

175808

**AKRİLİK VE POLYAMİD ELYAF ESASLI
HALI TERBİYESİ ATIKSULARININ
KARAKTERİZASYONU VE BİYOLOJİK ARITILABİLİRLİĞİ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Günay YILDIZ
(Enstitü No: 501992315)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Şubat 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Temmuz 2005**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Derin ORHON
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Orhan YENİGÜN(B.Ü.)
Prof.Dr. Fatoş GERMİRLİ BABUÑA(İ.T.Ü.)
Doç. Dr. Beyza ÜSTÜN (Y.T.Ü.)
Doç.Dr. Emine UDAY ÇOKGÖR(İ.T.Ü.)**

[Handwritten signatures of the jury members]

TEMMUZ 2005

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında; öncelikle bu konuda çalışmam için beni teşvik eden ve her aşamada gerek teorik konulardaki değerli önerileri ve gerekse laboratuvar çalışmalarım için gerekli her türlü maddi ve manevi kaynakların temininde verdiği destek ve göstermiş olduğu hoşgöründen dolayı sayın hocam Prof. Dr. Derin ORHON'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her aşamasında diğer sanayi kuruluşlarına mükemmel bir örnek davranış sergileyerek hiçbir çekince göstermeden tesis ile ilgili her türlü imkanlarımı hiç bir karşılık beklemeden, sadece bilime ve bilimsel çalışmalara duydukları saygıdan ötürü, bana seferber eden başta tesisin personel müdürü sayın Hasan DEMİR bey olmak üzere fabrika müdüründen mühendisine, teknisyeninden işçisine kadar tesis yetkililerinin tümüne sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunuyorum.

Ayrıca, bu tezin oluşturulması için gerek teorik ve gerekse laboratuvar çalışmalarındaki tecrübelerini, yoğun çalışma temposuna rağmen bana aktarmak üzere gösterdiği destek ve sonsuz hoşgörüsünden dolayı sayın hocam Doç. Dr. Emine UBAY ÇOKGÖR'e de ayrıca çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışma sonuçlarımın modellenmesi aşamasında bana son derece büyük bir iyi niyet çerçevesinde yardımcı olan sayın Dr. Araş. Gör. Güçlü İNSEL'e de çok teşekkür ederim.

Uzun soluklu böyle bir çalışmayı gerçekleştirme çabalarımın başından sonuna kadar son derece büyük fedakarlıklar göstererek maddi ve manevi her türlü desteği veren, bilime gönül vermiş evli bayanların eşlerine takdire değer bir örnek davranış sergileyen sevgili eşim, hayat arkadaşım Muhittin TÖRE'ye bir kez daha minnettarlığımı ve hayranlığımı ifade ederek teşekkür ediyorum.

Gerek bu güne kadarki yaşamımda ve gerekse bu çalışmamı gerçekleştirmemde ve çalışmamın her aşamasında göstermiş oldukları sonsuz hoşgörü ve en önemlisi manevi desteklerini bir an olsun esirgemediklerinden dolayı sevgili anneme, babama ve ailemin diğer fertlerine de ayrıca teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sürecinde bana göstermiş oldukları ilgi ve yardımlardan ötürü sayın Prof. Dr. Fatoş GERMİRLİ BABUNA, Doç. Dr. Gülen EREMEKTAR ve İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü araştırma görevlileri ile laboratuvar personeline ve bu çalışmam sırasında manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili çalışma arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Temmuz, 2005

Günay YILDIZ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	1
2. ENDÜSTRİYEL KİRLENME	5
2.1 Endüstriyel Sistem ve Endüstriyel Kirilenmenin Tanımı	5
2.1.1 Endüstriyel sistem	5
2.1.2 Endüstriyel kirlenme	7
2.2 Endüstrilerin kirlenme bazında sınıflandırılması	7
2.2.1 Sınıflandırmanın amacı	7
2.2.2 Sınıflandırmada göz önüne alınan faktörler	9
2.2.3 Kategorizasyon	12
2.2.4 Alt kategorizasyon	12
2.3 Endüstriyel Atıklar	13
2.3.1 Zararlı atıklar	13
2.3.2 Katı atıklar	14
2.3.3 Gaz atıklar	14
2.3.4 Radyoaktif atıklar	14
2.3.5 Sulu atıklar	15
2.3.5.1 Endüstrilerde atıksu kaynakları	16
2.3.5.2 Endüstriyel atıksuların sınıflandırılması	18
2.3.5.3 Endüstriyel atıksu kirliliğinde önem taşıyan temel parametreler	19
2.3.5.4 Endüstriyel atıksu kirliliğinin ifade edilmesinde kullanılan temel birimler	21
2.4 Avrupa'nın En Uygun Teknoloji Referans Dökümanı (BREF) ve Geliştirilmiş Kirlilik Önleme ve Kontrol (IPPC) Direktifleri	22
2.4.1 Direktif kavramları ve uygulaması	22
2.4.2 En uygun teknoloji referans dökümanı (BREF)	24
2.5 Endüstriyel Sistemlerde Tesis İçi Kontrol İle Endüstriyel Atıksuların Arıtımı	25
2.5.1 Tesis içi kontrol	26
2.5.2 Endüstriyel atıksuların arıtımı	28
2.5.2.1 Endüstriyel atıksuların arıtımında biyolojik arıtma uygulamaları	29
2.5.2.2 Endüstriyel atıksuların arıtımında kimyasal arıtma uygulamaları	30
2.5.2.3 En Uygun Arıtma Teknolojisi (BAT)	31

2.6 Endüstrilerde Su Kullanımı ve Atıksuların Geri Kazanım/Yeniden Kullanımının Önemi ve Gerekliliği	33
2.6.1 Endüstrilerde su kullanımı ve kalitesi	34
2.6.2 Endüstrilerde atıksuların yeniden kullanım kriterleri	36
2.6.3 Endüstrilerde atıksuyun geri kazanım - yeniden kullanım alternatifleri ve uygulamaları	37
2.7 Endüstrilerin Kirlenme Yönünden Tanımlanma Sistematiği	42
3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ	45
3.1 Tekstil Endüstrisinde Hammadde Kullanımı ve Ürün Üretimi	45
3.2 Tekstil Endüstrisinde Alt-Kategorizasyon ve Karakterizasyon	47
3.2.1 Yapağı yıkama alt kategorisi	48
3.2.2 Yünlü kumaş son işlemler alt kategorisi	49
3.2.3 Az su kullanan işlemler alt kategorisi	49
3.2.4 Dokunmuş kumaş son işlemler alt kategorisi	49
3.2.5 Örgü kumaş son işlemler alt kategorisi	50
3.2.6 Halı üretimi son işlemler alt kategorisi	50
3.2.6.1 Halı terbiyesi üretim prosesleri	54
3.2.7 Stok ve elyaf son işlemler alt kategorisi	59
3.3 Tekstil Endüstrisinde Su Kullanımı ile Atıksu Miktar ve Özellikleri	59
3.3.1 Haşıl giderme işleminden oluşan atıksular	66
3.3.2 Yıkama işleminden oluşan atıksular	69
3.3.3 Ağartma işleminden oluşan atıksular	71
3.3.4 Boyama işleminden oluşan atıksular	72
3.3.5 Baskı işleminden oluşan atıksular	78
3.3.6 Halı terbiyesi işlemlerinden oluşan atıksular	80
3.3.6.1 Halı yıkama ve ağartma işlemlerinden oluşan atıksular	81
3.3.6.2 Halı boyama işleminden oluşan atıksular	82
3.3.6.3 Halı baskı işleminden oluşan atıksular	82
3.3.6.4 Halı fonksiyonel terbiye (apre) işleminden oluşan atıksular	82
3.3.6.5 Halı sırt kaplama işleminden oluşan atıksular	82
3.3.7 Fonksiyonel terbiye (apre) işleminden oluşan atıksular	83
4. BİYOLOJİK ARITILABİLİRLİK ESASLI KARAKTERİZASYON VE MODELLEME	85
4.1 Biyolojik Arıtmanın Prensipleri	85
4.2 Aktif Çamur Proseslerinde Modelleme Kavramı	86
4.3 Çok Bileşenli Aktif Çamur Modelleri	87
4.3.1 İçsel solunum modeli	87
4.3.2 Ölüm yenilenme modeli	89
4.4 Biyolojik Arıtılabilirliğin İncelenmesinde Modellemenin Önemi	89
4.5 Atıksularda Organik Maddenin Ayrışabilirliği	99
5. MATERYAL VE METOD	103
5.1 Aklımasyon Çalışmaları	106
5.2 Kinetik Sabitlerin (μ_H , b_H ve K_S) Belirlenmesi	107
5.3 Organik Madde Bileşenlerinin Belirlenmesi	109
5.3.1 Kolay ayrışabilen KOI, S_{S1} 'in belirlenmesi	111
5.3.2 Yavaş ayrışan KOI, X_{S1} 'in belirlenmesi	113
5.3.3 Çözünmüş ve partiküler inert maddelerin belirlenmesi	114

5.4. Analiz Yöntemleri	123
6. İNCELENEN TESİSİN ÖZELLİKLERİ	124
6.1 İncelenen Tesise Ait Genel Bilgiler	124
6.1.1 İncelenen tesisin üretim prosesleri	124
6.1.1.1 Boyanmış elyaf üretimi	127
6.1.1.2 Tufting halı üretimi	129
6.1.1.3 %50 Pamuk + %50 Akrilik iplikten battaniye üretimi	134
6.1.1.4 %100 Poliamid elyaf esaslı parça halı boyama (haspel boyama) üretimi	137
6.1.1.5 Akrilik elyaf esaslı boyanmış çift kat ekru triko iplik üretimi	139
6.1.1.6 Non-woven halı üretimi	140
6.1.2 İncelenen tesisin su kullanımı ve atıksu oluşumu	142
6.1.3 İncelenen tesisin üretim ve atıksu miktarlarının alt prosesler bazında genel değerlendirmesi	144
6.1.4 İncelenen tesisin üretim proseslerinde kullanılan kimyasal maddeler ve özellikleri	145
7. DENEYSEL SONUÇLAR	151
7.1. İncelenen Tesisinin Alt Prosesler Bazında Karakterizasyonu	151
7.1.1 Seçilen alt proseslerin detaylı karakterizasyonu	155
7.1.1.1 Akrilik elyaf boyama alt prosesi karakterizasyonu	155
7.1.1.2 Akrilik elyaf boyama prosesi ayırık akımlarının kesikli biyolojik artılabilirlik çalışması sonuçları	162
7.1.1.3 Polyamid elyaf esaslı parça halı boyama alt prosesi karakterizasyonu	166
7.2 Konvansiyonel Karakterizasyon Sonuçlarının Literatürle Karşılaştırması	170
7.3 Respirometrik Analiz Sonuçları	170
7.3.1 Polyamid parça halı boyama prosesine ait respirometrik sonuçlar	171
7.3.2 Akrilik elyaf boyama prosesine ait respirometrik sonuçlar	180
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	185
KAYNAKLAR	193
ÖZGEÇMİŞ	201

KISALTMALAR

KOI	: Kimyasal oksijen ihtiyacı, [M KOİ/L ³]
OTH	: Oksijen tüketim hızı, [MO ₂ /(L ³ .T)]
EPA	: Environmental protection agency
SIC	:
BOİ₅	: 5 günlük Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, [M BOİ ₅ /L ³]
BOİ_T	: 28 günlük nihai Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, [M BOİ ₅ /L ³]
TAKM	: Toplam askıda katı madde, [M /L ³]
TÇKM (TDS)	: Toplam çözünmüş katı madde, [M /L ³]
TKN	: Toplam kjeldahl azotu, [M KOİ/L ³]
TOK	: Toplam organik karbon, [M /L ³]
OTH	: Oksijen Tüketim Hızı [MO ₂ /(L ³ .T)]
BREF	: Best available technichs reference document
IPPC	: International pollution prevention control
BAT	: Best available technics
IEF	: Information exchange forum
TWG	: Technical workig group
EIPPCB	: European international pollution prevention control bureau
AOX	: Absorbe edilebilen organik halojenler
LAE	: Linear alkil etoksilatlar
PVA	: Polivinil alkol
CMC	: Karboksi metil selüloz
PAA	: Polyakrilik asit
ETAD	: Ecological and Toxicological Association of the Dystuffs Manufacturing Industry
HT	: Yüksek basınçlı
CMS	: Viskozite ayarlayıcı
ASM	: Activated Sludge Model
UAKM	: Uçucu askıda katı madde
PHB	: Polihidroksibutirikasit
IAWPRC	: International Association Water Pollution Research Center
EC	: İletkenlik (µS/cm)

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. ABD’de endüstri sınıflandırması örneği.....	11
Tablo 2.2. Batı Almanya’da endüstri sınıflandırması örneği.....	11
Tablo 2.3. Endüstriyel Kirlenmenin Üretim Karakteristiği Bazında Tanımlanması	21
Tablo 2.4. Endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan başlıca arıtma yöntemleri.....	31
Tablo 2.5. Endüstriyel proses suları için kalite tolöransları.....	36
Tablo 2.6. Tekstil boyama atıksuları için yeniden kullanım kriterleri.....	37
Tablo 3.1. Yün ve yün karışımı halı ipliği ile halı üretim endüstrisinin temel yapısı	51
Tablo 3.2. Avrupa ekonomik topluluğu içindeki ticari girişimcilerin sayısı ve sektör durumu.....	52
Tablo 3.3. Tekstil Endüstrisi Alt-Kategorilerine ait arıtılmamış atıksu karakterlerinin ortalama değerleri.....	61
Tablo 3.4. Rölatif atıksu oluşumu- Dağılım yüzdesi	62
Tablo 3.5. Farklı elyafların ıslak işlemleri sırasındaki su tüketimi.....	62
Tablo 3.6. Atıksu Deşarjları	64
Tablo 3.7. Tekstil endüstrisi alt-kategorizasyonuna ait atıksu karakterizasyonu ve su kullanımı	65
Tablo 3.8. Türkiye İçin Geçerli Olan Tekstil Endüstrisi Alt-kategorizasyonuna ait Karakterizasyon Değerleri	65
Tablo 3.9. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’ne göre alıcı ortam deşarj standartları,1988 (2 Saatlik Kompozit).....	67
Tablo 3.10. Doğal nişastanın haşıl giderimi sırasında oluşan atıksu kompozisyonu.....	66
Tablo 3.11. Farklı tekstil materyallerinin haşıl gideriminden oluşan atık yükleri (Flote oranı 1:15).....	68
Tablo 3.12. Almanyada’ki haşıl giderme çıkış akımları	69
Tablo 3.13. Yıkama atık akışları.....	70
Tablo 3.14. Yıkama prosesi ile ilgili maddeler.....	70
Tablo 3.15. Ağartma prosesi atıksu karakteri.....	71
Tablo 3.16. Ağartma çıkış akımları	72
Tablo 3.17. Boyama ekipmanı için flote oranı.....	73
Tablo 3.18. Fikse olmayan boyanın ortalama yüzdesi	75
Tablo 3.19. Tekstil alt-kategorileri için toksik kirleticilerin özeti	77
Tablo 3.20. Boyama ile ilgili toksik kirleticiler	78
Tablo 3.21. Baskı ve Boyama işlemleri atıksu hacimlerinin karşılaştırılması....	79
Tablo 3.22. Baskı işlemlerinde ekipman temizliği.....	80
Tablo 3.23. Lateksli atıksu karakteri	83

Tablo 3.24.	Dieldrin konsantrasyonları	84
Tablo 4.1.	İçsel solunum yaklaşımında ikili hidrolize göre karbon giderim mekanizmasının stokiometrisi ve kinetiği.....	90
Tablo 4.2.	Ölüm-yenilenme yaklaşımında karbon giderim mekanizmasının stokiometrisi ve Kinetiği.....	91
Tablo 4.3.	Organik maddeler için belirlenmiş hidroliz hız sabitleri.....	97
Tablo 4.4.	Literatürde stokiometrik ve kinetik sabitler için verilen değerler....	98
Tablo 5.1.	Aklımasyonda kullanılan makro ve mikro elementler.....	107
Tablo 5.2.	Kolay ayrışabilen organik maddenin belirlenmesi için önerilen metotlar.....	112
Tablo 5.3.	Çeşitli atıksular için literatürde verilen KOİ bileşenleri.....	116
Tablo 5.4.	Farklı evsel ve endüstriyel atıksularda elde edilen KOİ bileşenleri sonuçları.....	118
Tablo 5.5.	Atıksularda inert organik maddelerin belirlenmesi için önerilen metotlar.....	117
Tablo 5.6.	Partiküler inert KOİ ile ilgili literatürde verilen deneysel sonuçlar	121
Tablo 5.7.	Çözünmüş inert KOİ ile ilgili literatürde verilen deneysel sonuçlar.....	122
Tablo 6.1.	İncelenen tesis içinde cut-pile halıların teknik özellikleri.....	130
Tablo 6.2.	Loop-Pile halıların teknik özellikleri.....	134
Tablo 6.3.	Non-woven halıların teknik özellikleri.....	140
Tablo 6.4.	%100 Akrilik elyaf boyama prosesi proses profili.....	142
Tablo 6.5.	%100 Akrilik elyaf esaslı çift kat ekru triko ipliklerinin çile halinde boyama prosesi proses profili.....	143
Tablo 6.6.	%50 Akrilik + %50 Pamuklu iplikten battaniye üretimi proses profili.....	143
Tablo 6.7.	%100 Poliamid elyaf esaslı parça halı boyama üretim prosesi proses profili.....	144
Tablo 6.8.	İncelenen tesisin üretim ve atıksu miktarlarının alt prosesler bazında genel değerlendirmesi.....	145
Tablo 7.1.	%100 Akrilik elyaf boyama prosesi ayırık akım karakterizasyonu...	151
Tablo 7.2.	%100 Akrilik elyaf boyama prosesi ayırık akımların KOİ yüküne katkısı	152
Tablo 7.3.	%100 Akrilik elyaf esaslı çift kat ekru triko ipliklerinin çile halinde boyama prosesi ayırık akım karakterizasyonu.....	152
Tablo 7.4.	%100 Akrilik elyaf esaslı çift kat ekru triko ipliklerinin çile halinde boyama prosesi ayırık akımların KOİ yüküne katkısı.....	152
Tablo 7.5.	%100 Poliamid elyaf esaslı parça halı boyama üretim prosesi ayırık akım karakterizasyonu.....	153
Tablo 7.6.	%100 Poliamid elyaf esaslı parça halı boyama üretim prosesi ayırık akımların KOİ yüküne katkısı.....	153
Tablo 7.7.	%50 Akrilik + %50 Pamuklu iplikten battaniye üretimi proses%50 akrilik + %50 pamuklu iplikten battaniye üretim prosesi ayırık akımların karakterizasyonu.....	153
Tablo 7.8.	%50 Akrilik + %50 Pamuklu iplikten battaniye üretimi proses%50 akrilik + %50 pamuklu iplikten battaniye üretim prosesi ayırık akımlarının KOİ yüküne katkısı.....	154
Tablo 7.9.	İncelenen tesise ait üretim proseslerinin KOİ yüküne katkısının genel değerlendirmesi.....	154

Tablo 7.10.	Akrilik Elyaf Boyama Prosesi Reçeteleri.....	156
Tablo 7.11.	Açık, orta ve koyu renk akrilik elyaf boyama süreci atıksularının KOİ bazında karakterizasyonu.....	157
Tablo 7.12.	Açık, orta ve koyu renk akrilik elyaf boyama süreci atıksularının ayrık akım bazında detaylı karakterizasyonu.....	158
Tablo 7.13.	Koyu renk (lacivert-6525) cut-pile halı veya battaniye üretimi için %100 akrilik elyaf boyama süreci sürec ve kirlenme profili.....	159
Tablo 7.14.	Orta renk (k.jat) cut-pile halı veya battaniye üretimi için %100 akrilik elyaf boyama süreci sürec ve kirlenme profili.....	159
Tablo 7.15.	Açık renk (kemik) cut-pile halı veya battaniye üretimi için %100 akrilik elyaf boyama süreci sürec ve kirlenme profili.....	159
Tablo 7.16.	Kesikli biyolojik arıtılabilirlik uygulanan Akrilik elyaf boyama süreci (orta renk-k.jat) ayrık akımların konvansiyonel karakterizasyonu.....	163
Tablo 7.17.	Akrilik elyaf boyama süreci (orta renk-k.jat) ayrık akımlarının kesikli biyolojik arıtılabilirlik çalışma detayları.....	163
Tablo 7.18.	Akrilik elyaf boyama süreci (orta renk-k.jat) ayrık akımlarının kesikli biyolojik arıtılabilirlik çalışma sonuçları.....	164
Tablo 7.19.	Polyamid elyaf boyama süreci reçeteleri.....	166
Tablo 7.20.	Açık, orta ve koyu renk polyamid esaslı parça halı boyama süreci atıksularının ayrık akım bazında detaylı karakterizasyonu..	167
Tablo 7.21.	Polyamid elyaf esaslı parça halı boyama süreci sürec ve kirlenme profili (ortarenk-vizon-tempo).....	168
Tablo 7.22.	Polyamid elyaf esaslı parça halı boyama süreci sürec ve kirlenme profili (açık renk-bej-tempo).....	168
Tablo 7.23.	İncelenen alt proseslere ait kompozit numune karakterizasyon ve su kullanımı değerlerinin literatürle karşılaştırılması.....	170
Tablo 7.24.	Respirometrik deneylerde kullanılan polyamid elyaf esaslı açık renk (Bej-Tempo) boyama süreci ayrık ve kompozit akım atıksularının konvansiyonel karakteristikleri.....	172
Tablo 7.25.	Polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama süreci ön yıkama akımı atıksuyu respirometre çalışma detayları.....	173
Tablo 7.26.	Polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama süreci boyama + yumuşatma akımı atıksuyu respirometre çalışma detayları.....	174
Tablo 7.27.	Polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama süreci kompozit akım atıksuyu respirometre çalışma detayları.....	175
Tablo 7.28.	Biyolojik arıtılabilirlik çalışmaları sonunda alt proses ve ayrık akımlar için elde edilen KOİ bileşenleri.....	176
Tablo 7.29.	Respirometrik çalışmalar sonunda alt proses ve ayrık akımlar için elde edilen kinetik ve stokiometrik katsayılar.....	177
Tablo 7.30.	Farklı çamur yaşları için polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama süreci kompozit akım atıksuyunun TKR'den çıkış çözünmüş KOİ bileşenlerinin hidrolik bekletme süresine göre değişimi ($S_{II}=125$ mg/l ve $S_{SI}=0$ olarak alınmıştır)	178
Tablo 7.31.	Farklı çamur yaşı ve bekletme sürelerinde, polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama süreci kompozit akım atıksuyunda çözünmüş formda yavaş ayrışan hidroliz katsayısı (k_{H2}) değerinin çıkış suyu kalitesine etkisi.....	179

Tablo 7.32.	Respirometrik deneylerde kullanılan akrilik elyaf koyu renk (Lacivert) boyama prosesi ayırık ve kompozit akım atıksularının konvansiyonel karakteristikleri.....	180
Tablo 7.33.	Akrilik elyaf boyama prosesi boyama akımı atıksuyu respirometre çalışma detayları.....	181
Tablo 7.34.	Akrilik elyaf boyama prosesi yumuşatma akımı atıksuyu respirometre çalışma detayları.....	182
Tablo 7.35.	Akrilik elyaf boyama prosesi kompozit akım atıksuyu respirometre çalışma detayları.....	183
Tablo 7.36.	Farklı çamur yaşları için akrilik elyaf esaslı koyu renk boyama prosesi kompozit akım atıksuyunun TKR'den çıkış çözünmüş KOI bileşenlerinin hidrolik bekletme süresine göre değişimi.....	184



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Endüstriyel sistemin girdi ve çıktıları.....	6
Şekil 3.1 : 1999 yılında dünya çapında halı ve taban halısı üretimi.....	52
Şekil 3.2 : Avrupa birliğine üye ülkelerdeki halı üretim ve tüketimi.....	53
Şekil 3.3 : Avrupa'daki başlıca halı ve taban halısı üreticileri için 1995 yılında Avrupa halı ve taban halısı üretimi.....	53
Şekil 3.4 : 1995 yılında Avrupa'da halı ve taban halısı toplam üretimi.....	54
Şekil 3.5 : Tipik halı terbiye işlemlerinin akış diyagramı.....	57
Şekil 3.6 : Halı son işlemler alt-kategorisine ait başlıca atık kaynakları.....	58
Şekil 4.1 : İçsel solunum modelinin şematik gösterimi.....	90
Şekil 4.2 : Atıksuda KOİ bileşenlerinin dağılımı.....	101
Şekil 4.3 : Çıkış akımındaki KOİ bileşenlerinin dağılımı	101
Şekil 4.4 : Çıkış akımındaki KOİ fraksiyonlarının dağılımı.....	102
Şekil 5.1 : OTH profili.....	113
Şekil 6.1 : Atıksu oluşumunun gerçekleştiği başlıca üniteler.....	126
Şekil 6.2 : Kesikli dokumalı (cut pile) halı veya battaniye üretimi için %100 akrilik elyaf boyama prosesi akım şeması.....	131
Şekil 6.3 : Kesiksiz elyaftan halı ipliği üretimi iş akım şeması.....	133
Şekil 6.4 : %50 Akrilik + %50 Pamuklu iplikten battaniye üretimi proses akım şeması.....	136
Şekil 6.5 : %100 Poliamid elyaf esaslı parça halı boyama üretim prosesi akım şeması.....	138
Şekil 6.6 : %100 Akrilik elyaf esaslı çift kat ekru triko ipliklerini çile halinde boyama proses akım şeması.....	141
Şekil 7.1 : Açık renk kesikli dokumalı (cut-pile) halı veya battaniye üretimi için %100 akrilik elyaf boyama prosesi akım şeması.....	160
Şekil 7.2 : Orta ve koyu renk kesikli dokumalı (cut-pile) halı veya battaniye üretimi için %100 akrilik elyaf boyama prosesi akım şeması.....	161
Şekil 7.3 : Akrilik elyaf boyama prosesi (orta renk-k.jat) kompozit akımının kesikli biyolojik arıtılabilirlikle KOİ giderimi.....	164
Şekil 7.4 : Akrilik elyaf boyama prosesi (orta renk-k.jat) yumuşatma akımının kesikli biyolojik arıtılabilirlikle KOİ giderimi.....	165
Şekil 7.5 : Akrilik elyaf boyama prosesi (orta renk-k.jat) boyama akımının kesikli biyolojik arıtılabilirlikle KOİ giderimi.....	165
Şekil 7.6 : Polyamid elyaf esaslı parça halı orta ve açık renk boyama prosesi genel üretim akım şeması.....	169
Şekil 7.7 : Polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi ön yıkama akımı atıksuyu OTH profilinin model simülasyonu.....	173
Şekil 7.8 : Polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi boyama + yumuşatma akımı atıksuyu OTH profilinin model simülasyonu.....	174

	yumuşatma akımı atıksuyu OTH profilinin model simulasyonu.....	
Şekil 7.9	: Polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi kompozit akım atıksuyu OTH profilinin model simulasyonu.....	175
Şekil 7.10	: $\theta X=5$ gün için polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi kompozit akım atıksuyunun AKR'den çıkış çözünmüş KOI bileşenlerinin hidrolik bekletme süresine göre değişimi.....	178
Şekil 7.11	: $\theta X=10$ gün için polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi kompozit akım atıksuyunun TKR'den çıkış çözünmüş KOI bileşenlerinin hidrolik bekletme süresine göre değişimi.....	179
Şekil 7.12	: Farklı çamur yaşı ve bekletme sürelerinde, polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi kompozit akım atıksuyunda çözünmüş formda yavaş ayrılan hidroliz katsayısı (k_{h2}) değerinin çıkış suyu kalitesine etkisi.....	179
Şekil 7.13	: Akrilik elyaf boyama prosesi boyama akımı atıksuyu OTH profilinin model simulasyonu.....	181
Şekil 7.14	: Akrilik elyaf boyama prosesi yumuşatma akımı atıksuyu OTH profilinin model simulasyonu.....	182
Şekil 7.15	: Akrilik elyaf boyama prosesi kompozit akım atıksuyu OTH profilinin model simulasyonu.....	183
Şekil 7.16	: Akrilik elyaf esaslı koyu renk boyama prosesi kompozit akım atıksuyunun TKR'den çıkış çözünmüş KOI bileşenlerine çamur yaşının etkisi.....	184

SEMBOL LİSTESİ

b_H	: İçsel solunum katsayısı, $[1/T]$
C_T	: Toplam organik madde, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
C_S	: Giriş akımında biyolojik olarak ayrışabilir toplam organik madde, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
f_X	: Biyokütlenin KOİ'si, $[M \text{ KOİ}/(M \text{ hücre KOİ})]$
f_{ES}	: Biyokütlenin ölümü sırasında üretilen çözünmüş inert KOİ fraksiyonu
f_{EX}	: Biyokütlenin ölümü sırasında üretilen partiküler inert KOİ fraksiyonu
f_{SS}	: Toplam organik maddenin kolay ayrışabilir fraksiyonu, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
k_h	: Hidroliz hız katsayısı, $[1/T]$
K_S	: Yarı doygunluk katsayısı, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
K_X	: Hidroliz doygunluk katsayısı, $[M \text{ KOİ}/(M \text{ KOİ})^1]$
OTH	: Oksijen Tüketim Hızı $[MO_2 / (L^3 \cdot T)]$
S_S	: Kolay ayrışabilir organik madde, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
S_H	: Biyolojik olarak hızlı hidroliz olabilen çözünmüş organik madde, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
S_I	: Çözünmüş inert organik madde konsantrasyonu, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
X_I	: Partiküler inert organik madde konsantrasyonu, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
S_R	: Toplam çözünmüş inert madde, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
S_O	: Oksijen konsantrasyonu, $[M \text{ O}_2/L^3]$
S_P	: Çözünmüş inert mikrobiyal ürün, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
S_T	: Çözünmüş organik madde konsantrasyonu, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
S_F	: Fermente olabilir kolay ayrışabilen organik madde, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
S_A	: Fermentasyon ürünü asetat, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
X_H	: Aktif heterotrofik biyokütle konsantrasyonu, $[M \text{ hücre KOİ}/L^3]$
X_P	: Partiküler inert mikrobiyal ürün, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
X_S	: Biyolojik olarak yavaş ayrışan organik madde, $[M \text{ KOİ}/L^3]$
Y_H	: Heterotrofik dönüşüm oranı, $[M \text{ hücre KOİ}/M \text{ KOİ}]$
F/M	: Organik yükleme hızı, $[M \text{ KOİ}/M \text{ hücre KOİ} \cdot T]$
$\hat{\mu}_H$	: Maksimum spesifik çoğalma hızı, $[1/T]$
α_D	: Çoğalma kökenli çözünmüş inert ürün oluşum katsayısı
$indis_1$	: Giriş akımındaki değerler
CN^-	: Siyanür
Cr^{+6}	: +6 değerlikli Krom
H_2S	: Hidrojen sülfür
H_2O_2	: Hidrojen peroksit
CO_2	: Karbondioksit

AKRİLİK VE POLYAMİD ELYAF ESASLI HALI TERBİYESİ ATIKSULARININ KARAKTERİZASYONU VE BİYOLOJİK ARITILABİLİRLİĞİ

ÖZET

Bu çalışma akrilik ve polyamid elyaf esaslı halı işlem ve üretiminden oluşan atıksuların biyolojik arıtılabilirliğini değerlendirmektedir. Literatürde tam anlamıyla araştırılmayan bu proses her bir atıksu akımı ve kompozit çıkış sularının detaylı karakterizasyonu, kinetik tanımlaması ve respirometrik modellemesini gerektirmektedir. Bu amaç için duvardan duvara halı, battaniye ve iplik üreten uygun bir tesis seçilmiştir. Bu tesiste diğer üretim işlemlerinden farklı olarak seçilen alt proseslerin incelenmesine imkan tanıyan her bir üretime ait genel kirlilik profilleri oluşturulmuştur. Değerlendirmeler genel üretim için de % 64'lük pay ile en fazla akrilik esaslı elyafların boyandığını ve bunun %12'lik kısmının halı üretiminde kullanıldığını göstermektedir. Benzer olarak genel üretimin %11'ine katkıda bulunan polyamid elyaf boyama alt prosesinin ise %9'lük kısmı halı üretiminde kullanılmaktadır. Bu çalışma su kullanımı ve atıksu oluşumunun sadece boyama ünitelerinden kaynaklandığı ve işlenen elyaf türüne göre üretim proseslerinin; en iyi halı üretimi için %100 akrilik elyaf boyama, battaniye üretimi için %100 akrilik elyaf boyama, battaniye üretimi için %50 akrilik + %50 pamuklu iplik boyama, polyamid elyaftan dokunmuş ekru renkte parça halı boyama ve %100 akrilik elyaf esaslı çile boyama olmak üzere 5 alt grupta toplanabileceğini göstermektedir. Bu alt proseslere ait üretim akım şemaları tanımlanmış ve proses ve kirlenme profilleri oluşturulmuştur. Kirlenme profillerinin değerlendirilmesi toplam atıksu bazında %52 ile en fazla payın battaniye üretiminde kullanılan %50 Akrilik + %50 Pamuklu İplik boyama prosesinden geldiği ve bunu %39 'luk bir oranla akrilik esaslı elyafların boyama proseslerinin takip ettiği ve bu oranın da %4'lük kısmının halı üretiminden kaynaklanırken geri kalan %35'lik kısmın çile boyama ve battaniye üretimlerinden oluştuğunu ve toplam atıksuyun %8'lik bir kısmının ise halı üretimi kapsamında değerlendirilen poliamid parça halı boyama prosesinden kaynaklandığını göstermektedir. Akrilik ve polyamid elyaf esaslı üretimlerdeki su tüketimleri sırasıyla 40-70 l/kg parça halı ve 11-31 l/kg akrilik elyaf arasında değişmektedir. Her iki alt proseste birim üretim girdilerinin cinsi aynı olmamakla birlikte, polyamid alt prosesinde akriliğin yaklaşık 2,5 katı kadar daha fazla bir su kullanımı söz konusudur. Bu üretimlerden oluşan atıksular ayrı ayrı detaylı bir şekilde karakterize edilmiş: akrilik elyaf boyama prosesi kompozit atıksu karakterizasyon değerleri; KOI_{Top} 775-1440 mg/l (1100 mg/l), $KOI_{Çöz}$ 275-1035 mg/l (655 mg/l), $AKM(0,45 \mu)$ 110-225 mg/l (168 mg/l) ve pH değeri 5-7 (6) olarak ölçülmüştür. Polyamid alt prosesinde bu parametreler sırasıyla KOI_{Top} 1440-1890 mg/l (1665 mg/l), $KOI_{Çöz}$ 1000-1660 mg/l (1330 mg/l), $AKM(0,45 \mu)$ 'nin 25-35 mg/l (30 mg/l) ve pH değeri de 7,1-7,3 (7,2) olarak ölçülmüştür. Bu değerler incelendiğinde; her iki alt prosesten oluşan atıksuların pH parametresi dışında tipik bir tekstil atıksuyu karakteri sergilediği görülmüştür. Diğer yandan, tesiste bu alt proseslerde özellikle boya

kombinasyonu ve miktarları bazında çok sayıda farklı reçetenin uygulanması nedeniyle, kullanılan boyanın renk türüne göre (açık, orta veya koyu renk) bir sınıflandırma yapmak suretiyle atıksu karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda; akrilik elyaf boyama prosesinde orta ve koyu rengin daha ağırlıkta işlendiği, polyamid elyaf esaslı parça halı boyama prosesinde ise açık renk boyamanın hakim olduğu tespit edilmiştir. Genel üretim içindeki renk yüzdelere bakıldığında ise koyu ve orta rengin açık renge göre daha ağırlıklı kullanıldığı tespit edilmiştir.

Araştırmanın önemli bir bölümünü temsil eden respirometrik çalışmalarda akrilik prosesin koyu renk sınıfına giren atıksular, polyamid prosesin ise açık renk sınıfına giren atıksuları incelenmiştir. Bunun yanında tesiste her iki alt proste kullanılan boyar maddelerin ve polyamidde kullanılan yardımcı kimyasalların biyolojik ayrışabilirlikleri oldukça düşük bulunurken, akrilikte kullanılan yardımcı kimyasallarının ise oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Respirometrik çalışmalardan elde edilen KOİ fraksiyonları sırasıyla; akrilik elyaf boyama için çözünmüş KOİ fraksiyonunu %45 ve polyamid elyaf boyama için %90 olurken, çok az bir kısmı biyolojik olarak kolay ayrışabilen ve hemen hemen tamamı yavaş ayrışabilir olan organik madde varlığını göstermektedir. Her iki alt proste de kompozit numune bazında toplam KOİ'nin yaklaşık %7'lik kısmının çözünmüş inert yapıya sahip olduğu bulunmuştur. Akrilik prosesinde polyamid alt prosesinden farklı olarak toplam KOİ'nin %6'sının partiküller inert madde formunda bulunduğu tespit edilmiştir. Polyamid ve akrilik elyaf boyama proses atıksularının respirometrik değerlendirmeleri, içsel solunum modeli ve ikili hidroliz mekanizmasının her iki atıksu akımındaki biyolojik olarak yavaş ayrışan çözünmüş fraksiyonu en iyi şekilde tanımladığını göstermektedir. Modelleme çalışmaları sonucunda **dönüşüm oranı** , **içsel solunum hız katsayısı ve yarı doygunluk hız sabiti değerleri** her iki alt proses için de sırasıyla 0,66 gr hücre KOİ/gr KOİ, 0,1 gün⁻¹ ve 1 mg/l olarak tespit edilmiştir. Akrilik alt prosesi için **maksimum spesifik çoğalma, hızı** 1,65 gün⁻¹, **hidroliz yarı doygunluk hız sabiti** 0,02 gr KOİ/gr hücre KOİ, **birinci ve ikinci kademe maksimum spesifik hidroliz hız katsayıları** 1,5 gün⁻¹ ve 3,5 gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Polyamid alt prosesinde ise bu değerler sırasıyla 6 gün⁻¹, 0,04 gr KOİ/gr hücre KOİ, 0,36 gün⁻¹ ve 0,72 gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Çözünmüş KOİ'nin büyük bir kısmını karakterize eden bu çok düşük hidroliz hız katsayıları, biyolojik sistemlerin dizaynında ilginç farklılıkları beraberinde getirmektedir. Sürekli tam karışumlu aktif çamur sistemleri için çıkış suyu standartlarına en uygun dizayn uygulamaları, polyamid elyaf boyama atıksuları için 10 günlük çamur yaşında pek yaygın olmayan 3 günlük uzun bir hidroliz bekletme süresini tanımlamakta ve ayrıca ikinci kademe maksimum spesifik hidroliz hız sabiti büyüklüğünün çıkış suyu kalitesini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Diğer yandan 3 günlük bir çamur yaşı ve 5 saatlik bir hidroliz bekletme süresinin akrilik atıksularında efektif bir KOİ giderimi sağlamak için yeterli olduğu bulunmuştur.

CHARACTERIZATION AND BIOLOGICAL TREATABILITY OF ACRYLIC AND POLYAMID FIBER BASED CARPET FINISHING WASTE WATER

SUMMARY

This study evaluates biological treatability of wastewater generated from acrylic and polyamid fiber-based carpet processing and manufacturing. This process, not fully covered and investigated in the literature, requires detailed characterization, kinetic description and respirometric modelling of individual wastewater streams and the composite effluent. A suitable textile plant, manufacturing wall to wall carpet, blanket and yarn is selected for this purpose. In this plant, general pollution profiles associated with each production type have been developed allowing examination of the selected sub-processes separately from the other production units. The evaluation indicated that acrylic based-fiber constituted 64% of the material subject to dying in the general production, 12% belonging to carpet manufacturing. Similarly the polyamid fiber dying sub-process constituted 11% of the general production with a 9% ratio in the carpet production. The study also indicated that water usage and waste water production in the plant could best be evaluated in 5 sub-groups such as 100% acrylic fiber dying for carpet manufacturing, 100% acrylic fiber dying for blanket manufacturing, 50% acrylic + 50% cotton yarn dying for blanket manufacturing, polyamid fiber based woven carpet piece dying and 100% acrylic fiber based hank dying. Related production schemes of these sub-processes were determined and processes and pollution profiles were developed. Assessment of the pollution profiles indicated that the biggest part of the total waste water came from 50% acrylic + 50% cotton yarn dying for blanket manufacturing process with 52% followed by with 39% of 100% acrylic fiber dying while 4% of this was generated by carpet manufacturing and the rest of 35% occurred from hank dying and blanket manufacturing. 8% of the total waste water in the plant was due to polyamid fiber-based woven carpet piece dying process assessed in the scope of carpet manufacturing. Water consumptions in the acrylic and polyamid fiber-based manufacturing sub-processes which are included in carpet manufacturing varied between 40-70 l/kg carpet piece and 11-31 l/kg acrylic fiber, respectively. Although the type of the production inputs in both sub-processes are not the same, the water usage and also waste water production in the polyamid sub-process was 2,5 times higher than in the acrylic sub-process.

Waste water generated from these manufacturing processes have been characterized separately in details: accordingly composite waste water characterization values of acrylic fiber dying process are measured as COD_{Tot} 775-1440 mg/l (1100 mg/l), COD_{Sol} 275-1035 mg/l (655mg/l), TSS(0,45 μ) 110-225 mg/l (168 mg/l) and pH value 5-7 (6) respectively, these parameters are measured in the polyamid sub-process as COD_{Tot} 1440-1890 mg/l (1665 mg/l), COD_{Sol} 1000-1660 mg/l (1330 mg/l), TSS(0,45 μ) 25-35 mg/l (30 mg/l) and pH value 7,1-7,3 (7,2) respectively. Waste

waters associated with both sub-processes exhibited a typical textile waste water characteristics except pH parameters. On the other hand, since various different recipes are used in these sub-processes especially in terms of dye material combination and dosages, characterization studies have been carried out making a classification in respect with color type of used dye (light, average and dark color). In these studies, it has been determined that while average and dark colors are mostly processed in the acrylic sub-processes, light color dyeing was dominant in the polyamid fiber based woven carpet piece dyeing process. When color ratios are examined in the general production, it has been determined that dark and average colors are mostly used other than light colors.

Respirometric studies representing a major portion of the investigation were carried out on waste water from acrylic process classified as dark color and polyamid process classified as light color. Moreover, while biological treatability of dyeing materials used in both processes and auxiliary chemical materials used in polyamid sub-process have been defined very low, auxiliary chemical materials used in acrylic sub-process have been found very high. COD fractionations derived from respirometric studies indicates a soluble COD fraction of 45% for acrylic fiber dyeing and 90% for polyamid fiber dyeing processes, respectively, almost all indicates slowly biodegradable with very small readily biodegradable portion. It has been found that 7% of total COD has a soluble inert structure on the base of composite sample for both sub-processes. It has been determined that 6% of total COD has been found in particular inert form in acrylic process to be different from polyamid sub-process. Respirometric evaluations of acrylic and polyamid fiber dyeing processes waste water also showed that endogenous decay model and dual hydrolysis mechanism best describes the biodegradation of slowly soluble fraction. As a result of modelling studies, the yield coefficient, endogenous decay rate coefficient and half saturation rate coefficient values have been determined for both sub-processes as 0,66 g cell COD/g COD, 0,1 d⁻¹ and 1 mg/l respectively. Maximum specific growth rate, hydrolysis half saturation rate coefficient, first and second level maximum specific hydrolysis rate coefficients for acrylic sub-process have been determined as 1,65 d⁻¹, 0,02 g COD/g cell COD, 1,5 d⁻¹ and 3,5 d⁻¹, respectively. Similarly for polyamid sub-process, these values have been determined as 6 d⁻¹, 0,04 g COD/g cell COD, 0,36 d⁻¹ and 0,72 d⁻¹, respectively.

The very low rate coefficients characterizing the hydrolysis of the large part of the soluble COD bring interesting difficulties in the design of biological treatment systems. Design applications for continuous-flow activated sludge systems identify an unusually long hydraulic retention time of 10 days at a sludge age of 3 days for polyamid wastewater and it seems that second level maximum specific hydrolysis rate coefficient's values affect on the effluent quality significantly. On the other hand, a sludge age of 3 days and a hydraulic retention time of 5 h are found to be sufficient for effective COD removal for acrylic wastewater.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Günümüzde endüstrileşmenin hızı ile orantılı olarak dünya üzerinde çevresel değerler giderek tükenmekte ve çevre kirlenmesinde logaritmik artışlar meydana gelmektedir. İnsan doğası ise sürekli olarak refahını arttırmayı ve toplumsal olarak kalkınmayı hedeflemektedir. Bu hedef doğrultusunda daha iyi yaşamak, daha iyi beslenmek ve daha kolay iletişim-ulaşım imkanları yaratmak gibi sonu gelmeyen isteklerini gerçekleştirmek üzere bir takım faaliyetleri gerçekleştirmek zorundadır. Bu faaliyetleri sonucunda da bir takım kirleticileri doğal olarak ekosisteme boşaltmaktadır.

Çevre mühendisliği uygulamalarında karşılaşılan kirletici kaynaklar boşaltım düzenlerine göre 3 gruba ayrılırlar;

1. Noktasal kirletici kaynaklar
 - Evsel
 - Endüstriyel
2. Yaygın kirletici kaynaklar
 - Tarımsal
 - Çiftlikler
 - Rekreasyon
3. Gezici kirletici kaynaklar
 - Navigasyon (Taşımacılık)
 - Su sporları

Bunlar içerisinde en önemli kirletici kaynak noktasal kirleticiler olup bu kirletici kaynağın da en önemli mihenk taşı endüstriyel türde olanlardır.

Endüstri, sürdürülebilir kalkınmanın en önemli parçasını oluşturur. Endüstrinin amacı ise; üretim yapmak, çok sayıda ve çeşitte ürünü üretmektir. Doğal olarak endüstri bu işlevi sırasında çevre kaynaklarını kullanır, tüketir ve ürettikleri ile amacını gerçekleştirir. Bu süreçte oluşturduğu endüstriyel artıklar çevrede dağılım şekilleriyle yeni bir kirlenme oluştururken tüketilen kaynaklar da bir başka çevre

problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Su kirlenmesi, hava kirlenmesi, toprak kirlenmesi yanında çevre kaynaklarının temel öğeleri olan madenler, su, hava, toprak, enerji vb.'nin tüketimi ile kaynakların kullanımı ve korunması kavramları ön plana çıkmaktadır.

Endüstrinin; gaz, sıvı ve katı artıklarını toplayıp arıtması için 'Arıtma Tesisi' kurup işletmesi ise endüstrinin asıl amacı ile çelişki oluşturmakta ve endüstriye ek bir yük getirmektedir. Dolayısıyla bu ekonomik yükün minimum düzeyde tutulabilmesi için uygulamaya konulacak önlem alternatiflerinin uzun soluklu bilimsel çalışmaların ürünü olması, elde edilecek başarı düzeyi açısından çok büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde çevre kirlenmesinde endüstriyel kirletici kaynaklar yanında bu kaynaklardan oluşan kirleticilerin miktarı değil türü de çok büyük öneme sahiptir. Endüstrilerden kaynaklanan kirleticiler diğer kirleticilerle kaynaklara göre:

- Zehirli ve biyolojik olarak ayrıştırılması güç,
- Etkileri çok daha belirgin, doğal dengeyi değiştirici ve hatta geri döndürülemez nitelikte olan,
- Sayı ve türleri çok çeşitli olmakla birlikte miktarları da kaynak özelliklerine bağlı olarak çok değişken olabilen,
- Karakterleri atıklarda ve özellikle atıksularda kaynağa bağlı olarak çok değişken olabilen,
- Tespit edilmeleri ve giderilmeleri daha karmaşık ve maliyeti genellikle daha yüksek uygulamalar gerektiren

türde kirleticilerdir.

Diğer yandan, endüstriyel kaynaklar homojen yapıda olmayıp çok değişken yapıya sahiptirler. Örneğin; aynı ürünü üreten iki farklı tesisin kirletici tür ve miktarları da birbirinden çok farklı olabilmektedir. Dolayısıyla, endüstrilerin çevreyi kirlletmeden üretim yapabilmeleri için; uygun yer seçimi ve tesis kurulmadan önce arıtma önlem teknolojilerinin değerlendirilmesi gibi konular büyük önem taşımaktadır.

Bilindiği gibi, dünyada su tüketiminde önemli bir bileşen de endüstriyel sulardır ve ülkeler teknolojik olarak geliştikçe endüstriler için su ihtiyacı da artmaktadır. Her endüstriyel proses, doğal su sistemine zararlı olabilecek atıklar üretir. Alıcı su ortamlarına deşarj edilen suyun kalitesi ve miktarı, bu artıkların çevredeki zararları hakkında bir fikir vermesine karşın hesaplanabilecek sonuçlar vermez. Bu nedenle endüstriyel üretimler sonucu oluşan atıksuların tesis içinde kontrolü ve planlanması

gerekmektedir. Geri kazanma, yeniden kullanma gibi alternatiflerin değerlendirilmesinden sonra geri kalan ve atılacak olan suların miktar ve kalitesinin tespit edilmesi gerekir.

Endüstriyel faaliyetlerin ülkemiz ekonomisi içindeki gelişimi dikkate alındığında ise, endüstriyel sistemlerden kaynaklanan çevre sorunlarının, gelişime paralel olarak hala çözümlenemediği görülmektedir. Bu çalışmanın konusu; tekstil endüstrisi kategorisinin Halı son işlemler alt-kategorisinde yer alan seçilecek bir tesisin halı üretimi atıksularının biyolojik arıtılabilirliğinin incelenmesidir.

Bu çalışmanın amacı; ülkemizde tekstil endüstrisinin halı terbiyesi ve benzerleri alt kategorisinde yer alan ve akrilik ve polyamid elyaf esaslı halı terbiyesi üretimini gerçekleştiren endüstriyel sistemler için gerek proses ve kirlenme profillerinin oluşturulması ve gerekse bu sistemlerden oluşan atıksuların biyolojik arıtılabilirliğine yönelik detaylı karakterizasyonu ve biyolojik arıtılabilirliği bazındaki veri eksikliğini gidermektir.

Bu çerçevede; bilimsel temeller üzerinde yürütülen bu çalışma sonucu üretilen veriler, akrilik ve polyamid elyaf esaslı halı terbiyesi atıksularını arıtacak/arıtmakta olan tesislerin gerek dizayn çalışmaları ve gerekse işletilme aşamalarında ulaşılabilecek en yüksek giderme veriminin elde edilmesi açısından çok büyük kolaylıkları da beraberinde getirecektir.

Ayrıca, akrilik ve polyamid elyaf esaslı halı terbiyesi üretim proseslerinin ayrık akımlar bazında bu çalışmada tanımlanması, bu sektöre ait tesis içi kontrol stratejilerinin güncelleştirilerek daha da geliştirilmesi açısından çok büyük faydalar sağlayacaktır.

Bu çalışmanın kapsamı ise; halı terbiyesi ve benzerleri alt kategorisinde yer alan bir tesisin:

- **Üretim proseslerinin incelenmesi;** bu çerçevede öncelikle seçilen tesisin genel üretim profili çıkarılmış, bu üretim profili içinde yer alan alt prosesler tanımlanmış ve bu alt proseslerin genel üretim içindeki payı irdelenmiştir.
- **Proses bazında su kullanımı- atıksu oluşum miktarları ile konvansiyonel karakterizasyonunun yapılması;** bir önceki adımda belirlenen alt proseslerin her bir proses kademesinde kullanılan hammaddeler, su kullanımı ve atıksu oluşum miktarları belirlenmiştir. Elde edilen veriler hem tesisten oluşan toplam atıksu bazında her bir prosesin atıksu oluşumu içindeki yüzdesi hem de alt prosesler bazında her bir prosesin atıksu oluşumu içindeki yüzdesi

belirlenmiş, hammadde – ürün; hammadde – ürün – atıksu miktarı arasındaki ilişki kurularak, konvansiyonel karakterizasyon yöntemi ile atıksu karakterizasyonu oluşturulmuş ve her bir alt proses için hammadde-ürün-kirletici arasındaki değerlendirmeler yapılmıştır.

- **Genel üretim içinde halı üretimine yönelik olan akrilik ve polyamid elyaf esaslı halı üretimi alt proseslerinin incelenmesi;** geliştirilen metodoloji çerçevesinde ayrık akım ve kompozit akımlar bazında akrilik ve polyamid alt prosesleri için boya ve yardımcı kimyasallar detaylı bir şekilde incelenmiş ve tesiste özellikle boya kombinasyonu ve miktarları bazında çok sayıda farklı reçetenin uygulanması nedeniyle, kullanılan boyanın renk türüne göre (açık, orta veya koyu renk) bir sınıflandırma yapmak suretiyle detaylı konvansiyonel karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu karakterizasyon sonuçları değerlendirilerek, biyolojik arıtılabilirlik açısından önemli olan ayrık akımlar tespit edilmiş ve bu akımlar üzerinde respirometrik çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalara paralel olarak yine her bir ayrık akım için ayrı ayrı inert KOİ bileşenleri belirlenmiştir. Respirometrik çalışmalar sonucu elde edilen OTH profillerinde her bir ayrık akım ve kompozit akıma ait ayrı ayrı kolay ayrışabilen , yavaş ayrışabilen ve inert organik madde miktarları tespit edildikten sonra bu veriler çok bileşenli modeller çerçevesinde eğriye uydurma yöntemi baz alınarak AQUASIM simülasyon programına işlenmiş ve içsel solunum modeli çerçevesinde en küçük kareler metoduna göre maksimum çoğalma hızı (μ_H), yarı doygunluk hız sabiti (K_S), yarı doygunluk hidroliz hız sabiti (K_X), dönüşüm oranı (Y_H), maksimum spesifik hidroliz hız sabitleri (k_{h1} , k_{h2}) belirlenmiştir.
- **Tasarım esaslı uygulama;** modelleme çalışmasından elde edilen katsayılar kullanılarak gerek akrilik ve gerekse polyamid alt proseslerine ait kompozit atıksular için sürekli tam karışımli sistemde tasarım esaslı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Halı terbiyesi ve benzerleri alt kategorisi için SKKY’nde tanımlanan alıcı ortama deşarj standartlarını sağlayabilecek bu çalışma sonucu elde edilen biyolojik arıtma sistemi boyutlandırma dataları, özellikle hidrolik bekletme süresi ve çamur yaşı bakımından irdelenmiştir.

2. ENDÜSTRİYEL KİRLLENME

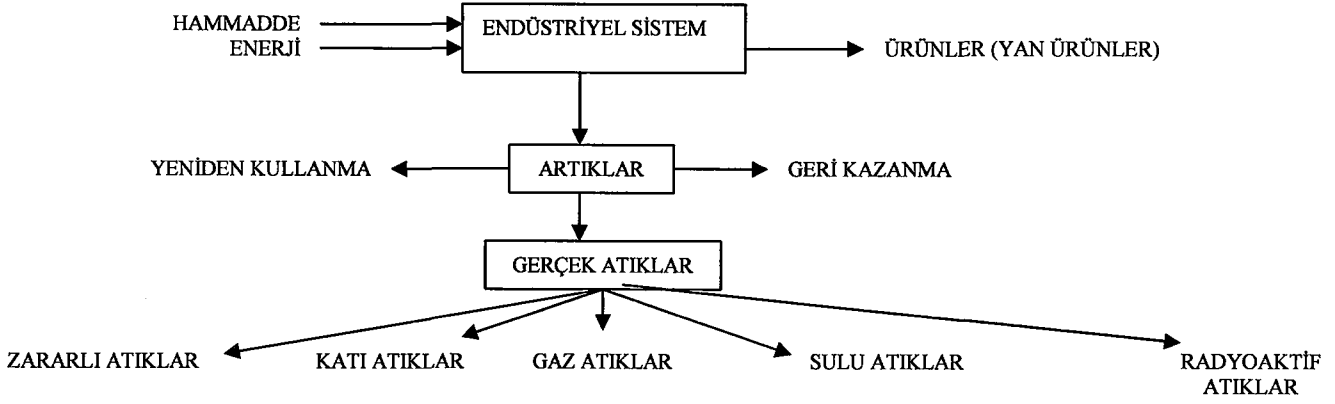
Endüstriyel kirlenme; endüstri kuruluşlarının oluşturduğu atıklar ile çevrede oluşturduğu kirlenmedir. Endüstrinin üretim özelliğine göre seçilecek en önemli parametreler, her endüstri için farklıdır. Endüstrinin üretim türüne bağlı olarak belirlenen en önemli kirletici parametreler, bunların giderilme tekniklerinin tespit edilmesinde de önemlidir. Yeni kimyasal maddeler, yeni teknolojiler, yeni endüstriyel prosesler insanoğluna ve çevresine yararlar sağladığı gibi bir çok tehlikeleri de beraberinde getirmiştir. Bu nedenle endüstriyel kirlenme çevre kirlenmesinin en önemli bileşenidir.

2.1 Endüstriyel Sistem Ve Endüstriyel Kirlenmenin Tanımı

2.1.1 Endüstriyel sistem

Endüstriyel Sistem en genel anlamda; bir veya birden fazla hammadde/hammaddeler kullanarak, belirli ürünlerin elde edilmesini sağlayan bütün üretim prosesi, yardımcı tesis, tesis içi ve dışındaki hizmetlerle tüm bu faaliyetler arasındaki ilişkilerin bütünü olarak tanımlanır. Bu sisteme ait girdi ve çıktılar Şekil 2.1’de sunulmuştur.

Bu tanımda geçen üretim kavramı; bir veya birkaç hammaddeyi işleyerek belirli bir ürün elde edilmesini sağlayan işlemler bütünüdür. Üretim, endüstrinin temel amacıdır ve endüstri içindeki bütün değişkenler üretim esas alınarak belirlenir.



Şekil 2.1: Endüstriyel sistemin girdi ve çıktıları

Sürekli proses; hammaddeyi kesiksiz olarak işleyen ve aynı oranda kesiksiz olarak ürün oluşturan proseslerdir.

Kesikli proses : Hammaddelerin beslenmesiyle ürün oluşumu arasında belirli bir faz farkının bulunduğu proseslerdir. Örneğin: metal son işlemler tesisindeki asit yıkama prosesi, , deri üretimi sırasında uygulanan ıslatma ve kıl giderme-kireçlik prosesleri.

Yarı kesikli proses : Hammaddelerin sürekli düzende beslendiği, ürün oluşumunun ise sürekli olmadığı proseslerdir. Örneğin: kot yıkama fabrikasında ön yıkama veya taşlama prosesi, çimento üretimindeki öğütme prosesleri.

Tanımda geçen yardımcı proses ve yardımcı tesis kavramı da; üretimin gerçekleşmesini sağlayan, temel proseslerin yürütülebilmesi için gerekli madde, enerji ve sistem desteği veren, ancak üretimle doğrudan ilişkisi bulunmayan birimlerdir. Örneğin; Kazan dairesi, bakım ve tamir atölyesi, transit veya hammadde-kimyasal madde deposu, soğutma suyu devresi (blöf suları bakımından önemli), soğutma kulesi, su hazırlama üniteleri,...vb.

Madde ve enerji ise; endüstriyel sistemin girdi ve çıktıları olup, endüstriyel sistemde yararlanılan ve proses ve yardımcı tesislere doğrudan verilen girdiler olarak ele alınabilir. Endüstriyel sistemin çıktıları ise iki grupta incelenir; endüstriyel sistem içinde yararlanılanlar ve yararlanılamayanlar. Endüstriyel sistem içinde yararlanılamayan çıktılar eğer endüstri dışında ekonomik olarak değerlendirilemiyor ise endüstrinin atıklarını oluşturur.

Endüstriyel sistemin bütün bileşenleri ile değerlendirilerek o sistemin kirletici etkilerinin en aza indirgenmesi amacıyla endüstriyel sistem içinde toplu yönetim kavramı ön plana çıkmaktadır. Bu yönetim şeklinde endüstrinin kirletici etkilerinin

kirlenme kontrolü esasları çerçevesinde ve yönetim bazında ele alınması gerekir. Özellikle kirlenme kontrolü için alınabilecek proses değişikliği gibi kararların verilmesinde toplu yönetim kavramı büyük önem taşır.

2.1.2 Endüstriyel kirlenme

Belirli üretimlerin gerçekleştirilmesi için gerekli proses, yardımcı tesis ve bunlar arasındaki ilişkiler bütünü “endüstriyel sistem” olarak tanımlanırsa, bu sistem içinde yararlanılamayan ve/veya sistem içerisinde ekonomik olarak değerlendirilemeyen çıktılar “endüstriyel atık” ve bu atıkların çevrede oluşturduğu kirlenme de *Endüstriyel Kirlenme* olarak adlandırılmaktadır.

2.2 Endüstrilerin Kirlenme Bazında Sınıflandırılması

2.2.1 Sınıflandırmanın amacı

Endüstriler gerek tekil gerekse endüstri kompleksleri veya endüstriler bütünü olarak oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Endüstriyel faaliyetler çoğunlukla birbirleriyle yakından ilişkili hatta birbirlerine bağımlıdırlar. Üretim yönünden ele alındığında, herhangi bir ürünün üretilmesi endüstri bütününde zincirin bir halkasını oluşturur ve bu şekilde her ürün bir başka üretim için başlangıç maddesi görevini görür. Zincirin ilk halkalarını oluşturan tarım ürünleri veya maden cevherleri gibi hammaddeler de yine bir endüstriyel faaliyet sonucu elde edilir veya elde edilmeleri için endüstriyel ürünlere ihtiyaç vardır. Örneğin tarım sektörünün en önemli girdilerinden biri olan gübre yoğun bir endüstriyel faaliyet sonucunda elde edilebilmektedir. Bu karmaşık yapı içerisinde, endüstrilerin çeşitli amaçlarla değerlendirilmesi için endüstri sınıflandırmaları yapılmaktadır. Sınıflandırmanın şekli ve kapsamı amaca bağlı olarak çok farklı olabilmektedir. Bunlar arasında; üretim türüne göre sınıflandırma, hammadde kullanımına göre sınıflandırma ve iş kolu bazında sınıflandırma sayılabilir. Kirlenme bazında endüstrilerin sınıflandırılması ise; endüstrilerin kirletici özelliklerinin belirlenmesine yardımcı olarak kontrol önlemlerinin geliştirilmesi amacıyla yapılmaktadır. Yoğun endüstrileşme ve bu endüstrileşme sonucu oluşan önemli kirlenme olayları, kirlenme kontrolü kavramını ön plana çıkarmıştır. Endüstriyel kirlenme kontrolü çok boyutlu bir konudur. Daha önce de bahsedildiği gibi, endüstriler diğer kirletici kaynaklardan farklı olarak çok değişik karakterde kirleticiler oluşturmaktadır. Bu kirleticilerin karakterizasyonu endüstrilerin en

azından kirlenme ile ilgili kısımlarının çok iyi tanımlanması ile gerçekleştirilebilir. Kirlenmenin karakterizasyonu ve buna dayanılarak alınacak önlemlerin belirlenmesi; endüstri gibi karmaşık bir yapı göz önüne alındığında, endüstriyel sistem bütününde sadece sistematik bir yaklaşım uygulamakla sağlanabilir. Endüstrilerin kirleticilik bazında sınıflandırılması bu sistematik yaklaşım gerekliliğinin sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Endüstriyel kirlenmede, üretim faaliyetleri sonucu oluşan kirleticiler üretimin yapısı ile yakından ilgili olup endüstrinin kirleticisi özellikleri bu üretime göre değişir. Buna göre herhangi bir endüstriye ait kirleticisi özellikler (kirlenme profili) ancak üretime bağlı olarak ifade edildiğinde anlam kazanır. Bu çerçevede, endüstrilerin kirlenme bazında sınıflandırılmasının bir diğer amacı da; endüstrilerin kirleticisi özelliklerinin üretim türlerine bağlı olarak ifade edilmesi ve kirleticisi özellikleri benzer endüstri gruplarının (kategorilerin) oluşturulmasını sağlamaktır. Bu grupların belirlenmesi endüstriyel kirlenme kontrolü sırasında uygulanacak sistematik yaklaşımın ilk adımını oluşturmaktadır.

Endüstriyel kirlenme kontrolü için çeşitli ülkeler farklı uygulamalar yapmaktadırlar.

Bunlar arasında başlıcaları;

- Teknoloji bazlı standartların kullanılması
- Alıcı ortam standartlarının kullanılması
- Ön arıtma uygulamaları

sayılabilir. Bu uygulamaların hepsi için endüstriyel atıksuların detaylı karakterizasyonu gerekmektedir. Örneğin; teknolojik bazlı standartlar her endüstri için en uygun arıtma sisteminin geliştirilmesi esasına dayanır. Bunun içinse ilgili endüstrilerin kirlenme açısından ayrıntılı bir karakterizasyonunu gerektirir. Ön arıtma için de benzer durum söz konusudur. Alıcı ortam standartları için ise alıcı ortama verilecek kirlenme yükünün belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için yine her kirleticisi kaynağın yani her endüstrinin kirleticisi özelliklerinin tanımlanmış olması vazgeçilmez bir gerekliliktir. Dolayısıyla kirleticiler bazında bir endüstri sınıflandırması yapmak, her türlü yaklaşım için gerekli ve yararlı bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu şekilde oluşturulan kategoriler daha çok belirli üretim dallarını veya birbirine çok yakın yada bağımlı olan kompleksleri kapsadığından dolayı kategoriler, sınıflandırmanın amacı olan homojen birimleri oluşturmamaktadır. Dolayısıyla endüstrilerin kirlenme bazında sınıflandırılmasının ikinci aşaması ise alt kategorilerin oluşturulmasıdır. Kirlenme karakterizasyonu ve kontrol önlemleri ancak bu şekilde

kendi içerisinde homojen birimlerin belirlenmesi ile gerçekleştirilebilir. Bu nedenle altkategorizasyonda, kirlenme ile doğrudan ilgili faktörlere ağırlık verilir.

2.2.2 Sınıflandırmada göz önüne alınan faktörler

Bir ülkede endüstrilerin sınıflandırılmasında öncelikle o ülkedeki endüstriyel yapı ve üretim durumu göz önüne alınmalıdır. Ayrıca endüstrilerin temel kategorilerinin belirlenmesinde sadece kirlenme özelliklerinin esas alınması yeterli olmaz. Aksi takdirde bireysel endüstriyel kaynakların karakterizasyonu için çok karmaşık bir işlem uygulamak gerekir. Bazen bir endüstriyel kaynağı tanımlamak için pek çok kategorinin değerlendirilmesi gerekebilir. Bu nedenle temel kategorilerin saptanmasında kirlenme özellikler yanında endüstri sektörleri ve endüstri yapısı ile üretim biçimleri ve bunların dağılımı göz önünde tutulmalıdır. Kategoriler belirlendikten sonra, yine üretimle ilgili hususlar göz önünde bulundurularak ancak kirlenme özelliklere daha fazla ağırlık verilerek altkategoriler saptanır. Alt kategorizasyon sınıflandırmanın en önemli kısmını oluşturur.

Endüstriler genellikle oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduklarından dolayı, bir tesisten oluşacak atıksu karakteri o tesiste kullanılan temel üretim prosesleri yanında daha pek çok faktörden doğrudan veya dolaylı olarak etkilenecektir. Dolayısıyla altkategorizasyon yapılırken üretim veya prosesle ilgili değerlendirmeler yanında diğer tüm faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Alt kategorizasyon yapılırken sadece atıksu kalitesinin bezerliği gruplama için yeterli olmaz. Alt kategorilerin, bir endüstri kategorisindeki yapı farklılıklarının, endüstrideki çeşitli uygulamaların türlerinin, bu uygulamaların endüstriler arasındaki dağılımının da ortaya konulması ile en anlamlı ve uygulamaya kolaylık sağlayacak şekilde saptanması gerekir.

Kirlenme bazlı Alt kategorizasyon için dikkate alınan başlıca faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Tünay vd.,1984) ;

1. Üretim prosesi teknolojisi
2. Ürün cinsi
3. Hammaddeler
4. Su kullanımı
5. Tesis büyüklükleri

6. Tesislerin yaşı ve verimleri
7. Personel durumu
8. Atıksu özellikleri
9. Atıksu arıtma teknolojisi
10. Yatırım maliyetleri
11. Atıksu dışında diğer kirleticilerin durumları

Alt kategoriler genellikle kategoriler içerisinde iyi belirlenmiş ve kendi içinde homojen bir gruba oluştururlar. Ancak bazı hallerde altkategori içerisinde esas olarak yürütülen işlem ve ürün cinsine veya hava kirlenmesi kontrol uygulaması gibi faktörlere bağlı olarak bölümler ve alt bölümler biçiminde daha ileri bir ayrıma da gidilebilmektedir. Bazen de çok sayıda altkategori olması durumunda uygulamaya kolaylık getirmek amacıyla altkategorilerin bazı ortak özellikleri esas alınarak altkategori grupları oluşturulabilir.

Endüstrilerin kirleticilik bazında sınıflandırılması bir çok ülkede uygulanmaktadır. Bu uygulamalarda bazıları endüstrilerin ayrıntılı bir kategorizasyonunun yapılması şeklindeyken bazıları kirleticilik önemine göre gruplamalar şeklindedir. Sınıflandırma şekli ülkelerdeki atıksu kontrolü düzenine bağlı olarak değişik şekillerde ele alınabilmektedir. Örneğin; endüstriler atıklarındaki zehirli maddelere göre sınıflandırılabilir. ABD’de Çevre Koruma Teşkilatı (EPA) tarafından yapılan bir sınıflandırma Tablo 2.1’de verilmiştir. Bu sınıflandırma endüstriler için teknolojik bazlı standartların belirlenmesinde esas alınmaktadır. Kanada’da da benzer bir uygulama yapılmaktadır. Batı Almanya’da ise ayrıntılı bir endüstri sınıflandırması yapılmakta ve bu sınıflandırma hem deşarj standartlarının geliştirilmesinde hem de ön arıtma standartlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Tablo 2.2’de Batı Almanya’da teknoloji bazlı deşarj standartları verilen endüstrilerden bazıları sıralanmıştır. İngiltere’de Çevre Bakanlığı tarafından yapılan bir sınıflandırma yine benzer amaçlarla kullanılmaktadır. Avustralya’da, Rusya’da ve daha pek çok avrupa ülkesinde endüstri sınıflandırmaları mevcut olup bunların dışında Dünya Bankasının da kirlenme bazında yapılmış ayrıntılı bir sınıflandırması mevcuttur.

Tablo 2.1: ABD’de endüstri sınıflandırması örneği

ENDÜSTRİ KATEGORİSİ	ENDÜSTRİ KATEGORİSİ
Çamaşırhaneler ve Oto yıkayıcıları	Patlayıcı maddeler
Kömür madenciliği	Tutkal ve ağaç ürünleri
İnorganik kimyasal madde üretimi	İlaç
Demir ve Çelik	Demirdışı metaller
Deri	Maden cevherleri çıkartımı
Alüminyum şekillendirme	Boya ve mürekkep üretimi
Pil ve akü	Plastik ve sentetik maddeler
Tel kaplama	Kağıt hamuru ve kağıt
Bakır şekillendirme	Kauçuk işleme
Elektronik ve elektrikli araçlar	Sabun ve deterjan
Dökümhaneler	Buharla çalışan elektrik santralleri
Metal son işlemleri	Tekstil
Fotoğrafçılık donanım ve malzemeleri	Orman ürünleri
Plastik işleme	Bölgesel atıksu arıtma tesisleri
Emayeleme	Yapıştırıcı ve izolasyon malzemeleri

Tablo 2.2: Batı Almanya’da endüstri sınıflandırması örneği

ENDÜSTRİ KATEGORİSİ	ENDÜSTRİ KATEGORİSİ	
Linyit kömürü çıkartma ve işleme	Bira endüstrisi	Boya endüstrisi
Süt Endüstrisi	Alkol ve alkollü içkiler endüstrisi	Et endüstrisi
Yemeklik yağ endüstrisi	Sunta üretimi	Kağıt ve kağıt hamuru endüstrisi
Meyve ve sebze endüstrisi	Yem endüstrisi	Balık işleme endüstrisi
Alkolsüz içkiler endüstrisi	Seramik endüstrisi	Şeker endüstrisi

Türkiye’de ise 1984 yılında Prof. Olcay ve arkadaşları tarafından endüstriler üzerinde yürütülen bir çalışmada, diğer ülkelerde benzer amaçlar için yapılmış çalışmalardan ve özellikle ABD Çevre Koruma Teşkilatı (EPA) dökümanlarından yararlanılarak bir kategorizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Türkiye’deki halihazır 95 adet endüstriyel faaliyet arasında kategorizasyon tanımı

çerçevesinde bir gruplandırma yapılarak 59 adet kategori belirlenmiştir. Bu çalışmada seçimde göz önüne alınan en önemli faktör, seçilecek endüstri kategorisi kapsamındaki tesislerin ülke genelindeki yaygınlığı olmuştur. Seçilen endüstri kategorilerinin oluşturacakları kirlenmenin, üç değişik kirlenme türü olan organik kirlenme, besin (nütrient) kirlenmesi ve zehirli (toksik) madde kirlenmesini temsil etmesi amaçlanmıştır. Seçimde yaygınlık açısından önde gelen ve Türkiye ekonomisinde önemli yeri olan, tarıma dayalı endüstri kategorilerine öncelik tanınmıştır. Seçilen endüstri kategorileri Türkiye için karakteristik endüstriler olarak tanımlanmaktadır. Bu özelliklere sahip endüstriler arasındaki son seçim için göz önüne alınan faktörler ise;

- Atıksu miktarı ve kirleticilik derecesi
- Kirlenme kontrolü yaklaşımı ve arıtma teknolojilerinin değişik uygulamaları temsil etmesi
- Kirlenme kontrolü uygulamasında arıtma yapmaya imkan veren noktasal kaynak niteliğinde olması

olarak belirlenmiştir.

2.2.2 Kategorizasyon

Kirletici özellikleri; sektör, yapı, üretim biçimi ve dağılımı göz önüne alınarak, bu kriterlerin tümü bazında birbirine benzer özellik gösteren endüstriler için yapılan sınıflandırmadır. Örneğin; kağıt üretimi atıksuları ile baz tekstil işlemleri atıksuları her ne kadar kirletici özellikleri bakımından birbirine benzerlik gösterse de üretim ve yapıları itibarıyla birbirlerinden tamamen farklıdırlar. Bu nedenle bu iki kaynağın ayrı kategorilerde değerlendirilmeleri gerekir. Çünkü, kirlenme değerlendirmesinde üretim biçimleri temel faktör olarak dikkate alınmaktadır.

2.2.3 Alt kategorizasyon

Aynı kategori içinde olmakla birlikte üretim farklılıkları olan ve aynı ürünü farklı proses ve yöntemlerle üreten endüstrilerin atıksularında oluşacak karakter farklılıklarını ortaya koymak için yapılan bir sınıflandırmadır. Bu çerçevede herhangi bir endüstriyel sistem bütününde; ürün, hammadde veya atıksu karakteri bazında alt kategorizasyon yapılabilmektedir. Yine OLCAY ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Türkiye’de en yaygın olarak karşılaşılan Tekstil endüstrisi kategorisin

için 10 adet alt kategori belirlenirken, Deri endüstrisi için 9 adet, Mezbaha ve Et ürünleri endüstrisi için 4 adet, İçki ve Meşrubat endüstrisi için 6 adet, Kağıt hamuru ve kağıt endüstrisi için 9 adet, Gübre endüstrisi için 7 adet, Metal son işlemler endüstrisi için 7 adet, Süt ve Süt ürünleri endüstrisi için 10 adet ve İlaç endüstrisi için de 4 adet olmak üzere toplam 66 adet altkategori tanımlanmıştır. Bu alt kategoriler belirlenirken de yine diğer ülkelerde benzer amaçlar için yapılmış çalışmalardan ve özellikle ABD Çevre Koruma Teşkilatı (EPA) dökümanlarından yararlanılmıştır.

2.3 Endüstriyel Atıklar

2.3.1. Zararlı atıklar

Zararlı atıklar; kısaca insan sağlığına veya çevremizde bulunan diğer organizmalara zararlı etkisi yada tehlike potansiyeli olan atıklar olarak tanımlanabilir. Katı, sıvı, yarı katı (çamur) veya gaz formlarından herhangi biri olarak bulunabilir. Çeşitli endüstriyel faaliyetler sonucunda patlayıcı, parlayıcı, kendiliğinden yanmaya müsait, su ile temas halinde parlayıcı gazlar çıkaran, oksitleyici, organik peroksit içerikli, zehirli, korozyif, hava ve su ile temasında toksik gaz bırakan, toksik ve ekotoksik özellik taşıyan atıklar "*Endüstriyel zararlı atık*" olarak adlandırılır. Yaygın kaynak (kaynağı belirsiz) ve nokta kaynak (kaynağı belirli) olarak üretilirler. Zararlı atık kaynaklarının büyük bir bölümünü endüstriyel atıklar oluşturmaktadır. Bu nedenle en önemli kaynak bazında ayırım endüstriyel zararlı atıkların sınıflandırılmasıyla yapılmaktadır. Endüstriyel zararlı atık kaynaklarının büyük bir bölümünü ise kimyasal madde üretimlerinin ve bunlarla ilişkili endüstrilerin oluşturduğu görülmektedir.

Bileşim ve fiziksel halleri ne olursa olsun alıcı ortamlara ve araziye doğrudan verilemezler. Bu açıdan zararlı atıklar uzaklaştırılma biçimi olarak katı atıklara benzer ancak özellikleri ve tanımlarına bağlı olarak arıtma yöntemleri farklıdır. Zararlı atık olarak nitelendirilebilecek ve genellikle endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan başlıca atıklara örnekler vermek gerekirse; spreyci kutuları, eski laklar ve boyalar, solventler, solvent karışımları ve tinerler, yağlar ve bal mumları, tutkal ve yapışkanlar, macun, spatül atıkları, eski ve kullanılmış yağlar, laboratuvar kimyasalları ve hafif kimyasal maddeler, civa ve civa içeren atıklar, zararlı yapışkan kalıntılar içeren boş variller, floresan tüpleri ve enerji tasarruflu lambalar, kozmetikler ve vücut bakım ürünleri, eski ilaçlar sayılabilir.

2.3.2 Katı atıklar

Endüstriyel sistem içinde gerek üretim faaliyetleri sonucu oluşup hiçbir şekilde değerlendirilemeyen gerekse evsel katı atık özelliklerine sahip büro, revir, mutfak ve kafeterya gibi mekanlardan kaynaklanan ve zararlı atık özelliğine sahip olmayan tüm atıklar ‘‘Endüstriyel katı atık’’ olarak adlandırılır. Evsel katı atıklarla birlikte uzaklaştırılabilirler. Bunlara örnek olarak sırasıyla; fabrika sahası içinde bulunan park, bahçe ve yeşil alanlardan atılan bitki atıkları, varsa eğer evsel atıksu arıtma tesisi çamuru veya zararlı atık niteliğinde olmayan endüstriyel atıksu arıtma tesisi çamurları, hafriyat toprakları, inşaat molozları, endüstriyel sistem içinde geri kazanılamayan veya hiçbir şekilde değerlendirilemeyen ve zararlı atık niteliği olmayan her türlü üretim atığı verilebilir.

2.3.3 Gaz atıklar

Endüstriyel sistem içinde yakıt ve benzeri maddelerin yakılması ile; sentez, ayrışma, buharlaşma ve benzeri işlemlerle, maddelerin yığılması, ayrılması, taşınması ve bunun gibi diğer mekanik işlemler sonucu bir tesisten atmosfere yayılan gaz formundaki hava kirleticileri ‘‘Endüstriyel gaz atık’’ olarak adlandırılır. Bunlara örnek olarak; 30 mg/m³ üzerindeki anorganik klor emisyonları, 5 mg/m³ üzerindeki anorganik flor emisyonları, organik bileşiklerin buhar ve gaz biçimindeki emisyonları verilebilir. Atık gazlar serbest hava akımı tarafından engellenmeden taşınabilecek biçimde atmosfere verilmelidir. Genelde endüstriyel sistemlerde bu amaç için belirli kriterler göre dizayn edilen bacalar kullanılmaktadır.

2.3.4 Radyoaktif atıklar

Nükleer reaktör işlemlerinden ya da tıpta araştırma, askeri ve endüstriyel faaliyetler gibi kaynaklardan üretilen atıklar olarak tanımlanırlar. Kullanılmış yakıtların yeniden işlenmelerinden oluşan radyoaktif atıkların oldukça zehirli oluşu ve bu özelliklerinin uzun yıllar sürmesi endişe yaratmaktadır. 1983 yılında Seattle’de yapılan bir büyük uluslararası konferansta bu tür atıkların yönetimi için teknolojinin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle oldukça yüksek radyoaktivite seviyeli sıvı atıkların vitrifikasyonunun günümüzde endüstriyel çapta uygulandığı gösterilmiş bulunmaktadır. Konferansta aynı zamanda yeraltının derinliklerindeki jeolojik

yapıların, halihazırda, katılaştırılmış atıkları uzun süreli güvenli olarak çevreden izole etmeye yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

2.3.5 Sulu atıklar

Çevre mühendisliği uygulamalarında karşılaşılan kirletici kaynaklar boşaltma düzenlerine göre 3 gruba ayrılabilir;

1. Noktasal kirletici kaynaklar
 - Evsel
 - Endüstriyel
2. Yaygın kirletici kaynaklar
 - Tarımsal
 - Çiftlikler
 - Rekreasyon
3. Gezici kirletici kaynaklar
 - Navigasyon (Taşımacılık)
 - Su sporları

Şekil 1’de gösterildiği gibi, noktasal kirletici kaynak grubuna giren endüstriyel sistemlerden oluşan gerçek atıklar içinde en öncelikli ve önemli yeri üretim faaliyetleri sonucunda oluşan sulu atıklar almaktadır. Çevre kanununa göre endüstriyel atıksu; endüstri kuruluşlarından, imalathanelerden, atölyelerden, tamirhanelerden, küçük sanayi sitelerinden ve organize sanayi bölgelerinden kaynaklanan her türlü işlem ve yıkama artığı suları, proses suları ile karıştırılmadan ayrı olarak işlem görüp uzaklaştırılan kazan ve soğutma sularını kapsamaktadır. Bu çerçevede, endüstriyel kaynaklı atıksular yerleşim yerlerinden ve yaygın kaynaklardan oluşan atıksulara göre önemli farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların başlıcalarını sıralamak gerekirse;

1. Atıksu oluşturan endüstriyel kaynaklar, sayı ve tür olarak çok çeşitli ve miktarları da kaynak özelliklerine bağlı olarak çok değişken olabilmektedir. Bu nedenle, atık birim miktarlarının belirlenmesi için kaynakların ayrıntılı olarak değerlendirilmeleri gerekir.
2. Atıksuların karakteri yine kaynağa bağlı olarak çok değişken olabilmektedir.

3. Çevredeki etkileri çok daha belirgin ve doğa tarafından kolayca özümsemez niteliktedir.
4. Endüstriyel atıksulardan kaynaklanan kirlenmenin belirlenmesi ve önlenmesi, daha karmaşık ve maliyeti genellikle daha yüksek uygulamalar gerektirir. Çünkü endüstrinin üretim yapısı gereği atıksularında çok çeşitli kirletici maddeler bulunabilmektedir. Bunlar arasında; asitler, bazlar, organik yapıdaki maddeler, çeşitli inorganik maddeler, azot ve fosfor gibi besi maddelerinin türevleri, zehirli maddeler, mikrobiyolojik kirleticiler ve ısı sayılabilir.

2.3.5.1 Endüstrilerde atıksu kaynakları

Endüstriyel sistemlerde pek çok değişik kaynaktan atıksu oluşabilmektedir. Bunları sıralamak gerekirse;

- Proses ve işlemlerden kaynaklanan atıksular
- Soğutma suları
- Alet, teçhizat, bina vb. temizlik ve yıkama suları
- Yardımcı işletmelerden kaynaklanan atıksular
- Duş, tuvalet, kafeterya vb. faaliyetlerden oluşan evsel nitelikli atıksular
- Yağmur suları ile faaliyet alanı drenaj suları

Proses ve işlemlerden kaynaklanan atıksular: Endüstriyel sistem içerisinde oluşan diğer atıksulara göre hem kaynak sayısı hem de kirletici özellikler açısından çok önemli değişimler gösterirler. Proses atıksuları; endüstriyel sistemde yer alan üretim proseslerinin her bir adımındaki su kullanımı sonucunda veya bu proseslerin işleyişi sırasında oluşan sulardır. Örneğin; deri endüstrisinde derilerin ıslatmaya maruz bırakıldığı dolapların boşaltılması, metal son işlemlerde kaplama banyolarının işlem bittikten sonra atılması, gübre endüstrisinde ana çözelti atıkları proses atıksularına örnek olarak verilebilir. Bunun yanında, gıda endüstrisinde tankların temizlenmesi ile oluşan atıksular, ürün elde etme işlemleri sırasında yarı mamulün soğutulması için kullanılan temaslı soğutma sularının önemli bir kısmı ve hatta açıkta depolama yapan endüstriyel sistemlerde drenaj edilen yağmur suları da proses atıksuları kapsamına alınmaktadır.

Soğutma suları: Soğutma suları hammadde, ürün veya ekipmanın soğutulması amacıyla kullanılırlar. Kapalı ve Açık devre olabilirler. Kapalı devre soğutma suları; atıksu yalnızca blöf yapılması nedeniyle oluşan sulardır ve endüstriyel sistem içinden oluşan diğer atıksulara kıyasla oldukça düşük miktardadır. Açık devre sular ise bir veya birkaç kez kullanıldıktan sonra atılırlar. Kirlilik açısından incelendiğinde, kapalı veya açık devre temassız soğutma suları gerek hammadde, gerek ürün ve gerekse kullanılan kimyasallarla bulaşmadığından genellikle temiz sulardır. Ancak içlerinde bulunan katkı maddeleri nedeniyle korozyon oluşturabildiklerinden dolayı çoğunlukla ihmal edilebilir düzeyde kirletici içermelerinin yanında sıcaklıkları nedeniyle ısıl kirlenmeye de yol açabilirler.

Temas tipi soğutma suları çoğunlukla temas ettiği materyalden bulaşabilecek kirleticileri içerebilir ve bu nedenle yukarıda belirtildiği gibi proses atıksuları kapsamında değerlendirilebilirler. Diğer yandan, metal işleme tezgahlarında kullanılan ve bor yağı içeren soğutma suyu artıkları gibi çok yüksek konsantrasyonda kirletici veya zehirli madde içeren soğutma suları ise Şekil 1’de endüstriyel sistem için tanımlanan zararlı atıklar grubuna girer.

Alet, teçhizat, bina vb. temizlik ve yıkama suları: Bunların değerlendirmesi de soğutma sularına benzer şekilde yapılır. Eğer temizlenen alet veya yerlerde üretimde kullanılan bir materyalden dolayı bir bulaşma yoksa temizlenen yere bağlı olarak evsel nitelikli veya proses atıksuyu olarak değerlendirilebilir.

Yardımcı işletmelerden kaynaklanan atıksular: Bu atıksuların ayrımı esas olarak yardımcı işlemin tanımına bağlıdır. Üretimle doğrudan ilişkisi olmayan ancak üretim için madde, enerji ve sistem desteği veren yardımcı işlem veya yardımcı tesislerde yapılan faaliyetler sonucu belirli düzeyde kirlenmiş bir atıksu oluşuyorsa bu tesisin atıksuları proses atıksuyu kapsamında değerlendirilebilir. Dolayısıyla bu işlemlerin tanımında veya adlandırılmasında bakış açısı çok önemlidir ve konuya kirlenme açısından bakıldığında proses atıksuları endüstriyel sistem içindeki kirlenmiş suları simgelediği için her bir kirli atıksu kaynağına proses gözü ile bakılır. Bu değerlendirme kirletici türüne göre de değişir. Örneğin; su kirlenmesi açısından çoğunlukla bir proses atıksu kaynağı ve dolayısıyla bir proses olarak dikkate alınmayan kazan daireleri, endüstriyel sistem içinde hava kirlenmesi açısından önemli bir prosestir. Bun göre; eğer yardımcı işletme olarak nitelendirilen işletme

belirli bir üretim prosesini kapsamıyor ancak ısı, buhar ve su temini gibi amaçlara hizmet ediyor ise bu işlemlerden kaynaklanan atıksular çoğunlukla temiz sulardır. Ancak bu sularda ekipman veya bunlara bağlı hatlarda korozyona neden olabilecek katkı maddeleri, klorür, asidite vb. kirleticiler bulunabilmesine karşın bunlar ya tür bakımından yada konsantrasyon olarak ihmal edilebilir mertebededirler. Diğer yandan, yardımcı tesis eğer bir üretim prosesi ise endüstriyel sistem içerisinde proses atıksularına katkıda bulunabilecek bir kaynak olacağından dolayı ayrı bir proses olarak göz önüne alınmalıdır.

Evsel nitelikli atıksular : Endüstriyel sistemlerde üretimde çalışan personelin duş, tuvalet vb. kullanımları ile mutfak ve kafeterya gibi evsel faaliyetlerin gerçekleştirildiği yerlerden kaynaklanan atıksular endüstrinin evsel atıksuları olarak değerlendirilir. Bu atıksular endüstriyel sistemlerde kanal sistemi içinde diğer atıksulardan genellikle ayrılmış durumdadır. Çünkü kirlenmiş bir başka atıksu ile karışan evsel atıksular evsel karakterini kaybeder ve proses atıksuları ile birlikte ele alınması gerekir.

Yağmur suları ile faaliyet alanı drenaj suları : Evsel ve endüstriyel atıksulardan herhangi bir bulaşma söz konusu değilse, üretimde kullanılan hammadde ve yardımcı maddeler açık alanda depolanmıyorsa ve evsel ve endüstriyel atıksulardan ayrı bir kanalla toplanıyorsa bu tip atıksular temiz su olarak değerlendirilebilir.

2.3.5.2 Endüstriyel atıksuların sınıflandırılması

Literatürde endüstrilerin atıksu kaynaklarının değerlendirilmesi ve sınıflandırılması kirletici özellikler bazında ve her atıksu kaynağının tanımına uygun şekilde yapılır. Bu yaklaşımla bir endüstriyel sistemden oluşan ve tamamen ayrı toplanan evsel atıksular bir grupta, kirlenmemiş soğutma vb. yardımcı işletmelerden kaynaklanan atıksular bir grupta, proses atıksuları ise ayrı bir grupta ele alınarak değerlendirilirler. Buna göre endüstrilerden kaynaklanan atıksuların kirlenme bazında sınıflandırılması şu şekilde yapılır:

- Proses atıksuları : Prosesle doğrudan veya dolaylı ilişkisi olan kirlenmiş atıksular, temas tipi soğutma suları, endüstriye özel olmakla birlikte alet,

teçhizat ve yer yıkama suları ve hatta yağmur suyu drenaj atıksularını da kapsayabilir. Kısaca, önemli miktarda kirletici maruz kalmış sular olarak tanımlanabilirler.

- Proses dışı atıksular: Temassız soğutma suları, kazan blöf ve kondensat suları ile üretime su hazırlama cihaz/ünitelerinden kaynaklanan suları kapsarlar. Bu suların ortak özelliği kirletici içermemeleri veya içerdikleri kirleticilerin tür ve miktarlarının az olması yada bu kirleticilerin farklı yapıda olup değişik arıtma uygulamaları gerektiren türde olmalarıdır. Bu sular da ayrı deşarj standartları ile kontrol edilir. Örneğin; Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde soğutma suları ve su yumuşatma tesisi atıksuları için ayrı ayrı deşarj standardı getirilmiştir. Ancak bu değerlere bakıldığında, bunların daha ziyade uygun bir işletme ve konvansiyonel arıtma sistemlerini kullanmadan sağlanabilecek yapıda oldukları görülmektedir. Öyle ki; kirletici parametre olarak, kirlenmemiş olduklarını denetlemeye yönelik KOİ gibi bazı kontrol parametrelerinin dışında klorür, sülfat gibi çoğunlukla kirletici olarak değerlendirilmeyen ve arıtılmalarında membran yöntemler gibi özel ve ileri arıtma yöntemleri gerektiren parametreleri kapsamaktadırlar.
- Evsel nitelikli atıksular: Personelin duş, tuvalet, kafeterya, mutfak gibi evsel nitelikli faaliyetlerini gerçekleştirdiği yerlerden ve büro hacimlerinin temizliği ile oluşan atıksulardır. Bu atıksulara evsel değilde evsel nitelikli atıksu adı verilmesinin nedeni endüstriden kaynaklanan evsel atıksular ile yerleşim yerleri atıksularının temelde benzer karakter sergilemesi ile birlikte karakterizasyonlarında esas alınan parametrelerin değerleri ve birbirine oranları itibarıyla farklılık göstermeleridir. Buna karşın arıtılma yöntemleri bu farklılaşmayı dikkate almak koşulu ile aynı yöntemlerle yapılabilir ve bu atıksular için genelde evsel atıksular için tanımlanan deşarj standartları uygulanır.

2.3.5.3 Endüstriyel kirlenmede önem taşıyan temel parametreler

Atıksular için endüstriyel kirlenmede önem taşıyan temel parametreleri 3 grupta toplayabiliriz:

- Geleneksel kirletici parametreler; gerek kaynak tanımları ve gerekse arıtma sistemleri açısından şimdiye kadar yaygın olarak kullanılmış ve kendileri ile ilgili bilgi birikimi bulunan parametrelerdir. Bu parametrelerin çevredeki etkileri de daha iyi tanımlıdır. Bunlara örnek olarak; BOI_5 , TAKM ve ağır metaller verilebilir.
- Geleneksel olmayan kirletici parametreler; çoğunlukla geleneksel parametrelere paralellik gösteren ancak gerek arıtma sistemleri ve gerekse çevredeki etkileri bakımından bilgi birikiminin yeni oluşturulduğu parametrelerdir. Bunlara örnek olarak KOI parametresi verilebilir.
- Mikrokirleticiler; belirli koşullar altında özellikle insan ve su yaşamına yaptığı zehirli ve istenmeyen etkileri ile bir su kaynağının kalite ve değerini düşüren ve yine insan aktivitesi ile çevreye giren maddelerdir. Çok az miktarda dahi çevrede zehirlilik, birikicilik gibi önemli ve ekolojik dengeyi değiştirici yönde etkileri bulunmaktadır. Bazı ülkelerde eser kirleticiler (trace pollutants), öncelikli kirleticiler (priority pollutants), dirençli ve çözünmeyen kirleticiler (refractory pollutants) yada zehirli kirleticiler (toxic pollutant) olarak değişik isimlerle tanımlanmaktadırlar. Mikrokirleticilerin gerek arıtma sistemlerindeki davranışları ve gerekse çevredeki etkileri tam olarak bilinmemesine karşın kimyasal yapılarına veya etkilerine göre gruplandırılabilmekte ve bu nedenle çok farklı şekillerde isimlendirilebilmektedirler. Örneğin; eser organik maddeler, zehirli organik maddeler, tehlikeli maddeler öncelikli kirleticiler. Endüstriyel kirlenme kapsamında konvansiyonel kirleticiler için kullanılan oksijen tüketimi, ötrofikasyon, zehirlilik, aşındırıcılık, sıcaklık gibi etki anlatım kavramları mikrokirleticiler için yeterli sayılmamaktadır. Mikrokirleticilerin ekolojik dengeye etkilerini birikicilik, mutajenlik gibi yeni kavramlar çerçevesinde değerlendirmek gerekmektedir. Bu nedenle günümüzde endüstriyel kirlenmenin etkileri sadece belirli alıcı ortamlarda oluşan etkiler şeklinde değil aynı zamanda çevre bütününde ve insan sağlığı da dikkate alınarak yapılmalıdır.

2.3.5.4 Endüstriyel kirlenmenin ifade edilmesinde kullanılan temel birimler

Endüstriyel kirlenmenin kontrolünde kullanılan temel birimler;

- Hacim
- Yük
- Konsantrasyon

dur. Konsantrasyon haricinde diğer temel birimlerin tanımlanması zaman bazında ve üretim bazında yapılmaktadır. Üretim bazında tanımlamada üretim karakteristiği önemlidir. Üretim karakteristiği; atıksu ile ilişkilendirilen üretimin zamana göre değişmeyen elemanını ifade etmektedir. Bir endüstriyel sistemden oluşan kirlenme tanımlanmak istendiğinde, hammadde, enerji/katı madde veya ürün üretim karakteristiği olarak seçilebilir. Buna ilişkin örnekler Tablo 2.3’de sunulmuştur.

Endüstriyel kirlilik yükleri “Hidolik Eşdeğer Nüfus” veya “BOI Eşdeğer Nüfusu” şeklinde ifade edilebildiği gibi ürün başına oluşan kirlilik yükü veya kullanılan hammadde başına kirlilik yükü şeklinde de ifade edilebilmektedir. Endüstriyel kirlenme yükü; bir endüstrinin çevreye verdiği herhangi bir kirleticinin birim zamandaki miktarı olarak tanımlanır.

Tablo 2.3: Endüstriyel kirlenmenin üretim karakteristiği bazında tanımlanması

ÜRETİM KARAKTERİSTİĞİ	ENDÜSTRİYEL KİRLENME	
	HACİM	YÜK
Hammadde • Tekstil,Dokunmuş Kumaş Boyama • Mezbaha ve Et Ürünleri • Metal Son İşlemler	- m³ oluşan atıksu/ton işlenmiş kumaş - m³ oluşan atıksu/canlı hayvan ağırlığı - m³ oluşan atıksu/m² kaplanan metal	- kg BOI₅/ton işlenmiş kumaş - kg TAKM/canlı hayvan ağırlığı - kg Cd/ m² kaplanan metal
Ürün • İçki ve Meşrubat (Bira) • Kağıt Endüstrisi (Karton)	- m³ oluşan atıksu/l üretilen Bira - m³ oluşan atıksu/ton üretilen Karton	- kg BOI₅/l üretilen Bira - kg KOI /ton üretilen Karton
Enerji/Katı Madde • Petro Kimya	- m³ oluşan atıksu/Kullanılan Kwh veya Kullanılan kg Buhar	- kg TKN/Kullanılan Kwh veya Kullanılan kg Buhar

2.4 Avrupa'nın En Uygun Teknoloji Referans Dökümanı (BREF) Ve Geliştirilmiş Kirlilik Önleme Ve Kontrol (IPPC) Direktifi (96/61/EC)

En uygun teknolojiler teriminin tanımını kapsayan Geliştirilmiş Kirlilik Önleme ve Kontrol (IPPC) direktifinin yasal bir gücü olmayıp amacı; göz önünde bulundurduğu endüstriyel aktivitelerden oluşan kirlilikten bir bütün olarak çevrenin yüksek seviyede korunmasını sağlayan geliştirilmiş önleme ve kontrol teknolojilerini hayata geçirmektir. Direktifin yasal dayanağı çevre koruması ile ilgilidir. Bu direktifin uygulaması; sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunması dolayısıyla rekabet halinde olmayan endüstri toplulukları kadar diğer toplulukların da amaçlarını dikkate almalıdır. Daha spesifik olarak bu direktif; endüstrilerin kirlileme ve tüketme potansiyelinin tamamına bakarak hem işleticileri hem de yöneticilerin gelişmelerini sağlamayı gerektiren endüstrilerin belirli kategorileri için kabul edilebilir bir sistem sağlar. Bu şekilde geliştirilmiş bir yaklaşımın genel amacı; bir bütün olarak çevrenin yüksek seviyede korunmasını sağlayana kadar endüstriyel proseslerin yönetim ve kontrolünü geliştirmek zorunda olmalıdır. Bu yaklaşımın merkezi; özellikle çevre performanslarını arttırmayı sağlayacak en uygun teknolojilerin uygulanması ile kirliliğe karşı uygun önleyici ölçümlerin tümünü almak zorunda olan işletmecilere Direktifin 3. bölümünde verilen genel prensiplerdir.

2.4.1 Direktif kavramları ve uygulaması

Direktifte adı geçen En Uygun Teknoloji (BAT) ile; faaliyetin gelişmesinde en verimli ve en ileri aşama ile bir bütün olarak çevre üzerindeki olumsuz etkiler ve emisyonları azaltmanın genellikle pratik olmadığı durumlarda, kirliliği önlemek üzere dizayn edilen sistemlerde dikkate alınan emisyon limit değerleri için baz oluşturacak prensipleri sağlayan ve özel tekniklerin pratik olarak uygun olanını gösteren işletme metodları kastedilmektedir.

“Teknikler” terimi ise; hem kullanılan teknolojiyi hem de endüstriyel sistemin dizayn, bakım inşaat, işletme ve işlememe yöntemlerini kapsar.

“Mevcut teknikler” terimi ile; işletmecilere oldukça kabul edilebilir görünmeleri halinde, üye eyaletlerde kullanılıp kullanılmadığı yada üretilip üretilmediğine bakılmaksızın, avantaj ve maliyetlerin göz önünde bulundurulduğu, teknik ve ekonomik olarak uygun koşullar altında ilgili endüstri sektörüne uygulanmasına müsaade eden bir ölçek üzerinde geliştirilen teknikler kastedilmektedir.

“En iyi” kavramı ise; bir bütün olarak çevrenin korunmasını genellikle yüksek bir seviyede sağlayan en verimli anlamında kullanılmaktadır. Ayrıca, Direktifin EK 4’ü; en uygun teknikler tanımlandığı zaman spesifik durumlarda yada genellikle dikkate alınması gereken düşünceleri, önlem ve önlemlerin prensipleri ile akılda tutulabilen birim maliyet ve faydaların bir listesini içerir.

Bu Direktifin 3. bölümünde,yetkili otoriteler tarafından tanımlanan müsaade edilebilir koşullar; teknik ölçümleri yada eşdeğer parametrelerle yer değiştiren yada bunlara ilave edilen emisyon limit değerlerini içermek zorundadır. Direktifin 9. bölümüne göre bu emisyon limit değerleri, eşdeğer parametreler ve teknik ölçümler, çevre kalite standartları ile uyuşup uyuşmadığı ön yargısına olmaksızın ve herhangi bir teknik yada spesifik teknolojinin kullanımını zorunlu kılmaksızın en uygun tekniğe dayandırılmak zorundadır. Ancak, lokal çevre koşulları, endüstrinin coğrafi konumu ve teknik karakteristikleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Tüm bu şartlarda; müsaade edilebilir koşullar uzun mesafe yada sınır ötesi kirliliğin minimizasyon koşullarını içermek ve bir bütün olarak çevre için yüksek düzeyde bir koruma sağlamak zorundadır.

Direktifin 11. bölümüne göre; üye eyaletler yetkili otoriteleri takip etme yükümlülüklerini yerine getirmek zorundadırlar yada en uygun tekniklerdeki gelişmelerden haberdar edilmelidirler.

Direktifin 16. bölümü, kendi içinde izleme ve gelişmelerle ilgili en uygun teknikleri dikkate alan üye eyaletler ve endüstriler arasında bilgi alışverişini organize etmek ve değişimin sonuçlarını yayınlamak için bir komisyona ihtiyaç duyar. Bilgi alışverişinin amacı; “en uygun tekniklerle ilgili topluluk seviyesinde bilgi alışverişi ve gelişme ile topluluktaki teknolojik dengesizliği düzeltmeye yardım edeceğinin, toplulukta kullanılan teknik ve limit değerlerin dünya çapında göz ardı edilmesini arttıracığının ve bu direktifin verimli bir şekilde uygulanmasında üye eyaletlere yardım edeceğinin ” yer aldığı 25. resitalinde verilmektedir.

Çok sayıda teknik çalışma grupları ve Direktifin 16. bölümünde söz konusu çalışmaya yardım etmek için kurulan bilgi alışverişi forum komisyonu (IEF), IEF şemsiyesi altında kurulmuştur. Hem IEF hem de teknik çalışma grupları (TWG), 16. bölümde gerek duyulduğu gibi üye eyaletler ve endüstrilerden gelen sunuşları içerir.

2.4.2 En uygun teknoloji referans dökümanı (BREF)

Bu dökümanlar, dikkate alınan sektör için genel anlamda En Uygun Teknoloji (BAT) olarak nelerin göz önünde bulundurulması ile ilgili sonuçları veren çok sayıda elementi içermektedir. Bu anlamda En Uygun Teknoloji Referans Dökümanı (BREF)'nın tek amacı üye eyaletlerin yetkili otoriteleri, endüstri işletmeleri, Komisyon ve halka Geliştirilmiş Kirlilik Önleme ve Kontrol (IPPC) Direktifine göre endüstrilerin izin alması ile ilişkili bilgileri sağlayan genel kurallar yada En Uygun Teknoloji (BAT) esaslı izin koşullarının tanımına kadar uzanan bilgileri sunmaktır. Bu dökümanlar Avrupa Birliği uyarınca çevre performansını arttırmada ilerletici bir güç olarak hizmet etmektedir. Bu dökümanlar ne kendi başına bir Direktifi yorumlayabilir ne de Direktif tarafından ihtiyaç duyulan ve dengelenmesi gereken kararları içeren ulusal, bölgesel yada lokal seviyede Direktife tabi üye eyaletler ve işletmelerin karar verme safhalarında üzerlerindeki yükümlülükleri kaldıramaz. Ayrıca bu dökümanlar teknik yada emisyon limit değerlerini emredemez. Bu dökümanlardan sağlanan bilgi; spesifik uygulamalarda En Uygun Teknolojinin (BAT) tanımlanması için bir girdi olarak kullanılma eğilimindedir. En Uygun Teknoloji (BAT) tanımlandığı ve En Uygun Teknoloji (BAT) bazlı müsaade edilebilen koşullar uygulamaya konulduğu zaman, bir bütün olarak çevrenin korunmasını yüksek bir seviyede başarmak için ana amaç daima hesaba katılmalıdır. Bu dökümanlar esas itibarıyla bir teknik doküman niteliğindedir ve belirli bir amaç için oluşturulan ve Teknik Çalışma Grubu (TWG) olarak adlandırılan bir grup tarafından yürütülen bilgi alışverişinin bir ürünüdür. Politik düşünceler ve bakış açıları bu dökümanlara yansıtılmamaktadır. Avrupa Geliştirilmiş Kirlilik Önleme ve Kontrol Bürosu (EIPPCB) ise bütün Teknik Çalışma Gruplarının (TWG) tarafsız bir şekilde teknik olarak yetkili sekreteryası gibi çalışır.

Bu anlamda bu dökümanların 1. ve 2. bölümlerinde dikkate alınan endüstriyel sektör ve bu sektörde uygulanan endüstriyel proseslerle ilgili genel bilgiler verilmektedir. 3. bölümde ise bu dökümanların oluşturulması sırasında mevcut endüstrilerdeki durumu yansıtan halihazır emisyon ve tüketim seviyelerini dikkate alan bilgi ve datalar sunulmaktadır. 4. Bölümde, En Uygun Teknoloji (BAT) ve En Uygun Teknoloji (BAT) bazlı müsaade edilebilen koşullarla çok ilişkili olarak dikkate alınan diğer teknik ve emisyon azaltımı konuları daha fazla detaylı bir şekilde tanımlanmaktadır. Bu bilgi örneğin yeni, mevcut, geniş yada küçük tesisler gibi IPPC

izinlerine ihtiyaç duyan tesislere uygulanabilir tekniklere kadar uzanan ve bu teknikle ilişkili cross-media ve maliyetler gibi irdelemelerin bazıları ile bu teknik kullanılarak başarılabirliği göz önünde bulundurulan tüketim ve emisyon seviyelerini içerir. Genellikle modası geçmiş gibi görünen teknikler dahil edilmemektedir. 5. bölümde ise genel anlamda En Uygun Teknoloji (BAT) ile uyumlu olarak göz önüne alınan tüketim ve emisyon seviyeleri ile teknikler sunulmaktadır. Böylece amaç; Direktifin 9. bölümünde genel olarak karara bağlanan kuralların uygulanması için yada En Uygun Teknoloji (BAT) esaslı müsaade edilebilir koşulların tanımlanmasına yardımcı olmak için uygun referans noktası olarak göz önüne alınabilen emisyon ve tüketim seviyeleri hakkında genel göstergeler sağlamaktır. Ancak burada şunu vurgulamak gerekir ki; bu dökümanlar emisyon limit değerleri önermemektedir. Uygun müsaade edilebilir koşulların tanımı; incelenen endüstrilerin teknik karakteristikleri, coğrafi konum ve lokal çevre koşulları gibi lokal, yöreye özgü faktörlerin hesaba katılmasını içerecektir. Halihazırda mevcut olan endüstriyel sistemlerde, bu sistemleri güncelleştirmenin ekonomik ve teknik uygulanabilirliğinin hesaba katılması gerekmektedir. Hatta bir bütün olarak çevrenin yüksek seviyede korunmasını sağlayan tek amaç; farklı tipteki çevre bozulmaları arasında sık sık ticari olmayan hükümler vermeyi kapsayacaktır ve bu hükümler sık sık lokal düşüncelerden etkilenecektir. Bu bölümde sunulan teknikler ve teknoloji düzeylerinin bütün endüstriler için uygun olması gerekmemektedir. Diğer yandan müsaade edilebilir koşulları ifade eden uzun mesafe yada sınır ötesi kirliliğin minimizasyonunu içeren çevre korumanın en yüksek seviyede sağlanması yükümlülüğü sadece lokal koşullar baz alınarak oluşturulamaz. En Uygun Teknoloji (BAT)'ler zamanla değişikliklerinden dolayı bu dökümanların uygun bir şekilde gözden geçirilerek güncelleştirilmesi gerekmektedir.

2.5. Endüstriyel Sistemlerde Tesis İçi Kontrol İle Endüstriyel Atıksuların Arıtımı

Endüstri tesislerinin aynı alt kategoride olsalar da hiçbir zaman birbirinin aynı olmadığı ve bu nedenle de standart bir arıtma sisteminin tanımlanamayacağı, endüstriyel atıksu arıtımının en önemli prensibini oluşturur. Diğer yandan her endüstri için özel çözüm ihtiyacının o endüstriyi çok iyi tanımlamakla mümkün olacağı, dolayısıyla atık araştırması-karakterizasyon işlemlerinin çoğu zaman yürütülmesi gereği dikkate alınmalıdır. Her endüstri için ayrı ve özel çözüm

ihtiyacının bir nedeni de endüstrilerin bulundukları yere bağlı olarak deşarj standartlarının farklı olması ve dolayısıyla arıtma ihtiyacının farklı olmasıdır. Bu çerçevede endüstriyel atıksu arıtımında mümkün olduğunca belirli bir sistematik çerçevesinde literatürden mümkün olduğunca yararlanmak gerekir. Ayrıca endüstriyel tesislerin bir özelliğinin de zaman içinde üretim ve kapasite değişimi yaptıkları ve arıtma sistemi dizaynında bu noktanın da dikkate alınması gerektiği unutulmamalıdır. Endüstriyel sistemlerde atıksu kontrolü için ilk aşama **Tesis içi Kontrol** dür. Endüstrilerde tesis içi kontrol belirli bir amaca yönelik olarak yapılırsa, gerek uygulama ile gerekse ekonomik taraflarının somut bir biçimde ortaya konması açısından yarar sağlar. Tesis içi kontrollerin yürütülmesinde her şeyden önce tasarruf ilkesinin uygulanması ve alınacak önlemlerin altkategoriler sistematığı içinde ele alınması gerekir.

2.5.1 Tesis içi kontrol

Bilindiği gibi, endüstriyel sistem içinde atıksular; **proses, proses dışı ve evsel atıksular** olmak üzere 3 gruba ayrılırlar. Proses atıksularının ise kendi aralarında ilgili alt kategori sistematığı uyarınca sınıflandırması yapılır. Bu uygulamalar ile arıtma sistemlerinin dizaynı ve işletilmesi büyük ölçüde kolaylaştırılır. Ancak, atıkların alt kategori sınıflandırılmasından önce atık türlerini esas alan bir ayrıma tabi tutulmaları ve ayrıca atık sınıflandırılmasına yardımcı olarak ayrımların yapılması gerekir. Atık sınıflandırılmalarından sonra yapılacak birleştirme ve ayırmalar, ancak arıtma teknolojisi uygun ise gerçekleştirilebilir. Değişik işlemlerden gelen atıkların birbirinden ayrılması bazen arıtma açısından daha uygundur. Herhangi bir işlemde çıkan suyun oldukça temiz olduğu durumlarda bu suyu ayırmak ve diğer atıksularla karıştırmamak çoğunlukla tercih edilir. Yada bazı atık akımlarını ayrı olarak arıtmak bunları birleştirilip arıtmaktan daha kolay olabilmektedir. Örneğin; metal kaplama fabrikası atıklarının bir kısmı CN^- bir kısmı ise Cr^{+6} içeren akımların ayrı toplanarak bir ön arıtma işleminden geçirildikten sonra birleştirilerek genel arıtma sistemine gönderilmesi işletme açısından daha uygun olmaktadır. Yine deri endüstrisinde kromlu suların ayrı toplanıp, arıtılıp deşarj malzemesi olan kromun bu üniteye geri kazanılarak sistem içinde yeniden kullanımının sağlanması, gerek arıtma sistemine gelen yük gerekse zararlı atık niteliğindeki krom içerikli çamur miktarını azaltmak ve aynı zamanda da maliyetler açısından oldukça önemli olmaktadır.

Bunun yanında, tesis içinde ayrılmış olan akımlar için uygulanan dengeleme işlemi; ayrılmış olan akımda bir ön arıtma işlemi gerçekleştirilmek isteniyorsa veya genel arıtma sisteminde yapılacak debi ve özellikle kirletici yüklerin bir ön dengelemesini yapmak amacıyla kullanılır.

Diğer yandan genel arıtma sisteminin verimli olarak çalıştırılabilmesi için bazı atıkların atıksularda belirli oranlarda olması istenir. Bu amaçla ayrılmış olan atıklardan toplam atıklara belirli oranlarda ilave etmek gerekebilir. Örneğin, genel arıtma sistemi bir biyolojik arıtma ise ve bu sisteme zarar verebilecek toksik maddelerin ayrı bir şekilde arıtımı ekonomik açıdan uygun olmuyorsa, bunların belirli konsantrasyonların altında bulunacak şekilde belirli oranlarda genel atıksu akımına ilave edilmesi uygun olabilir. Bunun yanında, genel atıksu akımıyla birleştirildiğinde arıtilamayan veya birleşik arıtmayı güçleştiren atıkların genel atıksu akımına karıştırılmadan önce atıksulardan ayrılması ve arıtılması olarak tanımlanan iç arıtma işlemleri de tesis içinde kaynak bazında kirleticilerin kontrolü sistematığının önemli bir noktasını oluşturmaktadır. Örneğin; nötralizasyon, sülfür oksidasyonu, siyanür oksidasyonu, krom indirgemesi bunlar arasında sayılabilir.

Tesis içi kontrolde, yan ürün geri kazanımı olarak adlandırılan ayrılmış akımlarda ekonomik olarak değerlendirilebilecek atıkların (geri kazanılması) ayrılması bir iç arıtma olarak değerlendirilebilir. Örneğin; metal son işlemleri endüstrisinde değerli metaller alt kategorisi atıklarının iyon değişimi işlemiyle arıtılması aslında sulardaki değerli metallerin geri kazanılmasına yönelik bir işlemdir. Suyun geri kazanılması ise, ayrılmış akımlardaki suların bir ön işleminden veya iç arıtmadan geçirilerek veya hiçbir işleme tabi tutulmadan proses içinde çeşitli noktalarda kullanımını amaçlayan uygulamadır. Değerli metaller örneğinde iyon değişimi işleminden elde edilen su çok yüksek kalitede olduğundan hemen hemen bütün proseslerde kullanılabilir. Buna göre endüstriyel sistem içinde geri kazanma işlemleriyle suyun yeniden kullanılması bazı hallerde eş zamanlı olarak gerçekleşebilmektedir. Bazı ayrılmış atıksu akımlarının hiçbir işlem görmeden veya çöktürme ve nötralizasyon gibi basit işlemleri takiben proseste kullanılmaları mümkündür. Dolayısıyla, yan ürün geri kazanma ve suların yeniden kullanılması işlemleri, atılan sulardaki atık miktarının azaltılması ve arıtılacak su miktarının en aza indirilmesi nedeniyle avantaj sağladığı gibi çeşitli maddelerin değerlendirilmesi ve su kullanımının azaltılması nedeniyle çok yaygın olarak yapılan bir uygulamadır. Günümüzde kirlenme kontrolü için bütün

endüstrilerde öncelikle uygulama imkanı araştırılan geri kazanma işlemleri, bazı hallerde standart uygulamalarına da esas oluşturabilmektedir.

Tesis içi kontrolde ekipman değişimi genelde proses değişimi gibi büyük boyutlu bir uygulama olarak ele alınmasa da, genelde mevcut ekipmanların daha yeni ve verimli ekipmanlarla değiştirilmesi veya mevcut ekipmanların daha iyi çalışma koşulları sağlamak üzere kısmen yenilenmesi şeklinde uygulanmaktadır. Proses değişimi ise, teknoloji değişimine paralel olarak zaman içerisinde ele alınması gereken bir konu olup, kullanılan üretim yönteminin tamamen veya kısmen değiştirilmesi için gerçekleştirilen büyük boyutlu ve ekonomik açıdan tartışılan bir uygulamadır.

Diğer yandan, tesisin mevcut çalışma düzeninin kirlenmeye en az neden olacak şekilde değiştirilmesi bazı endüstrilerde önemli kolaylıklar sağlar. Örneğin, kesikli işlemler genellikle daha fazla atık oluşumuna neden olmaktadır. Buna karşın, yarı sürekli veya sürekli işlemler ise daha az atık oluşturur. Dolayısıyla çeşitli üretim birimlerinin çalışma düzenlerinin, oluşan veya oluşması muhtemel atık türleri dikkate alınarak düzenlenmesi mümkündür. Örneğin; asit karakterde atık üreten bir işlem ile alkali karakterde atık üreten işlemin aynı anda yapılması arıtma işlemini önemli ölçüde kolaylaştırır. Yine dengeleme ihtiyaçları açısından tesislerin vardiyaları da düzenlenebilir.

2.5.2 Endüstriyel atıksuların arıtımı

Endüstriyel atıksuların arıtımında çevre mühendisliğindeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik temel işlem ve proseslerin hemen hemen hepsi kullanılmaktadır. Yaygın kullanıma sahip konvansiyonel ve ileri arıtma yöntemleri Tablo 2.4'de verilmiştir.

Endüstriyel atıksuların arıtılmasında genel sistematik literatür bilgilerinden yararlanma ve en uygun arıtma teknolojilerinin kullanılması gibi genel yaklaşımların yanında uygulamada dikkate edilmesi gereken noktalar vardır. Bunları sıralamak gerekirse;

- Endüstriyel arıtma optimizasyon işlemine dayanan bir seçimdir. Bu çerçevede ilk yatırımla birlikte işletme masrafları ve çamur oluşumunun da dikkate alınması gerekir.
- Atıksuyun yapısına bağlı olarak her temel işlem uygulamasının farklı dizayn kriterlerine dayandırılması gerekir. Örneğin; kimyasal arıtma uygulamasında bazı hallerde 5 dakikalık yumaklaşma süresi yeterli olurken bazı hallerde 45

dakikalık süreler gerekebilmektedir. Bu nedenle gerçek dizayn yapılmadan önce söz konusu endüstriyel atıksuya ait arıtılabilirlikve/veya model/pilot ölçekte sistemler kurup bunlar üzerinde yürütülecek deneylerden elde edilen veriler esas alınarak daha büyük boyuttaki arıtma sistemlerinin dizaynına geçilmesi, daha sonra işletme sorunları yaşanmaması adına daha uygun olacaktır.

- Sistemlerin dizaynında endüstriyel atıksuyun özelliklerine bağlı olarak gerekli belirleme ve seçimler yapılmalıdır.

2.5.2.1 Endüstriyel atıksuların arıtımında biyolojik arıtma uygulamaları

Endüstriyel atıksuların biyolojik yöntemlerle arıtılmasında her şeyden önce sistemlerin klasik aktif çamur ve biyofilm sistemlerine ek olarak döner biyodiskler, derin şaft aerobik askıda kültür sistemleri, akışkan yataklı sistemler ve bunların karbon giderimi yanında nitrifikasyon ve denitrifikasyon için geliştirilmiş sistemleri gibi çok sayıda alternatif olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Endüstriyel atıksuların biyolojik arıtımında en önemli handikaplardan biri inhibisyon olayıdır. Atıksu bileşiminde bulunan inhibitörler ve bu çerçevede ön arıtma ihtiyacı veya sistem dizaynında inhibisyona karşı bir dizi önlemlerin alınması gerekebilir. Özellikle endüstriyel biyolojik arıtma sistemleri evsel atıksu arıtma sistemlerine kıyasla daha uzun süreler sonunda devreye alınabilirler. Bu durumun hızlandırılması için çeşitli enzimler, vitaminler vb. kullanımı günümüzde oldukça yaygınlık kazanmıştır. Ancak bunların da yetersiz kaldığı durumlar söz konusu olabilmektedir. Dolayısıyla endüstriyel atıksuyu arıtmak üzere dizayn edilmek istenen bir biyolojik arıtma sisteminde aşağıda belirtilen hususların dikkate alınmasında yarar vardır;

- Arıtmada geçerli kinetik sabitlerin değişken olabileceği, bunların çalışma koşulları ve seyrelme ile değişebileceği, işletme parametrelerinin buna göre seçilmesi,
- Reaktör tipinin; tam karışım, zehirlilik, şok yüklemeler, mikroorganizma türü, kabarma vb. seyrelme açısından önem taşıdığı dikkate alınarak seçilmesi,
- Biyolojik arıtmanın kuvvetli atıklar, oksijen yetersizliği vb. durumlarda kademeli olarak yapılması gereği,

- Çamur kabarması ve çamur yükselmesi gibi olayların dizaynda göz önünde bulundurulması,
- İşletme sırasında ilave besin (Azot, fosfor ve eser elementler) ihtiyacının dikkate alınması,
- Çamur üretimi en az olan sistemlerin seçilmesi,
- Oksijen ihtiyacının belirlenmesinde gerek atıksuyun oksijen transferine karşı davranışı ve gerekse BOI_5/BOI_T oranının dizayn sırasında dikkate alınması,
- Endüstriyel sistem içinde mikrokileticilerin giderimini sağlayacak önlemlerin alınarak biyolojik arıtmaya gelen suya karışımının önlenmesi,
- Özellikle çökeltme tankında yüzey yükünün yanı sıra katı madde akışı ile kabarma ve yükselme oluşumları dikkate alınarak bekletme süresinin seçimin dikkatli yapılması,
- Sistem dizaynında esas alınan ünitelerin, endüstri içinde ileride meydana gelebilecek kapasite artışı durumlarında esnek, değiştirilebilir, yeniden düzenlenebilir ve özellikle modüler yapıda olmasına özen gösterilmelidir.

2.5.2.2 Endüstriyel atıksuların arıtımında kimyasal arıtma uygulamaları

Kimyasal arıtma uygulamalarının, kimyasal çöktürme şeklinde endüstriyel atıksu arıtımında çok yaygın bir kullanımı vardır. Bu kullanım, endüstriyel atıksu içinde askıda ve kolloidal haldeki istenmeyen madde ve iyonların çözünürlüğünü değiştirip ortamdan ayırma, adsorbsiyon/absorbsiyon ile organik madde giderme, çözünmüş madde ve renk giderme, zehirlilik giderme, yağ giderme gibi çok farklı amaçlarla gerçekleştirilmektedir. Kimyasal arıtma tek başına bir arıtma sistemi olarak kullanılmasının yanında diğer arıtma sistemleri ile kombine edilerek (örneğin; deri endüstrisinde biyolojik arıtma öncesi, tekstil endüstrisinde biyolojik arıtma öncesi veya sonrası) kullanılmaktadır. Kimyasal madde tür ve dozajının ve polielektrolit gibi yardımcı maddelerin seçimi kimyasal arıtmanın kalbini oluşturur. Bu seçimler büyük ölçüde laboratuvar ölçekli deneysel çalışmalara dayandırılmaktadır. Bu deneysel çalışmalar aynı zamanda sistemin bekletme süreleri, çökeltmede yüzey yükü gibi dizayn parametrelerinin belirlenmesinde önemlidir. Bu sistemlerde çamur oluşumu diğer sistemlere göre oldukça fazla olabildiğinden, dizaynda çamur oluşumu ve susuzlaştırılarak uzaklaştırılması önemli bir faktör olarak değerlendirilmelidir.

Tablo 2.4: Endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan başlıca arıtma yöntemleri (Tünay, 1996)

KONVANSİYONEL YÖNTEMLER			
FİZİKSEL		KİMYASAL	BİYOLOJİK
Debi Ölçümleri		Kimyasal Çöktürme	AEROBİK PROSESLER
Izgaralar		Adsorbsiyon	- Askıda büyüyen prosesler
Öğütücüler		Dezenfeksiyon	- Yüzeyde büyüyen prosesler
Dengeleme		Klor ile dezenfeksiyon	-Askıda-yüzeyde büyüyen prosesler
Karıştırma		Klor giderme	ANOKSİK PROSESLER
Yumaklaştırma		Klordioksitle dezenfeksiyon	- Askıda büyüyen prosesler
Çökeltme		Brom klorür ile dezenfeksiyon	- Yüzeyde büyüyen prosesler
Yüzdürme		Ozon ile dezenfeksiyon	ANAEROBİK PROSESLER
Mikroelekler			- Askıda büyüyen prosesler
Gaz Transferi			- Yüzeyde büyüyen prosesler
Uçurma ve gaz ile sıyırma			AEROBİK-ANOKSİK-ANAEROBİK PROSESLER
			- Askıda büyüyen prosesler
			- Yüzeyde büyüyen prosesler
			STABİLİZASYON HAVUZLARI
İLERİ YÖNTEMLER			
Mikrelekler	Karbon	Kimyasal oksidasyon	Biyolojik nitrifikasyon
adsorbsiyonu		Ultraviyole ile oksidasyon	Biyolojik nitrifikasyon, denitrifikasyon ve
Gaz Transferi	İyon	Kırılma noktası kırılması	fosfor giderme
değiştirme		Metal tuzları ile kimyasal	Biyolojik Nitrifikasyon/denitrifikasyon
Uçurma ve gaz ile sıyırma		çöktürme	Biyolojik denitrifikasyon
Filtrasyon		Kireç ile kimyasal çöktürme	Biyolojik fosfor giderme
Hava ile sıyırma			Aktif öamur-toz aktif karbon
Ultrafiltrasyon			
Ters Osmoz			
Elektrodiyaliz			

2.5.2.3 En uygun arıtma teknolojisi (BAT)

En uygun arıtma teknolojisi tanımı; endüstriyel atıksuların kontrolü ve kısıtlama esaslarının geliştirilmesinde en önemli adımı oluşturmaktadır. En uygun teknoloji uygulamasının amacı; her endüstri kategorisine, kendi atıksu özellikleri, atıksuların arıtılabilirlikleri, çalışma düzeninde olablen değişiklikler ve bu değişimlerin atıksu ve arıtılabilirliği üzerine etkileri göz önüne alınarak belirlenen arıtma sistemleri içinden gerek ekonomik gerek teknik olarak uygulanabilirlik ve gerekse çevre korunması açısından belirli bir düzeyde arıtmayı sağlayabilecek güvenli bir arıtma sisteminin ortaya konulmasıdır. Bu anlamda seçilen en uygun arıtma teknolojisi en yüksek arıtma düzeyini temsil etmeyebilir. Teknik olarak herhangi bir atıksuyun yüzde yüz verimle arıtılması mümkündür. Ancak bu uygulama hem çevre koşullarına göre belirlenen arıtma gereksinmesinin çok üstünde olabilir, hem de önemli yatırımlar gerektirir. Diğer taraftan, atıksuların hiç arıtılmadan veya iyi

planlanmamış, dengeli ve verimli bir arıtım sağlamayan ve yapılan yatırımla çevreyi koruma açısından pek bir yarar elde edilemeyen düzenlerde arıtılarak deşarj edilmesi de söz konusudur. Dolayısıyla en uygun arıtma teknolojisinin tanımlanmasının nedeni, herbiri çeşitli açılardan sakıncalı olan bu iki marjinal yaklaşım yerine yukarıda belirtilen amaca uygun bir arıtma düzeninin belirlenerek hem etkin bir arıtma sağlanması hem de tanımlanacak deşarj kalite ölçütlerine bir baz oluşturulmasıdır. En uygun arıtma teknolojisi tek ve standart bir şema olarak düşünülmemelidir. Arıtma ihtiyacına bağlı olarak en uygun teknoloji arıtma kademeleri şeklinde de ifade edilebilir. Teknoloji seçiminde göz önünde bulundurulması gereken noktalar aşağıda sıralanmıştır;

- En uygun arıtma düzeni içerisinde yer alan sistemler tam olarak geliştirilmiş ve teknolojisi belirlenmiş sistemler olmalıdır,
- Bu sistemler denenmiş, her koşul altında belirli bir verim düzeyine ulaşabildiği kanıtlanmış sistemler olmalı,
- Sistemlerin verimi hem atıksu kalitesi değişimleri karşısında hem de işletme ile ilgili hususlar açısından önemli değişimler göstermemeli, yani diğer bir deyişle kalite değişkenliği fazla olmamalıdır,
- Sistem kararlı çalışmalı ve sık sık arıza çıkarmamalıdır,
- Seçilen arıtma düzeni atıksuda ön görülen tüm parametreleri kapsayacak bir arıtma potansiyeline sahip olmalı ve her parametrenin sistem içinde istenen verimde giderilmesi sağlanabilmelidir,
- Seçilen sistem, endüstrinin yapısına ve çalışma düzenine uygun olmalıdır. Bazı endüstri kategorileri yapı olarak çok değişik ve çeşitli kapasitelerde faaliyet gösterebilmektedirler. Çalışma düzeni de gerek üretim şekline ve gerekse kapasiteye bağlı olarak değişik olabilmektedir. Seçilen sistemin o endüstrinin özelliklerine uygun ve her hale göre düzenlenebilir niteliklere sahip olması gerekir.
- Seçilen arıtma düzeni ve içinde bulunan üniteler inşaat, hammadde, bakım ve işletme yönünden ülke koşullarına uygun olmalı,
- Seçilen arıtma düzeni, bütün bu özellikleri sağlamasının yanında en uygun arıtma teknolojisi yaklaşımının en önemli unsurlarından biri olan ekonomik açıdan da uygun olmalıdır.

2.6 Endüstrilerde Su Kullanımı Ve Atıksuların Geri Kazanım-Yeniden Kullanımının Önemi Ve Gerekliliği

Atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımı, kalite yönetiminin bütün temel adımlarına ihtiyaç duyar. Aynı zamanda, tesis içinde atıksu üreten proseslerin ayrıntılı bir şekilde incelenerek, geri kazanılabilecek akımların ve yeniden kullanım için arıtma ihtiyacının doğru bir şekilde tanımlanması gerekir. Bu nedenle, atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımı, endüstriyel sistemlerdeki toplam kalite yönetiminin önemli bir noktasını oluşturmaktadır. Bu çerçevede, endüstriyel sistem içinde geri kazanım ve yeniden kullanım ile ilgili yapılacak araştırmalar, geri kazanılan kısmın ayrıldıktan sonra geriye kalan atıksuyun kalitesinin, deşarj standartları ile uyumlu ve uygun arıtma yöntemleri ile ilgili teknolojik gelişmeler dikkate alınarak değerlendirilmesini de içermelidir. Atıksu geri kazanımı ve yeniden kullanımı, özellikle yüksek miktarda su tüketimi ile karakterize edilen endüstriler için çok önemli olmakta ve uygulamada bir anlam ifade etmektedir. Endüstrilerde kullanılan hammadde ve yardımcı kimyasal maddelerin, gerçekleştirilen işlemlerin, her işlem için uygulanan teknolojilerin çeşitliliği nedeniyle endüstriyel sistemler son derece değişken yapıya sahip olabilmektedir. Bu değişken yapı, atıksu karakterizasyonu ve uygulanan arıtma teknolojilerine de yansımaktadır. Su tüketiminin yüksek olduğu endüstrilerde, üretim – atıksu karakterizasyonu ile arıtma yöntemleri arasındaki ilişkilerin kurulabilmesi, çevre kirlenmesi kontrolü açısından önem taşımaktadır. Endüstrilerin karmaşık ve dinamik yapısı nedeniyle, atıksularının arıtılabilirliği, her bir tesis örneğinde uygulamaya yönelik bilimsel çalışmaların yapılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, endüstriyel sistemlerde kirlenme kontrolü, iki aşamalı bir yaklaşım izlenerek gerçekleştirilmelidir. Birinci aşama tesis içi kontrolün uygulanmasını, ikinci aşama ise oluşacak atıksu miktar ve karakterine göre tasarlanacak bir arıtma tesisinin işletilmesini kapsar. Endüstrilerden kaynaklanan atıklar uygun bir yönetim çerçevesinde kontrol ve denetim altına alınmalıdır. Ülkemizde genellikle tesis içi kontrol aşaması gözardı edilerek, oluşan atıksuyun doğrudan arıtılarak uzaklaştırılması benimsenmiştir. Ancak bu tip bir yaklaşım ile atık yükünün kaynaktan azaltılması ve buna bağlı olarak kurulacak arıtma sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi, bazı maddelerin geri kazanılması ve tekrar kullanılması mümkün olamamaktadır. Endüstrilerde 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 ise; üretim maliyetlerinin düşürölmesi ve pahalı arıtma gereksinimlerinin azaltılması olarak sıralanabilecek çok önemli iki ekonomik avantaj sağlanmaktadır (UNEP IE, 1994). Tesis içi atıksu kontrol stratejilerinden en önemlilerinden biri, suyun geri kazanılarak tekrar kullanılmasıdır. Tekstil endüstrisinde proses sularının birden fazla işlemda kullanılması ile arıtma sistemine girecek hidrolik yükler azaltılabilmektedir (Van Veldhuisen, 1991). Gereksiz tüketimlerinin su azaltılması sonucu %10-30 lara varan su tasarrufu sağlanabilmektedir (Smith 1986; Smith 1988). Tekstil endüstrisinde proseslere dayalı su kullanımının azaltılması konusunda göz önünde tutulması gereken nokta, sözü edilen uygulamalar sonucunda elde edilecek düşük debili, yüksek konsantrasyonda kirletici içeren atıksuların arıtımında karşılaşılabilecek güçlüklerdir. Bu nedenle konuya ilişkin bir ön araştırmanın mutlaka yapılması önerilmektedir (Germirli Babuna ve diğ., 1998 b). Tekstil endüstrisine yönelik gerçekleştirilen diğer tesis içi kontrol uygulamaları kullanılan kimyasallarda değişiklik (Elvers, 1995; The World Bank, 1998; Routte, 1996) ve madde geri kazanımı (Elvers, 1995; Smith, 1986; Smith, 1988) olarak özetlenebilir.

2.6.1 Endüstrilerde su kullanımı ve kalitesi

Su yaşamımızın vazgeçilmez bir parçası olması dolayısıyla hayatımızın her safhasında sürekli tükettiğimiz elementlerden en önemlisidir. Endüstrilerin de yapısı gereği insanlığa hizmet eden ve refah düzeyini arttırmayı amaçlayan üretim faaliyetlerinin her safhasında çoğunlukla vazgeçilmez olarak ihtiyaç duyduğu girdilerden biri de su kullanımındır. Endüstrilerde kullanılan proses suyu için kalite tolöransı üretim prosesinin yapısı ve üretilen ürünün kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Mevcut kaynağı geliştirmek için ekonomik olma noktası; arıtma maliyeti ve ekipman değişimi, bakım ve işletme maliyetlerindeki azalma ile birlikte ürünün değerindeki artış arasında yapılacak bir kıyaslama ile bulunabilir. Yükselen maliyetler, üretimin standardı ne kadar yüksek olursa üretilen ürünlerin kalite kontrolüne daha çok dikkat edilmesine neden olur ve su kaynaklarının bozulması endüstri içinde su kalitesinin öneminin giderek büyüyen bir ilgi ile irdelenmesini sağlamıştır. Bundan dolayı mevcut su arıtıldığı zaman kalitesinde maksimum ekonomik bir artış aranmaktadır. Arıtılan sudaki kirleticilerin tolöranslı değerleri,

mevcut olması halinde kullanılabilir arıtılmamış suların değerlerinden genellikle daha sıklıdır.

Bir çok endüstriyel ürün yada işlem; berrak, renksiz, tatsız, nispeten yumuşak, demir,mangan, hidrojen sülfür ve organik maddelerden arınmış ve uygun bir bakteriyolojik kaliteye sahip suları talep ederler. Bunlara örnek olarak; şişelenmiş bira, hassas kimyasallar, konservelenmiş yiyecekler, işlenmiş süt, dondurma, paketlenmiş et, baskı ve boyama işlemlerinin uygulandığı tekstil üretimleri verilebilir. Bir çok evsel kullanım amaçlı sular bu karaktere sahiptir. Ancak, özel bir kaynaktan temin edilen proses suların arıtılması gerekebilir. Evsel kullanım amaçlı su kaynakları için belirtilen arıtma prensipleri çok büyük miktarlardaki proses atıksularına da eşdeğer şekilde uygulanır.

Sabun yerine deterjan olduğu zaman ve durulama sularının buharlaşması ile kalıntıların çökeltilerinden kaçınıldığı zaman yıkama suları yumuşatılmalıdır. Sertliğe karşı hassas olan endüstriler arasında çamaşırhaneler, elektrokaplama tesisleri, süt tesisleri, dondurma tesisleri ve tekstil fabrikaları sayılabilir. Bunlar genellikle mevcut sularını yumuşatır yada demineralize ederler. Diğer yandan bşra fabrikaları, içki ve meşrubat endüstrileri ve fırıncılar bazı üretim işlemleri için nispeten sert suya ihtiyaç duyarlar ve hatta bazen kullandıkları suya sertlik ilave etmek zorunda kalabilirler. Kağıt ve kağıt hamuru endüstrisi, tabakhaneler, yağ rafinerileri ve çelik endüstrisi genellikle içme kalitesinde suya ihtiyaç duymazlar fakat, bunların dışında diğer bazı gerekliliklere sahip olabilirler. Örneğin; kağıt hamuru ve düşük kalite kağıt en fazla 50 bulanıklılık birimi içeren renkli sularla üretilebilirler. Fakat, bu sularda demir ve mangan, sertlik ve karbondioksit miktarları düşük olmalıdır. Organik çamurlar ve mineral taşların oluşumu kontrol altında tutulmalıdır. Bunun tersine yüksek kalite kağıt sadece yüksek kalite su ile üretilebilmektedir. Deri endüstrisinde de durum buna benzerdir. Yağ rafinerileri ve çelik endüstrisinde, su sadece esas olarak soğutma suyu ve buhar üretimi için kullanılmaktadır. Bu endüstrilerin soğutma suyu için sağlanması gereken kalite soğutma suları için tanımlanan genel kalite ile çoğunlukla benzerdir. Ancak çeliğe yuvarlak şekil verilmesi sırasında kullanılacak sudaki klor konsantrasyonunun 150 mg/l'nin üzerinde olması yuvarlak çelik makaraların hızla deforme olmasına neden olur. Çeşitli proses suları için kalite tolöransları Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.5: Endüstriyel proses suları için kalite tolöransları (Tüm değerler mg/l)
(Corbitt, 1990)

Endüstri	Bulanıklılık	Renk	Sertlik	Toplam Demir (Fe olarak)	Toplam Mangan (Mn olarak)	Toplam Katılar	Alkalinite (CaCO ₃ olarak)	Tat ve Koku	H ₂ S
Bira	10	-	-	0,1	0,1	500-1000	75-150	Düşük	0,2
Şekerleme	-	-	-	0,2	0,2	100	-	Düşük	0,2
Gıda	10	-	-	0,2	0,2	-	-	Düşük	-
Deri	20	10-100	50-135	0,2	0,2	-	135 (Toplam) 8 (Hidroksit)	-	-
Tekstil	5	20	-	0,25	0,25	-	-	-	-

2.6.2 Endüstrilerde atıksuların yeniden kullanım kriterleri

Endüstrilerde proses sularının birden fazla işlemde kullanılması ile arıtma sistemine girecek hidrolik yükler azaltılabilmektedir (Van Veldhuisen,1991). Herhangi bir işlemde çıkan suyun oldukça temiz olduğu durumlarda bu suyu ayırmak ve diğer atıksularla karıştırmamak gerekir. Ayrıca, geri kazanılabilecek akımların tespitinde, söz konusu atıksu akımının herhangi bir arıtma işlemine tabi tutulmadan veya minimum düzeyde bir arıtma işlemine tabi tutulduktan sonra yeniden kullanılıp kullanılamayacağı göz önünde bulundurulur. Diğer yandan literatürde tekstil endüstrisi için iki farklı kaynaktan elde edilen yeniden kullanım kriterleri ise Tablo 2.6'da verilmiştir. Bu tablodaki kriterler incelendiğinde, literatürden biri tüm kriterler bazında daha sıkı değerler içerirken diğeri daha esnek davranmaktadır. Diğer endüstriler bazında bu kriterler incelendiğinde, her sektördeki endüstride kullanılan suyun kalitesi üretim işlemlerinin yapısına bağlı olarak değişeceğinden, tekstil endüstrisi dışındaki endüstrilerde bu kriterler de değişebilmektedir. Bu kriterler de çok kabaca yine tablodaki parametreler bazında mevcut kullandıkları suyun değerlerini içerecektir.

Tablo 2.6: Tekstil boyama atıksuları için yeniden kullanım kriterleri

Parametreler	Li and Zhao [1999]	Hoehn [1998]
pH	6,5-8	6,5-7,5
Toplam KOI, [mg/l]	0-160	< 50
TAKM, [mg/l]	0-50	<500
TÇKM, [mg/l]	100-1000	
Toplam Sertlik, [mg CaCO ₃ /l]	0-100	90
Klorür, [mg/l]	100-300	< 150
Toplam Krom, [mg/l]		0,1
Demir, [mg/l]	0-0,3	0,1
Mangan, [mg/l]	< 0,05	0,05
İletkenlik, [µS/cm]	800-2200	
Alkalinite, [mg CaCO ₃ /l]	50-200	

Bunların dışında, atıksuyun endüstriyel sistem içinde yeniden kullanımında önemli kriterlerden biri diğeri de RENK parametresidir. Yukarıdaki literatürde bu parametre ile ilgili bir değer verilmemiş olmasına karşın, Renk ölçümü ile ilgili Avrupa Normu EN ISO 7887 standardı esas alınarak bulunan renklilik sayısının (RES), toplamda 15 m⁻¹ değerini aşmaması gerektiği belirtilmiştir.

2.6.3 Endüstrilerde atıksuyun geri kazanım - yeniden kullanım alternatifleri ve uygulamaları

Endüstrilerde tesis içi kontrol yöntemleri arasında yer alan suyun geri kazanımı - yeniden kullanımı ile su kullanımının azaltılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve pahalı arıtma ihtiyaçlarının azaltılması olarak sıralanabilecek çok önemli iki ekonomik avantaj sağlamaktadır. Bir endüstride suyun tekrar kullanımı için uygulanması öngörülen kontrol adımları şu şekilde sıralanabilir;

- Değişik ıslak proseslerde ve çeşitli proses dışı amaçlar için kullanılan ortalama su hacminin varidya bazında tespiti,
- Su kullanan ana proseslerde istenilen ürün kalitesi için kullanılacak su kalitelerinin belirlenmesi,
- 2. Adımda belirtilen prosesler için çıkış suyu kalitesinin örnekleme ile yada uygun kütle dengeleri kurularak hesaplanması,

- İlk üç adımda elde edilen bilgiler doğrultusunda, tekrar kullanım için uygulama alternatiflerinin belirlenmesi (uygulama söz konusu olduğunda, proseslerin yerleşimi, mevcut boru sistemi ve prosesin yada işlenen hammadde nin su kalitesine karşı hassasiyeti ve su arıtımı ile ilgili teknolojik sınırlamalar da dikkate alınmalıdır.)
- 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 tasarruf edilecek su miktarının endüstriyel sistem içinde daha üretken amaçlar için kullanılabilirliği ve aynı zamanda dünyada ve özellikle de ülkemizde enerjiden sonra ikinci önemli sorun olan doğal su kaynaklarının da indirekt yolla optimum kullanımının sağlanabilirliği,
 - b) Atıksu hacminin ve arıtma maliyetlerinin azalması,
 - c) Atıksu 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 ve işletme maliyetleri gibi benzer konuların getirdiği ekonomik yük.

Endüstri atıksularının tekrar kullanılması yönündeki uygulama şekilleri sıralanacak olursa;

- Endüstriyel sistemden atılan atıksuların yine aynı sistem içinde arıtıldıktan sonra veya arıtılmadan direkt olarak kullanılması
- Diğer kaynaklardan elde edilen atıksuların endüstride kullanılması (Örneğin şehir evsel suları)
- Atıksuların endüstriyel faaliyetlerin ötesinde tekrar kullanılması (Örneğin; sulama amaçlı)

Atıksuların herhangi bir endüstriyel sistem içinde yeniden kullanılabilceği yerleri ise şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Hammaddelerin taşınması (Örneğin; ağaç gövdeleri, şeker pancarı vb.)
- Bahçe sulaması ve ziraat
- Tuvaletlerin temizlenmesi
- Yangın söndürme işlemi

- Soğutma işlemi
- Rekreatyon alanları oluşturulması (Örneğin; suni göl oluşturmak)
- Proses suyu olarak (Hatta kazan besleme suyu)
- Diğer kullanımlar

Yukarıdaki sıralama, atıksuyun tekrar kullanılması için gereken arıtma derecesine göre yapılmıştır. Yani yukarıdan aşağıya gidildikçe daha fazla arıtma gereklidir.

Endüstride kullanılan temiz sular, işleme girdikten sonra işlemin özelliğine göre değişik derecelerde çözünmüş veya toplam askıda katı maddeyi bünyesine alırlar. Bundan dolayı kısmen temiz olan atıksuları daha kirli olandan ayırmak avantajlıdır. Bazı işlemlerden çıkan atıksular oldukça temizdir ve herhangi bir arıtmaya tabi tutulmadan kullanılabilir. Daha kirli olanları ise mutlaka arıtmak gerekir. Örneğin; tekstil endüstrisinde suyun tekrar kullanımı için yapılabilecek uygulamalar; kirlenmemiş soğutma suyunun sıcak su gerektiren proseslerde kullanılması ve bir prodesten çıkan suyun, farklı bir prodeste kullanılması olarak iki ana grupta toplanabilir. (Van Veldhuisen,1991). Kondensatör, ısı eşanjörleri, yün kurutucuları, basınçlı boya makinaları, hava kompresörleri gibi ekipmanlarda kullanılan temassız soğutma sularının, hiçbir işlemten geçirilmeden toplanılıp kullanılması önemli oranda enerji ve su tasarrufu sağlamaktadır. Son durulama sularının, ilk durulama banyosu hazırlanırken yeniden kullanılması da atıksu deşarj hacmini büyük oranda azaltan uygulamalardan biridir.

Tekstil endüstrisinde gereksiz su tüketimlerinin ortadan kaldırılması sonucu su kullanımında % 10-30 arasında azalma gerçekleştirilebilmektedir (Smith, 1986;Smith, 1988; Van Veldhuisen,1991). Proses banyolarının gerektiğinden daha fazla su ve banyo kimyasalları ile hazırlanmasından kaçınmak, bozuk vana vb. aletleri hemen değiştirmek, işlem sona erdiğinde soğutma suyu kullanımını kesmek, gereksiz ürün yıkamalarının gerçekleştirilmemesi için üretim yapılan alanın kirden, yağdan, pastan vb. arınmış olmasını sağlamak, tekstil endüstrisinde su kullanımını sınırlandıran basit ancak etkin önlemlerdir. Proseslerde kullanılan su miktarının düşürülmesi için uygulanabilen 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. Boya ekipmanları açısından su tasarrufu için alınabilecek önlemleri ise şöyle sıralamak mümkündür;

Kesikli İşlemler:

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

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 önünde tutulması gereken nokta, sözü edilen uygulamalar sonucunda elde edilecek düşük debili, yüksek konsantrasyonda kirletici içeren atıksuların arıtımında karşılaşılabilecek güçlüklerdir. Bu nedenle her endüstriyel sistem içinde konuya ilişkin bir ön araştırmanın mutlaka yapılması gerekmektedir.

Tekstil endüstrisinden kaynaklanan kirliliğin tesis içi kontrol düzenlemeleri ile azaltılması yöntemlerinden bir diğeri de, proseslerde kullanılan yüksek kirletici yüklere sahip veya toksik özellikli atıksu oluşumuna neden olan kimyasal maddelerin başka kimyasallarla değiştirilmesidir. Örneğin; pamuklu tekstillerin ağartılmasında kullanılan hipoklorit önemli bir AOX (absorbe edilebilen organik halojen) kaynağıdır. Çeşitli ağartıcıların AOX düzeyleri açısından karşılaştırıldığında hipoklorit ile haşılı sökülmiş pamuğun ağartması sonucu oluşan atıksulardaki AOX konsantrasyonu 80 mg/l iken, H₂O₂ ağartması sonucunda oluşan atıksudaki AOX konsantrasyonu < 0.5 mg/l seviyelerindedir. Diğer yandan hipoklorit ile gerçekleştirilen ağartma işlemleri, 11 mg/l'ye kadar yükselebilen düzeylerde kloroform oluşumuna neden olabilir. Dolayısıyla ağartma işlemlerinin hipoklorit

yerine H_2O_2 kullanılarak yapılması, atıksuyun hem AOX hem de serbest klor içeriğini düşüreceğinden önerilmektedir (Elvers, 1995).

Diğer yandan, özellikle yeşil ve mavi renkli tekstil boyaları, boya molekülünün bir parçası olan metalleri içermektedirler. Atıksuda boyalardan kaynaklanan metal düzeylerini düşürebilmek amacıyla iki yol izlenebilir: ya metal içeren boyaları mutlaka gerekli olduğu durumlarda kullanmak yada metalli direkt veya reaktif boyaları metali bulunmayan küp boyalarla değiştirmek mümkündür. Bunun yanında bir diğer yol da boyanın mümkün olduğunca elyaf üzerinde tutunmasını ve böylelikle atıksuya karışmamasını sağlamaya çalışmaktır (Smith, 1988). Bu da ancak, boya ile yer değiştiren yardımcı kimyasal maddelerin yeterli oranlarda kullanılması ile mümkün olabilmektedir.

Ancak, küp boyaların oksidasyonunda da dikromatın kullanılmasının çıkış suyundaki krom düzeyini arttırdığı bilinmektedir. Bu tip uygulamalarda ise oksidant olarak dikromat yerine periyodat veya peroksit kullanılması önerilmektedir (Smith, 1988; The World Bank, 1998).

Ayrıca, kesikli yapılan reaktif boyama yerine sürekli veya yarı sürekli proseslerin uygulanması sonucu tuz kullanımından kaçınılabilmektedir (Elvers, 1995).

Yine, haşıl sökme işleminde asetik asit yerine sülfürik asit kullanılması ile atıksudaki organik yük düşürülebilmektedir. Aynı amaç doğrultusunda haşıllamada nişasta yerine sentetik haşıllayıcılar (Karboksimetilselüloz) kullanılmalıdır (Van Veldhuisen, 1991). Haşıllama için nişastanın tercih edildiği durumlarda, haşıl sökme enzim ile yapıldığında çok yüksek organik yük getiren anhidro-glukozlar oluşmaktadır. Bu nedenle nişasta haşıllarını sökmede nişastayı CO_2 ve suya ayırıştırıcı H_2O_2 ile oksidasyon önerilmektedir (Smith, 1988).

Merserizasyonda kostik kullanımı yerine sıvı amonyak kullanımı hem yüksek düzeyde bazik atıksu oluşumunu engellemekte hem de amonyak gazının geri kazanımı ve tekrar kullanımı sağlanabilmektedir (Smith, 1986; Smith, 1988; Route, 1996).

Yüzey aktif maddeler arasında % 100 biyolojik olarak ayrışabilir özelliğe sahip linear alkil etoksilatların (LAE) kullanılması önerilmektedir (Smith, 1988; Van Veldhuisen, 1991; The World Bank, 1998)

2.7. Endüstrilerin Kirlenme Yönünden Tanımlanma Sistematiği

Endüstrilerin kirlenme yönünden tanımlanması için çeşitli yaklaşımlar benimsenebilir. Bunlar arasında endüstrilerin yerinde incelenmesi, endüstri ile ilgili temel bilgilerin sağlanması ile yapılan değerlendirmeler ve aynı özellikteki endüstrilerin karşılaştırılması sayılabilir. Her yaklaşım, incelenen endüstrinin kategorisi ve endüstri yapısına bağlı olarak belirli bir duyarlılığa sahiptir. Endüstrilerin yerinde inceleme yapılarak ve gerekli atık araştırmasının uygulanması ile karakterizasyonu en duyarlı sonucu verebilir. Ancak bunun için özellikle üretimi karmaşık ve atıksu özellikleri zamanla değişim gösteren endüstrilerde uzun süreli inceleme ve ölçümler yapılması gerekir. Endüstri ile ilgili temel bilgilerin değerlendirilmesi eğer incelenen endüstri literatürde detaylı bir şekilde tanımlanıyorsa oldukça kısa zamanda yeterli duyarlılıkta belirleme yapılabilir. Yapılacak karakterizasyon endüstrinin özelliklerinin ne amaçla belirlenmek istendiğine bağlıdır. Endüstrilerin kirlenme açısından tanımları; belirli bir bölgedeki toplam endüstriyel kirletici yüklerin belirlenmesi, bireysel endüstrilerin kirletici özelliklerinin yasal değerlerle karşılaştırılması ve endüstrilerinin tesis içi kontrol ve arıtma sistemlerinin dizaynı gibi farklı amaçlarla yapılabilmektedir. Tüm bu amaçları hizmet etmek üzere herhangi bir endüstri incelenirken aşağıdaki temel bilgilerin sırayla temin edilip oluşturulması gerekir;

- **Üretim bilgileri;** net olarak endüstriyel sistem içinde hammadde olarak ne/nelerin işlediği ve ne tür ürün/ürünler elde ettiği açık bir şekilde ortaya konulmaya çalışılır.
- **Proses bilgileri;** endüstriyel sistem içinde kullanılan hammadde/hammaddelere, üretilen ürün/ürünlere veya proseslerinden oluşan atıksuyun karakterine bağlı olarak nasıl bir alt gruplandırma yapılması gerektiği analiz edilir. Bu alt gruplandırmalar yapıldıktan sonra her bir alt grup ve bu gruplarda yer alan her bir proses için hammadde, enerji, kimyasal madde ve su kullanımını gösteren kütle dengeleri oluşturulur.
- **Atık araştırması;** endüstriyel sistemden oluşan artıklar belirlenerek bunların tesis içinde geri kazanılabilen veya bir başka endüstriye satılan kısımları dışında geriye kalan gerçek atıkların neler olduğu ile ilgili detaylı bir araştırma yine bu alt gruplar bazında gerçekleştirilir.

- **Literatür bilgileri;** İncelenen endüstrinin literatürdeki doğru yerinin belirlenmesi çalışmanın bundan sonraki adımlarının sağlıklı yürütülebilmesi için çok büyük öneme sahiptir. Bunun için gerek ulusal ve gerekse uluslar arası düzeyde benzer endüstrilerde özellikle su kullanımı ve atıksu oluşumu ile ilgili bilimsel nitelikte hazırlanmış yayınlar ve çalışma sonuçları temin edilir.
- **Profillerin oluşturulması;** bu aşamada, bir endüstriyel sistem içinde yer alan proseslerin her biri için su kullanımı ve atıksu oluşumu ile kirletici özelliklerinin zaman ve üretim bazında ifade edildiği proses profili ve kirlenme profilleri oluşturulur. Proses profili ile su kullanımı ve atıksu oluşumu ile ürün yada hammadde başına atıksu oluşumu arasında belirli bir oran tanımlanması sağlanır. Ayrıca tesisin su kullanımı ve atıksu oluşturma eğilimi ortaya konarak proseslerin hangi kademe/kademelerinde su kullanımında tasarruf ve atıksu oluşumunda azalma sağlamak üzere ne gibi alternatiflerin üretilebileceği ortaya konulur (geri kazanım, yeniden kullanım gibi). Diğer yandan incelenen endüstriden kaynaklanan kirlenmenin literatürdeki değerlerle karşılaştırılması yanında birim atıksu oluşumundan yola çıkılarak dizayn edilecek veya işletilecek bir arıtma tesisinin hidrolik kapasitesinin doğru tanımlanmasını ve kontrol altında tutulması sağlanır. Kirlenme profiliyle de tesisin proses profiliyle uyumlu olarak sulu kirletici özelliklerin ortaya konulması sağlanır. Ayrıca kirlenmenin kontrolü konusunda yapılacak çalışmalarla ilgili alternatifler üretilmesi, kirletici yükü ve büyüklüğü ile etkisinin kaynağında görülmesi, tespit ettiği birim kirletici yüklerle tesisin günlük üretim miktarındaki değişimlerden kaynaklanabilecek yük salınımlarının gerek arıtma tesisi dizaynında gerekse işletiminde doğru bir şekilde ortaya konulması ve kaynakta kontrol edilmesi gereken veya tesis içinde diğer konvansiyonel atıklarla karıştırılmadan ayrı bir ön arıtıma tabi tutulması gereken atık kaynak ve türlerinin ortaya çıkarılması gibi bir çok noktanın açığa çıkarılması sağlanır.
- **Parametre tayini;** bu aşamada endüstriye ait spesifik ve konvansiyonel kirletici parametreler, her bir proses bazında kaynağın özellikleri, kullanılan kimyasal maddeler, endüstri ile ilgili literatür bilgileri, endüstri kategorisine

ait deşarj standartları ve arıtma sistemlerinin yapısı dikkate alınarak belirlenir.

- **Tesis içi kontrol;** detaylı bir şekilde yapısı ortaya çıkarılan endüstriyel sistem içinde çevre kirliliğini en aza indirebilecek ve arıtma ihtiyacının belirleneceği bu aşamada nihai arıtma tesisinin yükünü azaltabilecek kontrol uygulamaları ve alınabilecek önlemler de ortaya konur.
- **Arıtma ihtiyacı;** belirlenen tesis içi kontrol uygulamaları sonucunda ortaya çıkacak atıksuyu çevreye minimum zarar verecek şekilde mevcut en iyi teknoloji ile arıtılabilecek ve güncel olarak uygulamada olan en yeni arıtma sistemleri, tesisin atığını deşarj edeceği noktada sorumlu olduğu yasal yükümlölükleri dikkate alınarak oluşturulur.



3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ

Tekstil endüstrisi; birbiri ile ilişkili bir çok hammadde kullanılarak, büyük sayıda üretim yapan farklı endüstrilerin oluşturduğu bir sanayi dalıdır. Önceleri mensucat olarak isimlendirilen tekstil endüstrisi, elyaf hammaddesinden elyaf eldesi, elyaftan iplik eldesi, iplikten kumaş yapılması, kumaşın konfeksiyona hazırlanması (kasar, boya, baskı, apre) aşamasındaki tüm işlemleri kapsar.

Tekstil endüstrisi Türkiye'nin ekonomik kalkınmasında önde gelen sektörlerinden olup, ülkemiz toplam ihracat gelirlerinin %50'sini tekstil ürünlerinin ihracatından sağlanmaktadır. Halı üretimi ise toplam ihracat gelirinin %8'ini oluşturmaktadır (DİE, 2004). Türkiye Çin'den sonra Avrupa Birliğine tekstil ürünleri ihraç eden ikinci ülke konumundadır ve 1993 yılı verileri ülkemizin dünyada tekstil ürünleri ihraç eden ülkeler arasında 8. sırada olduğunu göstermektedir. Öte yandan tekstil sektörü Türkiye'deki toplam endüstriyel üretimin %17,5'ini kapsamaktadır (İTKİB, 2004). Tekstil endüstrisinde ürünler doğal ve sentetik hammaddelerden değişik prosesler kullanılarak üretilir. Kullanılan hammadde ve kimyasal maddelerin, gerçekleştirilen işlemlerin, her işlem için uygulanan teknolojilerin çeşitliliği ve su kullanımlarının çok farklı oluşu endüstride yapının son derece değişken olduğunu gösterir (Germirli ve diğ.,1990a). Bu dinamik yapı, atıksu karakterizasyonu ve uygulanan atıksu arıtım teknolojisine de yansımaktadır.

3.1 Tekstil Endüstrisinde Hammadde Kullanımı Ve Ürün Üretimi

Tekstil endüstrisinin hammaddesi elyaftır. Elyaflar ya kesik ya da sonsuz uzunlukta filamanlar şeklinde olup, üç grupta incelenmektedir (Sözen, 1991)

1. Tabii Elyaf:

- Pamuk
- Yün
- Keten
- Jüt

2. Kimyasal Elyaf

2.a Tabii Polimerden Elde Edilen Elyaf:

- Viskoz
- Asetat

2.b Sentetik Polimerden Elde Edilen Elyaf:

- Poliakrilonitril
- Poliamid
- Polyester
- Polipropilen
- Poliüretan- Elasomer
- Polivinilklorür

3. Sentetik Olarak Üretilen İnorganik Elyaf:

- Cam Elyafı
- Karbondan ve Metalden Elde Edilen Elyaf

Tekstil Endüstrisinde kullanılan hammaddeler bağlı olarak değişik üretim prosesleri ile ürün üretimi söz konusudur. Tekstil ürünleri esas olarak, kuru ve yaş prosesler şeklinde nitelendirilen prosesler ile elde edilmektedir (Sözen, 1991).

Kuru prosesler:

- İplik üretimi
- Açık enli ürünler
- İnce uzun ürünler olup,

su kullanımı gerektirmezler.

Yaş prosesler:

- Yıkama
- İşleme
- Durulama
- Apre- ikmal olup,

su kullanımı gerektiren işlemlerdir.

3.2 Tekstil Endüstrisinde Alt-Kategorizasyon Ve Karakterizasyonu

Altkategorizasyonun amacı, aynı kategori içinde olduğu halde üretim farklılıkları olan ve aynı ürünü farklı proses ve yöntemlerle üreten tesislerin atıksularında oluşacak karakter farklılıkların ortaya konulmasıdır.

Tekstil endüstrisinin yapısı kullanılan hammadde ve kimyasal maddeler, su kullanımı ve uygulanan teknoloji son derece değişen olduğundan farklılık endüstriden kaynaklanan atıksu karakteri üzerinde de etkili olmakta ve dolayısıyla endüstriler, atıksu karakterizasyonu, tesis içi kontrol, proses farklılıkları gibi faktörler göz önüne alınarak bir sınıflandırmaya tabi tutulduğunda, arıtma sistemi seçiminde kolaylıklar sağlanacaktır. Arıtma kademelerinin belirlenmesinden sonra endüstrilerin sağlaması gereken standartlar oluşturulabilir. Bu yaklaşım, kirlenme bazlı altkategorizasyonun amacını oluşturmaktadır (Tünay ve diğerleri, 1984).

Tekstil endüstrisinde atıksu miktarı ve karakterini etkileyen en önemli faktör hammadde kullanımıdır. Bu hammaddeler pamuk, yün gibi doğal elyaflar ve bunların karışımından oluşmaktadır. Atık su miktar ve karakterini etkileyen diğer önemli faktör kimyasal maddeler ve su kullanımındaki değişikliklerdir (Germirli ve diğerleri, 1990).

Diğer bir yaklaşım şekli de alt karakterizasyonun imalat proseslerine, kullanılan hammaddelere son ürünlere, su kullanımına ve atık karakteristiklerindeki benzerliklere dayanılarak yapılmasıdır. Buna göre tekstil endüstrisi 10 alt kategoriye ayrılmaktadır (Tünay ve diğ.,1984).

- Yapağı Yıkama
- Yün Terbiye
- Az Su Kullanılan İşlemler
- Dokunmuş Kumaş Terbiyesi
- Örgü Kumaş Terbiyesi
- Halı Terbiyesi
- Açık Elyaf ve İplik Terbiyesi
- Dokusuz Yüzeyli (Non-Woven) Kumaş İmali
- Keçeleştirilmiş Kumaş İmali
- Koza İşleme ve Doğal İpek Üretimi

Endüstriye ait bilgilerle altkarakterizasyonun oluşturulmasında kullanılan metotların başında işlenen elyafın cinsine (yün,pamuk ve sentetik elyaf) göre sınıflandırma gelmektedir. **SKKY** (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği)'ne göre ise tekstil sanayi atıksuları yedi alt kategoriye ayrılmaktadır:

- Açık Elyaf, İplik Üretimi ve Terbiye
- Dokunmuş Kumaş Terbiyesi ve Benzerleri
- Pamuklu Tekstil ve Benzerleri
- Yün Yıkama, Terbiye, Dokuma ve Benzerleri
- Örgü Kumaş Terbiyesi ve Benzerleri
- Halı Terbiyesi ve Benzerleri
- Sentetik Tekstil Terbiyesi ve Benzerleri

Tekstil endüstrisinde kullanılan hammaddeler, son ürünler, su kullanımı ve atıksu özelliklerinin benzerlikleri gözönüne alınarak, EPA (Çevre Koruma Teşkilatı)'ya ait tekstil endüstrisi altkategorileri aşağıda verilmiştir (**EPA, 1978**):

- 1) Yapağı Yıkama
- 2) Yünlü Kumaş Son İşlemleri
- 3) Az Su Kullanılan İşlemler
- 4) Dokunmuş Kumaş Son İşlemleri
- 5) Örgü Kumaş Son İşlemleri
- 6) Halı Üretimi Son İşlemleri
- 7) Stok ve Elyaf, Boyama ve Son İşlemleri

Halı üretimi dışında tüm yünlü kumaş işlemleri 1. ve 2. kategoriler, pamuk ve sentetik üretimi 3.,4.,5. ve 7. kategoriler, halı üretimi de 3. ve 6. kategorilerin kapsamındadır.

3.2.1 Yapağı yıkama alt kategorisi

Tekstil endüstrisinin bu alt kategorisi, ham yün elyafı ve diğer hayvan kıllarının temizlendiği tesisleri kapsar. Diğer altkategorilerin farklı bir özellikte olup yün elyafı ve hayvan kıllarının önemli ölçüde bir ön temizlemeyi gerektirmesinden dolayı

yapak yıkama, kendine özgü bir özellik taşımaktadır. Bu proseste ham yapağı iplik üretime sokulmadan önce yıkanmalıdır. Pamuk ve sentetikler bu aşamada yıkanmazlar.

3.2.2 Yünlü kumaş son işlemler alt kategorisi

Bu altkategori, yün elyafı, diğer hayvansal kıl veya yün elyafı- hayvansal kıl karışımı kumaşlara ağartma, tıkama, boyama, ateşe dayanıklı hale getirme, güve yemezlilik, vb. işlemlerden birinin uygulanmasını kapsar. Karbonizlemenin yer aldığı terbiye de bu altkategori kapsamındadır. Yünlü kumaş son işlemleri değişken kimyasal kullanımı ve yüksek kirlilik oluşturmaları nedeniyle ayrı bir kategori olarak ele alınmıştır. Bu altkategoride kendine has tekstil boyaları kullanılmaktadır. Bu kategoriye giren endüstrilerin atıksularında boyalardan kaynaklanan kromun bulunması mümkündür. Yapağı yıkama, yün elyafta bulunan istenmeyen maddeleri gidermek için uygulanır. Yıkamadan sonra su ortamına geçecek ot, saman, yem, tohum, diken, gübre, koyunun dışkı maddeleri, kum, toprak, hayvanların tanınması için kullanılmış olan katran, boya ve yapıştırıcı maddeler ile hayvanları hastalık veya haşerelere karşı korunmak için kullanılmış olan ilaçlı maddeler kirlilik yaratmaktadır.

3.2.3 Az su kullanılan işlemler alt kategorisi

Bu alt kategori, iplik yapımı, dokuma, kumaş emprenyeleme, lastik kordu ve kord bezi emprenyeleme, halı tafting, halı tabanı yapımı gibi çok çeşitli kuru işlemleri kapsar. Bu altkategoride esas atık kaynağı işlemlerde kullanılan donanımdan sızma sonucu oluşan atıksu ve yıkama sularıdır.

3.2.4 Dokunmuş kumaş son işlemler alt kategorisi

Bu altkategori atıksu yükü bakımından tekstil endüstrisinin önemli bir altkategorizasyonunu oluşturur. Dokunmuş kumaşlara uygulanan haşıl sökme, yıkama, ağartma, merserize, boyama, basma, apre gibi işlemleri kapsar. Dokuma işlemi esnasında çözgü ipliklerinin yüzeyindeki elyaf uçlarını yatırarak tüylenmeyi önlemek, iplik yüzeyini kaplayarak sürtünmeden dolayı zedelenmeyi azaltmak ve iplik bünyesine girerek mukavemet ve elastikiyeti arttırmak için yapılan haşılama işleminde ipliklere tatbik edilen haşıl maddesi ile birlikte küf gidericiler, mantar

öldürtücü ilaçlar gibi önceden koruyucu amaçla kullanılmış kimyasal maddeler ve diğer yabancı maddelerin uzaklaştırılması için haşıl sökme diye tanımlanan işlem uygulanır.

3.2.5 Örgü kumaş son işlemler alt kategorisi

Bu altkategori, çoğunluğu örgü olan pamuklu veya sentetik kumaşlara uygulanan yıkama, ağartma, boyama, basma, apre işlemlerini kapsar. Dokunmuş kumaş son işlemlerinden farkı, haşıllama, haşıl sökme ve merserizasyon işlemlerine gerek duyulmamasıdır. Bu sebeplerden dolayı kirlilik yükü daha az olmaktadır.

3.2.6 Halı üretimi son işlemler alt kategorisi

Halı üretimi, halı ipliği bükümü ve ilgili boyama endüstrisi önemli değişimler olabilmesine rağmen çok sayıda alt-sektörlere bölünebilir. Bütün sektörler , kullandıkları proses ve teknikler elyafa özel olmadığından dolayı %100 sentetik elyaf, %100 doğal elyaf ve bunların ikisinin karışımını işleyebilirler. Tablo 3.1'den görüleceği gibi normal olarak ıslak işlemlerin yürütüldüğü endüstrileri 4 farklı ana kategoride toplamak mümkündür;

- Fason açık elyaf boyahaneleri
- Fason iplik boyahaneleri
- Nihai ürün olarak işlenmiş ipliği satan, boyama proseslerine ilave olarak açık elyafı yerinde ipliğe dönüştürme işini gerçekleştiren entegre iplik üretim işletmeleri
- Doğal ve sentetik elyafları bitmiş halıya dönüştürmek için gerekli boyama ve terbiye işlemlerini işleten mekanik proseslere sahip entegre halı üretim işletmeleri

Tablo 3.1: Yün ve yün karışımı halı ipliği ile halı üretim endüstrisinin temel yapısı (ENCo)

ALT-SEKTÖR	ANA KARAKTERİSTİKLER VE ISLAK PROSESLER	NİHAİ ÜRÜN
Fason açık elyaf işleme	Açık elyaf boyama	İplik imalatı için boyanmış çözölmüş elyaf
Fason iplik işleme	- İplik yıkama ve kimyasal terbiye - İplik boyama	Halı üretimi için boyanmış iplik
İplik üretimi	Hammadde (elyaf) satın alınıp ipliğe dönüştürölür. (boyama ve ıslak işlemler işletmede gerçekleştirilir) Terbiye edilen ipliğin pazarlanması	Halı üretimi için renkli ve ekru iplik
Entegre iplik üretimi (farklı işletmelerde olabilir)	Hammadde (elyaf) satın alınır - Çözölmüş elyaf boyama İpliğe dönüştürme - İplik yıkama ve kimyasal terbiye - İplik boyama ve kimyasal terbiye - İplik sarma Terbiye edilen ipliğin pazarlanması	Halı üretimi için renklendirilmiş ve ekru iplik
Fason tufting, dokuma ve taban kaplama	İpliğin halıya dönüştürölmesi Sırt kaplama ve mekanik terbiye	Terbiye edilmiş halı
Halı üretimi	Boyanmış ve terbiye edilmiş iplik satın alma Halıya dönüştürme - Kimyasal arıtma ile köpük uygulama Sırt kaplama ve mekanik terbiye Terbiye edilen halının pazarlanması	Perakende satış ve müteahhitler için halı
Entegre halı üretimi (birkaç yerde olabilir)	Hammadde (elyaf) satın alınır yada üretilir - Ham yün yıkama - Çözölmüş elyaf boyama İpliğe dönüştürme - İplik yıkama ve kimyasal terbiye - İplik boyama ve kimyasal terbiye - İplik sarma Halıya dönüştürme - Halı parçalarını renklendirme - Kimyasal arıtma ile köpük uygulama Sırt kaplama ve mekanik terbiye Terbiye edilen halının pazarlanması	Perakende satış ve müteahhitler için halı
Not: İşletmede yada grup içinde ham yün yıkama yapılabilir		

Tablo 3.2’de, halı üretimi yapan Avrupa Birliğı içindeki ticari girişimcilerin konumunu göstermektedir.

Tablo 3.2: Avrupa Ekonomik Topluluğu içindeki ticari girişimcilerin sayısı ve sektör durumu

ÜLKE	HALI ÜRETİCİLERİ ^(A)	İPLİK BÜKÜCÜLER ^(B)	TAŞERON BOYACILAR ^(C)
Avusturya	4		
Belçika	64	12	9
Danimarka	12	2	
Finlandiya	4	1	1
Fransa	16	1	1
Almanya	38	4	2
Yunanistan	2		
İrlanda	4	1	
İtalya	9	1	
Hollanda	34	1	3
Portekiz	2	1	
İspanya	3		
İsviçre	2		
İngiltere	87	30	9

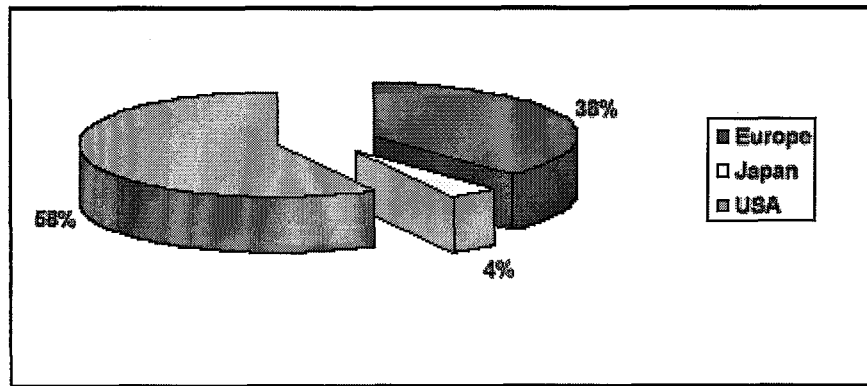
Kaynaklar:

(A) Uluslar arası Halı Yıllığı, 2000 - bütün ürün tipleri ve elyafları kapsar

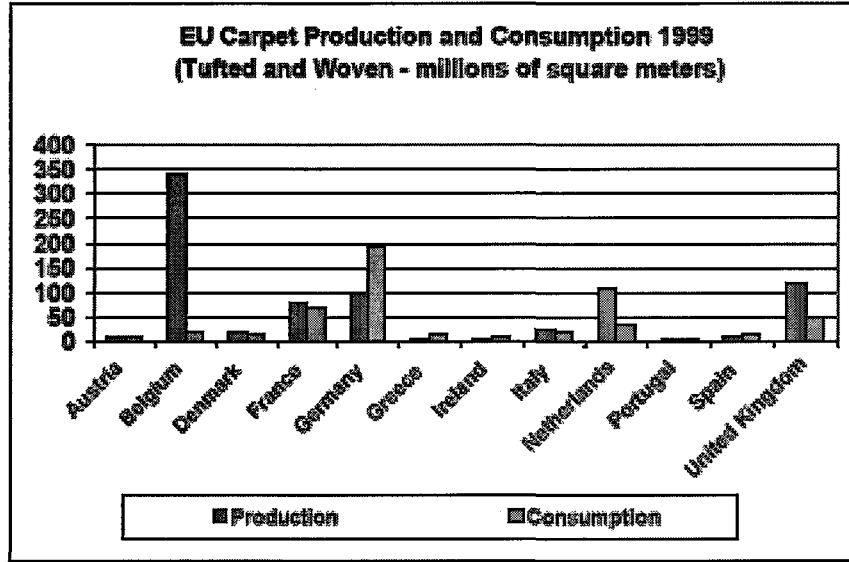
(B) Uluslar arası Halı Yıllığı, 2000 & Yeni Zellandanın Yünleri- boyahanelerle bütümcüleri kapsar

(C) ENCO ve Yeni Zellandanın Yünleri-bütün elyafları kapsar

Avrupadaki halı endüstrisi dünyadaki üretimin ABD'den sonra (%58) %38'ini oluşturmaktadır. Belçika, Fransa, Almanya, Hollanda ve İngiltere hem avrupa içi hem de dünya ihracat piyasası için ana üreticilerdir. Şekil 3.2'den de görüleceği gibi avrupadaki halı üretimi , avrupa endüstrisi için ihracat pazarının önemini gösteren önemli bir marjinle halı tüketimini aşmaktadır.

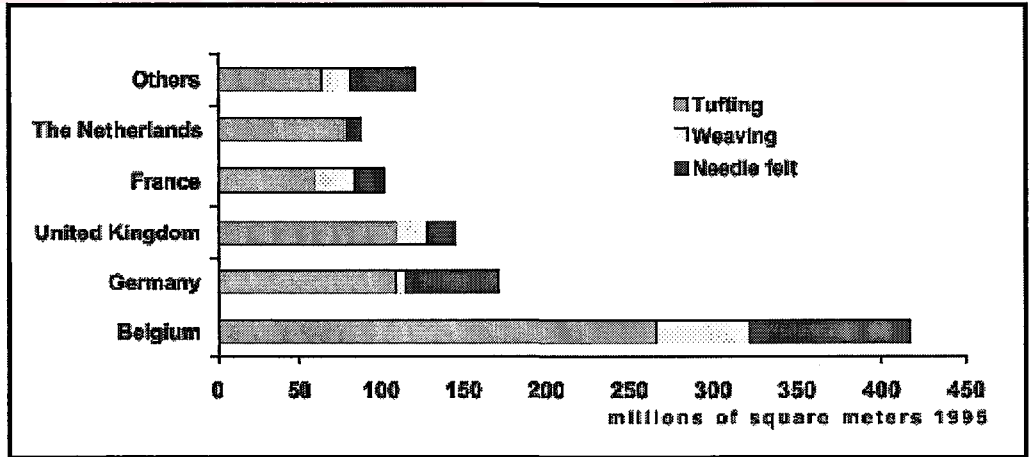


Şekil 3.1: 1999 yılında Dünya çapında halı ve taban halısı üretimi (IPPC BREF,2003)

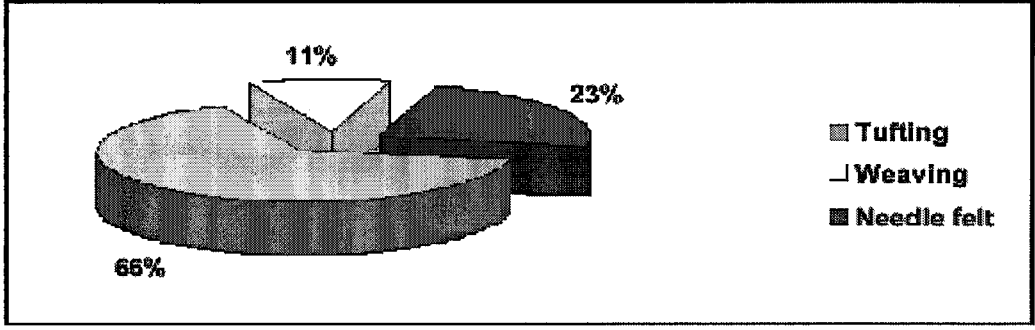


Şekil 3.2: Avrupa Birliğine üye ülkelerdeki halı üretim ve tüketimi

Halı üretimi endüstrisinin üç tipik ürünü (tufting halı, dokuma halı ve iğne keçeler) arasında; tufting halı avrupa üretiminin %66'sını oluşturmaktadır. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te 1995 üretim değerleri gösterilmektedir.



Şekil 3.3: Avrupa'daki başlıca halı ve taban halısı üreticileri için 1995 yılında Avrupa halı ve taban halısı üretimi (IPPC BREF, 2003)



Şekil 3.4: 1995 yılında Avrupa’da halı ve taban halısı toplam üretimi (IPPC BREF, 2003)

3.2.6.1 Halı terbiyesi üretim prosesleri

Halı terbiyesi; temel elementi halı olan tekstil esaslı zemin kaplama ürününün elde edildiği aktiviteleri içerir. Hemen hemen her proses aşamasında halı terbiyesi diğer tekstillerin terbiyesine benzemektedir. Final işlemi olarak halı sırt kaplamasının yapıldığı fabrikalarda bir ayırım yapılmalıdır. Halının dokunmuş üst yüzeyine düz kauçuk kaplama uygulanır. Sırt kaplama işlemi çok fazla su kullanmamasına rağmen, lateks içerikli atıksular önemli bir problem oluşturabilir. Su kirliliği açısından en önemli madde çinko tipi lateksten oluşan sırt kaplama hamurudur.

Halı üretiminde çoğunlukla naylon (Poliamid), Akrilik ve Polyester gibi sentetik elyaflar kullanılmakla birlikte, bazı yün ve pamuk esaslı elyaflar da bu üretimde işlenebilmektedir.

Genel olarak halı üretimi;

- Ağartma (kasarlama),
- Haşıl sökme,
- Karbonlama,
- Boyama,
- Baskı,
- Reçine giderme,
- Su geçirmezlik,
- Ateşe dayanıklılık (yanmazlık apresi),
- Toprak haşaratı giderici (güveyemezlik apresi),
- Köpüklü ve köpüksüz kaplama,
- Doğal elyaftan (kenevir, kendir vb.) halı tabanı (sırt) kaplama

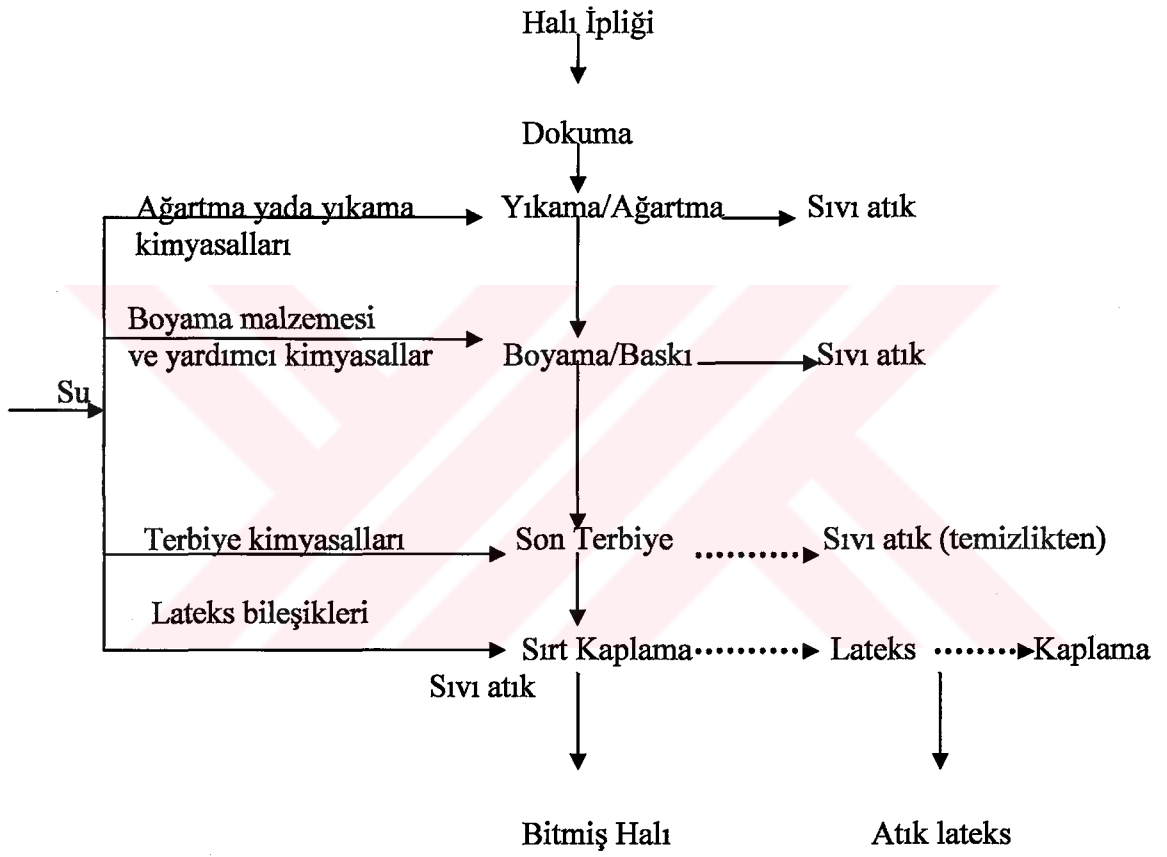
gibi temel işlemlerin birkaçı veya tamamı ile karakterize edilebilmektedir. Halı üretiminde yapılan sürekli boyama prosesi, pamuklu/sentetik karışımı düz dokuma son işlemlerinde kullanılan pad-stream prosesine benzerlik göstermektedir. Halı boyandıktan sonra bir kurutma tüneline kurutulmakta ve daha sonra halı, tutkallama ve ikinci kaplama işlemi için hazırlanmaktadır. En genel anlamda boyama, baskı, kurutma ile köpüklü ve köpüksüz lateks kaplama proseslerinden atıksu oluşumları söz konusu olup, geri kazanım ve yeniden kullanım alternatifleri ile ilgili araştırmalar bu prosesler üzerine yoğunlaşmaktadır.

Genel olarak tekstil endüstrisinin diğer altkategorileri ile ilgili geri kazanım uygulamalarına ve arıtılabilirlik çalışmalarına literatürde ve uygulamada rastlanılmasına rağmen, halı üretimi altkategorisinde bu çerçevede ve detayda yapılmış herhangi bir çalışma mevcut değildir.

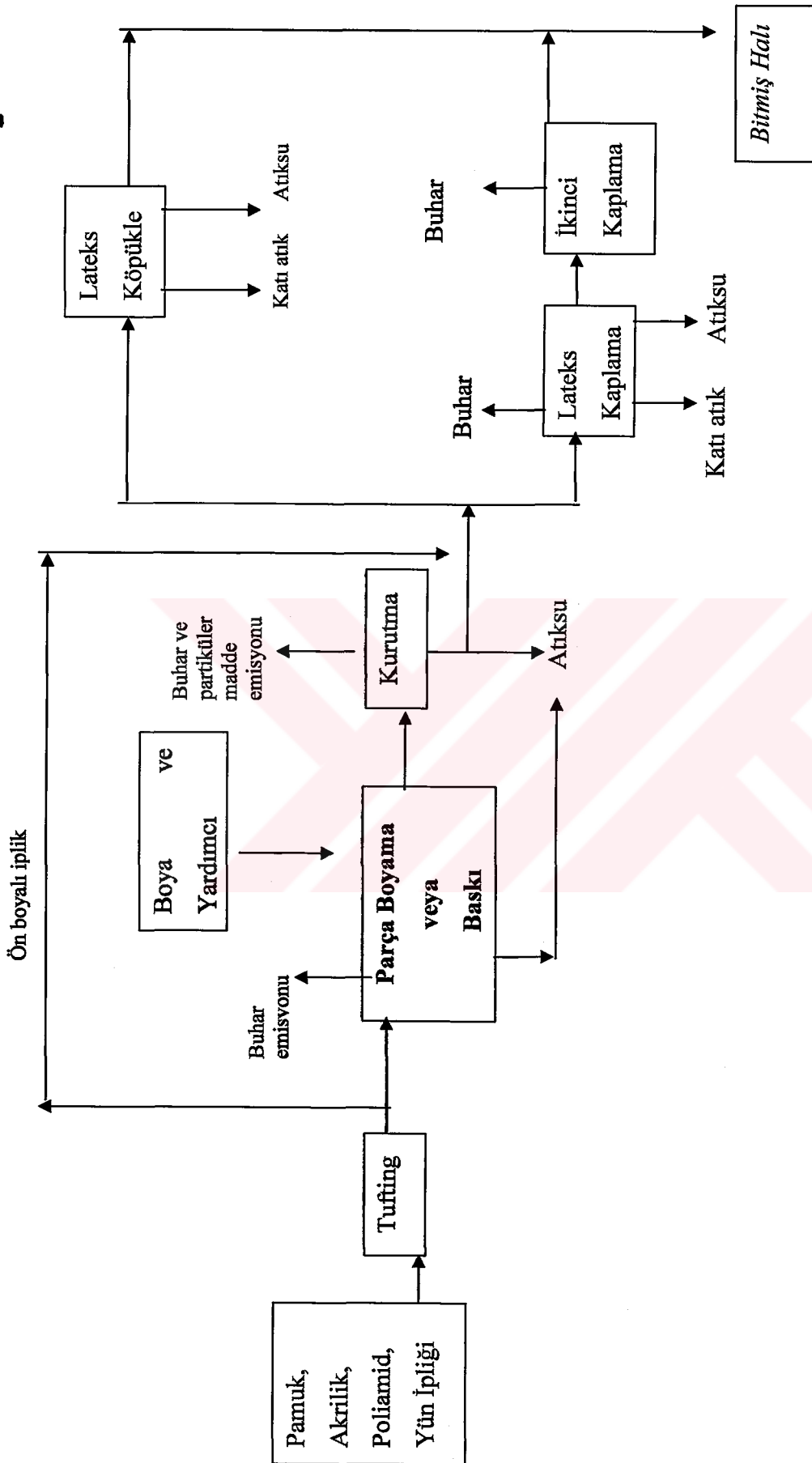
Halı son işlemleri altkategorisi, tekstil esaslı halılara üretimlerinin en az %5'i oranında yıkama, ağartma, boyama, basma ve apre işlemlerinden en az birisinin uygulanmasını kapsamaktadır (Tünay v.d., 1984). Tufting (dokuma bezi üzerine dokumalı) halılar; boyalı ya da baskılı, dokunabilen sırt döşeme bezinin halı sırt malzemesi (çoğunlukla polipropilen, bazen keten veya kendirden yapılmış çuval) olarak kullanıldığı pamuk veya yün ipliği yüzeylerinden oluşur. Daha sonra bu yüzeyler ya lateks köpüğü ile ya da lateksle veya burlap tipi (kanaviçe, çul veya çuval bezi) dokunmuş kumaş üzerine lateksle kaplanırlar. Genel olarak literatürde en fazla naylon (poliamid), bunu takiben de akrilik, modakrilik ve polyester içerikli pamuk ve yün ipliğinin kullanıldığı, modakrilik ve polyesterin toplam miktarının yaklaşık olarak naylon miktarına eşit olduğu belirtilmektedir (EPA, 1978). Halı son işlemleri altkategorisinde, elyafların boyanması, kumaşın boyanmasından farklıdır. Halılar pamuk/yün ipliği boyalı, parça boyalı ya da baskılı olabilir. Pamuk/yün ipliği boyalı halılar üretildiği zaman, pamuk veya yün ipliği başka bir fabrikada boyanır ve daha sonra halı fabrikasına getirilir. Boyalı pamuk/yün ipliği, kuru işlemlerle temel kaplama maddesi elyaf veya sentetik dokusuz polipropilen ya da doğal bitkisel elyaftan yapılan çuval bezi üzerine dokunur. Bunu takiben, iplikle kaplanan halıya ya baskı ya da boyama yapılabilir. Baskı yapılması durumunda, yarı sürekli ızgaralı baskı işlemini takiben, aynı makinada yıkama ve durulama işlemi yapılır. Boyama yapılması durumunda ise en yaygın yöntem hazır boyama uygulamasıdır (EPA, 1978). Halı üretiminde yapılan sürekli boyama prosesi, pamuklu/sentetik karışımı düz dokuma son işlemlerinde kullanılan pad-stream prosesine benzerlik

göstermektedir. Halı boyandıktan sonra bir kurutma tüneline kurutulur. Daha sonra halı, tutkallama ve ikinci kaplama işlemi için hazırlanır. Ülkemiz ekonomisinde akrilik elyaftan halı üretimi önemli bir yer tutmaktadır. Akrilik/modakrilik elyafların yapılarına bakıldığında, akrilik ağırlık olarak %85, modakrilik ise %35-85 arasında akrilonitril birimlerini içeren uzun zincirli herhangi bir sentetik polimerden oluşur. Akrilik elyaflar için temel son işlemler; yıkama, boyama ve ağartma, yıkama, özel sevkiyat işlemlerinden oluşur. Akrilik elyaf, normal olarak zayıf bir alkali çözeltisi, elektriklenmeyi önlemek üzere anti-statik bir yağlayıcı ve sabun veya deterjan ile yıkanır. Yıkamadan sonra, materyal boya banyosu için hazırlanmak üzere, üzerindeki fazla kimyasal maddeleri gidermek için durulanır. Akrilik terbiye prosesinin en önemli kısmı boyamadır. Akrilik elyaflar, su adsorbsiyonuna hemen hemen tümüyle direnç gösteren hidrofobik özellikte olduklarından üretimde sorunlara yol açabilmektedir. Akriliklerin boyanması için birkaç alternatif yöntem olmasına rağmen, en çok kullanılan yöntem bazik boyamadır. Akrilik elyafta, yüksek sıcaklık ve basınç bazen dispers ve asit boyalarla birlikte kullanılır. Sıcaklığın 100 °C olması, boyaların elyafa nüfuz edebilmesi için yumuşatılmasını ve şişirilmesini sağlayan taşıyıcılara duyulan ihtiyacı ortadan kaldıracaktır. Termosol emdirme; sabunlama ve durulama suyunun sadece ara sıra yapılan banyolarını meydana getiren ve 75-200 °C'de fırında yapılan alternatif bir boyama yöntemidir. Akrilikler normal olarak, sentetik deterjan ve çam yağı ile son bir yıkama ve durulamaya tabi tutulur (Tünay v.d., 1984). Halı terbiyesi alt kategorisindeki su kullanımı, tekstil endüstrisinin diğer alt kategorilerine göre nispeten düşük olmasına karşılık, genellikle büyük hacimdedir. Bunun nedeni, halı üretiminin özel yapısı ve halının diğer tekstil ürünlerine nazaran daha ağır olmasındandır. Halı son işlemleri altkategorisinde başlıca atık kaynakları Şekil 3.6'dan da görüleceği gibi boyama ve baskıdır. Boyama prosesi atıksuları, genellikle üretimdeki diğer ıslak proses aşamalarının azlığından dolayı sıcaktır. Bu yüksek sıcaklık, biyolojik artma sistemlerinde problemlere yol açabilir. Her ne kadar örgü yağları halı ipliklerinde mevcut değilse de, ipliğin eğirilmesi sırasında bu yağlara rastlanabilir.

Halı terbiyesi yapan işletmeye ait tipik bir akış diyagramı Şekil 3.5'te, başlıca atık kaynakları ise Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.5: Tipik halı terbiye işlemlerinin akış diyagramı



3.2.7 Stok ve elyaf son işlemler alt kategorisi

Elyaf boyama son işleminde, dokunmuş kumaş son işlemlerinden farklı olarak, haşıllama ve haşıl sökme yoktur. Su kullanımı ve merserizasyon işleminden dolayı örgü kumaş son işlemlerinden farklılık gösterir. Bu kategori, elyafın yıkama, boyama ve son işlemlerini içerir. Dikiş ipliği, tekstil ve halı elyafı esas üretimi oluşturur. Elyaf, doğal, sentetik ve bunların karışımından elde edilmektedir. Yıkama, temizleme, ağartma, merserize, boyama ve son işlemleri bu alt-kategoride yer almaktadır.

3.3 Tekstil Endüstrisinde Su kullanımı ile Atıksu Miktar Ve Özellikleri

Tekstil terbiye endüstrisi, diğer endüstriyel aktivitelere kıyasla en fazla su tüketen endüstrilerden biridir. Çok sayıda temel işlem kimyasalları kullanmakla birlikte, bu endüstride prosesleri, deşarjları ve kirlilik azaltma düzenlemelerinin tanımlanması gerekir. Tekstil terbiyesi ve halı üretiminin başlıca ıslak prosesleri;

- Ön işlemler (Yıkama, Haşıl giderme ve Ağartma)
- Boyama ve Baskı
- Fonksiyonel terbiye

Terbiye edilen çeşitli tekstil materyalleri;

- Kumaş
- İplik
- Ambalaj
- Depolama

şeklinde sıralanabilir.

Tekstil endüstrisinde su kullanımı, özellikle sektördeki teknoloji seviyesine bağlıdır. Öyle ki, yün yıkama işleminde gelişmiş teknolojiye sahip fabrikalarda yaklaşık 5 m³/t ürün su kullanılabilir. Teknoloji imkanlarının yetersiz olduğu sektörlerde ise bu değer 120 m³/t ürün değerine ulaşmaktadır (Grau, 1991).

Tekstil endüstrisinde oluşan atıksu miktarı ise; üretim prosesine, ürüne ve işletme şartlarına bağlıdır. Aynı elyafın işlendiği veya aynı alt kategori içinde incelenen farklı işletmelerde kullanılan su miktarının, dolayısıyla oluşan atıksu miktarının,

farklı prosesler ve kimyasal maddeler nedeniyle aynı olmadığı görülmektedir. Bu nedenle tekstil endüstrisi atıksuları için ortalama bir değer vermek son derece güçtür. Ancak, atıksu karakteri bazı yaklaşım ve kıyaslamalar ile belirli bir çerçeveye oturtulabilir. Örnek olarak, yün son işlemleri alt kategorisi için birim atıksu değerleri Göknil tarafından 115-330 m³/t olarak belirtilirken, bir kısmında dokunmuş kumaş terbiyesi yapılan bir işletme için Germirli tarafından 45 m³/t olarak verilmektedir (Tünay ve diğ.,1984). Aynı literatürde Dokunmuş kumaş ve terbiyesi için atıksu miktarlarının 110-150 m³/t arasında olduğunu belirtilirken, Germirli ve diğ. (1990b) ise bu değerleri 23.5-146 m³/t olarak vermişlerdir.

Tekstil endüstrisi atıksuları genellikle gri renkli veya boyamada kullanılan esas boyanın rengindedir. Tekstil endüstrisinde temel kirletici parametreler; BOI₅, KOİ, AKM, yağ ve gres, toplam krom, fenol ve sülfürdür. Ancak; BOI₅, toplam çözünmüş madde, alkalinite ve sıcaklık değerleri genellikle daima yüksektir. Bunların dışında özellikle kullanılan boya ve diğer kimyasal maddelere bağlı olarak hem organik nitelikli hem ağır metal olarak çok sayıda mikrokirletici ve toksik bileşikler de içerebilmektedir. Atıksuların kirliliği, elyaftan ekstrakte edilen tabii kirleticiler ve elyafın işlenmesinde kullanılan kimyasal maddelerden kaynaklanmaktadır. Atıksuyun miktar ve kalite özelliklerini belirleyen temel faktörler (Tünay ve diğ., 1984):

- İşlenen elyafın cinsi,
- Tüm tekstil prosesini kapsayan temel işlemler,
- Proseslerde kullanılan kimyasal maddeler,
- Tesis içi kontrollerin uygulanma derecesi şeklindedir.

EPA tarafından bu çalışma sırasında gözlemlenen en önemli nokta; tekstil fabrikalarından deşarj edilen toksik kirleticilerin miktarı ve deşarj frekansı endüstrinin alt kategorizasyonu ile ilişkili olmadığıdır. Gerek EPA ve gerekse Türkiye’de tekstil endüstrisi alt kategorilerine bağlı olarak yapılan atıksu karakterizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 3.7 ve 3.8’de verilirken, SKKY’de arıtdıktan sonra alıcı ortama deşarj edilen tekstil atıksuları için tanımlanan standart değerler de Tablo 3.9’da sunulmuştur.

Tablo 3.3: Tekstil endüstrisi alt kategorilerine ait arıtılmamış atıksu karakterlerinin ortalama değerleri (308 endüstri araştırması, EPA,1982)

Alt-kategori	Birim Üretim başına atıksu oluşumu (l/kg)	BOI ₅		KOI		TAKM	
		(g/kg)	(mg/l)	(g/kg)	(mg/l)	(g/kg)	(mg/l)
Yün yıkama	12	42	3572	226	19290	52	4436
Yün Terbiye	304	64	209	205	673	16	54
Dokunmuş kumaş terbiyesi							
- Basit işlemler	77	22	291	88	1152	8	100
- Kompleks işlemler	98	33	940	105	1075	9	93
- Haşıl giderme	106	45	426	122	1152	15	140
Örgü kumaş terbiyesi							
- Basit işlemler	118	23	196	84	718	6	54
- Kompleks işlemler	123	28	229	122	991	8	69
- Mensucat (çorap)	75	26	344	88	1177	6	81
Halı Terbiyesi	47	26	548	82	1762	5	101
Açık elyaf ve iplik terbiyesi	97	20	202	62	642	5	47
Dokusuz yüzeyli kumaş üretimi	40	7	168	38	960	2	55
Keçeleştirilmiş kumaş üretimi	213	70	330	186	874	64	301

Tekstil endüstrisinde atıksu oluşumu tamamiyle hammadde, işleme ekipmanı ve kimyasalların tipine bağlıdır. Tablo 3.4'te bir tekstil fabrikasında yürütülen işlemlerdeki rölatif atıksu oluşumu yüzdesi alt-kategorielerden başlıca önemlileri bazında tanımlanmıştır.

Tablo 3.4: Rölatif atıksu oluşumu- dağılım yüzdesi (Van Veldhuisen ,1991)

ISLAK PROSESLER	YÜN	PAMUK	HALI
Haşıl Giderme	-	9	-
Yıkama	-	9	-
Merserizasyon	-	4	-
Ağartma	2	9	-
Boyama	40	58	100
Baskı	< 1	11	-
Apr�	< 1	< 1	-
Dolgu	40	-	-
�ekmezlik	16	-	-
Sırt Kaplama	-	-	< 1
Toplam deşarj	100	100	100

Yukarıdaki tabloda belirtilen işlemlerde atıksu aşağıdaki kaynaklardan oluşmaktadır;

- Banyo dolapları
- Yıkama ve durulama döngüleri (ana kaynak)
- Ekipman temizliği

Terbiye edilen hammaddeye bağlı olarak Tablo 3.5'te işlenen hammadde başına tüm su tüketimleri (bütün proseslerdeki) verilmektedir.

Tablo 3.5: Farklı elyafların ıslak işlemleri sırasındaki su tüketimi (Van Veldhuisen,1991)

ELYAF TÜRÜ	Su kullanımı l/Kg
Pamuk	250-350
Y�n (Parça)	200-300
Polyamid (Parça)	125-150
Polyester (Parça)	100-200
Akrilik (Parça)	100-220

Tekstil fabrikalarında oluşturulan atıksuyun toplam hacmini müşteri talebi ve işleme ekipmanlarındaki farklılıklardan dolayı tanımlamak imkansızdır. Ancak, 1975 yılında Almanya'da 90 adet tekstil fabrikası arasında yapılan anket çalışmasından

atıksu hacimleri ile ilgili bazı rakamlar elde edilebilmektedir. Buna göre en düşük miktar 0,5 m³/gün ve en yüksek miktar da 18 000 m³/gün olarak verilmektedir. Araştırmacılar bu değerleri işlenen hammaddeye bağlı olarak değerlendirerek;

- En düşük hızı = 2,5 l/kg
- Ortalama hızı = 140 l/kg
- En yüksek hızı = 560 l/kg

değerlerini bulmuşlardır. Buradaki değişim Tablo 3.3'te verilen 12-300 l/kg deşarj aralığında kalmaktadır.

Tablo 3.6 incelendiğinde, tekstil endüstrisi içinde kumaş ve halı terbiye işlemlerinin en fazla su tüketimini gerçekleştirdiği görülmektedir (özellikle haşıl giderme ve yıkama işlemlerinde) (Van Veldhuisen,1991). Ayrıca, oldukça düşük sıcaklıkta durulama adımları içeren yün terbiyesi alt kategorisi, rölatif olarak daha fazla su gerektirmektedir.

Endüstrilerde su tasarrufu amacıyla geri kazanım ve yeniden kullanım uygulamaları sürekli olarak değişmektedir. Genellikle su maliyetleri, dikiş bedelleri, ön arıtma, enerji ve/veya kimyasallardan tasarruf sağlandığı zaman geri kazanım ve yeniden kullanım teknolojilerini uygulamak endüstriler için daha cazibeli bir hal almaktadır.

EPA tarafından yapılan çalışmada tekstil endüstrilerinin yerinde ziyaret edilmesi sırasında geri kazanım teknolojilerinin bu endüstrilerde sınırlı bir kullanıma sahip olduğu gözlenmiştir. Bunun başlıca nedenleri arasında;

- Maliyet verimlilikleri ile ilgili endişeler,
- Mali harcamalar açısından rekabetli bölgelerde bulunmak,
- Teknolojiler, faydalar, kısıtlamalar ve bir fizibilite çalışmasının gerçekleştirilmesinde bu bilginin uygulaması ile ilgili konularda spesifik teknik bilgi yetersizliği,

gibi nedenler yer almaktadır. Süreklilik esasına bağlı olarak çalışan ekipmanlardaki su kullanımı (ön işlem ve boyama), geçmiş son 10 yılda su ve enerjideki tasarruf ihtiyacı nedeniyle keskin bir şekilde azalmıştır. Bu çerçevede en önemli düzenlemelerden biri eşit miktarlarda su kullanarak yıkama ve durulama yapmaktır.

Tablo 3.6: Atıksu deşarjları (EPA Araştırmaları, 1977 ve 1980)

Alt-kategori	Atıksu Deşarjı (m ³ /gün)			
	Minimum	Ortalama	Maksimum	Fabrika Sayısı
Yün yıkama	38	193	1919	11
Yün Terbiye	189	1207	4621	15
Düşük Su kullanan işlemler				
- Genel işlemler	4	95	1575	86
- Su jeti dokuma	299	640	1158	6
Dokunmuş kumaş terbiyesi				
- Basit işlemler	42	678	8327	40
-Kompleks işlemler	170	1703	28955	39
- Haşıl giderme	38	3217	29845	59
Örgü kumaş terbiyesi				
- Basit işlemler	15	1438	10560	57
-Kompleks işlemler	11	2029	13248	51
- Mensucat (çorap)	4	182	1537	58
Halı Terbiyesi	76	1590	6923	37
Açık elyaf ve iplik terbiyesi	45	946	9637	117
Dokusuz yüzeyli kumaş üretimi	53	379	1893	11
Keçeleştirilmiş kumaş üretimi	11	564	1514	11

Diğer yandan su tüketimini azaltma veya suyun yeniden kullanımı için (herhangi bir ön işlem yapmaksızın) yapılabilecek düzenlemeler şu şekilde sıralanabilir;

- Temassız soğutma suyu ve sıcak kondensat
- Boyamanın nihai durulama suyu
- Ekipman ve yerlerin düşük düzeyde temizliği için baskıdan çıkan atıksular
- Haşıl giderme için yıkamadan oluşan durulama sularının kullanımı
- Yıkama veya haşıl gidermede ağartma atıksuyunun kullanımı
- Halı fabrikalarında oluşan lateks atıksuyunun kullanımı

Bunların ötesinde proseslerde yapılabilecek genel düzenlemeleri sıralamak gerekirse;

- Konteynır ve ızgaraların otomatik temizliği
- Otomatik vanaların kullanımının tercih edilmesi
- Akış gösterge ve sayaçların kullanımı
- Seviye şalterlerinin kullanımı
- Hortum nozılları ve akış hızını azaltıcı cihazların kullanımı
- Çalışanların teşviki ve eğitimi (Dizayn, bakım, sızıntılar dökülmeler vb.)

Tablo 3.7: Tekstil endüstrisi alt kategorizasyonuna ait atıksu karakterizasyonu ve su kullanımı (EPA,1978)

Altkategori Parametre	Yapağı Yıkama	Yünlü Kumaş Son İşlemler	Az Su Kullan. İşlemler	Dokunmuş Kumaş Son İşl.	Örgü Kumaş Son. İşl.	Halı Üretimi Son İşl.	Stok ve Elyaf Son İşl.
KOI (mg/lt)	30000	1040	1000	1200	1000	1000	800
AKM (mg/lt)	8000	130	200	300	300	120	75
Yağ Gres (mg/lt)	5500	-	-	14	53	-	-
Top.Krom (mg/lt)	0,05	4	0,014	0,04	0,05	0,42	0,27
Fenol (mg/lt)	1,5	0,5	-	0,04	0,4	0,13	0,12
Sülfıt (mg/lt)	0,2	0,1	-	3	0,2	0,14	0,09
pH	8	7	10	10	8	8	11
Sıcaklık (°C)	28	60	21	37	40	20	38
SuKullanımı (l/kg)	35	35	12	112	150	70	150

Tablo 3.8: Türkiye için geçerli olan tekstil endüstrisi alt kategorizasyonuna ait karakterizasyon değerleri (Orhon ve diğ.,1996)

Altkategoriler	Ortalama Konsantrasyon (mg/lt)						
	KOI	BOI	AKM	Yağ Gres	Cr	Fenol	S ⁻
Yün Yıkama	9000	3000	4000	3000	-	-	-
Keçeleştirilmiş Kumaş Üretimi	1200	300	200	-	-	-	1
Örgü Kumaş Son İşlemler	100	350	300	53	0,5	0,24	0,2
Stok ve İplik Son İşlemler	1200	500	40	100	5	-	2
Dokunmuş Kumaş Son İşlemler	1200	650	300	14	0,04	0,04	3
Halı Son İşlemler	2000	700	100	30	0,005	0,001	0,002
Dokusuz Yüzeyli Kumaş İşlemler	3850	1230	80	-	-	-	-
Jean Yıkama İşlemler	1000	300	300	-	-	-	-

3.3.1 Haşıl gidermeden oluşan atıksular

Haşıl giderme işlemi atıksuyu genel atıksuyun organik yüküne (bazı yağ v gresler de dahil) temelde katkıda bulunan önemli işlemlerden biridir ve nihai atıksudaki askıda katı maddenin büyük bir miktarı bu işlemde kaynaklanmaktadır. Sentetik haşılama maddeleri (PVA,CMC, PAA) sabit bir BOI₅ ve yüksek bir KOI'ye sahipken, doğal nişasta haşılının BOI₅ değeri oldukça yüksektir. Tablo 3.10'da doğa nişasta ile enzimatik ve ait tipi haşıl gidermeden oluşan maddeler listelenmiştir. Enzim gideriminden oluşan atıksuyun pH'ı yaklaşık nötrdür. Ancak sülfürik asit giderimi sırasında pH 1 yada 2'lere düşebilir.

Tablo 3.11'de haşıl giderme işleminde durulama ve yıkama çevrimlerinden oluşan KOI'deki muhtemel farklılıklar sunulmaktadır. Bu tabloda materyaller 1:15 flote oranında yıkanmıştır. Burada dikkate edilmesi gereken nokta bu tablodaki rakamların yıkama kimyasalları ile farklı denemelerden elde edilen sonuçların ortalaması olduğudur.

Tablo 3.10: Doğal nişastanın haşıl giderimi sırasında oluşan atıksu kompozisyonu

İşlemin Tipi	Üretilen atıklar	Atık karakteristikleri
Enzim	- Nişasta - Yağ, wax - Enzimler -NaCl, Islatma kimyasalları	-(İn)organik çözünmüş katılar - AKM - Yağ ve gres - Renk: Açık
Sülfürik Asit	- Nişasta kalıntıları - Yağ, wax - Sülfürik asit	-(İn)organik çözünmüş katılar - AKM - Yağ ve gres - Renk: Açık

Haşıl giderme prosesi ile ilgili olarak şu noktaya dikkat edilmelidir; numunenin alındığı noktaya bağlı olarak KOI konsantrasyonları arasında fark vardır. Bu değişim 11000 (Tekstil materyalinin girdiği nokta/boşaltılan yıkama suyu deşarjı) ile 6750 mg O₂/l (tekstil materyalinin haşılının giderildiği nokta/yıkama suyunun girişi).

Tablo 3.9: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre alıcı ortam deşarj standartları, 1988 (2 Saatlik Kompozit) (SKKY)

Parametre	Birim	AçıkElyaf,İp lik Üretimi ve Terbiye	Dokunmuş Kumaş Terbiyesi ve Benzerleri	Pamuklu Tekstil Benzerleri	Y'ün Terbiye,Dokuma ve Benzerleri	Örgü Kumaş Terbiyesi ve Benzerleri	Halı Terbiyesi ve Benzerleri	Sentetik Tekstil Terbiyesi ve benzerleri
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı(BOİ ₅)	mg/lt	80	90	90	200	50	120	100
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/lt	350	400	250	400	300	300-200*	400
Toplam Askıda Katı Madde(AKM)	mg/lt	-	140	160	400	-	160	-
Amonyum Azotu (NH ₄ -N)	mg/lt	5	5	5	5	5	5	-
Serbest Klor	mg/lt	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-
Toplam Krom	mg/lt	2	2	2	2	2	2	-
Sülfür (S ⁻²)	mg/lt	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Çinko (Zn ⁺⁴)	mg/lt	-	-	-	-	-	-	1
Sülfid	mg/lt	1	1	1	1	1	-	12
Fenol	mg/lt	-	1	-	-	1	1	-
Yağ ve Gres	mg/lt	10	-	10	200	10	10	-
Balık Biyodeneyi (ZSF)	-	4	4	4	-	-	-	3
PH	-	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9

*24 saatlik kompozit numune

Tablo 3.11: Farklı tekstil materyallerinin haşıl gideriminden oluşan atık yükleri
(Flote oranı 1:15)

Materyal	KOI _{Top} (mg/l)	KOI _{materyal} (mg/l)	gr KOI/kg Materyal
%100 Pamuk	2940	2053	30,8
Pamuk/Sentetik karışımı	2450	1977	29,7
Polyamid	5470	5125	76,9

Avrupa ülkelerinde tekstil materyalini korumak amacıyla kullanılan koruyucu kimyasal maddeler haşıl giderme sırasında serbest kalırlar. Ancak bunların ne kadarının serbest kaldığını belirlenememektedir. Ancak, p,p'-DDE'nin deşarjından oluşan kirlilik probleminin boyutu, bazı prensip başlangıç noktaları hesaba aktılarak tahmin edilebilmektedir. Bunları sıralamak gerekirse;

- Tekstil materyali : %100 Pamuk
- Mikrokirleticilerin tamamı çözünmüş (yarım saat ile 12 saat'lik yeterince uzun bekletme süresi;yüksek sıcaklık çözünmeyi iyi yönde etkiler)
- Haşıl giderme banyosunun flote oranı 1:10'da muhafaza edilir
- Ortalama su kullanımı 100 l/kg

Buradan, atıksudaki p,p'-DDE konsantrasyonunun 8,5-45 ng/l olduğu çıkarılabilmektedir. Buna göre haşıl giderme ünitesinden günlük üretimin teorik miktarı 30000 kg olursa, 90 mg/gün'lük bir yük deşarj edilebilir.

Almanyanın Berlin eyaletinde Çevre Koruma Bakanlığı tarafından yapılan bir araştırma projesi 89 adet tekstil endüstrisinden yapılan deşarjları incelemiştir. 5 farklı haşıl giderme ünitesi çıkış akımından elde edilen veriler Tablo 3.12'da sunulmuştur. Bu tabloda da anlaşılabacağı gibi, 12 ve 16 numaralı firmaların çıkış akımları yüksek arsenik içeriğine sahiptir. Bunun muhtemel kaynağı araştırma raporundan anlaşılamamaktadır. EPA , arseniğin fungusit olarak kullanıldığını ve ticari boyalarda iz kirletici olarak bulunmasından şüphelendiklerini ifade etmektedir.

Sonuç olarak; haşıl giderme ünitesinden oluşan oranik yükler, özellikle bir çok kanalizasyon yada deşarj bedelleri KOI parametresine dayandırıldığı zaman atıksu kirliliği üzerine önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca, haşıl giderme işlemleri bir tekstil fabrikasından oluşan organik yüke %50'ye varan mertebelerde katkıda bulunabilmektedir.

Tablo 3.12: Almanyada’ki haşıl giderme çıkış akımları (5 örnek;Van Veldhuisen, 1991)

Firmalar Parametre	3	7	12	16	30
pH	6,9	12,7	6,3	13	11,1
KOI (mg/l)	5960	1181	19900	725	350
AOX (mg/l)	20	570	470	1300	74
Arsenik (µg/l)	9	23	9000	2495	< 5
Bakır (µg/l)	27	19	185	85	54
Çinko (µg/l)	76	32	225	81	40
Kalay (µg/l)	< 10	< 10	27	15	< 10

3.3.2 Yıkama işleminden oluşan atıksular

Mevcut tekstil materyallerinin çeşitliliğinden dolayı bunların yıkama işlemi de farklılıklar göstermektedir. Pamuk yıkama atıksuları kuvvetli alkali (pH>12), koyu renkli ve yüksek çözünmüş katı maddeye sahiptir. Sentetik elyaflar ise nispeten doğal kirletici içermediklerinden dolayı daha az yıkama işlemi gerektirirler. Bu tip elyaflarda kurutma sırasında statik elektriklenmeyi önlemek için bazı antistatik kimyasallar (stiren esaslı reçineler, polyalkilin glykoller, jelatin, PAA ve PVA) kullanıldığından dolayı, elyafın yıkanması sırasında bu maddeler atıksuya karışabilir. Genelde süt kıvamında soda çözeltisi ve bir deterjan kullanmak sentetik elyafların yıkanması için yeterlidir. Bu yıkamalarda su ve enerji tasarrufu ile düşük yatırım maliyetlerinden dolayı eşit akımlı yıkama çok sıklıkla uygulanmaktadır.

Tablo 3.13’de farklı tekstil materyalleri için yıkama prosesinden oluşan atık akışları verilmektedir.

Tablo 3.13: Yıkama atık akımları

Materyal	(l/kg)	KOI (mg/l)	gr KOI/kg materyal	BOI (mg/l)
Yün	5-20	6000-45000	30-900	3900-24000
Pamuk	5-20	8000-15000	40-300	8000-15000
Pamuk/Sentetik	5-20	500-2500	2,5-50	Bilinmiyor

Yün yıkamadan gelen KOI yükleme hızı haşıl gidermeden oluşanlarla mukayese edilebilmektedir (50-100 g KOI/kg materyal). Yıkama çıkış akımlarında tipik proses kimyasalları ve giderilen kirleticiler ise Tablo 3.14’de verilmiştir.

Tablo 3.14: Yıkama prosesi ile ilgili maddeler

Materyal	Maddeler	Kirleticiler
Pamuk	- Kostik soda - Tri ve Tetra sodyum fosfat - Silikatlı soda - Deterjanlar - Tetrakloretilen	- Pamuk waxları - Pektinler - Yağlar - Toz
Yün	- Alkali (Amonyak, kostik) - Islatıcı - Emülsifiyerler - Deterjanlar - Tetrakloretilen	
Sentetikler	- Deterjanlar - Tetrakloretilen - Soda külü	

Sonuç olarak; yıkama prosesinden oluşan atıksular kuvvetli alkali ve KOI yükü yüksektir ve nispeten mikrokirletici içermezler. Solvent yıkamada kullanılan tetrakloretilen, bir çok uygulamada damıtılarak geri kazanılabilmektedir. Ayrıca fabrikaların çoğunda, kostik soda içindeki civa iz kirleticisi gözlemlenen kirliliğin tek kaynağıdır.

3.3.3 Ağartma işleminden oluşan atıksular

Pamuk elyafı terbiyesinde aşağıda belirtilen ağartıcılardan biri yada bunların kombinasyonu kullanılmaktadır;

- Sodyumhipoklorit
- Klor
- Hidrojen Peroksit

Yardımcı kimyasal olarak ise;

- Sodyumhidroksit ve silikat
- Köpük kesici
- Islatici
- Gerginleştirici

Yünlü materyallerde; hipoklorit yüne zarar verdiğinden ve rengini bozduğundan dolayı hidrojen peroksit kullanılmaktadır.

Tablo 3.15’de yün ve pamuğun ağartma prosesi atık karakterizasyonu verilmektedir.

Tablo 3.15: Ağartma prosesi atıksu karakteri

Materyal	Su Kullanımı (l/kg materyal)	pH	KOI (mg/l)
Pamuk	60-150	6,5-9	80-150
Yün	8-25	-	-

Hipokloritle ağartma prosesinde kirlenme problemi oluşması muhtemel klorlu hidrokarbonlardan kaynaklanmaktadır. Çok sayıda oluşması muhtemel ürünlerden dolayı bunlar en iyi AOX (absorblanabilen organik halojenler) ile tanımlanabilmektedirler. Ağartma banyolarındaki AOX konsantrasyonu 80 mg/l (0,3 gr AOX/kg materyal, Flote oranı: 1:4) büyüklüğünde ölçülmüştür. Almanyada son yıllarda yapılan bir çalışmada, ağartma sırasında AOX oluşumunu etkileyen başlıca faktörler şu şekilde sıralanmaktadır;

- Materyal üzerindeki kirleticilerin miktarları
- Ağartma banyosunda işlenen tekstil materyalinin toplam ağırlığı

Bu çalışmada serbest klor ile AOX oluşumu arasında beklenen ilişki ispatlanamamıştır. Klorla ağartma işlemindeki AOX oluşum miktarı, materyale

uygulanan ön işleme göre tanımlanır. Buna göre ağartmada AOX oluşumunu azaltmak için mutlaka tekstil materyali üzerindeki kirleticilerin bir ön işleme giderilmesi gerekmektedir. Öyleki; kostik soda ile materyale uygulanacak bir ön yıkama işlemi sonrası yapılan ağartmadan oluşacak AOX miktarı, ham materyale direkt uygulanan ağartma işlemi sonucu oluşacak AOX'in $\frac{1}{4}$ 'ü oranında azalmaktadır.

Tablo 3.16'da, Almanya'da tekstil atıksuları üzerine yürütülen bir çalışma, 7 farklı ağartma çıkış akımlarındaki örneklerin spesifik verilerini göstermektedir.

Tablo 3.16: Ağartma çıkış akımları (7 örnek; Van Veldhuisen, 1991)

Firmalar	9	10	12	13	14	15	22
Parametre							
KOI (mg/l)	7200	13600	3540	3780	5530	4020	5220
AOX (mg/l)	181	4,3	0,2	14,8	10,8	8,3	17

Organik kirleticiler (KOI olarak ölçülen) ile AOX oluşumu arasındaki korelasyon bu tablodan çıkarılamamaktadır. Durulama banyolarının örneklenmesi ve proses işleyişi sırasında örnekleme anı başlıca önemli faktörlerdir.

3.3.4 Boyama işleminden oluşan atıksular

Boyama işleminden kaynaklanan atıksu miktarları, birkaç nedenden dolayı geniş çapta değişiklik göstermektedir;

- Müşteri talebi (metraj ve istenen kalite)
- Ekipman (Materyal ve siparişle ilişkili)
- Boya tipi
- Yıkama ve durulama prosedürleri

Boyamada kullanılan başlıca 3 temel proses atıksu oluşumunu etkiler;

- Boya konsantrasyonlarının nispeten düşük olduğu sürekli olmayan boyama (genellikle 0,1-1 gr/l)

- Fiksasyon ve yıkama prosedürleri sürekli olmayan ancak boyamanın sürekli yapıldığı yarı sürekli boyama (Boyam malzemesi konsantrasyonu genellikle 1-10 gr/l)
- Yüksek boya malzeme konsantrasyonlu (10-100 gr/l) sürekli boyama. Genellikle bu tip prosesler ekipman temizliği sırasında oluşan deşarjlar dışında atıksu oluşturmaz.

Boyama ekipmanının spesifik banyo hacmi; makinadaki kontrol ve otomasyon seviyesi, işlem ardışıklığı ve dizaynındaki önemli farklılıklarından dolayı çok önemli değildir. Boyama prosesi; belirli bir ekipmanın sıvı oranı (flote oranı) parametresine göre işletilir. Bu oranın tanımı; Toplam kuru materyal ağırlığı/Toplam sıvı ağırlığı (kapalı sistemlerde) şeklindedir. Örneğin; 1/100 flote oranı, 1 kg materyal için 100 lt boya banyosu hacmini ifade eder. Düşük flote oranı, atıksu miktarının artmasına neden olacaktır.

Tablo 3.17’de boyama prosesinde kullanılabilen farklı ekipmanların flote oranları sunulmuştur.

Tablo 3.17: Boyama ekipmanı için flote oranı

Ekipman	Flote oranı
Yıldız boyama makinası	1:100
Vat	1:10 ile 1:30
Jigger	1:3 ile 1:5
HT (Yüksek sıcaklık ve basınçlı)	1:8 ile 1:10
Taşkanlı/Jet	1:4 ile 1:10
Foulard (Sürekli)	1:0,6 ile 1:0,8

Boyama prosesi sırasında yada hemen sonrasında, fiksasyon yer alır ve yıkama-durulama işlemleri boyam malzemesi ile yardımcı kimyasalların uzaklaştırılması için gereklidir. Yıkama ve durulama işlemlerinde gerekli su hacmi; tamamiyle materyalin tipine, boya tipine ve istenen kaliteye bağlıdır.

Almanya’da, reaktif boyaların kullanıldığı pamuk boyama prosesi üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmiştir;

- 10 kg işlenen materyal için su kullanımı 6,9 l/kg materyal, 16,8 kg KOI/kg materyal
- 100 kg işlenen materyal için su kullanımı 6,1 l/kg materyal, 14,5 kg KOI/kg materyal
- 1000 kg işlenen materyal için su kullanımı 6 l/kg materyal, 14,3 kg KOI/kg materyal

Sonuç olarak;

- Sürekli olmayan boyamada; KOI konsantrasyonu artan flote oranına bağlı olarak azalmaktadır. Çok düşük flote oranlarında KOI konsantrasyonu keskin bir şekilde düşmektedir.
- Düşük flote oranlarında kirlilik hızı (gr KOI/kg tekstil materyali) lineer bir şekilde düşerken sudan yapılan tasarruf da daha az kirliliğe yol açmaktadır.
- Genellikle sürekli boyamadaki kirlilik yükü sürekli olmayan boyamadakinden daha düşük olabilmektedir.

Tekstil boyamanın kirletici unsurları ile ilgili en önemli faktör boyanın fiksasyon derecesidir. Bu derece 10 sınıf veya tipteki boyalar arasında geniş ölçekte değişir. Bu sınıflama spesifik uygulamalara ve çoğunlukla atıksu karakterine göre yapılır. Farklı sınıflar farklı fiksasyon derecesini gösterir. Tablo 3.18’de fikse olmayan boyaların ortalama %’leri verilmektedir. Genellikle görünen odur ki; fikse olmayan boya yüzdesi artan flote oranı ile artmaktadır.

Boyaların yanında, bir çok yardımcı kimyasallar da kullanılmaktadır. Bunların yaygın olarak kullanılanları;

- Asitler (Sülfürik, formik, hidroklorik vb.)
- Mineral tuzlar (sodyumsülfat, sodyum klorür vb.)
- Düzenleyici ve ikincil esterleştirici maddeler
- Sodyumhidroksit
- Sodyumhidrosülfat
- Dispers edici maddeler
- Hidrojen peroksit
- Sodyum perborat

Tablo 3.18: Fikse olmayan boyanın ortalama yüzdesi (Van Veldhuisen,1991)

Boya sınıfı	Fikse olmayan %	Mikrokirleticiler
Direkt	5-30	Bakır kompleks, quaterner amonyum tuzları
Vat	5-20	
Kükürt	30-40	
Reakt	5-50	
Azoik	5-10	Boya sentezinden oluşan ara ürün olarak PCB'nin izleri
Dispers	8-20	Taşıyıcılar
Pigment	1	
Asit boya	7-20	
Bazik boya	2-3	
Emme boya (mordant)	1-2	
Ön metalyze	2-5	Metaloksitler (Krom)

Boyamada boyamayı destekleyici olarak polyester esaslı taşıyıcılar kullanılmaktadır.

Ticari olarak mevcut taşıyıcıları sıralarsak (Van Veldhuisen,1991);

- Ortofenilfenol
- Bifenil
- Triklorbenzen
- Benzoat asit esterleri
- Orto-diklorobenzol
- Triklorobenzol
- Benzilfenol

Taşıyıcılar elyaflar tarafından tamamen adsorbe edilemezler. Bunların %10'u ile %30'u atıksuya karışır. Çıkış akımlarındaki konsantrasyonları 0,4 gr/l olarak tahmin edilmektedir. **ETAD (Boya üretimi endüstrisinin ekolojik ve toksikolojik birliği)** 'ın endüstri listesi ve federasyon bilgilerine göre avrupa ülkelerinde bu aromatik bileşiklerin kullanımı azaltılmıştır.

Ticari olarak kullanılan mevcut boyaların içinde iz metaller mevcuttur. Bunlardan civa ve kadmiyum için **ETAD** sırasıyla 10 ppm ve 20 ppm gibi düşük değerler tavsiye etmektedir. Piyasadaki boyaların çokluğu ve çok çeşitli uygulamaları kullanılan boyama ekipmanı ve talep edilen kaliteye göre değiştiğinden dolayı, atıksudaki yükleri ve konsantrasyonları ile ilgili yeterli bilgi bulmak imkansızdır.

Bununla birlikte durulama akımından sonraki atıksu akımı için tahmin edilen civa konsantrasyonu 12 µg/l olarak hesaplanmıştır.

Direkt boya ile selüloz boyamada Centexbel tarafından bakır deşarjı araştırılmıştır. 0,7 mg/l'lik ortalama deşarj konsantrasyonu bulunmuştur (0,3 gr Bakır/kg materyal) . Aman araştırmacılar sadece boyama akımından gelen 3 atıksu akımını incelemişler ve herhangi bir mikrokirleticiye rastlamamışlardır (Van Veldhuisen,1991).

EPA 'nın tekstil atıksuyu üzerinde yürüttüğü çalışmada (EPA,1982), farklı alt-kategorilerin boyama bölümleri spesifik olarak belirtilmemektedir. Bu çalışma ile ilişkilendirilen numune alma programının tamamı potansiyel toksik kirleticilerin envanteri Tablo 3.19'da sunulmuştur.

Tablo 3.20'de ise boyama işlemi için kirleticilerin kaynağı yada ilişkisi verilmektedir (EPA,1982). Bunların konsantrasyon seviyeleri konsantrasyon aralıklarındaki geniş çeşitlilikle genelde µg/l büyüklüğündedir.

Boyama akımlarının detaylı karakteri;

- Boyama ekipmanının tipine (Flote oranı)
- Boya malzemesinin sınıfına
- Durulama ve yıkama çevrimlerine

bağlı olarak tahmin edilebilir.

Tekstil atıksularında boyama işlemlerinden kaynaklanan bir diğer önemli problem de renktir. Bir çok araştırma projesinde rengin eliminasyonu ve/veya indirgenebilirliği araştırılmıştır. Bir fikir vermesi açısından ETAD (Boya üretimi endüstrisinin ekolojik ve toksikolojik birliği), artırılmamış atıksudaki ortalama renk konsantrasyonunu değerlendiren varsayımlı bir hesaplama sunmaktadır. Buna göre;

Boyanan tekstil ağırlığı	: 3000 ton/average
Kullanılan boyalar	: 30 ton/average
Deşarj edilen boyalar (%90 fiksasyon)	: 3 ton/average
Atıksu hacmi (1:100 flote oranı)	: 300 000 m ³ /average
Boya malzemesi konsantrasyonu (Artırılmamış atıksu)	: 10 mg/l

Tablo 3.19: Tekstil alt kategorileri için toksik kirleticilerin özeti (EPA,1982)

Alt kategori	Toksik Kirleticiler
Yün yıkama	102,112,118,121,Sb,Pb,Hg,Ni,Ag,Zn
Yün Terbiye	53,79,102,111,118,Ag
Dokunmuş kumaş terbiyesi	
- Basit işlemler	79,96,102,118
- Kompleks işlemler	7,79,102,112
- Haşıl giderme	7,53,79,96,102,111,112,118,121,122,Sb,Cr,Cu,Zn
Örgü kumaş terbiyesi	
- Basit işlemler	23,79,96,11,112,118,121,Sb
- Kompleks işlemler	23,79,96,111,112,118,Sb
- Mensucat (çorap)	23,122,Zn
Halı Terbiyesi	7,23,Sb
Açık elyaf ve iplik terbiyesi	23,53,102,111,118,121,Sb
Dokusuz yüzeyli kumaş üretimi	7,23,112
Keçeleştirilmiş kumaş üretimi	96,Ag
7: Benzen 23: Kloroform 53: 1,2-diklorobenzen 79: Etilbenzen 96: Naftalin	102: Pentaklorofenol 111: Tetrakloretilen 112: Toluen 118: 1,2,4-triklorobenzen 121: Triklloretilen
	122: 2,4,6-Triklorfenol

Boyama işleminde kullanılan boyaların biyolojik arıtılabilirliği ve çevre ile uyumluluğu incelendiğinde;

- Aerobik proseslerde kısa bekletme sürelerinde boya malzemeleri biyolojik olarak parçalanmaz,
- Azo boyarmaddeler (en yaygın kullanılan boya sınıfı) anaerobik koşullar altında parçalanır,
- Boyarmaddeler biyolojik çamur üzerinde adsorblanırlar,
- Aquatik toksisite boyarmaddelerden kaynaklanan görülebilir kirlenme seviyelerinin altında görünmeyebilir.

Tablo 3.20: Boyama ile ilgili toksik kirleticiler (EPA,1982)

KİRLETİCİ	MUHTEMEL KAYNAĞI	HAM ATIKSUDA MEVCUDİYETİ
Benzen	Solvent	Yok
Kloroform	Solvent	Bazen
1,2 diklorobenzen	Sentezden gelen ara ürün	Yok
Etilbenzen	Boya malzemesi;baskı macunu	Yok
Naftalin	Direkt boyalar	Sık sık
Pentaklorofenol	Boyalardeki koruyucular	Bazen
Paraklorometakresol	Biosit,boyalardaki dezenfektan,taşıyıcılar	Yok
Tetrakloretilen	Taşıyıcılar	Bazen
Toluen	Taşıyıcılar ve boyalar	Bazen
Trikloretillen	Boya malzemesi ve baskı macunu	Bilinmiyor
Antimon	Boyalar, baskı macunları	Tesise özel
Arsenik	Boyalardeki iz kirleticiler	Yok
Kadmiyum	Pigmentler ve boyalar	Nadiren
Krom	Fiksasyon malzemeleri	Bilinmiyor
Bakır	Boyalar ve pigmentler	Bazen
Siyanür	Boyalar	Yok
Kurşun	Pigmentler	Nadiren
Cıva	Pigmentler ve boyalar	Nadiren
Nikel	Pigmentler ve boyalar	Nadiren
Selenyum	Bilinmiyor	Nadiren
Gümüş	Boyalar	Nadiren
Çinko	Pigmentler ve boyalar	Bazen

3.3.5 Baskı işleminden oluşan atıksular

Boyama işlemlerinin aksine baskı işlemlerinde boyayı düzeltmek için su kullanımı çok düşüktür. En fazla su baskı işleminden sonra yıkama ve durulama ile ekipmanın temizliğinde kullanılmaktadır. Tablo 3.21’de baskı ve sürekli-yarı sürekli boyamalardaki su kullanımları arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu tablodaki sonuçlar aşağıdaki koşullar altında sunulmaktadır;

- 300 m pamuklu kumaş (120 gr/m²),
- 6 renkli baskı,
- Vat boyama; 3 banyo; Flote oranı; 1:150
- Sürekli çalışan boyama ekipmanı; 3 banyo; hesaplanan Flote oranı; 1:50

Tablo 3.21: Baskı ve boyama işlemleri atıksu hacimlerinin karşılaştırılması (Van Veldhuisen,1991)

PROSES	Su kullanımı	
	(l)	(l/kg materyal)
Baskı macunu		
- Düz elek	36	1
- Döner elek	60	1,7
Yıkama ve durulama		
- Düz elek	300	8,3
- Döner elek	600	16,7
Vat Boyama 1:150 Flote	5400	150
Sürekli Boyama 1:50 Flote	1800	50

Baskı işleminde özellikle ekipmanın temizliği kullanılan makinanın tipine bağlıdır. Tablo 3.22’de büyük çapta baskı yapan fabrikalarda bu ekipmanın temizliği için gerekli su hacmi tecrübelerden elde edilen verilere dayanılarak sunulmuştur. Bu tablodan, renk değişimi çok sık olduğu zaman ekipman temizliği su kirliliği açısından önemli olduğu açıkça görülmektedir. Bu nedenle çoğunlukla baskı bölümlerine özel yıkama ekipmanları yerleştirilmektedir.

Kirlilik açısından değerlendirildiğinde, düz yatak ve yuvarlak baskının döner metoda göre daha az kirli olduğu görülmektedir. Atıksuya geçen maddeler çoğunlukla elek, boru gibi yerler üzerinde kalan macunlardan oluşmaktadır. Bu kalıntılar depolama sırasında oksidasyon olmadığı zaman yeniden kullanılabilir.

Katyonik, direkt ve metal kompleks sınıfındaki boyalar haricinde tüm boya sınıfları baskı işlemlerinde kullanılmaktadır. Almanya’da tekstil fabrikalarının spesifik akımları üzerine yapılan araştırma baskı bölümünden gelen atıksular hakkında çok fazla bir ek bilgi vermemektedir. Ancak, ağır metal içeriğini nispeten arttırmaktadır. Yüksek çevre kirliliği potansiyeline sahip baskının özel bir tipi batiktir. Renklendirilmemesi gereken tekstil materyali üzerine uygulanana reçineler 1,1,1 trikloreten yada trikloretilen ile uzaklaştırılmaktadır. Islatılan materyal genellikle yüksek basınçlı buhar kazanlarında işlenir ve kondenzasyonla solventler geri kazanılır. Solventlerin tekstil materyali üzerinde kalan ve yıkama işlemlerinde atıksuya geçebilen net miktarı maalesef bilinmemektedir. Birkaç Avrupa Birliği ülkesinde hükümetler, boyama ve baskı işlemlerinden önemli bir problem olarak oluşan alıcı su ortamlarının renkliliği ile ilgilenmektedir.

Tablo 3.22: Baskı işlemlerinde ekipman temizliği (Van Veldhuisen,1991)

Kaynak	Su Hacmi	Notlar
<u>Yuvarlak baskı</u>		
- Belt yıkama	4,5 m ³ /saat	Sürekli sistem
- Kaplar, fırçalar ve rollırlar	1 m ³	Tesadüfen, renk değişimi ile (8 ila 11 renk)
- İdem	10 m ³ /saat	Yıkama kabini; kurulu kapasite
<u>Düz elek</u>		
- Belt yıkama	2 m ³ /saat	Sürekli; 12 renk
- Boru temizliği	2 m ³ /saat	Renk değişimi
- Makinanın yıkanması	15 l/elek yada 0,4 m ³ /saat	Elekler; elle otomatik olarak; kurulu kapasite
- Sequegees	10 m ³ /saat	
<u>Döner elek</u>		
- Belt yıkama	2 m ³ /saat	Sürekli
- Boru temizliği	2 m ³ /saat	Renk değişimi
- Makinanın yıkanması	0,1 m ³ /saat	Elekler, renk değişimi
- Sequegees	2 m ³ /saat	Renk değişimi

3.3.6 Halı terbiyesi işlemlerinden oluşan atıksular

Bir halı fabrikasından deşarj edilen toplam atıksu hacmi tipik olarak oldukça fazladır. Fakat bu deşarj üretimle normalize edildiğinde deşarj hızı (l/kg üretim) tekstil endüstrisinin diğer alt-kategorilerindeki işlemlere kıyasla düşük kalmaktadır. Bu durum halı üretiminin doğasından kaynaklanmaktadır.

Amerikada 37 adet halı fabrikasından elde edilen bilgiler doğrultusunda yapılan hesaplamalar sonucunda tipik atıksu deşarj hızları;

- Minimum : 8,3 l/kg
- Ortalama : 47 l/kg
- Maksimum : 160 l/kg

bulunmuştur.

Birim üretim başına düşük deşarj hızını etkileyen faktörler ise;

- Yıkama ve ağartma gibi ön ıslatma işlemlerine daha sınırlı düzeyde ihtiyaç duyması,

- Halı boyamada genellikle tekstil boyamadan daha düşük flote oranlarının uygulanması,
- Tekrar boyama yapma zorunluluğunun daha az olması,
- Halılara uygulanan baskı işleminden düşük miktarda atıksu oluşması,
- Halının m² başına düşen ağırlığının, diğer tekstil ürünlerinden daha fazla olması

şeklinde sıralanabilir.

Bir halı fabrikasındaki ıslak prosesler aşağıdaki işlemlerin çeşitli kombinasyonlarını içerir;

- Yıkama
- Ağartma
- Boyama
- Baskı
- Apre
- Sırt kaplama

Halı fabrikalarında boyama ve baskı işlemlerinden gelen atıksular akışa başlıca katıkıda bulunan akımlardır. Fakat bu prosesler diğer proseslere bağlı olarak geleneksel şekilde izlenen konvansiyonel ve non-konvansiyonel kileticilerin sadece normal miktarlarda oluşmasına neden olurlar. Fonksiyonel terbiye (apre) ve halı sırt kaplama genellikle ayrı bir arıtıma tabi tutulmak üzere deşarj edilirken aynı zamanda genel atıksu deşarjından ayrılabilen lateks atığının oluşmasına da neden olurlar.

3.3.6.1 Halı yıkama ve ağartma işlemlerinden oluşan atıksular

Halılar; yağ, waks ve diğer kirleticilerden arındırılmak üzere sabun yada deterjanlarla yıkanabilirler ve böylece boyama yada baskı işlemlerine hazırlanmış olurlar. Eğer ağartma gerekirse, yıkamadan sonra ağartma kimyasalları eklenir. Amerika'daki halı fabrikalarının %15'inden azı yıkama işlemi uygulamakta olup fabrika bütününde yıkamadan oluşan atıksular toplam üretimden oluşan atıksuların çok düşük bir kısmını oluşturmaktadır (%1-40, ortalama %16, EPA, 1982). Sadece 3 fabrika ağartma işlemi uygulamakta olup bunlar da genel atıksu akımının %1,2 ve 10'unu oluşturmaktadır.

Sonuç olarak; yıkama ve ağartma işlemleri, halı fabrikası atıksularının karakteristikleri üzerinde çok düşük bir etkiye sahiptir.

3.3.6.2 Halı boyama işleminden oluşan atıksular

Hemen hemen halı terbiye fabrikalarının tümü parça boyama uygulamaktadır ve atıksularının karakteri büyük ölçüde kullanılan boyar maddelerden ve boyama makinalarından etkilenmektedir. Polyester elyafın kullanılması önemli olmasına rağmen Naylon (Polyamid) elyaf, halı üretiminde kullanılan başlıca elyaf tipidir. Boyama işlemi tipik olarak atmosferik boya tekneleri yada daha az yaygınlıkta uygulanan sürekli boyama düzeninde gerçekleştirilmektedir. Asit boyalar, dispers boyalar ve katyonik boyalar çok sıklıkla kullanılmaktadır. Nispeten düşük miktarda da olsa direkt boyalar kullanılmaktadır.

3.3.6.3 Halı baskı işleminden oluşan atıksular

Halılar genellikle genellikle döner, düz yatak, çözgü iplik ve tuft boyama ekipmanlarında baskı işlemine tabi tutulurlar. Düz yatak en yaygın kullanılan yöntemdir. Günümüzde, halı baskı işlemlerinden oluşan atıksular, dokunmuş kumaş baskı atıksularından önemli farklılıklar göstermemektedir.

3.3.6.4 Halı fonksiyonel terbiye (apre) işleminden oluşan atıksular

Boyama ve baskı sonrası halıyı istenen kalitelere getirmek için bir takım kimyasal maddeler uygulanabilir. Su tutmazlık, yanmazlık, küfe dayanıklılık ve toz tutma geciktiriciliğini arttıran kimyasallar, antistatik kimyasallar ve yumuşatıcılar kullanılır. Bu kimyasallar çok sık uygulanmadığından ve dokunmuş kumaşa kullanıldığı kadar çok sayıda ve sıklıkta kullanılmadığından dolayı, ham atık yükü üzerindeki etkileri nispeten daha az olacaktır.

3.3.6.5 Halı sırt kaplama işleminden oluşan atıksular

Halı sırt kaplama işlemi; jute yada propilen esaslı kaplama malzemesinin boyanmış yada baskı yapılmış halıya bir yaprak gibi ikincil bir kaplama işlemidir. Üretan yada lateksin bazen köpük kaplaması kullanılmasına rağmen normalde yapıştırıcı olarak bir lateks bileşiği kullanılmaktadır.

Hem köpüklü hem de köpüksüz kaplamada kullanılan lateks suda çözünmez. Fakat yüksek yayınıma sahip bir formda kullanılır. Bu prosesten oluşan atıksu AKM, KOI ve Çinko (eğer jel tipi lateks kullanılıyorsa) içerir. Halı parça boyama işlemlerinde aşağıdaki kimyasallar sırasıyla kullanılmaktadır (Stuber,1974);

- Elyaf/Materyal : Naylon, Akrilik, Polyester
- Kullanılan boyalar : Dispers, Asit, Katyonik, Direkt
- Endüstriyel kimyasallar : Anorganik asit, Amonyak, Tuz
- Yardımcı kimyasallar : Bifenil (Taşıyıcı), Kalınlaştırıcı, İkincilesterantlar, Köpük kesici
- Dispersantlar, deterjanlar
- Yumuşatıcılar

Halı üretimindeki ortalama su tüketimine göre (47 l/kg halı), ortalama bifenil konsantrasyonu 560 mg/l olarak hesaplanabilir. Bifenilin çözünürlüğü 25 °C’de 7,7 mg/l’dir. Dolayısıyla çoğunluğu atıksuda emülsiyе halde bulunmaktadır.

Lateks uygulamasından oluşan atıksular kaplama kalıntılarını içerirler (Örneğin; Stiren/Butadien ve CaCO_3 yada $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_3$ gibi dolgu malzemeleri). Bu ünite de kirliliğin kaynağı, karışım tankları ve uygulama silindirlerinin yıkanmasıdır. Bunlar genellikle çok düşük hacimdedir.

1965 (Evers, 1965) yılında yapılan bir araştırmaya göre lateksli atıksu karakterizasyonu Tablo 3.23’deki gibidir.

Tablo 3.23: Lateksli atıksu karakteri (Evers, 1965)

PARAMETRE	KONSANTRASYON (mg/l)
Katılar	
- TKM	6208
- TAKM	4610
BOI	925
Permanganat değeri	1930

3.3.7 Fonksiyonel terbiye (apre) işlemlerinden oluşan atıksular

Terbiye işlemi için kullanılan kimyasalların türleri geniş bir aralığı kapsamaktadır. Birçok elyafın işlenmesi sırasında, tüketicinin ihtiyacını karşılamak üzere bu apre

kimyasalları kullanılır. Bu apre malzemeleri genellikle terbiye mutfağında hazırlanan bir sulu çözeltiden uygulanır (boyama işlemleri için renk mutfağı ile kıyaslanabilir) . Terbiye işlemleri iyileştirildiğinden ve ısıtma işlemleri uygulandığından dolayı, atıksu kaynakları aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Banyo dolapları,
- Aplikatörler, tanklar ve ekipmanlar,
- Fazla malzemenin uzaklaştırılması için kullanılan durulama suyu (eğer gerekirse)

1971’de ABD’de halı üretimi üzerine yapılan bir araştırma sonucunda, farklı noktalardan alınan örneklerde apre malzemesi olarak kullanılan Dieldrin konsantrasyonları Tablo 3.24’de verilmiştir.

Almanya’da yürütülen bu örnekleme projesi (Berlin, 1989), sadece bir fonksiyonel terbiye akımı üzerinde araştırma yapmıştır. Bu akımda AOX, Çinko, ve Bakırın sırasıyla konsantrasyonları 50000 µg/l, 13730 µg/l ve 3330 µg/l dikkat çekmektedir. Bu işlemde deşarj edilen atıksu miktarı küçük olabilmesine karşın, atıksu bileşenlerinden bazıları toksik, mutajen ve ayrışmaya dayanıklı olarak bilinmektedir.

Tablo 3.24: Dieldrin konsantrasyonları (Van Veldhuisen, 1991)

NUMUNE ALMA NOKTASI	DİELDRİN KONSANTRASYONU (mg/l)
Atığı arıtılmayan tesis	0,4
Anaerobik lagünler	0,4
Küçük nehir (2,4 km alt akımlı)	0,017
Savanah nehri (10 km alt akımlı)	0,003

4. BİYOLOJİK ARITILABİLİRLİK ESASLI KARAKTERİZASYON VE MODELLEME

4.1 Biyolojik Arıtmanın Prensipleri

Biyolojik arıtma değişik şekillerde sınıflandırılabilir. Ortamda oksijen varlığına göre aerobik veya anaerobik olarak sınıflandırılan bu sistemler, kullanılan mikroorganizmaların sistemdeki durumuna göre süspanse veya sabit film prosesleri olarak da sınıflandırılabilirler.

En önemli biyolojik arıtma sistemlerinden birisi olan aktif çamur sistemi, aerobik ve süspanse büyümenin gerçekleştiği bir sistem olup, bu yöntem 1914'te Manchester'da Arden ve Lockett isimli araştırmacılar tarafından bulunmuştur. Yöntem, fiziksel arıtma işleminden geçirilen atıksuyun havalandırma ünitelerinde oksijenlendirilmesi esasına dayanır. Bu sırada, ortamdaki mikroorganizmalar bir kısmı çözünmüş ve bir kısmı da süspanse halde bulunan organik maddeleri yeni organizma hücrelerini sentezlemek ve aynı zamanda da enerji elde etmek amacıyla kullanırlar ve bunun sonucunda da çoğalırlar. Bu sırada organik maddelerin bir kısmı oksitlenerek CO₂'e dönüştürken diğer bir kısmı da hücre sentezinde kullanılır. Çoğalan mikroorganizmalar birbirine ve suda asılı maddelere tutunarak yumaklar (floklar) oluştururlar. Doldurulup boşaltılarak çalışan kesikli reaktörlerde havalandırma işlemi durdurularak bu yumaklar çöktürülürse üstte kalan berrak sıvı, suyun arıtılmış olduğunu gösterir. Sürekli çalışan sistemlerde ise çöktürme işlemi ayrı bir tank (son çöktürme havuzu) içerisinde gerçekleştirilir. Tabana çökelen katı maddelere aktif çamur denir. Aktif çamur, canlı ve cansız mikroorganizmalar ile onlara yapışmış asılı ve iplikli halde bulunan maddelerden oluşur. Organik maddenin bu şekilde aerobik olarak ayrıştırılması, atıksu ile ne kadar çok mikroorganizma temas haline getirilirse, o kadar hızlı bir şekilde gerçekleşecektir.

Bu nedenle sürekli sistemlerde çökelen çamur geri devrettirilerek hem sistem sürekli aşılanmış olur hem de oluşan fazla çamurun bir kısmı sistemden düzenli bir şekilde atılarak gereğinden fazla biyokütle ile çalışmanın önüne geçilerek ekonomik bir işletme sağlanır.

4.2 Aktif Çamur Proseslerinde Modelleme Kavramı

Mühendislik bakış açısıyla, çevresel baskılara bağlı olarak aktif çamur sistemlerinin uygun dizayn ve işletimi, bu sistemlerin kompleks biyolojik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını gerektirir. Son on yıldan beri, aktif çamur modelleri, aktif çamur tesislerinin kompleks davranışlarını tahmin etmek ve anlamak için yaygın olarak kullanılan araçlar haline gelmiştir. Ancak, dış faktörler (çevre koşulları, işletme koşulları gibi) ile karmaşık ve hala oldukça bilinmeyen yapıya sahip biyolojik reaksiyonlar arasındaki ilişkiler, belirli koşullar altında sistemin vermesini beklediğimiz tepkisinin anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Biyolojik proseslerin daha iyi anlaşılması, biyoteknoloji alanında ilerleyen teknolojilere paralel olarak araştırma ve gelişmelerle sağlanabilmektedir. Böylece, biyoteknolojideki fiziksel ve biyolojik proseslere ilişkin önemli keşifler, aktif çamur modellerinin karmaşıklığının artış trendini iyileştirmektedir.

Son yıllarda tek substrat ve biyokütle bileşenlerinden oluşan konvansiyonel aktif çamur modelleri geçerliliğini yitirmiştir. Gerek atıksu karakterizasyonu açısından gerekse aktif çamur prosesinin daha iyi açıklanması ve anlaşılması için çok bileşenli modellere geçilmiştir. Yakın geçmişe kadar yaygın olarak kullanılan iki bileşenli aktif çamur modelleri çıkış kalitesinin giriş substrat konsantrasyonundan bağımsız olduğu ve çıkış substrat konsantrasyonlarının aynı karaktere sahip oldukları noktasından hareketle gerçekleştirilmişlerdir. Ancak çok sayıda yapılan araştırma, çıkış suyu kalitesinin giriş substrat konsantrasyonuna bağımlı olduğunu ve giriş ve çıkış substrat karakterinin tamamiyle farklı yapıda olduğunu göstermiştir. Aktif çamur sistemlerinde substratın biyolojik olarak ayrışması sonucu biyolojik açıdan inert bazı ürünlerin ortama bırakıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, iki bileşenli modellerde substrat ölçümleri için uygulanan KOİ, BOİ₅, TOK gibi kolektif parametreler teorik kavramların karşılığı olamamaktadır. Bu nedenlerden dolayı günümüzde, reaktördeki biyokütle fraksiyonları, giriş ve çıkış akımlarındaki çözünmüş substrat bileşenlerinin fraksiyonları ile birlikte belirlenmesi ve sistemden

atılan çamur miktarı hakkında daha gerçekçi bilgiler vermesi bakımından **Çok Bileşenli Aktif Çamur Modelleri** kullanımı tercih edilmektedir.

Atıksu içindeki yavaş ayrışan organik madde miktarının ve hidroliz hızının bilinmesi, aktif çamur sistemlerinin daha uygun bir şekilde tasarımını sağlar. Aksi taktirde atıksuda mevcut olan biyolojik olarak ayrışabilir organik maddenin tamamının arıtma sisteminde giderimi mümkün olamaz ya da arıtma tesisinin gereğinden büyük olması durumu ile karşı karşıya kalınabilir. Uluslararası literatüre bakıldığında, 80'li yıllardan beri organik maddenin kolay ve yavaş ayrışan kısımlardan oluştuğu görüşünün benimsendiği ve bu konuda çeşitli modeller geliştirildiği görülmektedir. Bu modeller incelendiğinde, özellikle heterotrofik organizmaların yavaş ayrışan organik maddeleri kullanarak çoğalmasının çok sayıda katsayıyı içeren doygunluk tipi bir fonksiyon ile tanımlanabileceği ifade edilmektedir.

4.3 Çok Bileşenli Aktif Çamur Modelleri

4.3.1 İçsel solunum modeli

İçsel solunum yaklaşımı çerçevesinde bu modelde, aktif biyokütle (X_H) f_{EX} kadarının partiküler mikrobiyal ürüne ve f_{ES} kadarının da çözünmüş mikrobiyal ürüne dönüştüğü kabul edilir. Girişteki partiküler inert maddeler ve ürünler biyokimyasal reaksiyonlara girmezler ve aktif çamur içinde birikirler. Ancak sistemden çamur çekildiği zaman dışarı atılırlar (Orhon ve Artan, 1994).

Mc Kinney, (1962)'de toplam biyokütledeki (X) azalma hızını,

$$\frac{dX}{dt} = \frac{dX_H}{dt} + \frac{dX_P}{dt} \quad (4.1)$$

ifadesi ile vermiştir. Aktif biyokütle için içsel solunum katsayısı, b_H ile tanımlandığında, aktif biyokütledeki içsel solunum dolayısı ile azalma birinci derece bir denklem ile ifade edilebilir.

$$\frac{dX_H}{dt} = -b_H X_H \quad (4.2)$$

X_P oluşum hızı ise ;

$$\frac{dX_P}{dt} = -f_{EX} \frac{dX_H}{dt} \quad (4.3)$$

olarak tanımlanırsa ve (4.3) eşitliğinde (4.2) eşitliği yerine konulacak olursa ;

$$\frac{dX_P}{dt} = f_{EX} b_H X_H \quad (4.4)$$

elde edilir.

Yavaş ayrışabilir substrat, X_S hidroliz prosesi ile kolay ayrışabilir substrat, S_S 'e dönüşür. İçsel solunum modeli yaklaşımında, kolay ayrışabilir substratı, (S_S) etkileyen tek proses çoğalma prosesidir. Diğer bir deyişle, içsel solunum nedeni ile biyokütledeki azalma, S_S bileşeni üzerinde etkilidir. Buna göre kolay ayrışabilir substrattaki (S_S) azalma hızı ;

$$\frac{dS_S}{dt} = -\frac{\hat{\mu}_H}{Y_H} \frac{S_S}{K_S + S_S} X_H \quad (4.5)$$

eşitliği ile ifade edilir.

Çözünmüş ürünlerin ayrışma hızı çok yavaş olduğundan, aktif çamur sistemlerin işletme koşulları altında, çözünmüş metabolik ürünlerin biyolojik olarak ayrışamaz, inert yapıda oldukları kabul edilir. Çözünmüş inert ürünler çoğalma ve bozunma mekanizmalarının sonucu ortaya çıkarlar (Orhon ve diğ., 1989);(Artan, 1987).

Pratik olarak çoğalma veya bozunma mekanizmalarından baskın olanı ele alınıp, diğer mekanizma ihmal edildiğinde sonuç etkilenmemektedir. İçsel solunum modeli uyarınca, çoğalma mekanizmasının çözünmüş inert ürünlerin kaynağı olduğu varsayıldığında,

$$\frac{dS_P}{dt} = -\alpha_D \hat{\mu}_H \frac{S_S}{K_S + S_S} X_H \quad (4.6)$$

ifadesi elde edilir. (4.6) eşitliğinde α_D , çoğalma kökenli çözünmüş inert ürün oluşum katsayısıdır. Bozunma mekanizmasının baskın olması durumunda ise;

$$\frac{dS_p}{dt} = -f_{ES} b_H X_H \quad (4.7)$$

ifadesi çözünmüş inert ürün oluşum hızı için kullanılır. (4.7) eşitliğinden anlaşılabacağı üzere, içsel biyokütlenin bir f_{ES} fraksiyonu kadarının, oksitlenme yerine çözünmüş inert ürünlere dönüştüğü kabul edilir.

Tablo 4.1, içsel solunum modelinin ikili hidroliz mekanizmasına göre karbon giderimi için tanımladığı proses stokiometrisi ve kinetiğini göstermektedir. Çözünmüş inert (S_I) ve partiküler inert (X_I) maddeler biyokimyasal proseslerden etkilenmedikleri için, girişteki çözünmüş ve partiküler inert KOİ fraksiyonları matriste gösterilmemiştir. Şekil 4.1'de, içsel solunum modelinin şematik gösterimi verilmiştir.

4.3.2 Ölüm-yenilenme modeli

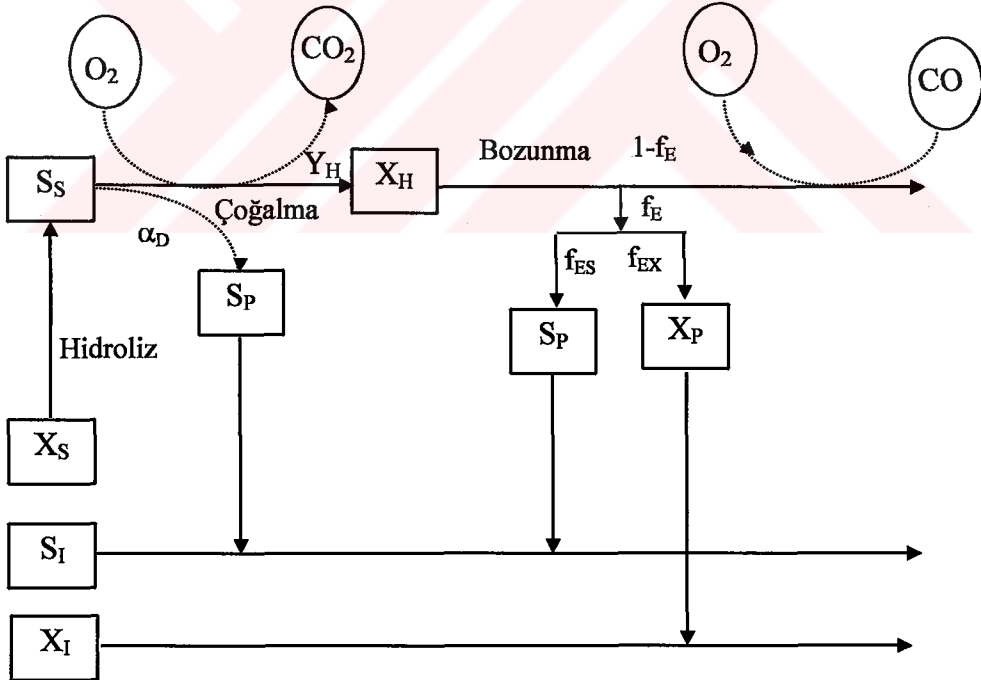
Henze ve diğ., (1987) tarafından önerilen ve IAWPRC Task Grup Modeline uyarlanan ölüm-yenilenme modelinde, aktif biyokütle, X_H 'ın bir kısmının inert partiküler maddeye (X_P), bir kısmının da yavaş ayrılan partiküler madde (X_S)'e dönüştüğü ve X_S 'in ise hidroliz ile yeniden kolay ayrılan çözünmüş maddeye (S_S) ve çözünmüş mikrobiyal ürüne (S_P) dönüştüğü kabul edilmektedir. Tablo 4.2'de bu bileşenler matris formunda gösterilmektedir.

4.4 Biyolojik Arıtılabilirliğin İncelenmesinde Modellemenin Önemi

Biyolojik arıtılabilirlik esaslı karakterizasyon çalışmalarında amaç, çok bileşenli modeller çerçevesinde sistem bileşenleri ile birlikte kinetik ve stokiometrik katsayıların deneysel olarak belirlenmesidir. Aktif çamur proseslerinde organik madde giderim hızını belirlemek amacıyla kullanılan kinetik modeller, KOİ konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Biyolojik olarak parçalanabilen KOİ, flok formundaki mikroorganizmalarca ayrıştırılabildiği gibi, filamentli organizmalarca rekabetli olarak da parçalanabilmektedir.

Tablo 4.1: İçsel solunum yaklaşımında ikili hidrolize göre karbon giderim mekanizmasının stokiometrisi ve kinetiği

Bileşen→	1	2	3	4	5	Proses Hızı
Proses↓	S_S	S_{H1}	S_{H2}	X_H	S_0	$ML^{-3}T^{-1}$
Büyüme	$-\frac{1}{Y_H}$			1	$-\frac{(1-Y_H)}{Y_H}$	$\hat{\mu} \frac{S_S}{K_S + S_S} X_H$
Hidroliz 1	1	-1				$k_{h1} \frac{S_{H1} / X_H}{K_X + S_{H1} / X_H} X_H$
Hidroliz 2	1		-1			$k_{h2} \frac{S_{H2} / X_H}{K_X + S_{H2} / X_H} X_H$
Ölüm				-1	$-(1-f_E)$	$b_H X_H$
Parametre, ML^{-3}	KOI		KOI	Hücre KOI	O_2	



Şekil 4.1: İçsel solunum modelinin şematik gösterimi

Tablo 4.2: Ölüm-yenilenme yaklaşımında karbon giderim mekanizmasının stokiometrisi ve Kinetiği

Bileşen→	1	2	3	4	5	6	Proses Hızı
Proses ↓	S _S	X _S	X _H	X _P	S _P	S ₀	ML ⁻³ T ⁻¹
Çoğalma	$-\frac{1}{Y_H}$		1			$-\frac{(1-\alpha Y_H - Y_H)}{Y_H}$	$\hat{\mu}_H \frac{S_S}{(K_S + S_S)} X_H$
Hidroliz	1- f _{PS}	-1					$k_h \frac{X_S / X_H}{(K_X + X_S / X_H)} X_H$
Ölüm		1-f _{PX}	-1	f _{PX}	f _{PS}		$b^1_H X_H$
Parametre, ML ⁻³	KO İ	KOİ	Hücre KOİ	KO İ	KO İ	O ₂	

Havalandırma havuzuna gelen atıksuda çözünmüş halde bulunan organik maddenin bir kısmı ve partikül haldeki organik maddenin tamamı havalandırma havuzunda aktif çamurla temas ettikten sonra çözünmüş olanları biyolojik olarak absorbe edilmektedir. Daha sonra geriye kalan çözünebilir formdaki organik maddeler aktif çamur mikroorganizmalarıyla temas halinde kalarak biyooksidasyonla sıvı fazdan ayrılmaktadır.

Aktif çamur sisteminde aktif çamurdaki birim kuru kütle başına çözünen organik maddenin mikroorganizmalar tarafından absorbe edilen miktarı, havalandırma havuzuna giren atıksudaki organik madde konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir.

Bu çerçevede atıksu içindeki substrat başlıca iki guruba ayrılabilir:

1. Doğrudan hücre içine taşınabilen substratlar
2. Hücre içine taşınmadan önce hücre dışında dönüştürülmesi gereken kompleks (partikül halindeki substratlar gibi) substratlardır.(Akal, 1990)

Substrat giderimi konusunda çalışmalar yapan **Daigger ve Grady (1982)**, substratın (S), hücre içindeki aktif taşınım sistemi ile taşındığını belirtmişlerdir.

Hücre içindeki substrat ya doğrudan metabolize edilmek üzere metabolik ara ürünlere çevrilmekte ya da bir kısmı depolanmaktadır. Metabolik ara ürünlerden bir kısmı hücre içinden dış ortama taşınma, hücre bileşenlerinin sentezinde kullanılma veya enerji elde etmek amacıyla oksitlenebilir.

Biyoktle, yüksek substrat konsantrasyonu ile karşılaştığı zaman, eksojen substratı, tüketildikten sonra metabolize etmek üzere, glikojen ve/veya PHB biriktirme kapasitesine sahiptir.

Bazı araştırmacılar substratın metabolize edilmeden önce bir depolama fazından geçtiğini kabul etmektedirler. **Dennis ve Irvine (1983)**, hücre içi depolama ürünleri olan poliglikojen/glikojen kompleks makro moleküllerinin aktif çoğalma ve hücre replikasyonu öncesinde üretildiği görüşünde ısrar etmenin haklı bir nedeni olmadığını belirtmişlerdir. Bu tip depolama ürünlerinin primer metabolik yollardan bağımsız bir yolla üretilmesi daha mantıklı bir varsayımdır.

Birçok araştırmacı ise, çözünmüş substratın gideriminde fiziksel adsorpsiyon gibi mekanizmalarla başlangıçta meydana gelen hızlı giderimin önemli olabileceğini öne sürmüşlerdir (**Roberts ve Kempton, 1971**). Oysa **Eckhoff ve Jenkins (1967)**, daha önce yaptıkları kararlı halde çalışan laboratuar sistemlerindeki deneysel gözlemlerine dayanarak çözünmüş substratın biyoktle tarafından fiziksel adsorpsiyonun önemli olmadığı sonucuna varmışlar ve çoğalmanın tek substrat giderim mekanizması olduğunu kabul etmişlerdir. Ayrıca **Henze ve diğerleri (1986)**, depolama olayının sadece çözünmüş monosakkaritler ve asetat gibi birkaç substratla sınırlı olduğunu, dolayısıyla çözünmüş substrat gideriminin çoğalma ile orantılı olarak ele alındığını belirtmişlerdir.

Çözünmüş substratlar tek ve çok bileşenli olduğu için bunların giderimini konusunda farklı ifadeler verilmiştir.

Tek substratın giderim kinetiği düşünüldüğünde, bunun çoğalma ile birlikte meydana gelmesi sonucu substrat giderim hızı,

$$- \frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y} \frac{dX}{dt} \quad (4.8)$$

Çoğalma hızı ile orantılı olarak değişmektedir.

Burada, S , substrat konsantrasyonu; t, zaman; X, biyokütle konsantrasyonu; Y, giderilen birim substrat başına üretilen biyokütle olarak tanımlanan dönüşüm oranıdır.

Çoğalma hızı Monod denklemi ile ifade edildiğinde substrat giderim hızı, substrat ve mikroorganizma konsantrasyonu olarak elde edilmekte ve (4.9) nolu denkleminde ulaşılmaktadır;

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{\mu}{Y} \frac{S}{K_s + S} X \quad (4.9)$$

Chudoba (1985), başlangıçta substrat konsantrasyonunu biyokütle konsantrasyonuna oranı, $S_0/X_0 < 2-3$ (KOİ/MLVSS) olan kesikli sistemleri, çoğalmayan sistemler olarak tanımlarken sistemlerdeki dış substratın, hücre replikasyonu öncesinde giderildiğini ifade etmiştir. Böylece tek bileşenli substratın sabit bir hızla lineer olarak giderildiğini ve biyokütle artış hızının da sabit olduğunu ileri sürmüştür.

Çoklu substrat giderim kinetiği konusunda yine birçok araştırmacı çalışmalar yapmıştır. Bunlardan **Wuhrmann (1956)** ve **Tischler ve Eckenfelder (1968)**, çoklu substratların da tekli substrat giderim mekanizması ile giderilebileceğini savunmuşlardır.

Jones (1973), tek substratın giderim kinetiğinin Monod kinetiğine uyduğu kabulünden hareketle, çoklu substrat giderim kinetiğini incelemiştir. İnceleme sonuçlarını Monod ve 1. derece kinetiğine göre analiz ederek, 1. derece kinetiğinin daha iyi bir yaklaşım sağladığı ve çoklu substrat sistemleri için Monod kinetiğinin doğru olmadığı sonucuna varmıştır. Dolayısıyla giderim hızları birbirinden çok farklı substratların giderimi için tek bir kinetik ifade etmek mümkündür.

Bunlardan başka **Dold ve arkadaşları (1980)**, yaptıkları araştırmalar sonucunda sentez için mikroorganizmalar tarafından absorblanabilen kolay ayrışan çözünmüş substratların ortalama giderim hızını Monod ifadesiyle modellemiştir.

$$-\frac{dS_s}{dt} = \frac{1}{Y} \frac{\mu_{\max} \cdot S_s}{K_s + S_s} X_A \quad (4.10)$$

Aynı ifade **Grady ve arkadaşları (1989)** tarafından da kabul edilmiş ve substrat kullanımı (r_s) için en çok kullanılan ifade ;

$$r_s = - (\mu/Y) X \quad (4.11)$$

şeklinde verilmiştir.

Ortamdaki organizma topluluğunun çoğalması ve substratın giderilmesi mekanizması da oldukça karmaşık bir prosestir ve bu konuda en çok kabul edilen Monod modelidir (Monod,1949). Bu modelde mikroorganizma çoğalma hızı;

$$\frac{dX}{dt} = \mu .X \quad (4.12)$$

ifadesiyle verilir. Burada, spesifik büyüme hızı (μ) ile S_s arasında Monod denklemi kullanılarak;

$$\mu = \mu_{max} . \frac{S_s}{K_s + S_s} \quad (4.13)$$

Burada X , biyokütle konsantrasyonu, S_s ,hız kısıtlayıcı çözünmüş substrat konsantrasyonu, μ ; spesifik çoğalma hızı, μ_{max} , ayrışan substrat üzerinde maximum spesifik büyüme hızı, K_s , yarı doygunluk hız sabitini göstermektedir.

(4.12) ve (4.13) denklemleri birleştirildiği taktirde;

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{max} \frac{S .X}{K_s + S} \quad (4.14)$$

denklemi elde edilir.

Aktif çamurda giderilen ve karşımıza çıkan diğer grup substratlar da partiküller substratlar olup, bunların metabolize edilmelerinde

1. Adsorpsiyon ve depolama
2. Kompleks organik moleküllerin hücre duvarından geçecek kadar basit moleküllere enzimatik olarak parçalanması
3. Adsorbsiyon ve sentez

olaylarının sırayla meydana geldiği **Dold, Ekama ve Marais (1980)** tarafından ileri sürülmüştür.

Diğer yandan IAWPRC çalışma gurubu modeline göre adsorbsiyon ve hidroliz kavramlarına iki farklı yaklaşım getirilmiştir. Bu model, partiküler maddenin tamamen çamur fazında tutulduğunu, metabolize edilmese bile çökeltme tankı üst kısmında bulunmayacağını kabul etmekte, ancak, partiküler substratın organizma kütlesi üzerinde adsorblandığı ve depolanmış substratın doğrudan kullanıldığı görüşünü reddetmektedir. Bunun yerine, çamurda tutulan partiküler substratın mikroorganizma kütlesi tarafından salgılanan hücre dışı enzimlerle hidroliz edilerek, kolay ayrışan substrat halinde sıvı kütlesi içine verildiği kabul edilmektedir. Böylece hidroliz sonucunda ortaya çıkan kolay ayrışabilir substrat, giriş akımında birlikte geldiği substratla beraber sentez için kullanılır.

Büyük organik polimerlerin daha küçük moleküllere dönüştürülmesi olarak tanımlanan hidroliz prosesi, atıksu arıtımında çok büyük bir öneme sahip olmasına karşın bu konu ile ilgili yeterince çalışma yapılmamıştır. Atıksulardaki organik maddenin büyük bir kısmının yavaş ayrışabilir nitelikte olduğu düşünüldüğünde, büyük molekülü yavaş ayrışan organik maddeyi mikroorganizmaların çoğalmada doğrudan kullanabildikleri kolay ayrışan organik maddeye dönüştürmesi açısından hidroliz prosesi büyük önem taşımaktadır. Bu proses, büyük molekülleri metabolizmaları içine doğrudan alamayan hücre membranına (prokaryotik) sahip heterotrof organizmalar tarafından gerçekleştirilmektedir.

Bakteriler hücre dışı enzimler salgılayarak atıksu içindeki partikülleri substrat olarak kullanırlar ve bu şekilde partiküler maddeleri parçalayıp çözünür hale getirerek kullanabilecekleri forma dönüştürürler. Genel olarak kabul edilen yaklaşım, hidroliz hızının hidroliz yoluyla üretilen çözünmüş substratın kullanım hızından çok daha düşük olduğudur. Bu nedenle partiküler organik maddelerin ayrışmasında hidroliz hızı belirleyici ve hız kısıtlayıcı faktör olmaktadır.

Literatürde hidroliz hızlarının belirlenmesine yönelik olarak yürütülmüş az sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmalar genellikle evsel ya da sentetik atıksular esas alınarak, hidroliz mekanizmasının doygunluk tipi bir fonksiyon ile değil, basitleştirilmiş 1^o kinetik ifadelerin kabul edilerek yapıldığı çalışmalardır. **Henze ve Mladenovski, (1991)** partiküler organik maddenin hidroliz hız sabitini belirlemek üzere aerobik, anoksik ve anaerobik şartlarda bir dizi kesikli deney yürütmüştür. Bu çalışmalarda hidroliz prosesi amonyak üretimi ile gözlemlenmiştir. Bu deneylerin sonucunda azotlu bileşikler için belirlenen birinci derece hidroliz hız sabitleri sırasıyla aerobik ortamda 0.12 gün⁻¹, anaerobik ortamda 0.06 gün⁻¹ ve anoksik

ortamda 0.03 gün^{-1} olarak belirlenmiştir. **Takahaski ve diğ., (1969)** tarafından yapılan deneysel çalışmalarda protein, nişasta ve selüloz gibi çeşitli organik polimerler kullanılarak her biri için ayrı ayrı hidrolizin incelendiği çalışma sonuçları dikkate alınarak, hidroliz prosesinde protein hidrolizinin en önemli bileşeni oluşturduğu ve ayrışma hızlarının bütün bileşenler açısından aynı düzeyde olduğu kabul edilmiştir. Ancak, tüm bu substratların bir arada beslenmeleri durumunda hidroliz hızlarının ne olacağı araştırılmamıştır. Buna ilave olarak selülozun ayrışma hızının proteinin çözünme hızından çok daha yavaş olduğu bulunmuştur. Nişastanın kullanımı ile yapılan deneylerde hidroliz prosesinin hız kısıtlayıcı adımı oluşturduğu tespit edilmiştir (**San Pedro ve diğ., 1994**). **Mino ve diğ. (1995)** nişasta ile yaptıkları hidroliz hızı belirleme deneylerinde birinci dereceden hidroliz hız sabitinin (3.7 gün^{-1}) farklı nişasta ve biyokütle konsantrasyonlarında değişmediğini belirlemiştir. Ancak nişastanın evsel atıksularda çok rastlanmayan bir organik madde olması nedeniyle deneysel sonuçların pratikte kullanımı mümkün olmamaktadır. Yağların hidrolizi de yine **Takahaski ve diğ., (1956)** tarafından incelenmiştir. Bazı deneysel çalışmalarda hidroliz hızının kantitatif değerlendirilmesi için tek bir teknik mevcut olmadığı rapor edilmiştir (**Takahashi ve diğ., 1969**);(**Henze ve Mladenovski, 1991**);(**Goronszy ve Eckenfelder, 1991**).

Sollfrank ve Gujer, (1991), hidroliz prosesinin hızlı ve yavaş hidroliz olmak üzere iki farklı hızda gerçekleştiği kabulüne dayanan bir modelleme yaklaşımı benimsemiştir. Hidroliz prosesinin 1° den bir ayrışma kinetiğine sahip olduğu kabul edilmiştir. Evsel atıksu ile yapılan çalışmada, model simülasyonu yardımıyla, hızlı hidroliz olabilen substratın hızı, k_R 10°C 'de 18 gün^{-1} ve 20°C 'de 25 gün^{-1} , yavaş hidroliz olabilen substratın hızı, k_S ise 10°C 'de 1.8 gün^{-1} ve 20°C 'de 2.5 gün^{-1} olarak bulunmuştur.

Kappeler ve Gujer, (1992) içsel solunum yaklaşımı ve hidrolizin 1° den bir ayrışma kinetiğine sahip olduğu kabulünü kullanarak yaptıkları bir çalışmalarında, hidroliz kademesinin dominant olması halinde, k_h ve X_S 'in eğriye uydurma yöntemi ile belirlenebileceğini göstermişlerdir. Ayrıca atıksudaki X_{S1} miktarının atıksu ile yapılan kesikli bir testle belirlenebileceğini önermişlerdir.

Eliosov ve Argamon, (1995) tarafından yürütülen kesikli deneyler sonucunda partiküler katıların hidroliz hız sabiti birinci dereceden ayrışma kinetiğine uygun olarak 0.18 gün^{-1} olarak bulunmuştur. Yapılan deneyler sonucunda ham evsel

atıksularda partiküler katıların ayrışma hızlarının çökemeyen katılardan daha yavaş olduğu belirlenmiştir (Eliosov ve Argamon, 1995).

Çeşitli evsel ve endüstriyel atıksularda deneysel ve model yardımı ile elde edilen stokiometrik ve kinetik katsayılar Tablo 4.3 ve 4.4'te sunulmuştur. Bu tablolardan da anlaşılacağı gibi, modellemenin doğru yapılması ve sistemin daha iyi anlaşılmasını sağlayan atıksu karakterizasyonu, özellikle endüstriyel atıksular için çok yetersizdir. Bu alanda ilave deneysel bulguların sağlanması için yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 4.3: Organik maddeler için belirlenmiş hidroliz hız sabitleri

	Birinci Derece Hidroliz		Doygunluk Tipi Hidroliz	
	S_H	X_S	X_S	
	k_h (gün ⁻¹)	k_h (gün ⁻¹)	k_{hx} (gün ⁻¹)	K_{XX} (kg KOİ/kg KOİ)
Aerobik proses (Evsel) (Henze ve diğ., 1995)	3-20	0.6-1.4	0.6-1.4	0.02-0.05
Anaerobik proses (Evsel) (Henze ve diğ., 1995)	1-15	0.15-0.4	0.15-0.4	0.02-0.05
Anoksik proses (Evsel) (Henze ve diğ., 1995)	2-20	0.3-0.7	0.3-0.7	0.02-0.05
Aerobik (azotlu bileşenler için) (Henze ve Mladenovski, 1991)	-	0.12	-	-
Anaerobik (azotlu bileşenler için) (Henze ve Mladenovski, 1991)	-	0.06	-	-
Anoksik (azotlu bileşenler için) (Henze ve Mladenovski, 1991)	-	0.03	-	-
Nişasta (Mino ve diğ., 1995)	-	3.7	-	-
Partiküler organikler (Eliosov ve Argamon, 1995)	-	0.18	-	-

Tablo 4.4 : Literatürde stokiometrik ve kinetik sabitler için verilen değerler

Atıksu Tipi	T °C	Y_H (mgKOl/mgKOl)	$\bar{\mu}_H$ (gün ⁻¹)	K_S (mg/l)	b_H (gün ⁻¹)	k_d (gün ⁻¹)	K_x (mgKOl/mgKOl)	Kaynaklar
Evsel	20	0.67	6	20	0.62	3	0.03	(Henze ve diğ., 1987)
	10	0.67	3	20	0.62	1	0.01	(Henze ve diğ., 1987)
Evsel	-	0.666	4	5	0.62	2.2	0.15	(Billing ve Dold, 1988)
Evsel	20	0.64	1.50	5	0.24	18	-	(Sollfrank ve Gujer, 1991)
	10	0.64	0.75	5	0.12	25	-	(Sollfrank ve Gujer, 1991)
Sentetik	-	0.67	4	5	0.60	2	0.04	(Henze, 1992)
Sentetik	20	0.67	6	5	0.62	2	0.02	(Larrea ve diğ., 1992)
Evsel	20	0.67	5	10	0.25	2	0.20	(Kappeler ve Gujer, 1992)
Evsel ($\theta_c = 2$ gün)	22	0.67	2	3.5	0.1	5	-	(Kappeler ve Gujer, 1992)
Evsel ($\theta_c = 10$ gün)	22	0.67	7	3.5	0.4	5	-	(Kappeler ve Gujer, 1992)
Evsel ($\theta_c = 2$ gün)	13	0.67	1	4	0.05	4	-	(Kappeler ve Gujer, 1992)
Evsel ($\theta_c = 11$ gün)	13	0.67	2	4	0.1	4	-	(Kappeler ve Gujer, 1992)
Evsel ($\theta_c = 4$ gün)	15	0.67	1.5	2.5	0.08	4	-	(Kappeler ve Gujer, 1992)
Evsel	20	0.67	3	20	0.62	3	0.03	(Sorour ve diğ., 1993)
Evsel	20	0.666	2.5	11	0.62	2.81	0.15	(Stokes ve diğ., 1993)
Evsel	20	0.67	2.5	5	0.55	50	-	(Siegrist ve diğ., 1994)
Evsel	20	0.67	6	5	0.62	2	0.02	(de la sota ve diğ., 1994)
Sentetik	-	0.67	2-2.5	2	0.62	7	-	(Novak ve diğ., 1994)
Evsel	20	0.63	6	4	0.4	3	0.10	(Henze ve diğ., 1995)
	10	0.63	3	4	0.2	2	0.30	
Bira	-	0.71	4.2	60	0.62	0.65	0.03	(Orhon ve diğ., 1989)
Şekerleme	20	0.67	6	200	0.24	1	0.2	(Orhon ve diğ., 1995)
Şekerleme	14	0.69	5.8	75	0.10	0.8	0.1	(Orhon ve diğ., 1995)
Şekerleme	14.5	0.64	4.7	150	0.13	1	0.1	(Orhon ve diğ., 1995)
Deri								
Ön çöktürme çıkışı	15	0.64	2.2	30	0.1	1.2	0.37	(Ateş Genceli, 1997)
Kinyasal arıtma sonrası	20	0.63	4.8	30	0.14	2.7	0.07	(Ateş Genceli, 1997)

4.5 Atıksularda Organik Maddenin Ayrışabilirliği

Atıksulardaki kimyasal olarak ayrışabilir organik maddenin toplamını ifade eden KOİ kollektif parametresi, biyolojik olarak hızlı ve yavaş ayrışabilir fraksiyonlar arasındaki farklılıkları belirtmediği gibi hiçbir şekilde ayrışamayan inert organik madde ve biyolojik olarak ayrışabilir organik maddelerle ilgili ayrı ayrı bilgi de veremez. İnert KOİ, giriş suyunda bulunabileceği gibi biyolojik ayrışma esnasında kalıcı mikrobiyal ürünlerden de meydana gelebilir. Atıksudaki inert KOİ fraksiyonu, konvansiyonel atıklar için kritik olmamakla birlikte, özellikle kuvvetli endüstriyel atıksularda biyolojik arıtılabilirlik ve kinetik analizlerde yanlış yorumlamalara yol açabileceğinden dolayı çok önemlidir.

Organik karbonu karakterize eden KOİ parametresi, biyolojik ayrışabilme özelliklerindeki farklılıklara bağlı olarak farklı tiplerden oluşur. Bu anlamda, toplam giriş KOİ'si, C_{T1} , iki ana bileşene sahiptir: biyolojik olarak ayrışamayan ya da inert KOİ, C_{I1} ve toplam biyolojik olarak ayrışabilen KOİ, C_{S1} . İnert KOİ, çözünmüş inert KOİ, S_{I1} ve partiküler inert KOİ, X_{I1} olarak ikiye ayrılabilir. Çözünmüş inert KOİ, reaktördeki biyokimyasal reaksiyonlardan etkilemeksizin sistemden girdiği gibi çıkarken, partiküler inert KOİ, aktif çamur topluluğu tarafından organizma bünyesine alınır ve birikime uğrayarak atılan çamur ile birlikte sistemden çıkar.

Biyolojik ayrışabilir KOİ, **Dold ve Marais, (1986)** tarafından tanımlanan ikili substrat modelinde, iki önemli fraksiyon ile tanımlanmıştır: kolay ayrışabilir KOİ, S_{S1} ve yavaş ayrışabilir KOİ, X_{S1} . Bu iki fraksiyon farklı biyolojik ayrışma hızlarına sahiptir. Her bir fraksiyon kendi içinde çok sayıda farklı biyolojik ayrışma hızlarına sahip bileşenlerden oluşup, bu farklılık dar bir aralıkta gerçekleştiğinden iki ana fraksiyon şeklinde tanımlanmıştır (**Dold ve diğ., 1980**).

Son yıllarda kolay ayrışabilir KOİ, fermente olabilir kolay ayrışan KOİ, S_F ve fermentasyon ürünleri, S_A olarak iki gruba ayrılmaktadır. Fermentasyon ürünleri oldukça fazla olmasına rağmen, S_A 'ın büyük ölçüde asetik asit olduğu düşünülmektedir (**Henze ve diğ., 1995**). Bu yeni sınıflandırma, özellikle biyolojik fosfor gideriminin matematik modellemesi için önerilmektedir. **Dold ve Marais, (1986)** tarafından önerilen modelde partiküler organikler olarak tanımlanan, biyolojik olarak yavaş ayrışabilir kısmın, partikül boyutuna göre çözünmüş, kolloidal ve kompleks yapıda büyük organik maddelerden oluştuğu kabul edilmiştir. Bu bileşenin temel özelliği, hücre duvarından geçememesi ve adsorpsiyonları için hücre dışı

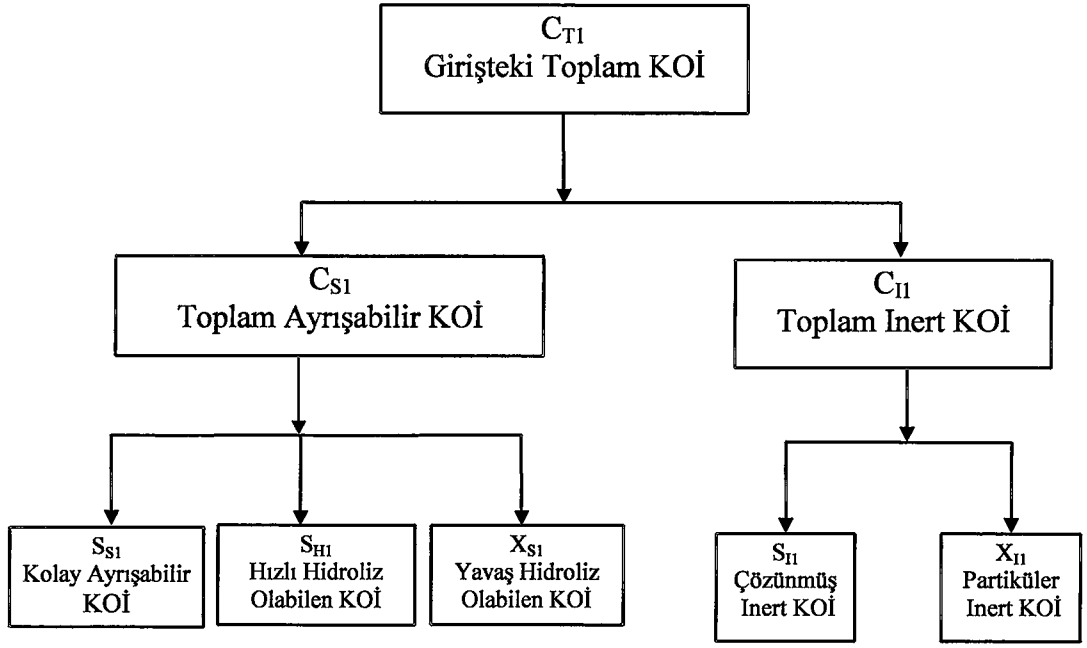
hidrolize ihtiyaç duymasıdır. Hidroliz, biyolojik olarak yavaş ayrışabilen organik maddelerin kullanım hızından dolayı hız sınırlayıcı adımı oluşturmaktadır. Atıksudaki farklı maddeler için önemli değişiklikler gösterdiğinden , hidroliz hızının tek bir değeri için , bu fraksiyonun karakterize edilmesi güç olmaktadır. Bu bileşen ile ilgili yeni yaklaşım, hızlı hidroliz olabilen KOI , S_{H1} ve yavaş hidroliz olabilen KOI , X_{S1} şeklindedir (Henze, 1992);(Orhon ve Artan, 1994). Atıksularda bulunan KOI fraksiyonları ile ilgili bileşenler Şekil 4.2’de verilmektedir.

Şekil 4.3’de ise biyolojik arıtmada çıkış akımında, giriş atıksuyundan daha farklı bir KOI yapısı görülür. Çözünmüş KOI , S_{T1} , atıksudan kaynaklanan ve sisteme girdiği gibi çıkan biyolojik olarak ayrışmayan kısmı, S_{I1} , biyolojik oksidasyondan kalan az miktarda biyolojik olarak ayrışabilir KOI ve metabolik olarak oluşan kalıcı çözünmüş KOI , S_p ’yi içerir. Sonuç olarak, çıkış akımı genellikle atıksudan daha fazla çözünebilir inert KOI içerir.

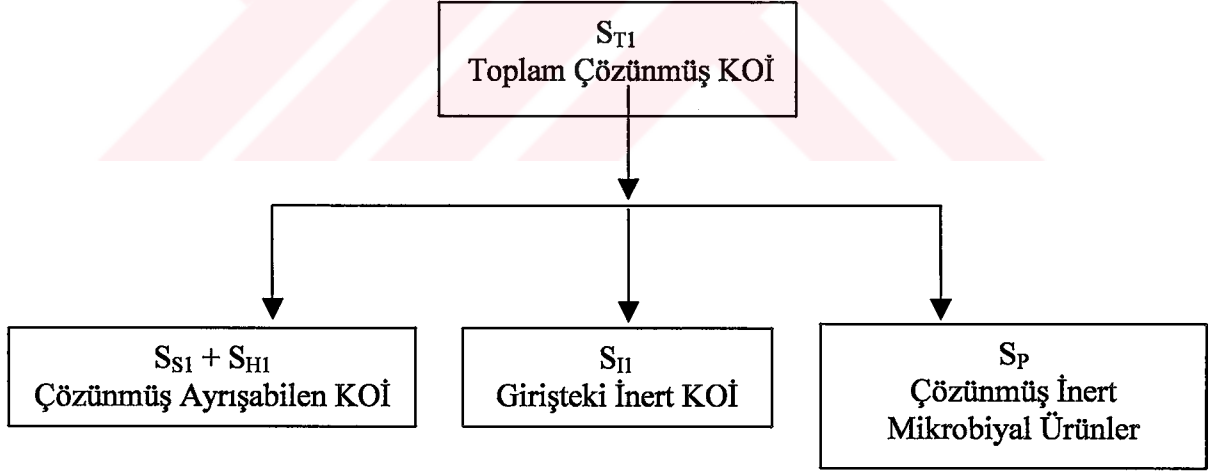
$$S_R = S_{I1} + S_p \quad (4.15)$$

Çözünmüş inert ürünlerin oluşumu, çoğalma ve bozunma prosesleri için modele dahil edilmiştir (Orhon ve diğ., 1989);(Artan, 1987). Çözünmüş inert ürünlerin olduğu modelde toplam kalıcı KOI , (S_R) tek bir parametre olarak ölçülmekte ve giriş inert KOI değeri tahmin edilmektedir.

Şekil 4.3’den de görüldüğü gibi partiküler KOI , çıkış akımında 4 bileşene sahiptir . Temel bileşen, karbon ve enerji kaynağı olarak biyolojik ayrışabilir KOI ’yi kullanan ve reaktör içinde tutulan aktif heterotrofik biyokütle, X_H ’dir. Diğer bileşen, hidroliz prosesi ve sonrasında kullanılabilir formda kalan ve biyolojik olarak partiküler yavaş ayrışan organiklerin küçük bir kısmı olan X_S ’dir. Çıkış akımı ayrıca, çamur tarafından tutulan ve reaktörde biriken giriş akımındaki mevcut partiküler inert KOI ’yi de (X_I) içerir. Dördüncü bileşen, adapte edilen modele bağlı olarak içsel veya ölüm fazı sırasında, mikrobiyal metabolik aktivite sonucu oluşan partiküler yapıdaki inert organik ürün olan X_P ’dir. Bu spektrum UAKM cinsinden ifade edilir ve aktif çamurun yalnızca organik yapısını dikkate alır. Aktif çamurun inorganik bileşeni de proses boyutlandırılmasında önemli olup, karışım sıvısındaki AKM ve UAKM konsantrasyonları arasındaki farkı belirler.

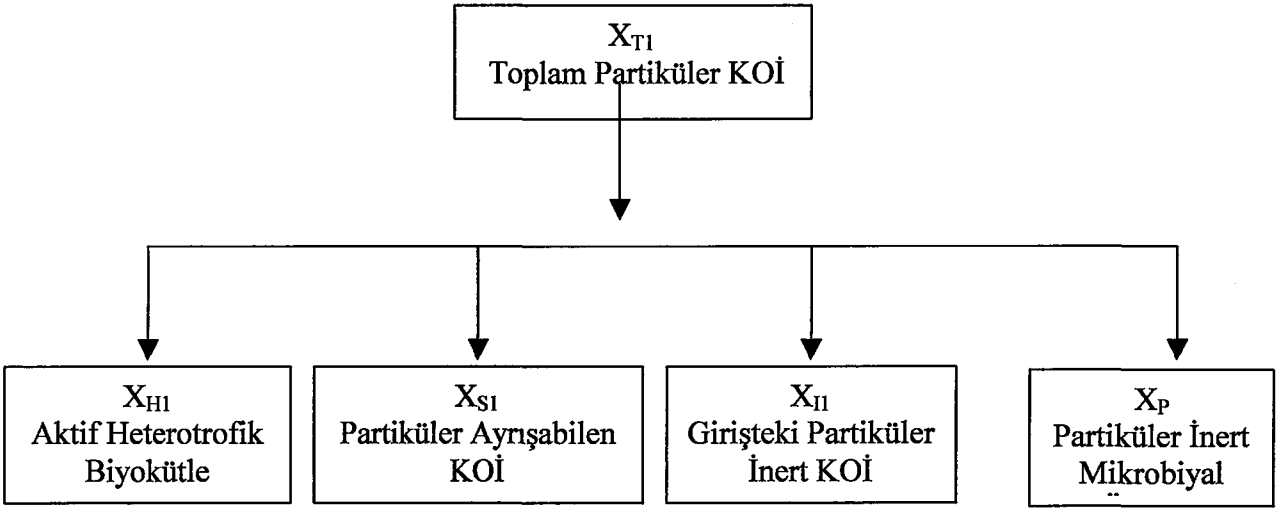


Şekil 4.2: Atıksuda KOİ bileşenlerinin dağılımı



(a) Çözünmüş KOİ

Şekil 4.3: Çıkış akımındaki KOİ bileşenlerinin dağılımı



(b) Partiküler KOİ

Şekil 4.4: Çıkış akımındaki KOİ fraksiyonlarının dağılımı

5. MATERYAL VE METOD

Tesis içinde uygulanan her bir proses kademesinde kullanılan hammaddeler, su kullanımı ve atıksu oluşum miktarları belirlenmiş, hammadde – ürün; hammadde – ürün – atıksu miktarı arasındaki ilişki kurularak, konvansiyonel karakterizasyon yöntemi ile atıksu karakterizasyonu oluşturularak, hammadde-ürün-kirletici arasındaki değerlendirmeler yapılmıştır. Geliştirilen metodoloji çerçevesinde akım ayrımları yapılmış ve her bir alt prosesi karakterize eden kompozit numuneler hazırlanmış ve bunlar üzerinde konvansiyonel karakterizasyon ile biyolojik arıtılabilirlik esaslı karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada biyolojik arıtılabilirlik esaslı karakterizasyon çalışmalarında heterotrofik mikroorganizmalar kullanılarak yürütülen deneysel çalışmaların amacı; evsel atıksudan farklı bir karaktere sahip olan halı terbiyesi işlemlerinden oluşan atıksuları gerek ayırık akım ve gerekse kompozit numuneler bazında OTH (Oksijen Tüketim Hızı) ve KOİ (Kimyasal Oksijen Ohtiyacı) ölçümleri ile bu organizma grubunun aerobik ortamlarda çoğalma hızlarının farklılığını ortaya koyarak KOİ bileşenlerini belirlemektir. Bu hedef doğrultusunda, respirometrik yöntemler kullanılarak OTH (Oksijen Tüketim Hızı) ölçümleri ile maksimum çoğalma hızı (μ_H), kolay ayrışabilir organik madde (S_S), yavaş ayrışabilir partiküler madde (X_{S1}), kolay hidroliz olabilen çözünmüş organik madde (S_{H1}) ve içsel solunum hızı (b_H) tespit edilip deneysel veri tabanı oluşturulacaktır. Ayrıca, giriş atıksu akımındaki ayrışamayan KOİ bileşenlerini belirlemek amacıyla literatürdeki karşılaştırmalı yöntem (Germirli ve diğ., 1991) esaslı çerçevesinde kesikli aerobik reaktörler kullanılmıştır.

Heterotrofik çoğalmada respirometrik yöntemler organik maddeden 1 e⁻ transfer edilmesi halinde bu e⁻ 'nu alacak elektron alıcısı miktarının deneysel olarak belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Ortamın aerobik olması halinde elektron alıcısı olarak oksijenin tüketiminin ölçülmesi hedeflenmektedir. Bu yöntemler biyolojik olarak ayrışabilen organik madde üzerindeki çoğalmanın bir göstergesidir.

En genel halde elektron alıcısı

$$\frac{e^- \text{ alıcısı miktarı}}{\Delta t} = - (1 - f_x Y) \frac{(C_{S1} - C_S)}{\Delta t} - (1 - f_E) b f_x X \quad (5.1)$$

ifadesine göre çoğalma ve içsel solunum mekanizmaları ile tüketilmektedir. Burada,

Y : dönüşüm oranını, [mgUAKM/mg KOI],

b : içsel solunum hızını, [gün⁻¹],

f_E : inert biyokütle fraksiyonunu,

f_x : KOI/UAKM oranını,

X : aktif biyokütle konsantrasyonunu, [mg UAKM/l],

C_{S1}, C_S : giriş ve çıkış akımındaki biyolojik olarak ayrışabilen organik madde konsantrasyonunu, [mgKOI/l],

göstermektedir. Aerobik koşullar söz konusu olduğunda ortamdaki oksijenin değişimi ,

$$\frac{\Delta S_O}{\Delta t} = - (1 - f_x Y_H) \frac{(C_{S1} - C_S)}{\Delta t} - (1 - f_E) b_H f_x X_H \quad (5.2)$$

şeklinde olmaktadır. Burada, indis H; aerobik solunum yapan heterotrof organizmaları, S_O; oksijen konsantrasyonunu [mg/l] göstermektedir.

Biyolojik olarak ayrışabilen organik madde Task Grup modelinde,

. kolay ayrışan organik madde S_S,

. yavaş ayrışan organik madde X_S,

olarak tanımlanmakta ve çoğalmanın öncelikle S_S sonra da X_S'den hidroliz süreci sonucu oluşan S_S üzerinde gerçekleştiği belirtilmektedir (Henze ve diğ., 1987). Elektron alıcısı tüketimlerini izleyen respirometrik deneyler S_S ve X_S üzerindeki çoğalmaları sırasıyla gösterebilmektedir. Substratın bu şekilde ikiye ayrılması elektron

alıcıları tüketiminde meydana gelen gecikmelerin modellenmesine de olanak sağlamaktadır. Yavaş ayrışan substrat aniden biyokütle içinde tutularak giderilmesine rağmen, bu substrata karşı gelen elektron alıcısı tüketimi araya giren hidroliz nedeniyle gecikmektedir. Yavaş ayrışan substratın spesifik hidroliz hızı, genellikle kolay ayrışan substratın kullanım hızından düşük olduğundan ortamda sadece X_S olduğunda hidroliz çoğalma sürecinde hız kısıtlayan bir faktör olmaktadır. Yavaş ayrışan substratın giderimi fiziksel bir mekanizma ile (biyoflokta tutunma) gerçekleşirken, çoğalma için kullanımı ancak hidroliz kademesinden geçerek kolay ayrışabilen substrata dönüştükten sonra mümkün olmaktadır. Bu nedenle de yavaş ayrışan substrat üzerindeki çoğalmada elektron alıcısı tüketim hızı, hidroliz hızına bağlı olarak yavaşlamaktadır.

Heterotrof mikroorganizmaların çoğalmasının bir doygunluk fonksiyonu ile S_S üzerinde gerçekleştiğinden hareketle çoğalma,

$$\frac{dX_H}{dt} = \mu_H X_H = \hat{\mu}_H \frac{S_S}{K_S + S_S} X_H \quad (5.3)$$

şeklinde ifade edilmekte ve

$$\frac{dX_H}{dt} = Y_H \frac{dS_S}{dt} \quad (5.4)$$

bağıntısı ile (5.2) ifadesi

$$\frac{\Delta S_O}{\Delta t} = - \frac{(1 - f_x Y_H)}{Y_H} \mu_H X_H - (1 - f_E) b_H f_x X_H \quad (5.5)$$

olmaktadır.

Bu teorik esaslardan hareketle **Ekama ve diğ., (1986)** tarafından aerobik koşullarda kesikli reaktörlerde zamana karşı elektron alıcısı tüketim hızı ölçümlerine dayanan bir yöntem tanımlanmıştır. Bu yöntem ile atıksu içindeki mevcut kolay ayrışabilen organik madde konsantrasyonu ile organizmaların bu koşullardaki çoğalma hızları belirlenebilmektedir.

Respirometrik ölçümlerde hız bir dizi faktör tarafından etkilenmektedir. Bunlar,

. Substratın bileşimi

- . Substratın konsantrasyonu
- . Oksijen konsantrasyonu
- . Karıştırma derecesi
- . Askıda katı madde konsantrasyonu (flok büyüklüğü, biyofilm kalınlığı)
- . Sıcaklık
- . pH
- . Besi maddesi miktarı

şeklinde sıralanmaktadır (Henze, 1986). Amaç gerçek sistem koşullarını yaratarak, aerobik koşullarda oksijen tüketim hızı profilini elde etmek ve sıralanan faktörler etkisinde heterotrof organizmaların kinetiğini karşılaştırmaktır.

Bu çerçevede, deneysel çalışmalar esas olarak aklimasyon, kinetik (maksimum spesifik çoğalma hızı, içsel solunum hızı vb.) sabitler ve organik madde bileşenlerinin belirlenmesi aşamalarından oluşmaktadır.

5.1 Aklimasyon Çalışmaları

Kompleks yapısından dolayı mikrobiyal ekosistem (aktif çamur) çevre koşullarındaki değişikliklere (özellikle topluluğa baskı yapan değişiklikler) çok dinamik bir şekilde cevap verebilir. Aktif çamur topluluğunu etkileyen faktörlere örnek olarak sıcaklık, pH yada tuzluluktaki değişiklikler, toksik bir maddeye maruz kalma ve geniş çapta substrat yapısındaki değişiklikler verilebilir. Bu anlamda aktif çamur topluluğunun üzerinde baskı oluşturan bu değişikliklerden herhangi birine karşı verdiği cevap “*adaptasyon*” olarak tanımlanır. Bazen aklimasyon terimi buna eşdeğer olarak kullanılmaktadır. Aklimasyon; aktif çamur topluluğunun maruz kaldığı baskıyı elimine etmek yada bu baskıya rağmen normal fonksiyonlarını devam ettirmenin bir yolunu bulmak üzere gösterdiği bir tepkidir. Aklimasyon periyodu; topluluğun maruz kaldığı baskının başladığı an ile adapte olduğu an arasındaki zaman aralığıdır. Aktif çamur topluluğu bir yada 5’ten daha fazla temel mekanizmayı kullanarak adapte olur; seçici kuvvetlendirme, enzim düzenlemesi, genetik bilginin değişimi, geçmişten gelen genetik değişim ve çevre ortamlarındaki değişim. (Rittmann vd., 2001)

Bu esastan hareketle incelenen tesisin biyolojik arıtma sisteminin havalandırma havuzundan alınan aşı çamur, çamur yaşı yaklaşık 10 gün, hidrolik bekletme süresi 1 gün ve F/M (CT_1/XT_1) oranı 0,7 olacak şekilde 10 lt’lik doldur-boşalt bir reaktörde

1 ay boyunca, incelenen tesisin seçilen alt proseslerinin ayrıık akımlarından debi orantılı olarak hazırlanan kompozit atıksuyuna, biyolojik büyüme için yeterli miktarda olacak şekilde Tablo 5.1'de belirtilen bütün diğer makro ve mikro elementler uygun oranlarda ilave edilerek aklime edilmiştir. Sıcaklığın 20-25 °C'de olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca Tablo 5.1'de belirtilen fosfat tuzları mikroorganizmalar için hem fosfor kaynağı olurken hem de pH'ı nötre yakın sabit seviyelerde tutması hedeflenmiştir. Bundan sonraki kinetik sabitlerin ve organik madde bileşenlerinin belirlenmesi aşamalarında aklime olmuş bu biyokütle kullanılarak deneysel çalışmalar yürütülmüştür.

Tablo 5.1: Aklimasyonda kullanılan makro ve mikro elementler (1000 mg KOI için 10 ml)

Stok azot ve fosfor çözeltileri		
N	120 g/l	NH ₄ Cl
P	320 g/l	K ₂ HPO ₄
P	160 g/l	KH ₂ PO ₄
Mikronütrient çözeltileri		
Mg	15 g/l	MgSO ₄ .7H ₂ O
Fe	0,5 g/l	FeSO ₄ .7H ₂ O
Ca	2 g/l	CaCl ₂
Mn	0,3 g/l	MnSO ₄ .H ₂ O
Zn	0,5 g/l	ZnSO ₄ .7H ₂ O

5.2 Kinetik Sabitlerin ($\hat{\mu}_H$, b_H ve K_S) Belirlenmesi

Konvansiyonel karakterizasyonu gerçekleştirilen numunelerin içinde bir PC donanımı bulunan Manotherm RA-1000'e bağlı olan 750 ml hacimli bir kapalı reaksiyon/ölçüm haznesine, seçilen bir F/M oranında atıksu beslemesi yapılmadan önce yine bu atıksuya aklime olmuş biyokütlenin hesaplanan miktarı ilave edilerek belirli bir süre içsel solunum seviyesinde çalıştırılmıştır. Hava debisi, OTH ölçümlerinin en az 6-7 mg/l çözünmüş oksijen konsantrasyonu ile başlayacak şekilde ayarlanmış ve ölçümlerde ototrofik çoğalmadan kaynaklanan oksijen tüketimini engellemek amacıyla nitrifikasyon inhibitörü kullanılmıştır. Bu yöntemin esası organik maddeden 1 elektron transfer edilmesi halinde, bu elektronu alacak oksijen

miktarının deneysel olarak belirlenmesi esasına dayanmakta 30 sn'de bir sürekli olarak işletilen aerobik reaktörde zamana karşı oksijen tüketim hızındaki değişim izlenmektedir.

Respirometrik yöntemler kullanılarak maksimum spesifik çoğalma hızının belirlenme çalışması, en hızlı ayrışabilen çözünmüş organik maddelerin tamamının bu hız sabiti ile giderildiği kabulüne dayanmaktadır.

Ekama ve diğ., (1986) tarafından tanımlanan respirometrik yöntem bununla ilgili temel çalışmalardan birini oluşturmaktadır. Buna göre, eğer ortamda kolay ayrışan organik madde kısıtlayıcı değilse ($S_s \gg K_s$) çoğalma maksimum hızla gerçekleşmekte ve buna bağlı olarak başlangıçta heterotrofik organizmalarca hızlı bir elektron alıcısı tüketimi gözlenmektedir (OTH_1). Bu hızlı tüketimin atıksudaki kolay ayrışabilen substrattan olduğu kadar, yavaş ayrışan substratın hidrolizi ile oluşan organik maddeden de kaynaklandığı bilinmektedir. Kolay ayrışan organik madde miktarı azaldıkça elektron alıcısı tüketim hızı yavaşlamakta ve eğri hidroliz hızının hakim olduğu ikinci bir seviyeye ulaşmaktadır (OTH_2). Maksimum çoğalma koşullarında içsel solunumdan kaynaklanan e^- alıcısı tüketiminin kolay ayrışan substrat üzerindeki çoğalmadan kaynaklanan tüketim yanında ihmal edilebilecek seviyelerde olduğu kabul edilmektedir. Bu noktadan hareketle maksimum çoğalma hızı aerobik koşullarda,

$$\hat{\mu}_H = \frac{Y_H}{1 - f_x Y_H} \frac{OTH_1}{X_{H1}} \quad (5.6)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda başlangıçtaki X_{H1} aktif heterotrofik biyokütle konsantrasyonunun deney süresince olan değişimleri dikkate alınmamıştır. Aktif heterotrofik biyokütle deney başlangıcında aşılana toplam biyokütle (X_T) konsantrasyonunun bir oranıdır. Aralarındaki oran f_a aktivite katsayısı ile tanımlanmaktadır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta biyokütle konsantrasyonunun toplam hacim içerisinde $X_T \cdot V_{ml} / (V_{ww} + V_{ml})$ olduğudur. Bu durumda X_{H1} aktif biyokütle konsantrasyonu için hacim düzeltilmesi yapılarak ,

$$X_{H1} = \frac{f_a X_T V_{ml}}{V_{ww} + V_{ml}} \quad (5.7)$$

yazılabilmektedir. Toplam heterotrofik biyokütle içerisindeki aktif kısmın belirlenebilmesi için ampirik ifadelerden yararlanılmaktadır. Aktivite katsayısı çamurun aşılandığı sistemin çamur yaşına bağlı olarak,

$f_a = 1.41 (\theta_X)^{-0.53}$ ham atıksu için

$f_a = 1.57 (\theta_X)^{-0.43}$ çökeltilmiş atıksu için

bağıntılarından hesaplanabilmektedir.

Aktif biyokütle miktarını belirleyebilmek için **Henze, (1986)** elektron transfer hızının 20 °C 'de 1 e⁻ eşd./gr UAKM.gün olduğu ve giderilen 1 e⁻ eşd. substrata karşılık 8 gr O₂ harcandığı esasından hareketle, 0.6 gr KOI/gr KOI dönüşüm oranı için 133 mg O₂/gr UAKM.saat birim değerini hesaplamıştır.

Yarı doygunluk katsayısı K_S ise, **Kappeler ve Gujer, (1992)** tarafından çoğalma kademesinin baskın olduğu koşullarda yapılan OTH ölçümleri kullanılarak, model simülasyonu ile belirlenebileceğini belirtmişlerdir.

İçsel solunum hızının belirlenebilmesi ise respirometrik çalışma başlangıcında, aklime olmuş aktif heterotrofik biyokütle üzerine besi maddesi ilave edilmeden önce en az yarım saat boyunca izlenen sabit elektron alıcısı tüketim hızı, bu biyokütleye ait b_H seviyesini ifade etmektedir.

5.3 Organik Madde Bileşenlerinin Belirlenmesi

Biyolojik arıtma sistemlerinde mikrobiyal büyüme ve substrat kullanım hızları sistemdeki nutrient konsantasyonu ile orantılıdır. Bu nedenle substrat özelliğine sahip olan maddelerin giderilmesi ve miktarının doğru olarak ölçülmesi gerekir (**Grady ve Lim, 1980**).

Günümüzde aktif çamur sistemlerinde kullanılmakta olan substrat ile bağlantılı başlıca üç ölçüm yöntemi vardır; bunlar KOİ, BOİ ve TOK'tur. Toplam organik maddenin ölçülmesinde, TOK yöntemi, BOİ ve KOİ yöntemlerine göre daha uygun olmasına rağmen iki dezavantajı vardır;

- Biyolojik olarak ayrışabilen ve ayrışamayan organik maddeler arasında ayırım yapılamaz.
- BOİ ve KOİ'nin tersine, TOK yönteminin organik maddenin oksidasyon kademesinden bağımsız olması ve organik bileşiklerin oksidasyon kademesi hakkında herhangi bir fikir vermemesidir.

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı kavramı, aerobik organotrofik mikroorganizmalar için elverişli bir organik karbon kaynağı içeren bir atıksuyun kirlenme potansiyelinin,

mikroorganizmaların bu sudan alınmış bir örnekte gelişmeleri sırasında harcadıkları oksijenin ölçülmesiyle belirlenebilir (Gaudy, 1972).

BOİ₅; sadece 5 gün zarfında ayrışan substratı temsil ettiğinden bu parametre atıksudaki substrat düzeyini tamamıyla yansıtmaz. Deneyde aşı olarak kullanılan mikroorganizmaların atıksudaki substrata aklime edilmediğinde veya atıksu biyolojik gelişmeyi inhibe edici maddeler içerdiğinde hatalı BOİ₅ sonuçları elde edilebilir. Biyolojik olarak kalıcı organik maddeler de, BOİ₅ deneyinin önemli hata kaynaklarından birini oluşturur. Ayrıca, yöntemin oldukça zahmetli olması, 5 gün sürmesi, deney koşullarından çok fazla etkilenmesi gibi dezavantajları, BOİ₅ parametresinin, biyolojik arıtma sistemlerinin tasarım ve işletilmesinde kullanışlılığını azaltmaktadır.

KOİ, kuvvetli bir kimyasal oksitleyici ile oksitlenebilen organik madde içeriğinin oksijen cinsinden eşdeğerinin bir ölçüsüdür. Atıksu örneklerinin 2 saat içerisinde, kuvvetli asit ortamda ve kaynama sıcaklığında indirgedikleri Cr⁺⁶ miktarının ölçülmesi ilkesine dayanır. Böylelikle, KOİ deneyi, deney koşulları ve deney süresi içerisinde bikromatla yükseltgenebilir maddelerin atıksulardaki konsantrasyonunu bulmakta kullanılır. KOİ deneyinin yetersizliği, mikroorganizmalar için uygun substrat oluşturmayan yükseltgenebilir maddelerin ve bu arada biyolojik olarak inert organik maddelerin de, Cr⁺⁶'yı indirgemeleri nedeniyle ölçüm sonuçlarına yansımalarından ileri gelir. KOİ deneyinin diğer bir dezavantajı da, biyolojik olarak ayrışabilen aromatik hidrokarbonların, organik maddelerin Cr⁺⁶ ile yükseltgenememeleridir.

Ancak ölçüm yöntemleri arasında, organik substrat, biyokütle ve kullanılan oksijen arasında eşdeğeri cinsinden ilişki kurabilen ve bir kütle dengesi kurulabilmesine olanak tanıyan sadece KOİ ölçümüdür. KOİ aynı zamanda biyolojik olarak ayrışabilirlik açısından organik maddeler arasında bir ayırım yapmaz. Dolayısıyla, KOİ diğer yöntemlere tercih edilir. Ayrıca, KOİ daha az emek ve zaman gerektiren ölçüm yöntemidir.

Atıksu arıtımında organik maddelerin rolü son 20 yıldan bu yana son derece değişmiştir. Arıtma sistemlerinin tasarımında atıksulardaki organik madde miktarının net bir şekilde ortaya konulması, KOİ gideriminin yanında denitrifikasyon ve biyolojik fosfor giderimi gibi diğer prosesler için de önemlidir (Dold ve diğ., 1980; Henze, 1992; Henze ve diğ., 1995). Evsel atıksularda partiküler formda bulunan organik maddeler, organik yükün %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır. Aktif çamur

sistemlerinde bu organik partiküllerin bir çoğu hidroliz olmakta ve biyolojik olarak giderilmektedir (Eliosov ve Argaman, 1995). Bu yüzden homojen olmayan organik maddelerin tanımlanması büyük öneme sahiptir. Atıksulardaki organik bileşenleri üç şekilde sınıflandırmak mümkündür;

1. Kimyasal gruplarına göre karakterizasyon, (yağlar,proteinler,karbonhidratlar vs.), ((Heukelekian ve Balmat, 1959);(Hunter ve Heukelekian, 1965)).
2. Boyut dağılımına göre karakterizasyon, ((Levine ve diğ., 1991), (Balmat, 1957); (Rickert ve Hunter, 1967)).
3. Biyolojik ayrışma hızlarına göre karakterizasyon

Burada birinci yaklaşım son derece sınırlı bir kullanıma sahiptir çünkü böyle bir karakterizasyon çalışması son derece zor ve pratik kullanıma yönelik değildir.

5.3.1 Kolay ayrışan KOİ, S_{S1}'in belirlenmesi

Atıksulardaki kolay ayrışabilen KOİ, S_S, sentez için doğrudan absorblanabilen uçucu yağ asitleri, basit karbonhidratlar, alkoller, aminoasitler gibi çözülmüş bileşenlerden meydana gelir. Organik maddenin bu fraksiyonunun doğru olarak belirlenmesi teorik ve pratik açıdan oldukça büyük öneme sahiptir. Günümüzde kullanılan matematik modellerde, kolay ayrışabilen KOİ konsantrasyonu, heterotrofik organizmaların çoğalması için hız kısıtlayıcı bir bileşen olarak kabul edilir. Ayrıca bu bileşen, yavaş ayrışabilen KOİ, X_S'in belirlenmesinde de rol oynar.

Kolay ayrışabilen KOİ, toplam KOİ'nin bir fraksiyonu olarak ifade edilebilir;

$$S_{S1} = f_{SS} * C_{T1} \quad (5.8)$$

Burada, f_{SS} giriş KOİ'sinin kolay ayrışabilen kısmıdır. Kolay ayrışabilen organik maddenin belirlenmesi için önerilen yöntemlerin hemen hemen tamamı aktif çamurda meydana gelen değişikliklerin respirometrik yöntemle analizine dayanmaktadır. Çeşitli araştırmacılar sistemlerde Oksijen Tüketim Hızı (OTH) ölçümleri (Ekama ve diğ.,1986) ya da aerobik-anoksik kesikli reaktörlerde OTH/NTH ölçümlerini önermişlerdir (Ekama ve diğ.,1986); (Solfrank ve Gujer ,1992); (Krintensen ve diğ.,1992). İşletilmeleri daha kolay ve reaktör hidroliğinden

bağımsız olduğu için çoğu kez kesikli reaktörler tercih edilmektedir. Atıksularda kolay ayrışabilen organik maddenin belirlenmesi için önerilen metotlar Tablo 5.2’de verilmiştir.

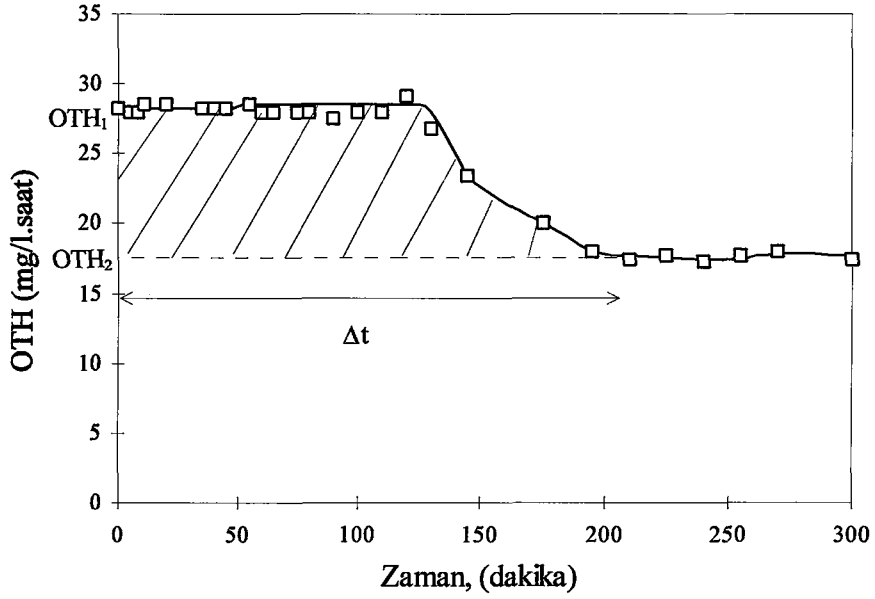
Tablo 5.2: Kolay ayrışabilen organik maddenin belirlenmesi için önerilen metotlar

Kullanılan Metot	Fraksiyon	Kaynaklar
Gaz Kromotograf.....	S _A	APHA,1985
Çözünmüş Protein + Karbonhidrat.....	S _F	Henze ve diğ.,1995
Hidroliz + Gaz Kromotograf.....	S _F	Johansson,1994
OTH Test.....	S _S	Ekama ve diğ.,1986
NUR Test.....	S _S	Krintensen ve diğ.,1992
Kesikli + Modelleme.....	S _S	Kappeler ve Gujer,1992
Kesikli + Modelleme.....	S _S	Novak ve diğ,1994
Çökelme, Çinko Sülfat.....	S _S	Mamais ve diğ,1993
Çökelme, Poli-Alüminyum Klorit.....	S _S	Henze ve Harremoes,1992

Ekama ve diğ., (1986) tarafından önerilen ve bu çalışmada kullanılan yöntemde, Şekil 5.1’deki OTH profili incelendiğinde kolay ayrışan substrat üzerindeki çoğalma süresi boyunca ilk fazın yatay olarak sabit bir seviyede kaldığı (OTH₁), kısıtlı hale gelmeye başladığında oksijen tüketim hızının zamanla azaldığı ve tamamen tükendiğinde ise hidroliz hızının göstergesi olan ikinci bir seviyeye (OTH₂) düştüğü görülmektedir. OTH₁ kolay ayrışan ve yavaş ayrışan substrat türleri üzerindeki çoğalmadan kaynaklanan oksijen tüketim hızı ile içsel solunumdan kaynaklanan tüketim hızının toplamını yansıtmaktadır. OTH₂ olarak tanımlanan hız ise artık kolay ayrışan substratın tükendiği fazı temsil etmektedir. Dolayısıyla sadece kolay ayrışan substrat üzerindeki çoğalmadan ileri gelen oksijen tüketimi bu iki seviye arasında Δt süresi boyunca gözlenmektedir. Başlangıçta atıksuda mevcut olan S_{S1}’ın tamamının Δt süresi içinde kullanıldığı esastan hareketle toplam oksijen tüketimi, TO için;

$$TO = (1 - f_X Y_H) \int_0^t \frac{dS_S}{dt} \Delta t = (1 - f_X Y_H) \int_{S_{S0}}^0 dS_S \quad (5.9)$$

yazılabilmektedir.



Şekil 5.1: OTH profili

Bu ifade S_{S1} konsantrasyonunun iki seviye arasında kalan alan (ΔO) yardımıyla hesaplandığını göstermektedir. Bu durumda,

$$S_{S1} = \frac{\Delta O}{1 - f_x Y_H} \quad (5.10)$$

olmaktadır. Gerekli hacim düzeltilmesi yapılarak atıksuda mevcut olan konsantrasyon bulunabilmektedir. Yeterince süre verildiğinde OTH profili içsel solunum fazını karakterize eden bir üçüncü seviyeye düşmektedir.

5.3.2 Yavaş ayrışan KOİ, X_{S1} 'in belirlenmesi

Atıksuyun türüne bağlı olmakla birlikte, atıksudaki organik maddenin önemli bir kısmı genellikle yavaş ayrışan organik maddeden meydana gelmektedir. Bu nedenle yavaş ayrışan organik maddenin miktarı ve hidroliz hızı bu sistemlerin tasarımında önemli ve belirleyici bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Endüstriyel atıksulara ait aktif çamur sistemlerinde seçilen uzun bekletme süreleri ile başarılı bir şekilde işletilen biyolojik arıtma sistemleri, atıksudaki ağırlıklı kısmın yavaş ayrışan organik maddeden oluştuğu bulgusunu doğrulamaktadır.

Yavaş ayrışan organik maddenin hidroliz kademesinden geçerek kolay ayrışan substrata dönüşmesi ve bu şekli ile çoğalmada kullanılması günümüz aktif çamur modellerinde benimsenen bir yaklaşımdır. Çözünmüş ya da partiküler formda olan bazı yüksek molekül ağırlıklı organik maddeler yavaş ayrışan madde kapsamında ele alınabilmektedir. Bu tanımdan hareketle yavaş ayrışan (X_{S1}) formları, çözünmüş S_{H1} ve partiküler X_{S1} olarak gösterilebilmektedir (Orhon ve Artan, 1994).

Giriş akımında toplam atıksuda ölçülen organik madde miktarı çözünmüş (kolay ayrışan organik madde, yavaş ayrışan organik madde ve kalıcı organik madde) ve partiküler (yavaş ayrışan organik madde ve kalıcı organik madde) bileşenlerinin toplamını yansıtmaktadır.

$$C_{T1} = S_{S1} + S_{H1} + S_{I1} + X_{S1} + X_{I1} \quad (5.11)$$

Süzülmüş atıksuda ise sadece çözünmüş bileşenler dikkate alınmaktadır.

$$S_{T1} = S_{S1} + S_{H1} + S_{I1} \quad (5.12)$$

Bu bağıntılar yardımıyla atıksulardaki yavaş ayrışan organik madde bileşenleri belirlenebilir. Literatürde gerek evsel atıksular ve gerekse endüstriyel atıksular için verilen KOİ bileşenleri ile ilgili bilgiler sırasıyla Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'de verilmiştir.

5.3.3 Çözünmüş ve partiküler inert maddelerin belirlenmesi

Arıtma tesisi çıkışındaki toplam organik madde miktarını, giriş akımındaki çözünmüş (S_{I1}) ve partiküler (X_{I1}) kalıcı organik maddeler ve metabolik aktivite ile biyolojik arıtma sürecinde üretilen çözünmüş (S_P) ve partiküler (X_P) ürünler belirler. Özellikle kuvvetli atıksularda, giriş akımındaki çözünmüş KOİ bileşenleri sistemin performansını önemli ölçüde etkilemekte ve endüstri kategorileri için geliştirilmiş deşarj standartlarına ulaşılmasını engelleyebilmektedir. Atıksulardaki inert fraksiyonun belirlenmesi için önerilen metodlar Tablo 5.5'de özetlenmiştir.

Atıksuda mevcut çözünmüş inert organik maddenin (S_{I1}) önemi, literatürde çok sayıda araştırmacı tarafından ifade edilmiştir. Ekama ve diğ., (1986), çamur yaşı 10-20 gün olan, tam karışımli laboratuvar ölçekli bir sistemi önermiş ve girişteki

çözünmüş inert KOİ değerinin, çözünmüş çıkış KOİ değerine eşit olacağını belirtmiştir. Daha sonra, IAWPRC Task Grup, çamur yaşı 10 günün üzerinde olan tam karışımli sürekli çalışan bir reaktörden alınan çamurun kesikli bir sistemde havalandırılmasına dayanan farklı bir metod tanımlamışlardır (Henze ve diğ., 1987). Bu metodda, kesikli reaktörden periyodik olarak alınan ve analizi yapılan numunelerde girişteki çözünmüş inert KOİ'ye eşit olduğu varsayılan nihai çözünmüş kalıcı KOİ değeri belirlenmiştir. Bu tip metodlar, çıkıştaki çözünmüş inert maddeler ile mikrobiyal ürünlerin çözünmüş kalıcı fraksiyonlarını ayıramama ve birlikte ölçme gibi bir dezavantaja sahiptir.

Bu basitleştirilmiş yaklaşım, evsel atıksularda kalıcı ürünler bulunmaması durumunu dikkate alan diğer organik fraksiyonların belirlenmesinde tolere edilebilir. Bununla birlikte, benzer olarak kuvvetli atıksuların karakterizasyonunda ciddi sorunlara neden olur.

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda çözünmüş mikrobiyal ürünlerin yapısı iyi bir şekilde tanımlanmamıştır. Çoğu çalışmada, bu maddelerin kalıcı olduklarından, bazı çalışmalarda ise girişteki biyolojik ayrışabilir KOİ'den daha yavaş fakat biyolojik ayrışabilir nitelikte olduklarından ve sistemde biriktiklerinden bahsedilmiştir. Deneyisel bulgular, aktif çamur sisteminin işletme şartları için inert çözünmüş mikrobiyal ürünlerin bir kısmının tekrar biyolojik olarak ayrışabildiği varsayımında kullanılabilir. Bu ürünlerin oluşum ya da birikim hızlarının formülasyonu, kabul edilen modele bağlıdır.

Benzer olarak, başlangıçtaki partiküler inert organiklerin (X_{II}) tayini ile ilgili olarak önemli araştırmalar yapılmıştır. Bu bileşenin tayini için genellikle önerilen yöntem, kararlı halde çalışan çamur yaşı 5 günden fazla olan, laboratuvar ölçekli tam karışımli bir aktif çamur ünitesinde kinetik analizlerin yapılmasıdır. Ekama ve diğ., (1986), X_{II} 'in hesabı için proses kinetiği temel alındığında hesaplanan değer ile tam karışımda ölçülen UAKM konsantrasyonunun kıyaslanmasını önermektedirler. Task Grup da gözlenen ve ölçülen çamur üretimini baz alan benzer bir yaklaşım önermektedir. Bu yöntem, deneyisel metodlardan bağımsız olarak doğru belirlenmiş, heterotrofik dönüşüm oranı (Y_H), içsel solunum hızı (b_H) ve biyokütleli inert kısmı (f_{EX}) olmak üzere 3 kinetik sabite ihtiyaç duyar. (Orhon ve diğ., 1994a) tarafından X_I değerinin belirlenmesi için önerilen diğer bir yöntemde, toplam atıksu ve çok az miktarda biyokütle ilavesi yapılan kesikli bir sistemde zamana karşı toplam ve

çözünmüş KOİ değerleri ölçülmektedir. Bu metodda da aynı şekilde doğru olarak belirlenmiş Y_H ve f_p değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 5.3 : Çeşitli atıksular için literatürde verilen KOİ bileşenleri

	C_{T1} ya da C_{TS1} (mg/l)	S_{II} (%)	S_{SI} (%)	X_{SI} (%)	X_{HI} (%)	X_{II} (%)	Kaynaklar
EVSEL							
Ham							
Güney Afrika.....	530	5	20	62	-	13	(Ekama ve diğ., 1986)
Danimarka I.....	-	2	20	40	20	18	(Henze, 1992)
Türkiye.....	431	2	10	81	-	7	(Orhon ve diğ., 1994b)
Ön Çökeltme Sonrası							
Güney Afrika.....	370	8	28	60	-	4	(Ekama ve diğ., 1986)
İsviçre.....	220	11	32	45	-	11	(Henze ve diğ., 1987)
Macaristan.....	350	9	29	43	-	20	(Henze ve diğ., 1987)
Danimarka II.....	515	8	24	49	-	19	(Henze ve diğ., 1987)
Danimarka I.....	-	3	20	43	14	11	(Henze, 1992)
İsviçre I.....	250	20	11	53	7	9	(Kappeler ve Gujer, 1992)
İsviçre II.....	430	10	7	60	15	8	(Kappeler ve Gujer, 1992)
İsviçre III.....	325	12	8	55	15	10	(Kappeler ve Gujer, 1992)
İsviçre IV.....	190	8	10	56	-	26	(Kappeler ve Gujer, 1992)
İsviçre V.....	250	8	10	58	-	24	(Kappeler ve Gujer, 1992)
İsviçre VI.....	360	10	16	40	25	9	(Kappeler ve Gujer, 1992)
İspanya.....	340	9	18	33	15	25	(Siegrist ve diğ., 1994)
Fransa I.....	450	10	33	44	-	13	(Siegrist ve diğ., 1994)
Fransa II.....	345	6	25	41	-	8	(Sollfrank, 1988)
ENDÜSTRİ							
Deri.....	2410	5.8	12.5	70.7	-	11	(Lesouef ve diğ., 1992)
Ham.....	775	15.5	29.8	54.7	-	-	(Lesouef ve diğ., 1992)
Kimyasal Arıtma Çıkışı.....	1080	18.5	31.5	50	-	-	(Orhon ve Ubay Çokgör, 1997)
	3000	1.5	68.2	30.3	-	-	(Orhon ve Ubay Çokgör, 1997)
Şekerleme.....	1800	5.8	47	47.2	-	-	(Orhon ve Ubay Çokgör, 1997)
	8085	0.6	66.4	33	-	-	(Orhon ve Ubay Çokgör, 1997)

Tablo 5.5: Atıksularda inert organik maddelerin belirlenmesi için önerilen metotlar

Organik Fraksiyon	Test Metodları	Kaynaklar
Çözünmüş İnert Madde	Kesikli.....	(Chudoba, 1985)
	Sürekli.....	(Ekama ve diğ., 1986)
	Kesikli.....	(Henze ve diğ., 1987)
	Kesikli.....	(Boero ve diğ., 1991)
	Kesikli.....	(Germirli ve diğ., 1991)
	Kesikli/Sürekli.....	(Sollfrank ve diğ., 1992)
	Kesikli.....	(Lesouef ve diğ., 1992)
	Kesikli.....	(Germirli ve diğ., 1993)
Partiküler İnert Madde	Sürekli + model kalibrasyonu..	(Ekama ve diğ., 1986)
	Çamur Üretimi ile Kalibrasyon	(Henze ve diğ., 1987)
	Kesikli.....	(Orhon ve diğ., 1992)
	Kesikli.....	(Kappeler ve Gujer, 1992)
	Kesikli.....	(Lesouef ve diğ., 1992)
	Kesikli.....	(Germirli ve diğ., 1991)

Tablo 5.4: Farklı evsel ve endüstriyel atıksularda elde edilen KOİ bileşenleri sonuçları (mg/l) (Ubay Çokgör, 1997)

ATIKSU	C _{Tİ}	S _{Tİ}	X _{Tİ}	S _{Sİ}	S _{İİ}	X _{İİ}	S _{Hİ}	X _{Sİ}	S _{Sİ} /C _{Tİ}	S _{Sİ} /S _{Tİ}	S _{İİ} /C _{Tİ}	S _{İİ} /S _{Tİ}	S _{Hİ} /C _{Tİ}	S _{Hİ} /S _{Tİ}	X _{Sİ} /C _{Tİ}	X _{İİ} /S _{Tİ}
EVSEL	315	150	165	40	20	42	90	123	0.127	0.267	0.063	0.133	0.286	0.600	0.390	0.133
	670	185	485	61	18	52	106	433	0.091	0.329	0.027	0.097	0.158	0.573	0.646	0.078
	585	150	435	75	16	60	59	375	0.128	0.500	0.027	0.107	0.101	0.393	0.641	0.103
	630	370	260	140	56	63	174	197	0.222	0.378	0.089	0.151	0.276	0.470	0.313	0.100
ŞEKERLEME	3380	3120	260	735	77	-	2308	260	0.217	0.236	0.023	0.025	0.683	0.740	0.077	-
	3000	2500	500	2045	45	-	41	500	0.682	0.818	0.015	0.018	0.137	0.164	0.167	-
	1800	1495	305	840	105	-	550	305	0.470	0.562	0.058	0.070	0.306	0.368	0.169	-
	8085	6775	1310	5370	45	-	1360	1400	0.664	0.793	0.006	0.007	0.1682	0.201	0.173	-
SÜT	1400	1075	335	400	-	105	675	230	0.284	0.372	-	-	0.479	0.628	0.163	0.074
DERİ	2410	1210	1200	300	140	265	770	935	0.124	0.248	0.058	0.116	0.319	0.636	0.388	0.110
	-	775*	-	230	120	-	425	-	-	0.298	-	0.155	-	0.548	-	-
	-	1080*	-	340	200	-	540	-	-	0.315	-	0.185	-	0.500	-	-
TEKSTİL	935	470	465	135	12	188	323	277	0.144	0.287	0.013	0.026	0.345	0.687	0.296	0.201
	785	560	225	152	21	45	387	180	0.194	0.271	0.027	0.038	0.495	0.691	0.229	0.057
ET	2600	1140	1460	380	30	305	730	1155	0.146	0.333	0.012	0.026	0.281	0.640	0.444	0.117

* Kimyasal Arıtma Çıkışı

Girişteki partiküler ve çözünmüş inert fraksiyonların doğrudan deneysel olarak belirlenmesi için yeni bir yöntem önerilmiştir (Orhon ve diğ., 1994a);(Kappeler ve Gujer, 1992). Bu yöntem daha önceki yaklaşımlarla ilgili temel problemleri ortadan kaldırmakta ve yalnızca KOİ ölçümlerine dayanmaktadır: (a) girişteki ve oluşan çözünmüş inert organikler ayrı olarak tanımlanmalı ve partiküler inert organiklerin tayininde S_p 'in girişiminden kaçınılmalıdır: (b) Y_H , b_H ve f_{EX} gibi diğer kinetik ve stokiometrik katsayılar gerekli değildir. Bu prosedür temel olarak çözünmüş ve partiküler mikrobiyal ürünleri (S_p) ve girişteki biyolojik ayrışabilir KOİ (C_{S1})'nin sabit bir kısmı olarak ifade edilen X_p 'yi kullanır. Deneysel çalışma için, biri süzölmüş, (S_{T1}) diğeri toplam atıksu, (C_{T1}) ile işletmeye alınan iki adet kesikli reaktör gereklidir. Herbir reaktörde, biyolojik olarak ayrışabilir tüm substratın tükendiği ve tüm biyokütlenin mineralize olduğuna emin olunan, yalnızca başlangıçtaki inert KOİ'nin ve kalıcı ürünleri içeren sabit bir eşik değere ulaşınca kadar yeterince uzun bir süre toplam ve çözünmüş KOİ değerleri izlenir. Her iki reaktöre, daha önceden alıştırılmış ve kalıcı KOİ içermeyen çok düşük miktarda biyokütle ilave edilir. Kullanılan atıksuyun yapısına bağlı olarak, F/M oranı 1 gKOİ/gUAKM.gün'ün üzerinde olan ve doldur-boşalt reaktörlerde alıştırılmış, oldukça aktif olduğuna emin olunan, 10-50 mgUAKM/l'lik miktarlarda biyokütle ile aşılamanın yapılması önerilmektedir. Deney başlangıcında, ham atıksu ile beslenen reaktörde toplam KOİ ;

$$C_{T1} = S_{S1} + X_{S1} + S_{I1} + X_{I1} \quad (5.13)$$

ifadesi ile, çözünmüş atıksu ile beslenen reaktörün toplam KOİ değeri ise;

$$S_{T1} = S_{S1} + S_{I1} \quad (5.14)$$

eşitliği ile verilebilir. Deney sonunda, tüm biyolojik aktivite sona erdiği için her iki reaktörde de toplam ve çözünmüş KOİ değerleri sabit kalmaktadır. Bu durumda ham atıksu ile beslenen reaktörde, toplam ve çözünmüş KOİ değerleri;

$$C_{T1} = S_{P1} + S_{I1} + X_{I1} + X_{P1} \quad (5.15)$$

$$S_{T1} = S_{P1} + S_{I1} \quad (5.16)$$

şeklinde ifade edilebilir. Deney sonunda, çözünmüş atıksu ile beslenen ikinci reaktördeki toplam ve çözünmüş KOİ değerleri;

$$C_{T2} = S_{P2} + S_{I1} + X_{P2} \quad (5.17)$$

$$S_{T2} = S_{P2} + S_{I1} \quad (5.18)$$

olarak yazılabilir. Bu eşitlikler yardımı ile atıksudaki çözünmüş inert madde, S_{I1} ve partiküler inert madde, X_{I1} belirlenebilir.

Önceki metod, oldukça büyük miktarlarda partiküler KOİ içeren atıksu örneklerinde S_{I1} 'in tayini için kullanılabilir. Bu bileşen bazı endüstriyel atıksularda ya da yaygın olarak kuvvetli atıksuların arıtımında kullanılan çok kademeli arıtma sistemlerinin kimyasal arıtma çıkışında oldukça az veya pratik olarak ihmal edilebilir değerde olabilir. Bu tür atıksular için **Germirli ve diğ., (1991)** tarafından önerilen aşağıdaki metod verilmektedir. Bu metodda önceden glukoz-atıksu karışımına alıştırılmış biyokütle ile aşılana bir süzölmüş atıksu, diğeri glukoz ile beslenen iki aerobik kesikli reaktör kullanılır. Glukozun seçilmesinin nedeni, bu maddenin her organik maddenin biyolojik ayrışmasının metabolik yolunda gözlenen hayati önemi olan bir bileşen olmasıdır. Deneylerde kullanılan biyokütlenin alıştırılması, doldur boşalt reaktörlerde %50 glukoz çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntemde, çözünmüş atıksu ve aynı konsantrasyonda glukoz çözeltisi iki ayrı reaktörde, alışıma aşısı mikroorganizma ve gerekiyorsa besi maddesi ilavesi ile kesikli olarak çalıştırılır ve zamana karşı çözünmüş KOİ değerleri izlenir. Atıksu ve glukozun KOİ değerleri bir minimuma ulaştığında, aradaki farktan S_{I1} belirlenir. İncelenen atıksuyun çözünmüş KOİ profilinin minimum seviyesi $S_I + S_P$ değerine eşit olduğundan ve glukozun S_{I1} 'nin sıfır kabul edilmesi nedeniyle ulaştığı minimum seviyenin S_P 'yi ifade etmesi bekleneneğinden;

$$(S_{I1})_{Atıksu} = (S_{I1} + S_P)_{Atıksu} - (S_P)_{Glukoz} \quad (5.19)$$

$$(S_P)_{Atıksu} \gg (S_P)_{Glukoz} \quad (5.20)$$

kabulu yapılmıştır. Her iki reaktör de aynı başlangıç çözünmüş KOİ değerine sahip olduğundan, aşı mikroorganizmanın hem atıksuya hem de glukoza alışmış olması nedeniyle bu kabulün geçerli olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmada da bu metod kullanılarak seçilen alt proseslerin ayrık akımları ve kompozit numuneleri bazında çözünmüş inert KOİ fraksiyonu belirlenmiştir.

Literatürde sözü edilen metodlar yardımı ile belirlenen, çeşitli atıksulardaki partiküler ve çözünmüş inert KOİ değerleri Tablo 5.6 ve Tablo 5.7'de verilmektedir. Tablo 5.7'deki dataların değerlendirilmesinde çıkış suyu kalitesinin, kalıcı mikrobiyal ürünlerin oluşumu ile olduğu kadar, girişteki inert KOİ fraksiyonundan da etkilendiği dikkate alınmalıdır. Deri, tekstil ve kağıt ve kağıt hamuru gibi endüstrilerde çıkıştaki kalıcı KOİ dikkate alınarak, biyolojik arıtma çıkış suyu limitleri yeniden gözden geçirilmelidir (Orhon ve Ubay Çokgör, 1996). Bu özellikle Tablo 5.8'de verilen kuvvetli atıksu üreten endüstriler için geçerlidir. Burada Y_{SP} , çözünmüş ürün, S_p 'nin toplam KOİ, C_{T1} 'e oranıdır.

Tablo 5.6: Partiküler inert KOİ ile ilgili literatürde verilen deneysel sonuçlar

Atıksu Tipi	C_{T1} (mgKOİ/l)	X_{I1} (mgKOİ/l)	Kaynaklar
Evsel Nitelikli Atıksular			
Evsel	314	29	(Orhon ve diğ., 1994b)
	360	36	(Orhon ve diğ., 1994b)
	440	30	(Lesouef ve diğ., 1992)
Evsel ve Deri Karışımı	390	112	(Orhon ve diğ., 1994b)
Endüstriyel Atıksular			
<i>Deri</i>	2410	265	(Orhon ve Ubay Çokgör, 1997)
<i>Tekstil</i>			
Örgü Kumaş	535	73	(Orhon ve diğ., 1992)
	994	12	(Eremektar ve diğ., 1996)
Kuvvetli Atıksular			
<i>Peynir Altı Atıksuyu</i>	2761	28	(Germirli ve diğ., 1993)
Aerobik Giriş			
<i>Sitrik Asit Üretim Tesisi</i>	2945	228	(Germirli ve diğ., 1993)
Aerobik Giriş			

Tablo 5.7: Çözünmüş inert KOİ ile ilgili literatürde verilen deneysel sonuçlar

Atıksu Tipi	S _{Tİ} (mgKO İ/l)	S _{İİ} (mgK Öİ/l)	Y _{SP}	Kaynaklar
Evsel Nitelikli Atıksular				
Evsel.....	150	8	0.096	(Orhon ve diğ., 1994b)
	164	13	0.064	(Orhon ve diğ., 1994b)
	250	15	0.062	(Lesouef ve diğ., 1992)
Evsel ve Deri Karışımı.....	190	15	0.086	(Orhon ve diğ., 1994b)
Endüstriyel Atıksular				
Deri.....	1500	323	0.040	(Kabdaşlı ve diğ., 1994)
	1075	262	0.040	(Kabdaşlı ve diğ., 1994)
	1870	464	0.045	(Kabdaşlı ve diğ., 1994)
	1210	140	0.100	(Orhon ve Ubay Çokgör, 1997)
Tekstil				
Dokuma Kumaş.....	1176	90	0.044	(Orhon ve diğ., 1992)
Örgü Kumaş.....	800	88	0.040	(Orhon ve diğ., 1992)
Örgü Kumaş.....	535	117	0.088	(Orhon ve diğ., 1992)
Pamuk & Sentetik Son İşle.....	1000	190	0.083	(Germirli ve diğ., 1991)
Örgü Kumaş.....	686	150	0.064	(Eremektar ve diğ., 1996)
Süt				
Entegre.....	480	-	0.068	(Orhon ve diğ., 1993)
Yoğurt & Tereyağı.....	1190	-	0.062	(Orhon ve diğ., 1993)
Kağıt				
.....	3340	137	0.057	(Germirli ve diğ., 1991)
	560	160	0.151	(Ubay ve diğ., 1996)
Et.....	1990	110	0.057	(Germirli ve diğ., 1991)
Antibiyotik.....	9330	2520	0.100	(Germirli ve diğ., 1991)

Tablo 5.7'nin devamı

Atıksu Tipi	S _{Tİ} (mgKO İ/l)	S _{İİ} (mgK Oİ/l)	Y _{SP}	Kaynaklar
Şekerleme.....	2500	45	0.145	(Orhon ve diğ., 1995)
	1495	105	0.067	(Orhon ve diğ., 1995)
	6775	45	0.030	(Orhon ve diğ., 1995)
Kuvvetli Atıksular				
<i>Peynir Altı Atıksuyu</i>				
Anaerobik Giriş.....	60000	-	0.027	(Germirli ve diğ., 1993)
Aerobik Giriş.....	1020	256	0.054	(Germirli ve diğ., 1993)
<i>Sitrik Asit Üretimi Atıksuları</i>				
Anaerobik Giriş.....	29300	1870	0.054	(Germirli ve diğ., 1993)
Aerobik Giriş.....	2025	804	0.210	(Germirli ve diğ., 1993)
Anaerobik Giriş.....	28100	1600	0.060	(Germirli ve diğ., 1993)
Aerobik Giriş.....	4055	1900	0.078	(Germirli ve diğ., 1993)

5.4 Analiz Yöntemleri

Konvansiyonel karakterizasyonda KOİ ölçümleri ve renk parametresi dışında tüm analizler **Standart Metodlar (1998)**'da belirtildiği şekilde yapılmıştır. KOİ ölçümleri **ISO, 6060, (1986)**'da belirtildiği gibi renk ölçümleri ise **ISO, 7887, (2001)** gerçekleştirilmiştir. Durapore-membran filtre kağıtları (0.45 µm gözenek çaplı) ile vakum filtrasyon sisteminde filtrelenen numuneler çözünmüş fraksiyon olarak tanımlanmıştır. Renk ölçümleri de prosedür gereği bu çözünmüş fraksiyonda gerçekleştirilmiştir. AKM ve UAKM bazında ölçülen partiküler bileşenler için de Whatman GF/C cam-elyaf filtreler (1,2 µm gözenek çaplı) kullanılmıştır.

Respirometre çalışmalarında, içinde bir PC donanımı ve 750 ml hacimli bir kapalı reaksiyon/ölçüm haznesi bulunan Manotherm RA-1000 cihazı kullanılmıştır.

6. İNCELENEN TESİSİN ÖZELLİKLERİ

6.1 İncelenen Tesise Ait Genel Bilgiler

1951 yılında dokuma fabrikası olarak kurulan tesis, Türk tekstil sanayindeki hızlı genişlemeye paralel olarak artan talepleri karşılamak amacıyla 1973 yılında Çerkezköy'de bulunan entegre tesislerini kurmuştur. Türk tekstil sektörünün önde gelen isimlerinden biri olan bu tesiste;

- Duvardan duvara halı
- Battaniye
- İplik

üretmektedir.

Çerkezköyde faaliyet gösteren bu tesis 325 000 m² açık alan üzerinde 65 000 m² alana yayılmış olan ve her yıl ortalama 10 000 000 m²'nin üzerinde halı, 1 000 000 adedin üzerinde battaniye ve yaklaşık olarak 6 500 ton iplik üretmektedir. Fabrikada toplam 635 kişi haftada 6 işgünü, ayda ortalama 26 gün ve günde 2 veya duruma göre 3 vardiya olarak yılda 312 gün çalışmaktadır.

İhracat yaptığı ülkeler; ABD, Uruguay, Rusya, Almanya, Güney Afrika, İsviçre, Avusturya, Norveç, Finlandiya, Belçika, Danimarka, Lübnan, Çin, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, Malezya, Makedonya ve Kazakistan'dır.

6.1.1 İncelenen tesisin üretim prosesleri

Firmanın Çerkezköy işletmelerinde bulunan üniteler;

- Boyahane ünitesi
- İplikhane ünitesi
- BCF İplik ünitesi
- Tufting Halı dokuma ünitesi

- Non-woven Halı ünitesi
- Battaniye ünitesi
- Bakım ünitesi
- Kalite Kontrol Laboratuvarı

Bu tesiste üretilen mamullere bakıldığında ise;

1. Tufting halı

- Cut Pile Halı (Kesilmiş havlardan dokunan halı)
- Loop Pile Halı (Kesilmemiş havlardan dokunan halı)

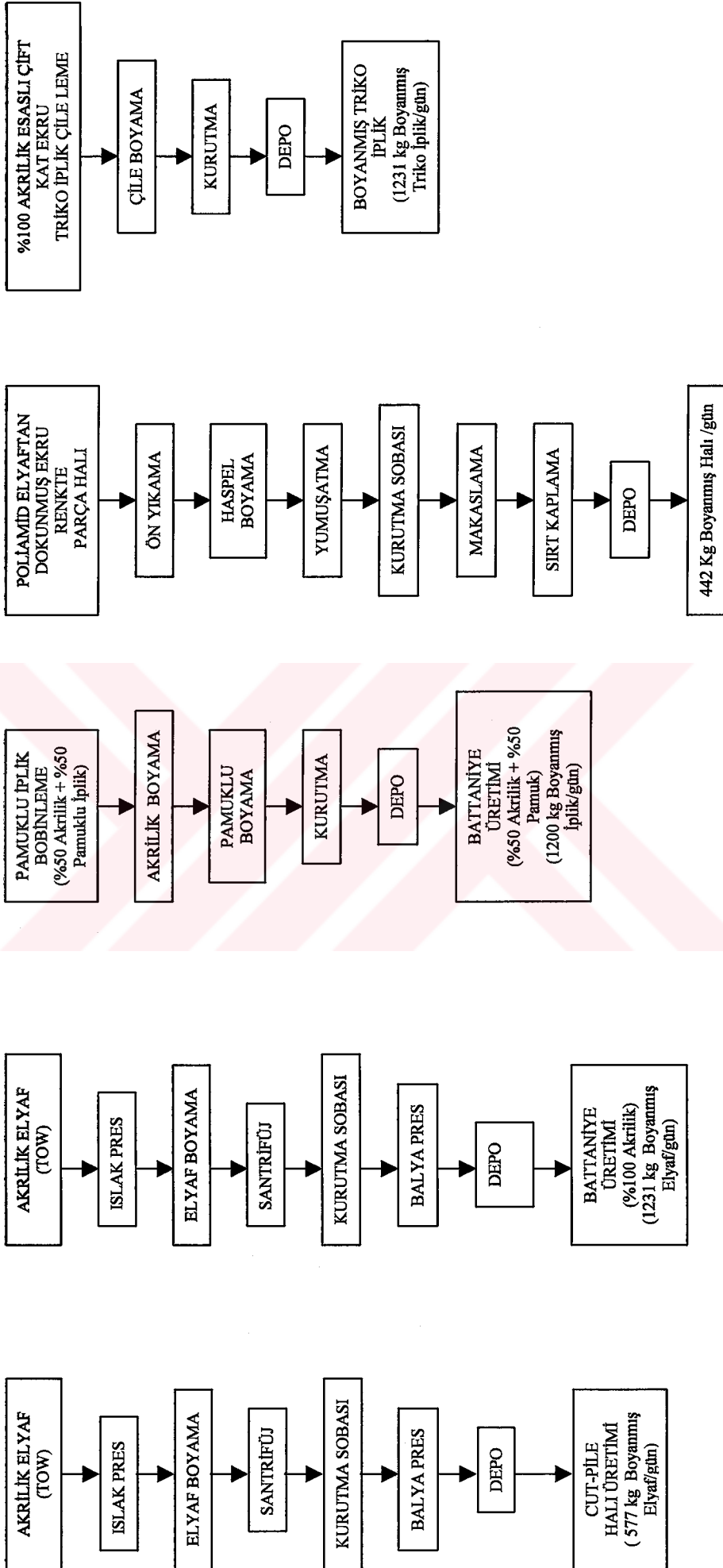
2. Non-woven halı ; Polipropilen cips-polietilenden iğnelenmiş keçe halı üretilir.

3. İplik (BCF, Open end)

4. Şönil halı (%100 Akrilik jakarlı –atkı/çözü) veya boyanmış akrilik esaslı çift kat ekru triko iplik

5. Battaniye

Bu tesiste atıksu oluşumunun gerçekleştiği bu prosesler üretimde kullanılan elyaf tipi baz alınarak başlıca 5 grup altında toplanmış ve tesise ait genel üretim akım şeması bu alt prosesler bazında Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1: Atıksu oluşumunun gerçekleştiği başlıca üniteler

6.1.1.1 Boyanmış elyaf üretimi

Boyahane deposundan gelen %100 akrilik elyaflar (tow-halıda kullanılan kesiksiz veya battaniyede kullanılan kesikli), ya %100 Akrilikten Battaniye üretimine yada %100 Akrilikten Cut-Pile Halı üretimine gönderilmek üzere önce Islak pres makinasında ıslatılarak preslenir ve boyama öncesi hem elyafa hidrofil özellik kazandırılmış hem de boyama kazanlarında daha az yer kaplaması sağlanmış olur. Böylece boyama kazanlarında aynı anda daha fazla elyafın boyanması sağlanmış olur.

Poliakrilonitril (orlon)'den kendi çözücüsü içinden çekilerek üretilen akrilik elyaf, fabrikaya AKSA'dan kesilmemiş ve çekilmiş 650 kg'lık elyaf balyalar halinde getirilmektedir. Daha çok yüne benzeyen sentetik bir elyaftır. Plan dahilinde hammadde deposundan boyahane ünitesine alınır. Burada tartım işlemine tabi tutularak kantar üzerinde 325 kg değeri okunana kadar akrilik elyaf hava ile bir yandan Islak Prese beslenirken bir yandan da su ile ıslatma ve 25 atülük bir basınç altında presleme işlemine tabi tutulmaktadır. Kantar 325 kg'ı gösterdiğinde ıslak prese elyaf besleme ve su verme işlemi durdurularak, basınç altında elyaf üzerindeki fazla suyun atılması sağlanır. Atılan su, pres altında bulunan bir resirkülasyon havuzunda toplanarak bir resirkülasyon pompası vasıtasıyla tekrardan ıslak pres girişine basılıp ıslatma amaçlı yeniden kullanımı sağlanır. Zemine gömülü halde bulunan ancak presten süzülen suyun bu havuza girmesini sağlayan bir kısmının açık olması dolayısıyla, elyafın prese hava ile beslenmesi sırasında bir miktar elyaf bu havuzdaki suya karışmaktadır. Özellikle kaçan elyaf parçalarının buradaki pompaları tıkamaması için haftada bir bu havuzdaki suyun boşaltılarak temizlendiği fabrika yetkililerince ifade edilmiştir. Bu ünite de prese su basımı, kantardaki değer 300 kg'ı gösterdiğinde manuel olarak kesilmektedir. Böylece boyanacak elyaf, boyama kazanlarına girecek hale getirilmektedir.

Islak presten kefe içinde çıkarılan ıslanmış elyaf, yüksek basınçlı (HT) boyama kazanına yerleştirilip, kazan içine ayrı bir tanktan su alınarak 70-80 °C'ye kadar ısıtılmaya başlanır. Bu sıcaklığa ulaşıldığında, rengine göre çözündürülmüş katyonik bazik boya, retarder, asetik asit, antistatik, yıkayıcı ve yumuşatıcı ayrı bir besleme kazanında karıştırılıp boyama kazanına otomatik olarak beslenir. Boyalı karışım sürekli devir daim ettirilir. HT1 ve HT3 boya kazanlarının her biri bir şarjda 3 kefe (975 kg/şarj) alırken HT2 boya kazanı ise 2 kefe (650 kg/şarj) almaktadır. Boyama

işlemi bittikten sonra kazandan çıkarılan %20-30 su ihtiva eden kefeler santrifüj makinasına alınarak, su muhtevası %8-9 olacak şekilde santrifüjlenir. Santrifüj makinalarının çalışma sistemi çamaşır makinalarına benzemektedir. Boyama kazanlarından çıkan elyaf hızla çevrilerek suyun elyaftan uzaklaşması sağlanır. Santrifüj iç kapağı plateye benzer, dairesel bir kapaktır. Alt kısmında plate zincirlerinin ucundaki kilitlerin takılabileceği yuvalar vardır ve böylece plate üzerindeki elyafın nakledilmesinde de kullanılmaktadır. Üst kısmındaki kilitlerle santrifüjün içinde döner mekanizma kilitlenir. Ardından materyal santrifüjden çıktıktan sonra çelik plaka üzerindeyken kurutma sobasına (RAM) getirilir. Burada işçi elyafı azar azar alarak sonsuz bant üzerine yayar. Materyal çivili hasır tarafından sonsuz bant üzerine alınır. Burada elyaf açma işlemine tabi tutulur. Çivili hasırın hemen üzerinde tarak vardır ve fazla materyali geri çevirir. Materyal sonsuz bant üzerinde yavaş yavaş kuruyarak ilerlemektedir. Kurutma; serpantinlerin içerideki buhardan yayılan sıcaklığı fanlardan üflemesi sonucu meydana gelir. Bu sıcaklık ortalama 100-140 °C civarındadır. Kurutulan materyal bir kova içerisine dökülmektedir. Buradan elyaf yığını içerisinde hava akımı olan temizleme kondansatöründen geçer ve balyalama işlemi ile sonlandırılır. Aynı zamanda temizleme kondansatörü elyaf yığını içerisinde metal parça olup olmadığını da kontrol eder.

Balya pres, sobadan çıkan elyafı hacim olarak küçültmek, dış etkenlerden korumak, nem oranını muhafaza etmek ve kolay nakledilmesi için preslenip balya haline getirilmesini sağlar.

Hava akımıyla elyafı balyalama kısmına taşınan borular içerisinde zamanla elyaf birirmektedir. Borularda biriken elyaf, daha sonraki balyalama işlemlerinde sorun çıkarabilir. Farklı renklerdeki elyafların bir balya içerisine toplanmasını önlemek için borular belirli periyotlarla temizlenir.

Renkli elyaf deposundan alınan iplik iplikhaneye alınarak ya kesikli dokumalı (Cut-Pile Halı) üretiminde kullanılmak üzere ya yarı kamgarn iplik (kalın halı ipliği) haline yada iplikhane ünitesinde open-end atkı ipliği yapılmak amacıyla open-end makinasına verilir. Balyalar açılarak istenen renk karışımına göre yarı mat elyaf ile parlak elyafı karıştırmak üzere harman yerlerinde harmanlanıp hallaçlandıktan sonra, tarak ve çekme makinalarına getirilir. Burada bobin haline getirilen iplik, ya katlama makinalarında ikiye katlandıktan sonra büküm makinalarına ve oradan da tufting halı dairesine yada atkı ipliği jakarlı dokunmak üzere (çözümlü ve atkılı dokuma)

battaniye ünitesine gönderilir. Burada da kesikli halı dokuma tezgahında yada battaniye dokuma tezgahlarında dokuma işlemi gerçekleştirilir. Kesikli dokunmuş halılar dışarıdan ithal edilen ve %100 polipropilen esalı olan dokuma bezi üzerine dokunup sırt kaplaması ve lateks yapıldıktan sonra, halı yüzeyinin daha düzgün olması amacıyla makaslama işlemine tabi tutulur. Ardından, sobada sırt malzemesinin ve lateksin iyi bir şekilde yapışmasını sağlamak üzere kurutma işlemi yapılır. Bu proseslerdeki su ve kimyasal madde kullanımı ile atıksu oluşumlarına ilişkin akım şemaları Şekil 6.2’de verilmiştir. Battaniye dokuma tezgahından çıkan battaniyeler ham top battaniye halindedir. Buradan tüylendirme işlemi yapılmak amacıyla şardonlama makinalarına verilir. Tüylendirilen battaniye sobadan geçirilerek son bir kurutma işleminden sonra, siparişin niteliğine göre makaslanıp battaniyenin son şeklini alması amacıyla konfeksiyonda işlenir. Daha sonra kalite kontrolü yapılarak katlanır ve ambalajlanır. Bu üniteye ait proses akım şeması Şekil 6.2 ile aynıdır.

6.1.1.2 Tufting halı üretimi

Fabrikada bir taban kumaş üzerine ipliklerin dikilerek havalı yüzey oluşturmaya esasına dayanan tufting halı üretiminde başlıca üç tip hammadde kullanılmaktadır:

- Poliamid (PA) : Halı için en uygun hammaddedir. Aşınmaya ve ezilmeye karşı dayanıklıdır.
- Polipropilen (PP) : Aşınmaya karşı dayanıklıdır. Su ve kir tutmaz. Kolay temizlenir.
- Akrilik (PAN) : Halı yüzey görüntüsü açısından yüne yakındır.

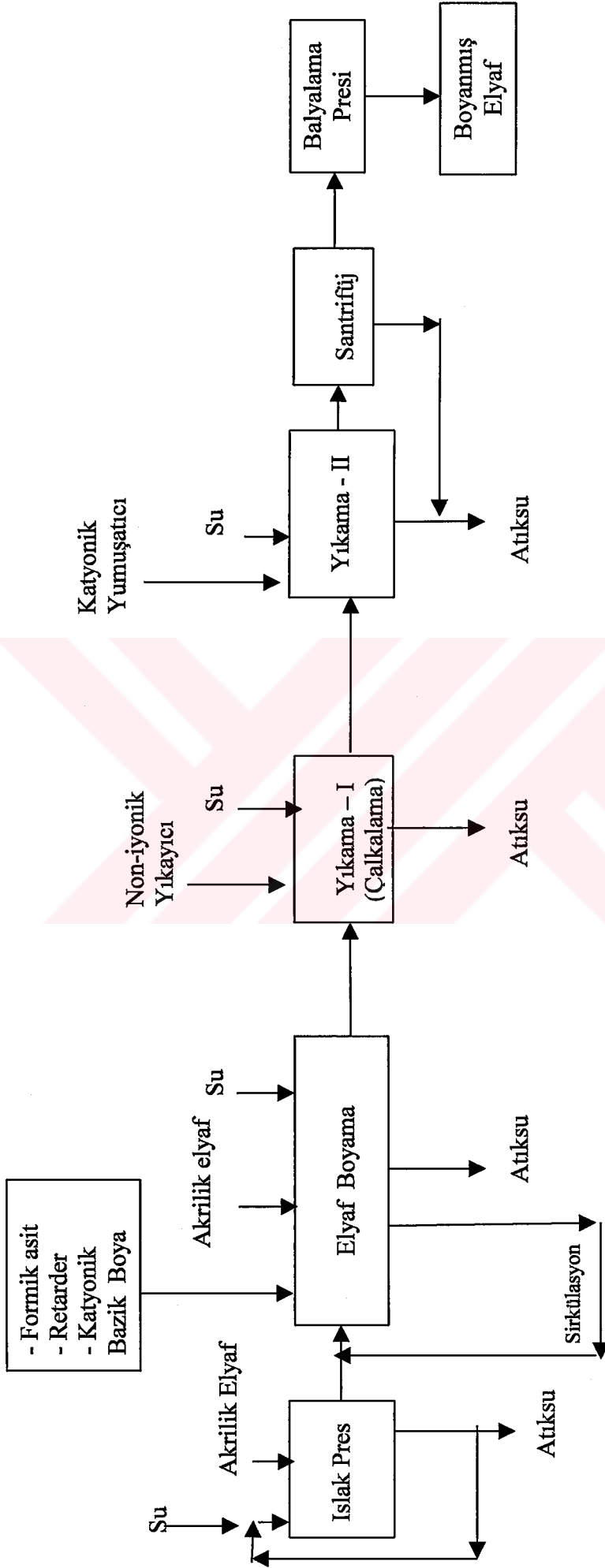
Halıların kullanıldığı alan seçilirken hammadde cinsi, gramaj, sıklık veya hav yüksekliğine dikkat edilmelidir. Trafiği yoğun alanlar veya yatak odaları gibi trafiği daha az olan alanlarda belirtilen özelliklere dikkat edilmelidir. Bu hammadelerden kesikli ve kesiksiz olarak dokunan halılar firma içinde çeşitli isimlerle tanımlanmış olup teknik özellikleri Tablo 6.1’de ve Tablo 6.2’de verilmiştir.

Boyanmış Kesikli Elyaftan (Akrilik) Halı İpliği (Yarı Kamgarn) Üretimi:

Renkli elyaf deposundan boyanmış elyaf, iplikhaneye alınarak kesikli halı üretiminde kullanılmak üzere yarı kamgarn iplik (kalın halı ipliği) haline getirilir. Balyalar açılarak istenen renk karışımına göre yarı mat elyaf ile parlak elyafı karıştırmak üzere harman yerlerinde harmanlanıp hallaçlandıktan sonra, tarak ve çekme makinalarına getirilir. Burada bobin haline getirilen iplik, katlama makinalarında ikiye katlandıktan sonra büküm makinalarına ve oradan da tufting halı dairesine gönderilir. Burada da kesikli halı dokuma tezgahında, dışarıdan ithal edilen ve %100 polipropilen esalı olan dokuma bezi üzerine dokunup sırt kaplaması ve lateks yapıldıktan sonra, halı yüzeyinin daha düzgün olması amacıyla makaslama işlemi yapılır. Ardından, sobada sırt malzemesinin ve latksin iyi bir şekilde yapışmasını sağlamak üzere kurutma işlemi yapılır.

Tablo 6.1: İncelenen tesis içinde cut-pile halıların teknik özellikleri

TEKNİK ÖZELLİKLER	MONALİSA	TEMPO	GOLDEN HORN	ORYANTAL	EKOFLAŞ	RİVA
Hav İpliği	%100 Poliamid		%100 Polipropilen		%50 PAN %50 PP	%100 PAN
İğne aralığı (inch)	1/8	1/8	1/10	1/8	1/8	5/64
Toplam Yükseklik (mm)	13,5	9,5	9,5	14	9,5	8,5
Toplam Ağırlık (g/m ²)	2700	2400	2880	2800	2180	2050
Sırt Kaplama	Action Back	Spc. Textile Backing	Action Back	Action Back	Action Back	Action Back
Top Boyutu (En*Boy) (m)	4*20	4*20	4*25	4*25	4*25	4*25



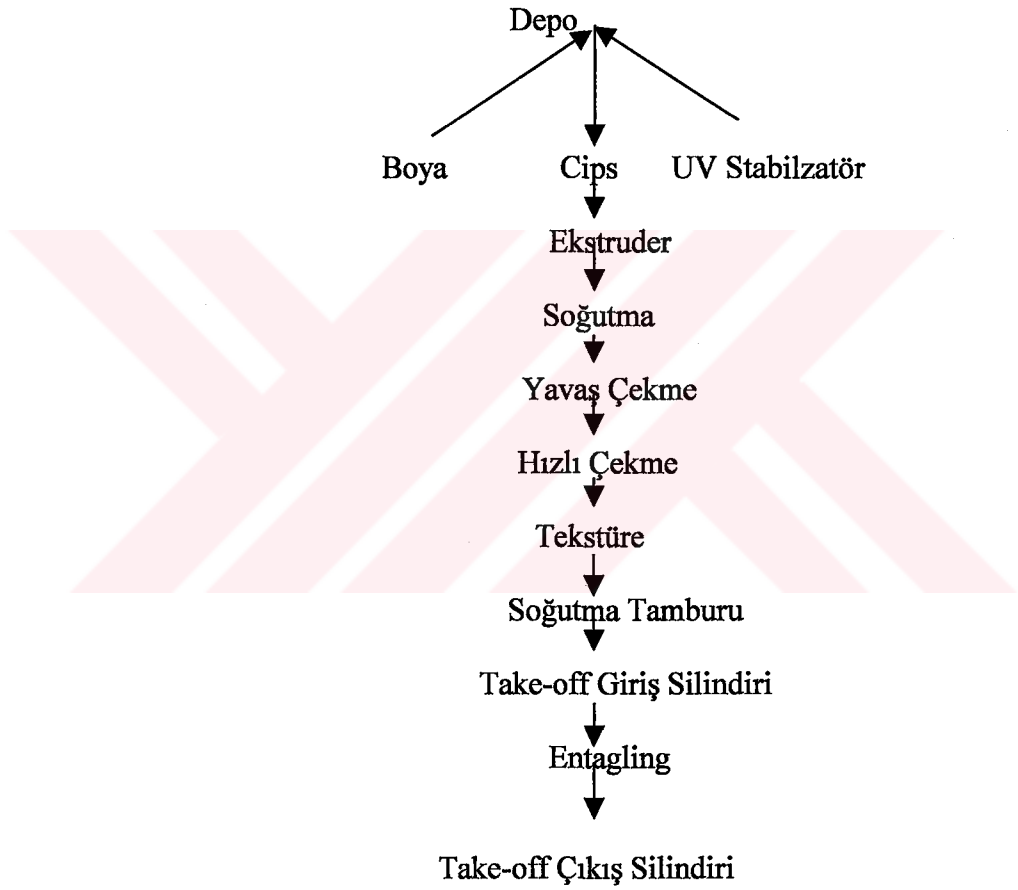
Şekil 6.2: Kesikli dokumalı (cut pile) halı veya battaniye üretimi için %100 akrilik elyaf boyama prosesi akım şeması

Kesiksiz Elyaftan (Polipropilen) Halı İpliği (Yarı Kamgarn) Üretimi: Açılımı sonsuz elyaf kümesi anlamına gelen B.C.F iplik çekme sisteminde Loop-Pile halı üretiminde kullanılmak üzere iplik üretimi gerçekleştirilir. Bu üniteye yumuşak eğirme yöntemine göre iplik üretilmektedir. İzmir Aliaga ve Belçika'dan getirilerek depolanan polipropilen cipsler borular vasıtasıyla üçlü kombinasyonu (Pigment boya + UV + Polipropilen) yapılarak karıştırılarak ekstruder makinasına girer. Ekstruderden geçerken bu kombinasyon ısı ile eritilerek (215 °C) pompalar yardımıyla elyafın ince ve kalınlığına göre düzelerden (eriyiğin aktığı delikler) çıkarılır. Düzeler iki şerittir (12-180 Filament). Düzelerden çıkan elyaf hava yardımıyla soğutulur. Yağlandıktan sonra yavaş çekim silindirleri vasıtasıyla incelik ve mukavemet kazandırılır. Çekim işleminin en önemli amacı, elyafın kristal ve amorf alanlarını düzenleyerek elyafa mukavemet kazandırmaktır. Çekim işleminden önce elyaf çok dayanıksızdır. Eriyiğin aktığı delikler (düzeler) 180 adettir ve 8 bant halinde beslenmektedir. Yani 1440 adet liften oluşmaktadır. Elyafın düzelerden çıktıktan sonra gördüğü ilk işlem yağlamadır. Bu işlemin yapılmasının nedeni; PP elyafın tuşesinin çok sert olmasından dolayı yumuşaklık kazandırmaktır. Ayrıca, bir başka amacı da yumuşak haldeki PP liflerinin ısının etkisiyle çekim silindirine yapışmasını engellemektir. Çekim işlemi ile birlikte elyafın incelik ve uzama görülmektedir. Çekim işlemi sırasında buharla fiksaj yapılarak elyafa stabilite de kazandırılmaktadır.

Elyafın soğutulmak üzere en son işlem olarak sudan geçirilir ve RAM'a (kurutmaya) gönderilir. RAM'da kurutulan elyaf, sürekli bir şekilde harman-hallaç kesim makinesine (rulmüz) gönderilir. Bu üniteye ait iş akım şeması Şekil 6.3'de verilmiştir.

Böylece elyaf boyanmış olur. Buradan boyalı olarak elde edilen elyaf, tek renk, iki renk veya 3 renkli iplik kombinasyonları olacak şekilde bobinlere aktarılır. Buradan çıkan bobinler, tufting halı dairesinde sırt kaplama bezi üzerine kesiksiz (loop pile) dokunmak üzere gönderilir. Dokunan halı büyük bir top halindedir. Ham toplardaki halının dayanıklılığının ve kailtesinin artırılması için lateks yapıştırıcı maddesi sürülür. Lateks sert ve yumuşak olarak iki türlü kullanılmaktadır. Bir çeşit sentetik kauçuktur ve SBR (bidon latkesi) olarak temin edilir. Kimyasal adı Sitren butadien olan bu madde, Türkiye'de üretilmediğinden Belçika'dan ithal edilmektedir. İçeriği; tebeşir tozu (Kalsiyum karbonat), su, ıslatıcı (tebeşir tozu partikülleri topaklaşmasını diye), CMS (viskozite ayarlayıcı) belirli oranlarda karıştırılarak elde edilir. Bu

ünitede, özellikle latkes hazırlama sırasında, lateks tankı kenarlarında bir önceki işlemde kalan artık lateksler su püskürtülerek temizlenir. Lateksli atıksular ise yine bu ünite içinde yer alan ayrı bir sedimentasyon tankında çöktürülerek çamuru filtreprese verilir. Süzüntü suyu ise kanala verilerek arıtma tesisine gönderilmediği tesis yetkililerince ifade edilmektedir. Bu lateks malzemesi üzerine de sırt kaplaması yapılarak apreleme işlemine tabi tutulur. Ardından yapışma işleminin süresini kısaltmak ve etkisini arttırmak için sobadan geçirilir. Daha sonra da kesim yapılarak ambalajlamaya gönderilir.



Şekil 6.3: Kesiksiz elyaftan halı ipliği üretimi iş akım şeması

Tablo 6.2: Loop-Pile halıların teknik özellikleri

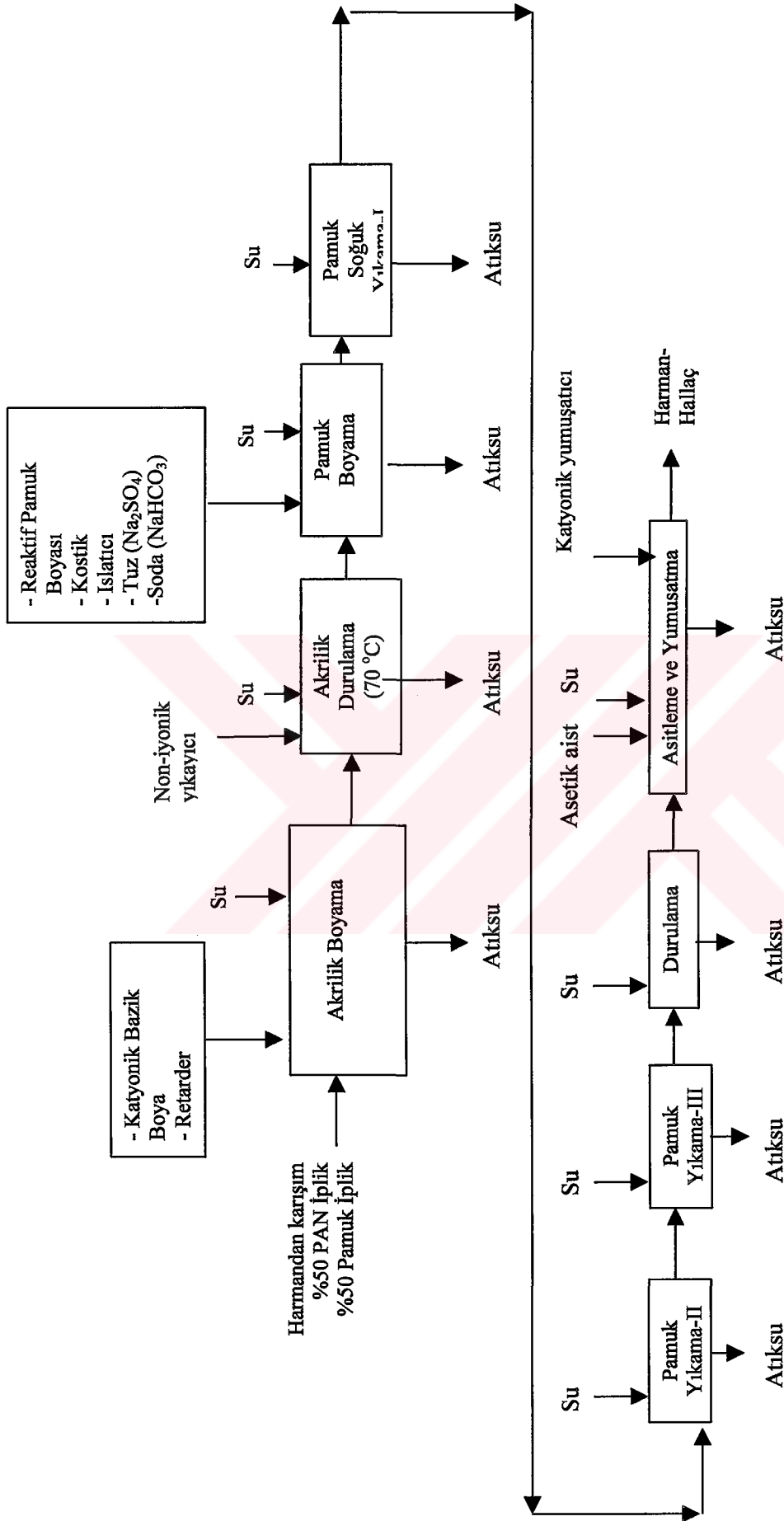
TEKNİK ÖZELLİKLER	BERGAMA	BONCUK	ANTİK	PRENSES	MY TUFT	YAKAMOZ
Hav İpiliği	%100 POLİPROPİLEN					
İğne aralığı (inch)	1/10	1/10	1/10	1/10	5/32 1/10	5/16
Toplam Yükseklik (mm)	7	7	7	12,5	8	11
Toplam Ağırlık (g/m ²)	1950	2030	2030	2850	2230	2510
Sırt Kaplama	Action Back	Action Back	Action Back	Action Back	Action Back	Action Back
Top Boyutu (En*Boy) (m)	4*30	4*30	4*30	4*25	4*25	4*25

6.1.1.3 %50 Pamuk + %50 Akrilik iplikten battaniye üretimi

%50 pamuk + %50 Akrilik elyaflar ya harman dairesinde homojen bir şekilde karıştırılarak bobinlere sarılıp boyanmak üzere boyahaneye gönderilir yada belirtilen oranda karıştırılarak hazırlanan elyaflar kefe balyasına yerleşebilecek forma getirilmek amacıyla ıslak pres ünitesine gönderilir. Harmanlamanın amacı; üretimin mümkün olduğunca homojen ve dolayısıyla kaliteli olmasını sağlamaktır. Bu yüzden harman-hallaç dairesinin önemi büyüktür. Burada balyalar açıldıktan sonra direkt olarak balya açıcı önüne sıralanır. High bulp iplik yapılacaksa iyi bir karışım elde edebilmek için istenilen oran dahilinde pasta usulü besleme yapılır ve mümkün olduğu kadar da ince tabakalar halinde çok katlı ve en az 8-10 balyadan harman yapılır. Akrilik imalatçıları elyafa statik elektriklenmeyi önleyici, materyalin rahat çalışmasını sağlayıcı bazı kimyevi maddeleri (yumuşatıcı ve anti-statikleri) vererek gönderirler. Ancak, işletmede problem çıkması ihtimaline karşı harmanda %2-3 oranında anti-statik verilebilir. Akrilik ve pamuk elyafların birleştirilmesi ise bu şamadan sonra Cer makinasında yapılır. Burada bantların 4'ü pamuk 4'ü de harman-hallaç dairesinden gelen akrilik elyafla beslenerek önce leventlere sonra da bobin halinde boyanmak üzere bobinlere aktarılır. Boyanacak bobinler aktarma bölümünde hazırlanarak boyahaneye gönderilir. Aktarma bölümünde bobinlerin konikleri değiştirilerek boyamaya uygun plastik ve delikli koniklere yerleştirilir. Sarım sırasında bobinlerin ağırlıkları birbirine eşit olmalıdır ve sarım sıklıkları da aynı oranda olmalıdır. Aksi halde sıkı sarılan bobinlerin içerisine boyarmadde daha geç

nüfuz eder ve gevşek sarılan bobinler daha rahat boyayı alacağından boyama sonrasında bobinler arasında ton farklılıkları oluşacaktır. Boyanacak bobinler üzerinde 85 adet çubuk bulunan portmateryal aparatı ndaki mızraklara dizilir. Bir mızrağa 6 adet bobin yerleştirilir. Bir bobin boyama makinasında 85 adet mızrak vardır. Yani bobin boyama kazanında bir şarjda 510 adet bobin boyanabilmektedir. Dizilmiş olan bobinlerin arasına kapaklar yerleştirilir ve bunların üzerine de kelepçeler takılarak boyamaya hazır hale getirilir. Daha sonra port materyal taşıyıcı vinç yardımıyla boyama kazanının içine yerleştirilir. Boya banyosu ilave kazanına verilir ve buradan borular vasıtasıyla boyama kazanına aktarılır. Bobinlerin dizildiği mızraklarda bulunan delikler yardımıyla boya banyosu bobinlerin içerisinde sirkülasyon yapar ve mızrakların altındaki deliklerden geçerek bobinlerin içerisine yüksek basınçlı bir şekilde püskürtülür. Sirkülasyon içten dışa ve dıştan içe olmak üzere iki şekilde olmaktadır. Akrilik kısmın boyaması yapılırken abraj olmaması için genellikle sirkülasyon içten dışa doğru yapılmaktadır.

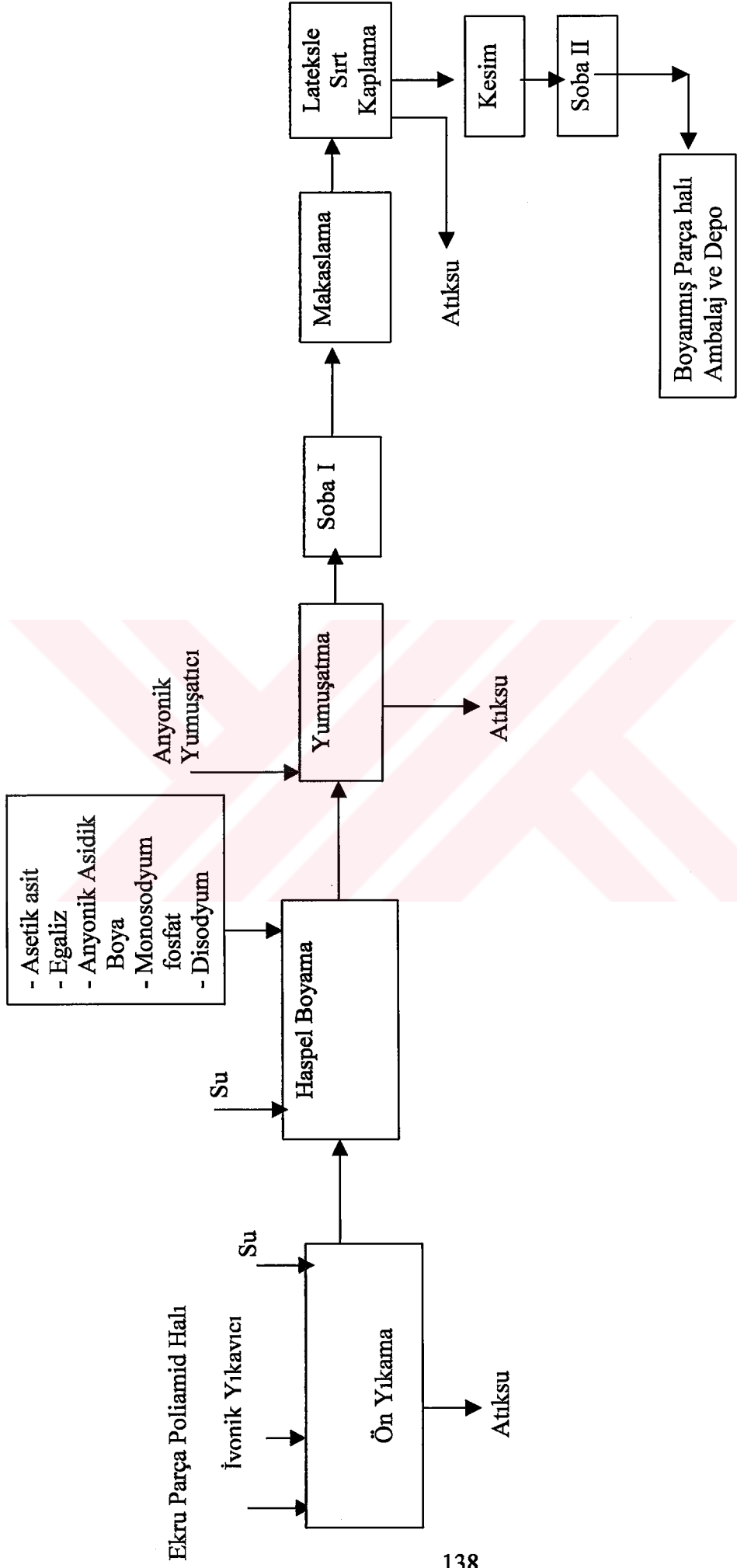
Eğer %50 Akrilik + %50 Pamuk karışımı elyaf halinde boyanacaksa, belirtilen oranlarda hazırlanan elyaf karışımları tıpkı %100 Akrilik elyaf boyamada olduğu gibi önce ıslak pres ünitesinde ıslatılarak boyama kazanlarının keflerine yerleşecek forma getirilir. Daha sonra bu kefler alınıp viçle elyaf boyama kazanına aktarılır. Buradan santrifüj makinasında sıkıldıktan sonra didikleme işlemine geçilir. Didikleme işleminde elyaf açma işlemine tabi tutulur. Daha sonra soba makinasında kurutulduktan sonra preslenir. Buradan taşınarak iplikhane ünitesinde open-end atkı ipliği yapılmak amacıyla open-end makinasına verilir. Burada iplik hafif bükülüp çözgü ipliği haline getirildikten sonra, harman ve hallaç makinasına gönderilir. Burada istenilen renk karışımına göre uygun bir karışım elde edildikten sonra tarak makinasından geçirilip çekme ve sonrada ring makinasına verilir. Ring makinasında bobin haline getirilen atkı ipliği jakarlı dokunmak (çözgülü ve atkılı dokuma) üzere battaniye dairesine getirilir. Dokuma tezgahlarında battaniye dokunur. Dokumadan çıkan battaniye ham top battaniye halindedir. Buradan tüylendirme işlemi yapılmak amacıyla şardonlama makinalarına verilir. Tüylendirilen battaniye sobadan geçirilerek son bir kurutma işleminden sonra, siparişin niteliğine göre makaslanıp battaniyenin son şeklini alması amacıyla konfeksiyonda işlenir. Daha sonra kalite kontrolü yapılarak katlanır ve ambalajlanır. Bu üniteye ait proses akım şeması Şekil 6.4’de verilmiştir.



Şekil 6.4: %50 Akrilik + %50 Pamuklu battaniye üretimi proses akım şeması

6.1.1.4 %100 Poliamid elyaf esaslı parça halı boyama (haspel boyama) üretimi:

Aminokarboksilli asitlerin veya diaminlerle dikarboksilli asitlerin polikondensasyon sonucu üretilen ve katyonik yapıya sahip ekru renkteki poliamid elyaftan dokunmuş halde gelen parça halılar, öncelikle bir ön yıkama işlemine tabi tutulurlar. Bu sırada boyamayı engelleyecek maddeler varsa uzaklaştırmak amacıyla non-iyonik yıkayıcı ilave edilir. Daha sonra Haspel Boyama makinalarına alınır. Burada boyanın halı tarafından daha kolay absorbe edilmesini sağlamak üzere gerekli pH'ı ayarlamak için formikasit ilave edilir. Ardından katyonik bazik boya yapısında olan, büyük moleküllere sahip olduğundan boyadan önce verilerek elyafın tamamını kaplayan ve kaynatma aşamasında boya molekülleri ile yer değiştirerek boyanın elyafa sıkı bir şekilde tutunmasını sağlayan ve diğer bir adı da boya frenleyici olan retarder ilave edilir. Normal bir boyamada, ilave edilen boyanın azami %10'unun dışarı atılması gerekir ki istenen renk elde edilebilsin. Boyama işlemi bittikten sonra akrilik boyamadaki gibi non-iyonik yıkayıcı ile yıkanır. Yalnız bu yıkamanın sonuna doğru anyonik yumuşatıcı ilave edilerek çıkan yarı mamüle yumuşaklık kazandırılır. Bundan sonra sobada kurutulup, talebe göre istenen hav kalınlığına göre makaslanır. Dokunmuş ipliklerin kullanım sırasında açılmalarını önlemek için lateksle sırt kaplama yapıp tıpkı diğer proseslerdeki gibi sobada kurutularak yine talebe göre istenen ebatlarda kesilerek depoya gönderilir. Bu prosesin üretim akım şeması Şekil 6.5'de verilmiştir.



Şekil 6.5: %100 Poliamid elyafesalı parça halı boyama üretim prosesi akım şeması

6.1.1.5 Akrilik elyaf esaslı boyanmış çift kat ekru triko iplik üretimi

Eskiden Aksa'dan boyalı veya boyasız olarak gelen akrilikler bu üniteye iplik haline getirilip boyanırken, şu anda fasondan sadece ekru iplik tek kat ve çift kat şeklinde hazır halde satın alınarak gerekirse boyama işlemine tabi tutulmaktadırlar. Genellikle tek kat ekru iplikler direkt olarak son kontrol ünitesinde kontrol edildikten sonra ambalajlanıp, mamul iplik deposuna gönderilirken, akrilik ve poliamid esaslı çift kat ekru iplikler ise, çilelerin boyamaya hazırlanma işlemleri için aktarma dairelerine gönderilir. Aktarma ünitesinde boyama öncesi ekru iplikler istenen metrajda çileler haline getirilip uygun çile çorabı içine alınırlar. Çile çorabı polyesterden yapılmış olup gözenekli yapıya sahiptirler. Çile boyamada genellikle fantezi iplikler boyanmaktadır. Bu tür ipliklerin bobin boyama kazanları yerine çile boyama kazanlarında boyanmasının nedeni, bobin boyama kazanlarındaki yüksek basıncın bu tür ipliklere zarar vermesidir.

Talebe göre çift kat ekru ipliklerin kimi % 100 akrilik ve kimi de %70 Akrilik + %30 Poliamid karışımı olan ve buklet ipliği olarak adlandırılan çileler haline getirilerek boya makinasına girecek çile askısına yerleştirilir. Daha sonra çile askılarındaki akrilik ve/veya poliamid esaslı yarı mamüller boyanmak üzere boyahane ünitesindeki Çile boyama kazanlarına yerleştirilirler. Burada belirli sıcaklıklarda, yarı mamülün boyayı yavaş emmesini sağlamak üzere formik asit ve retarder, istenen ürün regine göre katyonik bazik boya (akrilik elyaf için) ve asit boya ilave kazanına verilerek buradan borular vasıtasıyla boyama kazanına aktararak reaktif boyama işlemine tabi tutulur. Böylece çilelerin dizildiği kollarda bulunan delikler yardımıyla boya banyosu kazan içerisinde sirkülasyon yapar. Boya banyosu kollardaki delikler yardımıyla çileler içine püskürtülür. Geriye kalan boya banyosu tekrar tekneye döner. Boyama işlemi bu şekilde devam eder. Bunların yanında boyanmış mamülün temizlenmesini sağlamak üzere yıkayıcı (Non-iyonik), yumuşaklık kazandırmak üzere yumuşatıcı (Katyonik Yumuşatıcı) ve iplik çekimi sırasında elektriklenmeyi önlemek için de antistatik madde ilave edilir. Çile kazanlarında boyanan çilelerin suyunu uzaklaştırmak için çileler santrifüj makinasına istiflenir. İstifleme ilemi bittikten sonra makinanın kapağı kapatılır. İşlem süresi materyalin cinsine göre değişir. Akrilik karışımı mamuller 14-17 dk arasında işlem görmektedir. Makinanın çalışma hızı 1000 d/dk olacak şekilde ayarlanır. Çalışma prensibi tüm santrifüj makinalarında olduğu gibi yüksek devirli hızda

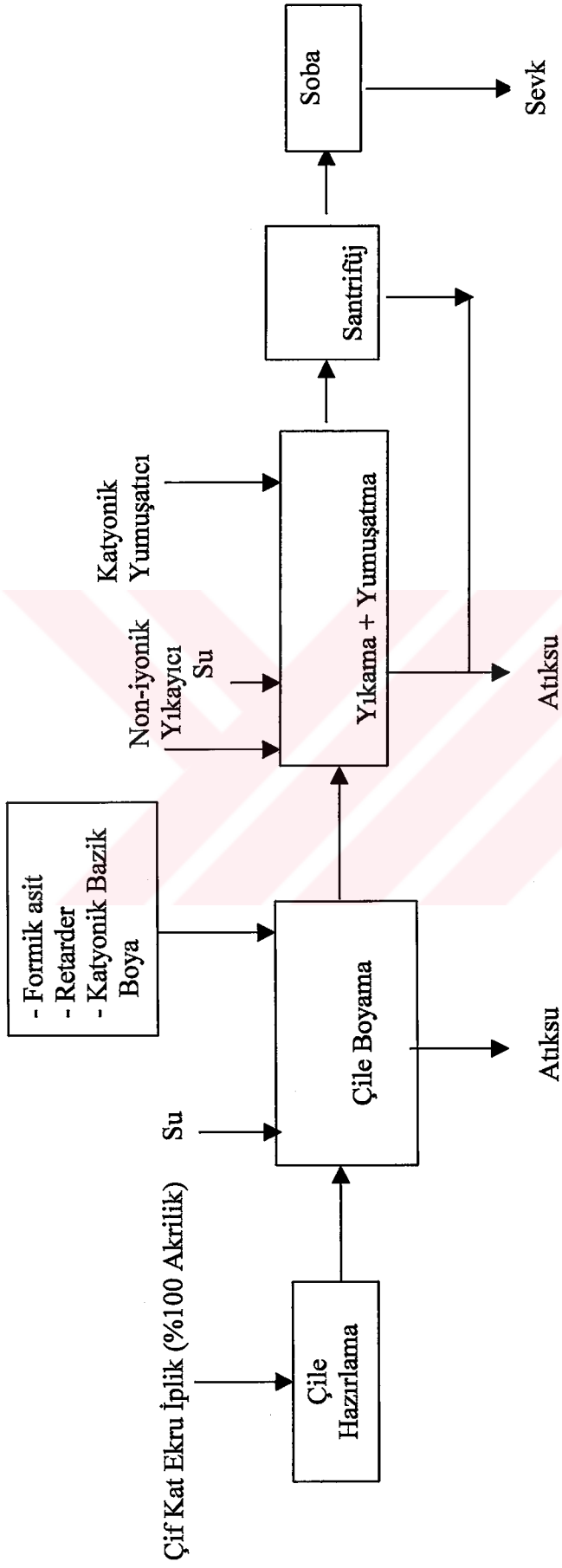
merkezkaç kuvvetinin etkisi ile tıpkı çamaşır makinalarında olduğu gibi suyun uzaklaştırılması şeklindedir. Santrifüj makinalarında çilelerin sadece suyu sıkılmakta ve tam bir kurutma işlemi yapılamamaktadır. Bu amaçla kurutma odalarında çileler sıcak hava ile 100-110 °C'de yaklaşık 1-2 saat kadar kurutulur. Bu proseslerdeki su ve kimyasal madde kullanımı ve atıksu oluşumlarına ilişkin akım şemaları Şekil 6.6'da verilmiştir.

6.1.1.6 Non-woven halı üretimi

Keçe halı veya dokumasız halı olarak da adlandırılır. BCF iplik üretimine benzer olarak İzmir Aliaga ve Belçika'dan kutu veya torba halinde getirilen polipropilen cipsler, extruder makinasına girerek yine cips halindeki pigment boyaların da ilavesi ile yüksek sıcaklıkta eritilir. Elyafın istenen incelik veya kalınlığına (DENYE) göre düzelerden geçirilerek iplik haline getirilir. Böylece dokanmaya hazır boyalı iplik elde edilmiş olur. Bu ünite de 3 renkli iplik yanında tek veya iki enkli iplik boyaması da gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca, bu üretim sırasında bir kısım polipropilen içine polietilen de katılır. UV stabilizatörü ile de halının güneş gördüğünde kopmaması için stabilize işlemi yapılır. Daha sonra krinkle makinasına gönderilerek elyafın elyafı tutması için kıvrıcıklaştırma işlemi yapılır. Bu ünite de üretilen mamuller de firma içinde çeşitli şekillerde isimlendirilmiş olup her yerde kullanılabilen türleri olduğu gibi özellikle dış ortam ve otomotiv sektöründe paspas olarak kullanılabilen tipleri de mevcuttur. Bu mamullerin teknik özellikleri Tablo 6.3'de verilmiştir.

Tablo 6.3: Non-woven halıların teknik özellikleri

TENİK ÖZELLİKLER	TİLSİM	HASIR	KİLİM	ÇELİK TABAN	TRAFİK RİPS
Hav İpiliği	%100 POLİPROPİLEN				
Toplam Yükseklik (mm)	5-5,5	4,5-5	3,5-4	12	8
Toplam Ağırlık (g/m ²)	1020	790	650	2400	1800
Top Boyutu (En*Boy) (m)	2*40	2*40	2*40	2,20*20	2,20*30



Şekil 6.6: %100 Akrilik elyaf esaslı çift kat ekru triko ipliklerini çile halinde boyama proses akım şeması

6.1.2 İncelenen tesisin su kullanımı ve atıksu oluşumu

Tablo 3.1’de belirtildiği gibi ıslak işlemlerin yürütüldüğü halı üretimi yapan endüstrileri 4 farklı ana kategoride toplamanın mümkün olacağı daha önceden belirtilmişti. İncelenen tesis bu anlamda “*Doğal Ve Sentetik Elyafı Bitmiş Halıya Dönüştürmek İçin Gerekli Boyama Ve Terbiye İşlemlerini İşleten Mekanik Proseslere Sahip Entegre Halı Üretim İşletmesi*” kategorisine girmektedir.

Tesiste işlenen elyaf türüne göre 5 alt grupta toplanan üretim proseslerindeki su kullanımı ve atıksu oluşumu ayrı ayrı incelenerek proses profilleri oluşturulmuştur. Bunlara ait veriler sırasıyla Tablo 6.4, Tablo 6.5, Tablo 6.6 ve Tablo 6.7’de sunulmuştur. Tesis yetkililerinden alınan bilgiye göre, müşterilerinin çok özel bir talebi olmadığı sürece söz konusu alt proseslerde ekipmanların çalışma prensibi gereği, boyanan materyalin ağırlığından bağımsız olarak standart bir su kullanımı söz konusudur. Dolayısıyla, boyanan materyal miktarının değişmesi ile birlikte proses profilinde hesaplanan üretime göre normalize edilmiş su kullanımı ve dolayısıyla atıksu oluşumu değerleri değişmektedir. Bu tablolarda tesisin tam kapasite çalışması durumunda gerçekleşecek su kullanımı ile buna bağlı oluşacak atıksu miktarları verilmektedir. Burada oluşacak atıksu miktarının yaklaşık olarak su kullanımına eşit olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca ıslak pres ünitesindeki su kullanımı ve atıksu oluşum miktarı tesisin genel üretim prosesinden oluşan yanında oldukça düşük kaldığından burada bu ünite için ayrıca bir proses profili tablosu düzenlenmemiştir.

Tablo 6.4: %100 Akrilik elyaf boyama prosesi proses profili

Proses	Bir şarjda boyanan Elyaf	Kazan adedi	Kazan Şarj Sayısı	Toplam Şarj Sayısı	Boyanan Toplam Elyaf	Su Kullanımı			Atıksu Oluşumu		
	(kg Elyaf /şarj)		(Şarj/Kazan/gün)	(şarj/gün)	(kg/gün)	(m ³ /şarj)	(m ³ /gün)	(l/kg Elyaf)	(m ³ /şarj)	(m ³ /gün)	(l/kg Elyaf)
Elyaf Boyama	975	3	5	15	14625	5,5	82,5	5,6	5,5	82,5	5,6
Yıkama-I	975	-	-	-	14625	5,5	82,5	5,6	5,5	82,5	5,6
Yumuşatma	975	-	-	-	14625	5,5	82,5	5,6	5,5	82,5	5,6
TOPLAM	975	3	5	15	14625	16,5	247,5	16,8	16,5	247,5	16,8

Tablo 6.5: %100 Akrilik elyaf esaslı çift kat ekru triko ipliklerinin çile halinde boyama prosesi proses profili

Proses	Bir şarjda boyanan iplik	Kazan adedi	Kazan Şarj Sayısı	Toplam Şarj Sayısı	Boyanan Toplam İplik	Su Kullanımı			Atıksu Oluşumu		
	(kg Ekru İplik/şarj)		(Şarj/Kazan/gün)	(şarj/gün)	(kg/gün)	(m ³ /şarj)	(m ³ /gün)	(l/kg İplik)	(m ³ /şarj)	(m ³ /gün)	(l/kg İplik)
Çile Boyama	300	6	5	30	9000	5	150	16,6	5	150	16,6
Yıkama-I	300	-	-	-	9000	5	150	16,6	5	150	16,6
Yumuşatma	300	-	-	-	9000	5	150	16,6	5	150	16,6
Santrifüj	300	-	-	-	9000	-	-	-	-	-	-
TOPLAM	300	6	5	30	9000	15	450	49,8	15	450	49,8

Tablo 6.6: %50 Akrilik + %50 Pamuklu iplikten battaniye üretimi proses profili

Proses	Bir şarjda boyanan iplik	Kazan adedi	Kazan Şarj Sayısı	Toplam Şarj Sayısı	Boyanan Toplam İplik	Su Kullanımı			Atıksu Oluşumu		
	(kg İplik /şarj)		(Şarj/Kazan/gün)	(şarj/gün)	(kg/gün)	(m ³ /şarj)	(m ³ /gün)	(l/kg İplik)	(m ³ /şarj)	(m ³ /gün)	(l/kg İplik)
Bobin Boyama (Akrilik kısım)	400	1	3	3	1200	5	15	12,5	5	15	12,5
Akrilik Durulama	400	-	-	-	1200	5	15	12,5	5	15	12,5
Bobin Boyama (Pamuk kısım)	400	-	-	-	1200	5	15	12,5	5	15	12,5
Pamuk Soğuk yıkama - I	400	-	-	-	1200	5	15	12,5	5	15	12,5
Pamuk Yıkama – II	400	-	-	-	1200	5	15	12,5	5	15	12,5
Pamuk yıkama – III	400	-	-	-	1200	5	15	12,5	5	15	12,5
Pamuk Durulama	400	-	-	-	1200	5	15	12,5	5	15	12,5
Asitleme ve Yumuşatma	400	-	-	-	1200	5	15	12,5	5	15	12,5
TOPLAM	400	1	3	3	1200	40	120	100	40	120	100

Tablo 6.7: %100 Poliamid elyaf esaslı parça halı boyama üretim prosesi proses profili

Proses	Bir şarjda boyanan Halı	Kazan adedi	Kazan Şarj Sayısı	Toplam Şarj Sayısı	Boyanan Toplam Ekru Halı	Su Kullanımı			Atıksu Oluşumu		
	(kg Ekru Halı/şarj)		(Şarj/Kazan/gün)	(şarj/gün)	(kg/gün)	(m ³ /şarj)	(m ³ /gün)	(l/kg Halı)	(m ³ /şarj)	(m ³ /gün)	(l/kg Halı)
Ön Yıkama	700	1	2	2	1400	14	28	20	14	28	20
Boyama ve Yumuşatma	700	-	-	-	1400	14	28	20	14	28	20
TOPLAM	700	1	2	2	1400	28	56	40	28	56	40

6.1.3 İncelenen tesisin üretim ve atıksu miktarlarının üretim ve atıksu miktarlarının alt prosesler bazında genel değerlendirmesi

Bu tesise ait alt proseslerden oluşan atıksuların üretim içindeki genel durumuna bakılarak yapılan değerlendirme Tablo 6.8’de sunulmuştur. Çalışmanın bundan sonraki adımlarında yürütülecek olan biyolojik arıtılabilirlik esaslı karakterizasyon çalışmalarında, tesiste kullanılan dominant renk grubuna bağlı olarak atıksu örneklerinin alınıp bu örnekler üzerinde çalışmalar yürütülmesi hedeflenmiştir.

Tablo 6.8 incelendiğinde, genel üretim bazında % 64'lük pay ile en fazla akrilik esaslı elyafların boyandığı ve bunu takiben de sırasıyla %50 Akrilik + %50 Pamuklu İplik ile Poliamid esaslı elyafların boyandığı tespit edilmiştir. Su tüketimine bakıldığında ise, yine en fazla payın %50 Akrilik + %50 Pamuklu İplik boyama prosesinden sonra akrilik esaslı elyafların boyama proseslerinden geldiği ve bunu poliamid parça halı boyama prosesinin izlediği görülmüştür. Akrilik elyaf boyama prosesinde cut-pile halı üretim prosesinin akrilik elyaf üretimindeki payı üretim bazında %12 ve atıksu oluşturma bazında %11’lerdeyken, genel üretim içindeki payının sırasıyla üretim bazında %12 ve atıksu oluşturma bazında %4,2 gibi düşük bir değere sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Fabrika içinde geçmiş 2 yıllık üretim kapasiteleri göz önüne alınarak kullanılan boya miktarları değerlendirildiğinde; yine akrilik esaslı elyafların boyamasında kullanılan boya miktarının, genel üretimde tüketilen miktarın % 12'sini oluşturduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6.8: İncelenen tesisin üretim ve atıksu miktarlarının alt prosesler bazında genel değerlendirmesi

PROSES	Ortalama Üretim (kg/gün)	Genel Üretim Bazında Prosesin Üretimdeki %'si (%)	Alt Prosesler Bazında Prosesin Üretimdeki %'si (%)	Atıksu Oluşumu (m ³ .gün ⁻¹)	(lt/kg)	Toplam Atıksu Bazında Prosesin Atıksu Oluşumu içindeki %'si (%)	Alt Prosesler Bazında Prosesin Atıksu Oluşumu içindeki %'si (%)
AKRİLİK ELYAF							
Cut-Pile Halı	577	12	19	9,7	16,8	4,2	10,6
İplik Çile	1231	26	40,5	61,3	49,8	26,4	66,8
Battaniye	1231	26	40,5	20,7	16,8	8,9	22,6
ARA TOPLAM	3039	64	100	91,7		39,5	100
POLİAMİD ELYAF							
Cut-Pile Halı	442	9,3	87,5	17,7	40	7,6	87,6
Çile	63	1,3	12,5	2,5	40	1,1	12,4
ARA TOPLAM	505	10,7	100	20,2		8,7	100
PAMUKLU İPLİK (%50 Akriklik Elyaf + %50 Pamuk Elyaf)							
Battaniye	1200	25,3	100	120	100	51,8	100
ARA TOPLAM	1200	25,3				51,8	
GENEL TOPLAM	4744	100		232		100	

Ayrıca, proseslerde boyaların renk türüne göre tüketim miktarlarına bakıldığında; akrilik elyaf boyama prosesinde orta ve koyu rengin daha ağırlıkta işlendiği, polyamid elyaf esaslı parça halı boyama prosesinde ise % 59 oranı ile açık renk boyamanın hakim olduğu, pamuk elyaf prosesinde ise yine % 40 oranında açık renk hakim olmakla birlikte % 30 oranında koyu ve orta renklerin de boyandığı görülmektedir. Genel üretim içindeki renk yüzdelere bakıldığında ise, yine orta ve koyu rengin açık renge göre daha ağırlıklı olduğu tespit edilmiştir.

6.1.4 İncelenen tesisin üretim proseslerinde kullanılan kimyasal maddeler ve özellikleri

İncelenen tesisin üretim proseslerinde kullanılan kimyasalların özellikleri aşağıda sırasıyla açıklanmıştır;

Retarder; Benzil klorit + Kokoetilen diamin'in kondensasyon ürünüdür. Aynı katyonik boya yapısında kimyasal bir maddedir. Boya frenleyici anlamındadır. Görevi; büyük moleküler bir yapıya sahip olduğundan önce elyaf üzerine yapışır.

Proseste kaynamaya doğru gidildikçe boya molekülleri ile yer değiştirerek atıksuya karışır. Eğer retarder verilmezse boya hızla elyafa bağlanır ve bu durumda abraj denilen istenmeyen düzensiz boyama meydana gelir. Genellikle anyonik yapıya sahip olan her türlü akrilik elyafın boyanmasında kullanılır. Retarder eksik olursa boya kazanının kefesinin ortasındaki elyaf koyu renk dışı ise açık renk olur. Eğer retarder fazla olursa da boya elyafa çektirilemez, renk tutmaz ve açık olur. Bu durumda banyoya boya ilave edilmesi halinde ise, boya elyaf tarafından tutulamaz ve atıksuya karışır. Normal boyamada ilave edilen boyanın yaklaşık %10'nun dışarı atılması istenir ki istenen renk elyaf üzerinde tutturulabilsin.

Kasyonik Bazık Boya; Bunlar organik bazların genellikle hidroklorürü şeklinde bulunurlar. Yani renkli kısım kation halinde olup $[B.M.NH_3]^+Cl^-$ genel forülüyle gösterilebilirler. Eskiden yün ve pamuk boyar maddesi olarak kullanılan bu boyar maddeler günümüzde akrilik (Poliakrilonitril) elyaf boyamasında büyük önem kazanmışlardır.

Anyonik Asidik Boya; Direkt boyar maddeler gibi sülfonik asitlerin veya çok ender olarak karboksili asitlerin sodyum tuzu şeklindedirler. İstisnaları olmakla birlikte çoğunun selülozik elyafa karşı ilgisi yoktur. Başlıca protein ve poliamid elyafın boyanmasında tercih edilirler.

Non-İyonik Yıkayıcı (İslatıcı); Etoksile yağ alkolleri ve özel yüzey aktiflerin sinerjik karışımıdır. Elyaftaki safsızlıkları çözerek elyafın daha hidrofil olmasını sağlar. Asitlere, alkalilere, sert sulara, elektrolit çözeltilere, indirgen ve yükseltgen maddelere dayanıklıdır. Aromatik bir grup içermediğinden suda kolay parçalanabilir.

Kasyonik Yumuşatıcı; Kasyonik karbamid türevidir. Elyafı zıt yüke sahip olduğundan, elyafı reaksiyona girerek yumuşamasını sağlar. Genelde amid yapıda olurlar. Düz yağ asitleri içerdiklerinden dolayı kolayca parçalanabilirler. Akrilik elyaf boyamada, boyar madde ile beraber banyoya ilave edilebilir. Boyamanın çekirme metoduna göre yapıldığı yerlerde boya banyosuna %2-4 oranında ilave edilir.

Egaliz Maddesi; Bu tekstil yardımcı maddesi, 20-25 °C'de boyar madde moleküllerine bağlanıp daha yüksek sıcaklıklarda ayrıldıklarından dolayı, düşük sıcaklıklarda boyanın çekim hızını düşürerek düzgün boyama sağlarlar. Boyar madde ile retarderin yapısına benzer bir yapıda olan bu maddeler elyaf ile temasa geçtiklerinde tekrar bileşenlerine ayrılarak boyar maddeyi serbest hale geçirirler. Böylece çekim hızı düşmüş olacağından düzgün boyama elde edilir. Eskiden egalize

maddesi olarak piridin kullanılıyordu. Daha sonra bunun yerini yüzey aktif maddeler almıştır. Günümüzde daha çok sülfürik asitin uzun zincirli alkilerle oluşturduğu esterler veya sülfonik asitler kullanılmaktadır. Ancak bu tip maddeler boyar maddenin bir kısmını bağlayarak elyaf tarafından çekimini önlediklerinden elde edilen boyamanın şiddeti, bunlar olmaksızın yapılan boyamanın şiddetinden düşük olur. Buna engel olmak için boyamaya başladıktan yaklaşık yarım saat sonra anyonik yapıya sahip uygun bir egaliz maddesi banyoya ilave edilir. Bu madde banyoda katyonik yapıdaki retarder ile birleşmeyi tercih edeceğinden boyar maddeyi serbest bırakır. Katyonik yapıya sahip Poliamid elyafın boyanmasında kullanılan egaliz maddesi ise genellikle non-iyonik – katyonik yapıda olanların kullanımı tercih edilmektedir.

- ASTRAGAL PAN (3300) : Akrilik boyamada Retarder olarak kullanılmakta.
Alkil metil amonyum klorür içeriyor.
Biyolojik ayrışabilirliği > %80.
KOİ = 2070 mg/gr
- ASTROZAN GOLD GELB (143/A) : Akrilik boyamada Katyonik Bazik Boya olarak kullanılmakta.
Biyolojik ayrışabilirliği < %10
KOİ = 1030 mg/gr
- ASTROZAN ROT 5 BL (893/A) : Akrilik boyamada Katyonik Bazik Boya olarak kullanılmakta.
Biyolojik ayrışabilirliği < %10
KOİ = 924 mg/gr
- ASTROZAN BLAU BG (1395/A) : Akrilik boyamada Katyonik Bazik Boya olarak kullanılmakta.
Biyolojik ayrışabilirliği < %10
KOİ = 830 mg/gr
- ASTROZAN VİOLET (2144) : Akrilik boyamada Katyonik Bazik Boya olarak kullanılmakta.
Biyolojik ayrışabilirliği < %10

- EGALİZ O.L (3538) :Tüm proseslerde Non-iyonik yıkayıcı olarak kullanılmakta.
Alkilfenolglolikol eter yapısındadır.
Biyolojik ayrışabilirliği $\geq \%90$
- AKSOFT-S.C (3438) : Akrilik boyamada Katyonik yumuşatıcı olarak kullanılmakta.
Biyolojik ayrışabilirliği $\geq \%80$
- LEVEGAL LPA (3532) : Poliamid esaslı parça halı boyamada egaliz malzemesi olarak kullanılmakta.
Alkilarilaminopoliglikoleter yapısındadır.
Biyolojik ayrışabilirliği $< \%10$
(BOİ₅/KOİ) = $\%25-50$
TOK = 256 mg/gr
KOİ = 775 mg/gr
Bakteri inhibisyonu EC₅₀ > 100 mg/l (%50)
- TELON YELLOW RLN MICRO (142) : Poliamid esaslı parça halı boyamada Anyonik asidik boya olarak kullanılmakta.
Ağır metal içermiyor.
Ötröfikasyona katkıda bulunabilecek azot Bileşikleri açığa çıkarmıyor.
Fosfat ve organofosfor bileşikleri içermiyor.
Biyolojik ayrışabilirliği $\%25-50$
TOK = 448 mg/gr
KOİ = 1100 mg/gr
Bakteri inhibisyonu EC₅₀ > 100 mg/l
AOX'e katkısı max. $\%6$

- TELON RED FRL MICRO (896) : Poliamid esaslı parça halı boyamada
Anyonik asidik boya olarak
kullanılmakta.
Ağır metal içermiyor.
Ötöfikasyona katkıda bulunabilecek
azot bileşikleri açığa çıkarmıyor.
Fosfat ve organofosfor bileşikleri
içermiyor.
Biyolojik ayrışabilirliği %10-25
Bakteri inhibisyonu EC50>1000 mg/l
AOX'e katkısı yok
- TELON BLUE GGL (1496) : Poliamid esaslı parça halı boyamada
Anyonik asidik boya olarak
kullanılmakta.
Biyolojik ayrışabilirliği < %10
Bakteri inhibisyonu EC50> 100 mg/l
KOİ = 1210 mg/gr
AOX'e katkısı yok
- SYNTRAPRET TV (3425) : Poliamid esaslı parça halı boyamada
anyonik yumuşatıcı olarak
kullanılmakta.
Alkildiketen içeriyor.
Biyolojik ayrışabilirliği %10-25
Bakteri inhibisyonu EC50> 100 mg/l
KOİ = 47 mg/gr
BOİ₅ = 9 mg/gr
AOX'e katkısı yok

- TANALUBE FF (3900)

: Poliamid esaslı parça halı boyamada
kaydırıcı malzeme olarak kullanılmakta.
Modifiye edilmiş akrilik polimer
içeriyor.

Biyolojik ayrışabilirliği %10-25

Bakteri inhibisyonu EC50> 2500 mg/l

KOI = 18 mg/gr

BOİ₅ = 1 mg/gr

- T.C. ENDSCHUNAHHER (3800)

: Poliamid esaslı parça halı boyamada
köpük kesici olarak kullanılmakta.

Hidrokarbon karışımı yağlı alkol ve
amin etoksilatları içeriyor.

Biyolojik ayrışabilirliği >%80

Bakteri inhibisyonu EC50> 100 mg/l

KOI = 2905 mg/gr

Ağır metal içermiyor

AOX'e katkısı yok

7. DENEYSEL SONUÇLAR

7.1 İncelenen Tesisin Al Prosesler Bazında Karakterizasyonu

Bu karakterizasyon çalışması ile; al prosesler bazında atıksuda KOİ bazında en fazla kirliliği oluşturan kaynakların tespit edilmesi hedeflenmiştir. Buradan elde edilen bilgiler ve al proseslerin genel üretim içinde gerek üretim ve gerekse atıksu oluşturması bakımından önemi irdelenerek çalışmanın bundan sonraki saflarında üzerinde yoğunlaşılması gereken al prosesler tespit edilmiştir. Bu çerçevede aynı gün içinde her bir al prosesin her bir adımında işlem bittikten sonra yapılan 2-3 dk'lık boşalmalar esnasında boşalmanın başlangıcı, ortası ve sonunda numuneler alınarak karıştırılmış ve konvansiyonel parametreler bazında karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Bunlara ilişkin veriler Tablo 7.1, Tablo 7.2, Tablo 7.3, Tablo 7.4, Tablo 7.5, Tablo 7.6, Tablo 7.7 ve Tablo 7.8'de sunulmuştur. İncelenen tesise ait genel üretim bazında kirlilik değerlendirmesi ise Tablo 7.9'da sunulmuştur.

Tablo 7.1: %100 Akrilik elyaf boyama prosesi ayırık akım karakterizasyonu

Proses	pH	KOI _{Top.}	KOI _{Çöz.}	AKM	İletkenlik
		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(µs/cm)
Elyaf Boyama	2,2	1010	835	64	1850
Yıkama-I	5,9	930	490	20	1025
Yumuşatma	5,4	1490	675	35	1015
TOPLAM	4,5	1145	665	40	1300

Tablo 7.2: %100 Akrilik elyaf boyama prosesi ayırık akımların KOİ yüküne katkısı

Proses	Üretim	Atıksu Oluşumu	KOİ				Prosesin KOİ'ye Katkı Yüzdesi
	(kg Elyaf/Şarj)	(m ³)	(l/kg Elyaf)	(mg/l)	(kg)	(gr/kg Elyaf)	(%)
Elyaf Boyama	645	5,5	8,5	1010	5,5	8,5	29,2
Yıkama-I	645	5,5	8,5	930	5,1	7,9	27,1
Yumuşatma	645	5,5	8,5	1490	8,2	12,7	43,7
TOPLAM	645	16,5	26	1145	19	29	100

Tablo 7.3: %100 Akrilik elyaf esaslı çift kat ekru triko ipliklerinin çile halinde boyama prosesi ayırık akım karakterizasyonu

Proses	pH	KOİ _{Top.}	KOİ _{Çöz.}	AKM	İletkenlik
		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(µs/cm)
Çile Boyama	3	550	495	0	2060
Yıkama-I	7	95	55	0	940
Yumuşatma	7	815	720	25	825
Santrifüj	-	-	-	-	-
TOPLAM	6	485	425	10	1275

Tablo 7.4: %100 Akrilik elyaf esaslı çift kat ekru triko ipliklerinin çile halinde boyama prosesi ayırık akımların KOİ yüküne katkısı

Proses	Üretim	Atıksu Oluşumu	KOİ				Prosesin KOİ'ye Katkı Yüzdesi
	(kg İplik/Şarj)	(m ³)	(l/kg İplik)	(mg/l)	(kg)	(gr/kg İplik)	(%)
Elyaf Boyama	300	7	23,3	550	3,8	12,7	37,5
Yıkama-I	300	7	23,3	95	0,65	2,2	6,5
Yumuşatma	300	7	23,3	815	5,7	19	56
TOPLAM	300	21	70	485	10	34	100

Tablo 7.5: %100 Poliamid elyaf esaslı parça halı boyama üretim prosesi ayırık akım karakterizasyonu

Proses	pH	KOI _{Top.}	KOI _{Çöz.}	AKM	İletkenlik
		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(µs/cm)
Ön Yıkama	8	1040	700	20	925
Boyama + Yumuşatma	6,4	1840	1310	50	1660
TOPLAM	7,2	1440	1005	35	1290

Tablo 7.6: %100 Poliamid elyaf esaslı parça halı boyama üretim prosesi ayırık akımların KOİ yüküne katkısı

Proses	Üretim	Atıksu Oluşumu		KOİ			Prosesin KOİ'ye Katkı Yüzdesi
	(kg Halı/Şarj)	(m ³)	(l/kg Halı)	(mg/l)	(kg)	(gr/kg Halı)	(%)
Ön Yıkama	695	14	20,14	1042	14,6	21	36,2
Boyama + Yumuşatma	695	14	20,14	1837	25,7	37	63,8
TOPLAM	695	28	40,5	1440	40,5	58	100

Tablo 7.7: %50 Akrilik + %50 Pamuklu iplikten battaniye üretimi proses %50 akrilik + %50 pamuklu iplikten battaniye üretim prosesi ayırık akımların karakterizasyonu

Numunenin alındığı Yer	pH	KOİ		AKM	İletkenlik
		(mg/l)			
		Top.	Çöz.	(mg/l)	(µs/cm)
Bobin Boyama(Akrilik Kısım)	4,4	3160	2915	17	2930
Akrilik Durulama	6,4	265	205	24	1235
Bobin Boyama (Pamuk Kısımı)	10,9	3720	2560	1000	36700
Pamuk SoğukYıkama-I	10,1	2830	2210	100	2630
Pamuk Yıkama-II	9,3	755	625	10	1507
Pamuk Yıkama-III	9,3	695	585	10	1510
Pamuk Durulama	5,7	270	220	20	1155
Asitleme+Yumuşatma	4,1	1690	1400	20	1355
TOPLAM	7,5	1670	1340	150	6130

Tablo 7.8: %50 Akrilik + %50 Pamuklu iplikten battaniye üretimi proses%50 akrilik + %50 pamuklu iplikten battaniye üretim süreci ayrı ayrı akımlarının KOİ yüküne katkısı

Prosesler	Boyanan İplik (kg)	Atıksu Oluşumu		KOİ			
		(m ³)	(l/kg İplik)	(mg/l)	(kg)	(g/kg İplik)	(%)
Akrilik Boyama	1200	15	12,5	3160	47,4	39,5	23,2
Akrilik Durulama	1200	15	12,5	265	3,95	3,3	1,94
Pamuk Boyama	1200	15	12,5	3720	55,75	46,5	27,4
Pamuk Soğuk Yıkama-I	1200	15	12,5	2830	45,5	37,85	22,3
Pamuk Yıkama-II	1200	15	12,5	755	11,30	9,40	5,6
Pamuk Yıkama-III	1200	15	12,5	695	10,5	8,7	5,16
Pamuk Durulama	1200	15	12,5	270	4,1	3,4	2
Asitleme + Yumuşatma	1200	15	12,5	1690	25,4	21,1	12,4
TOPLAM	1200	120	100	1672	204	170	100

Tablo 7.9: İncelenen tesise ait üretim proseslerinin KOİ yüküne katkısının genel değerlendirilmesi

Proses	Üretim	Atıksu Oluşumu		KOİ			Prosesin KOİ'ye Katkı Yüzdesi
	(kg Elyaf)			(mg/l)	(kg)	(gr/kg Elyaf)	
AKRİLİK HALI							
Elyaf Boyama	645	5,5	8,5	1010	5,5	8,5	29,2
Yıkama-I	645	5,5	8,5	930	5,1	7,9	27,1
Yumuşatma	645	5,5	8,5	1490	8,2	12,7	43,7
TOPLAM	645	16,5	26	1145	19	29	100
AKRİLİK ÇİLE	(kg İplik)		(l/kg İplik)			(g/kg İplik)	
Elyaf Boyama	300	7	23,3	550	3,8	12,7	37,5
Yıkama-I	300	7	23,3	95	0,65	2,2	6,5
Yumuşatma	300	7	23,3	815	5,7	19	56
TOPLAM	300	21	70	485	10	34	100
POLYAMİD HALI	(kg Halı)					(g/kg Halı)	
Ön Yıkama	695	14	20,14	1042	14,6	21	36,2
Boyama + Yumuşatma	695	14	20,14	1837	25,7	37	63,8
TOPLAM	695	28	40,5	1440	40,5	58	100
BATTANIYE	(kg İplik)		(l/kg İplik)			(g/kg İplik)	
Akrilik Boyama	1200	15	12,5	3160	47,4	39,5	23,2
Akrilik Durulama	1200	15	12,5	265	3,95	3,3	1,94
Pamuk Boyama	1200	15	12,5	3720	55,75	46,5	27,4
Pamuk Soğuk Yıkama-I	1200	15	12,5	2830	45,5	37,85	22,3
Pamuk Yıkama-II	1200	15	12,5	755	11,30	9,40	5,6
Pamuk Yıkama-III	1200	15	12,5	695	10,5	8,7	5,16
Pamuk Durulama	1200	15	12,5	270	4,1	3,4	2
Asitleme + Yumuşatma	1200	15	12,5	1690	25,4	21,1	12,4
TOPLAM	1200	120	100	1672	204	170	100

Bu tablolar incelendiğinde, özellikle pamuklu iplikten battaniye üretiminden oluşan atıksular en yüksek kirliliğe sahip olup bunu polyamid, akrilik ve çile boyama prosesleri takip etmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda, tesisin üretim prosesleri içerisinde halı üretiminde kullanılmak üzere boyanan akrilik elyaf ve tesis içinde ekru iplikten dokunarak elde edilen poliamid elyaf esaslı parça halının boyanması prosesleri dikkate alınarak, bu endüstriyel sistem içerisindeki akrilik elyaf boyama alt prosesi ile Poliamid elyaf esaslı parça halı boyama alt proseslerine ait ayrık akımlar bu anlamda biyolojik arıtılabilirlik esaslı detaylı bir karakterizasyona tabi tutulmuştur.

7.1.1 Seçilen alt proseslerin detaylı karakterizasyonu

İncelenen tesisin üretim prosesleri içerisinde akrilik elyaf ve poliamid parça halı boyama proseslerinde boyanan elyaf ve parça halıların halı üretimi amaçlı kullanıldığı dikkate alınarak, bu endüstriyel sistem içerisindeki akrilik elyaf boyama alt prosesi ile poliamid parça halı boyama alt proseslerine ait ayrık akımlar bu anlamda detaylı bir biyolojik arıtılabilirlik esaslı karakterizasyona tabi tutulmuştur.

Bu çerçevede, her iki alt prosesin açık, orta ve koyu renk sınıfına giren (Poliamid parça halı boyama alt prosesinde sadece açık ve orta renk var) boyama reçetelerinin uygulandığı proseslerin her bir ayrık akımından numuneler alınmış ve her bir akımın ayrı ayrı karakterizasyonu yapılmıştır. Ayrıca her bir procesten oluşan atıksu akımları ile orantılı olarak kompozit numuneler hazırlanmış ve hazırlanan bu kompozit numunenin de karakterizasyonu yapılmıştır. Bunlara ait bilgiler sırasıyla Tablo 7.10, Tablo 7.11, Tablo 7.12, Tablo 7.13, Tablo 7.14, Tablo 7.15, Tablo 7.19, Tablo 7.20, Tablo 7.21, Tablo 7.22 ve Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.6'da sunulmuştur.

7.1.1.1 Akrilik elyaf boyama alt prosesi karakterizasyonu

Akrilik boyama prosesinin açık, orta ve koyu renklerini temsil eden atıksu karakterizasyon değerleri incelendiğinde, koyu rengin aksine açık renk boyama prosesinde gerek ayrık akımlar ve gerekse kompozit numune bazında en yüksek KOİ değeri gözlenmiştir. Bunun nedeninin bu reçetede kullanılan ve KOİ değeri yüksek olan yardımcı kimyasalların miktarının diğer reçetelere kıyasla daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tesiste akrilik boyamada kullanılan boya tüketimlerine bakıldığında en fazla tüketimin orta ve koyu renkler üzerine

yoğunlaştığı görüldüğünden, biyolojik artırılabilirlik esaslı karakterizasyon çalışmalarında koyu renk boyama (Koyu Lacivert- 6525) prosesinden oluşan atıksular incelenmiştir. Karakterizasyon değerleri bazında KOİ/N/P oranı yaklaşık 645/10/1 olduğu görülmüştür..

Tablo 7.10: Akrilik elyaf boyama prosesi reçeteleri

Madde	Açık Renk (KEMİK) (09/07/2003)		Orta Renk (K.Jat) (21/04/2003)		Koyu Renk (Lacivert- 6525) (19/09/2003)		Koyu Renk (Bordo) (01/08/2003)		Koyu Renk (Lacivert- 6524) (12/12/2003)	
Boya	145/B 993/A 1492/A	16 gr 8 gr 12 gr	143/A 893/A 1395/A	235 gr 103 gr 2548 gr	145/B 2144 1492/A	404 gr 1029 gr 8127 gr	145/B 2144 1492/A	1071 gr 2193 gr 551 gr	145/B 893/A 1492/A	189 813 3139
Formik Asit	3884	3500 gr	3300 gr		3300 gr		3300 gr		2700 gr	
Astragal PAN Retar.	3300	180000 gr	2200 gr		2200 gr		2200 gr		4000 gr	
Egaliz	3538	8000 gr	11000 gr		11000 gr		11000 gr		9000 gr	
Aksoft yumuşatıcı	3438	5000 gr	19350 gr		19350 gr		19350 gr		12900 gr	
(1/kg Elyaf)	1000 kg elyaf	11 l/kg Elyaf	645 kg elyaf	26 l/kg Elyaf	645 kg elyaf	26 l/kg Elyaf	645 kg elyaf	26 l/kg Elyaf	430 kg Elyaf	31 l/kg Elyaf

Tablo 7.11: Açık, orta ve koyu renk akrilik elyaf boyama prosesi atıksularının KOİ bazında karakterizasyonu

Proses	Açık Renk (KEMİK) (09/07/2003)		Orta Renk (K.Jat) (21/04/2003)		Koyu Renk (Lacivert-6525) (19/09/2003)		Koyu Renk (Bordo) (01/08/2003)		Koyu Renk (Lacivert-6524) (12/12/2003)	
	COD	CODSol	COD	CODSol	COD	CODSol	COD	CODSol	COD	CODSol
Boyama	2010	1660	1010	835	955	755	805	430	770	665
Durulama	-	-	930	490	620	270	680	240	415	230
Yumuşatma	845	410	1490	675	835	135	905	155	1465	620
Kompozit	1440	1035	1145	665	775	385	800	275	835	505

Tablo 7.12: Açık, orta ve koyu renk akrilik elyaf boyama prosesi atıksularının ayrık akım bazında detaylı karakterizasyonu

	AÇIK RENK (KEMİK)						ORTA RENK (K.Jat)						KOYU RENK (Bordo* ve Lacivert)					
	pH	KOİ (mg/l)		AKM	TDS	EC (µs/cm)	pH	KOİ (mg/l)		AKM	TDS	EC (µs/cm)	pH	KOİ	AKM	TDS	EC	
Yer		Tot.	Sol.	(mg/lt)	(mg/lt)	(µs/cm)		Tot.	Sol.	(mg/lt)	(mg/l)	(µs/cm)		Tot.	Sol.	(mg/l)	(µs/cm)	
Islak Pres Rögari	6,3	3350	1410	90	530	830	6,3	3350	1410	90	530	830	6,3	3350	1410	90	530	830
Boyama Kazanı	6,1	2010	1660	130	1090	1625	2,2	1010	835	65	1240	1850	6,3*	805*	430*	20*	890*	1390*
													-	-	-	-	-	-
													4,5	955	755	70	1450	2260
Durulama	-	-	-	-	-	-	5,9	930	490	165	690	1025	6,6*	680*	240*	145*	745*	1165*
													-	-	-	-	-	-
													6,3	620	270	120	905	1415
Yumuşatma	6,8	845	410	85	890	1330	5,4	1490	675	440	680	1015	6,8*	905*	155*	253*	685*	1065*
													-	-	-	-	-	-
													6,6	835	135	250	745	1160
Kompozit	6,4	1440	1035	110	990	1480	5,3	1145	665	225	870	1300	6,2*	800*	275*	140*	775*	1210*
													-	-	-	-	-	-
													6,8	775	385	150	1035	1610

Tablo 7.13: Koyu renk (lacivert-6525) cut-pile halı veya battaniye üretimi için %100 akrilik elyaf boyama prosesi ve kirlenme profili

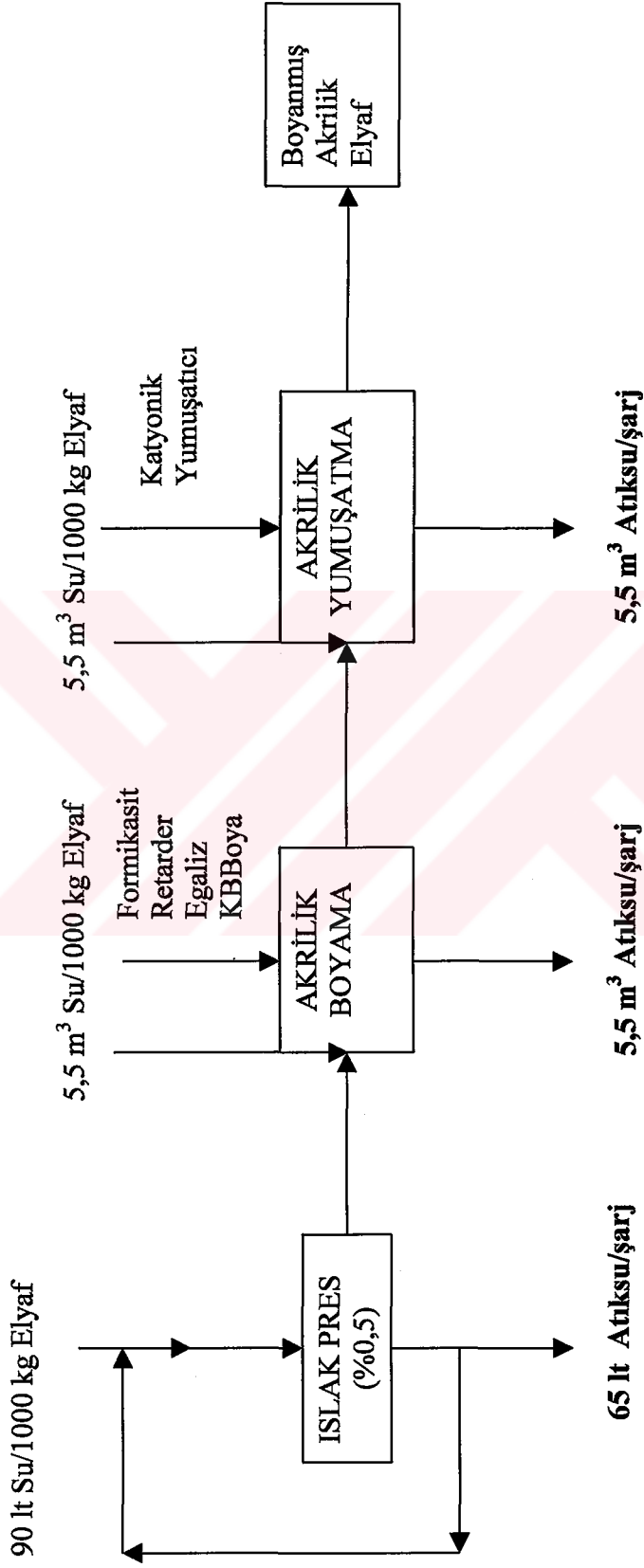
Prosesler	Boyanan Elyaf (kg)	Su Kullanımı		Atıksu Oluşumu		KOİ		Proseslerin Kirliliğe Katkı %'si
		(l/kg Elyaf)	(m ³)	(l/kg Elyaf)	(m ³)	(mg/l)	(kg)	
Islak Pres	645	0,14	0,09	0,10	0,06	1725	0,10	0,16
Elyaf Boyama	645	8,5	5,5	8,5	5,5	955	5,2	8,1
Durulama	645	8,5	5,5	8,5	5,5	620	3,4	5,3
Yumuşatma	645	8,5	5,5	8,5	5,5	835	4,6	7,1
TOPLAM	645	26	17	26	17	810	13,5	21
								100

Tablo 7.14: Orta renk (k,jat) cut-pile halı veya battaniye üretimi için %100 akrilik elyaf boyama prosesi ve kirlenme profili

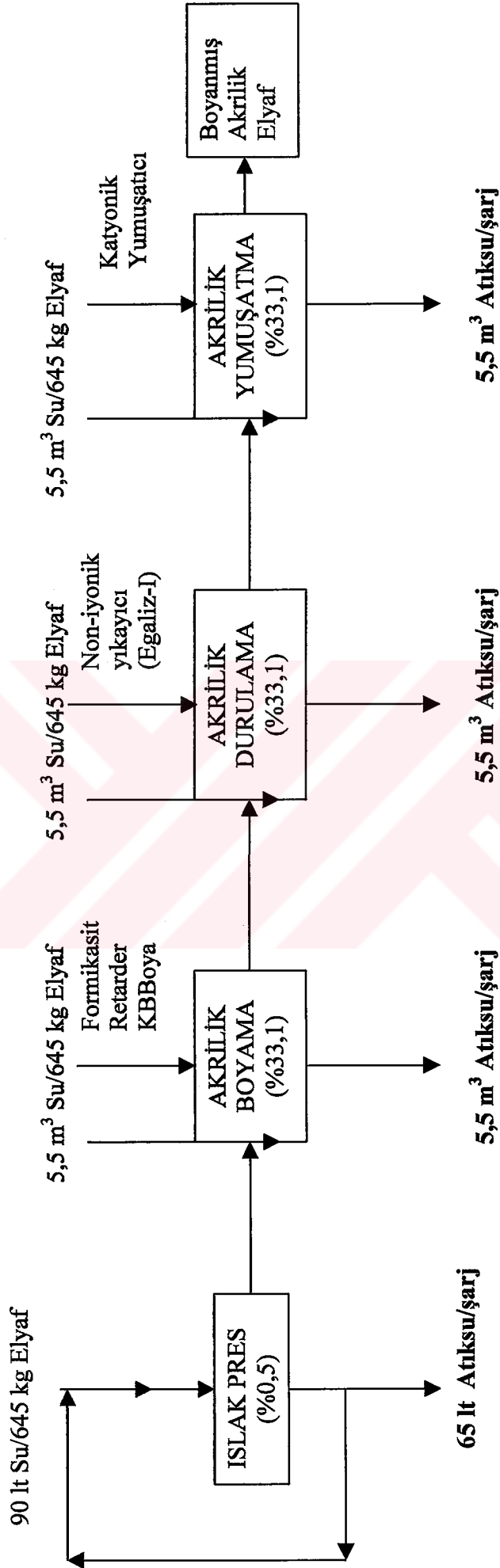
Prosesler	Boyanan Elyaf (kg)	Su Kullanımı		Atıksu Oluşumu		KOİ		Proseslerin Kirliliğe Katkı %'si
		(l/kg Elyaf)	(m ³)	(l/kg Elyaf)	(m ³ /gün)	(mg/l)	(kg/gün)	
Islak Pres	645	0,14	0,09	0,10	0,06	1725	0,10	0,16
Elyaf Boyama	645	8,5	5,5	8,5	5,5	1010	5,6	8,7
Durulama	645	8,5	5,5	8,5	5,5	930	5,1	7,9
Yumuşatma	645	8,5	5,5	8,5	5,5	1490	8,2	12,7
TOPLAM	645	26	17	26	17	1145	19	30
								100

Tablo 7.15: Açık renk (kemik) cut-pile halı veya battaniye üretimi için %100 akrilik elyaf boyama prosesi ve kirlenme profili

Prosesler	Boyanan Elyaf (kg)	Su Kullanımı		Atıksu Oluşumu		KOİ		Proseslerin Kirliliğe Katkı %'si
		(l/kg Elyaf)	(m ³)	(l/kg Elyaf)	(m ³)	(mg/l)	(kg/gün)	
Islak Pres	1000	0,09	0,09	0,065	0,065	1725	0,11	0,7
Elyaf Boyama	1000	5,5	5,5	5,5	5,5	2010	11,1	69,8
Durulama	-	-	-	-	-	-	-	-
Yumuşatma	1000	5,5	5,5	5,5	5,5	845	4,65	29,5
TOPLAM	1000	11,1	11,1	11,1	11,1	1430	16	100



Şekil 7.1: Açık renk kesikli dokumalı (cut pile) halı veya battaniye üretimi için %100 akrilik elyaf boyama prosesi akım şeması



Şekil 7.2: Orta ve koyu renk kesikli dokumalı (cut pile) halı veya battaniye üretimi için %100 akrilik elyaf boyama prosesi akım şeması

7.1.1.2 Akrilik elyaf boyama prosesi (orta renk-k.jat) ayırık akımlarının kesikli biyolojik arıtılabilirlik çalışması sonuçları

Konvansiyonel karakterizasyon sonuçları incelendiğinde özellikle %100 Akrilik elyaftan Cut-Pile halı veya Battaniye üretim prosesinin öncelikli olarak ayrıntılı bir biçimde incelenmesine karar verilmiştir. Buna göre özellikle akrilik elyaf boyama prosesi üretim akım şemalarından da görüleceği gibi, Akrilik durulama karakterizasyon sonuçlarına bakıldığında bu akıma karakteri itibarıyla REUSE uygulamanın anlamlı olacağı düşünülmüştür. Diğer yandan özellikle boyama ve yumuşatma adımları karakterizasyonlarına bakıldığında bunların özellikle KOİ bazında kuvvetli bir karakter sergilediği görülmüştür. Bu çerçevede söz konusu fabrikanın dengeleme ünitesinden alınan atıksularla beslenerek aklime edilmiş aktif çamurdan bir miktar alınarak bu üretim prosesinin ayırık akımları birleştirilerek hazırlanan kompozit atıksu ile 10 gün boyunca beslenmiş ve kararlı dengeye ulaştığı görüldükten sonra da bu üretim prosesine ait kompozit atıksu, boyama prosesi atıksuyu ve yumuşatma prosesi atıksuyu ile bir günlük kesikli biyolojik arıtılabilirlik çalışması yürütülmüştür. Bu çalışmada söz konusu akrilik boyama üretimine ait genel kompozit, boyama akımı ve yumuşatma akımına ait atıksulardan 2 lt alınarak aynı biyokütle karışımından alınan çamur ile aşılama yapılmış ve gerekli besi maddesi ilaveleri de yapılarak her üç akıma ait arıtılabilirlik çalışması paralel şekilde eş zamanlı olarak yürütülmüştür. Bu çerçevede başlangıçtan itibaren bu reaktörlerin tam karışımından 30 dk'da bir 15-20 ml numune alınarak 24 saat boyunca toplam KOİ ve çözülmüş KOİ değerleri ölçülmüştür. Bu çalışmaya ait detaylar ve çalışma sonuçları sırasıyla Tablo 7.16, Tablo 7.17, Tablo 7.18 ve Şekil 7.3, Şekil 7.4 ve Şekil 7.5 'te sunulmuştur. Ayrıca her bir reaktöre çamur aşılması yapılmadan önce 1 saat boyunca 30 sn aralıklarla 5 dakika süreyle, bu çalışmada kullanılacak aşı çamurdan numuneler alınarak içsel solunum yapması halinde oksijen tüketim hızı ölçülmüş ve 6,5 mg O₂/lt saat değerinde sabit kaldığı tespit edilmiştir.

Tablo 7.16: Kesikli biyolojik arıtılabilirlik uygulanan akrilik elyaf boyama prosesi (orta renk-k.jat) ayırık akımlarının konvansiyonel karakterizasyonu

Parametre	Birim	Tesis				
		Islak Pres	Boyama	Durulama	Yumuşatma	Kompozit
Toplam KOİ	mg/L	3350	1010	930	1490	1145
Çöktürülmüş KOİ	mg/L	-	-	-	-	-
Filtrelenmiş KOİ ^a	mg/L	-	-	-	-	680
Filterelenmiş KOİ ^b	mg/L	1410	835	490	675	665
AKM ^a	mg/L	90	65	20	35	25
AKM ^b	mg/L	-	65	165	440	225
TDS	mg/L	530	1240	690	680	870
EC	(µs/cm)	830	1850	1025	1015	1300
pH		6,3	2,2	5,9	5,4	5,3
TKN	mg/L	-	-	-	-	12
NH ₃ -N	mg/L	-	-	-	-	7
TP	mg/L	-	-	-	-	0,1
Renk ^b	λ = 436 nm	-	-	-	0,004	0,009
	λ = 525 nm	OD ^c	0,007	0,002	0,002	0,005
	λ = 620 nm	OD ^c	0,004	0,0015	0,042	0,063

^a Cam elyaf filtreden süzülen numuneler (Millipore AP40, pore size = 1.2~1.6 µm, Millipore, MA).

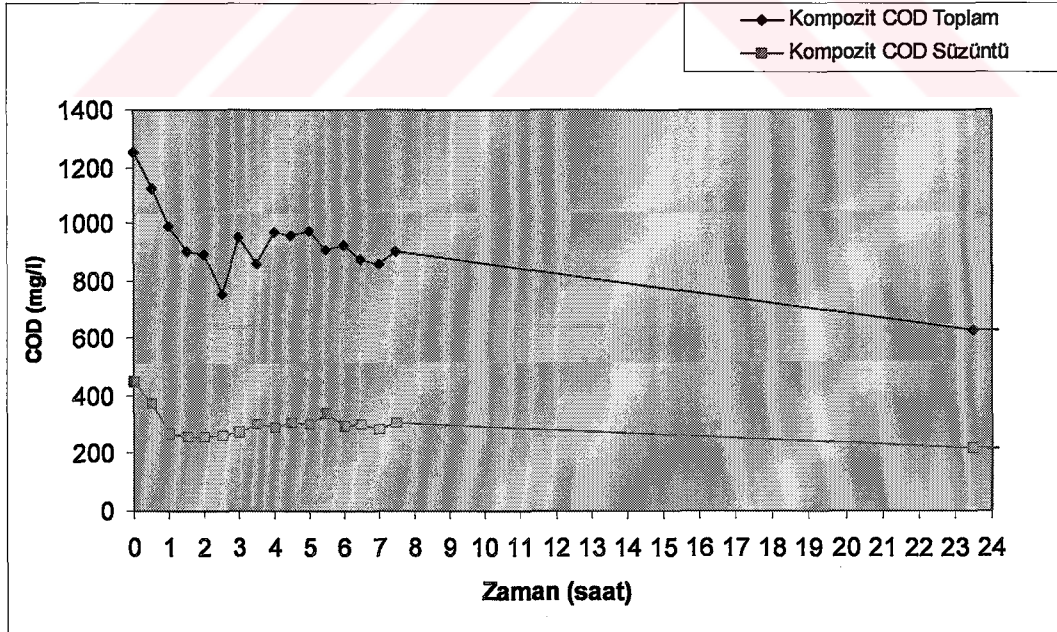
^b PVDF membran filtreden süzülen numuneler (Durapore® HV, pore size = 0.45 µm, Millipore).

Tablo 7.17: Akrilik elyaf boyama prosesi (orta renk-k.jat) ayırık akımlarının kesikli biyolojik arıtılabilirlik çalışma detayları

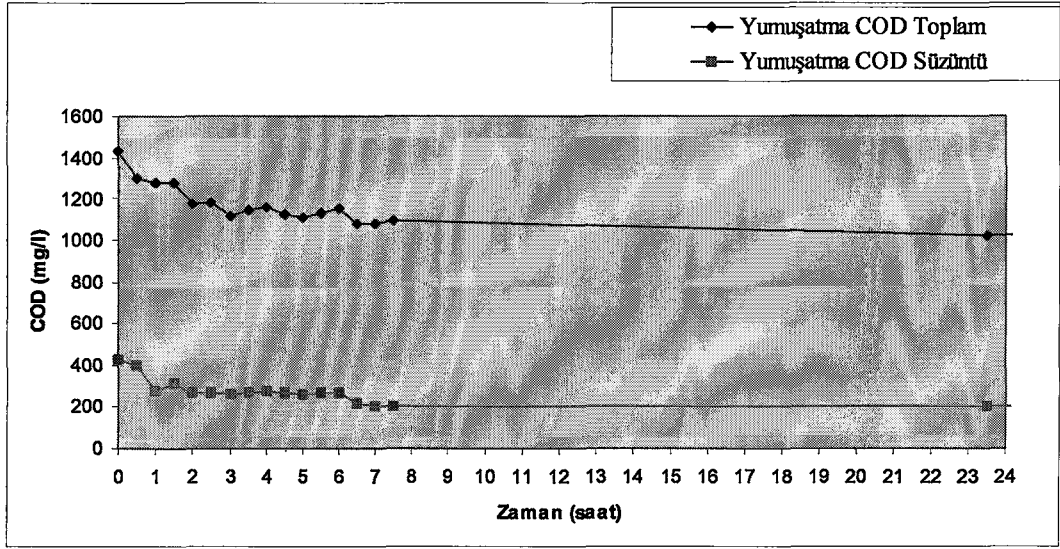
	KOMPOZİT AKIM (KOİ)Top= 1145 mg/l (KOİ)çöz= 670 mg/l	YUMUŞATMA AKIMI (KOİ)Top= 1490 mg/l (KOİ)çöz= 675 mg/l	BOYAMA AKIMI (KOİ)Top= 1010 mg/l (KOİ)çöz= 835 mg/l
V _{atıksu}	2 lt	2 lt	2 lt
Sol A	20 ml/lt	20 ml/lt	20 ml/lt
Sol B	25 ml/lt	25 ml/lt	25 ml/lt
V _{ml}	17,5 ml/lt (200 mgVSS/lt)	17,5 ml/lt (200 mgVSS/lt)	17,5 ml/lt (200 mgVSS/lt)
V _{Top}	2,1 lt	2,1 lt	2,1 lt

Tablo 7.18: Akrilik elyaf boyama prosesi (orta renk-k.jat) ayrık akımlarının kesikli biyolojik arıtılabilirlik çalışma sonuçları

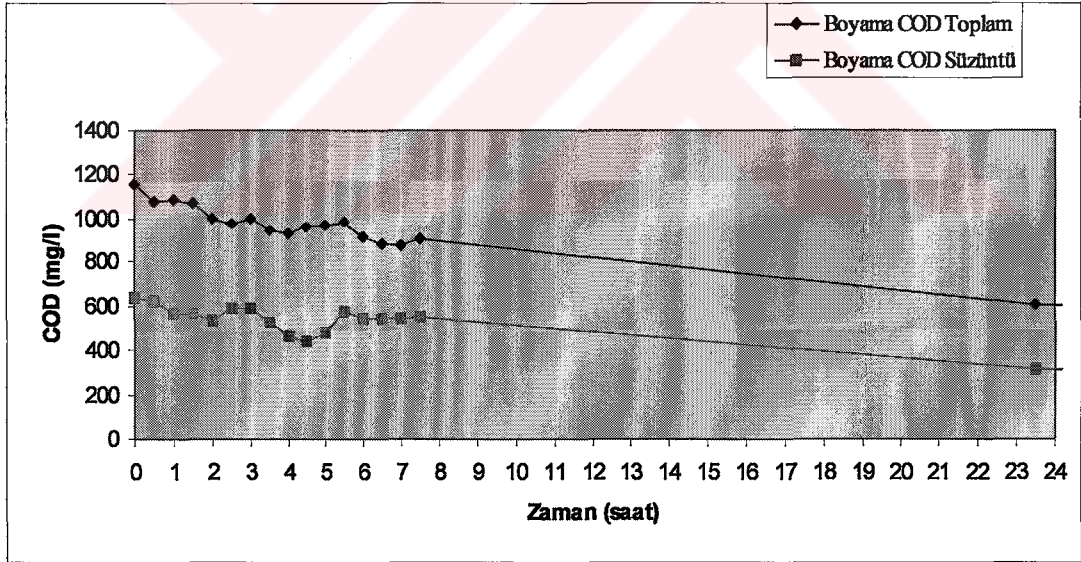
ZAMAN (saat)	KOMPOZİT		YUMUŞATMA		BOYAMA	
	(KOİ) _{Top}	(KOİ) _{çöz}	(KOİ) _{Top}	(KOİ) _{Çöz}	(KOİ) _{Top}	(KOİ) _{çöz}
0	1250	650	1535	675	1155	830
0,5	1125	370	1305	400	1080	625
1	990	270	1280	275	1080	570
1,5	905	255	1280	310	1070	565
2	890	260	1170	265	1000	535
2,5	755	265	1180	270	980	590
3	955	270	1115	260	995	595
3,5	855	305	1140	270	940	525
4	970	290	1155	275	930	465
4,5	955	305	1120	265	965	440
5	975	300	1110	260	965	480
5,5	905	335	1125	270	980	575
6	920	295	1150	265	915	545
6,5	875	300	1080	220	880	545
7	860	285	1080	205	875	545
7,5	905	305	1090	200	905	550
23,5	630	220	725	200	605	315
50,5	635	185	720	175	545	240
	%49	%71	% 53	%74	%53	%71



Şekil 7.3: Akrilik elyaf boyama prosesi (orta renk-k.jat) kompozit akımının kesikli biyolojik arıtılabilirlikle KOİ giderimi



Şekil 7.4: Akrilik elyaf boyama prosesi (orta renk-k.jat) yumuşatma akımının kesikli biyolojik arıtılabilirlikle KOI giderimi



Şekil 7.5: Akrilik elyaf boyama prosesi (orta renk-k.jat) boyama akımının kesikli biyolojik arıtılabilirlikle KOI giderimi

7.1.1.3 Polyamid elyaf esash parça halı boyama alt prosesi karakterizasyonu

Polyamid boyama prosenin açık ve orta renklerini temsil eden atıksu karakterizasyon değerleri incelendiğinde, orta rengin aksine açık renk boyama prosesinde gerek ayrık akımlar ve gerekse kompozit numune bazında en yüksek KOİ değeri gözlenmiştir. Bunun nedeninin bu reçetede boyanan halı ağırlığı daha düşük olmasına karşın orta renk reçetede ki ile aynı miktarlarda yardımcı kimyasal madde kullanılması olabileceği düşünülmektedir. Tesiste polaid boyamada kullanılan boya tüketimlerine bakıldığında en fazla tüketimin açık renkler üzerine yoğunlaştığı görüldüğünden, biyolojik arıtılabilirlik esaslı karakterizasyon çalışmalarında açık renk boyama (Bej-Tempo) prosesinden oluşan atıksuların incelenmesinin daha uygun olacağına karar verilmiştir. Karakterizasyon değerleri bazında KOİ/N/P oranı ise bu atıksu için yaklaşık 52/0,6/1 olarak bulunmuştur.

Tablo 7.19: Polyamid elyaf boyama prosesi reçeteleri

	Orta Renk	(K. Bej-Ayışığı- 21/04/2003)	Açık Renk (Bej-Tempo- 17/12/2003)
Boya	142 896 1496	383,6 gr 244,6 gr 120,2 gr	104 gr 50,3 gr 27,6 gr
Asetik Asit	3885	6000 gr	6000 gr
Levegal LPA (Egaliz-II)	3532	6950 gr	4160 gr
Tri Sodyum Fosfat	3809	11200 gr	11200 gr
Mono Sodyum Fosfat	3804	2800 gr	2800 gr
Köpük Kesici (T.C.Endschumacher)	3800	2800 gr	2800 gr
Kaydırıcı Malzeme (Tanalube FF)	3900	14000 gr	14000 gr
Egaliz-I	3538	21000 gr	21000 gr
Anyonik yumuşatıcı (Synthappret TV)	3425	20850 gr	12480 gr
Prosesteki toplam su kullanımı		695 kg elyaf	40,3 l/kg Elyaf
			416 kg elyaf
			67,3 l/kg Elyaf

Tablo 7.20: Açık, orta ve koyu renk polyamid esaslı parça halı boyama prosesi atıksularının ayrık akım bazında detaylı karakterizasyonu

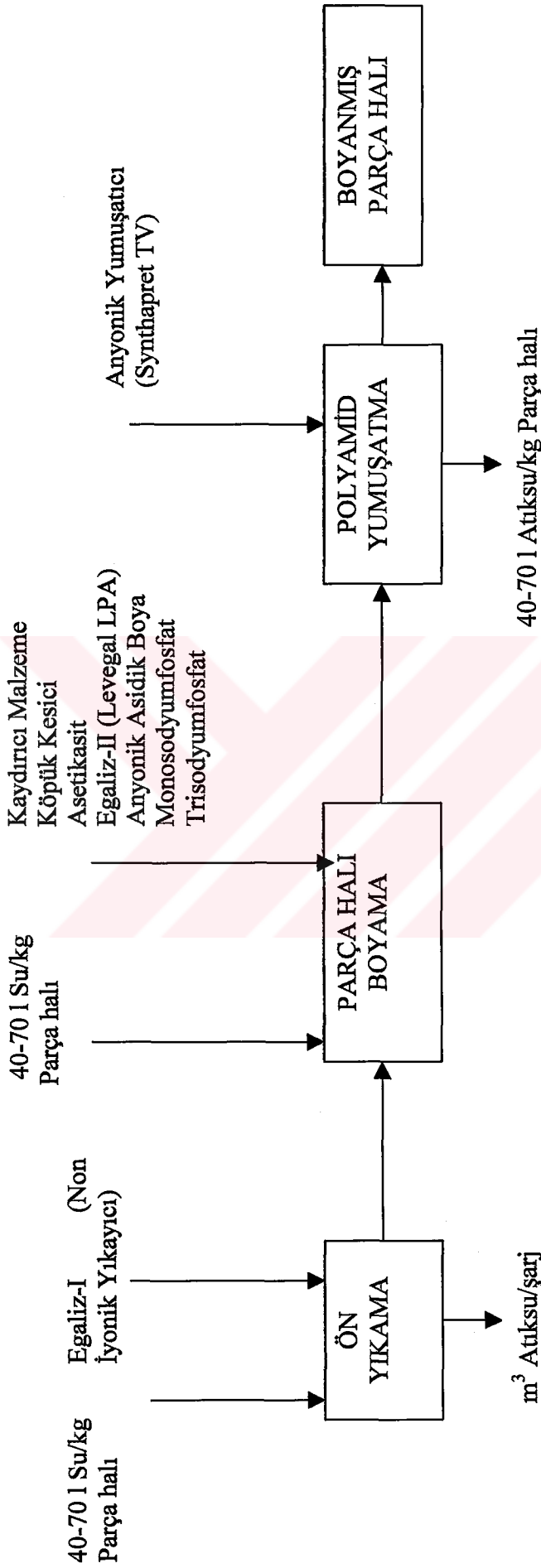
Numunenin alındığı Yer	ORTA RENK (K. Bej-Ayışığı-21/04/2003)					ORTA RENK (Vizon-Tempo-24/12/2003)					AÇIK RENK (Bej-Tempo-17/12/2003)								
	pH	KOİ		AKM (mg/l)	TDS	EC (µs/cm)	pH	KOİ		AKM (mg/l)	TDS	EC (µs/cm)	pH	KOİ			AKM (mg/l)	TDS	EC (µs/cm)
		Tot.	Sol.					Tot.	Sol.					Tot.	Sol.				
																(mg/l)			
Ön Yıkama	8	1040	700	20	595	925	7,2	1305	895	15	625	975	8,1	2750	2500	45	600	935	
Boyama + Yumuşatma	6,4	1840	1310	50	1065	1660	7,3	1660	1280	35	1085	1690	7,6	1030	820	25	1090	1700	
Kompozit	7,1	1440	1005	35	830	1290	7,2	1485	1040	25	860	1340	7,3	1890	1660	30	845	1320	

Tablo 7.21: Polyamid elyaf esaslı parça halı boyama prosesi ve kirlenme profili (ortarenk-vizon-tempo)

Numunenin alındığı Yer	Boyanan Parça halı (kg)	Su Kullanımı		Atıksu Oluşumu		KOİ		Proseslerin Kirliliğe Katkı %'si
		(l/kg Parça halı)	(m ³)	(l/kg Parça halı)	(m ³)	(mg/l)	(kg)	
Ön Yıkama	480	29,2	14	29,2	14	1305	18,3	44
Boyama + Yumuşatma	480	29,2	14	29,2	14	1660	23,2	56
TOPLAM	480	58,5	28	58,5	28	1280	41,5	100

Tablo 7.22: Polyamid elyaf esaslı parça halı boyama prosesi ve kirlenme profili (açık renk-bej-tempo)

Numunenin alındığı Yer	Boyanan Parça halı (kg)	Su Kullanımı		Atıksu Oluşumu		KOİ		Proseslerin Kirliliğe Katkı %'si
		(l/kg Parça halı)	(m ³)	(l/kg Parça halı)	(m ³)	(mg/l)	(kg)	
Ön Yıkama	416	33,7	14	33,7	14	2750	38,5	73
Boyama + Yumuşatma	416	33,7	14	33,7	14	1030	14,4	27
TOPLAM	416	67,5	28	67,5	28	1890	53	100



Şekil 7.6: Polyamid elyaf esaslı parça halı orta ve açık renk boyama prosesi genel üretim akım şeması

7.2 Konvansiyonel Karakterizasyon Sonuçlarının Literatürle Karşılaştırılması

Konvansiyonel karakterizasyonda elde edilen kirletici parametre değerleri kompozit numune bazında 3. bölümde bahsedilen literatür değerleri ile karşılaştırmalı olarak Tablo 7.23'te sunulmuştur.

Tablo 7.23: İncelenen alt proseslere ait kompozit numune karakterizasyon ve su kullanımı değerlerinin literatürle karşılaştırılması

PARAMETRE	LİTERATÜR					
	EPA (1977-1980)	EPA (1982)	Orhon ve diğ.,1996	EPA (1978)	Bu çalışma (Akrilik)	Bu çalışma (Polyamid)
KOI (mg/lt)	-	1762	2000	1000	775-1440	1280-2090
BOI ₅ (mg/l)	-	548	700			
AKM (mg/lt)	-	101	100	120	110-225*	17-35
Yağ Gres (mg/lt)	-	-	30	-	-	-
Top.Krom (mg/lt)	-	-	0,005	0,42	-	-
Fenol (mg/lt)	-	-	0,001	0,13	-	-
Sülfat (mg/lt)	-	-	-	0,14	-	-
Sülfür (mg/l)	-	-	0,002	-	-	-
pH	-	-	-	8	5-7	7,1-7,3
Sıcaklık (°C)	-	-	-	20	30	40
SuKullanımı (l/kg)	8,3-160	47	-	70	11-31	40-70

*(0,45 µ gözenek çapına sahip filtre kullanılmıştır.)

Bu değerler incelendiğinde, gerek akrilik elyaf boyama ve gerekse polyamid elyaf esaslı parça halı boyama proseslerinin kompozit atıksuları KOI parametresi bazında literatürle uyumlu bulunmuştur. AKM parametresine bakıldığında ise; akrilik elyaf boyama prosesi için bu çalışmada elde edilen değer literatürle uyumlu bulunurken polyamid prosesindeki değerler literatürden oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir. Diğer yandan üretime göre normalize edilmiş su kullanımı değerleri incelendiğinde, EPA (1977 ve 1980) tarafından 37 adet halı fabrikası üzerinde yapılan çalışmada belirlenen aralıkta kaldığı anlaşılmaktadır.

7.3 Respirometrik Analiz Sonuçları

Çok bileşenli modellerin kullanımı, atıksu karakterizasyonu ve kinetik-stokiyometrik sabitlerin deneysel olarak doğru bir şekilde tanımlanmasını gerektirmektedir. Organik madde açısından uygun atıksu karakterizasyonu çok bileşenli modelin uygulanmasında temel noktayı oluşturmaktadır. KOI parametresi aktif çamur tarafından kalıntı organik ürünler olarak üretilen yada giriş suyunun biyolojik olarak ayrışabilen ve ayrışamayan her bir kısmı farklı hızlara sahip olan biyolojik olarak

parçalanabilir kısımları kapsadığından dolayı anlamlı bir bilgi vermemektedir (Daigger and Grady, Jr., 1977; Orhon *et al.*, 1989). Bu yüzden atıksuların ve özellikle endüstriyel atıksuların karakterizasyonu kolay ayrışabilir KOI, S_S ; yavaş ayrışabilir KOI, S_H ; yavaş ayrışabilir partiküler KOI, X_S ; başlangıç inert çözünmüş $KOÜ, S_I$; başlangıç inert partiküler KOI, X_I , partiküler inert organik ürünler, X_P ve çözünmüş iner organik ürünler, S_P gibi KOI fraksiyonlarının tümünü göz önüne almalıdır.

Bu çalışmada kullanılan çoğalma, ölüm ve hidroliz proseslerine dayandırılan çok bileşenli içsel solunum modeli, aktif heterotrofik biyokütle (X_H) ve çözünmüş oksijenle (S_O) birlikte tüm KOI fraksiyonlarını temel olarak tanımlamaktadır (Orhon and Artan; 1994). Çok bileşenli içsel solunum modelinde, inert içsel solunan kütle yada partiküler inert ürünlerin (X_P) oluşumu ve aktif biyokütlenin ölümü, uygulanabilir kavramına bağlı olarak kendi aralarında ilişkilidir. Bu model bu nedenle, okside edilemeyen ve içsel solunuma maruz kalan ancak çözünmüş ve partiküler inert ürünlere (S_P ve X_P) dönüştürülen biyokütlenin f_{ES} ve f_{EX} gibi iki fraksiyonu ile yapılandırılmıştır.

Yukarıda bahsedilen içsel solunum modeli baz alınarak karbon giderimi için aktif çamur arıtımının değerlendirmesi, incelenen endüstrinin atıksuyu ile ilişkilendirilebilen spesifik kinetik ve stokiometrik sabitlerin (f_{EX} , f_{ES} , Y_H , μ_H , K_S , b_H , k_h and K_X) uygun değerlerinin bilinmesini gerektirir. f_{ES} ve f_{EX} genel olarak tekstil atıksuları için bütün benzer aktif çamur modellerindeki gibi sırasıyla 0,1 ve 0,2 g KOI/g hücre KOI olarak kabul edilmiştir (Henze *et al.*, 1987). Y_H ve b_H değerleri de yine tekstil atıksuları için daha önce yapılan çalışmalardan sırasıyla 0,66 g KOI/g hücre KOI ve 0,1 $gün^{-1}$ olarak kabul edilerek S_S , X_S (S_{H1} ve S_{H2}) olarak belirlenmiştir. Bilinmeyen K_S , k_h , ve K_X sabitleri, farklı parçalanma hızlarına sahip X_S parametresinin ikili hidrolizini içeren matematiksel model simülasyonu ile eğri uydurma yöntemi deneysel olarak tanımlanan OTH profilleri üzerine uygulanarak elde edilmiştir.

7.3.1 Polyamid parça halı boyama prosesine ait respirometrik sonuçlar

Polyamid esaslı parça halı boyama alt prosesinde ise gerek ayrık akımların tümü bazında ve gerekse kompozit numune bazında biyolojik arıtılabilirlik incelenmiş ve bunlara ait deneysel sonuçlar çalışma detayları ile birlikte sırasıyla Tablo 7.24,

Tablo 7.25, Tablo 7.26, Tablo 7.27 ve Şekil 7.7, Şekil 7.8, Şekil 7.9’da verilmiştir. Akrilik ve Polyamid elyaf boyama alt proseslerine ait KOİ bileşenleri, stokiometrik ve kinetik katsayılar ayırık akım ve kompozit akım bazında Tablo 7.28 ve Tablo 7.29’da sunulmuştur.

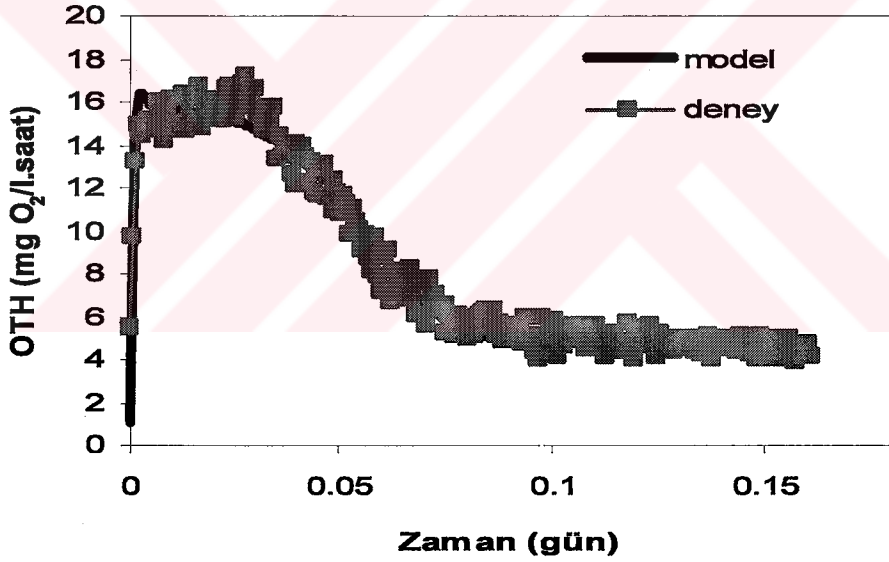
Polyamid halı boyama prosesi kompozit atıksu akımları için konvansiyonel bir aktif çamur sisteminde yapılan modelleme çalışması sonucu elde edilen katsayılar kullanılarak gerçekleştirilen tasarım esaslı çalışma sonuçları Tablo 7.30, Tablo 7.31 ve Şekil 7.10, Şekil 7.11 , Şekil 7.12’de sunulmuştur

Tablo 7.24: Respirometrik deneylerde kullanılan polyamid elyaf esaslı açık renk (Bej-Tempo) boyama prosesi ayırık ve kompozit akım atıksularının konvansiyonel karakteristikleri

Parametreler	Ön Yıkama Prosesi	Boyama + Yumuşatma Prosesi	Kompozit
Toplam KOİ (mgI ⁻¹)	2750	1030	1890
Çözünmüş KOİ (AP40) (mgI ⁻¹)	2630	865	1850
Çözünmüş KOİ (0,45) (mgI ⁻¹)	2500	820	1660
AKM (AP40) (mgI ⁻¹)	45	25	30
AKM (0,45) (mgI ⁻¹)	80	60	80
TKN (mgI ⁻¹)	-	-	25
NH ₃ -N (mgI ⁻¹)	-	-	2
T-P (mgI ⁻¹)	-	-	41
pH	8,1	7,58	7,3

Tablo 7.25: Polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi ön yıkama akımı atıksuyu respirometre çalışma detayları

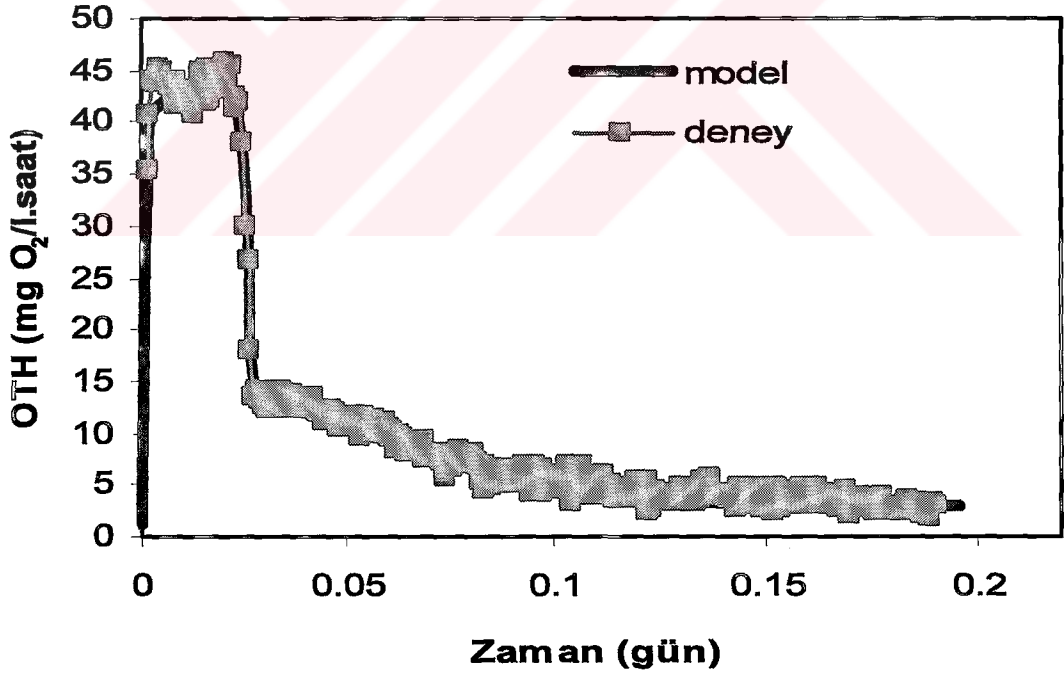
Ölçüm Adedi	329
Ölçüm süresi	5,5 saat
Ölçüm Haznesi Hacmi (ml)	785
Pompa Akışı (l/saat)	22
Çamur Hacmi (ml)	800
Dinlenmiş su hacmi (ml)	670
Sol A + Sol B (ml)	30
Nitrifikasyon inhibitörü (gr)	1
Atıksu Hacmi (ml)	500
Toplam Hacim (ml)	2000
X_T (mg UAKM)	2120
KOI (mg/l)	2750
F/M (mg KOI/mg UAKM)	0,65
S_{S1} (mg/l)	0



Şekil 7.7: Polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi ön yıkama akımı atıksuyu OTH profilinin model simülasyonu

Tablo 7.26: Polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi boyama + yumuşatma akımı atıksuyu respirometre çalışma detayları

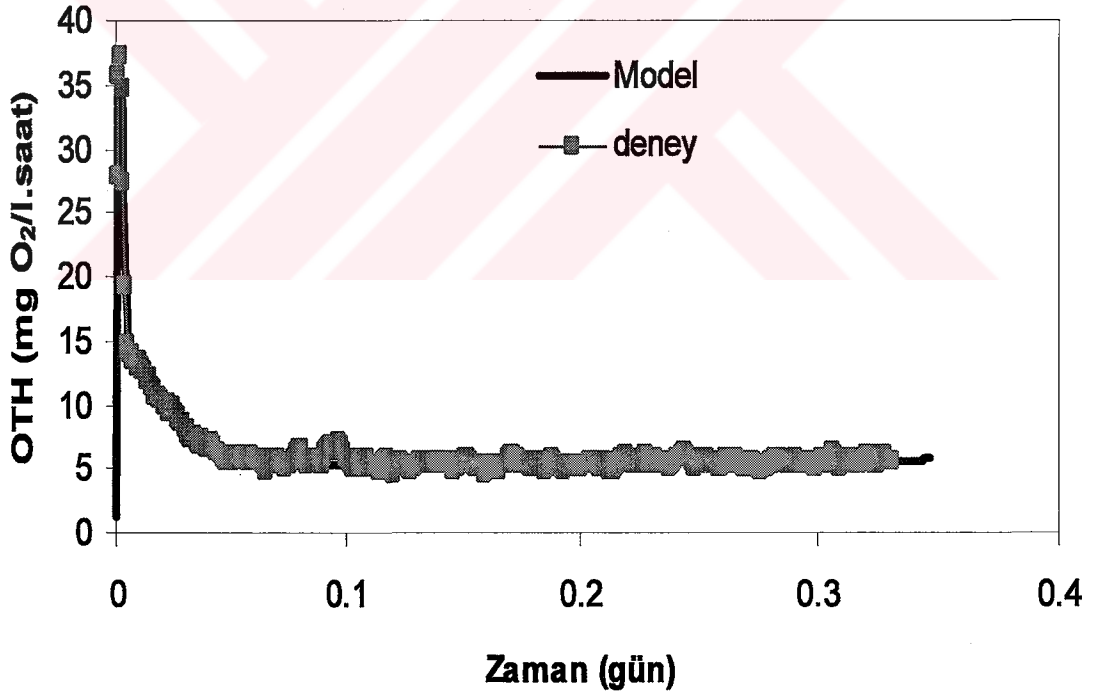
Ölçüm Adedi	385
Ölçüm süresi	6,4 saat
Ölçüm Haznesi Hacmi (ml)	785
Pompa Akışı (l/saat)	22
Çamur Hacmi (ml)	675
Dinlenmiş su hacmi (ml)	795
Sol A + Sol B (ml)	30
Nitrifikasyon inhibitörü (gr)	1
Atıksu Hacmi (ml)	1500
Toplam Hacim (ml)	2000
X_T (mg UAKM)	1748
KOI (mg/l)	1030
F/M (mg KOİ/mg UAKM)	1,2
S_{Si} (mg/l)	100



Şekil 7.8: Polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi boyama + yumuşatma akımı atıksuyu OTH profilinin model simülasyonu

Tablo 7.27: Polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi kompozit akım atıksuyu respirometre çalışma detayları

Ölçüm Adedi	980
Ölçüm süresi	16,4 saat
Ölçüm Haznesi Hacmi (ml)	785
Pompa Akışı (l/saat)	22
Çamur Hacmi (ml)	650
Dinlenmiş su hacmi (ml)	650
Sol A + Sol B (ml)	30
Nitrifikasyon inhibitörü (gr)	1
Atıksu Hacmi (ml)	1000
Toplam Hacim (ml)	2330
X_T (mg UAKM)	1684
KOI (mg/l)	1890
F/M (mg KOİ/mg UAKM)	1,9
S_{SI} (mg/l)	12



Şekil 7.9: Polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi kompozit akım atıksuyu OTH profilinin model simülasyonu

Tablo 7.28: Biyolojik arıtılabilirlik çalışmaları sonunda alt proses ve ayırık akımlar için elde edilen KOİ bileşenleri

Prosesler	Giriş KOİ			KOİ Bileşenleri							
	C _{T1}	S _{T1}	X _{T1}	S _{II}	$\frac{S_{II}}{C_{T1}}$	X _{II}	$\frac{X_{II}}{C_{T1}}$	S _{S1}	$\frac{S_{S1}}{C_{T1}}$	S _{H1}	S _{H2}
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(%)	(mg/l)	(mg/l)
AKRILIK ELYAF TERBİYESİ											
Boyama	955	755	200	55	6	20	2	65	7	637	179
Yumuşatma	830	270	560	75	9	100	12	72	9	320	265
Kompozit	775	350	425	55	7	50	6	25	3	417	231
POLYAMİD HALI TERBİYESİ											
Ön Yıkama	2750	2500	250	110	4	*	*	0	0	173	2217
Boyama + Yumuşatma	1030	820	210	140	14	*	*	100	10	116	464
Kompozit	1890	1660	230	125	7	*	*	12	0,6	40	1485
Pamuklu Terbiyesi (Babuna ve diğ., 1998)	2310	1900	400	170	7	*	*	420	18	1310	-
Polyester Terbiyesi (Babuna ve diğ., 1998)	1985	1485	500	415	21	*	*	300	15	770	
Tekstil Organize Sanayi Bölgesi (Orhon ve diğ., 2002)	935	580	355	20	2	*	*	140	15	420	-
Evsel Atıksu (Orhon ve diğ., 1997)	450	155	295	18	4	*	*	40	9	97	-

*Ölçüm yapılmadı.

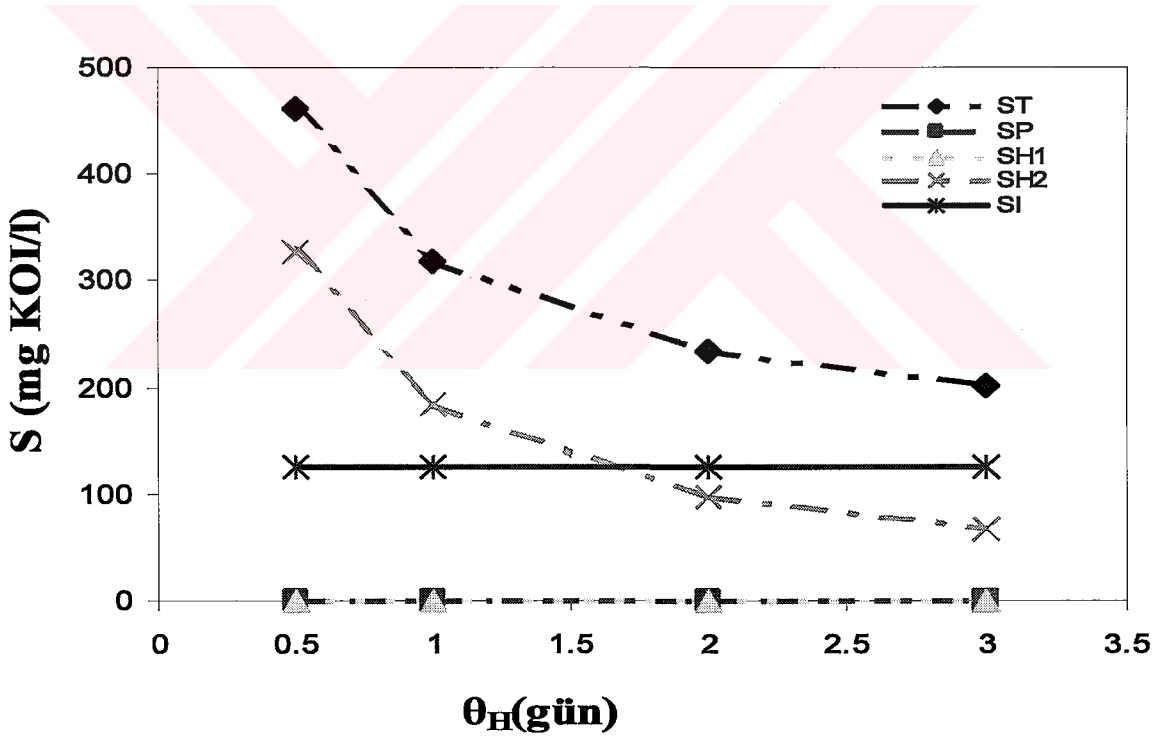
Tablo 7.29: Respirometrik çalışmalar sonunda alt proses ve ayırık akımlar için elde edilen kinetik ve stokiometrik katsayılar

Prosesler	Y_H (g hücre KOİ/g KOİ)	μ (g ⁻¹)	K_S (mg/l)	b_H (g ⁻¹)	k_{H1} (g ⁻¹)	k_{H2} (g ⁻¹)	K_X (g KOİ/g hücre KOİ)
AKRILIK ELYAF TERBİYESİ							
Boyama	0,66	1,65	3	0,1	1,5	0,57	0,052
Yumuşatma	0,66	1,5	1	0,1	1,3	0,27	0,04
Kompozit	0,66	1,65	1	0,1	1,4	0,36	0,02
POLYAMİD HALI TERBİYESİ							
Ön Yıkama	0,66	6	1	0,1	3,12	0,73	0,025
Boyama + Yumuşatma	0,66	6	1	0,1	4,6	0,33	0,1
Kompozit	0,66	6	1	0,1	3,5	0,72	0,04
Pamuklu Terbiyesi (Babuna ve diğ., 1998)	0,62	3,2	13	0,19	0,8	-	0,7
Polyester Terbiyesi (Babuna ve diğ., 1998)	0,69	5,3	25	0,12	3,8	-	0,65
Tekstil Organize Sanayi Bölgesi (Orhon ve diğ., 2002)	0,62	3,9	10	0,18	2	-	0,40
Evsel Atıksu (Orhon ve diğ., 1997)	0,67	4,9	6	0,15	2,5	-	0,45

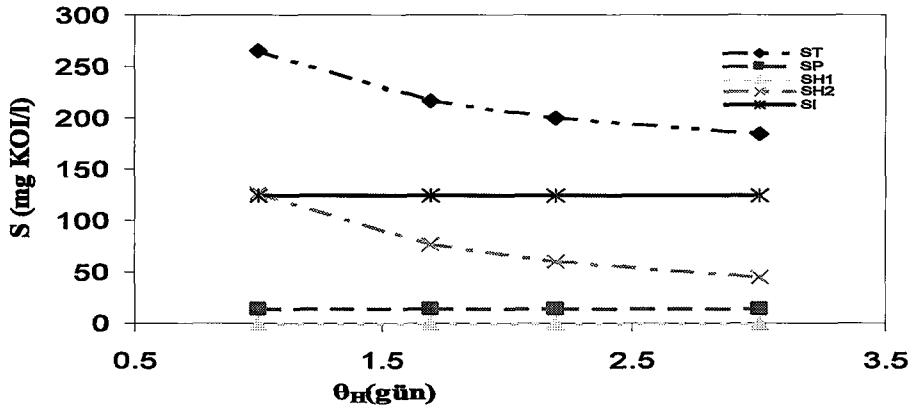
*Ölçüm yapılmadı.

Tablo 7.30: Farklı çamur yaşları için polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi kompozit akım atıksuyunun TKR'den çıkış çözünmüş KOI bileşenlerinin hidrolik bekletme süresine göre değişimi ($S_{II}=125$ mg/l ve $S_{SI}=0$ olarak alınmıştır)

θ_X (gün)	θ_H (gün)	X (mg/l ⁻¹)	S_T (mg/l ⁻¹)	S_P (mg/l ⁻¹)	S_{H1} (mg/l ⁻¹)	S_{H2} (mg/l ⁻¹)
5	0,5	4125	460	8,0	0,90	326
5	1	2305	319	8,9	0,45	184
5	2	1225	233	9,5	0,28	98,4
5	3	835	202	9,7	0,15	67
10	1	3930	266	14	0,45	127
10	1,7	2395	217	14,7	0,30	77
10	2,2	1870	200	14,6	0,21	60,6
10	3	1390	185	14,7	0,15	44,9



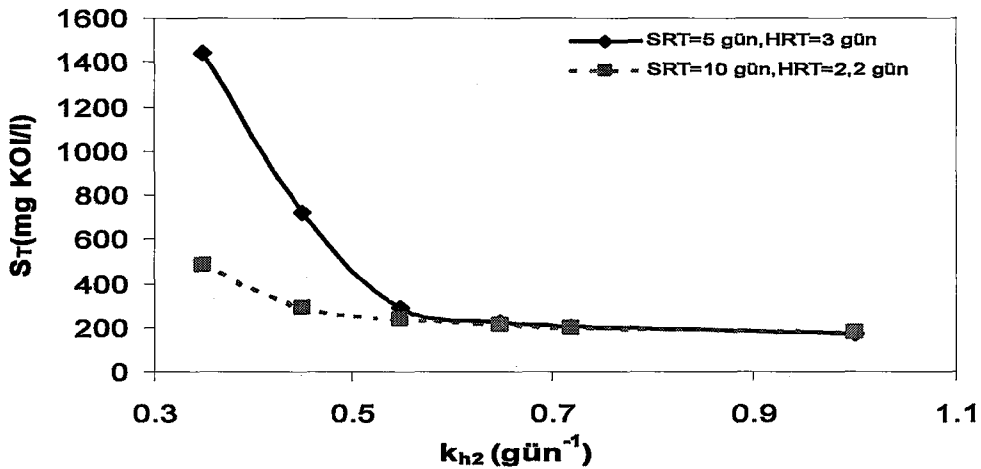
Şekil 7.10: $\theta_X=5$ gün için polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi kompozit akım atıksuyunun TKR'den çıkış çözünmüş KOI bileşenlerinin hidrolik bekletme süresine göre değişimi



Şekil 7.11: $\theta_X=10$ gün için polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi kompozit akım atıksuyunun TKR'den çıkış çözünmüş KOI bileşenlerinin hidrolik bekletme süresine göre değişimi

Tablo 7.31: Farklı çamur yaşı ve bekletme sürelerinde, polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi kompozit akım atıksuyunda çözünmüş formda yavaş ayrışan hidroliz katsayısı (k_{H2}) değerinin çıkış suyu kalitesine etkisi

S_T (mg/l ⁻¹)	1442	720	291	222	202	169
k_{H2} (gün ⁻¹)	0,35	0,45	0,55	0,65	0,72	1
$\theta_X=5$ gün $\theta_H=3$ gün						
S_T (mg/l ⁻¹)	481	292	238	212	200	177
k_{H2} (gün ⁻¹)	0,35	0,45	0,55	0,65	0,72	1
$\theta_X=10$ gün $\theta_H=2,2$ gün						



Şekil 7.12: Farklı çamur yaşı ve bekletme sürelerinde, polyamid elyaf esaslı açık renk parça halı boyama prosesi kompozit akım atıksuyunda çözünmüş formda yavaş ayrışan hidroliz katsayısı (k_{H2}) değerinin çıkış suyu kalitesine etkisi

7.3.2 Akrilik elyaf boyama prosesine ait respirometrik sonuçlar

Respirometrik deneylerde, akrilik elyaf boyama prosesinde KOİ yüküne en fazla katkıda bulunan boyama ve yumuşatma ayırık akımları ile durulama akımını da içeren kompozit numuneler üzerinde çalışılmıştır. Bu alt prosese ait çalışma detayları ve sonuçlar sırasıyla Tablo 7.32, Tablo 7.33, Tablo 7.34, Tablo 7.35 ve Şekil 7.13, Şekil 7.14, Şekil 7.15’de sunulmuştur.

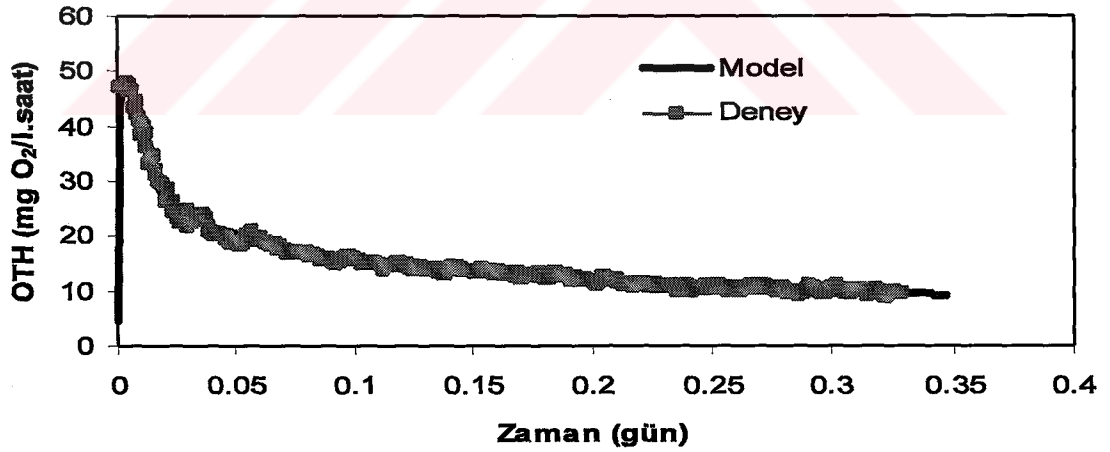
Akrilik elyaf boyama prosesi kompozit atıksu akımları için konvansiyonel bir aktif çamur sisteminde yapılan modelleme çalışması sonucu elde edilen katsayılar kullanılarak gerçekleştirilen tasarım esaslı çalışma sonuçları ise Tablo 7.36 ve Şekil 7.16’da sunulmuştur.

Tablo 7.32: Respirometrik deneylerde kullanılan akrilik elyaf koyu renk (Lacivert) boyama prosesi ayırık ve kompozit akım atıksularının konvansiyonel karakteristikleri

Parametreler			
	Boyama Prosesi	Yumuşatma Prosesi	Kompozit
Toplam KOİ (mg l^{-1})	955	830	775
Çözünmüş KOİ (AP40) (mg l^{-1})	860	135	515
Çözünmüş KOİ (0,45) (mg l^{-1})	755	270	350
AKM (AP40) (mg l^{-1})	20	40	140
AKM (0,45) (mg l^{-1})	70	120	190
TKN (mg l^{-1})	-	-	12
$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg l^{-1})	-	-	5
T-P (mg l^{-1})	-	-	1.2
pH	4,5	6,6	6,8

Tablo 7.33: Akrilik elyaf boyama prosesi boyama akımı atıksuyu respirometre çalışma detayları

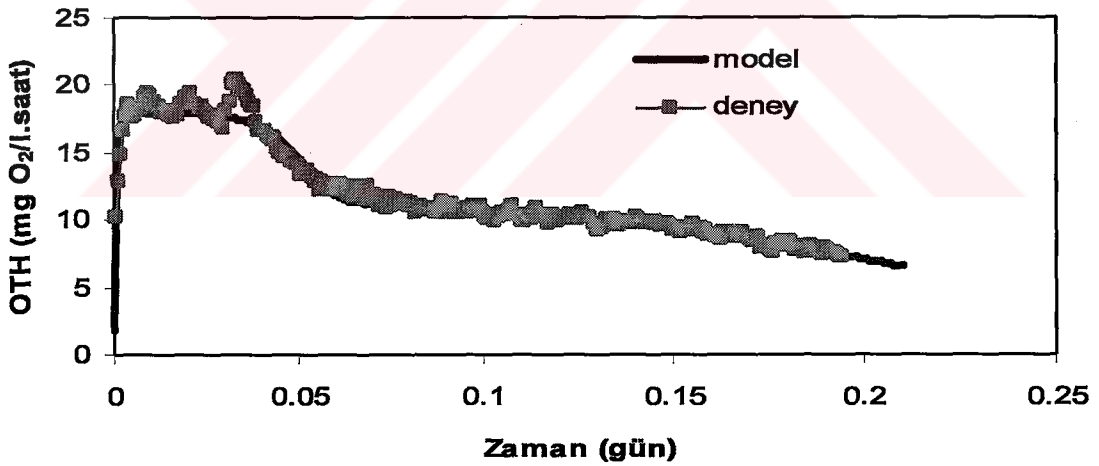
Ölçüm Adedi	1007
Ölçüm süresi	10 saat
Ölçüm Haznesi Hacmi (ml)	785
Pompa Akışı (l/saat)	22
Çamur Hacmi (ml)	1330
Sol A + Sol B (ml)	20
Nitrifikasyon inhibitörü (gr)	1
Atıksu Hacmi (ml)	650
Su hacmi (ml)	-
Toplam Hacim (ml)	2000
X (mg UAKM)	5480
KOI (mg/l)	955
F/M (mg KOİ/mg UAKM)	0,11
S _{SI} (mg/l)	65



Şekil 7.13: Akrilik elyaf boyama prosesi boyama akımı atıksuyu OTH profilinin model simülasyonu

Tablo 7.34: Akrilik elyaf boyama prosesi yumuşatma akımı atıksuyu respirometre çalışma detayları

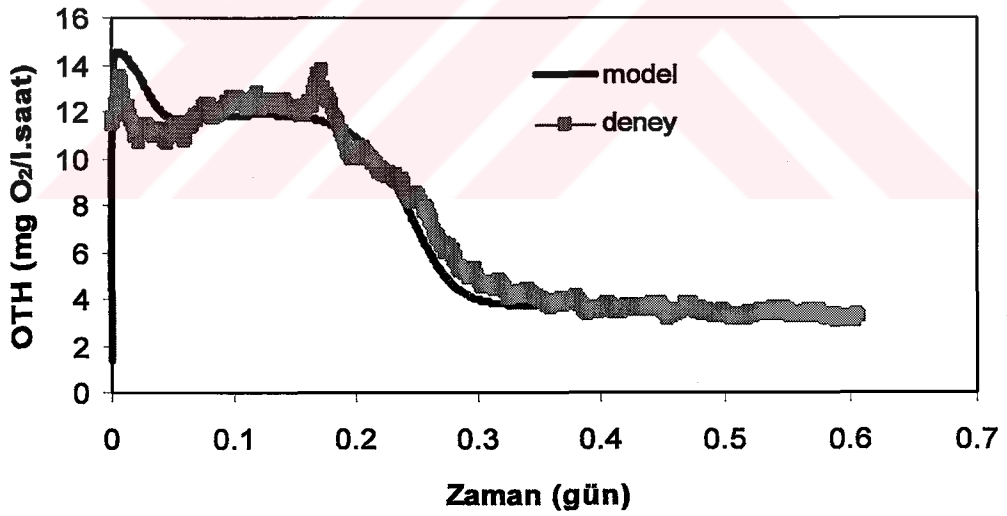
Ölçüm Adedi	326
Ölçüm süresi	5,3 saat
Ölçüm Haznesi Hacmi (ml)	785
Pompa Akışı (l/saat)	22
Çamur Hacmi (ml)	1330
Sol A + Sol B (ml)	20
Nitrifikasyon inhibitörü (gr)	1
Atıksu Hacmi (ml)	650
Su hacmi	-
Toplam Hacim (ml)	2000
X (mg UAKM)	2540
KOİ (mg/l)	830
F/M (mg KOİ/mg UAKM)	0,21
S _{S1} (mg/l)	72



Şekil 7.14: Akrilik elyaf boyama prosesi yumuşatma akımı atıksuyu OTH profilinin model simulasyonu

Tablo 7.35: Akrilik elyaf boyama prosesi kompozit akım atıksuyu respirometre çalışma detayları

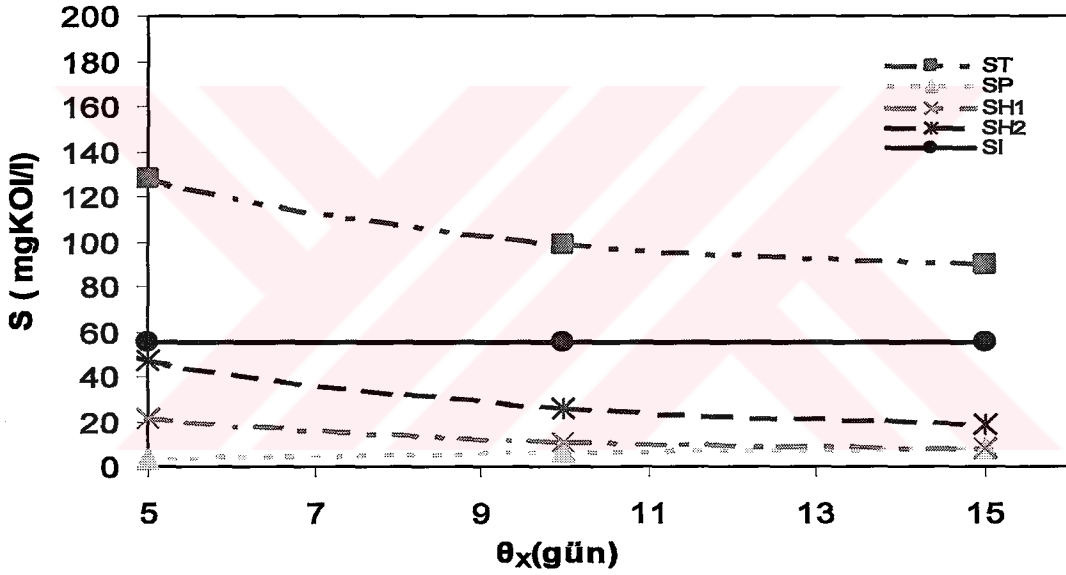
Ölçüm Adedi	955
Ölçüm süresi	9,3 saat
Ölçüm Haznesi Hacmi (ml)	785
Pompa Akışı (l/saat)	22
Çamur Hacmi (ml)	1330
Sol A + Sol B (ml)	20
Nitrifikasyon inhibitörü (gr)	1
Atıksu Hacmi (ml)	650
Su hacmi (ml)	430
Toplam Hacim (ml)	2000
X (mg UAKM)	2196
KOİ (mg/l)	775
F/M (mg KOİ/mg UAKM)	0,23
S _{SI} (mg/l)	25



Şekil 7.15: Akrilik elyaf boyama prosesi kompozit akım atıksuyu OTH profilinin model simulasyonu

Tablo 7.36: Farklı çamur yaşları için akrilik elyaf esaslı koyu renk boyama prosesi kompozit akım atıksuyunun TKR'den çıkış çözünmüş KOI bileşenlerinin hidrolik bekleme süresine göre değişimi

θ_x (gün)	θ_H (gün)	$\bar{X}$ (mg l^{-1})	S_T (mg l^{-1})	S_P (mg l^{-1})	S_{H1} (mg l^{-1})	S_{H2} (mg l^{-1})
3	0,21	3505	175	2,5	38	79
5	0,35	3445	128	4	20,6	47
10	0,6	3537	98,5	6,3	11,2	25,9
15	0,8	3581	90	7,7	8,2	19



Şekil 7.16: Akrilik elyaf esaslı koyu renk boyama prosesi kompozit akım atıksuyunun TKR'den çıkış çözünmüş KOI bileşenlerine çamur yaşının etkisi

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye’de tekstil endüstrisi alt kategorisinde şimdiye kadar hiç incelenmemiş olan halı terbiyesi ve benzerleri alt kategorisi ele alınmış ve bu amaçla Çerkezköyde faaliyet gösteren entegre bir tesis incelenmiştir.

İncelenen tesiste duvardan duvara halı, battaniye ve iplik üretimi gerçekleştirilmekte olup bu çalışmada her üç üretime ait genel kirlilik profili ortaya konarak bunlar içinden halı üretimi alt prosesleri detaylı olarak ayrı ayrı incelenmiştir. İncelenen tesiste, genel üretim bazında % 64'lük pay ile en fazla akrilik esaslı elyafların boyandığı ve bunun %12'lik kısmının halı üretiminde kullanıldığı tespit edilmiştir. Bunu takiben de sırasıyla battaniye üretiminde kullanılan %50 Akrilik + %50 Pamuklu İplik boyama ile yine halı üretimi kapsamında değerlendirilen poliamid esaslı elyafların boyanması gelmektedir.

Tesiste su kullanımı ve atıksu oluşumunun sadece boyama ünitesinden kaynaklandığı ve işlenen elyaf türüne göre üretim proseslerinin; Halı üretimi için %100 Akrilik elyaf boyama, Battaniye üretimi için %100 Akrilik elyaf boyama, Battaniye üretimi için %50 Akrilik + %50 Pamuklu iplik boyama, Polyamid elyaftan dokunmuş ekru renkte parça halı boyama ve %100 Akrilik elyaf esaslı çile boyama olmak üzere 5 alt grupta toplandığı tespit edilmiştir. Bu alt proseslerin üretim akım şemaları belirlenerek proses ve kirlenme profilleri oluşturulmuştur. Tesis yetkililerinden alınan bilgiye göre, müşterilerinin çok özel bir talebi olmadığı sürece söz konusu alt proseslerde ekipmanların çalışma prensibi gereği, boyanan materyalin ağırlığından bağımsız olarak her bir işlemde standart bir su tüketimi söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla, boyanan materyal miktarının değişmesi ile birlikte proses profilinde hesaplanan üretime göre normalize edilmiş su kullanımı ve dolayısıyla atıksu oluşumu değerleri değişmektedir. Bu durum incelenen tesisi, tekstil endüstrisinin literatürde yer alan diğer alt kategorilerine göre farklı kılmaktadır.

Su tüketimine ve atıksu oluşumuna bakıldığında ise, toplam atıksu bazında %52 ile en fazla payın battaniye üretiminde kullanılan %50 Akrilik + %50 Pamuklu İplik boyama prosesinden geldiği ve bunu %39 'luk bir oranla akrilik esaslı elyafların

boyama proseslerinin takip ettiği ve bu oranın da %4'lük kısmının halı üretiminden kaynaklanırken geri kalan %35'lik kısmın çile boyama ve battaniye üretimlerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. İncelenen tesisten oluşan toplam atıksuyun %9'luk bir kısmı ise halı üretimi kapsamında değerlendirilen poliamid parça halı boyama prosesinden kaynaklandığı görülmüştür.

Tüm bu değerlendirmeler kapsamında incelenen tesisin alt prosesleri içinde halı üretimine yönelik alt prosesler olan akrilik ve polyamid elyaf esaslı üretimlerden oluşan atıksular ayrı ayrı detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Tesiste kullanılan boya ve yardımcı kimyasalların yapıları incelenmiş ve her iki alt proseste kullanılan boyar maddelerin biyolojik ayrışabilirliklerinin oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Buna göre akrilikte bu değer %10'un altında kalırken polyamid prosesinde %10-25 değerleri arasında değiştiği ve her iki alt proseste de kullanılan boyaların ağır metal içermediğı görülmüştür. Akrilik prosesinde kullanılan katyonik yumuşatıcının biyolojik ayrışabilirliği %80 iken polyamid prosesinde kullanılan anyonik yumuşatıcı için bu değer %10-25 arasında kalmaktadır. Ayrıca her iki alt proseste de düzgün bir boyama sağlamak amacıyla boya ile yer değiştirici olarak kullanılan egaliz maddelerinin yapısı incelendiğinde, akrilik proseste kullanılan %80-90 oranında biyolojik olarak ayrışabilirken, polyamidde bu oran %10'un altında kalmaktadır.

Diğer yandan tesiste bu alt proseslerde özellikle boya kombinasyonu ve miktarları bazında çok sayıda farklı reçetenin uygulanması nedeniyle, kullanılan boyanın renk türüne göre (açık, orta veya koyu renk) bir sınıflandırma yapmak suretiyle atıksu karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda her iki alt proses için boyaların renk türüne göre tüketim miktarlarının bir değerlendirilmesi yapıldığında; akrilik elyaf boyama prosesinde orta ve koyu rengin daha ağırlıkta işlendiğı, polyamid elyaf esaslı parça halı boyama prosesinde ise açık renk boyamanın hakim olduğu tespit edilmiştir. Genel üretim içindeki renk yüzdelerine bakıldığında ise koyu ve orta rengin açık renge göre daha ağırlıklı kullanıldığı tespit edilmiştir.

Halı üretiminin genel yapısı incelendiğinde, halı üretiminde kullanılan iplik ya elyaf halindeyken boyanıp iplik haline dönüştürüldükten sonra halı formunda dokunmakta yada iplik haline dönüştürülen boyasız ham elyaf halı formunda dokunduktan sonra haspel boyama makinalarında parça halı halinde boyanmaktadır. İncelenen tesiste her iki türde halı üretimi de gerçekleştirilmekte olup, akrilik esaslı halılar elyaf halinde

polyamid elyaf esaslı halılar ise parça halılar halinde boyanmaktadır. Her iki alt proste de tekstil endüstrisinin diğer alt kategorilerine benzer olarak bir ön yıkama işlemi gerçekleştirilmekte, ancak akrilikte farklı olarak bu işlem sırasında herhangi bir ıslatıcı veya yıkayıcı madde kullanılmamakta, boyama işlemi bittikten sonra yumuşatıcının daha iyi nüfuz edebilmesini sağlamak açısından bir non-iyonik yıkayıcı kullanılmaktadır. Akrilik elyaf boyama prosesinde (orta ve koyu renk) polyamidden farklı olarak bir durulama adımı söz konusu olup yumuşatma işlemi ayrı bir işlem olarak yürütülmektedir. Polyamidde ise boyama ve yumuşatma işlemi ardışık olarak kesiksiz bir şekilde yürütülmektedir.

Su tüketimi bazında bir değerlendirme yapıldığında, her bir işlem başına tüketilen su miktarı polyamidde 20-35 l/kg halı iken akrilikte 5,5-8,5 l/kg elyaf arasında değişmektedir. Prosesin tümü bazında bu değerler polyamidde ve akrilikte sırasıyla 40-70 l/kg parça halı ve 11-31 l/kg akrilik elyaf arasında değişmektedir. Her iki alt proste birim üretim girdilerinin cinsi aynı olmamakla birlikte ortalama su tüketimlerine ilişkin bir karşılaştırma yapılacak olursa, polyamid alt prosesinde akriliğin yaklaşık 2,5 katı kadar daha fazla bir su kullanımının söz konusu olduğu görülmektedir. Ayrıca tekstil endüstrisinin yün ve pamuk işleyen alt kategorilerinde boyama işleminden kaynaklanan rölatif atıksu oluşumu sırasıyla %40 ve %58 iken gerek akrilik ve gerekse polyamid elyaf esaslı halı üretiminde bu değer %100'dür.

Akrilik elyaf boyama prosesi kompozit atıksu karakterizasyon değerleri; KOI_{Top} 775-1440 mg/l (1100 mg/l), $KOI_{Çöz}$ 275-1035 mg/l (655 mg/l), $AKM(0,45 \mu)$ 110-225 mg/l (168 mg/l) ve pH değeri 5-7 (6) olarak ölçülürken polyamid prosesinde ise KOI_{Top} 1440-1890 mg/l (1665 mg/l), $KOI_{Çöz}$ 1000-1660 mg/l (1330 mg/l) , $AKM(0,45 \mu)$ 'nin 25-35 mg/l (30 mg/l) ve pH değeri de 7,1-7,3 (7,2) şeklinde ölçülmüştür. Atıksu karakterizasyon değerleri incelendiğinde, her iki alt prosteden oluşan atıksuların pH parametresi dışında tipik bir tekstil atıksuyu karakteri sergilediği görülmüştür. Akrilik elyaf boyama prosesi atıksularının KOI 'si polyamid prosesine göre daha düşük değerlere sahipken AKM parametresi daha yüksek ölçülmüştür. Bu durum özellikle polyamid prosesinde toplam ve çözünmüş KOI arasındaki orana yansiyarak bu değerin %80 gibi bir değere ulaşmasına neden olmaktadır. Akrilik prosesinde ise bu oran %60'larda kalmaktadır. Bu oranın tekstil endüstrisinin diğer kategorilerinden pamukluda %82 (Babuna ve diğ.,1998), polyesterde %75 (Babuna ve diğ.,1998), tekstil organize sanayi bölgesinde %62

(Orhon ve diğ.,2002) ve evsel atıksu için %32 (Orhon ve diğ.,1997) olduğu dikkate alınırsa, polyamid alt prosesi atıksuyu bu anlamda pamuklu terbiyesi atıksularına benzer karakter sergilemesine karşın, akrilik prosesi atıksuyu gerek pamuklu ve gerekse polyester terbiyesi atıksularına kıyasla daha düşük kalmaktadır. Ancak her iki alt proses için tanımlanan bu oran her halükarda evsel atıksudan daha yüksektir. Bu oranın yüksek olması, aktif çamur organizmalarının çözünmüş formdaki organik maddenin hidrolizi ile meşgul olacağıının önemli bir göstergesi olmaktadır.

Diğer yandan her iki alt prosese ait ayrık akım karakterizasyon değerleri incelendiğinde, akrilik kompozit akımın toplam ve çözünmüş KOI bileşenine en fazla katkının %80 oranında boyama ve yumuşatma akımlarından geldiği görülmektedir. Özellikle yumuşatma akımının AKM bileşenine katkısının %55 gibi yüksek bir değere sahip olması, kompozit akıma ait toplam KOI bileşenine bu akımın AKM'sinden dolayı bir yük geleceği ihtimalini de kuvvetlendirmektedir.

Polyamid alt prosesine ait ayrık akım karakterizasyon değerleri incelendiğinde ise; kompozit akımın toplam ve çözünmüş KOI bileşenine en fazla katkının orta renk boyamada %56 oranında boyama + yumuşatma akımından geldiği görülürken açık renkte tam tersi olarak ön yıkama akımı %73'lük bir oranla daha baskın duruma geçmektedir. Diğer yandan orta renk boyamalarda boyama + yumuşatma akımının AKM bileşenine katkısı %60-70 aralığında yüksek bir değer olurken, açık renk boyamada ön yıkama adımıyla yine aynı oran geçerli olmaktadır. Dolayısıyla bu durum açık renk boyamada, tıpkı akrilik boyama prosesinde olduğu gibi kompozit akıma ait toplam KOI bileşenine, ön yıkama akımının AKM'sinden dolayı bir yük gelebileceği ihtimalini de kuvvetlendirmektedir.

Ayrıca, gerek akrilik elyaf boyama ve gerekse polyamid elyaf esaslı parça halı boyama proseslerinin kompozit atıksuları KOI parametresi bazında Tablo 7.26'da belirtilen çok sayıda literatürle uyumlu bulunmuştur. AKM parametresine bakıldığında ise; akrilik elyaf boyama prosesi için bu çalışmada elde edilen değer literatürle uyumlu bulunurken polyamid prosesindeki değerler literatürden oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir. Diğer yandan üretime göre normalize edilmiş su kullanımı değerleri incelendiğinde, EPA (1977 ve 1980) tarafından 37 adet halı fabrikası üzerinde yapılan çalışmada belirlenen aralıkta kaldığı görülmüştür.

Akrilik ve Polyamid elyaf boyama alt proseslerine ait KOI bileşenleri, stokiometrik ve kinetik katsayılar ayrık akım ve kompozit akım bazında incelendiğinde; polyamid prosesinde kompozit akımın toplam KOI'sinin %91'i çözünmüş ve %9'u partiküler

formda iken akrilik prosesinde ise %45'i çözünmüş ve %55'i partiküler formda bulunmaktadır. Respirimetrik çalışma sonuçları ile bu bulgular birleştirildiğinde, polyamid prosesinde toplam KOİ'nin %0,6'sı çözünmüş kolay ayrışabilir organik maddeden meydana gelirken, akrilik proseste bu oran %3 gibi daha yüksek bir değere sahip olup, her iki alt prosese ait değerlerin de tekstil endüstrisi için literatürde yapılan çalışmalarda tanımlanan %15-18 aralığındaki oranından oldukça düşük kaldığı görülmektedir. Bu durum, polyamid prosesi kompozit atıksularının toplam KOİ'sinin çözünmüş yavaş ayrışabilen KOİ kısımlarının yaklaşık %80 oranıyla literatürde tekstil atıksuları için tanımlanan % 40-60 oranından daha yüksek kaldığını gösterirken, akrilik prosesi kompozit atıksuyu için bu oran söz konusu aralıkta kalmaktadır. Ayrıca respirometrik çalışmalar sonucunda elde edilen OTH profillerinden, her iki alt prosese ait atıksuların çözünmüş formda bulunan yavaş ayrışabilen KOİ'sinin ikili hidroliz mekanizması ile hidrolize olduğu ve içsel solunum modeli ile en iyi şekilde tanımlanabileceği tespit edilmiştir. Bu durumun söz konusu proseslerde kullanılan boya ve yardımcı kimyasalların yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Polyamid alt prosesine ait toplam KOİ ve çözünmüş KOİ arasındaki oranın yüksek olması ve partiküler kısmın daha düşük olması dolayısıyla, inert KOİ ölçüm çalışmalarında partiküler inert KOİ varlığının ihmal edilebilecek mertebelerde olduğu kabul edilerek sadece çözünmüş inert KOİ değeri ölçülmüş ve her iki alt proseste de kompozit numune bazında toplam KOİ'nin yaklaşık %7'lik kısmının çözünmüş inert yapıya sahip olduğu bulunmuştur. Bu değerler, literatürde (**Babuna ve diğ.,1998**) pamuklu terbiyesi atıksuları için elde edilen sonuçlarla uyumlu olup, polyester terbiyesi atıksuları için elde edilen değerden daha düşük kalmaktadır. Akrilik prosesinde polyamid alt prosesinden farklı olarak toplam KOİ'nin %6'sının partiküler inert madde formunda bulunduğu tespit edilmiştir. Bu değer ise literatürde (**Babuna ve diğ.,1998**) polyester terbiyesi atıksuları için elde edilen sonuçlarla uyumlu olup, pamuklu terbiyesi atıksuları için elde edilen değerden daha yüksek ancak evsel atıksu için tanımlanandan (**Orhon ve diğ.,1997**) daha düşük kalmaktadır. İkili hidroliz mekanizması ve içsel solunum modeli çerçevesinde yürütülen modelleme çalışmaları sonucunda elde edilen kinetik ve stokiometrik katsayılara bakıldığında;

Dönüşüm oranı değerleri; her iki alt proses için de 0,66 gr hücre KOİ/gr KOİ olarak tespit edilmiş ve bu değer literatürde tekstil atıksuları için tanımlanan 0,62-0,66 gr hücre KOİ/gr KOİ aralığında bulunmuştur.

Maksimum spesifik çoğalma hızı değerleri; akrilik elyaf boyama prosesi için 1,65 gün⁻¹ olarak ölçülürken polyamid halı boyama prosesi için 6 gün⁻¹ bulunmuştur. Bu değerler literatürde tekstil atıksuları için elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında; pamuklu terbiyesi ve polyester terbiyesi atıksuları için belirtilen değerler (**Babuna ve diğ.,1998**) akrilik için bu çalışmada elde edilen değerden sırasıyla 2 ile 3 katı kadar daha yüksek iken (3,2 gün⁻¹, 5,3 gün⁻¹), polyamid için elde edilen değerden sırasıyla %47 ve % 19 daha düşük kalmaktadır. Polyamid prosesi için bu kinetik sabitin oldukça yüksek olması, atıksuyun biyolojik ayrışabilirliğini güçleştirmektedir.

İçsel solunum hız katsayısı değerleri incelendiğinde; her iki alt proses içinde bu değer respirometrik çalışmalar sırasında 0,1 gün⁻¹ olarak tespit edilmiş ve literatürde gerek tekstil ve gerekse evsel atıksular için tanımlanan 0,12-0,19 değerleri ile mertebe olarak uyumlu bulunmuştur.

Yarı doygunluk hız sabitinin (K_s) ise her iki alt proseste de 1 mg/l olarak tespit edilmiş olup literatürde (**Babuna ve diğ.,1998**) bu değer pamuklu tekstil ve polyester terbiyesi için sırasıyla 13 ve 25 mg/l olarak bulunmuştur. Bu çalışmada akrilik alt prosesi atıksuları için elde edilen yarı doygunluk hız sabiti ve maksimum spesifik çoğalma hızı değerlerinin oldukça düşük değerlere sahip olması, bu atıksu içindeki organik maddenin biyolojik ayrışabilirliğinin pamuklu ve polyester terbiyesi atıksularına kıyasla daha iyi olduğunu göstermektedir. Polyamid alt prosesi atıksularında ise her ne kadar yarı doygunluk hız sabiti değeri düşük olsa da maksimum spesifik çoğalma hızının lıtefratüre göre çok yüksek olması, bu atığın biyolojik ayrışabilirliğinde güçlüklerle karşılaşılabilceğini göstermektedir. Nitekim, tam karışımli sürekli bir aktif çamursistemi için detayları aşağıda belirtilen tasarım esaslı çalışma sonuçları da bunu doğrulamaktadır.

Hidroliz yarı doygunluk hız sabiti (K_x) değerine bakıldığında; akrilik ve polyamid alt proseslerinde bu değerlerin kompozit numune bazında sırasıyla 0,02 gr KOİ/gr hücre KOİ ve 0,04 gr KOİ/gr hücre KOİ olarak hesaplanmış ve bu değerler literatürde tekstil endüstrisi için tanımlanan 0,40-0,7 gr KOİ/gr hücre KOİ değerlerinden oldukça düşük kalmaktadır. Diğer yandan, **Birinci kademe maksimum spesifik hidroliz hız sabitinin (k_H)** akrilik elyaf boyama prosesinde 1,4 gün⁻¹ olarak tespit edilmiş olup literatürdeki diğer değerlere ve bu çalışmada polyamid alt prosesi

için belirlenen $3,5 \text{ gün}^{-1}$ değerine kıyasla düşük, polyamid halı boyama prosesinde ise literatüre göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, *ikinci kademe hidroliz hız sabiti* (k_{h2}) değeri ise her iki alt proseste de sırasıyla $0,36 \text{ gün}^{-1}$ ve $0,72 \text{ gün}^{-1}$ olarak oldukça düşük değerlerde ölçülmüş olup polyamid proseste akrilik prosesin iki katı kadar daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer yandan her iki alt proseste de birinci kademe hidroliz hız sabiti (k_{h1}) değerinin doğal olarak ikinci kademe hidroliz hız sabiti (k_{h2}) değerinden yüksek olduğu bulunmuştur. Buradan hareketle, akrilik proses için bulunan gerek hidroliz yarı doygunluk hız sabiti değeri ve gerekse birinci ve ikinci kademe maksimum spesifik hidroliz hız sabiti değerleri hem polyamid prosese hem de literatüre göre daha düşük kaldığından hidrolizi daha hızlı gerçekleşmekte ve dolayısıyla biyolojik ayrışabilirliği kolaylaşmaktadır. Nitekim, tam karışımlı sürekli bir aktif çamur sistemi için detayları aşağıda belirtilen tasarım esaslı çalışma sonuçları da bunu doğrulamaktadır.

Diğer yandan polyamid proseste her ne kadar hidroliz yarı doygunluk hız sabiti değeri düşük ise de hem birinci hem de ikinci kademe maksimum spesifik hidroliz hız sabiti değerleri akrilik prosesin 2-2,5 katı kadar daha yüksek bir değere sahip olduğundan biyolojik ayrışabilirliği güçleşmektedir. Ayrıca polyamid proseste birinci kademe yavaş ayrışabilir KOİ miktarı ikinci kademe yavaş ayrışabilen KOİ miktarına göre oldukça düşük olduğundan, ikinci kademe maksimum spesifik hidroliz hız sabitinin büyüklüğü çıkış suyu kalitesini önemli ölçüde etkileyebileceği düşünülmüş ve bu amaçla tam karışımlı sürekli bir aktif çamur sisteminde tasarım esaslı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, farklı çamur yaşı ve hidrolik bekletme sürelerinde bu katsayının %86 gibi oldukça yüksek bir oranda artırılması halinde, halı üretimi atıksularının alıcı ortama deşarj standartlarında tanımlanan 200 mg/l değerinin altına inilebildiği görülmüştür. Bu nedenle bundan sonraki yapılacak çalışmalarda, polyamid alt prosesi kompozit atıksuyundan değişik zamanlarda alınacak temsil edici numunelerde detaylı deneysel ve modelleme çalışmalarının yapılması ve k_{H2} için geçerli aralığın bulunması önerilmektedir.

Polyamid halı boyama prosesi kompozit atıksu akımı için modelleme çalışmaları sonucu elde edilen katsayılar kullanılarak tam karışımlı sürekli aktif çamur sistemleri için gerçekleştirilen tasarım esaslı bir başka çalışma sonuçlarına göre, SKKY'nin alıcı ortama deşarj standartlarında 24 saatlik kompozit numune için belirtilen 200 mg/l toplam KOİ değerini sağlamak üzere çamur yaşı 5 gün olan bir sistemde 3 gün ve çamur yaşı 10 gün olan için ise 2,2 güne yakın bir hidrolik bekletme süresi

KAYNAKLAR

- Akal, S.K., 1990. Aktif çamurda çözünmüş metabolik ürün oluşumu modeli, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- APHA, 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th Eds. American Public Health Association, Washington D.C., U.S.A.
- Artan, N., (1987). Aktif çamurda çözünmüş kalıcı ürün oluşumu modeli, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Balmat, J.L., (1957). Biochemical oxidation of various particulate fractions, sewage. *Sewage and Industrial Wastes*, 29 (7), 757-761.
- Billing, A, E., Dold, P.L., (1988). Modelling techniques for biological reaction systems 1. mathematical description and model representation, *Water SA*, 14 (4), 185-192.
- Boero, G.L., Eckenfelder, W.W., Bowers, A.R., (1991). Soluble microbial product formation in biological systems, *Wat.Sci.Technol.*, 23(4-6), 1067-1076.
- Chudoba, J., (1985). Quantitative estimation in COD units of refractory organic compounds produced by microorganisms, *Wat.Res.*, 19,37-43.
- Corbitt, R. A., (1990). Standart handbook of environmental engineering, Chapter 5, pp. 18-19, Eds. McGraw-Hill, ISBN: 0-07-013158-9, U.S.A.
- Daigger, G.T., Grady, C.P.L.Jr.,(1982). The dynamics of microbial growth on soluble substrates, *Wat. Sci.Technol.*, 16, 365-382.
- De La Sota, A., Larrea, L., Novak, L., Grau, P., Henze, M., (1994). Performance and model calibration of R-D-N process in pilot plant, *Wat. Sci.Technol.*, 30 (6), 355-364.
- Dennis, R.W., Irvine, R.L, (1983), A stoichiometric model of bacterial growth, *Wat. Sci.Technol.*, 15, 1363-1373.
- DİE, (2004). Türkiye istatistik yılı, İmalat sanayi, www.die.gov.tr.
- Dold, P.L., Ekama, G.A., Marais, G.V.R., (1980). A general model for the activated sludge process, *Prog. Wat. Technol.*, 12, 47-77.

- Dold, P.L., Marais, G.V.R.,** (1986). Evaluation of the general activated sludge model proposed by the IAWPRC task group, *Wat.Sci.Technol.*, **18** (6), 63-90.
- Eckhoff, D.W., Jenkins, D.,** (1967). Activated sludge systems- kinetics of the steady and transient states, SERL Report **67-12**, Univ. of California, Berkeley,120.
- Ekama, G.A., Dold, P.L., Marais, G.V.R.,** (1986). Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of heterotrophs in activated sludge systems, *Wat. Sci.Technol.* **18**, 91-114.
- Eliosov, B., Argamon, Y.,** (1995). Hydrolysis of particulate organics in activated sludge systems, *Wat. Res.*, **29** (1), 115-163.
- Elvers, B., ed.,** (1995). Elver's encyclopedia of industrial chemistry, **A26** (14), 487.
- ENco, D.A.,** (2001). BAT in wool and wool blend carpet yarn wet processing, *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Refrence Document on Best Available Technics (BAT) for the Textile Industry*, European Commission, Brussels.
- EPA,** (1978). Textile industry catalogue, U.S.A.
- EPA,** (1978). Textile processing industry, *Environmental Research Information Center Technical Report*, Technology Transfer, **EPA-625/7-78-002**, U.S.A.
- EPA,** (1977-1980). Source assesment: cotton and synthetic woven fabric finishing, *Environmental Research Information Center Technical Report*, Technology Transfer, **EPA-600/2-80-042a**, U.S.A.
- EPA,** (1982). Development document for effluent limitations guidelines and standarts for the textile mills; point source category, *Environmental Research Information Center Technical Report*, Technology Transfer **EPA-440/1-82/022**, U.S.A.
- Eremektar, G., Germirli, F., Çeki, S., Tünay, O.,** (1996). Tekstil endüstrisi atıksularında inert KOİ, Örnek Uygulama, *5.Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu'96*, 25-27 Eylül, s. 247-255.
- ETAD,** (2001). Guidance for the user industry on the environmental hazard labelling of dyestuffs, USA.
- Evers, D.,** (1965). Carpet manufacturing effluents and their treatment, *J.Proc.Inst. Sewage Purif.*, 464-470.
- Genceli Ateş, E.,** (1997). Deri endüstrisi atıksularının arıtımı, *Doktora Tezi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Germirli, F., Tünay, O., Orhon, D.,** (1990). An overview of the textile industry in Turkey-pollution profiles and treatability characteristics *Wat.Sci. Technol.*, **22(9)**, 265-274.
- Germirli, F., Orhon, D., Tünay, O.,** (1990a). Tekstil endüstrisinde atıksu özelliklerini etkileyen faktörler – Örnek Tesislerde Uygulama, *İ.T.Ü. 2. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu*, İTÜ, İstanbul, s. 95-108.
- Germirli, F.,**(1990b). The incremental and comparison methods for the assesment of initial soluble COD, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü , İstanbul.
- Germirli, F., Orhon, D. and Artan, N.,** (1991). Assessment of the initial inert COD in industrial wastewaters. *Wat.Sci.Technol.*, **23(4-6)**, 1077.
- Germirli, F., Orhon, D., Artan, N., Ubay, E., Görgün, E.,** (1993).Effect of two-stage treatment on the biological treatability of strong industrial wastewaters, *Wat.Sci.Technol.*, **28 (2)**, 145-154.
- Germirli Babuna, F., Orhon, D., Ubay Çokgör, E., İnsel, G. and Yapraklı, B.,** (1998 b) Modelling of activated sludge for textile wastewaters, *Wat. Sci.Technol.*, **38 (4-5)**, 9-17.
- Gaudy, A.F.Jr.,** (1972). Biochemical oxygen demand in water pollution microbiology, 1, pp. 305-332, R. Mitchell, ed., 1, John Wiley & Sons, Toronto.
- Grau, P.,** (1991). Textile industry wastewaters treatment, *Wat.Sci.Technol.*, **24 (1)**.
- Grady, C.P.L.Jr., Lim, H.C.,** (1980). Biological Wastewater Tratment Theory And Applications, Marcel Deckler Ins., New York, USA.
- Grady, C.P.L.Jr.,et al.,**(1989). Determination of biodegration kinetics through use of electrolytic respirometry, *Wat. Sci.Technol.*, **21**, 957-968.
- Goronszy, M.C., Eckenfelder, W.W. Jr.,** (1991). The role of the degradation of primary solids in activated sludge plants, *64th Annual Conference, WPCF*, Toronto, USA, October.
- Gujer, W., Henze, M., Mino, T., Loosdrecht, M.C.M.,** (1999). Activated sludge model no 3. *Wat. Sci. Technol.*, **39(1)**, 183-193.
- Henze, M.,** (1986). Nitrate versus oxygen utilization rates in wastewater and activated sludge systems. *Wat. Res.*, **18**, 115-122.
- Henze, M., Grady, C.P.L.JR., Gujer, W., Marais, G.V.R., Matsuo, T.,** (1987). Activated sludge model No.1. IAWPRC, *Wat. Sci. and Technol.*, Report No. 1, IAWPRC, London.

- Henze, M., Mladenovski, C., (1991). Hydrolysis of particulate substrate by activated sludge under aerobic, anoxic and anaerobic conditions, *Wat.Res.*, **25** (1), 61-64.
- Henze, M., (1992). Characterization of wastewater for modelling of activated sludge processes, *Wat. Sci. Technol.* **25** (6), 1-15.
- Henze, M., Haremoes, P., (1992). Characterization of wastewater: the effect of chemical precipitation on the wastewater composition and its consequences in chemical water and wastewater treatment, pp.293-311, Eds. H. Klute, R. And Hahn, H., Springer Verlag, Berlin.
- Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, C. M., Marais, G. V.R., (1995). Activated sludge model No.2, *IAWQ Sci. and Technol. Report*, No.3, London, England: IAWQ.
- Heukelekian, H., Balmat, J.L., (1959). Chemical composition of particulate fractions of domestic sewage, *Sewage and Industrial Wastes*, **31**, 413-423.
- Hoehn, W., (1998). Textile wastewater –methods to minimize and reuse, Textile veredlung, Reuse standarts, Thies-handbuch für den Garnfärber.
- Hunter, J.V., Heukelekian, H., (1965). The composition of sewage fractions, *J. WPCF*, **37** (8), 1143-1163.
- IPPC BREF, (2003). Integrated pollution prevention and control (IPPC) reference document on best available techniques (BAT) for the textile industry, European Commission, Brussels.
- ISO 6060, (1986). Water quality-determination of the chemical oxygen demand, *International Organization for Standardization*, Ref. No. ISO 6060, 1986 (E), Switzerland.
- ISO 7887, (1994). Water quality-determination of color, *International Organization for Standardization*, Ref. No. ISO 7887, 1994 (E), Switzerland.
- İTKİB,(2004). Size of Turkish textile and clothing industry, General Secretariat of İTKİB, Research Development and Legislation Department, www.ITKIB.org.tr, İstanbul.
- İnsel, G., Vanrolleghem, P., Orhon, D., (2002). Application of optimal experimental design for the assessment of hydrolysis kinetics under aerobic conditions, *3rd IWA World Congress*, Melbourne, Australia, 7-12 April, (submitted).
- Johanson, P., (1994). Siphon A Kinetic Model For Simulation Of Biological Phosphate Removal, Department Of Water And Environmental Engineering, Lund University, Sweden.

- Jones, G.L.**, (1973). Bacterial growth kinetics measured and significance in the activated sludge process, *Wat. Sci.Technol.*, **7**, 1475-1492.
- Kabdaşlı, I., Tünay, O., Orhon, D.**, (1994). The treatability of chromium tannery wastes, *Wat.Sci.Technol.*, **28 (2)** , 97-106.
- Kappeler, J., Gujer, W.**, (1992). Estimation of kinetic parameters of heterotrophic biomass under aerobic conditions and characterization of wastewater for activated sludge modeling, *Wat. Sci.Technol.*, **25 (6)**, 125-139.
- Kristensen, G.H., Jorgensen, P.E., Henze, M.**, (1992). Characterization of functional microorganism groups and substrate in activated sludge and wastewater by AUR, NUR and OUR, *Wat. Sci.Technol.*, **25 (6)** , 43-57.
- Larrea, L., Garcia-Heras, J. L., Ayesa, E., Florez, J.**, (1992). Designing experiments to determine the coefficients of activated sludge models by identification algorithms, *Wat. Sci.Technol.*, **25 (6)**, 119-165.
- Lesouef, A., Payrandeau, A., Rogalla, F., Kleiber, B.**, (1992). Optimizing nitrogen removal reactor configurations by on-site calibration of the IAWPRC activated sludge model, *Wat.Sci.Technol.*, **25 (6)**, 105-120.
- Levine, A.D., Tchobanoglous, G., Asano, T.**, (1991). Size distribution of particulate contaminants in wastewater and their impact on treatability, *Wat. Res.*, **25 (8)**, 911-922.
- Li, X. Z. And Zhao, Y.G.**, (1999). Advanced treatment of dyeing wastewater for reuse, *Wat. Sci. Technol.*, **39 (10-11)**, 245-255.
- Mamais, D., Jenkins, D., Pitt, P.**, (1993). A rapid physical-chemical method for the determination of readily biodegradable soluble COD in municipal wastewater, *Wat.Sci.Technol.*, **27 (1)**, 195-197.
- Mc Kinney, R.E.**, (1962). Mathematics of complete mixing activated sludge, *J.SED, Proc. ASCE*, **88**, SA3, 87.
- Monod, J.**, (1949). The growth of bacterial cultures, *An Rev. of Microbiol.*, **3**: 371.
- Novak, L., Larrea, L., Wanner, J.**, (1994). Estimation of maximum specific growth rate of heterotrophic and autotrophic biomass: a combined technique of mathematical modelling and batch cultivations, *Wat. Sci. Technol.*, **30 (11)**, 171-180.
- Orhon, D., Artan, N., Cimsit, Y.**, (1989). The concept of soluble residual product formation in the modelling of activated sludge, *Wat.Sci.Technol.*, **21 (4-5)**, 339-350.

- Orhon, D., Artan, N., Büyükmurat, M., Görgün, E.,** (1992). The effect of residual COD on the biological treatability of textile wastewaters, *Wat.Sci.Technol.*, **26** (3-4), 815.
- Orhon, D., Görgün, E., Germirli, F., Artan, N.,** (1993). Biological treatability of dairy wastewaters, *Wat.Res.*, **27** (4), 625-633.
- Orhon, D., Artan, N.,** (1994). Modelling of Activated Sludge Systems, Technomic Press, Lancaster, PA.
- Orhon, D., Artan, N., Ateş, E., A.,** (1994a). Description of three methods for the determination of the initial inert particulate chemical oxygen demand of wastewater, *J.Chem.Tech.Biotech.*, **61**, 73-80.
- Orhon, D., Sözen, S., Ubay, E.,** (1994b). Assessment of nitrification-denitrification potential of istanbul domestic wastewater, *Wat. Sci.Technol.*, **30** (6), 21-30.
- Orhon, D., Yıldız, G., Ubay Çokgör, E., Sözen, S.,** (1995). Respirometric evaluation of the biodegradability of confectionary wastewater, *Wat. Sci.Technol.*, **32** (12), 11-19.
- Orhon, D., Sözen S., Artan, N.,** (1996). The effect of heterotrophic yield on the assessment of the correction factor for anoxic growth, *Wat.Sci.Technol.*, **34** (5-6), 67-74.
- Orhon, D., Çokgör, E. U.,** (1997). COD fractionation in wastewater characterization-the state of the art, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **68**, 283-293.
- Rickert, D. A., Hunter, J. V.,** (1967). Rapid fractionation and materials balance of solids fractions in wastewater and wastewater effluent, *J. WPCF*, **39** (9), 1475-1487.
- Ritmann E.B., McCarty L.P.,** (2001). Environmental Biotechnology, pp. 107-108, Eds. McGraw –Hill Higher Education, Newyork.
- Route, (1996).** Emisyonların azaltılması ve hammaddelerin korunması için üretime entegre edilmiş tedbirler, *Tekstil Endüstrisinde Çevre Koruma Sempozyumu*, Ankara, 4-7 Kasım.
- Roberts, R.D., Kempton, A.G.,** (1971). Use of ^{14}C , glukoze substrate removal by activated sludge, *J.Wat.Poll.Cont.Fed.*, **43**, 7.
- Robert A.,** (2000). Standart Handbook of Environmental Engineering, pp.18-19, Eds. McGraw-Hill, 5th print, Newyork.

- San Pedro, D.C., Mino, T., Matsuo, T.,** (1994). Evaluation of the rate of hydrolysis of slowly biodegradable COD (SBCOD) using starch as substrate under anaerobic, anoxic and aerobic conditions, *Wat. Sci. Tech.*, **30**(11),191-199.
- Siegrist, H., Krebs, P., Bühler, R., Purtschert, I., Röck, C., Rufer, R.,** (1994). Denitrification in secondary clarifiers, *IAWQ specialised seminar, Modelling and Control of Activated Sludge Processes*, Copenhagen, Denmark, 22-24 August.
- Smith, B.,** (1986). Identification and reduction of pollution sources in textile wet processing, Pollution Prevention Pays Program, Office of Waste Reduction, North Caroline Department of Environment, Health and Natural Resources, p.129.
- Smith, B.,** (1988). A workbook for pollution prevention by source reduction in textile wet processing, Pollution Prevention Pays Program, Office of Waste Reduction, Department of Environment-Health and Natural Resources, (DEHNR), p.69.
- Sollfrank, U., Gujer, W.,** (1991). Characterization of domestic wastewater for mathematical modelling of the activated sludge process, *Wat. Sci.Technol.*, **23** (4-6), 1057-1066.
- Sollfrank, U., Kappeler, J., Gujer, W.,** (1992). Temperature effects on wastewater characterization and the release of soluble inert organic material, *Wat.Sci.Technol*, **25** (6), 33-42.
- Sorour, M, T., Olsson, G., Somlyody, L.,** (1993). Potential use of step feed control using the biomass in the settler, *Wat.Sci.Technol*, **28** (11-12), 293-248.
- Sözen, S.,** (1991). Tekstil endüstrisinde kirlenme kontrolü, İ.T.Ü., SKKD, **1** (3), 133-144.
- SKKY,** (1988). Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 04.09.1988 Tarihli ve 19919 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Stokes, L., Takacs, I., Watson, B., Watts, J., B.,** (1993). Dynamic modelling of an ASP sewage works - a case study, *Wat.Sci.Technol*, **28** (11-12), 151-161.
- Stuber, Larry M.,** (1974). Tertiary treatment and disinfection of tufted carpet dye waste water, *29th Purdue Industrial Waste Conference (PIWC)* , 964-977.
- Takahashi, S, Fujita, T., Kato, M., Saiki, T., Maeda, M.,** (1969). Metabolism of suspended matter in activated sludge treatment, *In Advances in Water Pollution Research, Proc. 4th Int. Conf.*, Prague, pp.341-352, Pergamon Press Oxford.

- The World Bank**, (1997). Pollution Prevention And Abatement Handbook, *Part III: Textile Industry*, Environment Department of World Bank, Washington, U.S.A.
- Tischler, L.F., Eckenfelder, W.W.Jr.**, (1968), Lineer substrate removal in the activated sludge process, *4th Inst. Conf. On Wat. Poll. Res.*, Prague Rep. No.II-4.
- Tünay, O., Orhon, D., Artan, R.**, (1984). T.C. Başbakanlık Çevre Müdürlüğü endüstriyel atıksuların kontrol ve kısıtlama esasları projesi gelişme raporu, *Teknik Rapor*, İ.T.Ü. Çevre ve Şehircilik Uygur. Merkezi, İstanbul.
- Tünay, O.**, (1996). Endüstriyel Kirlenme Kontrolü, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Ubay, G., Öztürk, İ., Eroğlu, V.**, (1996). Kağıt sanayi atıksularında çamur özellikleri ve çözünmüş kalıcı KOİ'nin belirlenmesi, *5.Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, '96, 25-27 Eylül, Bildiri Kitabı, 263-273.
- Ubay Çokgör, E.**, (1997), Aerobik sistemlerde proses kinetiği ve stokiometrisinin respirometrik olarak değerlendirilmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- UNEP IE**, (1994). The textile industry and the environment, *Technical Report*, 16, p. 120 .
- Veldhuisen, D. R. van**, (1991). Technical and economic aspects of measures to reduce water pollution from the textile finishing industry, Commission des Communautés Européennes, Direction General, Environment Securite Nucleaire et protection Civile, 175 pages, Luxemburg: office for official publications of the European Communities, Brüksel.
- Wuhrman, K.**, (1956), Factors affecting efficiency and solids production in the activated sludge process, Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes, pp. 49-64, Eds. Reinhold Publishing Co., W.W. Eckenfelder and J. McCabe, Newyork.

ÖZGEÇMİŞ

Günay yıldız, 1970 yılında Erzurum’da doğdu. 1987-1991 yılları arasında Lisans ve 1992-1995 yılları arasında yüksek lisans eğitimini İstanbul teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliğinde tamamladıktan özel sektörde arıtma tesisi sorumlu mühendisi olarak çalıştı. Evli ve bir çocuk annesi olup halen İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde doktora öğrencisi olarak kayıtlı bulunmaktadır.

