

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ	11
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi.....	11
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	12
2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ GENEL ÖZELLİKLERİ	14
2.1 Tekstil Endüstrisinin Türkiye’deki Durumu	14
2.2 Üretim	14
2.2.1 Hammaddeler	14
2.2.2 Üretim Proses ve İşlemleri.....	15
2.3 İncelenen Tesis Hakkında Genel Bilgiler	18
2.3.1 Proses Profili	22
2.3.2 Kirlenme Profili	22
2.3.3 Tesisin Atıksu Kaynak ve Özellikleri	24
2.3.4 Tesisin Atıksu Karakterizasyonu	25
2.3.5 Atıksu Arıtma Tesisi	25
3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARI VE ARITIM YÖNTEMLERİ	27
3.1 Tekstilde Su Kullanımı	27
3.1.1 Su Kaynakları ve Maliyetleri	28
3.2 Atıksu Kaynakları	29
3.3 Tekstilde Kullanılan Kimyasallar	31
3.3.1 Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddeler	33
3.4 Tekstil Atıksularının Karakterizasyonu	34
3.5 Atıksuları Arıtma Teknolojisi	36
3.6 Konvansiyonel Arıtma Yöntemleri.....	36
3.6.1 Biyolojik Arıtma Yöntemleri.....	37
3.6.1.1 Aktif Çamur Sistemi	37
3.6.1.2 Ardışık Anaerobik Aktif Çamur Sistemi	37
3.6.2 Kimyasal Arıtma Yöntemleri.....	37
3.6.3 İleri Arıtma Yöntemleri	38

3.6.3.1	Filtrasyon Sistemleri	39
3.6.3.2	Fenton Oksidasyonu.....	39
3.6.3.3	Elektroliz.....	40
3.6.3.4	Fotokataliz.....	40
3.6.3.5	Adsorpsiyon	41
3.6.3.6	Ozonlama	41
4.	OZONLAMA.....	43
4.1	Ozonun Bulunuşu.....	43
4.2	Ozon Üretimi	44
4.3	Ozon Gazı Özellikleri ve Kimyası	48
4.4	Ozonlama Prosesi.....	51
4.5	İçme Sularında Ozonlama.....	51
4.6	Atıksularda Ozonlama	53
4.6.1	Dezenfeksiyon.....	53
4.6.2	İnorganik Maddelerin Oksidasyonu.....	55
4.6.3	Organik Maddelerin Oksidasyonu	56
4.6.4	Renk Giderimi.....	57
4.6.5	Ozon Uygulamasının Dezavantajları	57
4.6.6	Diğer Faydalı Uygulamalar.....	59
4.7	Ozonlamanın Maliyet Analizi.....	60
5.	DENEYSEL ÇALIŞMA MATERYAL VE YÖNTEMİ.....	62
5.1	Deney düzeneği.....	62
5.2	DeneySEL materyal ve yöntemler.....	65
6.	ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	68
6.1	Ham Atıksu Üzerinde Yapılan Çalışmalar.....	68
6.2	Kimyasal Arıtma ile Birlikte Ozon Uygulamaları	73
6.2.1	Kimyasal Arıtma Sonrası Ozon Uygulaması	73
6.2.2	Ozon Uygulaması Sonrası Kimyasal Arıtma.....	79
6.3	Üç Farklı Ozon Uygulamasının Mukayesesi	80
6.4	Yapılan Çalışmaların Ekonomik Analizi	81
7.	SONUÇ ve DEĞERLENDİRME	84
	KAYNAKLAR	87
	ÖZGEÇMİŞ	90

SİMGE LİSTESİ

$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
Hz	Hertz
kwh	Kilowatt-saat
L	Litre
μ	Mikro
V	Volt

KISALTMA LİSTESİ

AKM	Askıda Katı Madde
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
EDTA	Ethylenediaminetetraacetic acid
EPA	Environmental Protection Agency
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
PSA	Pressure Swing Adsorption
TÇM	Toplam Çözünmüş Madde
THM	Trihalometan
TKM	Toplam Katı Madde
UV	Ultraviyole

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Altınyıldız Mensucat kumaş üretim akış şeması	20
Şekil 4.1 Yukarı akış difüzyonu.....	45
Şekil 4.2 Türbin karıştırma	46
Şekil 4.3 Enjeksiyon metodu	46
Şekil 4.4 Kısmi enjeksiyon	47
Şekil 4.5 Basınçlı enjeksiyon.....	47
Şekil 4.6 Sudaki ozonun hidroksil iyonu tarafından başlatılan bozunması için dairesel zincir mekanizması.....	50
Şekil 5.1 Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	63
Şekil 5.2 Ozon düzeneğinin deney öncesi görünümü (AZCO marka VMUS-4 model)	64
Şekil 5.3 Deneysel çalışma esnasındaki sistemin görünüşü	65
Şekil 5.4 Altınyıldız Mensucat arıtma tesisi numune alma noktaları	67
Şekil 6.1 28 mg/l ozon konsantrasyonunda KOİ ve renk giderimi.....	69
Şekil 6.2 32 mg/l ozon konsantrasyonunda KOİ ve renk giderimi.....	70
Şekil 6.3 46 mg/l ozon konsantrasyonunda KOİ ve renk giderimi.....	70
Şekil 6.4 Tesisteki arıtma çıkışına uygulanan ozonlama çalışması	74
Şekil 6.5 Optimum pH belirleme çalışması	76
Şekil 6.6 Kimyasal arıtmada kireç ve demirsülfat kullanılarak renk ve KOİ gideriminin izlenmesi.....	77

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Karbonizasyon işlemi atıksu miktarı ve özellikleri	21
Çizelge 2.2 Dinkleme işlemi atıksu miktarı ve özellikleri.....	21
Çizelge 2.3 Boyama işlemi atıksu miktar ve özellikleri	22
Çizelge 2.4 Proseslerde kullanılan atıksu oluşumu.....	22
Çizelge 2.5 Ürün bazında kirlenme profili	23
Çizelge 2.6 Ürün bazında gelecekteki kirlenme profili	23
Çizelge 2.7 Ürün bazında gelecekteki kirlenme profili	24
Çizelge 2.8 Atıksu karakterizasyonu ortalama değerler (mg/l)	25
Çizelge 3.1 Tekstil işlemlerinde su kullanımı (EPA,1996).	28
Çizelge 3.2 Alt kategorilere göre atıksu oluşturan işlemlerin dağılımı	31
Çizelge 3.3 Tekstil endüstrisinde uygulanan proseslerde kullanılan kimyasallar ve atıksu özellikleri (Arslan, 2000).	32
Çizelge 3.4 Pamuklu tekstil atıksuları genel kompozisyonu	35
Çizelge 3.5 Yünlü tekstil yapağı yıkama ve bitirme (boya-apre) atıksu özellikleri	35
Çizelge 4.1 Ozonun fiziksel-kimyasal özellikleri.....	48
Çizelge 4.2 Ozonun termodinamik özellikleri	48
Çizelge 4.3 Oksidanlar ve oksidasyon potansiyelleri	50
Çizelge 4.4 İz organik bileşiklerin giderim dereceleri.....	52
Çizelge 4.5 Ozonun mikroorganizmaları öldürmesi için gerekli temas süreleri (Gregor, 1994).	54
Çizelge 4.6 Ozonla reaksiyon sonunda oluşan ürünler.....	56
Çizelge 4.7 1954-1997 yılları arasında Almanya’da ozon jeneratörü bulunan tesisler.	61
Çizelge 6.1 Ham atıksu numunesinin kirlenici karakterizasyonu	68
Çizelge 6.2 Ham su uygulamalarında sistemin ozon kütle dengesi.....	72
Çizelge 6.3 Tesis arıtma çıkışına ozon uygulamasında KOİ ve renk giderim verimleri	73
Çizelge 6.4 Tesiste aylık olarak kimyasal arıtmada kullanılan kimyasal ve dozları	75
Çizelge 6.5 Ham su numunesi için kimyasal arıtma sonuçları.	76
Çizelge 6.6 Kimyasal/Ozon uygulamasında KOİ ve renk giderim verimleri.....	79
Çizelge 6.7 Ozon/Kimyasal uygulamaları sonucunda KOİ ve renk değişimleri	80
Çizelge 6.8 Ozon uygulaması ile mevcut kimyasal uygulamasının karşılaştırılması	80
Çizelge 6.9 Tesiste kullanılan kimyasal birim fiyatları ve enerji maliyetleri	82

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmamın 2005 yılında çıkan öğrenci affıyla, devamını sağlayan ve tez aşamasına gelmesine vesile olan devlet büyüklerine teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımın en başından sonuna kadar yardımcı olan, en zorlandığım günlerde dahi çözüm geliştiren ve bu çalışmayı yöneten kıymetli hocam Yrd. Doç.Dr. Yaşar AVŞAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışma konusunda, laboratuvarımızda gerekli ekipman olmamasına karşı beni bu konuda cesaretlendiren değerli hocam Prof. Dr. Talha GÖNÜLLÜ'ye teşekkür ederim. Ayrıca çalışmanın hızla yapılması için yurtdışından cihazları temin eden Sn. Harun ERENŞOY'a, teşekkür ederim. Tez çalışmasında gerekli düzenlemelere yardımcı ve destek olan, eşim ve meslektaşım Betül İYİCAN BATIBAY'a şükranlarımı sunarım.

30 Temmuz 2008

Aytaç BATIBAY

ÖZET

Ülkemizde tekstil endüstrisi sanayi pazarında önemli bir paya sahiptir. Bu sanayinin ihtiyaç duyduğu yüksek oranda su aynı zamanda büyük oranlarda atıksu oluşmasına da neden olmaktadır. Yüksek oranda su kullanımına bağlı olarak atıksu oluşturmaları, bu tesisleri çevresel duyarlılık açısından büyük bir ilgi odağı haline getirmektedir.

Bu çalışmada, İstanbul'da bulunan bir tekstil endüstrisinde kimyasal arıtma ve ozon oksidasyonu yöntemleri kullanılarak KOİ ve renk giderim verimleri incelenmiştir.

Bu çalışmada ozon oksidasyonunun mevcut kimyasal arıtma sistemi dahilinde nasıl uygulanabileceği araştırılmıştır. Bununla birlikte, atıksulara kimyasal arıtma uygulamadan sadece ozonlama yapılması durumundaki etkileri de incelenmiştir.

Buna göre 32 mg/lit ozon konsantrasyonunda endüstriyel atıksuyun ozonlanması ile arıtma zamanı 10 dakikaya düşürülmüş, maliyet %54,9 oranında azaltılmıştır. Çıkış suyu kalitesi olarak tesisteki mevcut arıtmada KOİ ve renk giderimleri sırası ile %56 ve %87,5 iken. Ozonlama ile bu değerler %59,8 ve %91,4'e çıkarılmıştır.

Anahtar kelimeler: Tekstil atıksuyu, ozon, kimyasal arıtma

ABSTRACT

Textile industry has importance in the field of other industries in our country. Much water is needed for the industry it means so much wastewater also. Because of being high rate wastewater, these industries become cynosure of environment point of view.

In this study COD and color removal efficiencies were searched in a pilot textile industry in Istanbul by using chemical and ozone oxidation treatment techniques.

With this study, applicability of ozone oxidation technique in the stage of chemical treatment was searched. In addition to this, just ozone treatment effects without chemical addition also were searched and the results discussed.

As a result, the treatment time was determined as 10 minutes by using optimum ozone concentration 32 mg/l. With this doze the cost of treatment was decreased as %54,9. Therefore effluent quality also was developed. While COD and color removals were %56 and %87,5 for present chemical treatment, these values were increased by using ozone application to %59,8 and %91,4 for COD and color, respectively.

Keywords: Textile wastewater, ozone, chemical treatment

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Yaşamımızı sürdürmek için gerekli olan kaynaklar yüzyıllardır insanlar tarafından kullanılmaktadır. Bununla birlikte gelişen teknoloji ve artan nüfus, çevre kaynakları üzerindeki baskıyı artırmaktadır.

20. yüzyıl ortalarında hızla artan sanayi devriminden günümüze kadar uzanan zaman diliminde çeşitli sanayi dallarında gözlenen müthiş gelişmeye paralel olarak endüstriyel kirlenme, ekolojik dengenin korunması noktasında büyük güçlüklerle yol açmaktadır. Özellikle endüstrileşmeye bağlı olarak üretilen atıksular, doğanın kendini temizleyebilme kapasitesini aşmakta nehir, göl ve deniz gibi alıcı ortamları kirletmektedir. Doğadaki ekolojik dengeyi geri dönüşü mümkün olmayan olumsuz etkilere sürükleyebilecek bu durumun önüne geçmek için atıksuları uzaklaştırmadan önce arıtma zorunluluğu yetkili mercilerce sürekli takip edilmelidir.

Endüstriyel kirlenmenin Türkiye'deki boyutlarının ortaya konması aşamasında, tekstil endüstrisinin önemi göze çarpmaktadır. Bu nedenle, Türkiye'nin ekonomik kalkınmasında başı çeken tekstil sektörü 23 milyar dolarlık ihracat geliri ile toplam endüstriyel üretimin, %13'ünü kapsamaktadır. Bu nedenle endüstriyel kirlenmeye dönüşen etkilerinin ele alınması gerekmektedir. Kullanılan hammaddelerin, uygulanan tekniklerin ve elde edilen ürünlerin işletmeler bazında gösterdiği farklılığın yapısını daha da karmaşık kıldığı tekstil endüstrisi genelinde atıksu miktarı ve kalitesi geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. Dolayısıyla, tekstil endüstrisi atıksularının kontrolünü sağlamak amacıyla atıksu özellikleri, atıksuyun arıtılabilirliği, çalışma düzenindeki olası değişimler dikkate alınmalıdır. Bu değişimlerin atıksu ve arıtılabilirlik üzerine etkileri izlenerek belirlenen arıtma sistemleri içerisinde hem ekonomik açıdan uygun, hem de çevre korunması bakımından belirli bir düzeyde arıtımı gerçekleştirecek güvenli bir arıtma düzeninin oluşturulmasına gereksinim duyulmaktadır.

Tekstil işletmelerindeki arıtma düzeni genelde kimyasal arıtma sistemine dayalıdır. Bu sistemleri değiştirmeden prosesin belirli kademelerinde ozon oksidasyonu uygulamak atıksu geri kazanım faaliyetlerine katkı sağladığı için bu çalışmalar önemli bir ivme kazanmıştır.

Endüstriyel faaliyetler için toplam kalite yönetiminin önemli bir özelliği olan atıksu geri kazanımı, genellikle yüksek su tüketimiyle karakterize edilen tekstil endüstrisinde giderek yaygınlık kazanmaktadır. Son yıllarda küresel ısınma etkisiyle yağışlarda görülen azalma ve

su sıkıntısı fabrikaları bu konuda yatırım yapmaya zorlamaktadır. Çünkü arzu edilen nicelikte ve nitelikte suyun bulunması, tekstil endüstrisi için çoğunlukla büyük problem doğurmaktadır. Bu nedenle arıtma tesisine gelen suların geri kazanımını sağlamak için arıtma teknolojilerini araştırmak ve geliştirmek, ozon oksidasyonunun atıksu arıtımı üzerindeki etkilerini belirlemek ve ekonomik bakımdan değerini saptamak endüstriyel atıksu kontrolü metodolojisinde önem kazanmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasına başlarken öncelikle sadece laboratuvar amaçlı bir dizi deneysel verileri kullanarak bir sonuca varmak yerine, pratikte bir sektör üzerinde çalışılarak gerçek sonuca ulaşmak hedeflenmiş ve bu tesis için pratikte fayda oluşturabilecek bir yöntemi ortaya koymak amaçlanmıştır.

Seçilen tesis, İstanbul Yenibosna'da faaliyet gösteren Altınyıldız Mensucat ve Konfeksiyon A.Ş. olup, bu tesise ait tekstil atıksularının mevcut kullanılan arıtma yöntemine (kimyasal arıtma) alternatif olabileceği düşünülen ve yüksek oksidasyon kapasitesine sahip ozon uygulamalarını içermektedir.

Bilindiği üzere ozon, yüksek oksidasyon kapasitesine sahip bir oksidant olup, arıtma süresi, ekonomisi ve etkin giderme verimi ile tesisin arıtma yöntem ve maliyetine alternatif olabileceği düşüncesi ile bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilmiş olan faaliyetleri, aşağıda verildiği gibi sıralamak mümkündür;

- Hâlihazırda çalışılan fabrikada kullanılan arıtma yöntemine alternatif olarak düşünülen ozonlama performansının belirlenmesi ve uygulamada sadece ozon kullanılması durumunda arıtma verimliliği (KOİ ve Renk açısından) ne oranda olacağı araştırılmıştır.
- Tekstil endüstrisi gibi su tüketiminin oldukça fazla olduğu bir sektör için suyun geri kazanımının önemine binaen uygulanmakta olan mevcut kimyasal arıtma ile birlikte ozon uygulaması çalışmalarının ne derecede gerçekleşip gerçekleşmeyeceğinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Bu amaçla tesisten alınan ham suya laboratuvarda yapılan kimyasal arıtmayla beraber ozon uygulamaları da gerçekleştirilmiştir. Arıtmada sıralama önceliklerinin (ozonlama sonrası kimyasal arıtma veya kimyasal arıtma sonrası ozonlama) verimliliklerinin de kıyaslanarak ortaya konması hedeflenmiştir.

- Tüm bu çalışmalar neticesinde uygulamaların ekonomik analizlerinin kıyaslanarak ortaya konması hedeflenmiştir. Bu maliyetler arasında tesisin hâlihazırda kullandığı koagülantlar ve diğerk koagülantların arıtma verimi, oluşan çamur miktarı ve bunun bertarafı ile alternatif olarak düşünülen ozon maliyetinin bulunması hedeflenmiştir.

2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ GENEL ÖZELLİKLERİ

Tekstil endüstrisi, insanların gıda temininden sonra en önemli ihtiyaçlarından biri olan giyeceklerin üretildiği sektördür. Bununla birlikte gelişen teknolojinin ihtiyaçları arasında olan sanayi tekstili alanı da hızla ilerlemektedir. Tekstil endüstrisi doğal, sentetik ve yapay elyafları kullanarak tekstil ürünleri imal eden tesisleri kapsayan endüstri dalı olarak nitelendirilmektedir. Doğal elyafların temizlenmesi ve iplik haline getirilmesi, tekstil endüstrisi kapsamında bulunmaktadır; buna karşın çırçırılama, kimyasal elyafların üretimi ve giyim sanayi tekstil endüstrisi kategorisinin dışında kalmaktadır. Tekstil endüstrisi doğal, sentetik ve yapay ipliklerin hazırlanması; dokuma, örme veya başka yöntemler aracılığıyla dokunmuş kumaş, örgü kumaş, halı gibi tekstil ürünleri elde edilmesi; iplik, elyaf, örgü kumaş ve dokunmuş kumaşa boya, baskı, apre gibi terbiye işlemlerinin uygulamasını içermektedir (Göknil ve diğ., 1984; Tünay, 1996a).

2.1 Tekstil Endüstrisinin Türkiye'deki Durumu

Tekstil endüstrisi, ülkemizde ham maddeleri yurt içinde üretilen en önemli sektörlerden biridir. Ülkemizin toplam ihracat gelirlerinin %40'a yakını tekstil ürünlerinden sağlanmaktadır. Ülkemizin toplam endüstriyel işgücünün %10'u bu sektörde çalışmaktadır. 1997 yılında ülkemiz dünya tekstil ihracatındaki %2,2'lik payı ile 13 üncü, dünya konfeksiyon ihracatındaki %3,5'lik payı ile 6 ncı ve dünya tekstil- konfeksiyon ihracatındaki %2,9'luk payı ile 11 inci en büyük ihracatçı ülke konumunda olmuştur. Başlıca ihraç pazarlarımız Almanya, ABD, İngiltere, Fransa ve İtalya'dır (Gönüllü, 2004).

2.2 Üretim

2.2.1 Hammaddeler

Tekstil endüstrisinin hammaddesi elyaftır. Elyaflar ya kesik halde, ya da sonsuz uzunlukta filamanlar şeklinde bulunmakta; doğal elyaflar, sentetik elyaflar ve yapay elyaflar olmak üzere üç ayrı grupta incelenmektedir. Doğal elyaflar, hayvansal veya bitkisel kökenli olabilmektedir. Hayvansal kökenli elyaflar, protein elyaflar şeklinde nitelendirilmektedir; yün ve ipek, protein elyaflara örnek olarak gösterilebilmektedir. Bitkisel kökenli elyaflar ise, selülozik elyaflar şeklinde adlandırılmaktadır; pamuk, jüt ve keten selülozik elyaflar arasında yer almaktadır. Sentetik elyaflar, selülozik olmayan organik maddelerden sentetik olarak üretilmektedir; başlıca sentetik elyaf türleri arasında polyester, naylon ve poliakrilik

bulunmaktadır. Doğal selülozdan kimyasal proseslerin uygulanması sonucunda elde edilen elyaflara ise yapay elyaflar denmektedir; viskoz rayon ve asetat rayon, yapay elyaflar grubunda yer almaktadır (Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi, 1986 ; Germirli ve diğ.,1990).

2.2.2 Üretim Proses ve İşlemleri

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

Doğal ve kimyasal elyaflardan hareketle elde edilen tekstil ürünleri elyaflar ve iplikler; bant, kurdele gibi açık enli ürünler; ip, kordon gibi ince ve uzun ürünler şeklinde üç kısımda ele alınmaktadır. Bu ürünlerin elde edilmesi ise, farklı üretim proseslerini gerektirmektedir. Tekstil ürünleri, esas olarak kuru ve yaş prosesler aracılığıyla elde edilmektedir. Kuru prosesleri takriben uygulanan, büyük ölçüde boyamayı ve/veya apreği içeren işlemler yaş prosesleri oluşturmaktadır; kuru prosesler ise, su kullanımı gerektirmediğinden dolayı kirlenme açısından önem taşımamaktadır (Sözen, 1991).

a. Kuru Prosesler

1. İplik Üretimi : Elyaftan iplik çekme; çekerek büzme; eğirme; daha sonraki işlemler için hazırlık adımı olarak bobinlere aktarma ve bükme, bu kademenin işlemleri arasında sayılmaktadır.
2. Açık Enli Ürünler : Dokuma; örgü; keçeleştirme ve sağlamlaştırma; tafting ve floklaştırma adımları aracılığıyla bu üretim gerçekleştirilmektedir.
3. İnce ve Uzun Ürünler : Bu üretim, örgü ve büküm kademelerinden meydana gelmektedir.

b. Yaş Prosesler

Bu çalışmada, pamuklu son işlemleri yapan bir tekstil fabrikası ele alınmıştır. Pamuklu kumaşa uygulanan yaş prosesler, genelde birbirini izleyen bir dizi adımdan meydana gelmektedir; bu dizi içinde özellikleri aşağıda adı geçen dört adım, yaş proseslere temel oluşturmaktadır.

1. Yıkama : Bu adım, elyaf üzerindeki tozun ve kimyasal maddelerin giderildiği bir ön

yıkamayı ve enzimatik veya oksidatif ön işlemler ile bazı yardımcı maddelerin uzaklaştırıldığı haşıl sökme kademelerini içermektedir.

2. İşleme : Bu adımda ilk olarak pişirme ve kaynatma işlemleri uygulanmaktadır. Pişirmenin esası, pamuklu ürünleri baz çözeltisiyle basınç altında 110- 130 °C arasındaki sıcaklıklarda birkaç saat sodyum hidroksit, soda ve diğer yardımcı maddelerle işleme tabi tutmaya dayanmaktadır; bu işlem sayesinde hem yardımcı maddeler giderilmekte, hem de emme özelliği iyileştirilmektedir. Kaynatma ise, pişirmeye oranla daha ılıman bir işlem olup atmosfer basıncı altında ve 100 °C civarındaki sıcaklıklarda uygulanmaktadır. Bir sonraki proses merserizasyon işlemidir; merserizasyon adımı, pamuklu ürünlere bazik çözelti yardımıyla parlaklık kazandırılmaktadır. Merserizasyon işlemi ağartma adımı izlemektedir. Ağartma adımı, hidrojen peroksit, sodyumhipoklorit ve sodyumklorit gibi oksitleyiciler kullanılarak ürünün kendi bünyesinde bulunan doğal boyar maddeler parçalanmaktadır. Ağartma işlemi, liflerin daha temiz ve beyaz bir görünüme sahip olmasını amaçlamaktadır. Ağartmanın ardından uygulanan boyama işlemi elyafa, iplik ve kumaşa renk kazandırmayı hedeflemektedir. Boyama kesikli boyama, yarı sürekli boyama ve sürekli boyama şeklinde üçe ayrılmaktadır.

3. Durulama : Bu aşamada, yıkama ve işleme adımlarından sonra tekstil üzerinde kalmış artık maddelerin uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. Çeşitli endüstri dallarında olduğu gibi tekstil endüstrisindeki durulama adımı da, çok kademeli durulama ve ters akımla durulama teknikleri uygulanabilmektedir.

4. Apre ve İkmal : Bu işlemler sırasında, düşük hacimde su harcanarak veya hiç su harcanmadan ürün üzerinde spesifik maddeler uygulanmaktadır; böylece tekstilde su geçirmezlik, kir tutmazlık, buruşmazlık, güç tutuşma, çürümeye ve küflenmeye karşı dayanıklılık, çekmezlik, antimikrobiyalite ve güveden koruma gibi özellikler kazandırılmaktadır.

2.2.2.1 Tekstil Terbiyesi

Ham tekstil malzemeleri görünüş ve kullanılabilirlik açısından uygun durumda değildir. Bu maksatla, yapılan işlemlere terbiye denir. Bu işlemler, aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır;

- Ön terbiye
- Renklendirme
- Bitim

a. Ön Terbiye

Kumaşın boyanmaya veya basılmaya hazır duruma gelene kadar gördüğü işlemlere denir. Özellikle boyama ve baskıda görülen hataların yaklaşık %60-70'i yanlış ve yetersiz ön terbiyeden kaynaklanmaktadır. Örneğin pamuğun ön terbiyesi diğer tür elyaflara göre daha zordur. Pamuğun ön terbiyesi; haşıl sökme, pişme, ağartma sonrasında yakma ve merserizasyon işlemlerinden oluşur.

b. Renklendirme

Kumaş veya elyafın çeşitli boyar maddelerle muamele edilerek renklendirilmesidir. Boyar maddeler; çözelti veya süspansiyon halinde uygulanabilmektedir. Boyanacak malzeme açık elyaf, tops, iplik, kumaş ve hatta hazır giysi halinde olabilir. Her malzeme için geliştirilmiş, özel boyama makineleri vardır.

Kumaş boyama prosesi için teknikte birçok yöntem bulunmakla birlikte, en yaygın olarak uygulanan işlemler çektirme ve emdirme metotlarıdır. Bu yöntemler malzemenin banyoda kalış süresi ve banyo/mal oranına bağlı olarak isim almıştır. Boyar madde ve yardımcı kimyasal maddelerin terkibi laboratuvarı üretilen reçetelere göre uygulanır.

c. Baskı

Tekstil malzemeleri en çok kumaş haldeyken baskı boyamaya tabi tutulur. Basılacak kumaş genelde beyaz olur. Ön boyamadan geçirilmiş kumaşlar üzerine de baskı yapılabilir. Belli başlı baskı yöntemleri aşağıda sıralanmıştır:

- Direkt (Aplike) baskı
- Aşındırma baskı
- Rezerve baskı

Mekanik uygulama açısından ise baskı teknikleri dört grupta görülebilir.

- El basmacılığı
- Şablon basmacılığı
- Rulo basmacılığı
- Film basmacılığı

d. Bitim İşlemleri

Tekstil ürünlerinin tutum, görünüş ve kullanım özelliklerini geliştirmek için yapılan son işlemlere bitim işlemleri denir. Bitim işlemleri ile tekstil malzemesine verilen özellikler;

- Görünüş ile ilgili özellikler: Düzgünlük, parlaklık, sıklık ve matlık
- Tutum ile ilgili özellikler: Sertlik, dirilik, dolgunluk, yumuşaklık, elastiklik ve tokluk
- Kullanım ile ilgili özellikler: Buruşmazlık, yanmazlık, su geçirmezlik, çekmezlik, keçeleşmezlik, kir tutmazlık ve yıkama ile kirleri kolay giderme, küflenmezlik ve antimikrobiyalite

Bitim işlemleri kimyasal (yaş) ve mekanik (kuru) bitim işlemleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Bu işlemler elyafa bağlı olarak değişir.

Kimyasal Bitim İşlemleri; Tutum, su geçirmezlik, buruşmazlık, yanmazlık, kir tutmazlık ve yıkama ile kirleri kolayca giderilmesi, çürümezlik-küflenmezlik, antimikrobiyalite gibi özelliklerin kazandırılması, kimyasal işlemlere sağlanır.

Mekanik Bitim İşlemleri; Bunlar arasında kalandırlama, çekmezlik sağlama (sanforlama), traşlama, şardonlama (tüylendirme) ve zımparalama sayılabilir.

2.3 İncelenen Tesis Hakkında Genel Bilgiler

Altınyıldız Mensucat ve Konfeksiyon A.Ş. , yünlü kumaş ve konfeksiyon sektöründe faaliyet gösteren bir işletmedir. Fabrika; 12500 m² toplam alana sahip olup; bunun 20000 m²'si açık alan 85500 m²'si kapalı alan olup ayrıca 40000 m² yeşil alana sahiptir. Altınyıldız Mensucat Yenibosna mevki havalimanı yolu üzerindedir. Günümüzde çok önem arz eden su sıkıntısından dolayı fabrikanın kademeli şekilde Trakya bölgesine taşınması düşünülmektedir.

Altınyıldız 1952 yılında haliçte Defterdar'da kuruldu. O zamanki kapasitesi 1 milyon m/yıl'dı. 1974'de köprü çalışması ve yeraltı suyunun azalması nedeniyle şu andaki yeri olan Yenibosna Köyaltı mevkiine taşınmıştır. Kapasitesi 1952-1974 yılları arasında 4 milyon m/yıl'a ulaşmıştır. Bugün bu kapasite yaklaşık 10 milyon m/yıl'dır.

İşletmenin Çalışma Şekli

İşletme günde 3 vardiya kesintisiz çalışmaktadır.

Mevsimlere bağlı herhangi bir değişiklik yoktur. Haftada 6 işgünü, yılda 300 işgünü çalışılmaktadır.

Hammaddeler:

Kumaş için 2 adet hammadde kullanılmaktadır. Bunlar temiz yapak ve polyesterdir.

Yapak; Altınyıldız Mensucat'ın kullandığı yapak Merinos koyununun yünüdür. Yapak fabrikaya yıkanmış olarak gelmektedir.

Polyester ; SaSa ve Sifaş gibi yerli üreticilerden alınabildiği gibi Avrupa ülkelerinden ve Japonya'dan da alınabilmektedir.

İşletmenin Kalite Standartları :

Altınyıldız Mensucat, ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi belgesini alarak kalitesini belgelendirmiştir. Ayrıca çevre konusundaki hassasiyetlerinden dolayı, ISO 14000 Çevre Yönetim Sistemi belgesini de alarak, çevreye duyarlı imalat yaptıklarını da göstermişlerdir.

Ürün Çeşitleri

Altınyıldız'da kadın-erkek dış giyim kumaşları üretilir. Üretilen mamüller dört grup altında toplanabilir.

1- Yün Kumaş : %100 yündür. Yılda 4 milyon metre üretilir. Maliyeti çok olmasından dolayı satış fiyatı da yüksektir.

2- Yün-polyester Kumaş : %50 yün - %50 polyester içerir. Yılda 3.5 milyon metre üretilir. Yün kumaşa göre daha ucuzdur.

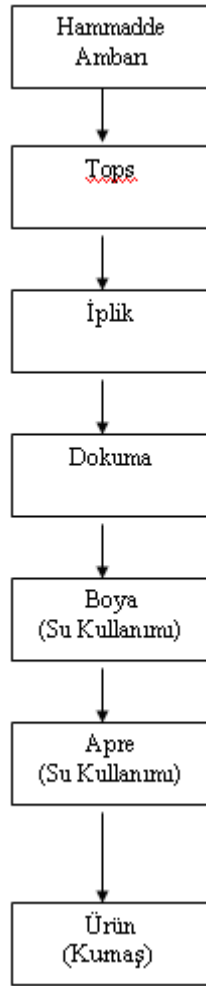
3- Fantezi Kumaş : Fabrika fantezi iplik üretmediğinden ipliği dışarıdan almasına rağmen yılda 1 milyon metre kumaş üretilir.

4- Konfeksiyon : Fabrika kumaşı direkt sattığı gibi işleyerek de satmaktadır. Konfeksiyon ürünleri yılda 1.5 milyon adet kadar üretilmektedir. Altınyıldız başta da belirtildiği gibi asıl olarak dış piyasayı önemseydiği için fiyatların oldukça yüksek olması ürünlerin yurtiçinde de ancak belli bir kesime hitap etmesine sebep olmaktadır. Ancak üretilen mala olan talep yurtiçinde de giderek artmaktadır.

Üretim Şeması

Yünlü tekstil mamullerinde uygulanan terbiye proseslerini ön terbiye, fiksaj işlemleri ve apre ikmal şeklinde üçe ayırmak mümkündür. Yapaktan tekstil yüzeylerine kadar çeşitli yünlü

mamullerin ön terbiyesinde en önemli işlem yıkamadır. Yıkamanın yanında ağartma ve karbonizasyon da yün ön terbiyesine girmektedir. Altınyıldız mensucat üretim akış şeması Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Altınyıldız Mensucat kumaş üretim akış şeması

Karbonizasyon

Kirli yün liflerinde ağırlıklarının %5-40'ı kadar bulunan bitkisel artıkların yıkama ve diğer işlemler sırasında giderilmeyen kısmının uzaklaştırılması için yapılan kimyasal işleme karbonizasyon denir. Harcanan atıksu miktarı Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Karbonizasyon işleminde oluşan günlük atıksu miktarı 561 tondur.

Çizelge 2.1 Karbonizasyon işlemi atıksu miktarı ve özellikleri

Proses	1 ton kumaş için kullanılan atıksu (m³)	Kullanılan kimyasal madde
Karbonizasyon	20	Sülfirik asit
Nötralizasyon	40	Soda

Dinkleme

Dinklemenin esası, yün liflerinin keçeleşme özelliğinden faydalanarak kumaşın görünüm ve tutumunun değiştirilmesidir. Kumaşın istenen ene, kalınlığa, tutuma ve görünüme getirilmesi işlemidir. Dinklemede kullanılan atıksu miktarı Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Dinkleme işlemi atıksu miktarı ve özellikleri

Proses	1 ton kumaş için kullanılan atıksu (m³)	Kullanılan kimyasal madde
Dinkleme	10	Noniyonik deterjan Asetik asit

Boyama

Yün ve yünlü mamüllerin boyanması üç şekildedir: Elyaf, iplik veya kumaş halinde boyama. Yünlü mamül boyamada en çok kullanılan boya türlerine bakıldığında başlıca asit, metalik ve mordant boyalar olduğu görülmektedir. Kullanılan atıksu miktarı Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2.3 Boyama işlemi atıksu miktar ve özellikleri

Proses	1 ton kumaş için kullanılan atıksu (m ³)	Kullanılan kimyasal madde
Boyama	107	Formik asit veya Asetik asit

2.3.1 Proses Profili

Çizelge 2.4’de birim ortalama hacimler ve 1 ton ürün için elde edilen günlük su sarfıyatına göre proses profili gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 Proseslerde kullanılan atıksu oluşumu

Kaynaklar	Su Kullanımı		Atıksu Oluşumu	
	Ortalama (m/gün)	Ortalama (m ³ /ton kumaş)	Ortalama (m/gün)	Ortalama (m ³ /gün kumaş)
Yıkama	200	21	200	21
Çalkalama	800	86	800	86
Karbonize	561	60	561	60
Dinkleme	94	10	94	10
Boyama	1000	107	1000	107
Toplam	2655	284	2655	284

2.3.2 Kirlenme Profili

Çizelge 2.5, 2.6 ve 2.7’de konsantrasyon ve ürün bazında sırası ile mevcut ve gelecekteki kirlenme profili verilmiştir.

Çizelge 2.5 Ürün bazında kirlenme profili

Proses	Üretim	Atıksu		KOİ			BOİ ₅		
	t kumaş/gün	m/t kumaş	m ³ /gün	mg/l	kg/t kumaş	kg/gün	mg/l	kg/t kumaş	kg/gün
Yıkama	9,35	21	200	2000	42	400	500	11	100
Çalkalama	9,35	86	800	125	11	100	50	4	40
Karbonize	9,35	60	561	500	30	281	100	6	56
Dinkleme	9,35	10	94	400	4	37	250	3	23
Boyama	9,35	107	1000	1500	161	1500	400	43	400
Toplam	9,35	284	2655	871	247	2318	233	66	619

Çizelge 2.6 Ürün bazında gelecekteki kirlenme profili

Proses	Üretim	Atıksu		KOİ			BOİ ₅		
	t kumaş/gün	m/t kumaş	m ³ /gün	mg/l	kg/t kumaş	kg/gün	mg/l	kg/t kumaş	kg/gün
Yıkama	11	21	231	2000	42	462	500	11	116
Çalkalama	11	86	946	125	11	118	50	4	47
Karbonize	11	60	660	500	30	330	100	6	66
Dinkleme	11	10	110	400	4	44	250	3	28
Boyama	11	107	1177	1500	161	1766	400	43	471
Toplam	11	284	3124	871	247	2720	233	66	727

Çizelge 2.7 Ürün bazında gelecekteki kirlenme profili

Proses	KOİ			BOİ ₅		
	mg/l	kg/t kumaş	kg/gün	mg/l	kg/t kumaş	kg/gün
Yıkama	500	11	116	-	-	-
Çalkalama	50	4	47	-	-	-
Karbonize	150	9	99	-	-	-
Dinkleme	900	9	99	-	-	-
Boyama	85	9	100	2	0,2	2
Toplam	148	42	461	2	0,2	2

2.3.3 Tesisin Atıksu Kaynak ve Özellikleri

Tesisin boya kısmından gelen atıksuyun KOİ'si ortalama 2000 mg/l'dir. Aprede kullanılan suyun %40'ı çok kirli (800- 1000 mg/l KOİ), %60'ı ise daha temizdir. (100- 150 mg/l KOİ) Apre atıksularının geri kazanımı için çalışmalar yapılmış ancak beklenen verim elde edilemeyince sistemden vazgeçilmiştir. Geri kazanım tesisi şu an atıl vaziyettedir. Ayrıca tesiste günde 200- 300 m³ civarında evsel atıksu da oluşmaktadır. Bunlar direkt deşarj edilmektedir.

Tesiste tehlikeli atık oluşumu olmadığı belirtilmiştir.

Katı atık olarak elyaf parçacıkları ortaya çıkmakta ve bunlar da ızgara fitrede tutulmaktadır. Tesiste yapılan işlemler sonucu çeşitli kirlilikler oluşmaktadır. Bunlar;

Yıkamadan kaynaklanan kirlilikler; Yağ-gres, yüzey aktif maddeler, solventler

Karbonizasyondan kaynaklanan kirlilikler; Yüzey aktif maddeler, BOİ, KOİ, AKM

Boyamadan kaynaklanan kirlilikler; KOİ, BOİ, AKM, toksik maddeler

2.3.4 Tesisin Atıksu Karakterizasyonu

İncelenen tesiste BOİ, KOİ, AKM ve sülfür dışındaki kirletici parametreler çok düşük konsantrasyonlarda bulunduğundan karakterizasyon BOİ, KOİ, AKM ve sülfür parametrelerine dayandırılmıştır. Çizelge 2.8’de atıksu karakterizasyonu gösterilmiştir.

Çizelge 2.8 Atıksu karakterizasyonu ortalama değerler (mg/l)

Atıksu Kaynağı	KOİ	BOİ	AKM	SÜLFÜR
Yıkama	2000	500	500	-
Çalkalama	125	50	50	-
Karbonize	500	100	150	-
Dinkleme	400	250	900	-
Boyama	1500	400	85	2

2.3.5 Atıksu Arıtma Tesisi

Altınıyıldız Mensucat arıtma tesisi 1985 yılında inşa edilmiş, 1987 yılında devreye alınmıştır. Arıtmada İSKİ deşarj yönetmeliği uygulanır. Arıtma tesisine 2 kaynaktan su gelir. Bunlar apre ve boyahanedir.

Boyahane ve apreden gelen atıksudaki kaba parçaların tutulması için mekanik ızgaralar bulunmaktadır. Izgaralardan geçen atıksu dengeleme havuzuna alınır. Dengeleme havuzu 140 m³’lük hacme sahiptir. Dengeleme havuzundan sonra atıksular pH dengeleme ünitesine alınır. Burada kireç ilavesiyle pH yükseltilir. pH uygun aralığı 9 civarındadır. Altınıyıldız Mensucat atıksu arıtma tesisi aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

Hızlı Karıştırma

Hızlı karıştırma havuzu 1 m³’lük hacme sahiptir. Koagülant olarak demirsülfat kullanılır. Demirsülfat 50 kilogramlık ambalajlar şeklinde alınmaktadır.

Yavaş Karıştırma

Yavaş karıştırma havuzu 30 m³'lük hacme sahiptir. Flokülan olarak Polielektrolit kullanılmaktadır. Ancak polimer uygulamasına bazı durumlarda gerek kalmadığı bildirilmiştir.

Çöktürme

Çöktürme havuzu 180 m³'lük hacme sahip olup 3 saat bekleme süresi bulunmaktadır.

Çamur Susuzlaştırma

Atıksu arıtma sisteminde, çamur susuzlaştırma işlemi çamur kurutma yatakları ile yapılmaktaydı. Şu an beltpres kullanılmaktadır. Çamur susuzlaştırma ünitesinde anyonik polielektrolit kullanılmaktadır. Kuru madde oranı artırılan arıtma çamurları belediye tarafından alınmaktadır.

Geri kazanım

Altınyıldız mensucat şu an geri kazanım tesisi kurduurmaktadır. Önceki yıllarda da geri kazanımla ilgili sürekli çalışmalar yapmış ve bununla ilgili paket tesisler ve mikro ölçekli tesisler kurmuştur.

3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARI VE ARITIM YÖNTEMLERİ

3.1 Tekstilde Su Kullanımı

Tekstil endüstrisi birbirinden oldukça farklı birçok ürünün üretildiği bir endüstri dalı olduğundan, üretim sırasında kullanılan temel prosesler ve su kullanımı farklı olmaktadır. Bazı kuru proseslerde ise imalatla su kullanımı olmamaktadır.

Tekstilde su kullanımı flote oranına bağlı olarak değişir. Flote oranı, kullanılan birim su hacmi başına işlenen tekstil kütlesi olarak tanımlanır. Ton kumaş kütlesi/m³ su birimiyle ifade edilmektedir.

Yıkama ve durulama işlemlerinde flote oranı, büyük ölçüde 1:10 seviyesinde olmaktadır. İşleme ve apre ve ikmal işlemleri ise, yıkama ve durulama işlemlerindeki flote oranlarının kullanıldığı kesikli; veya 1:1 flote oranının kullanıldığı sürekli sistemlerde gerçekleştirilmektedir (Sözen ,1991).

Örneğin bir koyunun sırtından alınan ham yünün yalnızca %40'ı yün lifi olarak kullanılabilir. 2,5 kg ham yünün 1 kg'ı gerçek yün lifi geri kalan 1,5 kg ise diğer kirlilik oluşturan malzemeler olup atılmaktadır. Aynı zamanda kirliliği çözmek üzere kullanılan yaklaşık 100- 200 gr kimyasal madde de atıksuya karışmaktadır (Nemerow, 1971).

Her bir ton işlenen yün için yaklaşık 750 m³ atıksu oluşmaktadır. Buna kullanılan kimyasal maddeler de dâhildir. Tekstil endüstrisindeki su kullanımı, yıkama ve durulama işlemlerinde çok miktarda suya gereksinim duyulması nedeniyle diğer işlemlere göre fazladır.

Ülkemiz son 20 yıl içerisinde tekstil boyama ve apreleme endüstrisinde önemli bir büyüme gerçekleştirmiştir. Bu büyüme sonucunda farklı boyalarla yardımcı kimyasalları içeren kompleks yapıcılardan dolayı biyolojik ve fizikokimyasal arıtma prosesleri ile arıtılmayan atıksular ortaya çıkmıştır (Correia ve diğ, 1994, Easton, 1995).

Çizelge 3.1 Tekstil işlemlerinde su kullanımı (EPA,1996).

Altkategori	Su Tüketimi	
	Aralık (l/kg)	Ortalama (l/kg)
1. Yün yıkama	4-78	12
2. Yün bitirme	110-660	284
3. Az su kullanımlı işler	0,8-140	9
4. Dokuma kumaş bitirme		
a. Basit işleme	12-275	78
b. Kompleks işleme	11-280	87
c. Kompleks işleme + haşıl sökme	5-508	113
5. Örgü kumaş bitirme		
a. Basit işleme	8-393	136
b. Kompleks işleme	20-378	83
c. İç çamaşırı, çorap işleme	5,8-289	69
6. Halı bitirme	8-163	47
7. İplik ve tops bitirme	3,3-557	100
8. Dokuma dışı tekstil bitirme	2,5-83	40
9. Keçeleştirilmiş kumaş bitirme	33-931	213

3.1.1 Su Kaynakları ve Maliyetleri

Tekstilde özellikle yaş proseslerde su ihtiyacının fazla olmasından dolayı bu sanayiler su kaynaklarının çok olduğu bölgelerde faaliyet göstermektedirler. Bu illerin başlıcaları; Bursa, Tekirdağ, Afyon ve Adapazarı gibi illerimizdir. Tekstil sanayinde en fazla su kullanan kumaş boyahaneleridir. Bu tür tesisler günde 2000- 5000 ton su kullanabilmektedir. Günümüzde bazı tekstil fabrikaları imalat sonucu oluşan atıksuları, geri kazanım tesisleriyle tekrar kullanma yoluna gitmektedirler.

Birçok endüstri dalında olduğu gibi tekstil endüstrisinin de en önemli su kaynakları yeraltı sularıdır. Yeraltı suları kimyasal yapı ve fiziksel özellikler bakımından yüzey sularından daha kaliteli su özelliklerine sahip olmasına rağmen bu suların tasfiye edilerek kullanılması gerekmektedir. Kumaş boyahanelerinde, apreleme yapan işletmelerde mutlaka yumuşak su kullanılmalıdır. Bu suların sertliği genelde 10 mg/l CaCO₃ değerinin altındadır. Yeraltı su kaynaklarının imalat için yeterli olmadığı bölgelerde ise tankerler yardımıyla su ikmali yapılmaktadır. Bu şekilde su kullanan işletmelerin gerek maliyet gerekse ürün kalitesi açısından önemli sorunları bulunmaktadır. Bu tür tesisler geri kazanım yolunda fizibilite raporları hazırlamaktadırlar. Hâlihazırda ülkemizde bazı tekstil fabrikalarında geri dönüşüm tesisi bulunmaktadır. Bununla birlikte ülkemizde ileri arıtım teknolojileri ekipmanları yeteri kadar üretilmediği için bu tür tesisler yabancı firmalar tarafından kurulmaktadır.

3.2 Atıksu Kaynakları

Tekstil proseslerinden çıkan atık yükü, her biri farklı özellikteki elyafların çok sayıda olmasından dolayı geniş bir değişim aralığı gösterir. Üretim yöntemlerindeki teknolojik farklılıklar ve diğer birçok değişkenler göz önüne alındığında, aynı elyafı işleyen tesisler arasında da değişimler vardır. Her ne kadar miktarlar değişebilirse de atıksu özellikleri, aynı elyafı işleyen bütün tekstil fabrikaları için genellikle benzerdir. Tekstil atıksularının ortak özellikleri; Yüksek KOİ, BOİ, sıcaklık, pH, askıda katı maddeler ve çeşitli boyamaların neden olduğu renktir. Tekstil endüstrisi atıksuları boyamada kullanılan esas boyanın rengindedir. KOİ, BOİ, toplam çözünmüş madde, alkalinite ve sıcaklık değerleri yüksektir. Ayrıca bazen zehirli elyaftan ekstrakte olan doğal kirleticiler ve elyafın işlenmesinde kullanılan kimyasal maddeler de içerirler.

Boyama diğer tekstil prosesleri olan hazırlama, yıkama ve aprelemeye nazaran oldukça fazla miktarda su ve kimyasal madde tüketen bir prosestir. Boyama işleminden gelen atıksuların içerisinde önemli miktarda boya banyo kalıntıları ve fikse olmamış boyarmaddeler bulunmaktadır (Grau, 1991). Boyama sırasında kullanılan birçok kimyasal madde kalıcı ve biyolojik olarak ayrışmasının zor olması nedeniyle biyolojik ve fizikokimyasal arıtma proseslerine karşı dirençli olup bu tip arıtma yöntemleri ile giderilememektedirler (Pagga ve Brown, 1986, İnce ve Gönenç, 1987).

Tekstil endüstrisi – kullanılan hammaddeler, son ürünler, su kullanımı ve atıksu özelliklerinin benzerlikleri göz önüne alınarak – EPA (Environmental Protection Agency) tarafından aşağıdaki alt kategorilere ayrılmaktadır (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 ve Son İşlemleri
7. Stok ve Elyaf Son İşlemleri

Tekstil Endüstrisindeki atıksu oluşturan işlemler, Çizelge 3.2’de gösterildiği gibi alt kategorilere göre düzenlenebilmektedir (EPA, 1978).

Çizelge 3.2 Alt kategorilere göre atıksu oluşturan işlemlerin dağılımı

Alt kategoriler	Atıksu Oluşturan İşlemler
Yapağı yıkama	Yıkama, durulama
Yün son işlemleri	Boyama, ağartma, yıkama, durulama, karbonizleme ve yıkama, dinkleme ve yıkama
Dokunmuş kumaş son işlemleri	Haşıl sökme, pişirme-yıkama, merserizasyon-yıkama, ağartma-yıkama, boyama-yıkama, basma, apre-ikmal
Örgü kumaş son işlemleri	Yıkama, pişirme-ağartma, boyama, basma, apre-ikmal
Açık elyaf ve iplik son işlemleri	Boyama, ağartma, merserizasyon, yıkama
Halı son işlemleri	Boyama veya baskı, kurutma, lateks kaplama
Dokusuz yüzeyli kumaş üretimi	Yapıştırma
Keçeleştirilmiş kumaş üretimi	Durulama
Az su kullanılan işlemler	Haşılama
Koza işleme ve doğal ipek üretimi	Pişirme, ipek çekimi, ağartma, boyama, yıkama, avivaj

3.3 Tekstilde Kullanılan Kimyasallar

Tekstilde kullanılan kimyasallar önemli bir atıksu kaynağı oluştururlar. Kimyasallar dışında diğer atıksu kaynağı ise liflerde mevcut olan doğal safsızlıklardır. Tekstil proseslerinde kullanılan çeşitli boyalar, krom ve türevleri çoğunlukla atıklarda bulunurlar.

Tekstil endüstrisinde kirlilik meydana getiren işlemlerden birisi de haşılama. Haşıl maddeler çoğunlukla doğal nişastalar, modifiye selülozlar ve sentetiklerdir. Nişasta bileşiklerini yerine karboksi metil selüloz yani sentetik haşıl maddelerinin kullanımı BOİ'yi azaltır. Çizelge 3.3'te gösterildiği gibi tekstil endüstrisinde kullanılan proseslere ait uygulanan kimyasallar ve atıksu parametreleri verilmektedir.

Çizelge 3.3 Tekstil endüstrisinde uygulanan proseslerde kullanılan kimyasallar ve atıksu özellikleri (Arslan, 2000).

Proses	Kullanılan Kimyasallar	Atıksu Karakteristikleri
Haşılama	Nişasta, selüloz, polivinil asetat, poliakrilat ve yapıştırıcı	Az atıksu hacmi, yüksek BOI, KOI ve TAM
Haşıl sökme	Enzimler, asit ve alkali	Çok yüksek BOI ve TKM (haşılamada nişasta kullanılmış ise)
Yıkama	Sıcak kostik, soda, klor, peroksitler, silikat, sodyumbisülfid, deterjanlar	Kirletici yükünün % 35 ve çıkış BOI konsantrasyonunun % 3 değeri
Ağartma	Klor, H ₂ O ₂ , H ₂ SO ₄ , HCl, Kostik soda, sodyum bisülfid	Yüksek TKM, yüksek çözünmüş katılar ve orta dereceli BOI
Merserizasyon	Konsantre kostik soda ve asit yıkama	Düşük BOI ve TKM Nötralizasyondan önce oldukça alkali
Boyama	Boyalar ve kullanılan yardımcı kimyasallar	Yüksek renk, TÇM, BOI ve pH, düşük TAM toksikler
Apreleme	Pentaklorofenoller, etilklorofosfatlar,...	Düşük hacimde çeşitli bileşenler ve toksisite

Her türden elyafa dayalı tekstil ürünü, genelde, mutlaka boyama işleminden geçirilir. Boyama işlemi sırasında boyar maddeler dışında yardımcı birçok kimyasallar da kullanılmaktadır. Aşağıda bu tür kimyasallar sıralanmıştır.

Tuzlar (NaCl veya Na₂SO₄) : Elyafın zeta potansiyeli kırılır ve iyon etkisi ile boyar maddenin elyafa taşınması ve tutulması kolaylaştırılır.

Asit ve bazlar (Asetik asit, sülfirik asit, kostik, sodyum karbonat)

pH tamponlayıcılar (Trisodyumfosfat)

Kompleks yapıcılar (EDTA)

Dispersantlar (Anyonik, katyonik ve noniyonik deterjanlar) : Boyanın teknede homojen dağılması için kullanılır.

Oksidantlar, ağartıcılar (Hidrojen peroksit, sodyum nitrit) : Boyanın tespiti için kullanılır.

İndirgenler (Sodyum sülfid) : Reaksiyona girmeyen boyayı uzaklaştırmada kullanılır.

3.3.1 Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddeler

Tekstil endüstrisi atıksuları, boyamada kullanılan yardımcı kimyasal maddeler ile birlikte çeşitli boyar maddeleri ihtiva ederler.

Boyar maddeler ya kimyasal yapılarına veya boyama özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Bu iki sınıflandırma şekli arasında çok az ilişki vardır. Misal olarak kimyasal yapı bakımından büyük bir grubu meydana getiren azo boyarmaddeleri, boyama özelliklerine göre yapılan sınıflamada her grupta yer alır.

a. Küpe Boyarmaddeleri

Küpe boyarmaddeleri moleküllerinde halkaya bağlı en az iki oksijen atomu ihtiva eden renkli bileşiklerdir. Küpe boyarmaddeleri başlıca selülozik elyafın ve kısmen de protein elyafın boyamasında ve baskısında kullanılır. Bu boyarmaddeler selülozik elyaf tarafından kuvvetle absorblanır.

b. Dispers Boyarmaddeler

Amino ve hidroksil grupları ihtiva eden, düşük molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Boyama esnasında, elyaf ile boyarmaddedeki amino ve hidroksil grupları arasında hidrojen bağları meydana gelmektedir. Polyester elyaf hidrofob özellik gösterdiğinden büyük moleküllü boyarmaddeler elyaf içine kolay nüfuz edemezler. Bundan dolayı polyesterin boyanmasında en çok kullanılan boyarmaddeler dispers boyarmaddelerdir.

c. Reaktif Boyarmaddeler

Bu boyarmaddeler elyaf ile kimyasal reaksiyona girerek kovalent bağ meydana getirdiklerinden elde edilen boyamanın yıkamaya karşı mukavemeti oldukça yüksektir. Reaktif boyarmaddeler selülozik elyafın boya ve baskısında kullanılan çok önemli bir boyarmadde grubudur, elyafın içine difüzyon hızları büyüktür.

d. Direkt Boyarmaddeler

Bunlar genellikle sülfonik asitlerin, bazen de karboksilli asitlerin sodyum tuzlarıdır. Yani renkli kısmı oluşturan iyon anyon şeklindedir. Pek çoğu yapı bakımından azo boyarmaddeleri grubuna girer. Selülozik elyafa doğrudan doğruya bağlanabilirler.

Van der Waals kuvvetleri elyaf ile boyarmadde arasındaki bağın meydana gelmesinde rol oynar. Boyarmadde molekülleri elyafın mikroskopla görülemeyecek kadar küçük olan kanallarına difüzlenir.

Direkt boyarmaddeler ucuzlukları, boyama işlemlerinin çok basit oluşu ve boyama esnasında elyafın yıpranmaması gibi üstünlükleri nedeniyle önemlerini korumaktadırlar.

e. Asit Boyarmaddeler

Asit boyarmaddeler protein elyafın boyanmasında kullanılan önemli bir boyarmadde sınıfıdır. Kimyasal yapı bakımından direkt boyarmaddelere benzeyenlerin birçoğu selülozu da gayet iyi boyar. Asit boyarmaddeler, yün-yaprak, şerit, iplik ve kumaş olmak üzere üretimin her basamağında kullanılabilir. Boyanacak madde değiştiğinde boyama metotları da değişir.

f. Bazik Boyarmaddeler

Bunlar organik bazların klorürü veya asetat tuzları şeklindedir. Yani renkli kısım katyondur. Bazik boyarmaddelerin en karakteristik özellikleri parlaklıkları ve renk şiddetleridir. Yün, ipek ve pamuk üzerinde ışığa ve yıkamaya karşı mukavemetleri çok düşüktür. Ancak poliakrilonitril üzerinde ışığa mukavemetleri iyi olduğundan, orlon boyanmasında geniş ölçüde kullanılır.

Genelde kullanılmakta olan sentetik boyar maddeler, günümüz dünyasında üretilmekte olan kimyasalların %15'ini tekstil boyarmaddeleri oluşturmaktadır. %2'sini ise tekstil üretimi için kullanılan yardımcı maddeler oluşturur. Bu tekstil kimyasallarının insan sağlığına zararlı olmaması için uluslar arası camiada büyük bir eğilim bulunmaktadır. Ayrıca bu kimyasalların çevredeki ve biyolojik arıtmadaki ayrışma durumları da üzerinde çalışılan konular olmaya devam etmektedir.

Doğal olarak bitkilerden elde edilmiş boyar maddelerin kullanıldığı boyahanelerin önemli, bir problemi, birçok durumda boyarmaddenin elyafa daha fazla tutulması için ağır metal içeren tuzların (bakır sülfat, kalsiyum dikromat, çinko klorür v.b) gerekli olmasıdır. Boya teknelerinde kullanılan boyarmadde ve kimyasalların fazlası, tekstilin istenen evsafıta olması için yıkanarak, durulanarak tekstil malzemesinden uzaklaştırılır. Bu yıkama işi için oldukça çok fazla hacimde su tüketilmekte ve atıksu oluşmaktadır.

3.4 Tekstil Atıksularının Karakterizasyonu

Tekstil sanayi atıksularının spesifik biçimini oluşturmasında en etken olan birimlerin başında gelen boyahanelerin atık suları; önemli mertebede renk, sıcaklık, KOİ ve TÇKM içeren alkali karakterde atıksulardır.

Tekstil atıksuları birçok değişik tekstil malzemeleri olmasına rağmen, kolaylaştırıcı olması

nedeniyle genel olarak; pamuklu tekstil atıksuları ve ynl tekstil atıksuları olarak incelenmektedir.

Çizelge 3.4'te pamuklu tekstil atıksuları ve izelge 3.5'te ise ynl tekstil endüstrisi atıksu özellikleri yapağı yıkama ve bitirme kısımları için verilmiştir.

Çizelge 3.4 Pamuklu tekstil atıksuları genel kompozisyonu

Kirletici Parametre	Birim	Değer Aralığı
Alkalinite	mg CaCO ₃ /l	200- 1000
pH	mg/l	8 – 11,5
AKM	mg/l	30 – 100
BOİ ₅	mg/l	200 – 800
T.Katı Madde	mg/l	1000 – 2000
T.Krom	mg/l	1 – 4
Renk	Pt-Co	1000 – 4000

Çizelge 3.5 Ynl tekstil yapağı yıkama ve bitirme (boya-apre) atıksu zellikleri

Kirletici Parametre	Birim	Yapak Yıkama	Bitirme
pH			7,5 – 11
Sıcaklık	°C		35 – 60
Renk	Pt-Co		500 – 2000
AKM	mg/l	10000 - 15000	30 – 350
BOİ ₅	mg/l	2000 – 3000	125 – 400
KOİ	mg/l	10000 – 35000	1050 – 1150
Yağ-gres	mg/l	5000 – 15000	
Fosfat	mg/l		2
T.Krom	mg/l		1 – 4
Fenol	mg/l		0,5
Sülfit	mg/l		0,1

Renk

12 farklı kromojen grubu içeren boya molekülleri arasında, en sık kullanılan tekstil boya maddelerinin %60–70'ini oluşturan grup azo boyalarıdır. Tekstil endüstrisi atıksuları sahip oldukları renge bağlı olarak üç farklı sınıfta ele alınmaktadır. Zayıf renge sahip atıksular bazik, asidik ve metal kompleks boyaların kullanımı; orta renge sahip atıksular dispers, küp, naftol, direkt ve kükürtlü boyaların kullanımı; kuvvetli renge sahip atıksular ise reaktif boyaların kullanımı sonucunda meydana gelmektedir (Churhley, 1994).

Ayrışmayan Organik Maddeler

Tekstil atıksularında mevcut kalıcı moleküller, genellikle az miktarlarda kullanılan, kimyasal sınıfların çeşitliliğine göre değişmektedir. Boya moleküllerinin yanı sıra, boya yardımcı maddeleri gibi poliakrilat, fosfonat, EDTA, lignin, antistatik maddeler, dispers boyamada taşıyıcılar, pamuklu direkt boyamada sıkıştırıcılar, koruyucular ve büyük oranda son işlemler yardımcı maddeleri bu gruba girmektedir.

3.5 Atıksuları Arıtma Teknolojisi

En uygun arıtma teknolojisi kavramı ile ön veya tam arıtma yapacak bir işletmenin, atıksu debi ve kompozisyonuna bağlı olarak, kendi özel şartlarını da dikkate alarak, yeterli ve güvenli bir arıtma tesisi kurması ifade edilmektedir. Genel olarak bir atıksu arıtma tesisi kurulurken aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Deşarj limitlerini sağlamada yeterlilik ve güvenilirlik, yer ihtiyacı, işletme kolaylığı, kendi kendine denetim imkânı ve otomasyon, çamur kontrolü ve tasfiyesi, geri kazanma imkânları, kullanılan ekipmanların malzeme ve kalitesi, işçilik kalitesi, bakım ve yedek parça imkânı, eğitim ve işletmeye alındıktan sonra servis imkânları, garantiler.

3.6 Konvansiyonel Arıtma Yöntemleri

Her tesis için ayrı atık karakterizasyonları ve bunların arıtılabilirlikleri mutlaka laboratuvar ve pilot ölçekte denendikten sonra arıtma biçim ve kademelerine karar verilmelidir.

Atıksu arıtma problemlerine ilk yaklaşım, işletme için atıksu miktar ve kirletici yükü minimizasyonu düşünceleri üzerine olmalıdır. İşletmede bu tür etkinlikler için sürekli bir yenilik ve değişiklik bulunabilir. Kullanılan işlemlerin çeşitliliği nedeni ile atıksu karakterizasyonu sürekli değişmektedir. Bu yüzden, arıtma verimliliğinin sağlanabilmesi için mutlaka dengelemenin yapılması gerekmektedir. Özellikle kullanılan boyar maddeler ve

kimyasallar nedeniyle biyolojik arıtma istenilen verimi sağlayamamaktadır. Ya da uzun havalandırma gerekmektedir. Bu tür arıtmadan sonra halen renk kalabilmektedir.

3.6.1 Biyolojik Arıtma Yöntemleri

Biyolojik arıtma sırasında atıksuyun içinde bulunan askıdaki kolloidal veya erimiş organik maddeler bakterilerce parçalanmakta ve çökelebilen biyolojik floklar ile sıvının içinde kalan veya gaz olarak atmosfere kaçan sabit inorganik bileşiklere dönüşmektedir.

3.6.1.1 Aktif Çamur Sistemi

Konvansiyonel aktif çamur sistemlerinde, tekstil atıksuyu evsel atıksu ile karıştırılarak arıtılsa bile etkili bir renk giderimine ulaşamamaktadır. Ön çöktürme işlemi çözünmeyen dispers ve vat boyaları iyi bir verimle arıtırken aktif çamur da adsorpsiyona dayalı olarak bazik ve direkt boyalarının orta halde arıtılmasını sağlamaktadır, fakat en yaygın olarak kullanılan reaktif ve asit boyalar arıtılmaktadır. Diğer bir problem ise, Nocardia köpüklenmesi ve filamentli bakterilerden kaynaklanan kabarma olayıdır. Bu olayın kompleks yapısı tam olarak anlaşılmasa da yüksek konsantrasyonda nişasta ve yüzey maddeleri buna sebep olabilmektedir.

3.6.1.2 Ardışık Anaerobik Aktif Çamur Sistemi

Anaerobik ön arıtma, renk, organik halojenler ve ağır metaller giderimine olumlu etki yapmaktadır. Yüksek renk konsantrasyonuna sahip atıksuların anaerobik arıtmayı takiben, aktif çamur sistemine beslenmesiyle %90 KOİ ve %96 renk giderimine ulaşılmıştır. Yağ ve deterjanlar gibi organikleri içeren kuvvetli yün yıkama atıksularında zayıf biyolojik ayrışabilir organikler de yüksek oranda giderilmektedir. Anaerobik/aerobik prosesleri takiben ileri arıtma yöntemleri, quartz yatak filtrasyonu ve UV sterilizasyonu ile %30- 40 oranında yeniden kullanımına izin verilmektedir. Ayrıca köpük ve kabarma probleminin giderilmesi ile de daha iyi bir fosfor giderimi ve düşük TAM konsantrasyonuna ulaşılmaktadır.

3.6.2 Kimyasal Arıtma Yöntemleri

Kimyasal koagülasyon, boyama tesislerinden çıkan renkli atıksu arıtımı için, ön, son veya ana arıtma yöntemi olarak uygulanmaktadır. Kimyasal çöktürme aracılığıyla askı maddeleri, yağ ve gres, renk, krom ve organik maddeler arıtılabilmektedir. Tekstil atıksularının kimyasal çöktürme prosesiyle arıtılması konvansiyonel, hızlı karıştırma, yumaklaştırma, çökeltme düzeninde gerçekleşmektedir. Başlıca kimyasal maddeler arasında Ca(OH)_2 , FeCl_3 , FeSO_4 ,

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ve CaCl_2 yer almaktadır. Her koagülant için, maksimum çökelmenin gözlemlendiği pH değerinin yani optimum izoelektrik noktasının belirlenmesi gerekmektedir. Kimyasal çöktürme işleminin verimi büyük oranda çöktürme verimine bağlı olduğundan, yumaklaştırma yardımcısı olarak polielektrolit uygulaması yaygındır. Tekstil atıksularında uygulanan konvansiyonel arıtma yöntemleri içerisinde kimyasal çöktürme, atıksulardan rengin giderilmesi açısından ilk sıralarda yer almaktadır. Kimyasal çöktürme prosesi yoluyla dispers ve vat boyalar gibi çözünmüş olmayan boyaların neden olduğu renk kolaylıkla uzaklaştırılmaktadır. Reaktif boyalar ve bazı asidik boyaların flokülasyonu ancak %20 arıtım verimi ile gerçekleştiği için yeterli renk giderimine ulaşılamamaktadır.

3.6.3 İleri Arıtma Yöntemleri

Tekstil endüstrisinde boya atıksularının arıtımında konvansiyonel biyolojik arıtma yöntemleri ile yeterli renk giderimine ulaşılamamakla birlikte, fizikokimyasal koagülasyon ve flokülasyon metotları da etkisiz kalmaktadır (Juang ve diğ., 1996). Tekstil boyaları genellikle, kimyasal özellikleri, molekül büyüklüğü ve yapılarının çeşitliliğinden dolayı biyolojik arıtma yöntemleri tekstil endüstrisinin üretiminde kullanılan boyaların renginin giderilmesinde etkili olamamaktadır. Çok az sayıdaki uygulamanın dışında boyalar, aerobik koşullar altında biyolojik olarak ayrışmamaktadır, örneğin kuvvetli renge sahip atıksuların oluşumuna neden olan reaktif boyalar, reaksiyonlara katılmadan ve arıtma tesislerine giriş konsantrasyonları değişmeden biyolojik arıtma proseslerinden çıkmaktadır. Reaktif boyalar, diğer boya türlerine oranla suda çok daha fazla çözünmekte ve biyolojik ayrışabilirliklerinin az olması nedeniyle konvansiyonel aktif çamur tesislerinde çok zor arıtılabilmektedir (Gurnham ve diğ., 1995).

Bazı boyalar neredeyse tamamı lif üzerinde tutulurken reaktif boyaların kullanımı halinde, boya konsantrasyonunun yaklaşık %40'ı atıksuya taşınmaktadır. Bu durum, biyolojik arıtmayı ayrışmaksızın terk edilen reaktif boyaların konsantrasyonunu arttırmaktadır (Gaehr ve diğ., 1994). Özet olarak mekanik-biyolojik arıtma tesislerinde neredeyse hiç giderilmeyen tekstil boyalarının arıtımı için “İleri Arıtma Teknolojileri” geliştirilmiştir.

Tekstil endüstrisi atıksuları gerek hacim olarak gerekse yapı olarak tüm endüstriler içerisinde en çok kirliliğe sebep olan endüstri olarak düşünüldüğü için, atıksu deşarjları ile ilgili olarak son yıllarda yeni ve daha sıkı sınırlamalar getirilmiştir. Getirilen yeni yasal sınırlamalar ile özellikle Avrupa pazarında çoğu tekstil endüstrisi ayakta kalma mücadelesi vermektedir. Bu kısıtlamalar tekstil atıksuları üretiminde, arıtımında ve yeniden kullanılabilirliğinde zorlayıcı değişimlere sebep olmaktadır. Tekstil atıksuyu deşarj kriterlerinin sağlanabilmesi için

gereklilik arz eden ileri arıtma yöntemleri ile hem atıksularının tamamen arıtımı yapılabilmekte hem de atıksu yeniden kullanıma uygun hale getirilmektedir (Lin ve Chen, 1997). Bu atıksuların yeniden kullanımı için kirletici parametrelerin tekstil endüstrisi yeniden kullanım standartlarına uyacak şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Özellikle KOİ, BOİ, TOK, TAM, renk ve iletkenlik parametreleri tekrar kullanımda önem taşımaktadır. Aşağıda sıralanmış olan ileri arıtma teknolojileri ile atıksuyun tamamen renk içeriğinden ve kalıcı organiklerden arıtılabilirliği ve yeniden kullanım amaçlı uygulanabilirliği açıklanmaktadır.

3.6.3.1 Filtrasyon Sistemleri

Ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters ozmos hem tam ölçekli arıtma için hem de suyun ve kimyasalların yeniden kullanımı için uygulanmaktadır. Membran seçimi dikkatli yapıldığı takdirde, ön filtrasyon sistemi kullanıldığında, düzenli temizleme işlemleri ile membranın tıkanma riski de azalmaktadır. Yün yıkama suları, sıcak yıkama çözeltisi içerip yüksek pH da deterjan ve 100.000 mg/l'ye varan KOİ konsantrasyonuna sahip olduğu için filtrasyon teknikleri ile arıtılabilmektedir. Tam ölçekli ultrafiltrasyon yöntemi ile $<80\%$ KOİ, yağlar ve askıda madde arıtımı gerçekleştirilmektedir. Filtre edilen kısım kanalizasyona verilirken, konsantre kısım yüksek maliyetler ile lagünlere taşınmaktadır.

Boyahane atıklarının da yeniden kullanımı ters osmoz ile yapılsa da bu sadece su için söz konusudur. Koagülasyon ve mikrofiltrasyon ise, membranın tıkanmasını engellemek için mutlaka gerekmektedir. Filtrasyon prosesleri, konsantre akımın uzaklaştırılması probleminden dolayı sınırlı bir uygulama alanına sahiptir.

Ozonlama ve membran nanofiltrasyonu ile yüksek renk konsantrasyonuna sahip boyalı atıksular arıtılmaktadır (Wu, 1988). Ayrıca mikrofiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz membran proseslerinin ikincil arıtmadan çıkmış atıksulara uygulanması, maddi olarak ulaşılabilir özellikte olup yeniden kullanım standartlarını da sağlamaktadır (Verstraete, 1998).

3.6.3.2 Fenton Oksidasyonu

Son yıllarda farklı endüstriyel atıksuların arıtımında ve tekstil endüstrisinde dispers, asidik, bazik, direkt ve reaktif boyaların etkili bir renk ve KOİ giderimi için Fenton oksidasyonu kullanılmaktadır (Andren ve diğ., 1991). Fenton prosesi ile Fe^{+2} iyonları Fe^{+3} iyonlarına okside olur iken, aynı anda H_2O_2 hidroksit iyonları ve hidroksil radikallerine ayrılır. Bu son ürünler, etkili bir organik madde oksidasyonu için kullanılmaktadırlar. Genellikle demirin çözünürlüğünü sağlamak amacı ile pH 3-4 aralığında uygulanması tercih edilmektedir. (Lin ve Peng 1995), tekstil atıksuyunun kimyasal çöktürme, Fenton ayıraçları ve aktif çamurun ardışık olarak uygulanması ile çok iyi bir performansta arıtıldığını kanıtlamışlardır. Fenton

reaktanı kullanımından sonra tam bir renk giderimi olur iken, aktif çamur sistemi ile de KOİ son değerine ulaşılmaktadır. Ayrıca biyolojik arıtmayı takiben aktif karbon adsorpsiyonu ve Fenton proseslerinin kullanılması çözünmüş organik karbon ve KOİ değerinde yüksek bir düşüşe sebep olmaktadır (Lin, 1994). Fenton prosesleri ile KOİ, renk ve toksik maddelerin arıtımını gerçekleşmesine karşı kirleticilerin su içerisinden katı fazına atık taşınımı ile Fenton çamuru oluşmaktadır (Kuo, 1992). Çıkış suyu standartlarını sağlamak için kullanılan fiziksel ve aktif çamur arıtımı, yeniden kullanım söz konusu olunca yetersiz kalmaktadır. Bu amaçla da boya moleküllerinin kromoforik gruplarını okside edebilme kapasitesine sahip Fenton prosesleri kullanılabilir (Collivinarelli ve Bertanza, 1996). Fenton reaktanı kullanımında yatırım ve işletme maliyetleri ile enerji tüketimi çok düşüktür fakat kimyasal tüketimi çok yüksektir.

3.6.3.3 Elektroliz

Bu yöntemde, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ oluşumu ile asit boyaların giderilmesi etkili bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu proses çöktürülen demir üzerine sorpsiyon veya azo boyaların $\text{Fe}(\text{II})$ ortamında arilaminlere indirgenmesi ile olmaktadır. %80 renk giderimi laboratuvar ölçekli çalışmalarda, pamuklu ve polyester boya ile son işlemler atıksu çıkışlarına uygulanmıştır. Koagülasyon, elektroliz ve aktif çamur sistemlerinin toplamı konvansiyonel yöntemlere göre daha ucuz ve daha etkili KOİ giderimine sahiptir (Bianchi ve Verstraete, 1998).

3.6.3.4 Fotokataliz

UV ışınları, H_2O_2 ve TiO_2 heterojen katalizörlerin birlikte kullanımı ile, boya çözeltilerinde renk giderimi üzerine çalışılmıştır. UV/ H_2O_2 prosesi çok yavaş, maliyetli ve tam ölçekli uygulamalarda UV/ TiO_2 prosesine göre daha az etkilidir. UV/ H_2O_2 prosesi dolayısıyla kısa reaksiyon sürelerinde etkili bir KOİ giderimine ulaşır iken çamur ve tuz oluşumu da olmamaktadır. UV geçirimsizliğinin belli boya çözeltilerinde limitleri olduğu için UV teknolojisinin en iyi kullanımının ozondan sonra son arıtım olduğu kanıtlanmıştır. Yalnızca rengin tamamen giderimi sağlamaz iken, yaklaşık %90 toplam organik karbon giderimine ulaşılmaktadır. Biyolojik arıtılmış tekstil endüstrisi çıkış suyuna uygulanan $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2/\text{Fe}^{+3}$ fotokatalitik oksidasyon prosesleri ile biyolojik arıtmaya ilave olarak %97 KOİ giderimine ulaşılmaktadır (Balcıoğlu ve Arslan, 1999). UV/ H_2O_2 prosesi için yatırım maliyeti ve işletme maliyetleri yüksek olmakla birlikte kimyasal tüketimi çok düşük olsa da enerji tüketimi çok yüksektir.

3.6.3.5 Adsorpsiyon

Biyolojik olarak ayrışamayan çözünmüş organik maddelerin giderimi için, adsorpsiyon kademesinden yararlanılmaktadır. En etkin adsorpsiyon maddesi, aktif karbondur. Aktif karbon adsorpsiyonu, renk gideriminde en verimli işlemlerden biridir. Aktif karbon ya bir son işlem olarak temel arıtma yöntemlerinden sonra bir yatak içerisinde uygulanmaktadır, ya da aktif çamur sisteminde havalandırma havuzuna ilave edilmektedir. Bir son işlem olarak uygulandığında, filtrasyondan geçen sularda kalan artık organik maddeler ile renk giderimini sağlamaktadır; aktif çamur sistemine ilave edildiğinde ise, renk gideriminin yanında aktif çamurun organik madde giderme verimini de arttırmaktadır. Ancak bu maddenin pahalı oluşu, kullanımında geri kazanma yöntemlerine başvurulmasını gerektirmektedir.

Reaktif boyaların, inorganik adsorbanlar ile arıtılması ile ilgili referanslar bulunmaktadır. İnorganik adsorban olarak kil kullanılması halinde, aynı sıcaklık ve pH koşullarında aktif karbondan daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine ulaşılmıştır (Lambert ve diğ., 1997). Biyolojik adsorbanlar olarak, mısır koçanı, pirinç kabuğu ve tahta gibi sorbentlerin kullanılmasının, asit boyalara göre bazik boya gideriminde daha etkili olduğu gözlenmiştir. Bazik boyalara olan bu çekimin sebebi, adsorbanın negatif yüzeyi ile boyanın pozitif yüklü iyonları arasındaki Coulombic etkileşimden kaynaklanmaktadır. Tekstil endüstrisinde, bazik boyaların kullanımı çok yaygın olmadığı için, biyolojik sorbanlar kullanarak renk giderimi sınırlı kalmaktadır (Low ve Lee, 1997). Tekstil boyama atıksularında bulunan reaktif boyaların giderimi için ise, en uygun adsorban olarak yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olan aktif karbon adsorpsiyonudur. Sonuç olarak boya atıksularında etkili bir renk giderim yöntemi de granüler aktif karbon adsorpsiyonudur (McKay ve diğ., 1987).

3.6.3.6 Ozonlama

Ozonlama kimyasal oksidasyon yöntemi ise, tekstil endüstrisi atıksularındaki rengin etkin bir şekilde giderimini sağlamaktadır (Porter ve diğ., 1974). Gaz formunda kullanımından ileri gelen atıksuyun hacmini artırmama ve çamur meydana getirmeme, ozonun en büyük avantajları arasında yer almaktadır. Biyolojik olarak ayrışamayan, diğer bir deyimle refrakter maddelerle tepkimelere girmesi ozonun diğer önemli özelliğidir.

Bununla birlikte tekstil endüstrisi atıksularında ozonla kimyasal oksidasyon mekanizmasının uygulanması, KOİ gideriminden çok atıksulardan renk gidermeyi ve biyolojik ayrışabilirliği arttırmayı amaçlamaktadır. Reaktif boyaların ozonlanması, atıksuyun toplam organik karbon konsantrasyonunda belirgin bir düşüş yaratmamaktadır (Gaehr ve diğ., 1994). Özellikle asidik ve

reaktif boyalarda, ozonla kimyasal oksidasyon aracılığıyla pH değerinden bağımsız olarak yüksek renk giderme verimlerine ulaşılmaktadır. Ozon, disperse boyalar ile suda çözünmeyen boyaların dışındaki boyaların renginin gideriminde çok etkindir. Kükürtlü, disperse, küp ve pigment boyalar ise reaktif boyalara oranla çok daha yavaş bir şekilde ozonla tepkimeye girmektedir. Ozon, çok kuvvetli tekstil atıksularının direkt arıtılması için yeterli olmadığı için, ozonun son arıtma işlemi olması ya da kimyasal koagülasyonu takiben uygulanması önerilmektedir. Renk gideriminin yanı sıra ozonlama ile organik halojenler ve yüzey aktif maddelerin de giderimi sağlanmaktadır. Tipik ozonlama ürünleri olan dikarboksilik asit ve aldehytler ile, düşük bir KOİ giderimi (%10- 20) ve BOİ konsantrasyonunda artış gözlenmektedir. Ozonlama işlemi, renk ve kalıcı organiklerin giderilmesi için son arıtma adımı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Aldehit oluşumunu düşürmek için de flokülasyon ünitesi uygulanabilmektedir.

Ozon oksidasyon potansiyelinin yüksek olmasından dolayı diğer oksidanlara iyi bir alternatif olmakla beraber, uygun çevresel koşullar sağlandığı takdirde, çoğu bileşiği en yüksek oksidasyon kademesine çıkarabilmektedir. Fakat çok yavaş reaksiyon verebildiği veya reaksiyona girmediği organik maddeler de bulunmaktadır. Bu şartlar altında, kuvvetli bir oksidan olan hidroksil radikalinin oluşumuna yönelik UV/O₃, H₂O₂/O₃ ve H₂O₂/UV-C gibi ileri oksidasyon prosesleri geliştirilmiştir (Arslan ve diğ., 1999).

4. OZONLAMA

Su ve atıksu arıtımında kimyasal oksidasyon, renk ve koku oluşturma, zehirlilik, birikicilik gibi özellikleri nedeniyle istenmeyen bileşiklerin zararsız bileşiklere dönüştürülmesi ve daha sonraki arıtma işlemleri için uygun hale getirilmesi amacıyla uygulanmaktadır. Kimyasal oksidasyonun Çevre Mühendisliği'ndeki başlıca uygulamaları arasında demirin, manganın, organik bileşiklerin, mikroorganizmaların, rengin, tat ve kokunun, siyanürün, sülfürün ve amonyanın giderilmesi sayılabilmektedir.

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

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

4.1 Ozonun Bulunuşu

Ozon 1781 yılında içinden elektrik kıvılcımları geçirilen havada oluşan koku nedeniyle Van Marum tarafından fark edilmiş daha sonra 1840 yılında C.F.Schöenbein tarafından yeniden keşfedilerek ozon adı verilmiştir. Marignac, Becquerel ve Fremy tarafından incelenerek yapısı ve Soret'in yaptığı araştırmalar sonucu da formülü bulunmuştur.

4.2 Ozon Üretimi

Ozonun kararsız bir madde olması nedeniyle taşınması ve depolanması mümkün olmamaktadır; bu yüzden ozonun kullanılacağı yerde ve anda üretilmesi gerekmektedir. Ozon üretiminde en çok kullanılan yöntemler, elektrik akımı ile çalışan ozon jeneratörleri ve elektrolitik ozon jeneratörleridir. Bunlardan en çok kullanılan yöntem olan elektrik akımı ile çalışan ozon jeneratörleridir. Bunların çalışma prensibi; yüksek konsantrasyon ve miktarda ozon üretimi için, kuvvetli bir elektriksel alandan oksijence zengin bir gaz geçirilerek gerçekleştirilir. Yoğun enerji nedeniyle bazı oksijen molekülleri parçalanır ve oluşan oksijen atomları diğer oksijen molekülleriyle birleşerek 3 oksijen atomlu ozon molekülünü oluşturur. Ozon üretim prosesinde ısı açığa çıkmakta ve jeneratör ısınmaktadır. Bu nedenle ozon jeneratörleri uygun özellikte soğutma suyu ile sürekli soğutulmalıdır. Elektrik akımı ile çalışan ozon jeneratörlerinde ozon, 200-650 Hz orta frekans değerinde ve 8.500-10.000 V, yüksek voltaj değerinde üretilir. Bir jeneratör birkaç bin paralel elektrottan oluşabilir. Ozon üretimi için kullanılan besleme gazlarını üç grupta toplayabiliriz. Bunlar; kuru hava, PSA oksijeni ve sıvılaştırılmış saf oksijendir. Kuru hava, hacimsel olarak %21 oranında oksijen içerir. Hava ozon jeneratörüne beslenmeden önce filtrelendir ve tamamen kurutulur verilir. PSA oksijeni; azotu alınmış kuru hava olarak da tanımlanabilir. PSA sistemi çıkışında >%90 oranında oksijen içeren PSA oksijeni elde edilir. Sıvılaştırılmış saf oksijen, özel tekniklerle yüksek saflıkta sınaî gazlardan oksijen temin edilebilir.

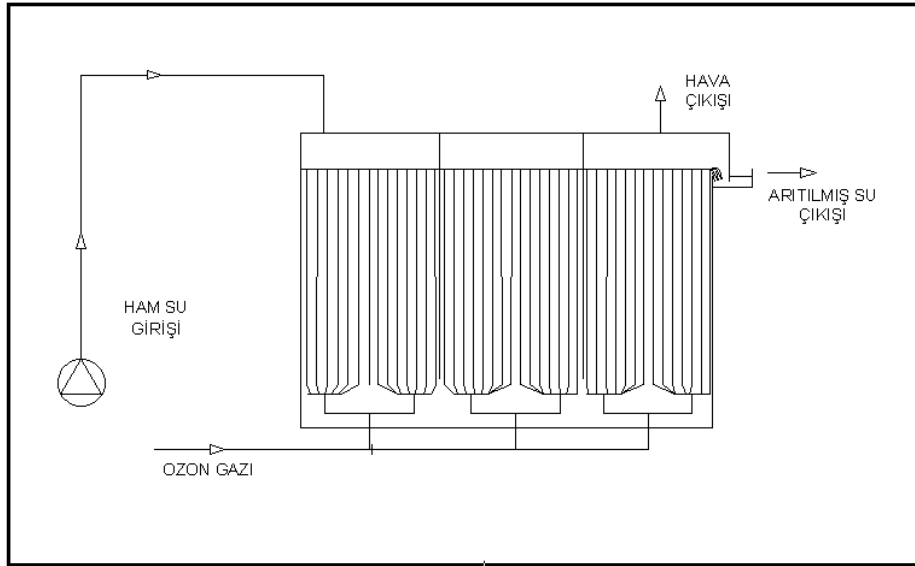
Ozonlama tesisinde jeneratör sadece ozon üreten kısımdır. Ancak ozon tatbikinde şu ekipmanlarında olması gerekir; İhtiyaç halinde, ozon jeneratörünü soğutmak için kapalı devre soğuk su sistemi, kuru hava veya PSA oksijeni üretimi için gerekli ekipmanlar, ozonun suya çözündürülmesi için uygun ozon dozaj sistemi, ozon temas tankı, artık ozon giderici, ozon kaçak detektörü, ozon konsantrasyonu ölçüm cihazı, kontrol kabini (ATV- Handbuch, 1997).

Ozonun suya verilmesi sırasında statik karıştırıcılar, döner havalandırıcılar, enjektörler gibi değişik ekipmanlar kullanılabilir. Köpük kolonları, süzgeç tabanlı kolonlar ve sürekli reaktörler tercih edilen başlıca reaktör türleri arasında yer almaktadır. Üretilen ozonun mümkün olan en yüksek oranda oksidasyonda kullanımının sağlanması amacıyla bazı durumlarda çok basamaklı kaskatlardan yararlanılmaktadır. Çok basamaklı kaskatların kullanılması durumunda, ozon içeren gaz ile atıksu hem aynı yönde, hem de ters yönde birbirleriyle temas ettirilmektedir. Ozonun suya etkin bir şekilde beslenmesi ve buna bağlı olarak yüksek verimin sağlanması, bir ozonlama tesisindeki en önemli işletme koşuludur. Çözünmüş ozon miktarı ozon iletim sistemine, uygulanan basınca, atıksuyun yapısına ve

sıcaklığa göre değişmektedir. Uygulanan basınç düştükçe ve atıksuyun sıcaklığı arttıkça ozonun etkisi azalmaktadır. Ozon içeren atıksu ile arıtılmamış atıksu, bir reaktörde yüksek basınç altında ters akım prensibi uyarınca karıştırılmaktadır. Ozon dozlamasında 0,5 barlık basınç optimum olarak kabul edilmektedir. Temas tanklarında 5 metrelik derinlik aranmaktadır; aksi halde verim azalmaktadır. Kabarcık büyüklüğü temas tankında 3- 5 mm çapında olmalıdır. Çok küçük kabarcık çapları, etkin olamamaktadır; bu tür kabarcıklar ölü kabarcıklar şeklinde adlandırılmaktadır. Temas tankında tipik bekleme süresi 5 dakika olarak önerilmekle birlikte bazı durumlarda temas süresi, kontrol edilecek parametreye göre 1- 15 dakika arasında değişebilmektedir. Ozon difüzyonu uygulama yöntemleri aşağıda verilmiştir.

a. Yukarı Akış Difüzyonu

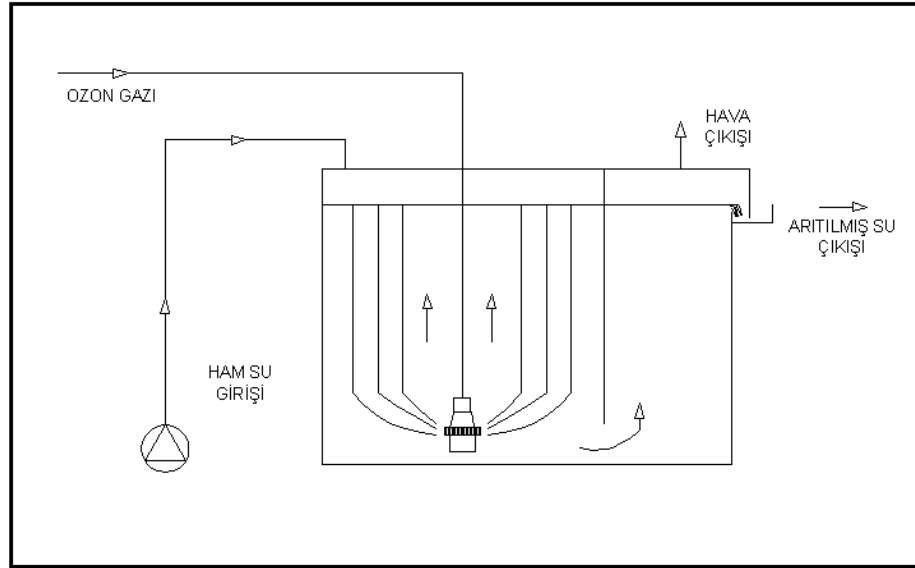
Yukarı akış difüzyonu yönteminde, ozon difüzyonu difüzörler yardımıyla yukarı doğru yapılmaktadır. Su perdeler yardımıyla karıştırılmaktadır.



Şekil 4.1 Yukarı akış difüzyonu

b. Türbin Karıştırma

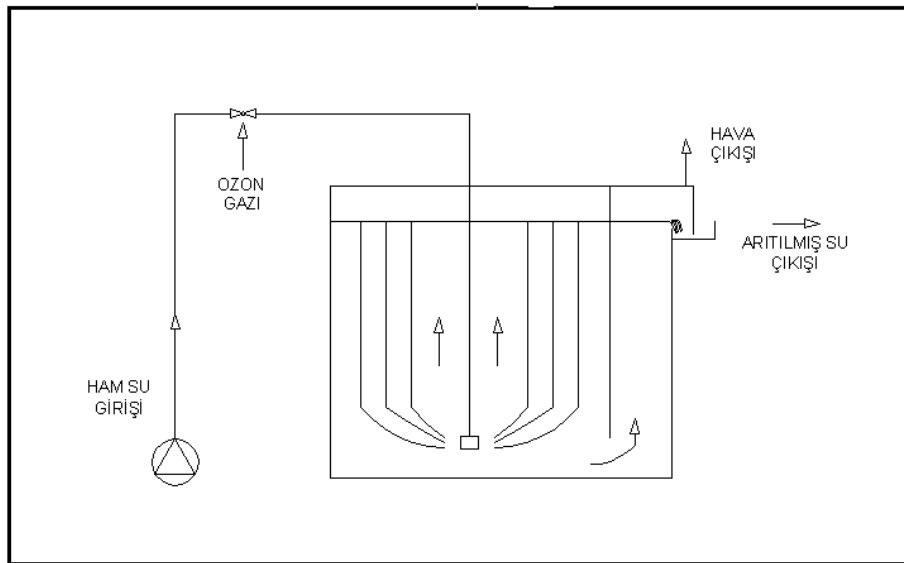
Bu yöntemde ozon türbin karıştırıcılar ile suya temas ettirilmektedir.



Şekil 4.2 Türbin karıştırma

c. Enjeksiyon

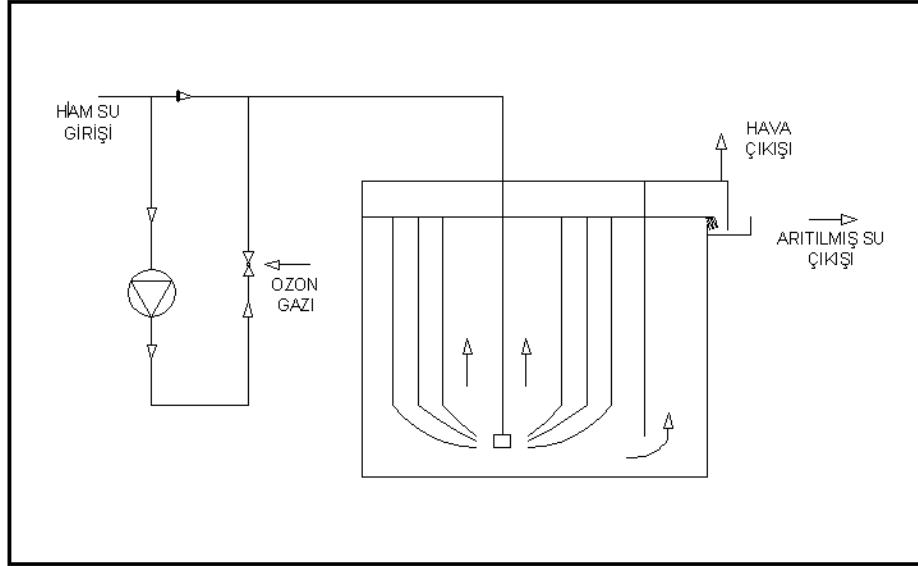
Ham su pompayla basınçlandırılır. Hat üzerine monte edilen enjektör yardımıyla ozon gazı; enjektörde oluşan vakumla suya karışır.



Şekil 4.3 Enjeksiyon metodu

d. Kısmi Enjeksiyon

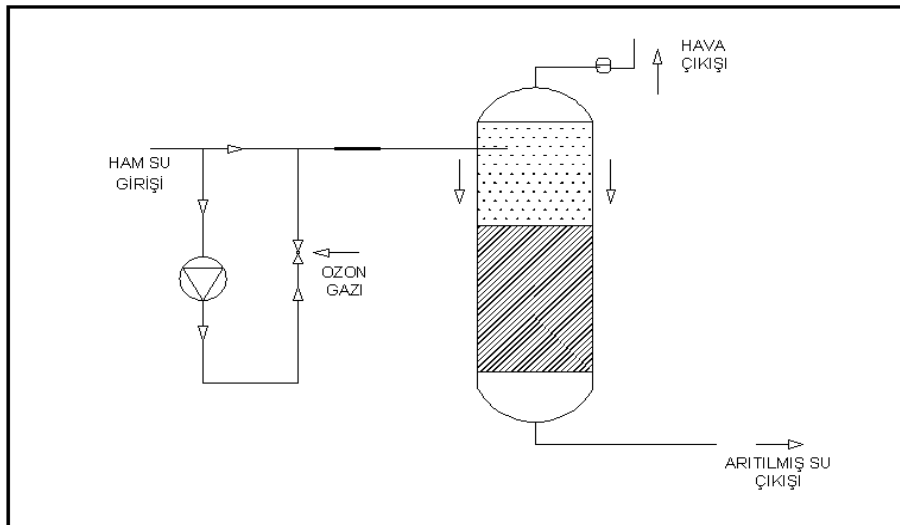
Toplam enjeksiyon yöntemine benzer, farkı ise ham su boru hattında by-pass edildikten sonra pompadan geçirilmekte ve enjektör aracılığıyla ozonla karıştırılarak temas tankına iletilmektedir.



Şekil 4.4 Kısmi enjeksiyon

e. Basınçlı Enjeksiyon

Kısmi enjeksiyon yöntemine benzemekle birlikte basınçlı bir filtre kabında uygulanması noktasında farklılık göstermektedir.



Şekil 4.5 Basınçlı enjeksiyon

4.3 Ozon Gazı Özellikleri ve Kimyası

Ozon, oksijen yoğunluğunun 1.5 katı yoğunluğa ve oksijen çözünürlüğünün 12.5 katı çözünürlüğe sahiptir. Standart koşullar altında gaz formunda bulunan ozonun fiziksel-kimyasal özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Ozonun fiziksel-kimyasal özellikleri

Görünen renk :mavi	$\tau_{\max}$	570 – 610 nm
UV-absorpsiyonu	$\tau_{\max}$	253.7 nm
Oluşum enerjisi	ΔH	144.42 kJ/mol
Kaynama noktası	K_p	-111.9 °C
Donma noktası	K_d	-192.5 °C
Kritik sıcaklık	T_k	-12.1 °C
Kritik basınç	P_k	53.54 bar
Kritik hacim	V_k	111 cm ³ /mol
Yoğunluk	D	2.133 g/l
Bağ uzaklığı	A	127.8 pm
Valans açısı	α	116°45’

Ozonun termodinamik özellikleri, Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2 Ozonun termodinamik özellikleri

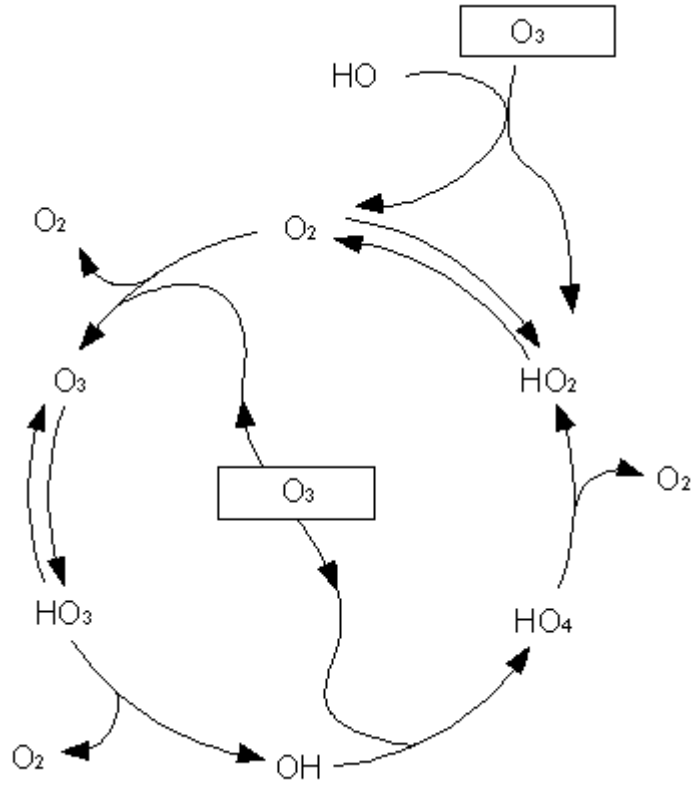
Moleküler ağırlık	48 g
Normal atmosferik basınçta kaynama noktası	(-119±0.3)
Kritik sıcaklık	(-12.1±0.1)
Kritik basınç	553 x 10 ⁴ Pa
-298°K’de molekül oluşma entalpisi (1.013 x 10 ⁵ Pa)	(34220±240) cal
Havayla ilgili relatif yoğunluk	2.143 kgN/m ³

Ozonun çözünürlüğü, büyük ölçüde sıcaklığa ve ozonun kısmi basıncına bağlıdır; bu nedenle ozonun çözünürlüğünün artırılmasında aşağıdaki yöntemlerden faydalanılmaktadır (Horvarth ve diğ., 1985).

- a. Sıcaklığı düşürmek
- b. Havadaki (oksijendeki) ozon konsantrasyonunu arttırmak
- c. Hava (oksijen) basıncını arttırmak
- d. Etkin hava (oksijen) karışımını / dağıtımını sağlamak ve temas süresini arttırmak

Ozon mavi renkli, 1.66 yoğunluğunda solunumu tehlikeli, kuvvetli, keskin kokulu üç oksijen atomundan oluşmuş bir gazdır. Soğukta iyodu, hemen hemen tüm metalleri, özellikle civa ve gümüşü yükseltger; klor, brom ve iyodu hidrojen ya da metallerle oluşturduğu bileşiklerden açığa çıkarır. Kükürt, fosfor ve arsenik asitlerini maksimum düzeyde yükseltger; amonyağı, amonyum nitrit ile amonyum nitrata dönüştürür. Ayrıca organik maddeleri yükseltgeyerek parçalar. Alkali pH değerlerinde ($\text{pH} > 11$) ozonlama prosesinin boyalı atıksuların arıtımında önemli etkileri olduğu görülmüştür (Shu ve diğ., 1994). Ozon su içerisinde çözündüğü zaman iki yolla organik bileşiklerle reaksiyona girer. Direkt olarak moleküler ozon şeklinde veya dolaylı olarak serbest OH radikalleri olarak (Hoigne, 1988).

Dairesel zincir prosesi uyarınca ozonun bozunması sonucunda meydana gelen başlıca türler, Şekil 4.6'da sunulmuştur. Söz konusu proses, hidroksil iyonu gibi bir bazın ilavesi veya Şekil 4.6'da gösterildiği üzere hidrojen peroksitin verilmesi veya ozonun fotolizi aracılığıyla başlamaktadır. Zincir bozunması mekanizmasının en belirgin özelliği, hidroksil radikalinin oluşumudur. Hidroksil radikali, neredeyse tüm organik maddelerle tepkimeye girebilen çok reaktif bir türdür (Glaze, 1986). Bazı oksidanların oksidasyon potansiyelleri, Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çizelge 4.3'ten de görülebileceği gibi oksidasyon potansiyeli ozondan büyük olan tek element, florudur (Bull ve Zef, 1992). Bununla birlikte oksidasyon potansiyeli, oksidasyonun relatif hızını ve oksidasyon reaksiyonunun ne kadarını tamamladığını simgelememektedir (Tünay ve Kabdaşlı, 1996).



Şekil 4.6 Sudaki ozonun hidroksil iyonu tarafından başlatılan bozunması için dairesel zincir mekanizması

Çizelge 4.3 Oksidanlar ve oksidasyon potansiyelleri

Oksidan	Oksidasyon Potansiyeli (Volt)
F ₂	3,06
*OH	2,80
O ₃	2,07
H ₂ O ₂	1,77
*O ₂ H	1,70
HOCl	1,49
Cl ₂	1,39

Ozon $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ta sıvılaştırılarak indigo mavisi renginde son derece kararsız bir sıvı verir ve suda oksijenden daha çok çözünür. Ozon yüksek sıcaklıklarda kararlıdır; $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a doğru oksijenden tersinir olarak elde edilebilir. Buna karşılık soğukta dengesizdir, bozunarak oksijen verme eğilimi gösterir. Ozon ne kadar derişikse, bozunma o kadar kolay olur.

4.4 Ozonlama Prosesi

Kimyasal oksidasyon ve ileri oksidasyon yöntemleri, su ve atıksu arıtımında uygulanan aktif karbon, sentetik reçine gibi fiziksel yöntemlerin kullanılmasıyla kirliliğin yok edilmeyerek farklı bir faza taşındığı yöntemler olmasından dolayı, renk ve koku oluşturan, zehirlilik ve birikicilik özelliğine sahip istenmeyen bileşiklerin giderilmesi amacıyla tercih edilmektedir. Kimyasal oksidan olarak kullanılan klor (Cl_2), klordioksit (ClO_2), ozon (O_3), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve permanganatın (MnO_4) uygulanması esnasında oluşacak yan ürünler ve oksidasyon kapasiteleri uygulama esnasında sınırlayıcı bir etki yapmaktadırlar. Klorun oksidasyon sonrası trihalometanlar (THM) gibi zehirli klorlu organik bileşikler oluşturma riski var iken, klordioksit bu riske sahip olmasa da çoğu organik bileşikler ile oksidasyona girememektedirler.

Klor gazından 1.52 kat daha yüksek oksidasyon potansiyeline sahip ozon gazının oksidasyon potansiyeli 2.07 eV 'tur. Bu nedenle organik bileşiklerin çoğunu parçalayabilmekte ve ozon molekölü ile sulu çözeltide oluşan OH radikalleri boya moleküllerinin yapısını oluşturan aromatik halkaları açabilmektedir (Muthukumar, 2004). Ozonlama prosesi sonucunda CO_2 ve H_2O gibi oksidasyon son ürünlerinin oluşması tam olarak gerçekleşmemekte ve kısmi oksidasyon prosesi sonucunda ise, organik asitler, aldehitler ve ketonlar oluşmaktadır (Gerald, 1994). Teorik olarak, ozon gazı organik ve inorganik maddeleri en üst oksidasyon kademesine okside edebilmesine rağmen, moleköler seçicilik ve bozunma hızları önem taşımaktadır.

4.5 İçme Sularında Ozonlama

Ozonun uygulamaları, ön ozonlama, ara ozonlama ve son ozonlamadır. Genellikle ön ozonlama ile renk, bulanıklık, tat ve koku giderilir. Bu yöntem genellikle koagölasyonu artırmak için kullanılır. Ara ozonlamanın amacı toksik mikrokirleticileri azaltmak ve klorlu yan ürünlerin oluşumunu gidermektir. Son ozonlama ise muhtemel tüm mikroorganizmaların giderimi için uygulanır.

Sulardaki koku ve tat kaynağı ya tabii olarak bulunan organik maddelerden veya sentetik organik bileşiklerden meydana gelmektedir. Bitkilerin çürümeleri, bakteriyel metabolik işlemlerle yüzeysel sularda tadın bozulmasına sebep olmaktadır. Bu istenmeyen tat ozonla giderilmektedir.

Yüzeysel sularda, erimiş organik maddeler üzerine bakterilerin biyolojik aktivitelerinin devamlı surette etkileri ile düşük moleküler ağırlıklı, kokulu yanıcı bileşikler teşekkül eder. Ozon, su fazında bu tip bileşikleri okside etmektedir.

Yüzeysel sular genellikle humik, fulvik, tannik asitler gibi tabii olarak bulunan organik maddelerle renklenirler. Bu tip bileşikler, bitkisel maddelerin parçalanmasından ve genellikle fenol benzeri bileşiklerin birikimi sonucu teşekkül eder. Bu tip renk değişikliğine neden olan çeşitli konjuge çift bağlı bileşikler ozon oksidasyonu ile kolaylıkla giderilebilirler. Sadece bir çift bağın parçalanması genellikle molekülün renk özelliklerini bozmaya yeterlidir.

Sulardaki bulanıklık, ozonlama suretiyle giderilebilir. Bulanıklığa neden olan koloidal partiküller negatif yüklü partiküller halinde erimemiş şekilde bulunurlar ve ozon ile nötralize olur. İçme sularında 700 den fazla organik bileşik tespit edilmiştir. Bunların hepsi ozon ile aynı süratle okside olmaz ve bazı klorlu hidrokarbonlar ozonla okside olmazlar. Ozonla kolayca okside olabilen maddeler şunlardır: fenolikler, deterjanlar, pestisitler, kimyasal atıklar, humik asit, aromatik bileşikler, protein ve amino asitler.

İçme suyu arıtma tesislerindeki ozonlama süresince iz organik bileşiklerin giderim dereceleri Çizelge 4.4'te görülmektedir.

Çizelge 4.4 İz organik bileşiklerin giderim dereceleri

Maddeler	% Giderim
Tat ve koku	20- 90
Methylisoborneol geosmin	40-95
Alkanlar	<10
Alkanlar ve klorlu alkanlar	10-100
Aromatikler ve klorlu aromatikler	30-100
Aldehitler,alkoller,karbonik asitler	Düşük
Pestisitler	0-80
Poliaromatik HC	95-100

4.6 Atıksularda Ozonlama

Atıksularda ozonlama prosesini uygulayabilmek için ozon jeneratörü kapasitesi 0.5 kg/h'den fazla olmalıdır. Bu tip jeneratörler sanayinin bütün alanlarında, hemen hemen tüm atıksu uygulamalarında kullanılabilir.

4.6.1 Dezenfeksiyon

Atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtılmış suların, sulama amaçlı kullanıldığı ülkelerde çıkış hattında dezenfeksiyon yapılması son derece önemlidir. Klor ve klor bileşikleri çok sık kullanılır, fakat dezenfeksiyon yan ürünleri oluşturma potansiyeli bulunmaktadır. Ozon bu bakımdan klora üstünlük sağlamaktadır. Aynı zamanda ozona direnç gösteren bakteri veya virüs bulunmamaktadır (Rice, 1997).

Takriben 4-10 dakikalık bir ozonla suyun teması çabuk bir dezenfeksiyon sağlar. Ozonun dezenfeksiyon sürati aynı şartlar altında klorunkinden 3125 defa daha fazladır. Line-static mikserlerde ozonun suya transferi en süratli olmaktadır. Bu tip mikserler de dezenfeksiyon 2 saniyeden daha az bir zamanda temasla olmaktadır. Dezenfeksiyon için temas süresi klor için ozondan daha önemlidir. Spor, kist ve virüslere karşı da klordan daha etkilidir.

Ozon dezenfeksiyonu mikrop hücrelerini eriterek veya hücre zarını yırtarak meydana gelir. Klor ise hücre zarından girerek mikrop enzimlerini inaktive eder ve ölümlerine neden olur.

Bakteriler üzerinde yapılan çalışma Çizelge 4.5'te görülmektedir. Suyun kalitesine göre (kirlilik derecesi açısından) bu oranlar değişebilir, ancak 0,1–0,5 mg/l O₃ hemen hemen tüm bakterileri öldürür ve temas süresi genelde 4–10 dakikadır.

Çizelge 4.5 Ozonun mikroorganizmaları öldürmesi için gerekli temas süreleri (Gregor, 1994).

	Sıcaklık	Artık Ozon	pH	Temas Süresi
Bakteri				
E. Coli	10 °C	0,12	6,0	5 Dakika
E. Coli	1 °C	0,5		1 Dakika
Clostridium perfrin.	24 °C	0,12	6,0	5 Dakika
Örnekteki Tüm Bakteriler		0,2	(5,0 – 8,0)	5 Dakika
	27,5 °C	0,2	(5,0 – 6,0)	5 Dakika
	27,5 °C	0,2	(7,0 – 9,0)	7,5 Dakika
Clostridium perfringens (spores)	24 °C	0,25	6,0	15 Dakika
Clostridium perfringens (spores)	24 °C	5,0	6,0	2 Dakika
Virüsler				
Polio	-	0,4	-	4 Dakika
Polio	-	0,45		2 Dakika
Polio		0,15	-	2 Dakika
Coliphage T2	-	0,5	-	5 Dakika
Enteroviruses	-	0,2	-	15 Dakika
Kist ve Parazitler				
Endamoeba Histolytica	-	0,5 – 1,0	-	1 –3 Dakika
Schistosoma Mansoni	-	0,9	-	3 Dakika

Ozonun bakterisit etkisi ise suyun kirliliğine, suda çözünmüş madde miktarına, pH'a, suyun sıcaklığına, temas süresine vb. bazı etkileşimlere bağlıdır. İçme sularının ozonlanması sırasında suyun ozonun etkisi ile mikrobiyolojik yönden dezenfekte oluşu yanı sıra, suda bulunabilen bazı pestisitler de ozonun kimyasal etkisi sonucu oksidasyona uğrayarak parçalanabilmektedir.

0,8-4,0 mg/l konsantrasyonundaki ozonun sudaki Carbofos'u %50 ve Trichlormetophos'u %60,6 oranında azalttığı bildirilmiştir (Hoigne,1996). Bu çalışmada ayrıca klor gazının sularda organofosforlu pestisitleri parçaladığı ve Carbofos'u %90-98 Trichlormetaphos'u ise %64-81 oranında azalttığı da saptanmıştır.

4.6.2 İnorganik Maddelerin Oksidasyonu

Atıksularda inorganik bileşiklerin ozonlanmasında temel amaç siyanürün giderilmesidir. Serbest siyanür genelde demir ve bakırla birlikte bulunur. Kompleks siyanür bileşikleri moleküler ozona karşı daha fazla direnç gösterirler. Bu durumda seçici olmayan hidroksil radikallerinin kullanılması daha uygundur. H_2O_2/UV prosesinin bu durumlarda arıtma açısından daha uygun olduğu görülmüştür.

Nitrit (NO_2^-) ve (H_2S/S_2^-) de ozonlama ile giderilmektedir. İçme sularında olduğu gibi atıksularda da inorganik maddelerin ozonla giderilmesi mümkündür. Her iki kirletici de ozonla hızlı reaksiyon verirler. Bununla birlikte arıtma maliyetleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kirleticiler için biyolojik denitrifikasyon ve sülfid giderim prosesleride uygulanabilir(Gürol, 1985).

Su ve atıksuda ozonla okside olan bileşiklerin, hangi formlara dönüştüğü ve oksidasyon hızları Çizelge 4.6 da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 Ozonla reaksiyon sonunda oluşan ürünler

Bileşik	Ürün	Oksidasyon Hızı
Fe^{+2}	Fe(OH)_3	Hızlı
Mn^{+2}	MnO(OH)_2 MnO_4^-	Hızlı
NO_2^-	NO_3^-	Hızlı
$\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$	NO_3^-	Yavaş $\text{pH} < 9$ Orta $\text{pH} > 9$
CN^-	$\text{CO}_2, \text{NO}_3^-$	Hızlı
$\text{H}_2\text{S}/\text{S}_2^-$	SO_4^{2-}	Hızlı
AS-III	AS-V	Hızlı
Cl^-	HOCl	Çok Düşük
I^-	$\text{HOI/OI}, \text{IO}_3^-$	Hızlı
HOCl/OCI	ClO_3	Yavaş
ClO_2	ClO_3^-	Hızlı
ClO_2^-	ClO_3^-	Hızlı
H_2O_2	OH°	Orta
Br^-	HOBr/ OBr^- BrO_3^-	Orta

4.6.3 Organik Maddelerin Oksidasyonu

Endüstriyel atık sulardaki önemli problemlerden biri muhteviyatındaki organik maddelerdir. Atıksuların ozonla arıtılmasında; toksik bileşiklerin kontrolü, biyolojik parçalanmayı hızlandırma, çözünmüş organik karbonun oksidasyonu ve renk giderimi üzerinde uygulamalar daha çok bulunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde günümüzde ozonla arıtım yapan 50'nin üzerinde tesis bulunmaktadır.

İçme suyunun arıtılmasına benzer şekilde, çözünmüş organik maddelerin tamamen mineralizasyonu ekonomik olarak sağlanamaz, bu yüzden ozonla diğer proseslerin kombinasyonu tavsiye edilmektedir.

4.6.4 Renk Giderimi

Tekstil endüstrisi atıksularında kirletici parametrelerinin çok çeşitli olması, atıksuların arıtılmasında farklı arıtma yöntemlerinin kullanılmasını gerekli kılar. Yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtma proseslerinin çoğu, boya, KOİ ve bulanıklık gideriminde etkili olmalarına rağmen renk gidermede etkisiz kalmaktadırlar (Lin and Chen, 1997).

Boyalı atıksuların etkili ve uygun yöntemde arıtılması tekstil sektörü için önemli bir konu olup deşarj standartları ile ilgili olarak konulan kısıtlamalar da günden güne katı daha katı hale gelmektedir. Almanya'da 1993 yılından beri yürürlükte olan yasa ile tekstil atıksularında renk parametresi konulmuştur. Renk giderimindeki yüksek potansiyelinden dolayı, ozon uygulamaları bu ülkede özellikle son dönemde oldukça önem kazanmaktadır.

Tekstil sektörüne ait atık suların ozonlanmasında temel hedef biyolojik olarak parçalanmayan rengin giderilmesi olmakla birlikte çözünmüş organik maddelerin de oksidasyonunun sağlanması faydası bulunmaktadır.

4.6.5 Ozon Uygulamasının Dezavantajları

Ozonun içme ve kullanma sularının dezenfeksiyonu ve istenmeyen bileşiklerin oksidasyonunu sağlamakla birlikte bazı sularda kullanımı sınırlı olmaktadır.

Örneğin bu sınırlama, içme sularında; sudaki bromit konsantrasyonundan dolayıdır. Bromitin ozonla oksidasyonu sonucu bromat oluşum potansiyeli bulunmaktadır. Ozonlama prosesinde yan ürün olarak sadece bromat oluşur ve EPA bromatın içme suyu konsantrasyon limitini 10 mikrogram/l olarak vermiştir. Ozonlama dozu ve kontak süresi bromat oluşumunda önemli rol oynar. Aynı ozon dozunda kontak süresi arttıkça bromat oluşumu artar.

Temiz sular 0- 3000 mikrogram/l arasında değişen düşük bromit konsantrasyonları içerirler. Bromit iyonu, temiz sulara deniz suyu intirüzyonu ile, kışın yolların tuzlanmasıyla, endüstriyel ve tarımsal atıklar sonucunda girerler.

Atıksu arıtımında kullanılan ozonun en belirgin dezavantajları ve sınırlamaları ise, aşağıda belirtilmiştir.

1. Bakiye ozonun hızlı bir şekilde bozunması, suyun mikroorganizmalardan sürekli olarak arındırılmış halde tutulmasını güçleştirmektedir.
2. Ozonlama işleminin etkinliği, büyük ölçüde suyun yapısına bağlıdır. Ozon teknolojisi, genelde ekonomik açıdan tek başına uygulanabilir değildir. Bu uygulama, çoğunlukla çok adımlı bir arıtma tesisinin bir kademesi olarak gerçekleştirilmektedir.
3. Ozonlama işlemi, daha ziyade biyolojik arıtmadan geçirilmiş atıksularda başarıyla tatbik edilmektedir.
4. Belli kirleticiler için etkin oksidasyon, genelde kuvvetli alkali ortamda gerçekleşmektedir.
5. Atıksu ozonlama sistemlerinde en çok karşılaşılan işletme problemi köpük oluşumu ile kalsiyum oksalat, kalsiyum karbonat ve demir hidroksitin reaktörü, tesisatı valfleri ve pompaları kolayca tıkamasıdır.

Atıksu arıtımında ozon, biyolojik veya fizikokimyasal arıtmadan geçirilmiş atıksuların kimyasal oksidasyonunda kullanılmaktadır. Kimyasal bileşikler, genelde ozonla tepkime sonucu çoğunlukla parçalanma yoluyla küçülerek daha polar hale gelmektedir.

Son yıllarda sıkça uygulanan ozon dozları 0.1- 0.5 mg ozon/mg KOİ aralığında değişmektedir. Söz konusu ozon dozlarında %5- 20 seviyesinde KOİ giderimi elde edilebilmektedir. KOİ giderimindeki verim hiçbir zaman renk giderimine ilişkin verime erişememektedir. İki verim arasındaki bu farklılık, ozonun substrat seçiciliğinden ileri gelmektedir. Önceki senelerde yapılan çalışmalarda, ozonla arıtım sonucunda KOİ artışlarıyla da karşılaşılmıştır; bu durum ozonun KOİ deneyi sırasında, oksidasyon seviyesini -1'den 0'a yükseltgenen peroksitleri meydana getirmesinden kaynaklanmaktadır.

Atıksuyun ozonla arıtımı, biyolojik ayrışabilirliği iyileştirmektedir (Hoigne ve diğ., 1996). Ozonun seçici reaksiyonu özellikle biyolojik ayrışmayı güçleştiren molekül yapılarını parçalamaktadır. Ozon, bazı organik maddeleri kısmen parçalamaktadır ve meydana gelen reaksiyon ürünleri ozonla daha fazla okside olamamaktadır. Buna karşın çoğu oksidasyon ürünü başlangıça oranla biyolojik olarak daha kolay ayrışabilir hale dönüşmektedir. Ozonla kimyasal oksidasyon, kirleticilerin biyolojik ayrışabilirliğini arttırmaktadır; böylece bakiye organik bileşikler, biyolojik arıtma aracılığıyla giderilebilmektedir. Ozon, kuvvetli oksidatif tesirine bağlı olarak atıksudaki organik maddeleri parçalara ayırmaktadır. Söz konusu maddeler içerisinde bazı inert maddeler de bulunabilmektedir. Değişik renkli, kokuya neden olan veya süspanse maddeler ozonun etkisiyle bir ölçüde giderilebilmektedir. Böylelikle

oluşan ara ürünler biyolojik olarak ayrışmakta ve BOİ konsantrasyonu artmaktadır. Yüksek moleküler bileşiklerin parçalanması, mikroflokların oluşumuna ve buna bağlı olarak çıkış suyunun bulanıklaşmasına yol açabilmektedir. Bu durumda filtrasyonun son adım olarak uygulanması ihtiyacı belirlemektedir.

4.6.6 Diğer Faydalı Uygulamalar

Ozon gerek dezenfeksiyon gerekse yüksek oksidasyon gücüyle sanayide de çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

- Şehirsel içme suyu arıtma tesislerinde ön ozonlama (ön klorlamanın yerine)
- İçme suyu şişeleme tesisleri (damacanın dolumdan önce dezenfekte edilmesi)
- Fenol, azotoksitler, pestisitler, klorlu hidrokarbonlar gibi zehirli maddelerin oksidasyonu
- Havadan koku giderimi
- Atıksuların biyolojik arıtılabilirliğinin optimizasyonu
- Soğutma kulelerinde biyosid yerine ozon dozlanması
- Gıda,meşrubat,ilaç gibi sanayilerde üretim hatlarının temizliğinde ozonlu suyla cip (clean in place) yapılması
- Yüzme havuzlarının dezenfekte edilmesinde
- Balık üreten kuluçkahanelerde suların dezenfeksiyonunda
- Kimya sanayinde kimyasal sentez için
- Kağıt sanayinde ağartma amacıyla klor/klordioksit yerine
- Soğuk hava depolarında sebze ve meyvelerin ömrünü uzatmak için ortam havasının ozonla dezenfeksiyonu
- Kozmetik sanayinde ilaç kutularında bakteri oluşumunu engellemek için

- Tıbbi uygulamalarda son zamanlarda ozon tedavi yöntemi belli merkezlerde uygulanmaya başlanmıştır.

Son yıllarda ozon jeneratörü üreten firmalar evler, işyerleri hatta araçlar içindeki rahatsız edici kokuların temizlenmesi amacıyla yönelik domestik ozon cihazları üretmektedirler. Uzak doğudaki bazı ev ve işyerlerinde bu cihazların kullanımı yaygınlaşmaktadır.

4.7 Ozonlamanın Maliyet Analizi

Son 15 yıl içinde ozon cihazlarının maliyetleri hızlı bir şekilde artmıştır. Bunun bazı nedenleri şunlardır (Kaulbach, 1996).

- Orta frekans teknolojisine uygun olarak her bir elektrot yüzeyinden daha fazla ozon üretilmesi ihtiyacı oluşmuştur.
- Ozon konsantrasyonunun, modern ozon jeneratörleri ile %6'dan %14'e çıkarılması,
- Birim ozon üretme kapasitesinin iki veya üç kat daha artırılması,
- Spesifik enerji tüketiminin %40 azaltılması (1990'dan beri),
- İşletme güvenliğinin artırılması.

İlk yatırım ve işletme maliyetleri göz önüne alındığında, ozonlama henüz ucuz bir teknoloji değildir. Ozonlama sistemi, ilk yatırım maliyetlerini artırsa da güvenlik önlemlerini kapsamalıdır.

Tekstil atıksularında, basit renk giderimi düşük ozon dozlarında düşük işletme maliyetleri ile sağlanabilmektedir. Yapılan bir hesaba göre her bir metreküp atıksu için gereken ozon dozunun maliyeti 0.22 DM olarak bulunmuştur (Kaulbach, 1996).

Ozon stabil bir özellik taşımaz, bu nedenle depo edilmesi ve nakli mümkün değildir. Ancak uygulanacağı yerde üretilir. En uygun imali, havadan veya oksijen içinden elektrik akımı geçirmektir. Yaklaşık 1 kilogram ozon için 30- 35 kilowatt-saatlik bir enerjiye ihtiyaç vardır. Dünyada kurulu en büyük ozonlama sistemi Finlandiya'da bulunan kâğıt sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikaya ait olup, sistemin ozon üretme kapasitesi 420 kg O₃/h'tir.

Almanya'da 1954-1997 yılları arasında ozon jeneratörü bulunan tesisler Çizelge 4.7'de görülmektedir. Bu tesislerin %90'ı son 25 yıl içerisinde kurulmuştur. 1991 yılından sonra ise tesis sayısı hızla artmıştır (Böhme, 1999).

Çizelge 4.7 1954-1997 yılları arasında Almanya’da ozon jeneratörü bulunan tesisler.

Uygulama Alanı	Kurulu Tesis Sayısı	Toplam Sayıya göre Yüzdelik Dilimi	Tipik Ozon Dozajı
İçme Suyu Arıtma			
İçme suyu	694	10.5	0.5- 1,2
İçecek sanayi	772	12	
Atık Su Arıtma			
Proses suyu	660	10	0.5- 3,5
Atıksu veya atık hava	221	3	2- 50
Leachate	32	0.5	0.5- 3,0
Tekstil sanayi	6	< 0.1	> 0.13
Kağıt sanayi	9	< 0.1	-
Soğutma suyu	47		-
Diğer Uygulamalar			
Yüzme havuzu	3587	55	1.0
Diğer	536	8	
Toplam	6566	100	

Bir ozon jeneratörü işletmenin ihtiyaç duyduğu; teknik ve ekonomik özelliklere sahip olmalıdır. Bunlar;

- Arıtma hedefine ulaşılmalıdır. Kirliliği yasal sınırların altına düşürmelidir.
- Minimum ozon konsantrasyonu kullanılması mümkün olmalıdır.
- Enerji tüketimi düşük olmalıdır.
- Güvenli şekilde kullanıma uygun olmalıdır.

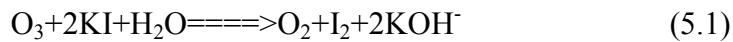
5. DENEYSEL ÇALIŞMA MATERYAL VE YÖNTEMİ

5.1 Deney düzeneği

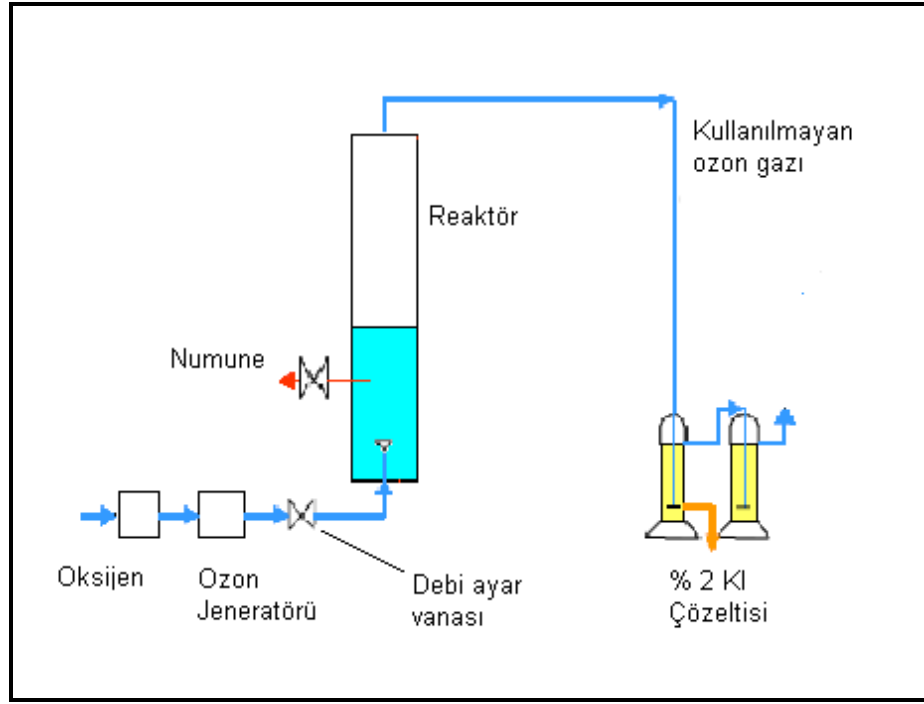
Ozonlama deneylerinde, ozon üretimi AZCO marka VMUS-4 ozon jeneratörü ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler pleksiglastan imal edilmiş, 5 litrelik reaktör içerisine 2 litre numune konularak yapılmıştır. Ozon, reaktörün altından atıksuya verilerek yukarı akış difüzyonu uygulanmıştır. Atıksuya verilen ozonun su içerisindeki homojen dağılımının sağlanması ve atıksu içerisinde difüzyonal geçişin oluşması amacıyla, reaktörün tabanında Aqua marka PVDF malzemeden üretilmiş ince gözenekli difüzör kullanılmıştır. Bu sayede ozonun, reaktör içerisinde hem daha yüksek bir verimle karışması sağlanmış ve hem de homojen dağılım sayesinde tüm atıksuyun ozonla teması gerçekleşmiştir.

Bununla birlikte, sisteme verilen ozonun tamamı atıksu içindeki kirletici maddelerin oksidasyonunda kullanılamamaktadır. Reaktöre verilen ozonun bir miktarı da dışarı kaçmaktadır. Kaçak ozonun ne miktarda olduğunu bulmak için çıkıştaki fazla ozonun tespit edilmesi gerekmektedir. Bu şekilde gerçekte atıksuyun ne kadarlık bir ozon miktarı ile arıtıldığı ortaya çıkarılmış olacak ve ortamda kaçak ozondan kaynaklanacak sağlık riski de bulunmayacaktır. Çıkan ozonun tutulması ve miktarının belirlenmesi amacı ile, kaçan ozon seri bağlı iki adet 500 ml'lik gaz yıkama şişeleri içerisine konulan %2'lik KI (Potasyum iyodür) çözeltisi ile tespit edilmiştir. Reaktörün çıkışına bağlanmış yıkama şişeleri ile ozonun Denklem 5.1'de verilen KI ile reaksiyona girmesi sağlanmıştır. KI ile reaksiyona giren ozonun miktarı, daha sonradan Denklem 5.2'de verildiği gibi asidik ortamda KI çözeltisinin 0,1 N Na₂S₂O₃ (Sodyum tiyosülfat) ve nişasta eklenerek titrasyonu neticesinde açığa çıkan I miktarıyla KI tarafından tutulan fazla ozon hesaplanabilmektedir.

Bu reaksiyonlara ait kimyasal denklemler aşağıda verildiği gibidir. Buna göre 0,1 N Na₂S₂O₃ ten harcanan her 1 ml titrant değeri 2,4 mg O₃ değerine eşit olacaktır.



Bu suretle hem kaçan ozon miktarı belirlenmiş hem de fazla ozon atmosfere salınmamıştır. Çalışmada kullanılan akış şeması Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Laboratuarda kurulan ozon jeneratörü ve düzeneğine ait resimler ise Şekil 5.2 ve 5.3'te verildiği gibidir. Şekil 5.2'de sistemin başındaki herhangi bir deneysel çalışma yapılmadan önceki durum ifade edilmektedir. Şekil 5.3'te ise deney esnasından elde edilmiş reaktörden ozon gazının geçişi esnasında oluşturmuş olduğu gaz baloncukları ve reaktör çıkışını temsil eden ve kaçan ozonun tutulması amacı sisteme yerleştirilen gaz yıkama şişelerindeki şeffaf KI çözeltisinin ozon ile teması neticesinde sahip olduğu koyu kırmızı renk görülmektedir.

Ölçümler esnasında uygulanan deneysel yöntemlerin tamamı standart metotlarda (APHA-AWWA, 2005) belirtilen ölçüm yöntemleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.2 Ozon düzeneğinin deney öncesi görünümü (AZCO marka VMUS-4 model)



Şekil 5.3 Deneysel çalışma esnasındaki sistemin görünüşü

5.2 Deneysel materyal ve yöntemler

Deneylerde, KOİ ve renk parametresinin yanında pH, iletkenlik değerleri de sıcaklığa bağlı olarak ölçülmüştür. KOİ parametresi Hach-Lange marka DR 2800 model spektrofotometrede ölçülmüştür. Renk parametresi ise Merck marka SQ-118 model fotometrede ölçülmüştür.

Belirli zaman aralıklarında alınan numuneler, 0,45 μm gözenek çapındaki membran filtre aracılığıyla süzülerek ölçüm için hazır hale getirilmiştir. Reaktör çıkışında O_3 gazı ölçümleri iyodometrik yöntem ile yapılmıştır.

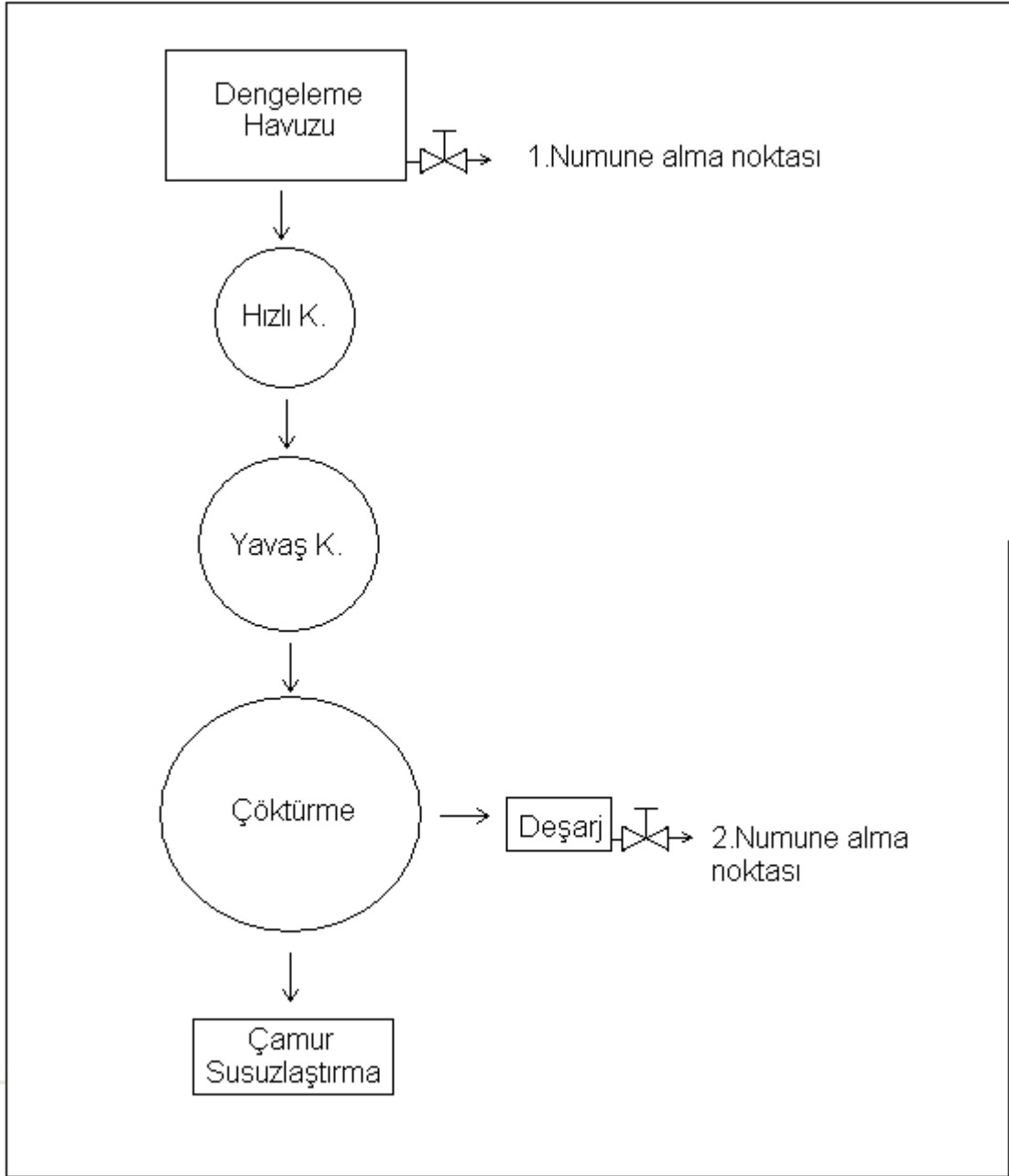
Deneylerde kullanılan AZCO/VMUS-4 model ozon jeneratörü ozon gazını “Corono Discharge” yöntemi ile üretmektedir. Üzerinde debisinin %10’dan %100’e kadar ayarlanabildiği anahtarı mevcuttur. Bu ozonizatör 100 watt değerinde elektrik enerjisi kullanmaktadır. Her ne kadar ozon cihazı normal havadan vakum yaparak ozon üretme kabiliyetine sahipse de deneysel çalışmalar esnasında laboratuvar imkânlarının durumu göz alınarak kuru hava yerine ozon üretimi amacı ile oksijen kaynağı olarak saf oksijen kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında yeterli yer imkanlarının olmamasından dolayı, kuru

havadan ozon üretmek maksadıyla kurulması gereken basınç dengeleme boruları ile vakum/enjeksiyon sistemlerinin kurulması gibi sistemler iptal edilmiştir.

Tüm numuneler oksijen tüpünden 2 lt/dk ve 0,4 bar basınçla, ozon jeneratörünün beslenmesiyle yapılmıştır. Bu değerlerde cihazın ürettiği ozon debisi 5,5 g/h (92 mg/dak) ve konsantrasyonu 46 mg/lt olarak hesaplanmıştır. Cihaz üzerindeki anahtarla ozon debisinin farklı değerleri ayarlanması sureti ile de deneyler yapılabilmektedir.

Deneysel çalışmalar Altinyıldız Mensucat'tan alınan su numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Fabrikada hâlihazırda kimyasal arıtma (Kireç+FeSO₄) kullanılarak çıkış suyu deşarjı yapılmaktadır. Fabrikadan numuneler; atıksu arıtma tesisi öncesindeki dengeleme havuzu ile arıtma tesisi çıkış suyundan alınmıştır.

Dengeleme havuzundan alınan su numunesine direkt olarak ozonlama yapıldığı gibi, arıtma tesisi çıkış suyu üzerinde de ozonlama çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla çıkış suyu için ozonlama ile su kalitesinin ne kadar arttığı ortaya konulmak istenmiştir. Şekil 5.4'te fabrikadan numunelerin alındığı noktalar gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Altinyıldız Mensucat arıtma tesisi numune alma noktaları

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilmiş olan faaliyetleri, aşağıda verildiği gibi sıralamak mümkündür;

- Hâlihazırda çalışılan fabrikada kullanılan arıtma yöntemine alternatif olarak düşünülen ozonlama performansının belirlenmesi ve uygulamada sadece ozon kullanılması durumunda arıtma verimliliği (KOİ ve Renk açısından) ne oranda olacağı araştırılmıştır.
- Tekstil endüstrisi gibi su tüketiminin oldukça fazla olduğu bir sektör için suyun geri kazanımının önemine binaen uygulanmakta olan mevcut kimyasal arıtma ile birlikte ozon uygulaması çalışmalarının ne derecede gerçekleşip gerçekleşmeyeceğinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Bu amaçla tesisten alınan ham suya laboratuvarda yapılan kimyasal arıtmayla beraber ozon uygulamaları da gerçekleştirilmiştir. Arıtmada sıralama önceliklerinin (ozonlama sonrası kimyasal arıtma veya kimyasal arıtma sonrası ozonlama) verimliliklerinin de kıyaslanarak ortaya konulması hedeflenmiştir.
- Tüm bu çalışmalar neticesinde uygulamaların ekonomik analizlerinin kıyaslanarak ortaya konması hedeflenmiştir. Bu maliyetler arasında tesisin hâlihazırda kullandığı koagülantlar ve diğer koagülantların arıtma verimi, oluşan çamur miktarı ve bunun bertarafı ile alternatif olarak düşünülen ozon maliyetinin bulunması hedeflenmiştir.

6.1 Ham Atıksu Üzerinde Yapılan Çalışmalar

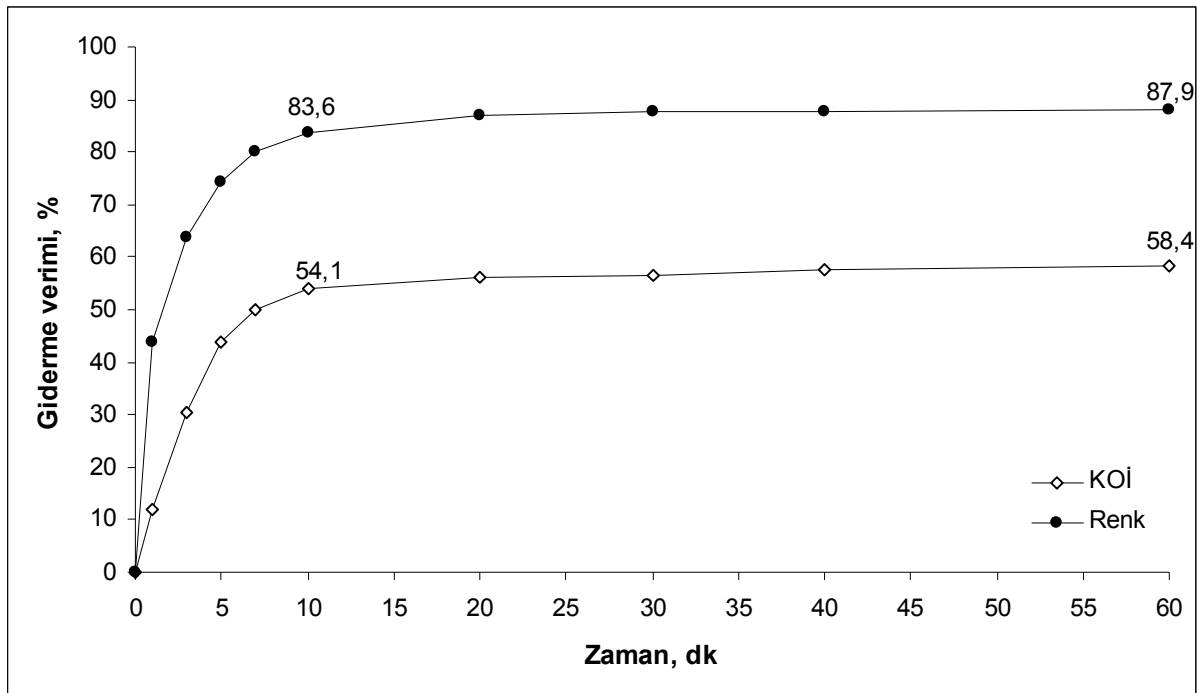
Atıksu arıtma tesisi dengeleme tankından alınan numuneler Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarı'na getirilerek analiz edilmiştir. Buna göre ham atıksuya ait kirletici parametre özellikleri Çizelge 6.1'de verildiği gibidir. Tesisten alınan bilgiler ışığında kanala deşarj etmeden önce uyguladıkları kimyasal arıtma sonuçlarına göre, kimyasal arıtmayla atıksudaki kirletici özellikleri de yine Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Ham atıksu numunesinin kirletici karakterizasyonu

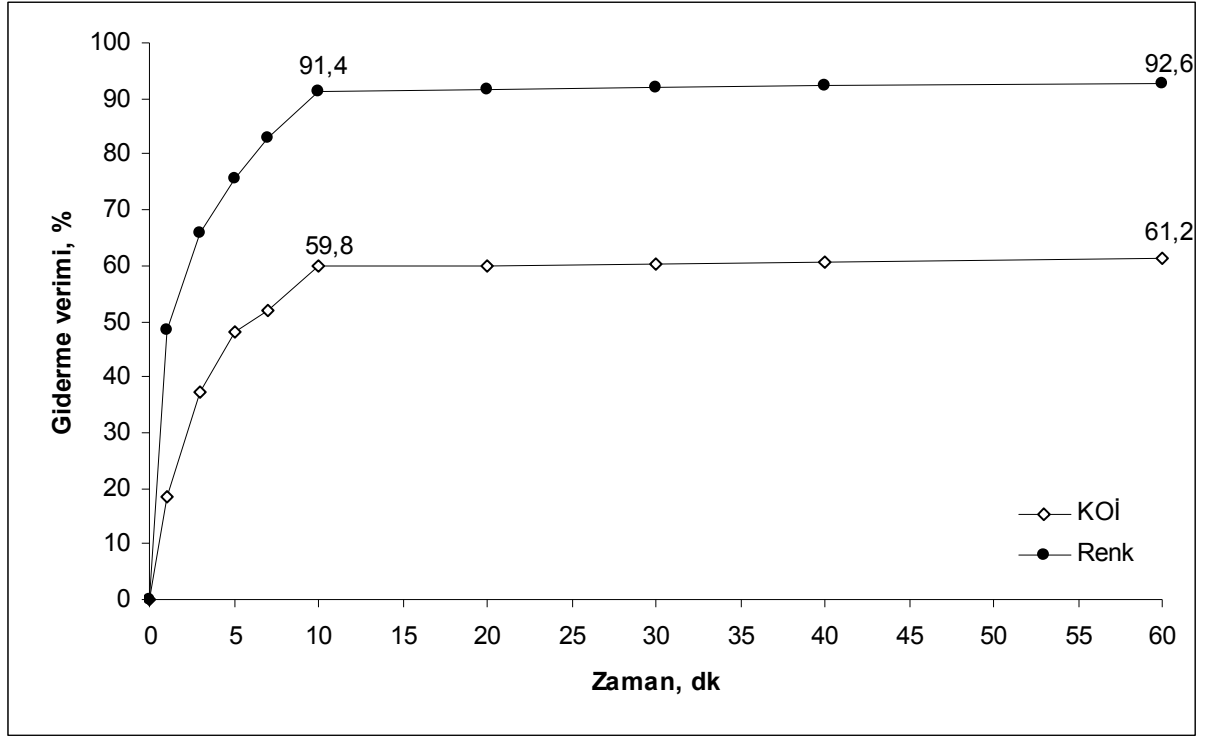
Numune	pH	AKM (mg/l)	KOİ, (mg/l)	Renk, (Pt-Co)
Ham atıksu girişi	6,8	148	1250	580
Kimyasal arıtma çıkışı	7,7	120	550	60

Kullanılan ozon üretme cihazının farklı dozlara ayarlanabilen opsiyonel özelliğinden dolayı, bu numuneler üzerinde farklı ozon konsantrasyonlarında (28 mg/l, 32 mg/l ve 46 mg/l) çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar esnasında literatürdeki uygulamalardan da yola çıkılarak ozonlama süresi olarak 60 dakika gibi bir zaman periyodu çalışılmıştır. Numuneler reaktörden deneysel ölçüm amacıyla 10'ar dakikalık aralıklarla alınmış ve izlenmek üzere renk ve KOİ değerleri tespit edilmiştir. Genelde yapılan deneysel çalışmaların neticesinde görülmüştür ki her üç farklı ozon miktarlarında hem renk ve hem de KOİ için belli bir süreden sonra kararlılık baş göstermekte ve deneyi süresi sonuna kadar bu kararlılık devam etmektedir. Dolayısı ile 1 saatlik ozon uygulaması neticesinden sonra verimdeki artış çok fazla değişmemektedir.

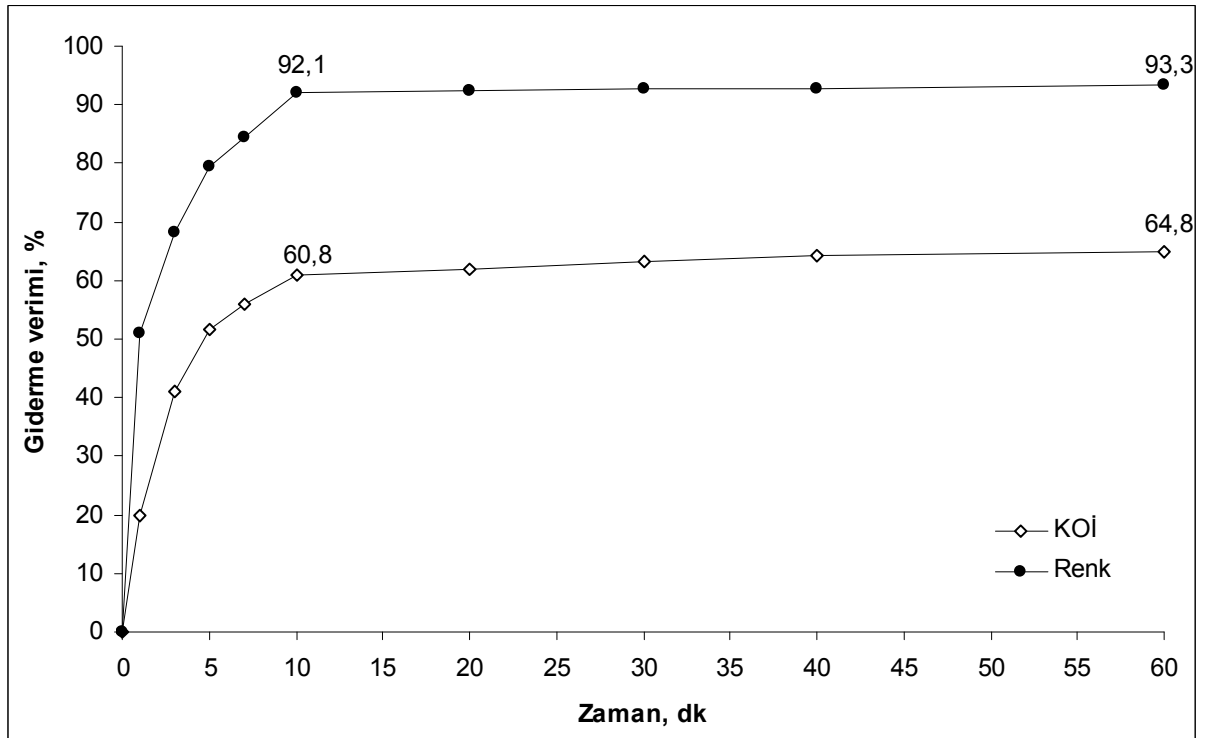
Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3'te verilen grafiklere bakıldığında, direkt olarak tesisten alınan ham su üzerine farklı konsantrasyonlarda ozon uygulamalarının sonucunda renk ve KOİ gideriminde elde edilen verimlerdeki değişimler izlenmiştir.



Şekil 6.1 28 mg/l ozon konsantrasyonunda KOİ ve renk giderimi



Şekil 6.2 32 mg/l ozon konsantrasyonunda KOİ ve renk giderimi



Şekil 6.3 46 mg/l ozon konsantrasyonunda KOİ ve renk giderimi

Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3'ün incelenmesi ile her üç farklı ozon akısında ilk 10 dakika içinde hem renk ve hem de KOİ gideriminde oldukça hızlı bir yükselme olmakta ve 10 dakikadan sonra her iki parametre için de giderim verimi adeta kararlı bir hal alarak sabit kalmaktadır. Şekil 6.1'de yani 28 mg/l (giriş gaz debisi içindeki ozon konsantrasyonu) ozon konsantrasyonundaki çalışmanın ilk 10 dakika sonucunda renk giderimi %83,6 iken bir saat neticesinde bu değer %87,9 olduğu, KOİ için ise bu değerlerin sırası ile aynı zaman dilimleri için %54,1 ve %58,4 olduğu ölçülmüştür.

Şekil 6.2'de yani 32 mg/l ozon konsantrasyonundaki (giriş gaz debisi içindeki ozon konsantrasyonu) çalışmanın ise ilk 10 dakika ile 60 dakikalık deney süresi sonunda giderim verimleri renk için %91,4 ve %92,6 iken, KOİ için ise bu değerlerin %59,8 ve %61,2 değerlerinde olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 6.3 ise 46 mg/l ozon konsantrasyonunda (giriş gaz debisi içindeki ozon konsantrasyonu) ozonlama çalışması sırasında renk giderim değerleri 10. dakikada %92,1 ve 60. dakika sonunda ise %93,3'tür. KOİ gideriminde ise bu oranların aynı zaman zarfında %60,8 ile %64,8 değerleri arasında değiştiği görülmüştür.

Buradan hareketle tesisten kaynaklanan ham atıksuya ait direkt ozon çalışması değerlerinden elde edilen bilgiler doğrultusunda, sistemin çalışmasından itibaren ilk 10 dakikada renk ve KOİ gideriminde verim, optimizasyon açısından istenen seviyeye çıkmakta ve bu zamandan sonra her iki parametre için de verimlerde çok fazla bir değişiklik görülmemektedir. Literatür çalışmalarından da bilindiği üzere, ozonla yapılan çalışmalarda etkin olarak giderilen parametrenin renk olduğu, KOİ için ise bu değerlerin nispeten daha düşük seviyelerde gerçekleştiği vurgulanmaktadır. Laboratuarda yapılan bu tez kapsamı çalışmasındaki deneysel verilerde de renk gideriminde KOİ'ye göre oldukça yüksek oranda bir giderim sağlandığı ortaya çıkmıştır.

Gerek renk ve gerekse de KOİ giderimi açısından çalışılan 32 mg/l konsantrasyonundaki ozon uygulamasının diğer uygulamalara göre (28 mg/l ve 46 mg/l) daha iyi sonuç verdiği ve 32 mg/l ozon konsantrasyonunun bu tez çalışmasında optimum ozon konsantrasyonu olarak değerlendirilmesinin daha uygun olacağı ifade edilebilir. Her ne kadar 46 mg/l değerindeki ozon uygulamasındaki KOİ giderme verimi %64,8 olarak görülse de, 32 mg/l ozon uygulaması için bu değer %61,2 olduğu belirlenmiş olup, bu iki giderme verimi arasındaki farkın önemsiz olmayacak büyüklükte olmasından dolayı böyle bir optimizasyon yaklaşımını

ortaya koymak yanlış olmayacaktır. Dolayısı ile 32 mg/l ozon konsantrasyonu değerinde, ozonlama süresi olarak belirlenen 10 dakikalık zaman periyodu optimum KOİ giderimi açısından ideal uygulama olarak görülebilecektir. Renk gideriminde ise yukarıdaki her üç şekilden de görüldüğü üzere ortalama giderme verimleri %90'lar civarında kalmaktadır (sırası ile %83,6, %91,4 ve %92,1). Dolayısı ile KOİ giderimi için seçilen optimum doz olan 32 mg/l değerindeki ozon uygulaması bu parametre için de tercih edilebilir orandadır.

Deneysel çalışmalar neticesinde çalışılan 2 litre hacmindeki atıksu örneği için kullanılan faydalı ozon miktarı ile atıksu tarafından absorbe edilemeyen reaktörden kaçan fazla ozon miktarı değerleri aşağıda Çizelge 6.2'de verilmiştir. Temas süresi olarak deneysel çalışmada kırılma noktası olarak bulunan ve ham atıksu için optimum zaman olarak görülen 10 dakikalık çalışma süresi baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 6.2 Ham su uygulamalarında sistemin ozon kütle dengesi

Ozon kütlesel debisi, (mg/dak)	Temas süresi, (Dak.)	Uygulanan ozon (mg)	Yıkama şişelerinde tutulan ozon (mg)	2 L atık su için hesaplanan ozon değeri (mg)	Beher litre için ozon konsantrasyonu, (mg/l)
56	10	560	12,1	547,9	274
64	10	640	25,5	614,5	307,3
92	10	920	46,6	873,4	436,7

Çizelge 6.2'den de görüldüğü gibi ozonun tamamı atıksuyla temasa girerek çözünmemektedir. Ozonun suda çözünürlüğü normal sıcaklık ve basınç altında Henry kanuna göre litrede belirli bir değere kadar çıkabilmektedir. Ozonun teorik olarak 20°C'de suda çözünürlüğü 570 mg/l'dir (Sevimli, 2000). Çizelge 6.2'nin incelenmesi ile optimum ozon konsantrasyonu olarak belirlenen 32 mg/l değerindeki uygulamada atıksu tarafından kullanılan ozon konsantrasyonu 307,3 mg/l değerindedir. Atıksu sıcaklığının artması ile bu çözünürlük azalacaktır. Laboratuar çalışmasında atıksu sıcaklığının yaklaşık 24°C civarında olması dolayısı ile atıksuda çözünen ozon konsantrasyonu değeri normal sınırlardadır.

6.2 Kimyasal Arıtma ile Birlikte Ozon Uygulamaları

Kimyasal arıtmayla birlikte uygulanan ozon çalışmaları iki farklı türde gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi önce kimyasal arıtma ardından ozonlama çalışmasıdır. Diğerisi ise önce ozonlama ardından kimyasal arıtma faaliyetidir.

6.2.1 Kimyasal Arıtma Sonrası Ozon Uygulaması

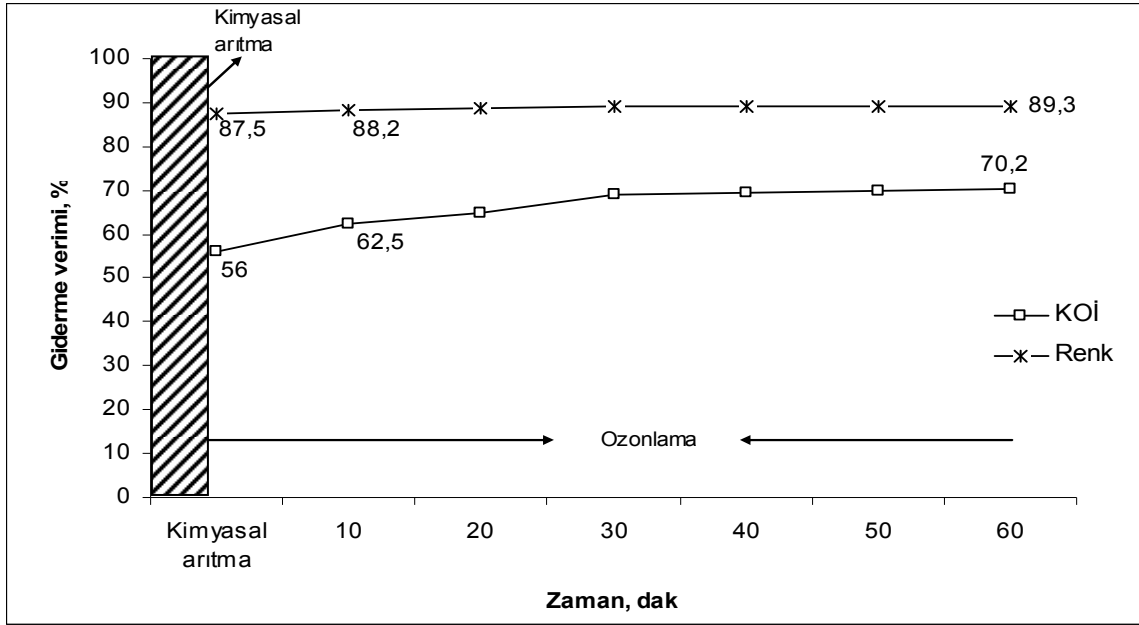
Tesise ait arıtma öncesine yapılan ozon çalışmaları Bölüm 6.1’de verilmiştir. Tesisin arıtma çıkış suyu kalitesini arttırmak ve böylece atıksuyun tesis içinde geri kazanılarak tekrar kullanılabilirliğini araştırmak amacı ile kimyasal arıtma ile birlikte ozon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla öncelikle tesisin orijinal arıtma çıkışından alınan su numunesi üzerinde ozon uygulamaları yapılmıştır. Gerek kimyasal arıtmayı kendi arasında veya gerekse de kimyasal arıtma çıkışındaki ozonlama ile birlikte meydana gelen arıtma verimlilikleri detaylı olarak aşağıda Çizelge 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.3 Tesis arıtma çıkışına ozon uygulamasında KOİ ve renk giderim verimleri

Parametre	Kimyasal Arıtma sonrası değişimler	Ozonlama (60 dakika) sonrası değişimler	Kimyasal arıtma verimi, %	Ozonla giderme verimi, %	Toplam verim, %
KOİ, mg/l	1250 → 550	550 → 372,5	56	32,2	70,2
Renk, Pt-Co	580 → 72	72 → 62	87,5	13,8	89,3

Tesisin uyguladığı kimyasal arıtma çıkışına uygulanan ozonla birlikte toplam giderme veriminin değişimi ise Şekil 6.4’te verilmiştir.



Şekil 6.4 Tesisteki arıtma çıkışına uygulanan ozonlama çalışması

Bu verim değerlerini hem arttırmak hem de tesisteki kullanılan kimyasal arıtmanın optimum dozlarının kontrolü amacı ham su, laboratuvar ortamında da kimyasal arıtmaya tabi tutulmuş ve laboratuvar ortamında yapılan jar test neticeleri sonucunda da ayrıca ozon uygulamaları yapılmıştır.

Yukarıdaki Çizelge 6.3 ve Şekil 6.4'ün incelenmesi neticesinden görüleceği üzere bir saatlik ozon uygulaması neticesinde sadece ozonlamadan kaynaklanan sistemdeki KOİ giderme verimi %32,2 toplamda giderme verimi ise %70,2'dir. Renk gideriminde ise sadece ozonlamadan elde edilen verim %13,8 gibi düşük bir değerde olup toplamda ise bu değer %89,3 civarındadır.

Bu amaçla tesisten alınan ham atıksu üzerinde aynen tesiste uygulanan kimyasal arıtma tipi laboratuvar ortamında da gerçekleştirilerek tesisin mevcut arıtma yöntemi yakından izlenmiş olabilecektir. Laboratuvar ortamında yapılan kimyasal çalışmalarda tesiste kullanılan mevcut kimyasal dozlarla birlikte farklı kimyasal dozlar da denenerek arıtılabilirlik yapılmış ve sonra bu uygulamalar geri kazanılabilirlik açısından ozon uygulamasına tabi tutulmuştur.

Fabrikadan kaynaklanan atıksuyun arıtılması amacı ile kullanılan kimyasal arıtmaya ait günlük olarak belirli bir kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) veya FeSO_4 dozu bulunmamaktadır. Bu amaçla tesisin 1 aylık su üretimi ve buna karşılık gelen tüketilen kireç ve FeSO_4 dozları ortalama değer olarak hesaplanmış ve aşağıda Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 Tesiste aylık olarak kimyasal arıtmada kullanılan kimyasal ve dozları

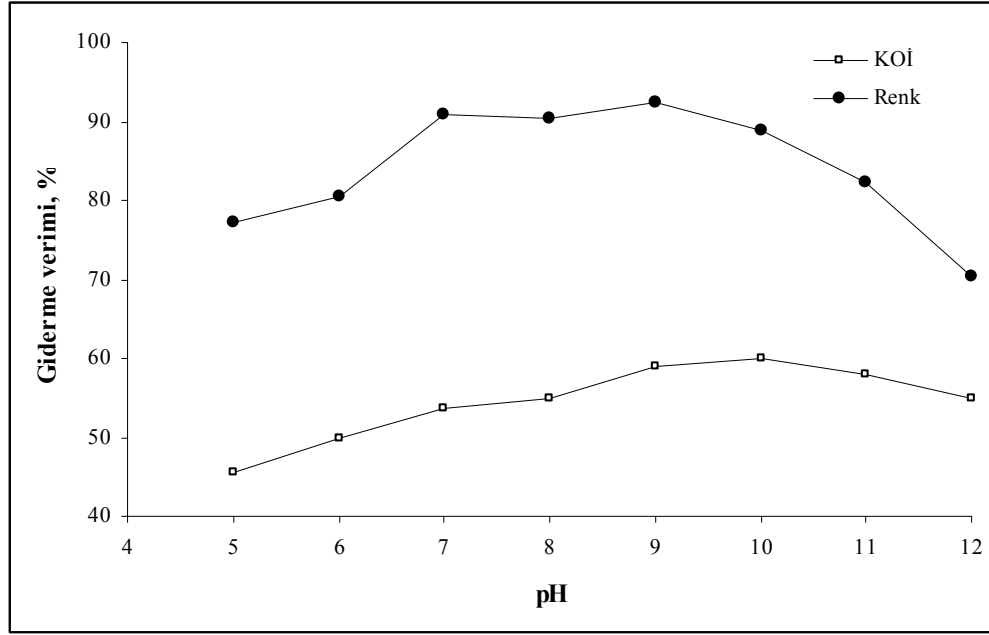
Atıksu debisi, m ³ /ay	Kireç miktarı, kg/ay	Demirsülfat miktarı, kg/ay
33000	2475	6450

Çizelge 6.4'teki değerler dikkate alınarak birim atıksu başına kullanılan kimyasal doz değerleri hesaplanmış ve buna göre tesisten kaynaklanan atıksuyun arıtılmasında kullanılan kimyasal madde dozları sırası ile kireç için 75 mg/l ve FeSO₄ için ise 195 mg/l şeklinde mevcut uygulama olarak hesaplanmıştır.

Laboratuardaki jar test çalışmaları için öncelikle tesisten alınan ham atıksuya ait kimyasal koagülasyon-flokülasyon uygulanmıştır. Laboratuar ortamında yapılan kimyasal arıtma çalışmalarında kullanılan kireç ve FeSO₄ miktarları %3'lük hazırlanan solüsyonlardan kullanılmıştır. Jar test çalışmaları için çalışılan atıksu miktarları 250 ml hacmindeki numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Jar test çalışmaları için başlıca iki amaç dikkate alınarak deneyler yapılmıştır. Bunlardan birincisi optimum pH değerinin tespiti, diğeri ise optimum kimyasal doz değerinin belirlenmesidir.

Optimum pH değeri için yapılan jar test çalışmalarına ait giderme verimlerini ifade eden grafik Şekil 6.5'te verildiği gibidir. Şekil 6.5'ten de görüldüğü üzere optimum çalışma pH değeri 9 civarında olup bunun dışındaki pH değerlerinde hem KOİ ve hem de renk açısından verim değerleri düşmektedir.



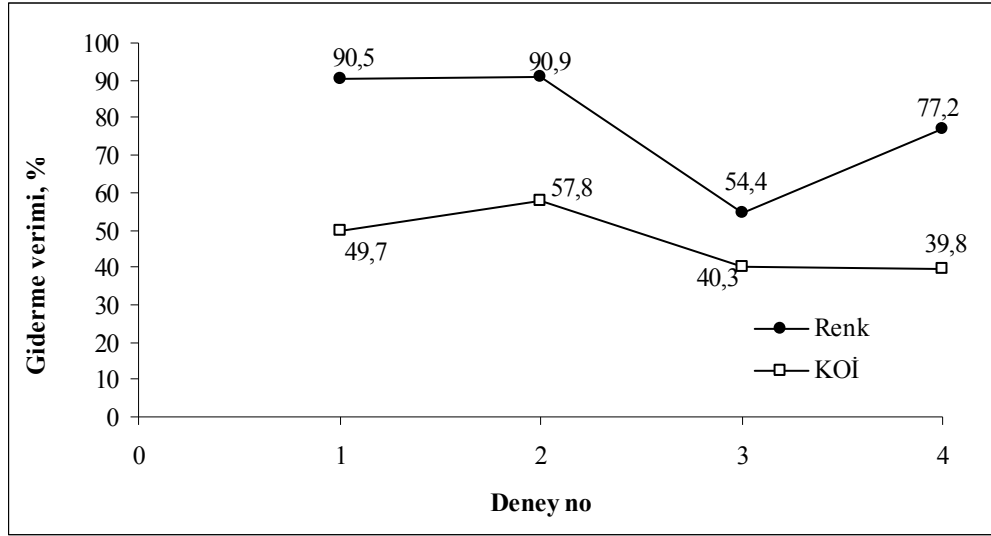
Şekil 6.5 Optimum pH belirleme çalışması

Optimum pH değerinin belirlenmesinden sonra (pH=9) optimum kimyasal dozların belirlenmesi için de yine bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir. Buradan hareketle 1 litre hacmindeki ham su için laboratuvar ortamında yapılan jar test deney sonuçları aşağıda Çizelge 6.5'te verilmiştir. Yapılan çalışmalarla anlamlı sonuç veren toplam dört farklı durum Çizelge 6.5'te verilmiştir. Optimum dozun belirlenmesi amacı ile aşağıdaki çizelgede verilen konsantrasyonların giderme verimleri üzerindeki etkisi ise Şekil 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.5 Ham su numunesi için kimyasal arıtma sonuçları.

Deney No.	Kireç dozajı (mg/l)	Demirsülfat dozajı (mg/l)
1	60	150
2	90	180
3	120	240
4	180	300

Çizelge 6.5'te uygulanan kimyasal dozlar neticesinde elde edilen renk ve KOİ'deki giderme verimleri ise Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6 Kimyasal arıtmada kireç ve demirsülfat kullanılarak renk ve KOİ gideriminin izlenmesi

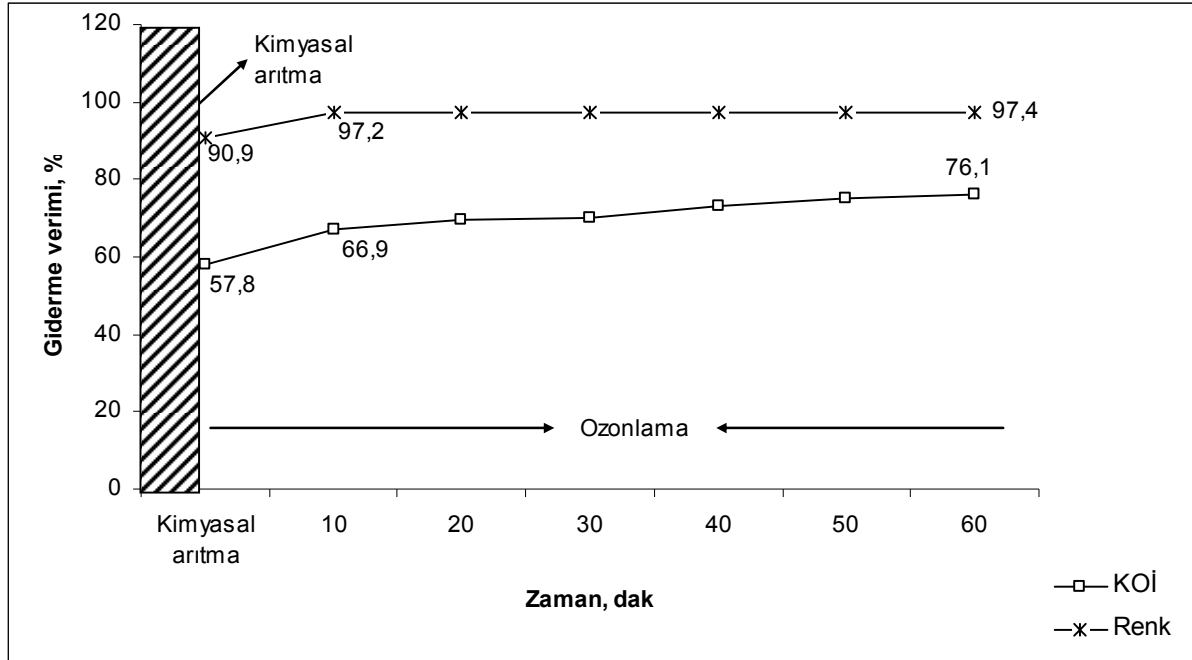
Buna göre Çizelge 6.5'teki 2. durum (90 mg/l kireç ve 180 mg/l FeSO_4) Şekil 6.6'da görüldüğü gibi optimum giderme veriminin gerçekleştiği doz değerlerini ifade etmektedir. Bulunan bu optimum dozlarda, renkte %90,9 ve KOİ'de ise %57,8 gibi değerlerde maksimum giderim sağlandığı belirlenmiştir. Bu dozların dışındaki uygulamalarda ise sistemde renk ve KOİ giderim veriminde düşüşlerin olduğu saptanmıştır.

Çizelge 6.3'te tesisteki mevcut uygulamadan kimyasal arıtmadan kaynaklanan giderme verimleri ile Şekil 6.6'daki laboratuvar ortamında yapılan jar test deneyleri neticesinde farklılıklar olduğu ortaya çıkmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan jar test deneylerinden elde edilen sonuçlar mevcut uygulamalarda elde edilen giderme verimlerinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Laboratuvar ortamında elde edilen bu giderme verimlerinin eldesinde de tesiste mevcut uygulanan optimum dozlardan farklı değerler ortaya çıkmıştır. Bunun sonucunda giderme verimleri de mevcut uygulamadan farklılıklar göstermiştir.

Yukarıda verilen kimyasal arıtmalar neticesinde atıksuya ayrıca ozon çalışması uygulanmıştır. Ozon uygulaması kimyasal arıtmada en iyi sonucu veren 2. durum (90 mg/l kireç ve 180 mg/l FeSO_4) çalışması için gerçekleştirilmiştir. Jar test deneyi neticelerine yapılan ozon uygulaması durumunda farklı seviyelerde KOİ ve renk giderme verimleri elde edilmiştir. Yapılan ozonlama uygulaması daha önceden optimum konsantrasyon olarak belirlenen 32

mg/l düzeyinde gerçekleştirilmiştir.

Kimyasal arıtmadan sonra KOİ değeri 527 mg/l (%57,8) ve renk değeri ise 53 Pt-Co (%90,9) değerine düşmüştür. Bu durumda bundan sonra uygulanan gerçekleştirilen ozon uygulaması sonucunda KOİ ve renk değişimi için gelinen son durum Şekil 6.7’de verildiği gibidir



Şekil 6.7 Kimyasal arıtma neticesinde elde edilen ozonlama uygulamaları (32 mg ozon/l)

Şekil 6.7’den görüldüğü üzere kimyasal arıtmayla KOİ ve renk giderimi sırası ile %57,8 (527 mg/l) ve %90,9 (53 Pt-Co) değerine düşürülmüştür. Buradan sonra uygulanan ozon çalışması ile renk giderimi her ne kadar Şekil 6.7’de ilk 10 dakikada %97,2 seviyesinde gerçekleşmiş gözükse de bu değer aslında ham su numunesinin başlangıç renk değerinden elde edilen toplamdaki giderme verimini ifade etmektedir. Renk giderimi için ozon çalışmasının bir saatlik uygulaması neticesinde giderme veriminde pek fazla bir değişim gözlemlenmemiştir. Zaten Şekil 6.7’den de görüldüğü üzere bir saat sonra renk giderim verimi %97,4 olarak görülmektedir.

KOİ için ise kimyasal arıtmada elde edilen %57,8’lik giderme veriminden sonra çalışılan bir saatlik ozon uygulaması ile ilk 10 dakikada bu giderim verimi %66,9’a çıkmıştır. KOİ’de, rengin aksine zamanla giderme veriminde bir artış gözlemlenmiş olup, bu değer ilk 20 dakikada %69,5’a ve bir saatlik ozon uygulaması neticesinde ise %76,1’e çıkmıştır.

Şekil 6.7’deki ifadeler kendi arasında kimyasal ve ozon uygulamalarının ayrı ayrı giderme verimleri açısından incelenecek olursa özetle sadece kimyasal arıtmadan, ozonlamadan ve her ikisinden

kaynaklanacak toplam verim değerleri aşağıda Çizelge 6.6’da verilen ifadeler ortaya çıkacaktır.

Çizelge 6.6 Kimyasal/Ozon uygulamasında KOİ ve renk giderim verimleri

Parametre	Kimyasal Arıtma sonrası değişimler	Ozonlama (60 dakika) sonrası değişimler	Kimyasal arıtma verimi, %	Ozonla giderme verimi, %	Toplam Verim, %
KOİ, mg/l	1250 → 527	527 → 298	57,8	43,5	76,1
Renk, Pt-Co	580 → 53	53 → 15	90,8	71,7	97,4

6.2.2 Ozon Uygulaması Sonrası Kimyasal Arıtma

Ozonlama sonrası yapılan kimyasal uygulaması çalışmalarının bir önceki çalışmada yapılan (kimyasal + ozon) uygulamalara göre daha düşük arıtma verimleri sağladığı ortaya çıkmıştır. Zaten literatür incelemelerinden de bilinmektedir ki ozon uygulamaları düşük kirlilik parametrelerinde daha etkin giderme verimi sağlamaktadır.

Ham suya yapılan direkt ozonlama çalışması Bölüm 6.1’de verildiği üzere 32 mg/l olarak ve ideal zaman dilim olan 10 dakikalık ozon uygulaması şeklinde daha önceden çalışılmıştır. Dolayısı ile ozonlama sonrası kimyasal arıtma derken Bölüm 6.1’deki ozonlama çıkış atık suyu için uygulandığını belirtmek gerekmektedir. Uygulanan kimyasallar olarak yine daha önceden hazırlanan %3’lük kireç ve FeSO₄ solüsyonları ile gerçekleştirilmiştir. Ozonlanmış çıkış suyuna yapılan jar test çalışmalarında bir dizi optimizasyon deneyleri yapılmış ve bu deneyler neticesinde optimum dozlar olarak kireç için harcanan miktar litre atıksu başına 2,0 ml/l ve FeSO₄ için ise 4,7 ml/l olarak belirlenmiştir. Bu değerler her ne kadar direkt kimyasal arıtmaya uygulanan dozlardan düşük olsalar da sonuçta toplam giderim açısından da daha düşük seviyelerdedirler.

Bu çalışmada ozon+kimyasal uygulamaları ile Çizelge 6.7’den görüldüğü üzere toplam giderme veriminde KOİ için verim %61,2 renk giderme değerinde ise toplamda %93,9 düzeyinde bir giderme elde edilmiştir.

Çizelge 6.7 Ozon/Kimyasal uygulamaları sonucunda KOİ ve renk değişimleri

Parametre	Ozonlama sonrası değişim	Kimyasal arıtma sonrası değişimi	Ozon konsantrasyonu (mg/l)	Toplam verim, %
KOİ, mg/l	1250 → 505	505 → 485	32	61,2
Renk, Pt-Co	580 → 50	50 → 35	32	93,9

Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7 değerlerinin incelenmesi ile kolayca görüleceği üzere ham su için kimyasal arıtmadan sonra ozonlama uygulaması deneysel çalışmalarda daha iyi sonuç vermiştir.

6.3 Üç Farklı Ozon Uygulamasının Mukayesesi

Bu tez çalışmasında pilot tesis olarak seçilen Altınyıldız Mensucat ve Konfeksiyon Fabrikaları A.Ş. Yenibosna fabrikasından atıksu numuneleri alınarak, üzerinde değişik ozonlama uygulama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Buna göre öncelikle fabrikada hali hazırda kullanılan kimyasal arıtmaya alternatif olarak sadece ozonlama çalışması yapılmıştır.

İlk olarak direkt ozon uygulama yapılan atık suda çıkış parametreleri (sadece KOİ ve renk parametreleri olarak) ile kimyasal arıtma çıkış parametrelerinin karşılaştırılması aşağıda Çizelge 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.8 Ozon uygulaması ile mevcut kimyasal uygulamasının karşılaştırılması

Parametre	Ham atıksu	Kimyasal arıtma sonucu	Ozonlama sonucu	Verim, %	
				Kimyasal arıtma	Ozonlama
KOİ, mg/l	1250	550	505	56	59,6
Renk, Pt-Co	580	72	50	87,5	91,4

Çizelge 6.8'den görüldüğü üzere ham suya tek başına ozon uygulaması tesiste halihazırda uygulanan kimyasal arıtmaya alternatif olarak düşünülebilecek bir arıtma tekniği olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ham atıksuya yalnızca kimyasal arıtma uygulamakla KOİ gideriminde %56 (550 mg/l) giderme verimi elde edilebiliyorken, ozonlama ile bu oran %59,6 değerinde olup çıkış suyunda KOİ değeri bu durumda 505 mg/l'ye düşebilmektedir.

Renk açısından ise yine Çizelge 6.8'den görüldüğü üzere mevcut uygulanan kimyasal arıtmada renk giderme verimi %87,5 iken ozonlama ile bu oran %91,4 değerine ulaşmaktadır.

Su tüketiminin oldukça fazla olduğu bu sektör için suyun geri kazanımının önemine binaen uygulanmakta olan mevcut kimyasal arıtma ile birlikte ozon uygulaması çalışmalarının ne derecede gerçekleşip gerçekleşmeyeceğinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Bu amaçla yapılan kimyasal arıtma çalışmalarına ilaveten ozonlama çalışmaları sonuçları Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7'nin incelenmesi ile atık suyun tesis içinde geri kazanımı açısından belli bir fikir verebilmektedir. Öncelikle şu söylenilebilir ki kimyasal arıtma ve ozonun birlikte uygulanması neticesinde her ne kadar en iyi sonuç; kendi arasında önce kimyasal arıtma ardından ozonlama gibi ortaya çıkmışsa da, en iyi olarak belirlenen bu durumda bile çıkış suyunda 298 mg/l KOİ kalmaktadır. Renk açısından suda herhangi bir problem olmamasına rağmen, KOİ açısından elde edilen bu değer (298 mg/l) suyun tesis içinde yeniden kullanılmasını engellemektedir. Bu açıdan suyun geri kazanımı, ozon gibi yüksek oksidatif kapasiteye sahip bir uygulama ile birlikte düşünülebilecek ileri arıtma yöntemlerinden olan membran sistemlerinin devreye girmesi gerçekleştirilebilecektir. Bu durumda çalışılan atıksu için ozonlama sadece yardımcı veya birincil arıtma özelliğinde bir uygulama olarak düşünülmelidir.

6.4 Yapılan Çalışmaların Ekonomik Analizi

Bilindiği üzere her arıtmanın bir maliyeti vardır. Özellikle sektörler için bir gider olarak düşünülen arıtmanın minimum maliyetle en iyi verimle gerçekleştirilmesi, temel hedefler arasında gelmektedir. Bölüm 6'nın başında verilen ve bu tez çalışmasının bir diğer amacı olan, mevcut uygulama ile birlikte buna karşı olarak ortaya konulan ozon uygulamasının maliyet analizlerinin de ortaya çıkarılarak gerçekten alternatif olarak düşünülen bu arıtmanın pratikliği yanında ekonomik olarak da uygun olup olmadığının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaçla yapılan maliyet analizi aşağıda verildiği gibidir.

Tesiste kullanılan kimyasallar ve bu kimyasallara ait birim fiyat değerleri ile arıtma için en temel gereksinim olan enerji maliyetleri aşağıda Çizelge 6.9’da verilmiştir. Tesisteki kimyasallara ait birim fiyat değerleri analitik kalitede olmayan kimyasallar için hesaplanmıştır.

Çizelge 6.9 Tesiste kullanılan kimyasal birim fiyatları ve enerji maliyetleri

Kimyasallar	Birim	Maliyet, \$	Günlük kullanım
FeSO ₄ .7H ₂ O	Kg	8,33	208
Ca(OH) ₂	Kg	1,67	79
Polielektrolit	Kg	6,67	2,5
Elektrik	kwh	0,134	600

Tesiste arıtmadan sorumlu kişilerle yapılan görüşmelerde günlük olarak tüketilen kimyasallara ait net bir miktar belirtilememektedir. Bu yüzden tesisin aylık olarak tükettiği kimyasallar ile oluşan atıksu debileri dikkate alınarak ortalama değerlerle hesaplar yapılmıştır.

İncelemeler neticesinde tesisten ortalama olarak 1100 m³/gün düzeyinde atıksu oluştuğu belirlenmiştir. Bu durumda Çizelge 6.9 verileri de incelenerek aşağıdaki maliyet analizleri rahatlıkla yapılabilecektir:

Fabrikanın kullandığı kimyasallar

FeSO ₄	: 6450 kg/ay (208 kg/gün)
Kireç	: 2475 kg/ay (82,5 kg/gün)
Polielektrolit	: 75 kg/ay (2,5 kg/gün)
Enerji (Karıştırıcılar)	: 25 Kwh
Debi	: 1100 m ³ /gün
FeSO ₄	: 0,195 kg/m ³
Kireç	: 0,075 kg/m ³
Polielektrolit	: 0,002 kg/m ³
Enerji	: 0,134 \$/Kwh (Sanayiler için mevcut elektrik fiyatı)
(Dolar kuru: 1,20 YTL alınmıştır)	

Kimyasal Arıtma

FeSO ₄	: 8,33 \$/ kg x 0,195 kg /m ³ = 1,6243 \$/m³
Kireç	: 1,67 \$/ kg x 0,075 kg /m ³ = 0,1253 \$/m³
Polielektrolit	: 6,67 \$/ kg x 0,002 kg/ m ³ = 0,0133 \$ /m³
Karıştırıcılar	: 25 kwh x 24 x 0,134 \$/kwh = 80,4 \$/1100m ³ = 0,074 \$/m³

Bu durumda sadece kimyasal arıtmadan kaynaklanan birim atıksu başına arıtma için harcanan bedel toplam olarak 1,837 \$/m³ değerini bulmaktadır.

Şayet kimyasal arıtma değil de bu tez çalışmasında olduğu gibi ozon uygulaması yapılmış olsaydı, pratikliği ve arıtma süresinin kısalığı yanında tesise mal olacağı bedel ise aşağıda verildiği gibidir:

Ozonlama

Enerji	: 0,105 Kwh
Çalışılan atıksu hacmi	: 2 litre
Süre	: 10dk.

Elektrik (saatte) : 0,105 kwh x 0,134 \$ / kwh = 0,014 \$ değerinde olacaktır.

Arıtma süresi optimum olarak 10 dakika belirlendiğinde göre bu değer arıtmanın gerçekleştiği süre dikkate alındığında 0,002 \$/2 L olacaktır (0,014 \$/h x 10/60 h).

Tesis için kuru havadan sağlanacak olan ozon kaynağı dikkate alındığında bu durumda sadece ozon jeneratörünün kullanacağı elektrik maliyeti devreye girecektir. Bu durumda 0,002 \$/2L= 1,01 \$/m³ atıksuya eşdeğer olacaktır.

Yukarıdaki maliyet analizinden de görüleceği üzere, üzerinde çalışma yapılan tesis, şayet kimyasal arıtmaya alternatif olarak ozon çalışmasını kendi bünyesinde uygulaması durumunda iki açıdan önemli kazanımlar sağlanmış olacaktır. Bunlardan birincisi ve en önemlisi, tesiste birim atıksu arıtımı için harcanan işletme maliyeti yaklaşık olarak %54,9 (1,01\$/m³ / 1,837\$/m³) oranında azalmış olacaktır. İkinci önemli elde edeceği fayda ise çıkış suyu kalitesi normal kimyasal arıtmaya oranla daha iyi seviyede olacaktır ve bu durum çevre açısından da önemli bir fayda olarak düşünülmelidir.

7. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilmiş olan faaliyetleri aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür;

Ozonlamanın kimyasal arıtmaya KOİ ve renk parametreleri bakımından alternatif olarak kullanılması durumunda arıtma veriminin ne oranda olacağı araştırılmıştır.

Günümüzde kullanılmış suların geri kazanımı işletmelerdeki en önemli konular arasına girmiştir. Bu sebeple tekstil endüstrisi gibi su tüketiminin çok fazla olduğu bir sektörün geri kazanım çalışmalarında ozonun fizibilitesinin çıkarılması hedeflenmiştir. Bu amaçla tesisten alınan ham suya laboratuarda yapılan kimyasal arıtmayla beraber ozon uygulamaları da gerçekleştirilmiştir. Ozon uygulamasının arıtmanın hangi aşamasında olması gerektiği de incelenen konular arasındadır.

Yapılan çalışmaların ekonomik analizlerinin kıyaslanarak ortaya konması da hedeflenmiştir. Bu maliyetler arasında tesisin hâlihazırda kullandığı koagülantların arıtma verimi, oluşan çamur miktarı ve bunun bertarafı ile ozonlama sisteminin maliyetinin bulunması hedeflenmiştir.

Yapılan bir dizi deneysel çalışmalar neticesinde ve bu tezin izah edilen amaçları doğrultusunda varılan sonuçlar şöylece sıralanabilir:

Ham suyun arıtılması sırasında sadece ozon uygulamasıyla atıksuyun arıtıldığı gözlemlenmiş ve bu arıtmanın değişik ozonlama kapasitelerinde farklı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Buna göre, sırası ile ham suya 28 mg/l, 32 mg/l ve 46 mg/l konsantrasyonlarda ozon uygulamaları yapılmıştır. Her üç uygulama için de elde edilen en önemli veri ozonlama süresinin ilk 10 dakikasında arıtmada izlenen renkte yaklaşık %90 civarında, KOİ gideriminde ise yaklaşık olarak %54- 61 arasında bir giderim sağlandığı belirlenmiştir. İlerleyen zaman süresince ozon uygulamasının, ne renk, ne de KOİ gideriminde sonucu daha fazla değiştirecek yönde etki yapmadığı ortaya çıkmıştır.

Ham suyun ozonlanması ile arıtmada optimum arıtma süresinin bu deneysel veriler ışığında 10 dakika olarak belirlendiği görülmüştür. Uygulanan üç farklı ozon dozlarının mukayesesi neticesinde, optimum ozon konsantrasyonunun (giriş gazı debisi içindeki) 32 mg/l olduğu belirlenmiştir. 32 mg/l ozon konsantrasyonu ve 10 dakikalık optimum muamele süresi sonrasında ham suda, KOİ giderme veriminde %59,8 ve renk giderme veriminde ise %91,4

düzeyinde bir giderme verimi değeri elde edilmiştir. Kimyasal arıtmayla tesiste sadece KOİ gideriminde %56 değerinde bir verim sağlanıyorken yalnız ozonlama ile bu değer %59,8'e çıkmıştır. Renk gideriminde ise tesisteki çıkış suyundaki verim %87,5 iken ozonlama ile bu değer %91,4'e çıkmıştır.

Bu durumda sistem için gerekli olan faydalı ozon miktarının 1 litre atıksu için yaklaşık 307,3 mg olduğu ve bunun da toplamda uygulanan (10 dakikalık zaman dilimindeki 1 L atıksu için) 320 mg ozonun yaklaşık %96'sını oluşturduğu görülmektedir. Fazladan kaçan ve sistem tarafından kullanılamayan ozon ise reaktör çıkışındaki iki adet 500 ml hacminde %2'lik KI çözeltilerinde absorbe edilmiş olup bu değer 25,5 mg'dır.

Kimyasal arıtma ile birlikte yapılan ozon uygulamaları çalışmalarında ise, iki farklı yöntem izlenmiştir. Birincisi hâlihazırda tesisin kullanmış olduğu kimyasal arıtma sonrasına ozon uygulaması, diğeri ise ozon sonrası kimyasal arıtma çalışmalarıdır. Buradaki amaç ozonun arıtmanın hangi kademesinde daha iyi sonuç verdiğini ortaya çıkarmaktır.

Tesisin orijinal arıtma çıkışındaki arıtılmış suya yapılan ozon uygulamaları nispeten daha düşük sonuçlar verdiğinden laboratuvar ortamında ayrıca optimum dozların belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır.

Fabrikadaki arıtma tesisinde kullanılan kimyasal dozlamaların (Ca(OH)_2 ve FeSO_4) aynı türden çalışmaları laboratuvar ortamında da yapılmıştır. Buna göre tesisteki mevcut uygulamalar dikkate alınarak jar test deneyleri yapılmış ve buna göre tesisten kaynaklanan atıksuyun arıtılmasında kullanılan optimum kimyasal madde dozları sırası ile kireç (Ca(OH)_2) için 90 mg/l ve demirsülfat (FeSO_4) için ise 180 mg/l olarak bulunmuştur. Bu dozlamalar neticesinde ozon uygulamaları yapılmış (32 mg/l konsantrasyonunda ve 10 dakika süre ile) ve buna göre kimyasal arıtma çıkışında ozon uygulanması durumunda KOİ ve renk üzerindeki giderme verimleri sırası ile %66,9 ve %97,2 olarak bulunmuştur. Bir saatlik uygulama sonrasında ise KOİ'de giderme verimi toplamda %76,1'e çıkarken renkte giderme veriminde önemli bir artış olduğu görülmemiştir (renkte %97,4'e çıkmıştır).

Ozon uygulaması sonrası kimyasal arıtma çalışmasında ise bir önceki çalışmada yapılan (kimyasal+ozon) uygulamalara göre daha düşük arıtma verimleri sağlanmıştır. Zaten literatür incelemelerinden de bilinmektedir ki ozon uygulamaları düşük kirlilik parametrelerinde daha etkin giderme verimi sağlamaktadır.

Bu çalışmada ozon+kimyasal uygulamaları ile de KOİ ve renk giderimindeki verimler incelenmiştir. Buna göre ozonlama için optimum doz olarak 32 mg/l ozon konsantrasyonu ve 10 dakikalık uygulama süresinden sonra uygulanan kimyasal arıtma neticelerinde elde edilen sonuçlar ise genel toplamda KOİ için %61,2 ve renkte ise %93,9 değerlerinde ortaya çıkmıştır.

Su tüketiminin oldukça fazla olduğu bu sektör için suyun geri kazanımının da olabileceği düşünülen kimyasal arıtmaya ilaveten yapılan ozon uygulamalarında sonucun çevresel kalite kriterleri açısından gerçekleşmediği görülmüştür. Renk açısından yeterli düzeyde arıtım sağlanmasına rağmen KOİ açısından her iki uygulamanın birlikte olması durumunda bile suda 298 mg/l değerinde bir KOİ değeri kaldığı görülmüştür. Bundan dolayı kimyasal arıtma sonrası ozon uygulaması sonucunda arıtılmış su tesis içinde geri kazanımda kullanılabilir durumda olmamaktadır.

Bu çalışmayla sadece ozon uygulaması sonrası kurulabilecek bir membran sistemi tasarımı ile (bakiye ozonun kalmaması için gerekli temas süresi vb. önlemler alınmalıdır.) geri kazanım sağlanabilecektir. Bu durumda ozonlama böyle bir sistemde birincil arıtma olarak arıtma prosesinde kullanılabilecektir.

Tez çalışması kapsamında alternatif olarak düşünülen ozonlama uygulamasının mevcut tesiste kullanılan uygulamaya göre ne oranda ekonomik olacağı da araştırılarak bir maliyet analizi çıkarılmıştır. Buna göre tesisin halihazırda kullandığı kimyasal arıtma için birim metreküp atıksu başına toplam 1,837 \$/m³ değerinde bir bedel ödemektedir. Tezin konusu olan ve alternatif olarak düşünülen ozonlama uygulaması ile ise bu değer 1,01 \$/m³'e düşmektedir.

Yukarıdaki maliyet analizinden de görüleceği üzere, üzerinde çalışma yapılan tesis şayet kimyasal arıtmaya alternatif olarak ozon çalışmasını tesisinde kullanacak olması durumunda iki açıdan önemli kazanımları olacaktır. Bunlardan birincisi ve en önemlisi, birim atıksu arıtımı için harcadığı maliyet yaklaşık olarak %54,9 (1,01\$/m³ / 1,837\$/m³) gibi azalmış olacaktır. İkinci önemli elde edeceği fayda ise çıkış suyu kalitesi normal kimyasal arıtmaya oranla daha iyi seviyede olacaktır ve bu durum çevre açısından da önemli bir fayda olarak düşünülmelidir.

KAYNAKLAR

Anonymous (1987), Iodometric Method for the Determination of Ozone in a Process Gas. IOA Standardisation Committee-Europe, 001/87-F, International Ozone Association, Brussels.

Anonymous (1998), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed.,

Arslan I, Balcioglu I A, Bahnemann DW (2002) “Advanced Oxidation of a Reactive Dyebath Effluent: Comparison of O₃, H₂O₂/UV-C and TiO₂/UV-A processes. Water Research, 36:1143-1154.

Arslan, I., (2006), “Degradation of a Commercial Textile Biocide with Advanced Oxidation Processes and Ozone”, J.Environmental Management, 82:145-154

ATV-Handbuch, (1999), Industrieabwasser-Grundlagen, Ernst&Sohn A Wiley Company, 4.Auflage, Darmstadt.

ATV-Handbuch, (1997), Biologische and Weitergehende Abwasserreinigung, Ernst&Sohn A Wiley Company, 4.Auflage, Berlin

Başdemir, K., (1993), Çevre Proseslerinde Saf Oksijen, Ozon ve Karbondioksit, Birleşik Oksijen Sanayi A.Ş., Sanat Matbaacılık

Beszedits, S., (1980), Ozonation to Decolor Textile Effluents, Am. Dyestuff Rep., 69.

Brower, G. R. ve Reed, G.D., (1987), “Economic Pretreatment for Color Removal Form Textile Dye Wastes”, Proc. 41st Purdue Industrial Waste Conference, Lafayette, Ind., USA

Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi, (1986), Interpres Basın ve Yayıncılık A.Ş., İstanbul, 7, 3284-3288

Chen GH, Lei LC, Hu XJ, Yue PL (2003), “Kinetic Study Into the Wet Air Oxidation of Printing and Dyeing Wastewater” Sep. Purif. Technol. 31: 71-76.

Correia VM., Stephenson T., (1994), Characterization of Textile Wastewater a Review, Environmental Technologies, 15:917-929.

.E.P.A.,(1997). Profile of the Textile Industry, US Environmental Protection Agency Report, Cincinnati, Ohio.

Easton JR., (1995), The Dye Maker's in Colour in Dyehouse Effluent, The Society of Dyers and Colourist, Alden Pres, Oxford, 6-21.

Gaehr, F., Hermanutz, F. ve Oppermann, W., (1994), "Ozonation-An Important Technique to Comply with New German Laws for Textile Wastewater Treatment", Water Science Technology, 23:1077-1086

Germirli, F., Tünay, O. ve Orhon, D., (1989) An Overview of the textile industry in Turkey- Pollution Profiles and Treatability Characteristics, International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries

Germirli, F., Orhon, D. Ve Tünay, O., (1990), Tekstil Endüstrisinde Atıksu Özelliklerini Etkileyen Faktörler-Örnek Tesislerde Uygulama, İTÜ 2. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu, İstanbul

Glaze, H., (1987), "Drinking Water Treatment With Ozone", Environ. Sci. Technol.

Gottschalk C, Libra J.A., (2002), Ozonation of Water and Waste Water, Weinheim

Göknil, F., Toröz, İ. ve Cimşit, Y., (1984), Endüstriyel Atıksuların Kontrol ve Kısıtlama Esasları Projesi-Tekstil Endüstrisi, İTÜ Çevre ve Şehircilik Uygulama Araştırma Merkezi İstanbul

Gönüllü, M. T., (2004), Endüstriyel Kirlenme Kontrolü, Birsen Yayınevi, İstanbul

Grau, P., (1991), Textile Industry Wastewaters Treatment, Water Science Technology, 97-103

Gregor, K. M., (1994), Oxidative Decolorization of Textile wastewater with Advanced Oxidation Processes, Chemical Oxidation, 161-193

Gren, J. M. ve Sokol C., (1985), Using Ozone to Decolor Dyeing Plant Wastewater, Am. Dyestuff Rep., 74.

Gürol, M. D., (1985) "Factors Controlling the Removal of Organic Pollutants in Ozone Reactors", J.Amer. Water Works Assoc., 77

Hamza, A. ve Hamoda, M.F., (1980), "Multiprocess Treatment of Textile Wastewater", Proc 35th Purdue Industrial Waste Conference, Lafayette, Ind., USA

Hoigne, J., Bader, H., (1996), "A Role of Hydroxyl Radical Reactions in Ozonation Processes in Aqueous Solution", Water Research, 10:376-86.

I.O.A., (1987), Iodometric Method for the Determination of Ozone in a Process Gas, International Ozone Association (IOA), Brussels, 001/87-F.

İnce N., Gönenç D., (1997) Treatability of Textile Azo Dye by UV/H₂O₂, Environmental Technology, 18:179-185.

Johnston, C.T., ve Clark R., (1984), “Problems and Progress in Reactive dyes”, Am. Dyestuff Rep., 73:20-49

Kuo W., (1992) Decolorizing Dye Wastewater with Fenton’s Reagent, Water Research, 26, 7:881-886

Koyuncu, I., Afsar, H., (1996), “Decomposition of Dyes in the Textile Wastewater with Ozone”, J. Environmental Science Health 31: 1035-1041

Muslu, Y., (1992), Su ve Atıksu Teknolojisi, İTÜ, İstanbul

Muthukumar, M., Selvakumar N., (2004) “Optimisation of Ozone Treatment for Color and COD Removal of Acid Dye Effluent Using Central Composit Design Experiment” Dyes and Pigments 63:127-134

Pagga, U., Brown D., (1986) “The Degradation of Dyestuffs, Behaviours of Dyestuffs in Aerobic Biodegradation Tests”, Chemosphere, 15:479-491.

Radetski, C. M., Rosa, S.M.C., Rosa, E.V.C., Sierra, M.M.D., Simionatto, E.L., (2002.) “Ozonation of Textile Wastewater: Physicochemical and Phytotoxic Aspects”, Environmental Technology, 23:537–545.

Rice, R. G., (1997), “Applications of Ozone for Industrial Wastewater Treatment”, Ozone Science Engineering, 18:478–515.

Sevimli, M. F., (2000) Tekstil Endüstrisi Atıksularından Ozonlama ile Renk Giderimi ve Ozonlamanın Biyolojik arıtılabilirliğe Etkisi. Doktora Tezi İTÜ

Shu H., Huang C., (1994) “Decolorization of Mono-azo Dyes in Wastewater by Advanced Oxidation process a Case Study of Acid RED 1 and Acid Yellow 23”, Chemosphere 29, 2597

www.azcozon.com .

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	24.03.1981	
Doğum yeri	Eskişehir	
Lise	1994-1997	H.Ahmet Yesevi Lisesi
Lisans	1997-2001	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak. Çevre Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005-2008	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Müh. Anabilim Dalı

Çalıştığı kurumlar

2001-2003	İdeal Su Artım Sistemleri Tic. Ltd. Şti.
2003-2004	Artem Isı Su Arıtım Tic. Ltd. Şti.
2004-2005	Güney Antalya Altyapı İşletme Birliği
2005-2008	İdeal Su Arıtım Sistemleri Tic. Ltd. Şti.
2008-Devam ediyor	İdeal Makina Endüstri Ürünleri Ltd.Şti.