuçları Tablo 2.4.6'da verilmektedir.

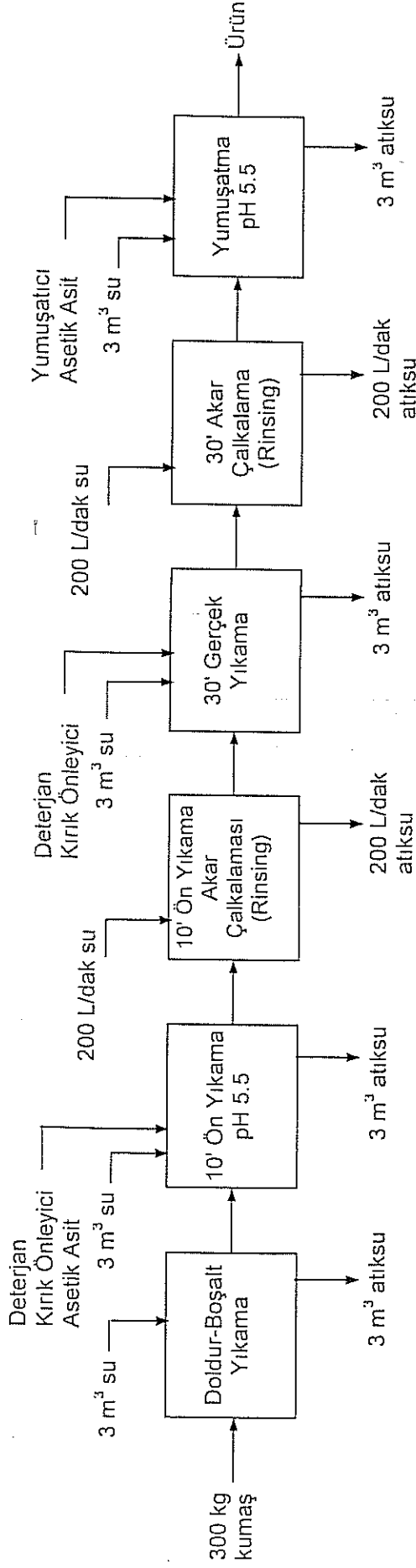
2.4.1.2.3. Değerlendirme

A.3 prosesinin 1. ve 2. uygulamaları için elde edilen tüm veriler su tasarrufu ve geri kazanım açılarından değerlendirildiğinde, proseste yer alan akar çalkalamalar önem kazanmıştır.

Su tasarrufu için ilk akar çalkalama veya ön yıkama akar çalkalaması olarak nitelendirilen (Tablo 2.4.5 ve Tablo 2.4.6'da A.3.3-A.3.10 numaralı numuneler uyarınca) işlemin ilk 5 dakika sonrasında durdurulması ve ikinci akar çalkalama veya akar çalkalama olarak isimlendirilen (Tablo 2.4.5 ve Tablo 2.4.6'da A.3.12-A.3.19 numaralı numuneler uyarınca) adımın ise ilk 10 dakika sonrasında kesilmesi önerilmektedir.

İlk akar çalkalama veya ön yıkama akar çalkalaması (Tablo 2.4.5 ve Tablo 2.4.6'da A.3.3-A.3.10 numaralı numuneler uyarınca) adımının su tasarrufundan artakalan tüm atıksuları (akar çalkamanın başlangıcından, ilk 5 dakikanın sonuna kadar) geri kazanıma yönlendirilebilir. İkinci akar çalkalama veya akar çalkalamada (Tablo 2.4.5 ve Tablo 2.4.6'da A.3.12-A.3.19 numaralı numuneler uyarınca) ise su tasarrufu sonrası oluşan tüm atıksular (akar çalkamanın başlangıcından, ilk 10 dakikanın sonuna kadar) geri kazanım için ayrılabilir.

A.3 prosesine ilişkin geri kazanım ve su tasarrufu alternatiflerinin değerlendirilmesi Tablo 2.4.7'de verilmektedir.



Numune No: A.3.1 A.3.2 A.3.3 - A.3.10 A.3.11 A.3.12 - A.3.19 A.3.20

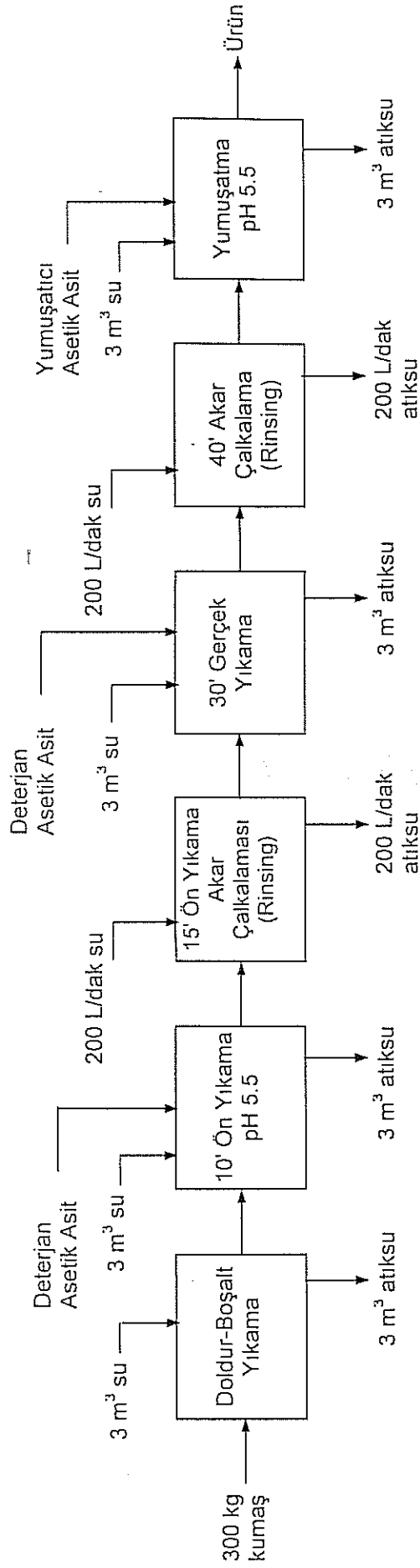
Makina : Turbo MAT
Flote Oranı : 1/10

Su Tüketimi = $20 \text{ m}^3 \text{ su} / 300 \text{ kg kumaş} = 0,067 \text{ m}^3 \text{ su} / \text{kg kumaş}$

Günlük Üretim = $1256 \text{ kg kumaş} / \text{gün}$

Günlük Su Tüketimi = $1256 (\text{kg kumaş} / \text{gün}) \times 0,067 (\text{m}^3 \text{ su} / \text{kg kumaş}) = 83,7 \text{ m}^3 \text{ su} / \text{gün}$

Şekil 2.4.3. %100 Yün – Melanj (Koyu Renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (A.3) Prosesi, 1. Uygulama Akım Şeması



Numune No:

A.3.1

A.3.2

A.3.3 - A.3.10

A.3.11

A.3.12 - A.3.19

A.3.20

Makina : Turbo MAT

Flote Oranı : 1/10

Su Tüketimi = $23 \text{ m}^3 \text{ su} / 300 \text{ kg kumaş} = 0.077 \text{ m}^3 \text{ su} / \text{kg kumaş}$

Günlük Üretim = $1256 \text{ kg kumaş} / \text{gün}$

Günlük Su Tüketimi = $1256 \text{ (kg kumaş / gün)} \times 0.077 \text{ (m}^3 \text{ su / kg kumaş)} = 96.3 \text{ m}^3 \text{ su} / \text{gün}$

Şekil 2.4.4. %100 Yün – Melanj (Koyu Renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (A.3) Prosesi, 2. Uygulama akım şeması

Tablo 2.4.5. %100 Yün – Melanj (Koyu Renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (A.3) Prosesi
1. Uygulama Atıksu Karakterizasyonu

Makina : Turbo MAT
Flote : 1/10
Tarih : 29.03.2000

Numune No	Sıcaklık (°C)	pH	İletkenlik (µS/cm)	Top. KOİ (mg/L)	Çöz. KOİ (mg/L)	Renk (Absorbans)		
						436 nm	525 nm	620 nm
A.3.1	35.5	7.5	485	290	200	0.022	0.004	0.002
A.3.2	34.0	7.1	491	1000	675	0.061	0.033	0.029
A.3.5 (5')	27.9	7.6	466	220	140	0.014	0.011	0.008
A.3.8 (10')	27.8	7.5	454	125	50	0.013	0.004	0.002
A.3.11	30.5	7.4	513	1900	1565	0.029	0.034	0.027
A.3.13 (10')	29.1	7.7	490	320	290	0.006	0.005	0.005
A.3.15 (20')	26.9	7.8	484	80	45	0.002	0.002	0.002
A.3.17 (30')	27.5	7.7	486	40	30	0.002	0.001	0.001
A.3.20	26.0	7.6	526	160	150	0.002	0.001	0.003

Akar çalkalamalar

Tablo 2.4.6. %100 Yün – Melanj (Koyu Renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (A.3) Prosesi, 2. Uygulama Çözünmüş KOİ Değerleri

Makina : Turbo MAT
Flote : 1/10
Tarih : 18.04.2000

Numune No	Akar Çalkalama No	Çöz. KOİ (mg/L)
A.3.3 (2')	1	215
A.3.4 (4')	1	70
A.3.6 (6')	1	40
A.3.7 (9')	1	40
A.3.9 (12')	1	35
A.3.10 (15')	1	30
A.3.12 (5')	2	40
A.3.13 (10')	2	40
A.3.14 (15')	2	35
A.3.15 (20')	2	30
A.3.16 (25')	2	30
A.3.17 (30')	2	25
A.3.18 (35')	2	20
A.3.19 (40')	2	20

Tablo 2.4.7. %100 Yün – Melanj (Koyu Renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (A.2) Prosesi geri kazanım ve su tasarrufu değerlendirme sonuçları

Numune No	Banyo İşlem Tipi	Atıksu Oluşumu (m ³ /300 kg kumaş)	Geri Kazanılabilir (m ³ /300 kg kumaş)	Tasarruf Edilebilir (m ³ /300 kg)
A.3.1	Doldur-Boşalt	3	-	-
A.3.2	Doldur-Boşalt	3	-	-
A.3.3-A.3.10	Akar Çalkalama 10' (1. Uygulama) veya 15' (2. Uygulama)	2 (1. Uygulama) veya 3 (2. Uygulama)	1 (ilk 5')	1 (5'-10') (1. Uygulama) veya 2 (5'-15') (2. Uygulama)
A.3.11	Doldur-Boşalt	3	-	-
A.3.12-A.3.19	Akar Çalkalama 30' (1. Uygulama) veya 40' (2. Uygulama)	6 (1. Uygulama) veya 8 (2. Uygulama)	2 (ilk 10')	4 (10'-30') (1. Uygulama) veya 6 (10'-40') (2. Uygulama)
A.2.20	Doldur-Boşalt	3	-	-
Toplam	-	20 (1. Uygulama) veya 22 (2. Uygulama)	3	5 (1. Uygulama) veya 8 (2. Uygulama)

2.4.1.3. %50 Yün + %50 Polyester – Top Boyama ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Top Boyama Prosesi

2.4.1.3.1. Proses Tanımı ve Atıksu Kaynakları

“%50 Yün + %50 Polyester – Top Boyama” ve “%48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Top Boyama” prosesi B.1 olarak kodlandırılmıştır. B.1 prosesi kesikli olarak spiral makinelerde, 1/10 flote oranı ile yürütülmektedir. Proses akım şeması Şekil 2.4.5’te verilmektedir.

B.1 prosesinin ilk adımı 300 kg kumaşın dakikada 200 litre su ile işlem gördüğü 10 dakikalık akar çalkalamadır. Bu adımdan 2 m³ atıksu kaynaklanmaktadır. 3 m³ su, deterjan ve kırık önleyicinin tanka eklendiği 10 dakikalık yıkamadan 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir. Son adım olan 50 dakikalık ikinci akar çalkalamada dakikada 200 litre su girdisi vardır ve 10 m³ atıksu oluşmaktadır.

B.1 prosesi 300 kg kumaş başına 15 m³ atıksu veya diğer bir deyişle kg kumaş başına 0.05 m³ atıksu üretmektedir.

2.4.1.3.2. Atıksu Karakterizasyonu

B.1 prosesine ait tüm atıksu kaynaklarından alınan numuneler sıcaklık, pH, iletkenlik, toplam KOİ, çözülmüş KOİ ve 436 nm, 525 nm, 620 nm’lerde okunan absorbands değerleri ile saptanacak renk parametreleri açısından karakterize edilmiştir. Proseslerdeki iki akar çalkalamadan 5’er dakika aralık ile numune alınmıştır. Elde edilen atıksu karakterizasyonu verileri Tablo 2.4.8’de özetlenmiştir.

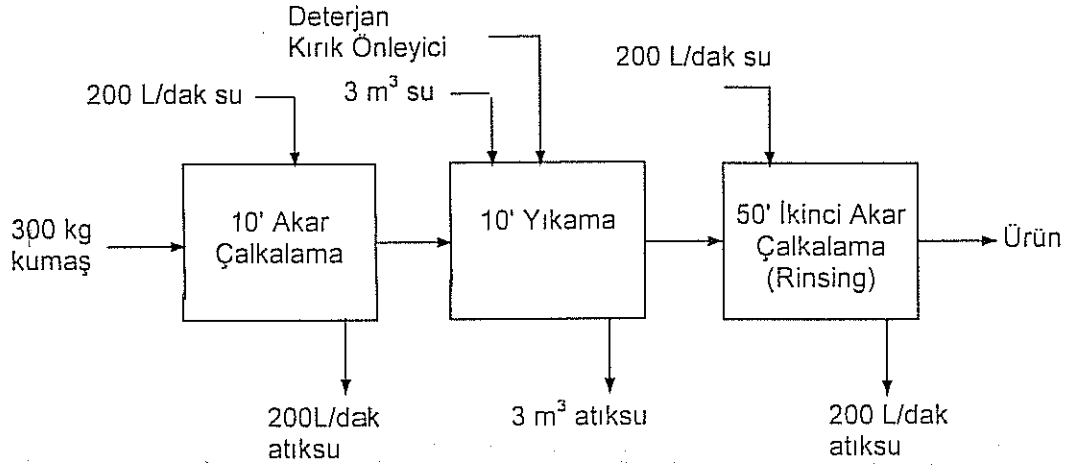
2.4.1.3.3. Değerlendirme

Atıksu karakterizasyonu verilerinin sunulduğu Tablo 2.4.8 değerlendirildiğinde, su tasarrufu ve geri kazanım akımlarının akar çalkalama adımları olduğu saptanmıştır.

İkinci akar çalkalama veya 50 dakikalık akar çalkalama olarak adlandırılan (Tablo 2.4.8’de B.1.4-B.1.9 numaralı numuneler uyarınca) işlemin ilk 15 dakika sonrasında kesilmesi, bu prosesin su tasarrufuna yönelik önlemini oluşturmaktadır.

İlk akar çalkalama veya 10 dakikalık akar çalkalama olarak isimlendirilen (Tablo 2.4.8’de B.1.1-B.1.2 numaralı numuneler uyarınca) işleminden kaynaklanan atıksular tümü ile geri kazanılabilir. Benzer şekilde, ikinci akar çalkalama veya 50 dakikalık akar çalkalama (Tablo 2.4.8’de B.1.4-B.1.9 numaralı numuneler uyarınca) işleminin su tasarrufu uygulamasından sonra artakalan tüm atıksuları (akar çalkamanın başından, ilk 15 dakikanın sonuna kadar) geri kazanım için ayrılabilir.

B.1 prosesi geri kazanım ve su tasarrufu değerlendirmesi sonuçları Tablo 2.4.9’da özetlenmektedir.



Numune No:

B.1.1 ve B.1.2

B.1.3

B.1.4 - B.1.9

Makina : Spiral

Flote Oranı : 1/10

Su Tüketimi = $15 \text{ m}^3 \text{ su} / 300 \text{ kg kumaş} = 0,05 \text{ m}^3 \text{ su} / \text{kg kumaş}$

Günlük Üretim = 1135 kg kumaş / gün

Günlük Su Tüketimi = $1135 (\text{kg kumaş} / \text{gün}) \times 0,05 (\text{m}^3 \text{ su} / \text{kg kumaş}) = 56,8 \text{ m}^3 \text{ su} / \text{gün}$

Şekil 2.4.5. %50 Yün + %50 Polyester – Top Boyama ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Top Boyama (B.1) Prosesi akım şeması

Tablo 2.4.8. %50 Yün + %50 Polyester – Top Boyama ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Top Boyama (B.1)
Prosesi Atıksu Karakterizasyonu

Makina : Spiral
Flote : 1/10
Tarih : 30.03.2000

Numune No	Sıcaklık (°C)	pH	İletkenlik (µS/cm)	Top. KOİ (mg/L)	Çöz. KOİ (mg/L)	Renk (Absorbans)		
						436 nm	525 nm	620 nm
B.1.1 (5')	25.4	7.7	687	790	550	0.062	0.024	0.012
B.1.2 (10')	25.0	7.8	623	170	65	0.000	0.000	0.000
B.1.3	26.4	8.1	549	2500	1800	0.036	0.021	0.014
B.1.4 (5')	27.0	8.1	579	700	550	0.005	0.004	0.003
B.1.5 (15')	27.0	8.0	599	215	125	0.002	0.001	0.002
B.1.6 (25')	27.2	8.2	605	80	50	0.002	0.000	0.000
B.1.7 (35')	26.6	8.2	604	45	25	0.001	0.000	0.000
B.1.8 (45')	27.3	8.2	613	45	15	0.001	0.000	0.000
B.1.9 (50')	27.2	8.2	610	45	<10	0.001	0.000	0.000

Akar çalkalamalar

Tablo 2.4.9. %50 Yün + %50 Polyester – Top Boyama ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Top Boyama (B.1) Prosesi geri kazanım ve su tasarrufu değerlendirme sonuçları

Numune No	Banyo İşlem Tipi	Atıksu Oluşumu (m ³ /300 kg kumaş)	Geri Kazanılabilir (m ³ /300 kg kumaş)	Tasarruf Edilebilir (m ³ /300 kg)
B.1.1-B.1.2	Akar Çalkalama (10')	2	2	-
B.1.3	Doldur-Boşalt	3	-	-
B.1.4-B.1.9	Akar Çalkalama (50')	10	3 (ilk 15')	7 (15'-50')
Toplam	-	15	5	7

2.4.1.4. %50 Yün + %50 Polyester – İpliği Boyalı ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – İpliği Boyalı Prosesi

2.4.1.4.1. Proses Tanımı ve Atıksu Kaynakları

“%50 Yün + %50 Polyester – İpliği Boyalı” ve “%48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – İpliği Boyalı” prosesi B.2 olarak kodlandırılmıştır. Akım şeması Şekil 2.4.6’da görülen B.2 prosesi, 1/10 flote oranına sahip kesikli Turbo MAT ekipman kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

B.2 prosesinin başında 300 kg kumaşın 3 m³ su ile yıkandığı doldur-boşalt yıkama adımı bulunmaktadır. Bu adımdan 3 m³ atıksu kaynaklanmaktadır. Daha sonra 10 dakika sürecek olan akar çalkalamada dakikada 200 litre su girdisi olduğundan 2 m³ atıksu oluşmaktadır. 3 m³ su ve deterjanın tanka beslendiği 15 dakikalık ön yıkamadan 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir. Sonraki aşama 15 dakikalık ön yıkama akar çalkalamasıdır. Sözü edilen aşamada dakikada 200 litre su kullanıldığından 3 m³ atıksu oluşmaktadır. 3 m³ su ve deterjan ile uygulanan 45 dakikalık gerçek yıkama sonucunda 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir. 60 dakika boyunca dakikada 200 litre su ile gerçekleştirilen akar çalkalama adımı ise 12 m³ atıksu meydana gelmektedir. Son aşama olan yumuşatmada 3 m³ su, asetik asit ve yumuşatıcı tanka ilave edilmekte ve işlem sonucu 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir.

B.2 prosesinde işlemlerin tümünden 300 kg kumaş başına 29 m³ atıksu veya kg kumaş başına 0.097 m³ atıksu oluşmaktadır.

2.4.1.4.2. Atıksu Karakterizasyonu

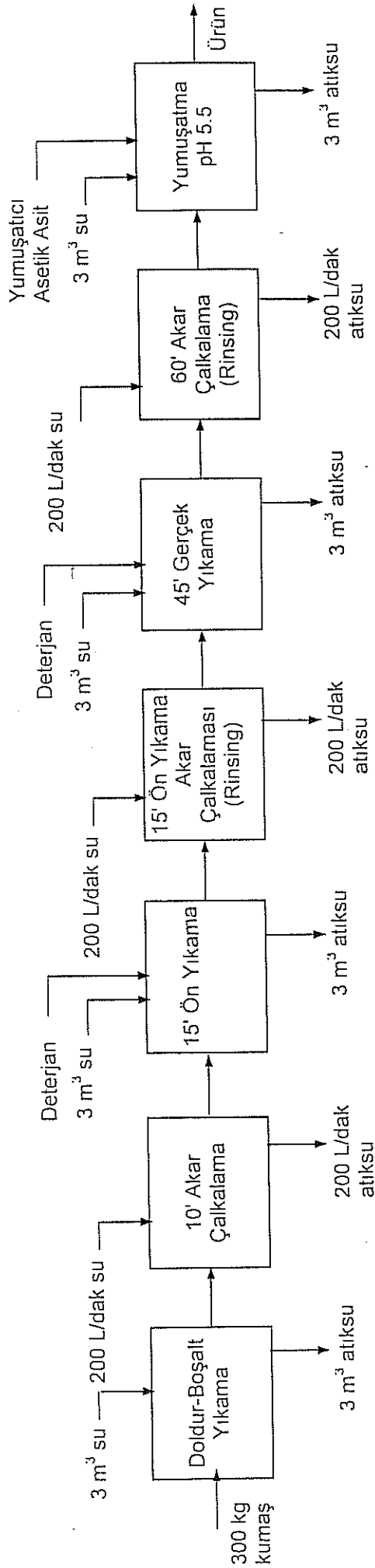
B.2 prosesinin atıksu oluşturan işlemlerinden elde edilen atıksu numunelerinin pH, iletkenlik, toplam KOİ, çözünmüş KOİ ve 436 nm, 525 nm, 620 nm’lerde okunan absorpsiyon değerleri ile belirlenen renk parametreleri açısından analiz edilmesi öngörülmüştür. Karakterizasyonun ilk akar çalkalamada 3 dakikada bir, ikinci akar çalkalamada 2 dakikada bir ve son akar çalkalamada 10’ar dakika ara ile alınan numuneler üzerinde yürütülmesi kararlaştırılmıştır. B.2 prosesine ait elde edilen kaynak bazında atıksu karakterizasyonu verileri Tablo 2.4.10’da görülmektedir.

2.4.1.4.3. Değerlendirme

Tablo 2.4.10'da sunulan veriler su tasarrufu ve geri kazanım alternatifleri açısından irdelendiğinde, akar çalkalama aşamalarının söz konusu uygulamalar için uygun olduğu saptanmıştır.

Son akar çalkalama veya 60 dakikalık akar çalkalama olarak adlandırılan (Tablo 2.4.10'da B.2.13-B.2.18 numaralı numuneler uyarınca) işlemin ilk 20 dakikadan sonra kesilmesi su tasarrufuna yönelik önlem olarak belirlenmiştir.

İlk akar çalkalama veya 10 dakikalık akar çalkalama olarak nitelendirilen (Tablo 2.4.10'da B.2.2-B.2.4 numaralı numuneler uyarınca) işlemde kaynaklanan ve ikinci akar çalkalama veya ön yıkama akar çalkalaması adını alan (Tablo 10'da B.2.6-B.2.11 numaralı numuneler uyarınca) işlemde kaynaklanan tüm atıksular ile 60 dakikalık akar çalkalama veya diğer bir söyleyişle son akar çalkalamanın (Tablo 10'da B.2.13-B.2.18 numaralı numuneler uyarınca) su tasarrufu uygulaması sonrası artakalan tüm atıksular (son akar çalkalamanın başlangıcından, ilk 20 dakikanın sonuna kadar) geri kazanıma yönlendirilebilirler.



Numune No: B.2.1

B.2.2 - B.2.4

B.2.5

B.2.6 - B.2.11

B.2.12

B.2.13 - B.2.18

B.2.19

Makina : Turbo MAT

Flote Oranı : 1/10

Su Tüketimi = 29 m³ su / 300 kg kumaş = 0.097 m³ su / kg kumaş

Günlük Üretim = 1263 kg kumaş / gün

Günlük Su Tüketimi = 1263 (kg kumaş / gün) x 0.097 (m³ su / kg kumaş) = 122.1 m³ su / gün

Şekil 2.4.6. %50 Yün + %50 Polyester – İpliği Boyalı ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – İpliği Boyalı (B.2) Prosesi akım şeması

Tablo 2.4.10. %50 Yün + %50 Polyester – İpliği Boyalı ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – İpliği Boyalı (B.2)
Prosesi Atıksu Karakterizasyonu

Makina : Turbo MAT
Flote : 1/10
Tarih : 17.04.2000

Numune No	pH	İletkenlik (µS/cm)	Top. KOİ (mg/L)	Çöz. KOİ (mg/L)	Renk (Absorbans)		
					436 nm	525 nm	620 nm
B.2.1	6.23	440	950	305	0.072	0.042	0.030
B.2.2 (3')	6.47	410	760	220	0.053	0.033	0.024
B.2.3 (6')	6.59	400	260	75	0.015	0.009	0.006
B.2.4 (9')	6.54	400	250	70	0.013	0.008	0.005
B.2.5	5.85	540	2460	1430	0.126	0.078	0.057
B.2.6 (2')	6.62	400	500	350	0.054	0.036	0.027
B.2.7 (4')	6.47	400	440	190	0.039	0.023	0.016
B.2.8 (6')	6.65	380	280	150	0.022	0.013	0.009
B.2.9 (9')	6.37	390	260	110	0.014	0.007	0.005
B.2.10 (12')	6.5	390	150	110	0.014	0.006	0.004
B.2.11 (15')	6.55	390	140	75	0.013	0.005	0.003
B.2.12	6.33	410	940	700	0.058	0.031	0.022
B.2.13 (10')	6.79	400	110	55	0.009	0.004	0.004
B.2.14 (20')	6.91	400	75	55	0.008	0.004	0.003
B.2.15 (30')	9.96	400	50	40	0.007	0.004	0.003
B.2.16 (40')	6.96	390	50	35	0.006	0.003	0.002
B.2.17 (50')	6.98	390	50	30	0.006	0.003	0.001
B.2.18 (60')	7.14	400	30	20	0.005	0.001	0.000
B.2.19	4.91	625	1020	700	0.024	0.017	0.015

Akar çalkalamalar

B.2 prosesinin geri kazanım ve su tasarrufu alternatiflerinin değerlendirilme sonuçları Tablo 2.4.11’de özetlenmiştir.

Tablo 2.4.11. %50 Yün + %50 Polyester – İpliği Boyalı ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – İpliği Boyalı (B.2) Prosesi geri kazanım ve su tasarrufu değerlendirme sonuçları

Numune No	Banyo İşlem Tipi	Atıksu Oluşumu (m ³ /300 kg kumaş)	Geri Kazanılabilir (m ³ /300 kg kumaş)	Tasarruf Edilebilir (m ³ /300 kg)
B.2.1	Doldur-Boşalt	3	-	-
B.2.2-B.2.4	Akar Çalkalama (10')	2	2	-
B.2.5	Doldur-Boşalt	3	-	-
B.2.6-B.2.11	Akar Çalkalama (15')	3	3	-
B.2.12	Doldur-Boşalt	3	-	-
B.2.13-B.2.18	Akar Çalkalama (60')	12	4 (ilk 20')	6 (20'-60')
B.2.19	Doldur-Boşalt	3	-	-
Toplam	-	29	9	6

2.4.1.5. %50 Yün + %50 Polyester – Melanj (koyu renk) ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (koyu renk) Prosesi

2.4.1.5.1. Proses Tanımı ve Atıksu Kaynakları

“%50 Yün + %50 Polyester – Melanj (Koyu Renk)” ve “%48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk)” prosesi B.3 olarak kodlandırılmıştır. Turbo MAT kesikli makinelerde, 1/10 flote oranı ile gerçekleştirilen B.3 prosesinin iki ayrı uygulamasına ait akım şemaları Şekil 2.4.7 ve Şekil 2.4.8’de verilmektedir.

Şekil 2.4.7’de verilen 1. uygulama uyarınca 300 kg’lık kumaş 3 m³ su ile doldur-boşalt yıkanmakta ve 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir. Dakikada 200 litre su ile yürütülen 15 dakikalık akar çalkalamadan 3 m³ atıksu kaynaklanmaktadır. Bu işlemi izleyen 15 dakikalık ön yıkama aşamasında deterjan ve asetik asit, 3 m³ su ile tanka ilave edilmekte ve işlem sonunda 3 m³ atıksu oluşmaktadır. 15 dakikalık ön yıkama akar çalkalaması dakikada 200 litre su ile gerçekleştirilmekte ve bu adımda 3 m³ atıksu meydana gelmektedir. Daha sonraki gerçek yıkama aşamasında deterjan, asetik asit ve 3 m³ su sisteme beslenmekte ve 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir. Bu adımı dakikada 200 litre su ile yapılan 60 dakika süren akar çalkalama izlemektedir. Son akar çalkalamadan 12 m³ atıksu kaynaklanmaktadır. Son işlem olan yumuşatmada asetik asit ve yumuşatıcı 3 m³ su ile beraber tanka eklenmekte ve oluşan 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir.

B.3 prosesinin 1. uygulamasında 300 kg kumaş başına 30 m³ atıksu veya kilo kumaş başına 0.1 m³ atıksu oluşmaktadır.

B.3 prosesinin Şekil 2.4.8’de gösterilen 2. uygulamasında ise doldur-boşalt yıkama adımımda 300 kg kumaş, 3 m³ su ile yıkanmakta ve 3 m³ atıksu oluşmaktadır. Daha sonra 15 dakika

sürecek olan ilk akar çalkalamada, dakikada 200 litre su kullanılmakta ve 3 m³ atıksu deşarjı yapılmaktadır. Ön yıkamada 3 m³ su, deterjan ve kırık önleyici ile kumaş işlenmekte ve 3 m³ atıksu meydana gelmektedir. Sonraki aşama 15 dakikalık ön yıkama akar çalkalamasıdır. Sözkonusu aşamada dakikada 200 litre su kullanıldığından, 3 m³ atıksu oluşmaktadır. 3 m³ su, deterjan ve kırık önleyici ile uygulanan gerçek yıkama sonunda 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir. 40 dakika boyunca, dakikada 200 litre su ilavesi ile gerçekleştirilen son akar çalkalama adımı 8 m³ atıksu oluşumu gözlenmektedir. Son işlem olan yumuşatmada yumuşatıcı, asetik asit ve 3 m³ su ile tanka eklenmekte ve 3 m³ atıksu deşarj edilmektedir.

Şekil 2.4.8'de verilen B.3 prosesinin 2. uygulamasında 300 kg kumaş başına 27 m³ atıksu veya kilo kumaş başına 0.09 m³ atıksu oluşmaktadır.

2.4.1.5.2. Atıksu Karakterizasyonu

B.3 prosesinin 1. uygulaması için saptanan atıksu kaynaklarından elde edilen numunelerde sıcaklık, pH, iletkenlik, toplam KOİ, çözünmüş KOİ ve 436 nm, 525 nm, 620 nm'lerde okunan absorban değerleri ile belirlenen renk analizleri yapılmıştır. Atıksu karakterizasyonu, proste yer alan ilk yıkama akar çalkalaması ve ön yıkama akar çalkalaması için 5'er dakika aralık, son akar çalkalama adımı için ise 10'ar dakikalık aralıkla alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. B.3 prosesinin 1. uygulamasına ait atıksu karakterizasyonu Tablo 2.4.12'de verilmektedir.

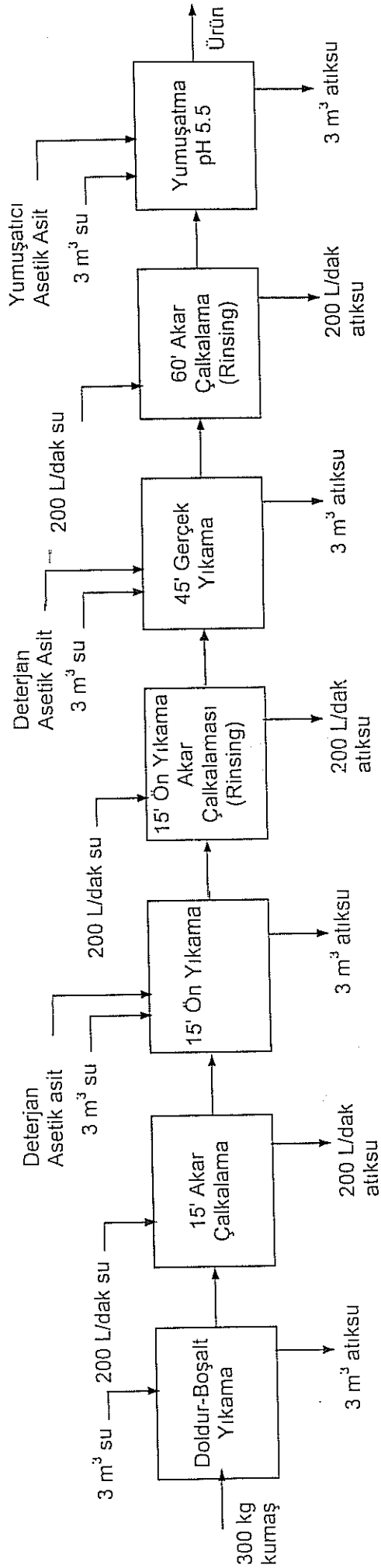
Verilerin incelenmesi sonucu akar çalkalama adımlarının su tasarrufu ve geri kazanım açılarından önemli olduğu saptanmış ve akar çalkalama adımları üzerinde daha detaylı karakterizasyon yapılması gereği ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda B.3 prosesinin akar çalkalama adımlarından (ilk iki akar çalkalamadan 2 dakikada bir ve son akar çalkalamadan ise 5 dakikada bir) tekrar numune alınmıştır (2. uygulama). Sözü edilen numunelerde çözünmüş KOİ parametresi analizleri yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 2.4.13'te sunulmaktadır.

2.4.1.5.3. Değerlendirme

Diğer proseslerde olduğu gibi B.3 prosesi için de su tasarrufu ve geri kazanım yapılabilecek akımların akar çalkalama aşamaları olduğu saptanmıştır.

İlk akar çalkalama olarak adlandırılan (Tablo 2.4.12 ve Tablo 2.4.13'te B.3.2-B.3.9 numaralı numuneler uyarınca) işlemin, ikinci akar çalkalama veya ön yıkama akar çalkalaması olarak nitelendirilen (Tablo 2.4.12 ve Tablo 2.4.13'te B.3.11-B.3.18 numaralı numuneler uyarınca) adımının ve son akar çalkalama (Tablo 2.4.12 ve Tablo 2.4.13'te B.3.20-B.3.29 numaralı numuneler uyarınca) işleminin ilk 10 dakikanın sonunda durdurulması su tasarrufuna yönelik önlemleri kapsamaktadır.

Öte yandan B.3 prosesinde yer alan her üç akar çalkalama adımının (Tablo 2.4.12 ve Tablo 2.4.13'te B.3.2-B.3.9, B.3.11-B.3.18 ve B.3.20-B.3.29 numaralı numuneler uyarınca) su tasarrufundan geriye kalan tüm atıksularının geri kazanıma yönlendirilebileceği saptanmıştır.



Numune No: B.3.1 B.3.2 - B.3.9 B.3.10 B.3.11 - B.3.18 B.3.19 B.3.20 - B.3.29 B.3.30

Makina : Turbo MAT

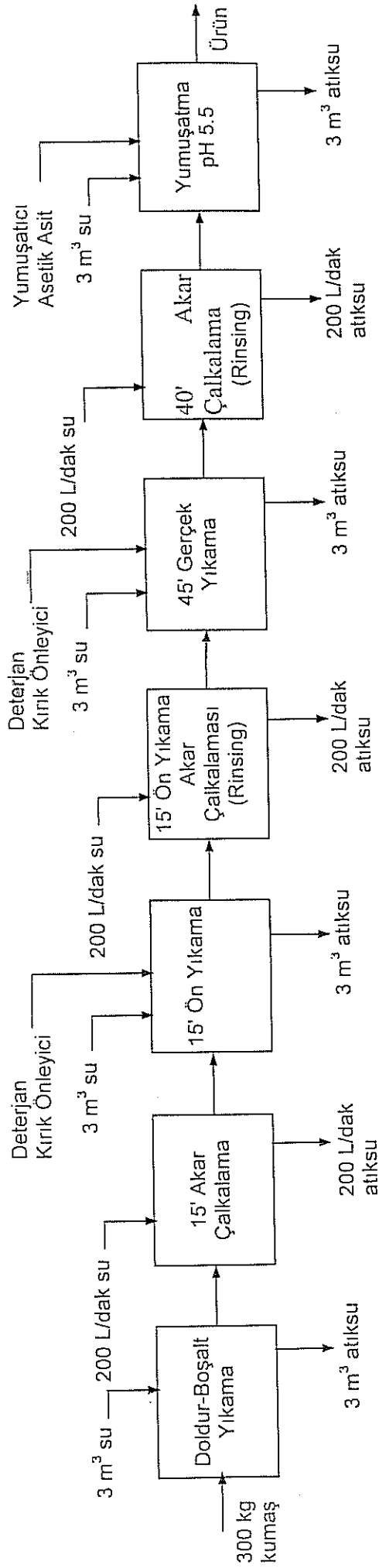
Flote Oranı : 1/10

Su Tüketimi = 30 m³ su / 300 kg kumaş = 0,10 m³ su / kg kumaş

Günlük Üretim = 1338 kg kumaş / gün

Günlük Su Tüketimi = 1338 (kg kumaş /gün) x 0.10 (m³ su / kg kumaş) = 133.8 m³ su / gün

Şekil 2.4.7. %50 Yün + %50 Polyester – Melanj (Koyu Renk) ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (B.3) Prosesi,
1. Uygulama akım şeması



Numune No: B.3.1 B.3.2 - B.3.9 B.3.10 B.3.11 - B.3.18 B.3.19 B.3.20 - B.3.29 B.3.30

Makina : Turbo MAT

Flote Oranı : 1/10

Su Tüketimi = $27 \text{ m}^3 \text{ su} / 300 \text{ kg kumaş} = 0.09 \text{ m}^3 \text{ su} / \text{kg kumaş}$

Günlük Üretim = $1338 \text{ kg kumaş} / \text{gün}$

Günlük Su Tüketimi = $1338 \text{ (kg kumaş / gün)} \times 0.09 \text{ (m}^3 \text{ su / kg kumaş)} = 120.4 \text{ m}^3 \text{ su / gün}$

Şekil 2.4.8. %50 Yün + %50 Polyester – Melanj (Koyu Renk) ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (B.3) Prosesi,
2. Uygulama akım şeması

Tablo 2.4.12. %50 Yün + %50 Polyester – Melanj (Koyu Renk) ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (B.3) Prosesi,
I. Uygulama Atıksu Karakterizasyonu

Makina : Turbo MAT
Flote : 1/10
Tarih : 30.03.2000

Numune No	Sıcaklık (°C)	pH	İletkenlik (µS/cm)	Top. KOİ (mg/L)	Çöz. KOİ (mg/L)	Renk (Absorbans)		
						436 nm	525 nm	620 nm
B.3.1	27.0	7.7	555	2960	1820	0.543	0.333	0.229
B.3.4 (5')	27.8	7.8	507	915	650	0.127	0.071	0.044
B.3.7 (10')	27.0	7.6	487	115	75	0.020	0.011	0.006
B.3.9 (15')	26.0	7.6	487	55	35	0.010	0.003	0.001
B.3.10	26.7	5.6	676	2380	2110	0.074	0.040	0.028
B.3.13 (5')	27.4	7.4	507	540	380	0.028	0.016	0.013
B.3.16 (10')	26.6	7.7	481	60	90	0.013	0.008	0.006
B.3.18 (15')	27.3	7.7	478	125	50	0.000	0.000	0.000
B.3.19	28.3	7.1	517	1120	400	0.045	0.024	0.018
B.3.21 (10')	28.0	7.8	479	60	60	0.002	0.002	0.002
B.3.23 (20')	26.6	7.8	490	50	30	0.001	0.000	0.000
B.3.25 (30')	26.8	7.7	486	40	25	0.001	0.000	0.000
B.3.27 (40')	27.1	7.8	483	30	20	0.000	0.000	0.000
B.3.28 (50')	27.0	7.8	480	25	20	0.000	0.000	0.000
B.3.29 (60')	27.6	7.9	480	20	15	0.000	0.000	0.000
B.3.30	27.1	5.7	675	800	530	0.015	0.001	0.007

Akar çalkalamalar

B.3 prosesine ait su tasarrufu ve geri kazanım akımlarının belirlenmesi değerlendirme sonuçları Tablo 2.4.14'te özetlenmektedir.

Tablo 2.4.13. %50 Yün + %50 Polyester – Melanj (Koyu Renk) ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk) (B.3) Prosesi, 2. Uygulama Çözünmüş KOİ Değerleri

Makina	: Turbo MAT
Flote	: 1/10
Tarih	: 19.04.2000

Numune No	Akar Çalkalama No	Çöz. KOİ (mg/L)
B.3.2 (2')	1	350
B.3.3 (4')	1	160
B.3.5 (6')	1	100
B.3.6 (9')	1	60
B.3.8 (12')	1	50
B.3.9 (15')	1	50
B.3.11 (2')	2	190
B.3.12 (4')	2	170
B.3.14 (6')	2	85
B.3.15 (9')	2	65
B.3.17 (12')	2	45
B.3.20 (5')	3	75
B.3.21 (10')	3	50
B.3.22 (15')	3	50
B.3.23 (20')	3	40
B.3.24 (25')	3	40
B.3.25 (30')	3	40
B.3.26 (35')	3	35
B.3.27 (40')	3	30

Tablo 2.4.14. %50 Yün + %50 Polyester – Melanj ve %48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (koyu renk) (B.1) Prosesi geri kazanım ve su tasarrufu değerlendirme sonuçları

Numune No	Banyo İşlem Tipi	Atıksu Oluşumu (m ³ /300 kg kumaş)	Geri Kazanılabilir (m ³ /300 kg kumaş)	Tasarruf Edilebilir (m ³ /300 kg)
B.3.1	Doldur-Boşalt	3	-	-
B.3.2-B.3.9	Akar Çalkalama (15')	3	2 (ilk 10')	1 (10'-15')
B.3.10	Doldur-Boşalt	3	-	-
B.3.11-B.3.18	Akar Çalkalama (15')	3	2 (ilk 10')	1 (10'-15')-
B.3.19	Doldur-Boşalt	3	-	-
B.3.20-B.3.29	Akar Çalkalama 60' (1. Uygulama) veya 40' (2. Uygulama)	12 (1. Uygulama) veya 8 (2. Uygulama)	2 (ilk 10')	10 (10'-60') (1. Uygulama) veya 6 (10'-40') (2. Uygulama)
B.3.30	Doldur-Boşalt	3	-	-
Toplam	-	30 (1. Uygulama) veya 26 (2. Uygulama)	6	12 (1. Uygulama) veya 8 (2. Uygulama)

2.4.1.6. Genel Değerlendirme ve Öneriler

Yünlü kumaş son işlemler altkategorisinde faaliyette bulunan tekstil endüstrisi apre bölümünde çalışmanın, su tasarrufu uygulamaları ve geri kazanılabilir atıksuların saptanması amacıyla yönelik gerçekleştirilen bu aşamasından elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

☞ Su Tasarrufu Yapılabilecek Akımlar

➤ A.2 Prosesi

“%100 Yün – İpliği Boyalı” ve “%96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı”

- i) ilk akar çalkalamanın ilk 5 dakika sonrasında akar çalkalamanın durdurulması
- ii) ikinci akar çalkalamanın ilk 10 dakika sonrasında akar çalkalamanın durdurulması

➤ A.3 Prosesi

“%100 Yün – Melanj (Koyu Renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk)”

- i) ilk akar çalkalamanın ilk 5 dakika sonrasında akar çalkalamanın durdurulması
- ii) ikinci akar çalkalamanın ilk 10 dakika sonrasında akar çalkalamanın durdurulması

➤ B.1 Prosesi

“%50 Yün + %50 Polyester – Top Boyama” ve “%48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Top Boyama”

i) ikinci akar çalkalamanın ilk 15 dakika sonrasında akar çalkalamanın durdurulması

➤ **B.2 Prosesi**

“%50 Yün + %50 Polyester – İpliği Boyalı” ve “%48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – İpliği Boyalı”

i) üçüncü akar çalkalamanın ilk 20 dakika sonrasında akar çalkalamanın durdurulması

➤ **B.3 Prosesi**

“%50 Yün + %50 Polyester – Melanj (Koyu Renk)” ve “%48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk)”

i) ilk akar çalkalamanın ilk 10 dakika sonrasında akar çalkalamanın durdurulması

ii) ikinci akar çalkalamanın ilk 10 dakika sonrasında akar çalkalamanın durdurulması

iii) üçüncü akar çalkalamanın ilk 10 dakika sonrasında akar çalkalamanın durdurulması

Yukarıda sıralanan su tasarrufuna yönelik önerilerin, gerçekleştirilen atıksu analizleri sonucunda elde edildiği gözardı edilmemelidir. Bu nedenle sözkonusu öneriler her bir proses için ayrı ayrı denenerek, su tasarrufu uygulamalarının ürün kalitesi üzerinde etkisi araştırılmalıdır. Ürün kalitesinde olumsuz etkiler gözlemlendiğinde su tasarrufu uygulamasından kaçınılmalıdır.

➤ **Geri Kazanılabılır Atıksular,**

➤ **A.2 Prosesi**

“%100 Yün – İpliği Boyalı” ve “%96 Yün + %4 Lycra – İpliği Boyalı”

i) ilk akar çalkalamanın ilk 5 dakikasında elde edilen atıksular

ii) ikinci akar çalkalamanın ilk 10 dakikasında elde edilen atıksular

➤ **A.3 Prosesi**

“%100 Yün – Melanj (Koyu Renk) ve %96 Yün + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk)”

i) ilk akar çalkalamanın ilk 5 dakikasında elde edilen atıksular

ii) ikinci akar çalkalamanın ilk 10 dakikasında elde edilen atıksular

➤ **B.1 Prosesi**

“%50 Yün + %50 Polyester – Top Boyama” ve “%48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Top Boyama”

i) ilk akar çalkalamanın tüm atıksuları

ii) ikinci akar çalkalamanın ilk 15 dakikasında elde edilen atıksular

➤ **B.2 Prosesi**

“%50 Yün + %50 Polyester – İpliği Boyalı” ve “%48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – İpliği Boyalı”

i) ilk akar çalkalamanın tüm atıksuları

ii) ikinci akar çalkalamanın tüm atıksuları

iii) üçüncü akar çalkalamanın ilk 20 dakikasında elde edilen atıksular

➤ B.3 Prosesi

“%50 Yün + %50 Polyester – Melanj (Koyu Renk)” ve “%48 Yün + %48 Polyester + %4 Lycra – Melanj (Koyu Renk)”

- i) ilk akar çalkalamanın ilk 10 dakikasında elde edilen atıksular
- ii) ikinci akar çalkalamanın ilk 10 dakikasında elde edilen atıksular
- iii) üçüncü akar çalkalamanın ilk 10 dakikasında elde edilen atıksular

Bu çalışmada önerilen su tasarrufu önerileri ile incelenen prosesler için %31’lik su tasarrufu elde edilebilir (Tablo 2.4.15). Benzer şekilde oluşan atıksuların %24’lük bölümü geri kazanıma yönlendirilebilir. Böylelikle, su tasarrufu ve geri kazanım akımlarının toplam atıksulara oranı %55 düzeyine ulaşabilmektedir.

Tablo 2.4.15. Su Kullanımı Kısıtlaması Uygulanabilir ve Geri Kazanılabilir Nitelikli Atıksu Akımların Toplam Atıksuya Oranları

Proses	İşlenen Kumaş (kg kumaş/gün)	Su Kullanımı-Atıksu Oluşumu		Tasarruf		Geri Kazanım	
		m ³ /300 kg kumaş	m ³ /gün	m ³ /gün	%	m ³ /gün	%
A.2	483	20 veya 22	32.2 veya 35.4	8.1 veya 11.3	25 veya 32	4.8	15 veya 14
A.3	1256	20 veya 23	83.7 veya 96.3	20.9 veya 33.5	25 veya 35	12.6	15 veya 13
B.1	1135	15	56.8	26.5	47	18.9	33
B.2	1263	29	122.1	25.3	21	37.9	31
B.3	1338	30 veya 27	133.8 veya 120.4	53.5 veya 35.7	40 veya 30	26.8	20 veya 22
Toplam	5475	-	428.6 veya 431.0	134.3 veya 132.3	31 veya 31	101	24 veya 23

2.4.2. Tesis İçi Kontrol Metodolojisi ve Uygulanması

Su tasarrufu ve geri kazanımına yönelik tesis içi kontrol uygulama metodolojisinin ilk adımı ayrı akımların karakterize edilmesidir. Karakterizasyondan elde edilecek sonuçlar ise tesiste gerçekleştirilen işlemler sırasında oluşan gereksiz su kullanılan noktaları ve geri kazanılabilir nitelikli atıksu akımlarını belirleyecek şekilde değerlendirilmelidir. Tablo 2.4.16’da verildiği gibi literatürde tekstil endüstrisi boyama atıksularına uyarlanabilecek farklı geri kazanım kriterleri bulunmaktadır (Hoehn, 1998; Li ve Zhao, 1999). Ancak tabloda görülen değerler arasında tam bir tutarlılık olmadığı da söylenebilir.

Tablo 2.4.16. Tekstil Boyama Atıksuları için Geri Kazanım Kriterleri

Parametreler	Li ve Zhao (1999)	Hoehn (1998)
pH	6.5-8.0	6.5-7.5
Toplam KOİ (mg l ⁻¹)	0-160	<50
AKM (mg l ⁻¹)	0-50	<500
TÇM (mg l ⁻¹)	100-1000	
Toplam Sertlik (mg CaCO ₃ l ⁻¹)	0-100	90
Klorür (mg l ⁻¹)	100-300	<150
Toplam Krom (mg l ⁻¹)		0.1
Demir (mg l ⁻¹)	0-0.3	0.1
Mangan (mg l ⁻¹)	<0.05	0.05
İletkenlik (µS cm ⁻¹)	800-2200	
Alkalinite (mg CaCO ₃ l ⁻¹)	50-200	

Geri kazanım akımlarının tanımlanmasında sözü edilen kriterlerle birlikte üreticinin belirlediği özel ihtiyaçlar da göz ardı edilmemelidir. Tesis içi kontrol uygulamaları sonucu ürün kalitesinin düşürülmemesi gereği çok önemli bir noktadır. Su tasarrufu ve geri kazanım uygulaması ancak istenilen ürün kalitesi tutturulabildiği zaman kullanılabilir olacaktır.

Bu çerçevede detaylı karakterizasyon çalışmasından elde edilen verilerin sonuçlarına göre aşağıdaki öneriler ortaya konmuştur:

- i) Ayrık akımlar üzerinde yürütülen konvansiyonel atıksu karakterizasyonu verilerinde aynı numuneye ait tekrar deneyler farklı Toplam KOİ değerlerinin elde edilmesiyle sonuçlanmıştır. Atıksularda bulunan işlenen kumaşdan kaynaklanan lifler nedeniyle ortaya çıkan bu durum, değerlendirmenin çözünmüş KOİ değerlerine dayanarak gerçekleştirilmesinin doğru olacağını göstermiştir.
- ii) Çözünmüş KOİ değerleri 80 mg l⁻¹ veya daha aşağı düştüğünde Akar Çalkalamalar durdurulmalıdır.
- iii) 650 mg l⁻¹ veya daha aşağı çözünmüş KOİ değerine sahip atıksu akımları geri kazanılabilir akımlar olarak tanımlanabilir. İlk bakışta yüksek bir değer gibi gözlemlenebilen bu konsantrasyonun seyrelmeler nedeniyle sonuçta çözünmüş KOİ değeri 200 mg l⁻¹ düzeyine varabilen bir toplam geri kazanılabilir atıksuyu oluşturacağı saptanmıştır. Ayrıca 650 mg l⁻¹'nin altında çözünmüş KOİ değerlerine sahip olsalar bile, ilk doldur-boşalt çalkalama suları ve banyo sularına yardımcı maddeler ilave edilen doldur-boşalt çalkalama sularının geri kazanılabilir nitelikli atıksu akımları içine katılmaması önerilmiştir. İlk doldur-boşalt çalkalama çalkalama deşarjlarının geri kazanılabilir olarak düşünülmemesinin nedeni apre işlemi öncesi uygulanan boyama vs. adımlarda kullanılması olası kimyasalların geri kazanılabilir akıma karışmasını engelleyerek emniyetli tarafta kalmaktır. Benzer şekilde farklı katkı maddeleri kullanımından doğabilecek olumsuz etkileri önlemek amacıyla içine yardımcı madde eklenen doldur-boşalt çalkalama suları da geri kazanılabilir atıksuyun kapsamı dışında bırakılmıştır.

Belirlenen metodolojiye göre bir sonraki adımda su tasarrufu ve geri kazanıma yönelik yukarıda sözü edilen önerilerin ürün kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerinin araştırılması gerekmektedir. Bu araştırmanın sonucunda ise akar çalkalamaların su tasarrufu nedeniyle 5

dakikanın altına indirilmesi durumunda ürün kalitesinin bozulduğu saptanmıştır. Dolayısı ile 5 dakikanın altında akar çalkalama gerçekleştirilmemesi gerektiği önerilmiştir.

Ortaya konulan tesis içi kontrol uygulaması sonucu Tablo 2.4.17'de özetlendiği gibi %34'lük düzeyde su tasarrufu yapmak ve oluşan atıksuların %23'ünü bir ön arıtmadan geçirdikten sonra tekrar kullanmak mümkündür.

Tablo 2.4.17. Önerilen Tesis İçi Kontrol Uygulamalarının Sonuçları

Proses	Ürün	Su Kullanımı		Su Tasarrufu		Geri Kazanılabilir	
		Atıksu Oluşumu				Akımlar	
	(kg kumaş/gün)	(m³/300 kg kumaş)	(m³/gün	(m³/ gün)	(%)	(m³/ gün)	(%)
)							
100% yün ve 96% yün + 4% Lycra							
İpliği Boyalı	483	22	35.4	11.3	32	4.8	14
Melanj	1256	23	96.3	33.5	35	12.6	13
50% yün + 50% PES and 48% yün + 48% PES + 4% Lycra							
Top Boyama	1135	15	56.8	26.5	47	18.9	33
İpliği Boyalı	1263	29	122.1	25.3	21	37.9	31
Melanj	1338	30	133.8	53.5	40	26.8	20
TOTAL	5475	-	444.4	150.1	34	101	23

PES: poliester

2.4.3. Geri Kazanılabilir Akımların Arıtılabilirliği

Bazı geri kazanım uygulamaları ön arıtma gerektirirler. Tekstil endüstrisinde geri kazanılabilir atıksu akımlarına en çok uygulanan arıtma alternatifleri ozonlama ve kimyasal arıtmadır. (Elders, 1995). Bu çerçevede daha önce saptanmış olan geri kazanılabilir nitelikli akımların arıtılabilirlik çalışmaları ozon ve farklı koagülant-flokülantlar kullanılarak deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Geri kazanılabilir atıksu akımlarının önerilen şekilde toplandığı dengeleme tankından alınan ham atıksu numunelerinin karakterizasyonu Tablo 2.4.18'de verilmektedir.

Tablo 2.4.18. Ham Geri Kazanılabilir Atıksu Karakterizasyonu

Parametre	I.	II.
	Numune	Numune
Toplam KOİ (mg l ⁻¹)	180	235
Çözünmüş KOİ (mg l ⁻¹)	120	175
AKM (mg l ⁻¹)	15	15
TÇM (mg l ⁻¹)	340	345
Toplam Sertlik (mgCaCO ₃ l ⁻¹)	*	*
Klorür (mg l ⁻¹)	<100	<100
Toplam Krom (mg l ⁻¹)	<0.5	<0.5
Demir (mg l ⁻¹)	<1	<1
Mangan (mg l ⁻¹)	<0.3	<0.3
İletkenlik (µMhos cm ⁻¹)	550	625
Alkalinite (mgCaCO ₃ l ⁻¹)	135	120
Renk (Pt-Co)	20	30
pH	7.10	7.19

*ölçüm limitlerinin altında

Ham atıksu karakterizasyonundan elde edilen veriler değerlendirildiğinde; AKM, TÇM, toplam sertlik, klorür, iletkenlik ve alkalinite değerlerinin Tablo 2.4.16'da sunulan tekstil boyama atıksuları geri kazanım kriterlerinin altında kaldığı saptanmıştır. Öte yandan ham geri kazanılabilir atıksuyun toplam krom, demir ve mangan içeriği üreticinin belirlediği kaliteyi tutturmaktadır. Bu bulgulardan hareketle, geri kazanılabilir atıksu akımlarında sadece KOİ parametresinin giderilmesinin yeterli olacağı belirlenmiş ve arıtılabilirlik çalışmaları bu doğrultuda yönlendirilmiştir.

Tablo 2.4.18'de karakterizasyonu verilen 1. numune $\text{FeCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, alümin ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) ve sodium bentonit kullanılarak arıtılabilirlik deneylerine tabi tutulmuştur. Numune II ise ozonlanmıştır. Tablo 2.4.19'da sonuçları özetlenen ozonlama deneylerine göre çok yüksek ozon dozları uygulandığında bile çözünmüş KOİ giderim veriminin ancak %40'lara ulaşabildiği saptanmıştır. Söz konusu yüksek ozon dozları çıkış çözünmüş KOİ konsantrasyonlarını 100 mg/l'nin altına indirememiştir.

Tablo 2.4.19. Ozonlama Sonuçları

Parametre	Ozon Besleme Süresi				
	-	5 dakika	10 dakika	15 dakika	30 dakika
Ozon Akısı (mg min^{-1})	-	58	58	58	58
Kullanılan Ozon (mg)	-	25	150	405	1255
Toplam KOİ (mg l^{-1})	235	195	170	150	120
Toplam KOİ Giderimi (%)	-	17	28	36	49
Çözünmüş KOİ (mg l^{-1})	175	155	140	130	105
Çözünmüş KOİ Giderimi (%)	-	11	20	26	40
İletkenlik ($\mu\text{Mhos cm}^{-1}$)	625	640	620	620	600
Alkalinite ($\text{mgCaCO}_3 \text{ l}^{-1}$)	120	110	90	60	60
Renk (Pt-Co)	30	10	0	0	0
Renk Giderimi (%)	-	67	100	100	100
pH	7.19	7.68	7.52	7.38	7.31

Geri kazanılabilir atıksu akımları üzerinde yürütülen kimyasal arıtılabilirlik deneylerinin sonuçları Tablo 2.4.20'de verilmektedir. Üreticiler suyun tekrar kullanımı sonucu tekstil ürünleri üzerinde renkli leke bırakabileceğinden genellikle koagülan olarak demir tuzlarının kullanımını tercih etmemektedirler. Buna rağmen bu çalışmada FeCl_3 ile arıtılabilirlik de gerçekleştirilmiştir. Tabloda özetlenen bulgular sodium bentonit uygulamaları ile iyi çamur karakteri ve yeterli KOİ gideriminin sağlanabildiğini göstermektedir. Öte yandan benzer sonuçları daha ucuz bir uygulama olan alümin ile de sağlamak olası görülmektedir.

Tablo 2.4.20. Kimyasal Arıtılabilirlik Sonuçları

Parametre	Alümin			FeCl_3			Sodyum Bentonit		
Dozaj (mg l^{-1})	50	75	100	50	75	100	500	1000	1500
Toplam KOİ (mg l^{-1})	55	65	30	70	65	60	75	85	55
Toplam KOİ Giderimi (%)	69	64	83	61	64	67	58	53	69
İletkenlik ($\mu\text{Mhos cm}^{-1}$)	600	600	600	570	580	590	580	660	900
Alkalinite ($\text{mgCaCO}_3 \text{ l}^{-1}$)	50	90	65	125	105	85	155	180	240
Renk (Pt-Co)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TÇM (mg l^{-1})	405	405	400	385	350	355	350	455	615
Çİİ (ml g^{-1})	140	105	105	95	115	155	30	25	15

2.4.4. Tesis İçi Kontrol Uygulamalarının Oluşan Atıksuyun Arıtılabilirliği Üzerindeki Etkisi

Tek başına kimyasal arıtma, tekstil atıksularına uygulanan deşarj standartlarının sağlanmasında yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle özellikle tekstil son işlemleri endüstrisinden kaynaklanan atıksular yaygın olarak biyolojik arıtma sistemleri kullanılarak arıtılmaktadırlar (Germirli Babuna ve diğerleri, 1998b; Germirli Babuna ve diğerleri, 1999; Orhon ve diğerleri, 2001a). Daha önce kavramsal yaklaşım bölümünde de değinildiği gibi günümüz biyolojik arıtılabilirlik anlayışında atıksuların içerdiği inert KOİ bileşenleri önem kazanmıştır (Orhon ve Artan, 1994). Öte yandan endüstride gereksiz su tüketimlerinin engellenmesi ve geri kazanılabilir nitelikli atıksu akımlarının ayrılması daha kuvvetli karaktere sahip ve büyük olasılıkla daha fazla düzeyde kalıcı maddeler içeren bir atıksuyun ortaya çıkmasıyla sonuçlanmaktadır (Orhon ve diğerleri, 2001b). Bu çerçevede ele alındığında irdelenmesi gereken en önemli nokta *ham* atıksuyun ve tesis içi kontrol uygulamaları sonucu ortaya çıkacak *kalan* diye isimlendirilen atıksuyun biyolojik ayrışabilirlikleridir. Bu iki atıksuyun ayrışabilirlik düzeyleri KOİ bileşenleri saptanarak karşılaştırıldığında tesis içi kontrol uygulamalarının arıtılabilirlik açısından fizibilitesi ele edilecektir.

Tablo 2.4.21'de *ham* atıksu ve *kalan* atıksuda konvansiyonel kirletici parametreler çerçevesinde gerçekleştirilen konvansiyonel karakterizasyon sonuçları özetlenmektedir.

Tablo 2.4.21 Ham ve Kalan Atıksuların Konvansiyonel Karakterizasyonu

Parametre	Ham Atıksu	Kalan Atıksu
Toplam KOİ (mg l ⁻¹)	687	1460
Çözünmüş KOİ (mg l ⁻¹)	455	970
AKM (mg l ⁻¹)	85	190
UAKM (mg l ⁻¹)	80	180
TÇM (mg l ⁻¹)	380	640
TKN (mg l ⁻¹)	19.5	30
NH ₃ -N (mg l ⁻¹)	8	18
TP (mg l ⁻¹)	0.8	1.2
İletkenlik (µS cm ⁻¹)	620	655
Alkalinite (mgCaCO ₃ l ⁻¹)	108	106
Renk (Pt-Co)	220	440
pH	7.11	6.16
Debi (m ³ /gün)	444.4	294.3

Tablodaki değerler beklentilere uygun olarak kalan atıksuyun ham atıksu ile karşılaştırıldığında daha kuvvetli bir yapıda olduğunu göstermektedir.

Deneyssel olarak saptanmış ham ve kalan atıksulara ait KOİ bileşenleri Tablo 2.4.22'de verilmektedir. Çözünmüş inert KOİ, S_{IO}, ve partiküler inert KOİ, X_{IO}, biyolojik arıtmadan biyokimyasal reaksiyonlardan etkilenmeksizin doğrudan geçeceklerdir. Öte yandan kolay ayrışabilir KOİ, S_{SO}, hızlı hidroliz olabilen KOİ, S_{H0} ve yavaş hidroliz olabilen KOİ, X_{SO} atıksuyun biyolojik olarak ayrışabilir nitelikli bölümünü oluşturmaktadırlar.

Tablo 2.4.22 Ham Atıksu ve Kalan Atıksuyun KOİ Bileşenleri

Atıksudaki KOİ Bileşenleri	Ham Atıksu		Kalan Atıksu	
	[mg l ⁻¹]	[%]	[mg l ⁻¹]	[%]
Kolay Ayrışabilir KOİ, S ₅₀	220	32	485	33
Çözünmüş İnert KOİ, S ₁₀	32	5	67	5
Hızlı Hidroliz Olabilen KOİ, S _{H0}	203	30	418	29
Yavaş Hidroliz Olabilen KOİ, X ₅₀	160	23	341	23
Partiküler İnert KOİ, X ₁₀	72	10	149	10
Toplam KOİ	687		1460	

Tablo 2.4.22'deki sonuçlar uyarınca hem ham hem de kalan atıksuda biyolojik olarak ayrışabilir nitelikli KOİ'nin toplam atıksu KOİ'sinin yaklaşık % 85'i olduğu belirlenmiştir. Ham ve kalan atıksuların çözünmüş inert KOİ ve partiküler inert KOİ içerikleri eşdeğerdir. Her iki atıksuda da % 5 düzeyinde çözünmüş inert KOİ ve %10'luk partiküler inert KOİ olduğu gözlemlenmiştir. Ham ve kalan atıksuların hidroliz olabilen KOİ bileşenleri de birbirlerine benzer oranlardadır. Gereksiz su tüketimlerinin kısıtlanması ve geri kazanılabilir nitelikli atıksu akımlarının ayrılması noktalarını içeren tesis içi kontrol uygulamalarının pratikte oluşan atıksulardaki KOİ bileşenlerinin oranları üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Ancak sözkonusu tesis içi kontrol uygulamaları ile atıksulardaki çözünmüş inert KOİ düzeyinin % 100'ün arttığı gözardı edilmemelidir.

BÖLÜM 3: SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tekstil endüstrisi kullanılan hammadde ve kimyasal maddelerin, gerçekleştirilen işlemlerin, her işlem için uygulanan teknolojilerin çeşitliliği nedeni ile son derece değişken yapıya sahip bir endüstri dalıdır. Tekstil endüstrisinin karmaşık yapısı endüstriden kaynaklanan atıksulara da yansdığından konuya ilişkin sürekli ek bilimsel girdi üretilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Yünlü kumaş son işlemler altkategorisinde faaliyet gösteren bir tekstil endüstrisi örneğinde proses içinde gereksiz su tüketen noktaların saptanması ve atıksu geri kazanım olasılıklarının belirlenmesini kapsayan tesis içi kontrol uygulamaları ve bu uygulamaların oluşacak atıksuyun arıtılabilirliği üzerindeki etkilerinin ortaya konulmasını içeren bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır:

Tüm sağlıklı endüstriyel kirlenme kontrolü uygulamalarında olduğu gibi tekstil endüstrisinde de öncelikle tesis içi kontrol gerçekleştirilmeli, bunu izleyen ikinci adımda ise oluşacak atıksuyun miktar ve karakterine göre tasarlanacak bir arıtma tesisi işletilmelidir. Söz konusu iki aşamayı içeren böylesi bir yaklaşım sonucu düşük debiye sahip, yüksek konsantrasyonda kirletici içeren atıksuların eldesi olasıdır. Bu nedenle tesis içi kontrol sonucu meydana gelecek atıksu arıtımında karşılaşılabilecek güçlükler gözardı edilmemeli, mutlaka ön araştırmalar yapıldıktan sonra uygulamaya geçilmelidir.

Proseslerde gereksiz su tüketen yerlerin saptanması ve geri kazanılabilecek atıksu akımlarının belirlenmesine yönelik tesis içi kontrol uygulamasının ilk adımı ayırık akımların karakterize edilmesidir. Karakterizasyondan elde edilecek sonuçlar üreticinin belirlediği özel ihtiyaçlar göz ardı edilmeden literatürde verilen geri kazanım kriterleri ışığında değerlendirilmelidir. Tesis içi kontrol uygulamaları sonucu ürün kalitesinin düşürülmemesi gereği çok önemli bir noktadır. Su tasarrufu ve geri kazanım uygulaması ancak istenilen ürün kalitesi tutturulabildiği zaman kullanılabilir. Bu çerçevede incelenen endüstride gerçekleştirilen detaylı karakterizasyon verilerine göre:

- i) Ayırık akımlar üzerinde yürütülen konvansiyonel atıksu karakterizasyonu incelendiğinde atıksularda bulunan işlenen kumaş kaynaklı lifler nedeniyle aynı numuneye ait tekrar deneylerin farklı toplam KOİ değerleri ile sonuçlandığı gözlemlenmiştir. Bu durum değerlendirmenin çözünmüş KOİ değerlerine dayalı yürütülmesi gereğini ortaya koymuştur.
- ii) Gereksiz su tüketimlerinin engellenmesi için çözünmüş KOİ değerleri 80 mg l^{-1} veya daha aşağı düştüğünde akar çalkalamaların durdurulması önerilmektedir.
- ii) 650 mg l^{-1} veya daha aşağı çözünmüş KOİ değerine sahip atıksu akımları geri kazanılabilir akımlar olarak tanımlanmıştır. İlk bakışta yüksek bir değer gibi görünen bu konsantrasyonun seyrelmeler nedeniyle sonuçta çözünmüş KOİ değeri 200 mg l^{-1} düzeyine varabilen bir toplam geri kazanılabilir atıksuyu oluşturacağı saptanmıştır. Ayrıca 650 mg l^{-1} 'nin altında çözünmüş KOİ değerlerine sahip olsalar bile, ilk doldur-boşalt çalkalama suları ve banyo sularına yardımcı maddeler ilave edilen doldur-boşalt çalkalama sularının geri kazanılabilir nitelikli atıksu akımları içine katılmaması önerilmiştir. İlk doldur-boşalt çalkalama deşarjlarının geri kazanılabilir olarak düşünülmemesinin nedeni apre işlemi öncesi uygulanan boyama vs. adımlarda kullanılması olası kimyasalların geri kazanılabilir akıma karışmasını engelleyerek emniyetli tarafta kalmaktır. Benzer şekilde farklı katkı maddeleri kullanımından

doğabilecek olumsuz etkileri önlemek amacıyla içine yardımcı madde eklenen doldur-boşalt çalkalama suları da geri kazanılabilir atıksuyu kapsamı dışında bırakılmıştır.

Gereksiz su kullanımlarının kısıtlanması ve geri kazanıma yönelik yukarıda sözü edilen önerilerin ürün kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerinin araştırılması sonucu akar çalkalamaların su tasarrufu nedeniyle 5 dakikanın altına indirilmesi durumunda ürün kalitesinin bozulduğu saptanmıştır. Dolayısı ile 5 dakikanın altında akar çalkalama gerçekleştirilmemesi gerektiği belirlenmiştir.

Ortaya konulan tesis içi kontrol uygulaması sonucu proseslerde kullanılmakta olan suyun %34'ünü tasarruf etmek ve oluşan atıksuların %23'ünü bir ön arıtmadan geçirdikten sonra tekrar kullanmak mümkündür.

Arıtmadan geçmemiş geri kazanılabilir nitelikli atıksuyun proseslerde tekrar kullanımı için sadece içerdiği KOİ düzeyinin düşürülmesi gerektiği saptanmıştır. Bu çerçevede ozon, $\text{FeCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) ve sodium bentonit kullanılarak arıtılabilirlik deneyleri yürütülmüştür. Ham geri kazanılabilir atıksu üzerinde çok yüksek ozon dozları uygulandığında bile çözünmüş KOİ giderim verimi ancak %40'lara ulaşabildiğinden ozonlamanın uygun bir arıtma alternatifi olmadığı belirlenmiştir. Bulgular sodium bentonit uygulamaları ile iyi çamur karakteri ve yeterli KOİ gideriminin sağlanabildiğini göstermekte, benzer sonuçları daha ucuz bir uygulama olan alum ile de sağlamak olası görülmektedir.

Tesis içi kontrol uygulamalarının oluşacak atıksuyun biyolojik ayrışabilirliği üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla ham atıksu ve tesis içi kontrol uygulamaları sonucu ortaya çıkan *kalan* diye isimlendirilen atıksu ile gerçekleştirilen çalışma sonuçlarına göre:

- i) Beklentilere uygun olarak kalan atıksuyun ham atıksu ile karşılaştırıldığında daha kuvvetli bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir.
- ii) Biyolojik olarak ayrışabilir nitelikli KOİ'nin toplam atıksu KOİ'sine oranı hem ham hem de kalan atıksuda yaklaşık %85 düzeyindedir. Ham ve kalan atıksuların çözünmüş inert KOİ ve partiküler inert KOİ içerikleri eşdeğerdir ve her iki atıksuda da %5'lik çözünmüş inert KOİ ve %10'luk partiküler inert KOİ olduğu saptanmıştır. Ham ve kalan atıksuların hidroliz olabilir KOİ bileşenleri de birbirlerine benzer oranlardadır. Böylelikle sözkonusu tesis içi kontrol uygulamalarının pratikte oluşan atıksulardaki KOİ bileşenlerinin oranları üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Ancak gözardı edilmemesi gereken nokta gereksiz su tüketimlerinin kısıtlanması ve geri kazanılabilir nitelikli atıksu akımlarının ayrılmasını kapsayan tesis içi kontrol uygulamaları ile atıksulardaki çözünmüş inert KOİ konsantrasyonunun yaklaşık %100 oranında arttığıdır.

Bu çalışmada yünlü son işlemleri yapan bir tekstil endüstrisi için ortaya konulan tesis içi kontrol uygulamalarını içerir nitelikli endüstriyel kirlenme kontrolü yaklaşımının farklı üretim proseslerini sürdüren diğer tekstil endüstrilerine de uyarlanması ve böylelikle bilimsel esaslara dayalı bir veri tabanının oluşturulması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- ABETA, S., Yoshida, T. and Imada, K., Problems and progress in reactive dyes, *Am. Dyestuff Rep.*, **73**, 20-49, (1984).
- ATV-Handbuch, *Biologische und Weitergehende Abwasserreinigung*, Ernst&Sohn A Wiley Company, 4. Auflage, Berlin, (1997).
- BESZEDITS, S., Ozonation to decolor textile effluents, *Am. Dyestuff Rep.*, **69**, (8), 37, (1980).
- BROWER, G. R. and Reed, G. D., Economic pretreatment for color removal form textile dye wastes, *Proc. 41st Purdue Industrial Waste Conference*, Lafayette, Ind., USA (1987).
- DEMMIN, R. T. and Uhrich, D. K., Improving carpet wastewater treatment, *Am. Dyestuff Rep.*, **77**, 13-18, (1988).
- DOHANYAS, M., Madera, V. and Sedlacek, M., Removal of organic dyes by activated sludge, *Prog. Wat. Tech.*, **10**, 559-575, (1978).
- DOLD, P. L., Ekama, G. A., Marais, G. v. R., "A General model for the Activated Sludge Process", *Prog. Wat. Technol.* Vol.12, 47-77, (1980).
- EKAMA G. A., Dold P. L. and Marais G. v. R., Procedures for Determining Influent COD Fractions and the Maximum Specific Growth Rate of Heterotrophs in Activated Sludge Systems, *Wat. Sci. Tech.* **18**, 6, 91-114, (1986).
- ELVERS, B. "*Elvers' s Encyclopedia of Industrial Chemistry*", Vol. A26, Chapter 14, 487 sayfa, (1995).
- ERMEKTAR, G., Germirli, F., Çeki, S., Tünay, O. "Tekstil Endüstrisi Atıksularında İnert KOİ-Örnek Uygulama", *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*, **7** (2), 25-31, (1997).
- FREEMAN, H. M., Pollution prevention in the textile industries, in *Industrial Pollution Prevention Handbook*, McGraw-Hill, Inc, (1995).
- GAEHR, F., Hermanutz, F. and Oppermann, W. Ozonation – An important technique to comply with new German laws for textile wastewater treatment. *Wat. Sci. Tech.*, **30** (3), 255-263, (1994).
- GANESH, R., Boardman, G. D. and Michelsen, D., Fate of azo dyes in sludges, *Wat. Res.*, **28** (6), 1367-1376, (1994).
- GERMIRLI BABUNA, F., Dulkadiroğlu, H., Insel, H. G., Karahan, Ö. ve Orhon, D., Tekstil Endüstrisinde Tesis İçi Kontrol – Genel Bakış, İTÜ 6. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu'98, Bildiriler Kitabı, 3-5 Haziran, İstanbul, (1998a).
- GERMIRLI BABUNA F., Orhon D., Ubay Çokgör E., Insel G., Yapraklı B., Modelling of Activated Sludge for Textile Wastewaters, *Wat. Sci. Tech.*, **38**, 4-5, 9-17, (1998b).
- GERMIRLI F., Tünay O. and Orhon D. An overview of the textile industry in Turkey – pollution profiles and treatability characteristics. *Wat. Sci. Tech.*, **22**(9), 265-274, (1990).
- GERMIRLI F., Orhon D. and Artan N., Assessment of the Initial Inert Soluble COD in Industrial Wastewaters, *Wat. Sci. Tech.* **23**, 4-6, 1077-1086, (1991).

- GERMIRLI F., Orhon D., Artan N., Ubay E. and Görgün E., Effect of two-stage treatment on the biological treatability of strong industrial wastewaters, *Wat. Sci. Tech.*, 28, 145, (1993).
- GERMIRLI Babuna, F., Soyhan, B., Eremektar, G. and Orhon, D. Evaluation of treatability for two textile mill effluents. *Wat. Sci. Tech.*, 40 (1), 145-152, (1999).
- GÖKNİL, H., Toröz, İ. ve Çimşit, Y., *Endüstriyel Atıksuların Kontrol ve Kısıtlama Esasları Projesi – Tekstil Endüstrisi*, İTÜ Çevre ve Şehircilik Uygulama Araştırma Merkezi, İstanbul, (1984).
- GOULD J. P. and Groff K. A., Kinetics of ozonolysis of synthetic dyes, *Ozone Sci. Engineering*, 9, (2), 153-164, (1987).
- GRAU, P. (1991) "Textile Industry Wastewaters Treatment", *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 24, No.1, 97-103.
- GREEN, J. M. and Sokol C., Using ozone to decolor dyeing plant wastewater, *Am. Dyestuff Rep.*, 74, (4), 50-67, (1985).
- GROVES, G. R. and Buckley, C. A., Treatment of textile effluents by membrane separation processes, *Proc. 7th International Symposium On Fresh Water From The Sea*, (1980).
- GURNHAM, C. F., *Industrial Waste Control*, Academic Press, New York, USA, (1965).
- HAMZA, A. and Hamoda, M. F., Multiprocess treatment of textile wastewater, *Proc. 35th Purdue Industrial Waste Conference*, Lafayette, Ind., USA, (1980).
- HENZE M., Characterization of Wastewater for Modelling of Activated Sludge Processes, *Wat. Sci. Tech.*, 25, 6, 1-15, (1992).
- HENZE M., Grady C. P. L. Jr., Gujer W., Marais G. v. R. and Matsuo T., Activated Sludge Model No.1, IAWPRC Scientific and Technical Report No. 1, IAWPRC, London. (1987)
- HOEHN, W., *Textile Wastewater-Methods to Minimize and Reuse*. Textilveredlung, reuse standards, Thies-Handbuch für den Garnfaerber, (1998).
- ISO, *Water Quality-Determination of the Chemical Oxygen Demand*, Ref. No. ISO 6060, (1986).
- İTKİB, Turkish Textile and Apperal Industry, General Secreteriat of İTKİB Research and Legislation Department, (1995).
- JEDELE, K., Entfärbung von Textilabwässern. Referat 10: 4. Deutsch-Türkisches Umweltschutz-Seminar, Istanbul, Türkei, (1982).
- KAPPELER J. and Gujer W., Estimation of Kinetic Parameters of Heterotrophic Biomass Under Aerobic Conditions and Characterization of Wastewater for Activated Sludge Modelling, *Wat. Sci. Tech.*, 25, 6, 125-139, (1992).
- KNAPP, J. S. and Newsby, P. S., The microbiological decolorization of an industrial effluent containing a diazo-linked chromophore, *Wat. Res.*, 29 (7), 1807-1809, (1995).
- KUO, W.G., Decolorizing dye wastewater with Fenton's Reagent. *Wat. Res.*, 26 (7), 881-886, (1992).
- LI, X. Z. and Zhao, Y. G., Advanced treatment of dyeing wastewater for reuse, *Wat. Sci. Tech.*, 39 (10-11), 245-255, (1999).
- LIN, S. H. and Chen, M. L. Treatment of textile wastewater by chemical methods for reuse. *Wat. Res.*, 31 (4), 868-876, (1997).

- LIN, S. H. and Lin, C. M. Decolorization of textile waste effluents by ozonation, *J. Environmental Systems*, **21** (2), 143-156, (1992).
- LIN, S. H. and Lo, C. C., Fenton process for treatment of desizing wastewater, *Wat. Res.*, **31** (8), 2050-2056, (1997).
- LIN, S. H. and Peng, C. F., Treatment of textile wastewater by electrochemical method, *Wat. Res.*, **28** (2), 277-282, (1994).
- McKAY, G., Color removal by adsorption, *Am. Dyestuff Rep.* **69**, (1980).
- McKAY, G., The adsorption of dyestuffs from aqueous solutions using the activated carbon adsorption model to determine breakthrough curves, *Chem. Engineering J.*, **28**, (1984).
- ORHON D. and Artan N., *Modelling of Activated Sludge Systems*, Technomic Press, Lancaster, PA. (1994), Pp: 589.
- ORHON, D., Artan, N. and Ateş, E., A description of three methods for the determination of the initial inert particulate chemical oxygen demand of wastewater, *J. Chem. Tech. Biotech.*, **61**, 73-80, (1994).
- ORHON, D., Germirli Babuna, F. and Insel, G., Characterization and modelling of denim processing wastewaters for activated sludge. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **76**(1), 1-13, (2001a).
- ORHON, D., Germirli Babuna, F., Kabdaşlı, I., Insel, G., Karahan, Ö., Dulkadiroğlu, H., Doğruel, S., Sevimli, F. and Yediler, A., A scientific approach to wastewater recovery and reuse in the textile industry. *Wat. Sci. Tech.*, **43**(11), 223-231, (2001b).
- PAGGA, U. and Brown, D., The degradation of dyestuffs-Part II Behaviour of dyestuffs in aerobic biodegradation tests, *Chemosphere*, **15**, 479-491, (1986).
- PAGGA, U. and Taeger, K., Development of a method for adsorption of dyestuffs on activated sludge, *Wat. Res.*, **28** (5), 1051-1057, (1994).
- PAPROWICZ, J. and Ślodeczyk, S., Application of biologically activated sorptive columns for textile wastewater treatment, *Environmental Tech. Lett.*, **9**, (1988).
- PONTIUS, F. W., *Water Quality and Treatment*, McGraw-Hill, New York, (1990)
- POWELL, W. W., Michelsen, D. L., Boardman, G. D., Dietrich, A. M. and Woodby, R. M., Removal of color and TOC from segregated dye discharges using ozone and fenton's reagent, *Proceedings of the First International Symposium, Chemical Oxidation Technology for the Nineties*, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, February 20-22, 1991, Eds. Eckenfelder, W., Bowers, A. R. and Roth, J. A., Lancaster, Pa, Technomic Pub. Co., **1**, 278-300, (1992).
- ROUTE, Emisyonların Azaltılması ve Hammaddelerin Korunması için Üretime Entegre Edilmiş Tedbirler, Tekstil Endüstrisinde Çevre Koruma Sempozyumu, Sempozyum Kitabı, Kasım 1996, Ankara, (1996).
- SCHÖNBERGER, H. and Kaps, U., *Reduktion der Abwasserbelastung in der Textilindustrie*, Forschungsbericht 102 06 511 UBA-FB, Berlin, (1994).
- SCHRÖDER, H. F., Eliminationsverhalten von Schadstoffen gewerblicher Abwässer bei biologischer, physikalischer und physikalisch-chemischer Abwasserbehandlung; *Vom Wasser*, **83**, 187-201, (1994).
- SEWEKOW, U., Behandlung von reaktivfarbigen Abwässern mit Wasserstoffperoxid / eisen(II)sulfat. *Melliand Textilberichte*, **74** (2), 153-157, (1993).

- SMITH, B., *Identification and Reduction of Pollution Sources in Textile Wet Processing*, Office of Waste Reduction, North Carolina Department of Environment, Health and Natural Resources, 129 sayfa, (1986).
- SMITH, B., *A Workbook for Pollution Prevention by Source Reduction in Textile Wet Processing*, Office of Waste Reduction, Department of Environment, Health and Natural Resources (DEHNR), 69 sayfa, (1988).
- SNIDER, E. H. and Porter J. J., Ozone treatment of dye waste, *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, **46**, (5), 886-894, (1974).
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th edn, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA, (1998).
- THE WORLD BANK, *Pollution Prevention and Abatement Handbook - Part III: Textile Industry*, Environment Department, (1997).
- TÜNAY, O., Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında kullanılan yöntem ve yaklaşımlar, *Tekstil ve Teknik*, Mayıs 1988, 98-101, (1988).
- TÜNAY, O.,¹ Tameroğlu, O., Baykal, N., Afşarınal, F. and Ödemiş, E., Pretreatment of textile processing wastewaters, *International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries*, İstanbul, 25-27 September, 17-24, (1989).
- TÜNAY, O., *Endüstriyel Kirlenme Kontrolü*, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 128 sayfa, (1996).
- TÜNAY O., Kabdaşlı I., Eremektar G. and Orhon D., Color removal from textile wastewaters. *Wat. Sci. Tech.*, **34**(11), 9-16, (1996).
- UBAY ÇOKGÖR E., *Respirometric evaluation of process kinetic and stoichiometry for aerobic systems*, Ph.D. Thesis, Istanbul Technical University, (1997).
- UNEP IE, *The textile industry and the environment*, Technical Report, No. 16, (1994).
- VAN VELDHUISEN, D. R., *Technical and Economic Aspects of Measures to Reduce Water Pollution from The Textile Finishing Industry*, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, (1994).
- WEBER, J. R. and Walter, J., *Physicochemical Processes for Water Quality Control*, Wiley Inc., New York, (1972).
- WAGNER, V., "Über die oxidative Behandlung von farbigen Abwässern und Lösungen aus der Textilveredlungsindustrie mit Kombinationen von O₃, H₂O₂, UV-Strahlung", (1995).
- YOUNG, L. and Yu, J., Ligninase-catalysed decolorization of synthetic dyes, *Wat. Res.*, **31** (5), 1187-1193, (1997).

BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU

1. Proje No: YDABÇAG-199Y114	2. Rapor Tarihi: 20 / 07 / 2002
3. Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 1 / 02 / 2000 - 1 / 02 / 2002	
4. Projenin Adı: Tekstil Endüstrisi Yünlü Kumaş Son İşlemlerinde Geri Kazanım ve Yeniden Kullanım	
5. Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Proje Yürütücüsü: Prof. Dr. Fatoş Germirli-Babuna Yardımcı Araştırmacılar: Yük. Müh. Hakan Dulkadiroğlu, Yük. Müh. Serdar Doğruel, Doç. Dr. Gülen Eremektar, Prof. Dr. Derin Orhon, Hıjla Üner, Yük. Müh. Özlem Karahan-Gül	
6. Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 80626 Maslak, İstanbul	
7. Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: İstanbul Teknik Üniversitesi, Araştırma Fonu, 80626 Maslak, İstanbul	
8. Özet (Abstract): Tekstil endüstrisi ülkemizdeki endüstri dallarının en önemlilerinden biri olduğundan, bu endüstride üretim ve atıksu karakterizasyonu arasındaki ilişkileri doğru kurabilmek, tesis içi kontrol uygulamalarını sağlıklı belirleyebilmek çevre kirlenmesi kontrolüne önemli katkılar sağlayacaktır. Tekstil endüstrisi kullanılan hammadde ve kimyasal maddelerin, gerçekleştirilen işlemlerin, her işlem için uygulanan teknolojilerin çeşitliliği nedeni ile son derece değişken yapıya sahip bir endüstridir. Tekstil endüstrisinde tesis içi kontrol yöntemleri uygulanarak su kullanımı ve atıksu oluşumu, hammadde ve enerji sarfiyatı ve hatta bazı durumlarda deşarj edilen kirlenici miktarlarında kayda değer oranlarda azalmalar sağlanmaktadır. Tesis içi kontrol yöntemleri, suyun tekrar kullanımı, su kullanımının azaltılması, kullanılan kimyasallarda değişiklik ve madde geri kazanımı olarak dört ana grupta toplanabilir. Tekstil endüstrisinde tesis içi kontrol yöntemlerinden gereksiz su kullanımlarının kısıtlanması ile su tüketiminde %10-30 arasında azalma sağlanabilmektedir. Öte yandan tüm endüstriyel faaliyetler için olduğu gibi tekstil endüstrisinde de kullanılacak su yüksek maliyetlerle elde edildiğinden atıksu geri kazanım ve tekrar kullanımı önem kazanmaktadır. Bu çerçevede bu çalışma, seçilen bir yün son işlemler endüstrisinde atıksu oluşumu, atıksu karakterizasyonu, kirlenme profili, gereksiz su tüketen noktaların belirlenmesi, geri kazanım gerçekleştirilecek atıksu akımlarının tanımlanması, atıksu yeniden kullanımı için gerekli arıtma düzeyinin saptanması, su tüketiminin kısıtlanması ve atıksu geri kazanımından meydana gelen tesis içi kontrol uygulamalarının oluşacak atıksuların biyolojik ayrışma düzeyleri üzerindeki etkisinin belirlenmesini içeren bir incelemeyi kapsamaktadır. Geri kazanılabilir atıksu akımları üzerinde yürütülen kimyasal arıtlabilirlik çalışmalarının yanı sıra, atıksuyun KOİ bileşenlerini kapsayan biyolojik arıtlabilirlik deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Yürütülen çalışmanın sonuçlarına göre tesis içi kontrol ile su tüketiminde % 34 oranında bir azalma sağlanabileceği ve oluşan atıksuların % 23'ü geri kazanılıp uygun bir arıtmadan geçirildikten sonra tekrar kullanılabilirliği belirlenmiştir. Tesis içi kontrol uygulamalarının meydana gelecek atıksudaki KOİ bileşenlerinin oranları üzerinde bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiş, ancak tesis içi kontrol sonucu beklendiği gibi daha kuvvetli bir atıksu elde edildiğinden inert KOİ konsantrasyonunda % 100'ün üzerinde bir artış saptanmıştır. Anahtar Kelimeler: Tekstil endüstrisi, Geri kazanım, Yeniden kullanım, Yünlü kumaş son işlemleri, KOİ bileşenleri	
9. Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler: H. Dulkadiroğlu, G. Eremektar, S. Doğruel, H. Üner, F. Germirli-Babuna, D. Orhon, "In-plant Control Applications & their Effect on Treatability of a Textile Mill Wastewater", Proceedings of 5 th International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries, IWA, Agro 2001, 153-160, 16-18 Kasım 2001, Shiga, Japonya. (bu tebliğ ayrıca Water Science & Technology dergisinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir) S. Doğruel, H. Dulkadiroğlu, G. Eremektar, F. Germirli-Babuna, D. Orhon, "Water Conservation and Wastewater Recovery and Reuse for a Wool Finishing Textile Industry", Proceedings of Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Technologies for Developing Countries, Volume 4, 1915-1922, temmuz 2002, İstanbul, Türkiye.	
10. Bilim Dalı:	ISIC Kodu:
Doçentlik B. Dalı Kodu:	
Uzmanlık Alanı Kodu:	
11. Dağıtım (*)	☐ Sınırlı ☐ XSınırsız
12. Raporun Gizlilik Durumu:	☐ Gizli ☐ XGizli Değil

* Projenizin Sonuç Raporunun ulaştırılmasını istediğiniz kurum ve kuruluşları ayrıca belirtiniz.