

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**DENİM YIKAMADA KULLANILMIŞ PONZA
TAŞLARININ ATIK SU ARITMADA KULLANIMI VE
GERİ KAZANILAN SUYUN TEKRAR DENİM
YIKAMADA KULLANIM OLANAKLARI**

İSMAİL CEM BAĞIRAN

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşegül KÖRLÜ

İkinci Danışmanı: Prof. Dr. Saadet YAPAR

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 12.01.2018

Bornova-İZMİR

2018

İsmail Cem BAĞIRAN tarafından doktora tezi olarak sunulan “Denim Yıkamada Kullanılmış Ponza Taşlarının Atık Su arıtmada Kullanımı ve Geri Kazanılan Suyun Tekrar Denim Yıkamada Kullanım Olanakları” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 12/01/2018 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. A. Merih Saruşık

Raportör Üye: Prof. Dr. Ayşegül Körlü

Üye : Prof. Dr. Dilek Kut

Üye :Prof. Dr. Günseli Özdemir

Üye :Prof. Dr. E. Perrin Akcakoca Kumbasar



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “Denim Yıkamada Kullanılmış Ponza Taşlarının Atık Su arıtmada Kullanımı ve Geri Kazanılan Suyun Tekrar Denim Yıkamada Kullanım Olanakları” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, döküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarımı ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

12 / 01 / 2018

İmzası



Adı-Soyadı

İsmail Cem BAĞIRAN

ÖZET

DENİM YIKAMADA KULLANILMIŞ PONZA TAŞLARININ ATIK SU ARITMADA KULLANIMI VE GERİ KAZANILAN SUYUN TEKRAR DENİM YIKAMADA KULLANIM OLANAKLARI

BAĞIRAN, İsmail Cem

Doktora Tezi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşegül Körlü

İkinci Danışmanı: Prof. Dr. Saadet Yapar

12.01.2018, 136 sayfa

Bu tezde yüksek adsorpsiyon özelliğine sahip ve denim yıkama işlemlerinde kullanıldıktan sonra atık haline gelmiş ponza taşlarının, denim yıkama fabrikalarının atık suyunu arıtmada kullanılması ve arıtılan suyun belirli oranlarda temiz su ile karıştırılarak denim yıkamada tekrar kullanım olanakları araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında, atık haline gelmiş ponza taşları bir adsorpsiyon kolonuna yerleştirilmiş ve denim atık suyunun çevreye deşarj edilmeden önce bu kolondan geçmesi sağlanmıştır. Ardından, adsorpsiyon uygulanan atık suyun belirli oranda temiz suyla karışımı sağlanmış ve son elde edilen su, denim yıkamada giriş suyu olarak kullanılmıştır.

Daha etkin arıtılan su ve bu suyla yıkanan denim ürünlerin gerekli analizleri yapılmış ve elde edilen veriler doğrultusunda arıtma etkinliği ve suyun tekrar kullanılabilme olanakları belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonunda, atık ponza taşlarıyla adsorpsiyon yöntemine göre arıtılan suyun, denim yıkama giriş suyu olarak kullanılabilceği ve bu suyla yıkanan denim ürünlerin, istenen fiziksel özellikleri karşıladığı belirlenmiştir. Bu bağlamda, hem katı atık değerlendirilmesi hem de kaynakların etkin kullanımı mümkün olmuştur.

Anahtar sözcükler: Arıtma, ponza taşı, denim yıkama, atık geri kazanım



ABSTRACT**WASTE WATER TREATMENT OF A DENIM PLANT BY USING
WASTE PUMICE STONES AND RECYCLING WASTE WATER
FOR DENIM LAUNDRY**

BAĞIRAN, İsmail Cem

MSc in Textile Eng.

Supervisor: Prof. Dr. Aysegul KÖRLÜ

2nd Supervisor: Prof. Dr. Saadet YAPAR

12.01.2018, 136 pages

In this thesis, the use of pumice stones obtained from denim washing mills in the treatment of waste water has been investigated. As in the case of raw pumice, the waste stones have high adsorption capacity for treatment of the effluent of denim washing mills. The treated waste water has the possibility to be re-used in laundry processes of denim washing mills.

The trials were carried out through a continuous adsorption system. For this aim, the waste pumice stones were placed into an adsorption column and the waste water was allowed to pass through the column in different flow rates. The treated water was mixed with fresh water in certain ratios in order to be re-used in laundry.

Specimens obtained from column adsorption were analyzed, data was discussed and adsorption efficiency and re-use ability were determined.

The result of the studies revealed that the treated water has the potential to be used as denim washing input water. Additionally, denim garments washed with the treated waste water can meet the physical requirements of denim garments. In this aspect, it can be stated that method developed in this study contributes to solid waste management and natural source management.

Keywords: Treatment of waste water, pumice stone, zeolite, denim washing, waste recycling

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum tez çalışmanın seçiminde beni yönlendiren, tezimin yazılmasında bana yol gösteren ve karşılaştığım sıkıntılı durumların aşılmasında bana liderlik eden danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Ayşegül KÖRLÜ ve Sayın Prof. Dr. Saadet YAPAR'a öncelikli teşekkürlerimi sunarım.

Tezin yürütülmesi sırasında verdiği teknik ve akademik destek nedeniyle Sayın Dr. Miray EMREOL'a özel teşekkürlerimi sunarım. Tezimin hazırlanması ve yürütülmesi sırasında verdiği desteklerden ötürü VF Ege Giyim San. ve Tic. Ltd. Şti. Fabrika Müdürü Sayın Aslı AKINTÜRK'e ve Denim Yıkama Müdürü Tuna AKTARAN'a, tez deney ekipmanlarının tedariki ve su analizleri konusunda yardımcı olan Makine Bakım Şefi Sayın Şevket AKKUŞ'a ve değerli ekibine, deneysel uygulamaların gerçekleştirilmesinde bana yardımcı olan yıkama takipçilerim Sayın Soner KOKSO ve Sayın Ali OLCAY'a, yetişmemde emeği geçen tüm hocalarıma ve şu anda çalışmakta olduğum VF Ege Giyim Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Tezim sırasında kabul ettikleri projelerden ve sağladıkları maddi desteklerden ötürü TÜBİTAK (proje no: 114M883) ve BAP'a (proje no: 13MÜH050) teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince beni her zaman gönülden destekleyen annem, babam ve kardeşime, her ne şart olursa olsun hep yanımda olan, çalışmalarımda bana yardımcı olan ve maddi manevi desteğini hiç esirgemeyen eşim Mehtap MIHÇI BAĞIRAN ve biricik kızım Burçak BAĞIRAN'a ise teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	xi
ABSTRACT	ixx
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xxii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxv
1. GİRİŞ	1
2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ VE ATIK SU ETKİSİ	3
3. DENİM ÜRÜN YIKAMA İŞLEMLERİ	5
3.1 Haşıl Sökme	6
3.2 Taşlama	7
3.3 Enzim Yıkama	8
3.4 Ağartma	9
3.5 Boyama	10
3.6 Yumuşatma	11
3.7 Durulama	11
4. ATIK SU ÖZELLİKLERİ VE ARITMA YÖNTEMLERİ	12

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.1 Atık Su	12
4.2 Atık Suyun Özellikleri	12
4.2.1 Atık suyun fiziksel özellikleri	12
4.2.2 Atık suyun kimyasal özellikleri	15
4.2.3 Atık suyun biyolojik özellikleri	19
4.3 Atık Su Arıtma Yöntemleri.....	20
4.3.1 Fiziksel arıtma.....	20
4.3.2 Kimyasal arıtma	25
4.3.3 Biyolojik arıtma	30
5. ADSORPSİYON.....	36
5.1 Fizişorpsiyon ve Kemisorpsiyon.....	38
5.2 Adsorpsiyon İzotermi	39
5.2.1 Langmuir izotermi.....	39
5.2.2 Freundlich izotermi	41
5.2.3 BET izotermi.....	42

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.2.4 Katı-gaz fizosorpsiyonu ve izoterm eğrileri	44
6. PONZA TAŞI	47
6.1 Ponzanın Tanımı ve Tarihçesi	47
6.2 Ponzanın Oluşum Evreleri	48
6.3 Ponzanın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	49
6.4 Ponzanın Sınıflandırılması	50
6.5 Ponzanın Kullanım Alanları	51
6.5.1 İnşaat sektöründe ponza kullanımı	52
6.5.2 Tekstil sektöründe ponza kullanımı	53
6.5.3 Tarım sektöründe ponza kullanımı	53
6.5.4 Kimya sektöründe ponza kullanımı	54
7. YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR	55
8. MATERYAL VE YÖNTEM	57
8.1 Materyal	57
8.1.1 Ponza taşı	57
8.1.2 Atık su	58
8.1.3 Kimyasallar	59

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
8.1.4 Ekipmanlar	60
8.1.5 Kumaş.....	61
8.2 Yöntem.....	61
8.2.1 Deneysel çalışma planı.....	64
8.2.2 Deneysel çalışmalarda uygulanan yıkama reçeteleri	66
8.2.3 Deneysel çalışmalarda uygulanan testler	67
9. BULGULAR VE TARTIŞMA	72
9.1 Atık Ponza Taşının Atık Suyun Adsorpsiyonunda Kullanılması	72
9.1.1 Atık ponza taşıyla laboratuvar ölçeğinde yapılan deneyler	72
9.1.2 Atık ponza taşıyla büyük ölçekte yapılan deneyler	86
9.1.3 Atık ponza taşının özelliklerinin belirlenmesi	112
9.1.4 Geri kazanılan atık suyun denim yıkamada kullanılması	122
10. SONUÇ	127
KAYNAKLAR DİZİNİ	131
ÖZGEÇMİŞ	134

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Bir denim ürün yıkama işletmesine ait atık su dinlendirme alanı	4
3.1 Denim ürün yıkama makinası	5
3.2 Farklı çaplardaki ponza taşları	7
4.1 Çökelme ve yüzme	25
4.2 Organik polimerlerle partiküller arası köprü oluşumu sonrası flok görünümü	29
4.3 Aktif çamur prosesinin şematik görünümü	32
4.4 Bir damlatmalı filtre kesiti	34
4.5 Basit bir döner biyodisk ünitesi	35
5.1 Farklı tipteki gözenek şekillerine sahip bir adsorbentin enine kesit görünümü	38
5.2 Düz yüzeydeki Langmuir Adsorpsiyon İzoterminin şematik gösterimi	40
5.3 BET yaklaşımına göre çok tabakalı adsorpsiyonun şematik gösterimi	43
5.4 Katı-gaz fizosorpsiyon izoterm eğrileri	45
6.1 Ponza taşının görünümü	47
8.1 Denim taşlamada kullanılan ponza taşları	58
8.2 Laboratuvar ölçekli deneysel çalışma alanı	62
8.3 Büyük ölçekli deneysel çalışma alanı	63

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.4 Deneysel çalışma planının temel aşamaları	64
8.5 Atık ponza taşının, denim yıkama atık suyunun adsorpsiyonunda kullanılırken uygulanan alt aşamalar	64
8.6 Atık ponza taşıyla laboratuvar ölçeğinde yapılan deneyler	65
8.7 Atık ponza taşıyla büyük ölçekte yapılan deneyler	65
8.8 Atık ponza taşının özelliklerinin belirlenmesi	65
8.9 Geri kazanılan atık suyun denim yıkamada kullanılması	66
9.1 Farklı tanecik boyutuna sahip ponza taşlarının adsorpsiyonla renk giderimine etkisi	73
9.2 Ponza taşı miktarının renk gidermeye etkisi	75
9.3 Farklı miktarlardaki atık ponzalarla adsorpsiyona uğramış atık suların KOİ değerleri	76
9.4 İndigo boyarmaddenin sulu çözeltisinin, atık ponza taşlarıyla adsorpsiyona uğradığı sistem	78
9.5 İndigo boyarmaddenin atık ponza ile adsorpsiyonu sonucu elde edilen C/C_0 - zaman grafiği.....	78
9.6 Adsorpsiyon öncesi ve sonrası indigo boyarmadde çözeltisinin görünümü ...	79
9.7 Arıtmanın farklı bölgelerinden seçilen atık sulara atık ponza taşıyla uygulanan adsorpsiyon sonu elde edilen numunelerin renk absorbans değerleri .	84

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
9.8 Arıtmanın farklı bölgelerinden seçilen atık sulara atık ponza taşıyla uygulanan adsorpsiyon sonu elde edilen numunelerin KOİ değerleri.....	85
9.9 Büyük ölçekte yapılan adsorpsiyon deneyi sisteminin görüntüsü.....	88
9.10 Büyük ölçekte yapılan adsorpsiyon deneyi sonrası numunelerin renk absorbans değerleri ve öncesi-sonrası arası renk değişimleri.....	89
9.11 Büyük ölçekteki deneyde adsorpsiyonla arıtma öncesi – sonrası renk absorbans değerleri arasındaki farklar	90
9.12 Büyük ölçekteki deney sırasında alınan numunelerin karşılaştırmalı görselleri	90
9.13 Büyük ölçekteki adsorpsiyon öncesi ve sonrası alınan numunelerin KOİ değerleri	91
9.14 Atık ponza taşının kimyasal arıtma çıkış suyu üzerindeki adsorpsiyonu deneyi.....	93
9.15 Imhoff hunisi ve tasarlanan biyolojik arıtma sistemindeki bakterilerin miktarı.....	94
9.16 Tasarlanan biyolojik arıtma sonrası çöken bakterilerin görüntüsü.....	94
9.17 Kimyasal arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri (Pt-Co).....	97
9.18 Kimyasal arıtma atık suyuyla yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri arası giriş-çıkış arası farkları	98
9.19 Kimyasal arıtma atık suyuyla yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen su numunelerinin karşılaştırmalı görünümüleri.....	99

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
9.20 Kimyasal arıtma atık suyuyla yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen KOİ değerleri	100
9.21 Ponza taşıyla biyolojik arıtma çıkış suyu üzerinde adsorpsiyon denemesi	103
9.22 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri	106
9.23 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri arası giriş-çıkış arası farkları	107
9.24 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen su numunelerinin karşılaştırmalı görünümleri.....	108
9.25 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen KOİ değerleri	109
9.26 Ham ponza, denim yıkamada kullanılmış atık ponza ve adsorbent olarak kullanılmış atık ponzanın SEM görüntüleri.....	113
9.27 Denim yıkamada kullanılmış atık ponza taşına ait adsorpsiyon izotermi...115	
9.28 Katı-gaz fizosorpsiyon izoterm eğrilerinden tip 1, tip 2 ve tip 4'e ait alt basamak eğrileri	116
9.29 Denim yıkamada kullanılmış ve adsorpsiyonda yer almış atık ponza taşına ait adsorpsiyon izotermi	117
9.30 Denim yıkamada kullanılmış ponza taşına ve denim yıkamada kullanılmış ve adsorpsiyonda yer almış ponza taşına uygulanan BET analizi sonucu elde edilen yüzey alanı, gözenek hacmi ve gözenek boyutları değerleri.....	118

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)ŐekilSayfa

9.31 Ham ponza, denim yıkamada kullanılmış atık ponza ve denim yıkamada kullanılmış ve adsorpsiyonda yer almış atık ponzalara uygulanan XRD analizi sonuçları.....	121
--	-----



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.1 Ponzanın genel kimyasal bileşimi.....	49
6.2 Asidik ve bazik ponzanın kimyasal bileşimlerinin karşılaştırılması.....	51
8.1 Adsorpsiyonla etkin arıtılmış suyla ve işletme giriş suyuyla yapılan yıkama reçeteleri.....	66
9.1 Ponza taşı miktarının renk gidermeye etkisi.....	74
9.2 Adsorpsiyona uğramış atık suların KOİ değerleri ve KOİ giderilme yüzdeleri.....	76
9.3 Denim yıkama işlemlerinde en çok kullanılan kimyasalların atık suda yer alan ortalama miktarları.....	80
9.4 Denim yıkama atık suyunda en çok yer alan kimyasalların çözeltilerine ait adsorpsiyon öncesi ve sonrası KOİ değerleri.....	81
9.5 Arıtmanın farklı bölgelerinden seçilen atık sulara atık ponza taşıyla uygulanan adsorpsiyon sonu elde edilen numunelerin renk absorbans değerleri ..	84
9.6 Arıtmanın farklı bölgelerinden seçilen atık sulara atık ponza taşıyla uygulanan adsorpsiyon sonu elde edilen numunelerin KOİ değerleri.....	85
9.7 Büyük ölçekte yapılan adsorpsiyon deneyi sonrası numunelerin renk absorbans değerleri ve öncesi-sonrası renk değişimleri.....	88
9.8 Büyük ölçekteki adsorpsiyon öncesi ve sonrası alınan numunelerin KOİ değerleri ve değişim yüzdeleri.....	91
9.9 Kimyasal arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri ve giriş-çıkış arası farkları.....	95

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
9.10 Kimyasal arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri ve giriş-çıkış arası farkları (Devam).....	96
9.11 Kimyasal arıtma atık suyuyla yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen KOİ değerleri ve farkları)	100
9.12 Kimyasal arıtma atık suyuyla yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen su numunelerinin detaylı analizi	101
9.13 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri ve giriş-çıkış arası farkları	104
9.14 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri ve giriş-çıkış arası farkları (Devam).....	105
9.15 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen KOİ değerleri ve farkları	109
9.16 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen su numunelerinin detaylı analizi	111
9.17 Denim yıkamada kullanılmış atık ponza ve denim yıkamada kullanılmış ve adsorpsiyonda yer almış atık ponzalara uygulanan EDX analizi sonuçları.....	120
9.18 Kimyasal arıtma çıkışı adsorpsiyon uygulanmış atık su ve temiz su ile yıkanmış denim pantolonlara ait CIELab ölçüm değerleri.....	123
9.19 Kimyasal arıtma çıkışı adsorpsiyon uygulanmış atık su ve temiz su ile yıkanmış denim pantolonlara uygulanan fiziksel testlere ait değerler.....	124
9.20 Biyolojik arıtma çıkışı adsorpsiyon uygulanmış atık su ve temiz su ile yıkanmış denim pantolonlara ait CIELab ölçüm değerleri.....	125

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)ÇizelgeSayfa

9.21 Biyolojik arıtma çıkışı adsorpsiyon uygulanmış atık su ve temiz su ile yıkanmış denim pantolonlara uygulanan fiziksel testlere ait değerler126

10.1 T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın denim yıkama atık suları için belirlemiş olduğu sınır değerleri, denim yıkama fabrikasının geri kazanım için belirlemiş olduğu sınır değerler ve adsorpsiyon uygulanmış atık suya ait değerler128



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
μm	mikrometre
Å	Angstrom
Al	Alüminyum
C	Konsantrasyon
Ca	Kalsiyum
cm	Santimetre
cm^3	Santimetreküp
d	Çap
dk	Dakika
Ds	Katı difüzyon yeteneği
Fe	Demir
gr	Gram
K	Potasyum
kf	Dış katı kütle transferi katsayısı
kg	Kilogram
lt	Litre
mm	Milimetre

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
m^2	Metrekare
mg	Miligram
Mg	Magnezyum
N	Azot
Na	Sodyum
nm	Nanometre
P	Fosfor
p/p^0	Relatif basınç
$Pt-Co$	Platin -Kobalt cinsinden renk değeri
S	Kükürt
Si	Silisyum
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ABS	Alkilbensülfonat
AKM	Askıda katı madde
AOX	Adsorplanabilir organik halojenler
ATP	Adenozintrifosfat
BET	Brunauer-Emmett-Teller adsorpsiyon izotermi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
CDBA	Setildimetilbenzilamonyumklorür
CIELab	Uluslararası aydınlatma komisyonu renk uzayı
CMC	Karboksimetilselüloz
EDX	Enerji-yoğun X ışını analizi
IUPAC	Uluslararası temel ve uygulamalı kimya birimi
KOI	Kimyasal oksijen ihtiyacı
pH	Hidrojen iyonu konsantrasyonu
RTD	Ready-to-dye (boyamaya hazır)
PVA	Polivinilalkol
SEM	Taramalı elektron mikroskobu analizi
TOK	Toplam organik karbon
XRD	Işın kırınımı analizi



1. GİRİŞ

Günümüzde, gelişen ve büyüyen sanayi ile birlikte ortaya çıkan atıklar ve çevre yükü, son yıllarda tüm dünyada önemli sorunlar yaratmaya başlamıştır. Ülkemizin lokomotif sanayi sektörlerinin başında yer alan tekstil endüstrisi de, yapısı gereği atık ve çevre yükünü artırmaktadır. Tekstil endüstrisinde sulu işlemlerin yer aldığı terbiye işletmeleri, özellikle atık su yükü açısından çevreye zarar vermektedir. Çevreye verilen atık suyun mutlaka Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın belirlediği sınır değerler içinde yer alması gerekmekte, mümkünse suyun geri kazanılması beklenmektedir.

Zamanla artan atık su yükünün, belirlenmiş değerlere indirgenebilmesi için, işletmelerin etkin atık su arıtma tesislerine sahip olmaları gerekmektedir. Buna karşın, sürekli değişen moda talepleri ve bunları karşılamak için kullanılan yeni tip kimyasallar ve boyarmaddeler, işletmelerin kimi zaman atık sularının etkin arıtılmasını engellemektedir. Bu durumda, nanofiltrasyon gibi ileri arıtma tekniklerinin göz önüne alınması gerekmektedir.

İşletmeler için çok çeşitli ileri atık su arıtma teknikleri mevcutken, fayda-maliyet faktörü göz önünde alındığında, ucuz ancak etkili atık su arıtma yöntemlerinin seçimi en doğrusu olacaktır. Günümüzde adsorpsiyon yöntemiyle atık su arıtma işlemi bu bağlamda değerlendirilmektedir.

Atık su arıtma işlemlerinde adsorpsiyon yönteminin kullanımı artık sıkça rastlanmaya başlanan bir arıtma yöntemi olmuştur. Adsorpsiyon yöntemine göre arıtma, genellikle atık su arıtma işlemlerinin en son basamağında uygulanır ve sektörde bu işleme "cilalama" denilmektedir. Piyasada adsorbent olarak yaygın kullanılan madde "aktif karbondur". Ultra gözenekli yapısı ve uzun ömrü sebebiyle sektörde sıkça tercih edilmesine karşın, diğer adsorbentlere göre daha pahalı olması sebebiyle, piyasalardaki finansal durgunluğun da etkisiyle, son yıllarda daha az rağbet görmektedir. Yerine, benzer faydayı sağlayabilecek ama daha ucuz olan doğal ve gözenekli taşlar kullanılabilir. Örneğin, bir denim ürün yıkama işletmesinin atık su arıtma tesisinin son kısmına kurulacak "adsorpsiyonla arıtma" tesisinde, ucuz ve etkili bir doğal adsorbent olan ponza taşının kullanılması, atık suyun daha etkin arıtılması ve bu sayede atık suyun geri kazanılması için uygun olacaktır. Bu noktada, denim yıkamada kullanılmış ve atık haline dönüşmüş ponzalar da kullanılabilir.

Denim ürün taşlama işleminde kullanılan ponza taşları, işlem sonrası atık haline dönüşür ve birtakım arıtma işlemlerinden geçtikten sonra çevreye atık çamur içinde deşarj edilir. Etkin arıtma fikrinden yola çıkarak, denim yıkama işletmelerinde kullanılmış atık ponza taşlarının, adsorpsiyon yöntemine göre denim yıkama işletmesi atık suyunun arıtılmasında kullanılması, kaynak kullanımı ve katı atık değerlendirilmesi açısından ilginç bir fikir olarak karşımıza çıkmaktadır.



2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ VE ATIK SU ETKİSİ

Dünya nüfusunun artışına bağlı olarak artan yaşamsal ihtiyaçlar, beraberinde endüstriyel gelişmeleri de getirmiştir. İnsanoğlunun yaşam standartlarını yükseltmek amacıyla gerçekleştirilen endüstriyel faaliyetler neticesinde, çevre sağlığına önemli ölçüde zarar veren kirlilikler oluşmaktadır. Bu kirliliklerin önemli bir kısmını zehirli ağır metaller ve boyar maddeler oluşturur (Başbuğ, 2008).

Boyar maddelerin, çeşitli endüstrilerde kullanım alanlarının artması, oluşan atık suların renk yükünün artmasına neden olur. Bu atık suların arıtılmadan deşarj edilmesi, alıcı su ortamının estetik görünümünü bozar ve sucul yaşamda tahribata neden olur. Alıcı su ortamlarıyla insan bünyesine ulaşabilen bu atık suların insanlar üstünde de kanserojenik ve toksik etkileri vardır. Tekstil endüstrisi atık suyunun hacminin yüksek olduğu ve kullanılan kimyasal maddelere ve boyarmaddelere bağlı olarak karmaşık bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir (Başbuğ, 2008).

Tekstil endüstrisi, geniş yelpazede işlemlerin yer aldığı ve yoğun su kullanımının söz konusu olduğu bir sektördür. Tekstil üretimindeki boyama prosesleri, reçetelerinde yüksek konsantrasyonlarda yer alan organik/sentetik boyarmaddeler, yardımcı kimyasallar ve tuzlar sebebiyle çevre için önemli risk taşımaktadır (Unlu et al., 2008). Tekstil endüstrisinde, sürekli iyileştirme amacıyla ürünlerin çeşitli kimyasallara, deterjanlara, ışığa ve ısıya dayanıklı olarak üretilmesi, kullanılan kimyasalların ve boyarmaddelerin de biyolojik olarak parçalanmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca boyarmaddelerin küçük miktarlarının bile, oldukça büyük su kütlelerini boyayabildiği düşünüldüğünde, doğanın, renk yükü çok ve biyolojik olarak parçalanması güç olan bu atık suları, kendi doğal süreçleriyle temizlemesinin oldukça güç olacağı ya da uzun süreler alacağı anlaşılabilmektedir. Bu doğal süreç esnasında, alıcı su ortamında ve ulaştığı ortamlardaki canlılarda toksik, kanserojenik ve mutajenik etkiler görülecek, bununla birlikte alıcı ortamdaki doğal görünüm yok olacaktır (Başbuğ, 2008).

Renkli atık suların doğrudan alıcı ortalama deşarj edilmesinin kontrolsüz anaerobik şartlarda toksik-karsinojenik aromatik aminlerin oluşması gibi birincil çevresel etkisinin yanında görünüm açısından çevreye zarar vermesi gibi ikincil bir etkisi de vardır. Alıcı sulara verilen renkli atık sular, su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltır ve fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler. Ayrıca

boyarmaddelerin bazı sucul organizmalarda birikmesi toksik ve kanserojenik ürünlerin meydana gelme riskini de beraberinde getirmektedir. Bu atık suların düşük konsantrasyonlarda olsa bile var olması, oldukça görünürdür ve arzu edilmez (bkz. Şekil 2.1). Renkli atık suların alıcı ortama verilmesi, ulaştığı insan bünyesinde böbrek fonksiyonlarında, üreme sisteminde, karaciğer, beyin ve merkezi sinir sistemlerinde tahribatlar yapabilir (Başbuğ, 2008).



Şekil 2.1 Bir denim ürün yıkama işletmesine ait atık su dinlendirme alanı

Tekstil atık sularının karakterizasyonuna bakıldığında, ortak özellikleri; yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (yüksek KOI), yüksek biyolojik oksijen ihtiyacı (yüksek BOI), yüksek sıcaklık, yüksek pH, askıda katı maddeler ve çeşitli boyaların neden olduğu renktir. Tekstil atık sularındaki önemli kirleticiler, temel olarak organik maddeler, zehirli maddeler, inhibitör bileşikler, yüzey aktif maddeler, klorlu bileşikler (AOX), pH ve tuzların yanı sıra boyarmaddelerdir (Başbuğ, 2008).

Boyama ve yıkama prosesleri, tekstil endüstrisinin yarattığı su tüketiminin en büyük bölümünü oluşturmaktadır. Bu atık suların etkin şekilde temizlenip boyama ve denim ürün yıkama işlemlerinde tekrar kullanımı çevreye verilen zararı azaltma bakımından çok önemlidir (Unlu et al., 2008).

Son yıllarda gittikçe önem kazanan denim ürün yıkama prosesleri de benzer etkiye sahip olup, kullanılan yüksek miktardaki su nedeniyle hem kaynak kullanımı hem de israf bakımından çevre için olumsuz etki yaratmaktadır. Belirtilen sebeplerden ötürü, tekstil işletmelerinin atık sularının etkin arıtılması ve geri kazanımı hem çevre hem de insan sağlığı bakımından çok önemlidir.

3. DENİM ÜRÜN YIKAMA İŞLEMLERİ

Tekstil terbiye işlemleri sadece iplik ya da kumaş formundaki materyallere değil, dikilmiş parça halindeki materyallere de uygulanabilen işlemlerdir. Günümüzde özellikle denim ürünlerin parça halinde yıkanması işlemleri çok yaygındır. Konfeksiyonu yapılmış denim ürünlerin parça halinde çeşitli yıkama işlemlerine tabi tutularak daha albenili hale gelmesi ve müşterilerin zevklerine hitap etmesi 1950’li yıllardan beri sürmektedir. Bu süreçte, denim ürünlerinin albenisini artıracak çok çeşitli yıkama prosesleri ortaya çıkmış ve çıkmaktadır. Bu proseslerin başlıcaları, ponza taşıyla taşlama, çeşitli indirgen veya yükseltgen maddelerle tümüyle ya da bölgesel ağartma, farklı tip enzimlerle yıkama ve çeşitli boyarmadde gamlarıyla boyamadır (Bağırın, 2011).



Şekil 3.1 Denim ürün yıkama makinası

Denim yıkama işlemleri bir terim olarak sadece yaş işlemleri belirtmez. Denim yıkama denildiğinde, ürünlere hem kuru halde (dikim sonrası yaş işleme girmeden) hem de yaş halde uygulanan bazı aşındırma yöntemleri belirtilmektedir. Kuru halde uygulanan işlemler genelde mekanik yollarla uygulanan çeşitli aşındırma yöntemleri iken, yaş halde uygulanan yöntemler, bazı özel kimyasallar kullanılarak uygulanan ve denim ürünlere farklı efektler kazandıran işlemlerdir (Bağırın, 2011).

Atık sudaki kirliliği kuru işlemler etkilemezken, yaş işlemler, atık su kirliliğinin baş nedenleridir.

Denim ürün yıkamada temel yaş işlemler şunlardır:

- Haşıl Sökme
- Taşlama
- Enzim Yıkama
- Ağartma
- Boyama
- Yumuşatma
- Durulama

3.1 Haşıl Sökme

Denim kumaş üretimi sırasında, dokuma tezgahında yer alan ipliklerin kopmaması için, üzerlerine “haşıl” denen sertleştirici madde eklenir (Bağiran, 2011). Haşıl maddeleri, ipliğin üzerinde kaygan bir film tabakası oluşturarak hem sürtünmeyi azaltırlar hem de mukavemeti yükseltirler. Fakat bu film tabakası, yıkama sırasında ürünler için problem oluşturabilir (Dystar, 2011). Denim kumaş üretimi sırasında dokumanın maksimum verimle çalışması için kumaşa aktarılan haşıl maddesinin denim üründen uzaklaştırılması, denim yıkama adımlarının genellikle ilk işlem adımıdır (Bağiran, 2011).

Denim kumaşlarda en çok nişasta ya da suda çözünebilen haşıl maddeleri kullanılmaktadır. Nişasta haşılı için birçok farklı haşıl söküm tekniği mevcutken, çevresel faktörlerin de göz önünde bulundurulması nedeniyle enzimatik haşıl sökme en çok kullanılan haşıl sökme tekniğidir. Suda çözülebilen haşıl maddelerinden polivinilalkol (PVA) ve karboksimetilselüloz (CMC) en çok tercih edilenleridir. Bu ürünlerin suda çözünürlükleri yüksek olduğundan suyla ilk buluşmalarında kolaylıkla çözünüp haşıl sökme banyosuna geçmektedirler. Suda çözülebilen haşıl maddelerinin sökümünde en önemli parametre pH kontrolüdür. Eğer tüm proses boyunca pH doğru ayarlanamaz ve kontrol edilemezse banyoda çökeltiler yaşanabilir (Çoban, 1999).

Haşıl sökme işleminde ıslatıcı, dispergatör, kırık önleyici, haşıl sökücü maddeler ve diğer bazı kimyasallar kullanılır. İşlem sıcaklığı haşıl sökücü kimyasala bağlı olup genellikle 50-70°C civarlarında uygulanır. İşlem süresi 15 dakika civarlarında olup banyo pH'ı yine haşıl sökücü kimyasala bağlı olarak değişmektedir (VF Ege, 2008).

Haşıl sökme işlemi, hem kumaştaki haşıl maddesinden hem de haşıl sökümü için gerekli kimyasalların kullanımdan kaynaklı olarak, atık suda fazla atık yüküne sebep olan proseslerin başında gelmektedir.

3.2 Taşlama

Denim ürünlerin, endüstriyel yıkama makinelerinde, kısa flotte oranlarında, ponza taşları ile beraber yıkanması ve bu sayede giyilmiş/eskimiş görünüm kazandırılması işlemine “taşlama” denilmektedir. Taşlama işleminde amaç, denim ürünlere, “uzun süre giyilmiş ve birçok kez yıkanmış” bir görünüm kazandırmaktır. Taşlanmış denim ürünlerin panellerinde hemen göze çarpan boyuna yıkama efektleri yer almaktadır. Taşlama ile beraber denim ürünlerin tutumları da daha yumuşak hale gelmektedir. Denim ürünlerin renkleri işlem süresi ile beraber değişirken, süre arttıkça renk de açılmaktadır (Dystar, 2008).

Taşlama işleminde kullanılan ponza taşları volkanik taşlardır. Ponza taşları karakteristik olarak sivri uçlu ve süngerimsi yapıdadır. Bu yapı sayesinde, denim ürünlerin yüzeyindeki sürtme haslığı düşük indigo boyarmaddesi mekaniksel olarak ponza taşlarının etkisiyle yüzeyden uzaklaşmakta ve uzaklaştığı yerde sadece lifin kendi beyazlığının kalması sayesinde denim ürünlere yıkama-aşındırma efekti vermesini sağlamaktadır (Bağiran, 2011).



Şekil 3.2 Farklı çaplardaki ponza taşları

Taşlama işlemi, daha iyi yzey efekti alabilmek için genellikle denim rronler kuru haldeyken yapılır. Bu nedenle, hem kumaş yzeyinde yer alan ve taşlamayla aşınıp kopan zayıf lifler hem de ponza taşından gelen aşınmış toz parçaları atık suyun çamur yrkunrnu oluşturur.

3.3 Enzim Yıkama

Gelişen biyoteknoloji sayesinde gnrnmrde birçok farklı enzim, çok çeşitli alanlarda gvrnli olarak kullanım alanı bulmaktadır. Bu enzimlerin bir kısmı denim yıkamalarda da kullanılabilir. Denim yıkamalarda en çok kullanılan enzimler amilaz, selrlez ve lakkazdır.

Amilaz enzimi, denim yıkama işlemlerinden haşıl srkmede kullanılır. Amilazın substratı nişasta olduğu için, sadece denim kumaşın nişasta ile haşıllandığı durumlarda çalışmaktadır (Bağıran, 2011).

Selrlez enzimleri, kumaş yzeyini drrgrrleştirmek (trylenmeyi gidermek) veya denim kumaşlara taşlanmış efekti kazandırabilmek amacıyla kullanılan enzim tipleridir. Selrlez enzimleri tek bir enzim olmayıp polimerik selrlez molekrnde işlev goren bir enzim grubudur (Sefer, 2009). Piyasada iki tr selrlez enzimi vardır. Bunlar nrtral selrlez ve asidik selrlezdir.

Nrtral selrlezler indigo boyarmaddeye etki etmemekte, sadece selrlez makromolekrnrnu oluşturan krpru bağlarını parçalayıp, rzerine indigo boyarmaddesi bağlı olan selrlez liflerini kumaş rzerinden uzaklaştırmaktadır (Bağıran, 2011).

Asidik selrlezler denim yıkama işlemlerinde yzey drrgrrleştirme, trylenmeyi giderme ve az da olsa nrtral selrlezlerle yapılan yzey efekti kazandırma-taşlama işlemlerinde kullanılırlar. Asidik selrlezle yapılan yıkama işlemine literatrde “biyoparlatma” denmektedir. Asidik selrlezler nrtral selrlezlara gvre daha agresif etki yaratırlar (Bağıran, 2011).

Lakkaz enzimi, yapısında bakır içeren ve çeşitli maddelerin oksidasyonunu katalizleyen bir enzimdir. Lakkaz enzimi, mono ve poli-fenolik maddeler ve aromatik aminlerden bir elektron çıkarılması ile hidroksil gruplarından hidrojen atomunun uzaklaştırılması reaksiyonunu katalizlemekte ve bu reaksiyon sonucunda serbest radikaller oluşmaktadır (Campos et al., 2000). Denim

yıkamalarda kullanılan diğer enzimlerden farklı olarak, lakkaz enzimi indigo boyarmaddeleri ile etkileşime girmektedir. Bu nedenle lakkaz kullanılarak denim ürünlerde renk açma ya da geri boyamanın temizlenmesi işlemleri yapılabilmektedir (Bağıran, 2011).

Enzim yıkama, diğer yıkama çeşitlerinde olduğu gibi denim kumaşı aşındırma esasına dayanır. Tüyleneşmeyi giderici etki yapan enzimler, arıtmada çamur oluşumunu artırırken, haşıl ve indigo boya sökümünü sağlayan enzimler, atık suyun kirlilik derecesini artırmaktadır.

3.4 Ağartma

Ağartma işlemi, denim kumaşlarda en çok indigo, kükürt ve az da olsa küp boyarmaddelerle yapılmış boyamaların tonlarını açmak için uygulanan bir yıkama işlemidir.

Ağartma işleminde, kumaşa tutunan boyarmaddeleri parçalamak ya da onları suda çözünür hale dönüştürerek kumaştan uzaklaştırmak, böylece denim kumaşın renk tonunu istenilen seviyeye kadar açmak, temel prensiptir. Buna göre ağartma aşağıda açıklanan iki farklı mekanizma ile yapılmaktadır (Sefer, 2009).

İndirgen (redüktif) ağartma yönteminde, denim kumaşta yer alan indigo boyarmaddeleri, indirgen ağartıcılar yardımıyla suda çözünür hale getirilir ve ardından ortamdaki banyoya geçerek denim kumaştan uzaklaştırılır. Bu yöntemde göre ağartma işlemi genelde yavaş ilerlemektedir. İndirgen ağartıcılara örnek olarak glikoz verilebilir.

Yükseltgen (oksidatif) ağartma yöntemi en çok tercih edilen ağartma yöntemidir. Kullanılan ağartıcı kimyasallar indigo boyarmaddelerin çift bağlarına etki ederek boyarmaddeyi parçalar ve renk verme özelliğini kaybetmesine neden olurlar. Hızlı çalışan bir ağartma yöntemidir. Ağartmaya etki eden parametreler kontrol altında tutulmazsa ürünler istenmeyen derecelere kadar ağartılıp zarar görebilir.

Ağartmada kullanılan konvansiyonel ağartıcı kimyasallar sodyum hipoklorit, potasyum persülfat, potasyum permanganat, hidrojen peroksit, sodyum perborat, sodyum perkarbonat ve benzoil peroksittir. Alternatif ağartıcı

yöntemlerin başında ise glikozla ağartma, lakkaz enzimi ile ağartma ve ozonla ağartma gelmektedir (Bağiran, 2011).

Hem indirgen hem de yükseltgen ağartma tiplerinde denim kumaşa zarar verme söz konusu olduğu için ağartma, enzim yıkamaya paralel şekilde, hem atık su yükünü artırıcı hem de çamur oluşumunu hızlandırıcı etki yapmaktadır. Ağartıcı kimyasallar atık suda özellikle AOX oluşumunun baş nedenleridir (Bağiran, 2011).

3.5 Boyama

İstenen farklı renklerin denim ürünlere uygulanması son yılların modalarından birisi olmuştur. Denim ürünlerde boyama işlemi iki farklı şekilde yapılmaktadır:

- Nüans boyama (Tint)
- Komple boyama (Overdye)

Nüans boyama (tint) işleminde direk boyarmaddeler kullanılırken, komple boyama (overdye) işleminde en çok reaktif boyarmaddeler kullanılır. Bunun yanında bazı renklerde küp boyarmaddeleri de kullanılmaktadır.

Nüans boyama (tint) işlemi denim ürünlerin boyanmasında en çok tercih edilen yöntemdir. Nüans boyama, denim kumaşlı ürünlere yapılırken, komple boyama, atkısı indigoya boyanmamış olan beyaz kumaşlı ürünlere (RTD-Ready-to-Dye) uygulanır. Yüzeysel boyama, denim ürünlerde, indigo ya da kükürt boyarmadde ile boyanmamış olan atkı ipliği üzerinden yürür. Direk boyarmaddeler, zayıf hidrojen ve Van Der Waals bağlarıyla denim ürünlere bağlanır. Çapraz bağlar kurmazlar. Beyaz renkteki atkı ipliği, boyama banyosunda boyanarak son üründe daha kirli ve boyanmış bir görünüm elde edilmektedir.

Komple boyama yönteminde (overdye) denim ürünler reaktif boyarmaddeler ile komple boyanırlar. Boyanacak denim ürünlerin zemini beyazdır. Bazı durumlarda indigo ya da kükürt boyalı denim ürünlere de overdye prosesi uygulanabilmektedir. Reaktif boyarmadde, selülozik liflerle kovalent bağ oluşturduğu için ürünlerin yıkama haslıkları yüksektir (Bağiran, 2011).

Her iki boyama yönteminde ortak olarak kullanılan tuz, direk/reaktif boyarmadde, alkali ve fiksator gibi kimyasallar, atık su yükünü ciddi derecede artıran kimyasallardır.

3.6 Yumuşatma

Denim ürünlerin tüm yıkama işlemleri bittikten sonra son adımda, onlara güzel bir tutum ve canlı bir görünüm vermek amacıyla uygulanan yıkama işlemidir.

Yumuşaklık hissi tamamen subjektif bir kavramdır. Her birey, bir ürünün yumuşaklığı için ayrı sonuçlar verebilmektedir. Bu kavramı %25 oranında yumuşatıcılar belirlerken %75 oranında kumaş belirlemektedir. Denim ürünlerin yumuşatılmasında içerik olarak yağlı asitler, kuarternar yağlı asitler silikonlar ve polietilenler kullanılabilir. İyonite durumlarına göre ise katyonik, anyonik ve noniyonik yumuşatıcılar kullanılır (Dystar, 2008).

Katyonik yumuşatıcılar denim ürünlerin yumuşatılmasında en çok tercih edilen yumuşatıcılardır. Buna karşın son yıllarda silikon yumuşatıcılar da en çok kullanılan yumuşatıcılar arasında yerini almıştır (Dystar, 2008).

Yumuşatma işlemlerinde kullanılan silikon emülsionları, yağlı asitler ve polietilenler, atık suyun kirlilik oranının artmasında önemli etkiye sahip olmaktadır.

3.7 Durulama

Bu yıkama çeşidinde denim ürünler, soğuk ya da ılık suda (25-50°C arası), kısa ya da orta süreli (2-15 dakika) olarak yıkanır. Yıkama sırasında banyoya dispergator, ıslatıcı, kırık önleyici ya da yumuşatıcı gibi maddeler verilebilir. Genellikle kuru (yıkanmamış görünüm) ve parlak görünümün istendiği yıkanmış denim ürünler için uygulanan yıkama işlemidir (Bağırın, 2011).

Bu yıkama işlemlerinde kullanılan kimyasalların yağsı yapısı ve büyük moleküllü olmaları nedeniyle atık su yükünde artışa neden olmaktadır.

4. ATIK SU ÖZELLİKLERİ VE ARITMA YÖNTEMLERİ

4.1 Atık Su

Atık sular, temiz bir içme suyuna nazaran genel olarak son derece pis ve tehlikeli olarak nitelendirilmektedir. Atık sular renkli, görünüşü pis ve içinde bir miktar çözünebilen ve çözünemeyen maddeler bulunmasına rağmen %99'dan fazla bir kısmı yine de sudan ibarettir. Atık suların mutlaka alıcı ortam olarak sulara ya da arazilere verilmesi gerekir. Buradaki sorun, atık sudaki kirleticilerin çevreye zarar vermeden nasıl uzaklaştırılacağıdır (Eltem, 2008).

4.2 Atık Suyun Özellikleri

Atık su, fiziksel, kimyasal ve biyolojik kompozisyonuyla tanımlanmaktadır. Verilen parametrelerin çoğu birbiriyle ilgilidir. Örneğin, bir fiziksel özellik olan sıcaklık, atık sudaki hem biyolojik aktiviteyi hem de atık sudaki çözülmüş gazların miktarını etkilemektedir.

4.2.1 Atık suyun fiziksel özellikleri

Atık suyun en önemli fiziksel özelliği, yüzen madde, çökebilir madde, kolloidal madde ve solüsyondaki maddeden oluşan toplam katı madde içeriğidir.

4.2.1.1 Toplam katı madde

Atık suda yer alan katı maddeler, su içerisindeki berraklığı ve çözülmüş oksijenin dağılmasını olumsuz etkilemektedir (Özkaya, 2017).

Analitik olarak, bir atık suyun **katı madde içeriği**, 103-105°C'ye kadar gerçekleşen buharlaşma sonucu **artık olarak kalan maddelerin tamamıdır**. Buharlaşmadan sonra kalan artık veya toplam katı madde, bilinen bir hacimdeki sıvının bir filtre içinden geçirilmesiyle **filtre edilebilir** veya **filtre edilemeyen (asılı katı madde)** olarak da sınıflandırılır.

Filtre edilebilir katı maddeler, kolloidal ve çözülmüş katı maddelerden oluşur. Kolloidal katı maddeler, yaklaşık büyüklüğü 0,001-1µm arasında olan partikül halindeki maddelerdir. Çözülmüş katı maddeler hem organik hem de inorganik moleküller ve sudaki iyonlardan oluşmaktadır.

Filtre edilemeyen (asıllı) katı maddeler ise **çökelebilen katı madde** ve **çökelemeyen katı madde** olarak ikiye ayrılır.

60 dakikalık bir periyotta, koni şeklindeki bir cam kabın dibine kendi kendine çökelebilen katı maddelere ise **çökebilen katı madde** denir (Eltem, 2008).

Arıtma tesislerinde katıların çökmesi su canlılarını etkiler. Organik katı içeren çamur örtüleri, bozunma sürecinde, “oksijen kullanımı” ve “kötü kokulu gaz çıkışına” neden olur ve arıtma verimini azaltır (Eckenfelder, 1989).

Çökebilen partiküller suda yaşayan bitki yaprakları üzerinde ve su kaynağının tabanında birikerek çamur tabakalarını oluşturmaktadır. Biriken çamur tabakası içerisinde bulunan organik maddeler zamanla ayrışarak kötü kokular ortaya çıkmaktadır. Suda çökmeyen, yani yüzen partiküller ise su üzerinde köpük tabakalarını oluşturmaktadır. Bu tabaka ışık geçirgenliğini ve çözülmüş oksijenin dağılımını da olumsuz yönde etkilemektedir (Özkaya, 2017).

4.2.1.2 Koku

Atık sulardaki kokular, genellikle organik maddelerin parçalanmasıyla oluşan gazlar ya da atık suya ilave edilen maddelerden kaynaklanmaktadır (Eltem, 2008). Bunun yanında, çözülmüş fenol ve klorofenoller gibi kirletici organik maddelerden de kaynaklanır. Subjektif yönü nedeni ile ölçülmesi güçtür (Yerli, 2011). Taze atık su kokusu, anaerobik parçalanma geçirmekte olan atık suyun kokusundan daha iyidir. Bayat atık suyun en karakteristik kokusu, sülfatı sülfite indirgeyen anaerobik mikroorganizmalar tarafından üretilen hidrojen sülfür kokusudur (Eltem, 2008).

4.2.1.3 Sıcaklık

Suyun sıcaklığı, kimyasal reaksiyonların hızı, gazların çözünürlüğünün azalması, koku ve tatta istenmeyen değişimler ve en önemlisi sucul canlıların yaşamı açısından çok önemlidir (Yerli, 2011). Çevreye deşarj edilen arıtılmış suyun sıcaklığı, endüstriyel aktivitelerden ileri gelen sıcak atık su ilavesi sebebiyle kullanım suyundan daha yüksektir.

Atık suda yer alan ve aerobik reaksiyonların yürümesini sağlayan oksijen, soğuk sulara nazaran ılık sularda daha az çözüdür. Yüzey sularında bulunan oksijen miktarındaki azalmayla bağlantılı olarak sıcaklıktaki artışa bağlı biyokimyasal reaksiyonların hızındaki artış, yaz aylarında çözümlü oksijen konsantrasyonlarında sık sık ciddi tükenmelere sebep olabilmektedir (Eltem, 2008).

Sıcaklık artışı her canlı organizmada farklı etkiler yapmaktadır. Bazı canlı türlerinin daha hızlı üremelerine sebep olabilir. Bu büyümenin de sınırlı olması gerekmektedir. Aksi halde sınırlı canlı türü suda baskın halde bulunur (Özkaya, 2017).

4.2.1.4 Yoğunluk

Yoğunluk, sedimentasyon tanklarında ve diğer arıtım birimlerinde yoğun akışların oluşumu için potansiyel olması sebebiyle atık suyun önemli bir fiziksel karakteristiğidir. Yoğunluk sıcaklığa bağlıdır ve atık sudaki toplam katı madde konsantrasyonu ile değişmektedir (Eltem, 2008).

4.2.1.5 Renk

Renk, değişik amaçlı su kullanımında zararlı olmamakla birlikte estetik problem arz ederler (Eckenfelder, 1989).

Endüstriyel atık sular içerdikleri kimyasal maddeler nedeniyle renkli olup, bu renklerini deşarj edildikleri nehirlere taşıyarak nehrin kendi rengine bağlı bir modifikasyona uğrarlar. Bu renklere örnek olarak; kromat iyonu (sarı), indirgenmiş krom bileşikleri (yeşil), bakır (mavi), nikel (yeşil) ve demir tuzları (sarı veya kahverengi) verilebilir. Diğer renkler organik boyalardır. Bunlar, tekstil boyahaneleri, renkli kağıt üretim alanları, renkli deri vb. endüstrilerden kaynaklanmaktadır (Gönder, 2004).

Gerçekte saf su renksizdir. Büyük hacimler halinde açık yeşil-mavi rengindedir. Sudaki maddelerden kaynaklanan gerçek renk ile askıdaki katı maddelerden kaynaklanan renk arasındaki fark ayırt edilmelidir. Renk, Pt-Co birimi ile ifade edilebilmektedir (Yerli, 2011).

4.2.1.6 Bulanıklık

Suyun ışığı geçirme özelliğinin bir ölçümü olan bulanıklık, koloidal ve süspansiyon halinde bulunan katı maddeye göre doğal sular ve atık su deşarjlarının kalitesini göstermek için kullanılan bir parametredir. Koloidal madde ışığı dağıtır ya da absorbe eder. Böylece ışık geçişi engellenir (Eltem, 2008).

Bulanıklık, çamur ve kum partikülleri, endüstriyel atıklar, kanalizasyon ve yoğun halde bulunan mikroorganizmalar yoluyla olabilir. Bulanıklığa neden olan koloidal katı maddeler, suda bulanıklığın yanında başka zararlı etkilere de neden olabilir (Yerli, 2011).

Organik ve inorganik maddelerin oluşturduğu bulanıklık suyun berraklığını etkilemektedir. Bulanıklık ışığın nüfuz etme mesafesini ve dolayısıyla fotosentezi azaltır (Özkaya, 2017).

4.2.2 Atık suyun kimyasal özellikleri

Atık suyun kimyasal özellikleri için üç ayrı parametre göz önünde bulundurulmaktadır. Bunlar:

- Organik madde
- İnorganik Madde
- Gazlar

4.2.2.1 Organik maddeler

Atık su, organik olarak proteinler, karbonhidratlar, katı ve sıvı yağlar ve basit ya da oldukça kompleks yapıdaki farklı sentetik organik molekülleri içermektedir. Özellikle sentetik kompleks organik yapıdaki moleküller atık su içindeki en önemli kirleticilerdir. Orta derecede kirli olan bir atık suda, askıda katı maddelerin yaklaşık 75%'i ve filtre edilebilen katı maddelerin 40%'ı organik madde yapısındadır. Organik maddeler karbon, hidrojen ve oksijen ile bazı durumlarda bunların azotla ve fosforla birlikte kombinasyonundan oluşmaktadır (Eltem, 2008). Atık su, göl, gölet ve diğer rekreasyonel alanlara deşarj edilecekse

azot ve fosfor, ötrofikasyonu hızlandırıp istenmeyen alg büyümesine yol açar. Bu nedenle atık sudaki miktarları takip edilmelidir (Eckenfelder, 1989).

Doğal organik maddelerin yanında, sentetik organik maddeler de atık sularda yer almaktadır. Sentetik organik maddelerin en çok kullanılan tipleri, “yüzey aktif” maddelerdir. Su ile karıştığında yüzey gerilimini azaltan, yani çözündükleri ortamın serbest enerjilerini azaltabilen maddelere ise “yüzey aktif madde” denir. Bu maddeler çoğunlukla sıvı-gaz ara yüzeyinde toplanır (Eltem, 2008). Yüzey aktif maddelerden kaynaklanan ABS (alkil benzen sulfonat), biyolojik olarak ayrışmaz ve köpüğe neden olur (Eckenfelder, 1989). Atık suyun havalandırılması sırasında, bu maddeler, hava kabarcıklarının yüzeyine yerleşerek kararlı bir ara yüzey filmi, dolayısıyla kararlı bir köpük yaratırlar (Eltem, 2008).

Organik maddeler, çözünmüş oksijenin azalmasına neden olurlar. Tüm alıcı sularda minimum çözünmüş oksijen seviyesini sağlamak üzere alıcı ortamdaki çözünmüş organiklerin miktarları sınırlandırılmıştır (Eckenfelder, 1989).

Atık sular organik maddeler içerdiğinden, bunların sudaki konsantrasyonları, kirlilik derecesinin ölçüsü olarak kabul edilir. Fakat atık suların bileşimleri çok değişiktir ve içindeki maddeleri bir formülle ifade etmek mümkün değildir. Ayrıca bu maddeler tasfiye tesisinde bozunmaya uğradıklarından, bu etkinin de dikkate alınması gerekir (Öztürk vd., 2017). Bu bağlamda iki temel organik madde ölçüm metodu belirlenmiştir. Bunlar:

- Biyolojik Oksijen İhtiyacı
- Kimyasal Oksijen İhtiyacı

Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), atık suların organik kirlilik miktarının belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemdir (Eltem, 2008). Organik maddenin ölçüsü olarak, biyokimyasal oksidasyon (karbonlu maddelerin oksitlenmesi) sırasında harcanan oksijen miktarı esas alınır ve bu değer de BOİ olarak adlandırılır. Biyokimyasal oksidasyon, su içinde bir yanma olayı olup, bu yanma esnasında suda çözülmüş (erimiş) oksijen kullanılır. Ne kadar fazla oksijen sarf edilirse, sudaki organik madde miktarı da o kadar fazla demektir (Öztürk vd., 2017). Oksijeni kullanıp organik maddeleri parçalayacak bakterilerin çoğalma hızlarının düşük olması nedeniyle, 5 günlük BOİ baz alınır. BOİ ölçümü, varolan organik maddeyi biyolojik olarak kararlı hale getirmek için gerekecek olan O₂

miktarını yaklaşık olarak belirlemek ve arıtma etkinliğini kontrol etmek için uygulanır (Eltem, 2008).

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), atık sudaki organik karbonun CO₂, H₂O ve NH₃'e kadar indirgenmesi için gereken oksijen miktarıdır (Eltem, 2008). KOİ, asit ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyici (potasyum dikromat gibi) vasıtasıyla ölçülür (Öztürk vd., 2017). KOİ testinin yüksek sıcaklıkta ve katalizör varlığında (gümüş sülfat) yapılması gerekmektedir. KOİ genellikle biyolojik yaşam için toksik olan bileşikleri içeren atık suların ölçümlerinde kullanılır. 1 gr karbonhidrat veya 1 gr protein yaklaşık olarak 1 gr KOİ'ye eşittir. Bir atığın KOİ'si genellikle BOİ'den yüksektir çünkü bileşiklerin çoğu biyolojik olarak okside olmaktan çok kimyasal olarak okside olmaktadır. Ancak BOİ ile KOİ arasındaki fark çok yüksekse numunenin çok fazla miktarda biyolojik olarak parçalanamayan organik madde içerdiği düşünülmelidir (Eltem, 2008).

4.2.2.2 İnorganik maddeler

Atık suların çeşitli inorganik içerikleri, su kalitesinin ayarlanması ve kontrol edilmesinde önemli rol oynar. Atık su, inorganik olarak hidrojen iyonu, klor, bazik bileşikler, azot, fosfor, kükürt, toksik inorganik bileşikler ve ağır metaller içerebilir.

Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), atık su değerlendirme için önemli bir parametredir. Uygun olmayan bir pH'a sahip atık suyun arıtılması zordur. Suyun pH'ı, dissosiyasyon olmuş su moleküllerinin yaygınlığıyla oldukça ilişkilidir. Aktif çamur prosesi pH 6,5-8,5 aralığında etkin bir şekilde işlemekte olup bu aralığın dışında ek nötralizasyon gerekir. Arıtma sırasında, bakterilerin nitrifikasyonu sonunda asit açığa çıkmasıyla ortamın pH'ı düşer ve bu da zamanla bakterileri inhibe eder. Bu nedenle arıtma sırasında pH takibi önemlidir (Eltem, 2008).

Diğer bir önemli kalite parametresi atık sudaki klor konsantrasyonudur. Klasik arıtma yöntemleriyle klor önemli ölçüde uzaklaştırılmadığı için alıcı su ortamları belirtilenden daha fazla klorla maruz kalıp canlı yaşamı için tehdit oluşturmaktadır (Eltem, 2008).

Atık sulardaki bazik bileşikler Ca, Mg, Na, K gibi elementlerin hidroksitleri, karbonatları veya bikarbonatlarının oluşturduğu bileşiklerdir. Bunlardan kalsiyum bikarbonat ve magnezyum bikarbonat en yaygınlarıdır. Atık

sudaki bazik ortam, nitrifikasyon sonucu ortaya çıkan asit nedeniyle pH'ın düşmesini bir ölçüde engeller. Atık sulardaki alkalinite, kimyasal arıtmada, biyolojik olarak besinlerin uzaklaştırılmasında ve amonyağın uzaklaştırılmasında oldukça önemlidir. Düşük alkali sulara bakteriyel faaliyet sonucu pH düşüşüne karşı soda, kireç ya da kostik ilavesi gerekmektedir (Eltem, 2008).

Atık suda yer alan azot, bakteri ve bitkiler için bir besin maddesi görevi görmektedir. Azot, protein sentezinde gerekli bir element olup biyolojik olarak suyun arıtılmasında en önemli inorganik maddelerden birisidir. Yetersiz azot bulunması durumunda ortama azot ilavesi gerekmektedir (Eltem, 2008).

Azot tüm yaşam için önemli bir parametredir. Organik azot türleri, temel organik maddelerin (protein, amino asit) yapısında bulunur. Gerek NH_3 , gerekse NO_3 , özellikle fotosentetik mikroorganizmalar için zorunlu bir besin kaynağıdır. Su kalitesinin belirlenmesinde ve izlenmesinde bu basamaklar oldukça önemlidir (Yerli, 2011).

Fosfor da azot gibi alg ve diğer biyolojik organizmaların büyümesi için gerekli besin maddelerinden birisidir. Atık sudaki fosfor miktarı arttıkça arıtma için olumsuz sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle atık sudaki fosfor miktarının kontrol altında tutulması gerekmektedir (Eltem, 2008). Fosfor bileşiklerinden en önemlileri fosfat ve polifosfatlardır. Organik fosfor organizmanın yaşamında temel olan elementlerden biridir. Çevre sularının korunmasında ve su kalitesinin belirlenmesinde en önemli parametrelerden biridir. Evsel atıklar önemli miktarda fosfor içerirler. Bunun önemli kısmı deterjanlardan gelmektedir. Birçok endüstriyel atık su fosfat içermez. Fosfor tayininde ortofosfatlar ve kolaylıkla bunlara dönüşen polifosfatlar önem taşır (Yerli, 2011).

Kükürt, proteinlerin sentezi için gereklidir ve onların parçalanmasıyla açığa çıkar. Atık suda sülfat anyonunu oluşturur (Eltem, 2008) Sülfat, en önemli anyonlardan biridir. Doğal yollarla suya karışır. 250 mg/l üst sınırından sonra zehirleyici etkisi gösterir. MgSO_4 ve CaSO_4 çökeltileri oluşturduğu için kullanım sırasında SO_4 'ün kontrol altına alınması gerekir. Evsel atık sulara anaerobik koşullarda bakteri faaliyeti ile SO_4^{2-} 'tan H_2S oluşur. H_2S daha sonra H_2SO_4 oluşturarak korozif etkilere yol açar (Yerli, 2011).

Atık suda yer alan toksik ve inorganik bileşikler (bakır, kurşun, gümüş, krom, arsenik, bor) parçalayıcı mikroorganizmalar için toksiktir ve biyolojik

parçalanma prosesini bozarlar. Atık su arıtma tesisi tasarımında bu duruma dikkat edilmelidir (Eltem, 2008).

Bu kirleticilerin arıtma sonrası çok küçük konsantrasyonlarda bulunmaları bile alıcı su ortamları üzerinde olumsuz etkiler oluşturması yeterlidir. Örneğin, içme suyu kaynağı olarak kullanılan bir su ortamına deşarj edilen düşük konsantrasyonda bulunan fenol, su arıtımı sonunda ilave edilen klor ile reaksiyona girerek klorofenol oluşturmaktadır. Kloro-fenol içme sularında istenmeyen tat ve kokunun oluşmasına sebep olmaktadır. İnhibitör ya da toksik olabilen organik maddeler aynı zamanda biyolojik olarak bozunmaya karşıda dirençlidirler. Bu tür kirleticiler organizmalar içerisinde birikmektedir. Belirli konsantrasyona ulaşınca organizmaları zehirlenmekte ya da besin zinciri vasıtasıyla canlılara geçmektedir (Öztürk vd., 2017).

4.2.2.3 Gazlar

Atık sularda yaygın olarak azot, oksijen, karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak ve metan gazları bulunur. Bunların son üçü atık sudaki organik maddelerin parçalanması sonucu oluşur.

Atık sudaki çözünmüş oksijen gazı aerobik mikroorganizmaların solunumu kadar diğer aerobik yaşam formlarının da solunumu için gereklidir.

Hidrojen sülfid, kükürt içeren organik maddenin anaerobik parçalanması veya mineral sülfidleri ve sülfatlarının indirgenmesi ile oluşmaktadır. Hidrojen sülfid, bol oksijen varlığında oluşmaz. Atık su ve çamurun siyahlaşması genellikle hidrojen sülfid miktarının artması ve onun demirle birleşerek demirsülfat oluşturması sonucudur.

Atık sudaki organik maddenin anaerobik parçalanmasının başlıca yan ürünü metan gazıdır. Arıtılmamış atık suda fazla bulunmaz. Metanın yüksek yanıcılığı sebebiyle patlama tehlikesi yüksektir (Eltem, 2008).

4.2.3 Atık suyun biyolojik özellikleri

Atık suda kimyasal işlemlerin yanında biyolojik işlemler de çok önemlidir. Biyolojik işlemlerde ana görev bakterilere ait olup, atık sudaki istenmeyen maddelerin parçalanmasından sorumludurlar.

Atık suyun biyolojik özelliklerinin iyi bilinmesi çok önemlidir. Bu konuda;

- Biyolojik arıtmadan sorumlu olan ve atık suda yer alan başlıca mikroorganizma gruplarının,
- Atık sularda yer alan patojen organizmaların,
- Kirlilik indikatörü olarak bilinen organizmaların ve bunların önemlerinin,
- Bu indikatör organizmaların sayımında kullanılan yöntemlerin

çok iyi bilinmesi gerekmektedir (Eltem, 2008).

4.3 Atık Su Arıtma Yöntemleri

Sektörde atık su arıtma yöntemleri üç temel aşamada yapılmaktadır. Bunlar sırasıyla fiziksel arıtma, kimyasal arıtma ve biyolojik arıtmadır.

4.3.1 Fiziksel arıtma

Fiziksel kuvvetlerin doğrudan uygulanmasıyla veya fiziksel kuvvetler vasıtasıyla değişiklik oluşturmak için atık suyun arıtımında kullanılan işlemlere fiziksel arıtma denilmektedir. Günümüzde fiziksel arıtmalar, çoğu proseslerin akış şemalarının temelini oluşturmaktadır (Eltem, 2008).

Fiziksel arıtmanın birim operasyonları ve temel uygulamaları şunlardır:

- Eleme
- Kum Tutma
- Dengeleme
- Karıştırma
- Çöktürme ve Yüzdürme

4.3.1.1 Eleme

Eleme, kaba ve çökebilir katı parçaları engel oluşturma suretiyle alıkoyma işlemidir. Bu işlem genel olarak aynı boyutta açıklıklara sahip olan elekler tarafından yapılır. Elemenin amacı, atık su içinde bulunan kaba katı parçaları, engel oluşturma sayesinde uzaklaştırarak arıtma tesisindeki pompa ve diğer önemli donanımları korumak, vana boru vb. aktarma parçalarının tıkanmasını önlemektir (Eltem, 2008).

Ön arıtmada atık sudaki kağıt, paçavra, plastik, metal gibi iri katı maddeler ile kum ve yağ/gres gibi maddelerin ayrılması işlemi uygulanmaktadır. Askıda katıları gidermek için de bazen ince ızgaralar ve elekler kullanılır.

Izgaralar kaba, orta ve ince olmak üzere üç tipte ele alınır. Kaba ızgaralar, 400m³/saat'ten küçük debiler için kullanılır ve elle temizlenirler. Orta ve ince ızgaralar, daha büyük tesislerde kullanılırlar ve mekanik olarak temizlenirler. Izgaralar düzenli olarak temizlenmezse, yük kaybı artar. Izgaralarda tutulan madde miktarı, atık suyun özelliğine ve ızgara çubuk aralıklarına bağlıdır (Arceivala, 2002).

4.3.1.2 Kum tutma

Kum tutma işleminde kum olarak tanımlanan maddeler, kum, taş, cüruf gibi yoğunluğu veya çökme hızı, biyolojik arıtmada parçalanabilen organik maddelere kıyasla daha yüksek olan maddelerdir. Yumurta kabukları, kemik parçacıkları, tohumlar, kahve parçacıkları ve yemek artıkları gibi organik parçacıklar da bu kapsama girmektedir. Kum olarak giderilen maddeler çoğunlukla inert ve oldukça kurudur (Eckenfelder, 1989).

Hareketli mekanik ekipmanın aşınmasını önlemek, boru ve kanallarda birikintileri engellemek ve kum birikiminden dolayı çamur çürütücünün temizlenme periyodunu azaltmak için santrifüj, ısı değiştirici ve yüksek basınçlı diyafram pompalardan önce kum tutucuların (kum ayırıcı) kullanılması şarttır (Öztürk vd., 2017).

Kumdaki maddelerin büyük bölümü aşındırıcıdır ve ileriki arıtma ekipmanlarında mekanik aşınmaya sebep olabilir. Ayrıca kum kalıntıları, hidrolik

kuvvetin düşük olduğu boru, tank gibi bölgelerde yağları absorblayıp katılaşmaya sebep olabilir (Eltem, 2008).

Kum tutucular genellikle kaba ızgaradan sonra ilk çöktürmeden önce kullanılırlar. Kum tutucuların ızgara ve eleklerden sonra olması, toplanan kumun temizlik ve bertarafını kolaylaştırır. Üç tip kum tutucu vardır:

- Yatay akışlı, dikdörtgen veya kare planlı
- Havalandırmalı,
- Vorteks akımlı (Öztürk vd., 2017).

Yatay akışlı kum tutucularda atık su kum tutucuyu yatay doğrultuda geçer, çizgisel hız, kum tutucunun boyutu, girişte dağıtım mekanizması ve çıkışta çeşitli savaklarla kontrol edilir.

Havalandırmalı kum tutucular spiral akışlı havalandırma tankından oluşur. Spiral hız, tank boyutu ve verilen hava miktarı ile kontrol edilir.

Vorteks akımlı kum tutucular ise silindir bir tanktan oluşur. Atık su girişi teğetsel olarak giriş yaparak girdap oluşturur. Santrifüj ve yerçekimi kuvvetleri kumun çökmesine neden olur (Eckenfelder, 1989).

4.3.1.3 Dengeleme

Atık su arıtma tesislerinde atık su debileri genelde sabit değildir. Dengelemenin amacı, debi değışkenliklerinden kaynaklı ortaya çıkabilecek durumları sabitleştirerek düzenli ve kararlı bir akış sağlamaktır. Bunun için debi dengeleme havuzu kullanılır. Bu havuz, debideki değışkenlikleri gideren bir depolama tankıdır (Eltem, 2008). Dengeleme ünitesinin boyutu ve tipi, atık suyun miktarı ve değışimi ile ilgilidir. Dengeleme tankı, atık su debisindeki farklılıkları ve üretimden dolayı zaman zaman atılan veya istemeyerek dökülen bazı konsantr atık su akımlarını biriktirebilecek boyutta dizayn edilir (Eckenfelder, 1989).

Dengeleme genel olarak eleme ve kum tutma işleminden sonra yapılmalıdır. Bu şekilde yapılan bir dengeleme işleminden sonra çamur ve köpük sorunları azalır (Eltem, 2008).

Endüstriyel atık su arıtma tesislerinde dengelemenin amaçları şunlardır:

- Biyolojik sisteme şok yüklemeyi önlemek amacıyla organik yük dalgalanmalarını yumuşatmak,
- Yeterli pH kontrolü sağlamak veya nötralizasyon için gerekli kimyasal madde miktarını minimize etmek,
- Üretim olmadığı zamanlarda biyolojik sisteme sürekli atıksu sağlamak,
- Kanalizasyon sistemine daha kontrollü ve çok değişken olmayan su deşarj etmek,
- Biyolojik sisteme yüksek konsantrasyonda toksik maddelerin girişini önlemek (Özkaya, 2017).

Dengeleme ünitesinde, konsantrasyonun dengelenmesi ve çökmenin önlenmesi amacıyla karıştırma uygulanır. Buna ilaveten karıştırma ve havalandırma ile yükseltgenebilen maddelerin kısmi oksidasyonu gerçekleşir. Dengeleme tanklarında karıştırma yöntemleri şunlardır:

- Giriş akımının dağıtımı ve perdeleme
- Türbinlerle karıştırma
- Difüzörle havalandırma
- Mekanik havalandırıcılarla havalandırma (Eckenfelder, 1989).

4.3.1.4 Karıştırma

Karıştırma, genellikle dengeleme oluşturmak ve havuzda çökebilir katıların çökmesini önlemek için yapılır (Özkaya, 2017). Bunun yanında, dengeleme tanklarının düzgün çalışması için de karıştırma ve havalandırma gerekmektedir. Karıştırma, tank içeriğinin karışmasını sağlamak ve tankta katıların çökmesini önleyecek düzeyde olmalıdır (Öztürk vd., 2017).

Karıştırma işlemi ayrıca, kimyasal proseslerde sık karşılaşılan ve birden fazla maddenin birbirleriyle karışması için de uygulanan bir işlemdir. Karıştırılan maddeler iki veya daha fazla sıvı olabileceği gibi, sıvıların içinde katıların askıda tutulması ve katıların veya gazların çözünmesi de söz konusu olabilir.

Çeşitli karıştırma örnekleri şunlardır:

- Kimyasal maddelerin atık suya ilavesi. Örneğin, atık suya klor/hipoklorit ilavesi
- Flokülasyon için alüminyum ya da demir sülfat gibi yumaklaştırıcı ya da polielektrolit gibi flokleştirici maddelerin ilavesi
- Biyolojik arıtmada karıştırma suretiyle besin maddeleri ile mikroorganizmalar arasında yakın temas sağlanması (Eltem, 2008).

4.3.1.5 Ön çöktürme ve yüzdürme

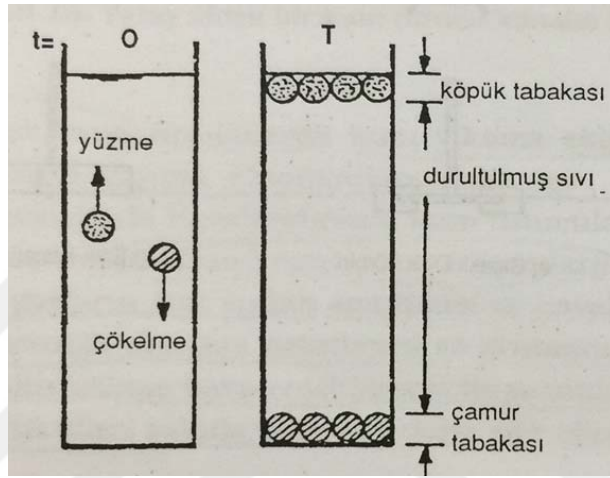
Kaba organik ve inorganik maddelerin çoğu ızgara ve kum tutucularda alıkonulduktan sonra, organik esaslı ve büyük ölçüde kirletici karakterde olan geriye kalmış askıdaki katı maddelerin atık sudan uzaklaştırılması gerekmektedir (Özkaya, 2017).

Ön çöktürme ve yüzdürme tanklarının üç ana fonksiyonu vardır:

- Çökeltme ile sıvıdan katıları (çamur) ayırma,
- Yüzdürme ile sıvıdan katıları (köpük, yağ, yüzen birikintiler) ayırma,
- Katıları yoğunlaştırma (Öztürk vd., 2017)

Ön çökeltme sonrası çamur ve suya ayrılmış bu iki bileşen, ayrı ayrı arıtılabilir. Ön çökeltme havuzlarında askıdaki katı maddelerin %50-70'i ve BOİ'nin %25-40'ı uzaklaştırılabilir. Ön çökeltme havuzlarında atık suyun bekletilme süresi 1,5-2,5 saat arasında değişebilmektedir (Özkaya, 2017).

Yüzdürme ise çöktürme işleminin tam tersi olup, sudan hafif maddelerin su yüzeyine çıkarılarak uzaklaştırılması prensibine dayanır (Eltem, 2008). Çözelti fazında çok ince dağılmış kolloidlerin, askıda katı maddelerin ve yağların ayrılması için kullanılır. Parçacıkların suyun yüzeyine çıkabilmesi için özgül ağırlıklarının sudan daha az olması gerekmektedir. Bu işlem, sıvı faza gönderilen hava kabarcıklarının asılı katı parçacıklara yapışması ve bu parçacıkları yüzeye taşıması olayıdır. Böylece su yüzeyinde köpükler halinde toplanan katılar veya küçük yağ damlacıkları, sıyırıcılar kullanılarak yüzeyden uzaklaştırılırlar (Özkaya, 2017).



Şekil 4.1 Çökelme ve yüzme (Eltem, 2008)

4.3.2 Kimyasal arıtma

Kimyasal reaksiyonlar vasıtasıyla meydana gelen değişikliklerin atık su arıtımında kullanılması kimyasal arıtma olarak adlandırılır. Başlıca uygulamaları, kimyasal oksidasyon, nötralizasyon, koagülasyon/flokülasyon ve dezenfeksiyondur.

4.3.2.1 Kimyasal oksidasyon

Atık su arıtmada kimyasal oksidasyon, çeşitli nedenlerle istenmeyen bileşiklerin zararsız bileşiklere dönüştürülmesi veya daha sonraki arıtma işlemleri için uygun yapıya getirilmeleri amacıyla uygulanır.

Bu işlem, serbest ya da bileşik yapıda bulunan elementlerin oksidasyon düzeylerinin (değerliğinin) yükselmesi ile sağlanır. Başlıca kullanım alanlar, renk

giderilmesi, tat ve koku giderilmesi dezenfeksiyon, demir ve mangan giderilmesi, amonyak giderilmesi ve organik bileşiklerin giderilmesidir.

Oksidasyon uygulamalarında kullanılan başlıca oksidasyon maddeleri oksijen, ozon, potasyum permanganat ve klordur.

Oksijen en yaygın oksidasyon aracıdır. Oksijen ile oksidasyon havalandırma ile yürür. Oksijenin reaktivliği az ve reaksiyon hızı düşüktür. Daha çok renk, tat, koku ve organik madde gidermede kullanılır. Klor ise ucuz ve etkili bir oksidasyon maddesidir. Demir, mangan ve azot oksiti kolayca oksitler. Yaygın olarak dezenfeksiyon işlemlerinde kullanılır (Eltem, 2008).

4.3.2.2 Nötralizasyon

Nötralizasyon, asidik ve bazik karakterdeki endüstriyel atık suların pH'nın ayarlanması işlemidir. Atık suyun pH'nın ayarlanması, atık suyun alıcı ortama deşarj standartlarını sağlaması, biyolojik arıtma öncesinde (bakteriyel faaliyetler belirli pH değerlerinde gerçekleştiğinden) uygun pH değerinin sağlanması, kimyasal çöktürme işleminde reaksiyonların gerçekleşeceği uygun pH değerinin sağlanması bakımından gereklidir (Özkaya, 2017).

pH değişimi asit-baz reaksiyonları çerçevesinde ele alınır. Atık suda asitliğin yüksek olduğu durumlarda baz ilavesi için genellikle kireç kullanılır. Bazikliğin yüksek olduğu durumlarda ise genellikle asetik asit tercih edilir (Eltem, 2008).

4.3.2.3 Koagülasyon (pıhtılaştırma) ve flokülasyon (yumaklaştırma)

Koagülasyon ve flokülasyon, askıda ve kolloid formdaki atık maddelerin giderilmesinde kullanılır. Kolloidal çözelti, dağılan maddenin $10^{-7} - 10^{-5}$ cm ya da 1 – 100 nm arasında olduğu heterojen karışımlardır. Kolloidler kendilerinden çökelmezler ve klasik fiziksel arıtma yöntemleriyle giderilemezler (Eckenfelder, 1989).

Koagülasyon işlemi, kolloidal maddelerin kimyasal maddeler ilavesiyle, birbirleriyle birleşebilir yapıya dönüştürülmeleri ve böylece flokülasyona başlangıç oluşturacak kümelerin oluşturulması işlemidir. **Flokülasyon** işlemi ise, koagüle olmuş taneciklerin birleştirilerek sudan çökelme ile ayrılabilir büyüklük

ve yapıda yumaklar haline getirilmesidir. Flokülasyonda, taneciklerin Brownian hareketlerinden veya yavaş karıştırmadan yararlanılarak sağlanır (Eltem, 2008).

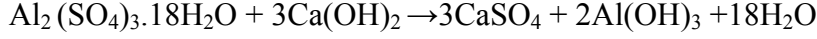
Atık sudaki kolloidler, hidrofobik veya hidrofilik olabilirler (Öztürk vd., 2017). Termodinamik olarak kararlı kolloidlerin büyük kısmı hidrofiliktir (Eltem, 2008). Proteinler gibi hidrofilik kolloidler suya yakınlık gösterirler. Hidrofobik kolloidler (çamur vs.) ise sıvı ortama bir yakınlık göstermezler ve elektrolit ortamda kararsızdırlar. Bunlar kolayca koagüle olabilirler (Öztürk vd., 2017).

Su ve atık su arıtımında termodinamik olarak kararlı olmayan kolloidler önem taşımaktadır. Kararlı olmayan kolloidler, “yavaş birleşen” ve “hızlı birleşen” olarak ikiye ayrılır. Bunlar, negatif yük taşıyan hidrofobik kolloidler olup koagülasyon işlemi ile yavaş birleşen sistemlere dönüştürülür. Yavaş birleşen sistemler “kararlı sistemler” olarak adlandırıldığından, koagülasyon, kararlı kolloidlerin kararlılığının bozulmasını amaçlamaktadır (Eltem, 2008).

Kolloidal yapıdaki maddelerin sahip olduğu çok geniş yüzey alanından dolayı, yüzeysel özellikleri de önem taşımaktadır. Kolloidlerin yüzeyinde iyonizasyon, kompleks oluşumu vb. nedeniyle elektrik yükleri oluşur (Eltem, 2008). Bu özellikleri, itici güç oluşturarak bir araya toplanmayı ve çökmeyi engeller. Kolloid maddelerin kararlılığı, itici elektrostatik güçlere; hidrofilik kolloidler olmaları durumunda ise koagülasyonu engelleyen su tabakasında çözülmeye bağlıdır (Öztürk vd., 2017).

Kolloid maddelerin kararlılığı önemli ölçüde elektrostatik yüke bağlı olduğundan flokülasyon ve koagülasyon sağlamak için bu yükün nötralizasyonu gerekir. Zeta potansiyeli, elektrostatik yükün büyüklüğü, dolayısı ile stabilizasyonun derecesi ile ilgilidir. Kolloid bir çözeltide stabilizasyonun bozulması, dolayısı ile çökmenin sağlanması için zeta potansiyelinin düşürülmesi gerekir. Endüstriyel atık suların çoğunda kolloid maddeler negatif yüklü olduğundan, atık suya yüksek değerlikli katyon ilavesi ile zeta potansiyeli düşürülür. Optimum koagülasyon, zeta potansiyelinin sıfır olduğu durumda ortaya çıkar (Eckenfelder, 1989). Bu nokta, “izoelektrik nokta” olarak adlandırılır. Etkin bir koagülasyon, ± 0.5 mV zeta potansiyeli aralığının üstünde oluşur (Öztürk vd., 2017).

Atık arıtma uygulamalarında en çok kullanılan koagülant alüminyum sülfattır ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$). Alkalinite bulunan bir ortamda suya alüminyum sülfat ilave edildiğinde aşağıdaki reaksiyon olur:

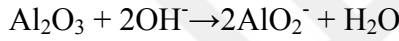


Alüminyum hidroksit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ kimyasal formunda olup amfoterik yapıdadır. Yani ortam şartlarına göre asit ya da baz gibi davranır. Asidik şartlarda:

$$[\text{Al}^{+3}][\text{OH}^-]^3 = 1,9 \times 10^{-33}$$

pH 4'te çözültide 51,3 mg/l Al^{+3} mevcuttur.

Alkali şartlarda ise susuz alüminyum oksit çözünür:



$$[\text{AlO}_2^-][\text{H}^+] = 4 \times 10^{-13}$$

pH 9,0' da çözültide 10,8 mg/l alüminyum vardır.

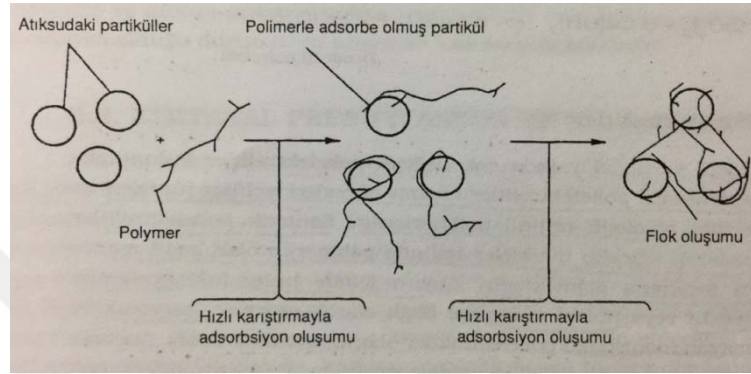
Alüminyum flokları pH 7,0' de çok az çözünür. pH 7,6'nın altında flok yükü pozitif, pH 8,2 nin üstünde ise negatiftir. Bu limitler arasında flok yükü karışıktır (Eckenfelder, 1989).

Alüminyum sülfatın yanında demir sülfat, demir 3 klorür ve kireç de koagülant olarak kullanılmaktadır (Eltem, 2008).

Bazı kimyasalların ilavesi ile daha büyük hızla çöken flok oluşumu ile koagülasyon hızlanır. En çok kullanılan yardımcı koagülantlar polielektrolitlerdir. **Polielektrolitler** yüksek molekül ağırlıklı polimerlerdir. İçerdikleri adsorplanabilen gruplardan dolayı partiküller veya yüklü floklar arasında köprü oluştururlar (Eckenfelder, 1989). Alüminyum sülfat veya demir klorür ile birlikte düşük dozlarda (1-5 mg/l) polielektrolit ilavesi ile büyük floklar (0,3-1 mm) oluşur. Polielektrolitler pH'tan etkilenmeksizin kolloidin etkin yükünü azaltarak koagülasyonu sağlarlar. Üç tip polielektrolit vardır: katyonik polielektrolitler, negatif kolloid veya flokları adsorblar; anyonik polielektrolitler, kolloid parçacıklarda anyonik gruplarla yer değiştirerek kolloid ve polimer arasında

hidrojen bağına izin verir; iyonik olmayan (noniyonik) polielektrolitler ise katı yüzeyleri ile polimerdeki polar gruplar arasında hidrojen bağı ile parçacıkları adsorblayarak floklaşmalarını sağlar (Öztürk vd., 2017).

Polielektrolitler sentetik ya da doğal olabilir. En önemli doğal polielektrolitler, nişasta türevleri, selüloz türevleri ve alginatlardır. En önemli sentetik polielektrolitler ise yüksek molekül ağırlıklı maddeler halinde polimerize olan basit monomerlerden meydana gelen bileşiklerdir (Eltem, 2008).



Şekil 4.2 Organik polimerlerle partiküller arası köprü oluşumu sonrası flok görünümü (Eltem, 2008)

4.3.2.4 Dezenfeksiyon

Dezenfeksiyon işlemi, arıtılacak sularda yer alan patojen organizmaların yok edilmesi veya etkisiz hale getirilmesidir (Eltem, 2008). Patojen ihtiva eden atık sular alıcı ortamlara deşarj edildiğinde, su kaynağı da kirletilmiş olur ve su temini için yapılan arıtmada dezenfeksiyon yapılması gerekliliği ortaya çıkar. *Cryptosporidium* ve *Giardia* protozoa grubu organizmalardır. Bunlar zamanla dezenfeksiyona karşı direnç kazanabilmektedir. Bunların suda bulunması mide bağırsak hastalığına, ishale, karın ağrısına, mide bulantısına ve kusmaya sebep olabilir (Özkaya, 2017).

Kullanım amacı itibariyle, dezenfeksiyon işlemi, en çok içme sularının arıtılmasında kullanılır. Dezenfeksiyon kimyasalları olarak en çok klor, klor dioksit, brom klorit ve ozon kullanılır (Eltem, 2008).

4.3.3 Biyolojik arıtma

Atık suların içinde yer alan kirleticiler, suyun içinde çözünmüş halde bulunabilecekleri gibi katı madde olarak askıda da bulunabilirler. Bu maddelerin özelliklerine göre uzaklaştırılmaları için kullanılacak arıtma yöntemi de değişir. Örnek olarak, organik kirleticilerin uzaklaştırılması için en etkin yöntemin “biyolojik arıtma” olduğu söylenebilir (Öztürk vd., 2017).

Biyolojik arıtma, atık suyun içinde bulunan askıda veya çözünmüş organik maddelerin bakterilerce parçalanması ve çökebilen biyolojik floklarla, sıvının içinde kalan veya gaz olarak atmosfere kaçan sabit inorganik bileşiklere dönüşmesi işlemidir (Öztürk vd., 2017). Biyolojik arıtma, aslında organik kirleticilerin doğada yok edilmeleri için yer alan “bioflokülasyon” ve “mineralizasyon” proseslerin, kontrollü bir çevrede ve optimum şartlarda tekrarlanmasından başka bir şey değildir. Böylece, doğadaki reaksiyonlar hızlandırılarak daha kısa bir sürede, emniyetli bir ortamda gerçekleştirilmektedir (Curt, 2017).

Atık suların biyolojik olarak arıtım hedefleri; dibe çökelmeyen kolloidal katı maddelerin koagüle edilmesi ve uzaklaştırılması ile organik maddenin stabilize edilmesidir. Arıtma tesisleri için toksik olabilecek iz miktardaki organik bileşiklerin uzaklaştırılması da önemli bir biyolojik arıtma hedefidir. Bunların yanında, biyolojik olarak arıtılacak bileşiklerin birçoğunun mikroorganizmalar için toksik olması sebebiyle, önceden bir arıtım (fiziksel ve kimyasal gibi) ihtiyacı duyulmaktadır. (Eltem, 2008).

Organik kirleticilerin yok edilmesi, çok sayıda ve değişik mikroorganizmalarca gerçekleştirilmektedir. Bu mikroorganizmalar genel bir şekilde “aerobik”, “fakültatif” ve “anaerobik” olarak sınıflandırılabilirler. Aerobik mikroorganizmalar, yaşamlarını sürdürebilmek için moleküler oksijene ihtiyaç duyarlar. Bunun için yalnız havalı ortamda var olabilirler. Bunların tam tersine, “anaerobik” mikroorganizmalar, oksijensiz ortamda yaşamakta, enerji ihtiyaçlarını organik maddelerden karşılamaktadır. “Fakültatif” mikroorganizmalar ise hem havalı hem havasız ortamda yaşayabilmektedir (Curt, 2017).

Biyolojik arıtma için yapılan temel uygulamalar;

- Atık suda özellikle BOİ, TOK (toplam organik karbon) veya KOİ olarak ölçülen karbonlu organiklerin giderimi
- Nitrifikasyon ve denitrifikasyon
- Fosfor giderimi
- Atık stabilizasyonudur (Öztürk vd., 2017).

Biyolojik arıtma yöntemleri iki ana sınıfta toplanabilir:

- Aerobik Arıtma
- Anaerobik Arıtma

4.3.3.1 Aerobik arıtma

Oksijen varlığında gerçekleşen biyolojik arıtım prosesleridir (Eltem, 2008). Bütün aerobik arıtma proseslerinde organik atıklar “sentez” ve “oksidasyon” yolu ile yok olurlar. Diğer bir deyimle, organik maddelerin bir kısmı yeni hücrelere dönüşürken (sentez), geri kalan kısım, gerekli enerjiyi üretmek amacı ile oksidasyona tabi tutulur. Organik maddeler yok olmaya başlayınca, biyolojik hücrelerin bir kısmı gerekli enerjiyi sağlamak amacı ile kendi kendini oksitler (içsel solunum). Bu değişim, şu reaksiyonlarla ifade edilmektedir:

Organik madde + O₂ + N + P → hücre + CO₂ + H₂O + biyolojik yollarla parçalanamayan çözülebilir kalıntılar

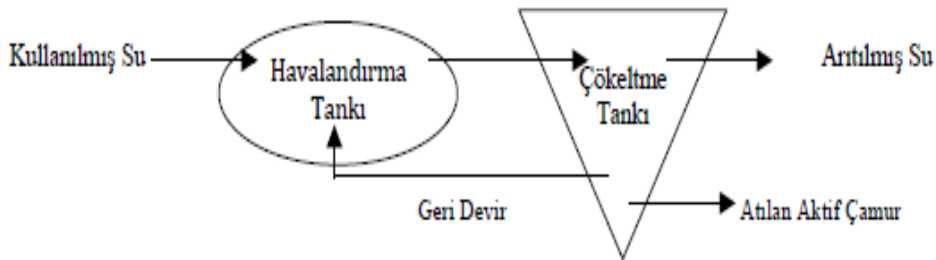
Hücre + O₂ → CO₂ + H₂O + N + P + parçalanamayan hücresel kalıntılar (Curt, 2017).

Aerobik arıtma prosesinde en çok kullanılan yöntem “aktif çamur” yöntemidir. Aktif çamur prosesinin birçok modifiye versiyonu bulunmakla beraber en çok kullanılanları şunlardır:

- Stabilizasyon havuzları
- Havalandırılmalı lagünler
- Damlatmalı filtreler
- Döner biyodiskler
- Ardışık kesikli reaktörler (Eltem, 2008; Öztürk vd., 2017).

Aktif çamur sistemi, aerobik biyolojik aktif ürünlerin (mikroorganizma) atık su ile havalandırılarak karıştırıldığı ve oluşan flokların ayrı bir yerde çöktüğü sürekli bir sistemdir. Aktif çamur sisteminde mikroorganizmalar, atık sudaki organik maddeleri çözümlenip oksidasyon-sentez işlemi ile organik maddeleri CO₂, H₂O, NO₃ ve SO₄ gibi son ürünlere dönüştürmektedir (Curt, 2017).

Aktif çamur sistemi temelde iki üniteden ibarettir. Uygulamada, atık sular, içinde aktif çamur bulunan ve sürekli olarak havalandırılan bir tanka alınırlar. Atık su tankta aktif çamurla karışarak belli bir süre kalır. Bu süre içinde atık su içindeki organik maddeler aktif çamur tarafından ayrıştırılır. Daha sonra karışım bir çökeltme tankına alınır. Burada aktif çamur çökerek organik maddelerden arınmış atık sudan ayrılır. Çöken aktif çamurun bir kısmı atılırken bir kısmı geri devirle havalandırma tankına verilir (Yerli, 2011).



Şekil 4.3 Aktif çamur prosesinin şematik görünümü (Yerli, 2011)

Aktif çamur reaktöründeki aerobik ortam, difüze edilmiş havayla veya mekanik havalandırma ile sağlanmaktadır. Bu da aynı zamanda çamurun tamamen karışmasını sağlamaktadır (Eltem, 2008).

Aktif çamur metodunda, yüzeysel sulardaki doğal arıtma olayı, hızlandırılmak ve çok dar bir hacme sığdırılmak suretiyle taklit edilmektedir. Havalandırma yolu ile, parçalanma için gerekli oksijen temin edilir. Ayrıca havalandırma çökmeyi de engeller. Sonuçta çökme olmaz. Bu yolla çürüme de engellenmiş olur. Aktif çamur metodunda verim %85-95 BOI giderimine kadar oluşabilir.

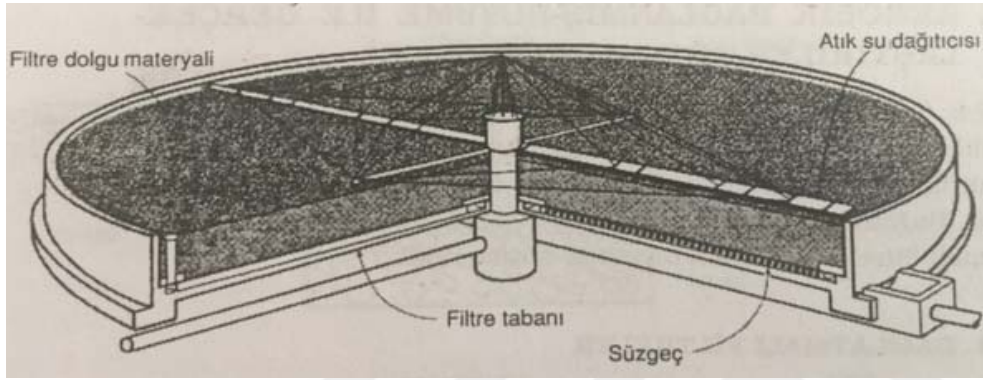
Aktif çamur metodu yaz kış aynı randımanda çalışabilmesi, koku ve sivrisinek sorunu olmaması gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca aktif çamur sisteminden önce mutlaka çöktürme havuzu bulunmalıdır (Yerli, 2011).

Stabilizasyon havuzları, basit olmaları ve işletme kolaylığından dolayı atık su arıtımında en basit biyolojik arıtma sistemidir. Sistem, ekipmansız çalışacağından dolayı, biyolojik aktivite yavaş işler. Bu nedenle uzun kalma zamanına ve dolayısı ile geniş arazilere ihtiyaç duyulmaktadır (Öztürk vd., 2017). Stabilizasyon havuzları atık su arıtılması için boyutlandırılan, nispeten sığ toprak çukurlardır. Arıtma işlemi için gerekli oksijen algler tarafından fotosentez yolu ile karşılanır (Curt, 2017).

İklim ve havuzun doğal şartları biyolojik aktiviteyi etkiler. Bu nedenle, arazinin bol ve ucuz, iklim şartlarının uygun olması stabilizasyon havuzlarının kullanımını artırır. Stabilizasyon havuzları, reaksiyon kinetikleri ve akım şekilleri yönünden reaktörlere benzemektedir. Arıtım verimi, BOI giderimi ile birlikte mikroorganizma ve besi maddeleri (N ve P) arıtımında da istenilen şartları sağlayacak şekilde tasarlanabilir (Öztürk vd., 2017).

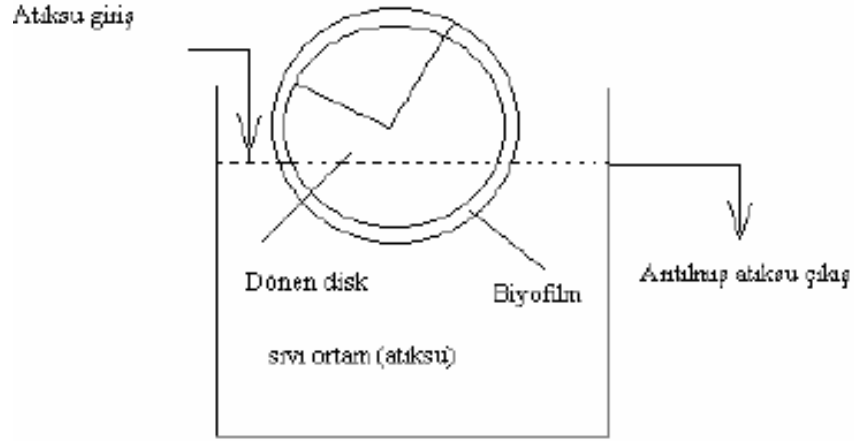
Havalandırılmalı lagünler (havuzlar) çok fazla organik madde ile yüklenmiş havuzlarda oluşan kokular için yüzey havalandırıcılarının yerleştirildiği, fakültatif stabilizasyon havuzlarından geliştirilmiştir (Eltem, 2008). Havalandırılmalı lagünler, 2,5-5 metre derinliğinde toprak yapılar olup, havalandırma dubalar veya sabit kolonlar üzerine yerleştirilen mekanik havalandırıcılarla yapılır. Stabilizasyon havuzları ile kıyaslandığında %10-20 daha küçük hacimlere sahiptirler. Bu arıtma sisteminin esas fonksiyonu, atık dönüşümdür. Diğer askıda katı madde sistemlerinde olduğu gibi havalandırma ile oluşturulan türbülans, sistemin içeriğini askıda tutmada sağlar. Hidrolik kalış süresine bağlı olarak, havalandırılmalı lagünden çıkan arıtılmış suda, giren BOI'nin üçte biri ile yarısı kadar hücre formundaki mikroorganizma bulunur. Bu katıların çoğu deşarjdan önce çöktürülerek ortamdaki uzaklaştırılır (Öztürk vd., 2017).

Damlatmalı filtre esas olarak üzerinde mikroorganizma tabakalarının geliştiği bir dolgu maddesi ile altta bir drenaj kısmının bulunduğu bir filtreden oluşur. Filtre üstünden arıtılacak atık su, uygun yüzeyde, tüm alana eşit olacak şekilde dağıtılır ve arıtılan su tabandan geri alınır. Daha sonra çöktürme tankında bekletilerek istenmeyen maddeler çöktürülür. Filtrede aerobik koşulların korunması amacıyla hava akımını sağlayacak tertibat bulunur. Havalandırma doğal yolla ya da kompresörle yapılır. Damlatmalı filtreler, hidrolik ve organik yüklemeye göre yavaş, orta ya da çok hızlı olarak sınıflandırılır (Yerli, 2011).



Şekil 4.4 Bir damlatmalı filtre kesiti (Eltem, 2008).

Döner biyodisk üniteleri düşük devirli endüstriyel atık sulardan BOI gideriminde kullanılabilir. Sistem, plastikten yapılan 2-3 m çapında, 2-3 cm kalınlığında disklerden oluşur. Diskler bir şaft üzerine birbirine paralel olarak yerleştirilir ve şaft, bir motor yardımı ile döndürülür. Atık su, uzun ve sığ tankların içine konur ve diskler atık su içinde %40-50 oranında batık şekilde döndürülür (2-10 devir/dakika). Mikroorganizmalar, disk üzerinde biyofilm oluşturacak şekilde büyürler ve atık sudaki organik bileşikler biyofilm içine damlatmalı filtrelerde olduğu gibi adsorplanır ve biyolojik reaksiyon meydana gelir. Mikroorganizmalar oksijen gereksinimini diskin dönüşü sırasında hava ile temas ederek sağlarlar. Kalın biyofilmler substrat difüzyon limitlerine yol açtığı için; çok ince biyofilmler de daha az etkin oldukları için tercih edilmezler. Sistem için önerilen optimum biyofilm kalınlığı 2-3 mm'dir (Öztürk vd., 2017).



Şekil 4.5 Basit bir döner biyodisk ünitesi (Öztürk vd., 2017)

4.3.3.2 Anaerobik arıtma

Oksijen yokluğunda gerçekleşen biyolojik arıtım prosesleridir (Eltem, 2008). Anaerobik mikroorganizmalar sülfat, nitrat, CO₂ ve hatta bazı organik bileşikler kullanırlar. Solunum süreci sonunda da inorganik karbon, azot ve kükürt ortaya çıkar. Solunumla açığa çıkan enerjinin sentezde kullanılabilmesi için ATP'den yararlanır (Yerli, 2011). Anaerobik işlem sırasında organik maddeler, "asit yapıcılar" diye adlandırılan mikroorganizmalar tarafından organik asitlere dönüştürülür. Bundan sonra, organik asitler "metan yapıcı" organizmalar tarafından "metan ve CO₂" gazlarına dönüştürülür. Anaerobik arıtmanın en çok uygulandığı birimler çamur çürütme tankları, anaerobik filtreler, anaerobik havuz ve lagünlerdir (Curt, 2017).

5. ADSORPSİYON

Adsorpsiyon, en basit anlamda “bir yüzeye tutunma” anlamına gelmektedir.

Daha detaylı ele alındığında ise, bir maddenin zenginleştirilmesi ya da o maddenin arayüzü çevresindeki akışkan miktarı artışı olarak ifade edilebilir (Rouquerol vd., 1999). Adsorpsiyon işlemi uzun yıllardır insanoğlunun bildiği ve özellikle son yıllarda sanayide “ayırma ve saflaştırma” işlemlerinde sıkça kullanılan bir prosestir. Adsorpsiyon prosesinin temelini genellikle gözenekli katı ortamlar oluşturur. Gözenekli katı ortamların kullanılması, basitçe çok yüksek bir yüzey alanı ya da yüksek mikrogözenek hacmi sağlar ve bu yüksek yüzey alanı ve yüksek mikrogözenek hacimleri sayesinde istenen adsorpsiyon kapasitesine ulaşılabilir. Buna karşın, gözenekli ortam genellikle çok küçük gözeneklerle ilişkilendirilir ve bu durumda adsorbat moleküllerin bu çok küçük gözeneklere yerleşebilmeleri için yollarını bulabilmeleri gerekir. Bu “yol bulabilme”, “moleküler akışa karşı difüzyon direnci” olarak adlandırılan olayı önemli kılar. Adsorpsiyon kapasitesi, adsorpsiyon dengesinin olduğu alan ile ifade edilebilirken, difüzyon direnci ise adsorpsiyon kinetiğinin devam ettiği alan ile ifade edilmektedir. Adsorpsiyonun net şekilde anlaşılabilmesi için adsorpsiyon dengesi ve adsorpsiyon kinetiklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir (Duong, 1998).

Adsorpsiyonun olabilmesi için en az iki farklı fazda materyal gerekmektedir. Bu fazların birisi kesinlikle katı olmalıdır; diğeri sıvı ya da gaz olabilir. Katı-sıvı fazda adsorpsiyon işlemi, sıvı içerisinde bulunan moleküllerin katı dış yüzeyine gelmesi ile başlar. Daha sonra, katı gözenekli ise, moleküller katının içlerine doğru ilerler ve iç yüzeylere fiziksel yada kimyasal bağlarla tutunurlar. Katı gözenekli değilse, tutunma dış yüzeyde gerçekleşir. Bu işlem sıvıda bulunan molekül yada iyonlarla katı yüzeyine tutunan iyonlar arasında bir denge oluşuncaya kadar devam eder. Oluşan denge herhangi bir şekilde bozulursa katıya tutunmuş olan maddeler yüzeyden uzaklaşırlar bu olaya desorpsiyon adı verilir. Adsorpsiyon ve desorpsiyon terimleri, adsorpsiyon dengesi kurulduktan sonra sistemin hangi yönde ilerlediğini belirtmek için kullanılır. Sabit sıcaklıkta, adsorbe olan miktar ile denge basıncı/konsantrasyonu arasındaki ilişki ise “adsorpsiyon izotermi” olarak adlandırılır (Rouquerol vd., 1999).

Adsorpsiyon prosesinde kullanılan katının (adsorbent) cinsi adsorpsiyonu doğrudan etkiler. Adsorpsiyonun istenen verimlilikte olması, adsorbentin yapısal

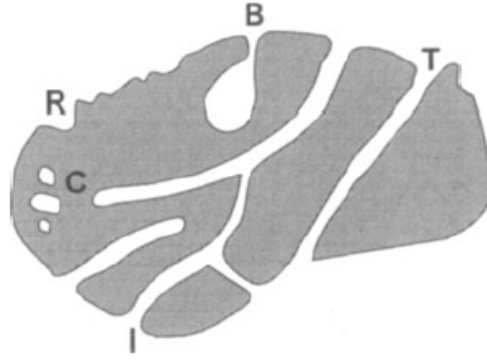
özelliklerinin yanı sıra adsorbatın denge ve kinetik özelliklerine bağlıdır. Örneğin, adsorbatın adsorpsiyon kinetiği düşükse, önemli miktarda adsorpsiyon olması için çok uzun bir süre gereklidir ve bu da endüstriyel uygulamalar için bir dezavantaj oluşturur. Bu nedenle, verimli bir adsorpsiyon için, adsorbantın adsorplama kapasitesinin yüksek olmasıyla beraber iyi kinetik özellik göstermesi gerekmektedir. Bu iki gerekliliği sağlamak için adsorbentte şu kriterlerin bulunması şarttır:

- Adsorbentin çok yüksek yüzey alanına sahip olması
- Adsorbentin, moleküllerin iç kısımlarına kolay transferini sağlayabilmesi için göreceli olarak geniş gözenekli bağlantılar içermesi

Adsorbent olarak kullanılan katılar genellikle boyutlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar, “makro”, “mezo” ve “mikro” gözenek dağılımına sahiptirler.

Mikrogözenekler	$0,4 < d < 2 \text{ nm}$
Mesogözenekler	$2 \text{ nm} < d < 50 \text{ nm}$
Makro gözenekler	$d > 50 \text{ nm}$

Bu sınıflandırma, genel bir sınıflandırma olup, gözenekli katıların azot adsorpsiyonunun, normal kaynama noktasındaki geniş yelpazesi baz alınmıştır. Endüstride adsorbent olarak en çok kullanılan aktif karbon, silika jel ve zeolit gibi maddeler bu iki kriteri tamamiyle sağlamaktadır (Duong, 1998). Farklı tip gözeneklere ait enine kesit şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1 Farklı tipteki gözenek şekillerine sahip bir adsorbentin enine kesit görünümü: kapalı gözenek (C), kör gözenek (B), kesintisiz gözenek (T), bağlantılı gözenek (I) ve pürüzlü yüzey (R) (Rouquerol vd., 1999)

5.1 Fizisorpsiyon ve Kemisorpsiyon

Adsorpsiyon, katı madde ve sıvı haldeki moleküller arasındaki çekim kuvvetleri sayesinde ortaya çıkar. Adsorpsiyonda iki farklı çekim kuvveti yer alır ki çekim kuvvetleri cinsine göre adsorpsiyona ya “fizisorpsiyon” ya da “kemisorpsiyon” adı verilir.

Fizisorpsiyon kuvvetleri, buhar kondenzasyonundan sorumlu kuvvetlerle aynı kuvvetlerdir. Buna karşın kemisorpsiyondaki kuvvetler ise kimyasal bileşik oluşumunda ortaya çıkan bağlardır. İki olayı birbirinden ayıran özellikler şunlardır:

- Fizisorpsiyon, göreceli olarak düşük derecede spesifik bir genel olgu iken kemisorpsiyon, adsorbent ve adsorbat arasındaki reaktivliğe direkt bağlı bir olgudur.
- Kemisorplanmış moleküller yüzeyin reaktif kısımlarına bağlanırlar ve adsorpsiyon zorunlu olarak tek tabaka üzerinden yürür. Göreceli yüksek basınçlarda, fizisorpsiyon genellikle çoklu tabaka halinde yürür.
- Fizisorplanmış molekül kendi yapısını korur ve desorpsiyon sonrasında orjinal formuna geri döner. Eğer kemisorplanmış molekül bir reaksiyona uğrar ya da disosiyasyon olursa kendi yapısını kaybeder ve desorpsiyon sonrası eski haline geri dönemez.

- Kemisorpsiyonda kimyasal reaksiyonla karşılatırılabilir büyüklükte bir enerji değişimi olur. Fizisorpsiyon ise çoğunlukla ekzoermiktir, fakat gereken enerji, genellikle adsorbat kondenzasyonu için gereken enerjiden daha fazla değildir.
- Kemisorpsiyonda aktivasyon enerjisi gerekir ve düşük sıcaklıklarda, termodinamik denge kurabilmek için yeterli ısıl enerji olamayabilir. Fizisorpsiyonda ise genellikle denge hızla kurulur.

Fizisorpsiyondan sorumlu kuvvetler her zaman, “dispersiyon çekim kuvvetlerini” ve “kısa mesafeli itmelerden kaynaklanan kuvvetleri” içerirler. Bu kuvvetler, adsorbent ya da adsorbatın polarlığına bağlı değildir ve bu nedenle “spesifik olmayan” şeklinde değerlendirilir.

Dispersiyon çekim kuvvetleri, bir atomdaki elektron yoğunluğunun, komşu atomda elektriksel moment yaratmasıyla beraber oluşan hızlı dalgalanmalardan kaynaklanır. Kısa mesafeli itme kuvvetleri ise elektron bulutlarının birbiri içine penetrasyonu sonucu oluşur (Rouquerol vd., 1999).

5.2 Adsorpsiyon İzotermi

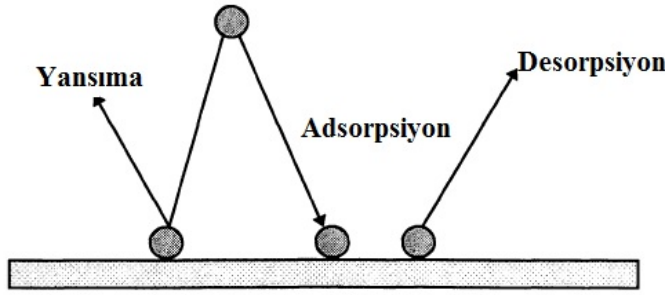
Adsorbentin en önemli karakteristik özelliklerinden biri üzerine adsorplayabileceği adsorbat miktarı olarak düşünölmektedir. Sabit sıcaklıkta adsorbent tarafından adsorplanan madde miktarı ile denge basıncı veya konsantrasyonu arasındaki bağıntıya “adsorpsiyon izotermi” adı verilir. İzotermi, adsorpsiyonu incelemek için kullanılan en uygun gösterimlerdir. Adsorpsiyonun incelenmesinde en çok başvuru ve kullanılan izotermi Langmuir, Freundlich ve BET izotermi dir.

5.2.1 Langmuir izotermi

Adsorpsiyon üzerine ilk tutarlı yaklaşıımı ifade eden kişi Langmuir’dir. Bu yaklaşıma göre, adsorpsiyon yüzeyi tamamen düzdür ve kinetik bir bakış açısı altında adsorpsiyon tanımlanır. Buna göre, adsorpsiyon anında düz yüzeye, moleküllerin sürekli devam eden bombardımanı ve bunun karşılığında da, dengeyi sağlayabilmek için yüzeyden aynı oranda desorpsiyon vardır. Langmuir modelinin temel varsayımları şöyledir:

- Yüzey tamamen homojendir ki bu durumdan dolayı enerji tüm yüzeyde sabittir.
- Yüzey adsorpsiyonu lokal şekilde olur; yani adsorbe olan atom ya da moleküller belirli ve lokal alanlarda tutunurlar.
- Yüzeydeki her nokta sadece bir atom ya da molekülü tutabilir.

Langmuir teorisi kinetik prensibe dayanmaktadır. Buna göre, yüzeydeki adsorpsiyon oranı ile desorpsiyon oranı birbirine eşittir (Duong, 1998).



Şekil 5.2 Düz yüzeydeki Langmuir Adsorpsiyon İzoterminin şematik gösterimi (Duong, 1998)

Langmuir eşitliği şu şekilde ifade edilmektedir:

$$x / m = q_e = abC_e / (1 + bC_e)$$

$$C_e / (x / m) = C_e / q_e = 1/(ab) + (1/a) C_e$$

Bu eşitliklerde;

x = adsorplanan kirletici miktarı (mg)

m = adsorbent miktarı (g)

$x / m = q_e$ = birim adsorbent miktarı başına adsorplanan adsorbat miktarı (mg/g)

C_e = Adsorbatın denge konsantrasyonu (mg/l)

a, b = deneysel sabitler (l/mg) olarak ifade edilirler.

“a” sabit değeri, adsorbent yüzeyinin tek tabaka halinde kaplandığı andaki yüzey konsantrasyonudur. “b” sabiti ise, adsorpsiyon enerjisi ile ilişkili olup, adsorpsiyon bağlarının kuvveti arttığı zaman “b” değeri de artış göstermektedir. Langmuir eşitliğinin karakteristiğini belli etmek üzere boyutsuz bir R_L sabiti tanımlanmıştır (Karadağ vd., 2006).

$$R_L = 1 / (1 + K_L C_0)$$

C_0 =en yüksek giriş kirletici konsantrasyonu (mg/l)

R_L sabitinin değerlerine göre izoterm hakkında şu yorumlar yapılabilmektedir:

$R_L > 1$ ise istenmeyen adsorpsiyon

$R_L = 1$ ise lineer adsorpsiyon

$0 < R_L < 1$ ise istenilen adsorpsiyon

$R_L = 0$ ise tersinir olmayan adsorpsiyon (Karadağ vd., 2006).

5.2.2 Freundlich izotermi

Freundlich izotermi, çok sayıda adsorpsiyon verisini tanımlayan deneysel bir eşitlik olarak ifade edilmektedir. Bu denklem Langmuir eşitliğindeki b enerji sabitindeki heterojen yüzey enerjisi için özel bir durumdur ve adsorpsiyon ısısının değişimine bağlı olan yüzey örtüsünün fonksiyonu olarak değişir. Freundlich eşitliği aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır (Metcalf ve Eddy, 2003).

$$x / m = q_e = K_F * C_e^{1/n}$$

Bu denklemin lineerize edilmiş hali:

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$$

K_F ve $1/n$ degerleri deneysel izoterm sabitleridir. K_F sabiti adsorbanın adsorbe edilen madde için kapasitesidir. $1/n$ ise adsorpsiyonun kuvvetidir.

x = adsorplanan kirletici miktarı (mg)

m = adsorbent miktarı (g)

$x / m = q_e$ = birim adsorbent miktarı başına adsorplanan adsorbat miktarı (mg/g)

C_e = Adsorbatın denge konsantrasyonu (mg/l)

Bu parametreler, q_e ve C_e sırasıyla katı ve sıvı konsantrasyonlarını ifade etmektedir. Freundlich izotermi eşitliği içerisinde sabit K_F değeri, öncelikle adsorpsiyon kuvveti ile ilişkilidir. C_e ve $1/n$ değerlerinin sabit olması halinde K_F değerinin yüksek olması ile q_e adsorplanan miktar da yüksek olmaktadır. Sabit değerde K_F ve C_e olması halinde ise $1/n$ değerinin küçük olması daha güçlü adsorpsiyon bağlarının olduğunu göstermektedir. $1/n$ değerinin daha küçük olması durumunda adsorpsiyon kapasitesi C_e değerinden bağımsız olacak ve izoterm eğrisinde yatayda sabit bir seviyeye ulaşacaktır. q_e değerinin sabit olması halinde ise izoterm tersinir olmayan izoterm şeklinde ifade edilmektedir. $1/n$ değerinin çok büyük olması ile adsorpsiyon bağları da zayıf olacaktır.

Orta konsantrasyondaki deney verileri ile Langmuir ve Freundlich uyumludur. Ancak Freundlich denklemi, Langmuir denkleminden farklı olarak çok düşük konsantrasyonlarda lineer bir adsorpsiyon ifadesine ulaşamaz. Çok yüksek konsantrasyonlarda Langmuir denklemine benzerlik gösterir. Çünkü yüzey tamamen kaplandığında $1/n$ bir limite yaklaşmak zorundadır (Walker ve Weatherley, 2000).

5.2.3 BET izotermi

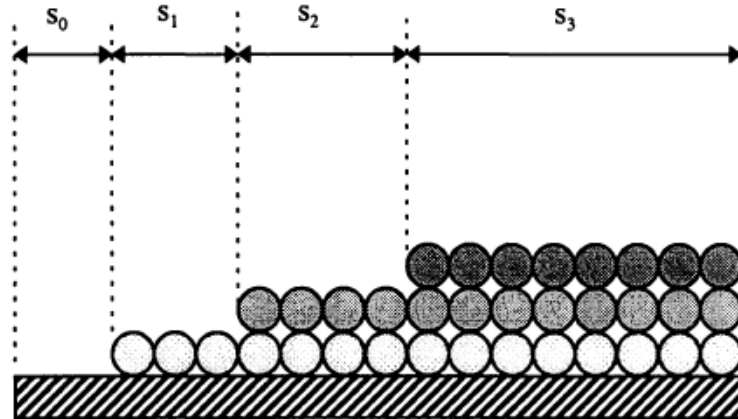
BET izotermi, Langmuir ve Freundlich izotermilerinden farklı bir bakış açısıyla adsorpsiyonu inceler. BET kelimesi, adsorpsiyon üzerine çalışan ve bu yaklaşımı üreten Brunauer, Emmett ve Teller'in baş harfleri alınarak oluşturulmuştur.

Başlangıçta da belirtildiği gibi, BET izotermi, Langmuir ve Freundlich izoterminden farklı olarak tek tabaka adsorpsiyon yerine çok tabakalı adsorpsiyonu incelemektedir. Çok tabakalı adsorpsiyonda, belirli bir doyma noktası bulunmamakla beraber, adsorpsiyon, makrogözeneklerin yanında artık mikrogözenekler üzerinden yürümeye başlamaktadır. Çoklu tabaka adsorpsiyonunda, adsorbat moleküller öncelikle katı adsorbent yüzeyin üzerine tutunarak ilk tabakayı oluşturular. Devamında ortam basıncının artırılmasıyla beraber, oluşan ilk adsorpsiyon tabakasının üzerinde yeni adsorpsiyon tabakaları oluşmaya başlar (Duong, 1998).

Daha ayrıntılı incelendiğinde, BET yaklaşımına göre, yüzeyde üst üste oluşabilecek adsorpsiyon tabakalarının sınırı yoktur. Bu yaklaşıma göre;

- Enerji açısından yüzey homojendir (adsorpsiyon devam ederken aynı katmanda adsorpsiyon enerjisi değişmez)
- Adsorplanmış moleküller arasında bir etkileşim olmamaktadır.
- Adsorbat yüzeyde farklı tabakalar oluşturmakta ve her tabakaya ayrı olacak şekilde Langmuir eşitliği uygulanmaktadır.

Bu bağlamda BET yaklaşımı temel olarak Langmuir teorisini baz alır. Şekil 5.3'te BET yaklaşımına göre çok tabakalı adsorpsiyon şematik olarak gösterilmektedir (Duong, 1998).



Şekil 5.3 BET yaklaşımına göre çok tabakalı adsorpsiyonun şematik gösterimi (Duong, 1998)

BET yaklaşımına ait eşitlik şöyledir:

$$x / m = q_e = B C_e (x / m)^0 / (C_s - C_e) \{1 + (B-1)C_e/C_s\}$$

$x / m = q_e$ = birim adsorban miktarı başına adsorplanan adsorbat miktarı (mg/g)

C_e = Adsorbatın denge konsantrasyonu (mg/l)

C_s = adsorbatın çözelti içerisinde doygunluk konsantrasyonu, (mg/l)

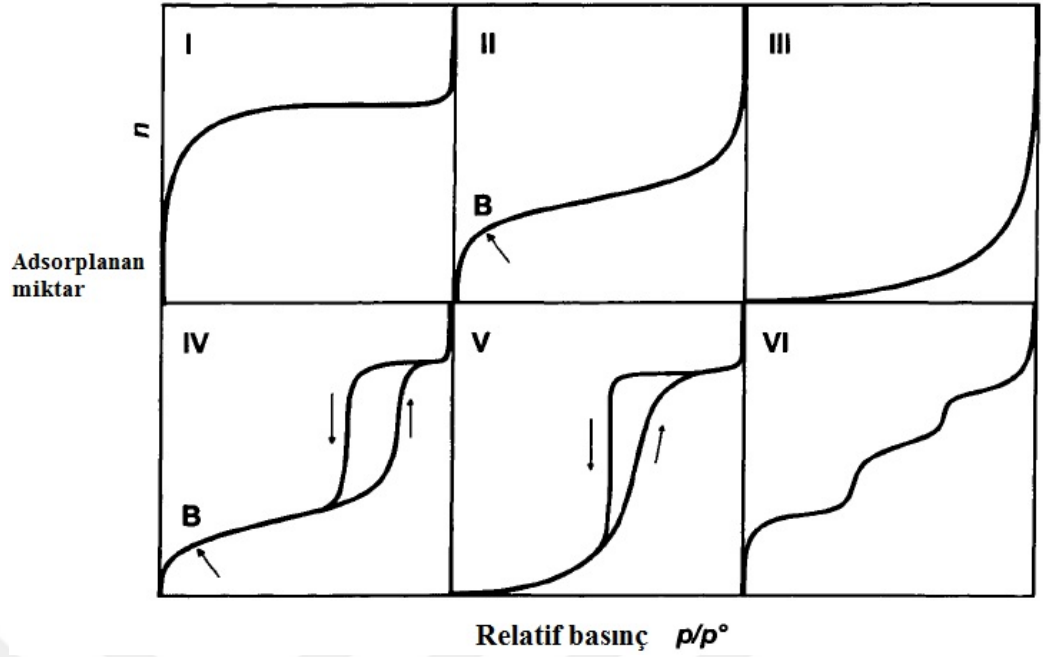
B = adsorpsiyon enerjisi ile ilgili izoterm sabiti

$(x / m)^0$ = tek tabakanın adsorpsiyon kapasitesi (mg/g) (Weber, 1972)

5.2.4 Katı-gaz fizisorpsiyonu ve izoterm eğrileri

Katı-gaz fizisorpsiyonu uygulamaları sayesinde bir adsorbentin yüzey alanı, hangi yapıda ve ne hacimde gözenekler içerdiği tespit edilebilmektedir.

Fizisorpsiyonlardan elde edilmiş ve IUPAC tarafından gruplandırılmış, altı farklı tipte izoterm bulunmaktadır. Bu izoterm eğrileri Şekil 5.4'te görülmektedir.



Şekil 5.4 Katı-gaz fizosorpsiyon izoterm eğrileri (Rouquerol, 1999).

Tip 1 izoterm eğrileri relatif basınç eksenine konkavdır. Eğri, düşük relatif basınçlarda keskin olarak yükselir ve ilerledikçe bir düzlüğe ulaşır. Bu düzlük, adsorplanabilen maksimum miktarı belirtir ve relatif basınç p/p^0 değeri 1'e yaklaştıkça miktar limite doğru gider. Bu izoterm eğrisinde, artırılmış adsorbent-adsorbat etkileşimleri sonucu adsorpsiyon, mikro gözeneklerde gerçekleşir. Mikro gözeneklerin genişliğindeki bir daralma hem adsorpsiyon enerjisinin artmasına hem de mikro gözeneklerin dolduğu alanlarda relatif basıncın düşmesine neden olur. Relatif basıncın düzlüğe ulaştığı noktaya kadarki dar alan, adsorbentin sınırlı oranda gözeneğe sahip olduğunu gösterir. Düzlüğün yer aldığı kısımlar ise adsorpsiyon yapamamış çok az bir dış yüzeyin kaldığını belirtir. Adsorpsiyonun limite gidişi, henüz dolmamış sınırlı sayıdaki mikro gözeneklere bağlıdır.

Tip 2 izoterm eğrileri relatif basınç eksenine önce konkav, sonra düze yakın, ardından ise konvekstir. Bu durum, p/p^0 değeri 1'e yaklaştıkça, adsorplanan tabakanın kalınlığının kademeli olarak attığını gösterir. Denge basıncı, doyumluk buhar basıncına eşit olduğunda, adsorplanan tabaka sıvı ya da katı hale gelir. Eğer izoterm diz kısmı keskinse, B noktasında (düzleşen kısmın başlangıç noktası) monomoleküler (tek tabakalı) adsorpsiyonun artık tamamlandığını ve multimoleküler (çok tabakalı) adsorpsiyonun başladığını gösterir. B noktasının ordinat değeri, tek tabakalı adsorpsiyonun tüm yüzeyi kaplaması için gereken yaklaşık adsorbat miktarını gösterir. Tip 2 izotermi, gözenekli olmayan ya da

makro gözenekli adsorbentlerin kullanıldığı adsorpsiyonları gösterir. Eğer adsorbentin sıcaklığı, normal kaynama noktasında ya da altındaysa, adsorpsiyon-desorpsiyon dengesi kolaylıkla kurulabilir. Normal bir tek tabakalı – çok tabakalı adsorpsiyon sisteminin kurulabilmesi için tersine çevrilebilir adsorpsiyon-desorpsiyon izoterminin bulunması ilk ve en önemli koşuldur.

Tip 3 izoterm eğrileri, tüm değerler boyunca, relatif basınç eksenine konvektir. Bu nedenle bir “B noktası” bulunmamaktadır. Bu izoterm, zayıf bir adsorbent-adsorbat etkileşimini gösteren tipik bir eğridir. Gerçek tip 3 izotermi pek yaygın değildir.

Tip 4 izoterm eğrilerinin iç bölgeleri tip 2 izoterm eğrileriyle yakından ilişkilidir. Tip 4 eğrilerinde, eğrinin ortasındaki düz bölgeye ulaşmak için daha yüksek p/p^0 değeri gerekir. Tip 4’te histerisiz döngüsü görülür. İzoterm eğrisinin alt dalı, adsorbente gazın sürekli eklenmesiyle oluşan kısmı oluştururken, üst dal ise gazın sürekli geri çekilmesiyle oluşan geri dönüş çizgisini gösterir. Histerisiz döngüleri genellikle mezo gözeneklerin kapılar kondenzasyon ile dolup boşalmasıyla ilişkilendirilir. Tip 4 izotermi genelde yaygındır fakat histerisiz döngülerinin şekilleri sistemden sisteme değişir.

Tip 5 izoterm eğrileri p/p^0 eksenine konveks olup yüksek relatif basınçlarda eğri yükselmektedir. Tip 3 izotermi olduğu gibi, bu izoterm zayıf adsorbent-adsorbat etkileşimini gösterir. Tip 5 izotermi de histerisiz döngüsü görülür. Buradaki döngü, gözeneklerin dolup boşalma mekanizmasıyla ilişkilendirilir. Bu tip izoterm çok nadir görülür.

Tip 6 izotermi, ya da basamaklı izoterm de çok nadir görülür ve yüksek derecede düzgün yüzeylerin katman katman adsorpsiyonu ifade eder. Basamaklardaki keskinlikler sisteme ve sıcaklığa bağlıdır (Rouquerol, 1999).

6. PONZA TAŞI

6.1 Ponzanın Tanımı ve Tarihçesi

Ponza terimi İtalyanca bir sözcüktür. Değişik dillerde farklı olarak adlandırılır. Fransızca'da Ponce, İngilizce'de orta taneli olanlara Pumice, doğal olarak ince taneli olanlara Pumicite denmektedir. Almanca'da ise iri taneli olanlara Bimstein, küçük taneli olanlara Bims adı verilmektedir. Türkçe'de ise süngertaşı, nasırtaşı, topuktaşı, haşırtaşı, kisir gibi adlarla anılmaktadır (Özkan ve Tuncer, 2001).

Ponza, kızgın haldeki magmanın içerdiği gazların ani soğuma esnasında ana kütlede ayrılmamasıyla oluşan çok gözenekli, camsı yapıda volkanik bir taştır. Yapısal olarak değişik boylarda, delikli, kabarcıklı, bazen özgül ağırlıkları sudan daha az olduğu için su içerisinde yüzebilen kayalardır. İçerdiği gözenekler göz ile görülebilecek boyutlardan mikroskobik boyutlara kadar sayısız olup, çoğunlukla birbirleri ile bağlantılı değildir ve her biri camsı bir zarla yalıtılmıştır. Bu yüzden hafif ve ısı yalıtımı yüksek bir kayadır (Sapçı ve Üstün, 2003).



Şekil 6.1 Ponza taşının görünümü (VF Ege, 2008)

Ponza ilk olarak hristiyanlıktan çok önce Yunanlılar ve daha sonra da Romalılar tarafından kullanılmıştır. Eski Yunanlılar ve Romalıların görkemli yapılarının birçoğunda hala gözlemlenebilmektedir. Roma duvarlarının inşaatında, su kanallarında ve daha pek çok anıtsal yapılarda kullanılmıştır. Kalıplaştırılmış ponza A.B.D. Kaliforniya'da 1851 yılından beri inşaatlarda kullanılmaktadır. Bu tarihten 1963 yılına kadar A.B.D.'deki ponza endüstrisi 15 eyalette 103 işletmeye kadar genişlemiştir. A.B.D.'de ponza yerli inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen diğer ülkelere nazaran geri kalmıştır. Almanya'da 1980 yılından önce önemli bir ponza üretimi söz konusuysen son yıllarda üretimde

önemli düşüşler görülmüştür. Mevcut tek yataktan üretilen ponza sadece inşaat sektöründe kullanılmakta olup yeterli olmaması sebebiyle diğer alanlarda kullanılan ponza ile birlikte ithalata gidilmiştir (Özkan ve Tuncer, 2001).

Volkanik olaylar sonucu oluşmuş ve boşluklu, süngerimsi bir yapıya sahip olan ponza taşı oluşumları, volkanik faaliyetlerin bulunduğu dünyanın birçok bölgesinde bulunmaktadır. Ülkemiz, bu kayaç oluşumu ve ekonomik olarak değerlendirilebilirlik bakımından, dünyada önemli bir yere sahiptir. Özellikle Orta Anadolu ve Doğu Anadolu'nun bazı illerinde, oldukça geniş ponza oluşumlarına rastlamak mümkündür. Bu iller arasında, Kayseri, Nevşehir, Niğde ve Van, önemli bir yeri oluşturmaktadır. Diğer taraftan dünyanın farklı ülkelerinde de, benzer ponza oluşumlarına rastlanmaktadır. Özellikle Yunanistan, İtalya, Endonezya ve Çin, bu ülkelerin başında yer almaktadır. Ancak, bu ülkelerde oluşumu bulunan ponza, ülkemizde ekonomik olarak değerlendirilebilen ponza oluşumlarına karşın teknik olarak mukayese edildiğinde bir takım farklılıklar görülmektedir. Özellikle, ponzanın kullanım yerine bağlı olarak istenilen teknik özellikleri açısından irdelendiğinde, ülkemizde bulunan ponza oluşumlarının avantaj ve dezavantajlarının bilinmesi ve dünyadaki diğer ponza oluşumları ile olan kalite değerlendirmesi, önemli bir inceleme ve irdeleme konusu olmaktadır. (Gündüz vd., 2001).

6.2 Ponzanın Oluşum Evreleri

Ponza taşı, temel olarak volkanik aktiviteler sonucunda lavların soğuması anında oluşur.

Asidik magma bazik magmaya nazaran daha viskozdur ve yüksek silis içerir. Bazik magmanın sıvı olduğu sıcaklıklarda asidik magma katı halde bulunur. Bu nedenle volkanik aktivitenin durduğu zamanlarda magma akışı da durarak asidik kayaç ve kütleler oluşur. Volkanik baca içinde tıkanma sonucu doğal basınç birikimleri oluşur. Bu olay bir volkanın genel aktivite karakteristiğini sergiler. Basıncın artmasıyla asidik malzeme ile birlikte magmadaki erimiş gazlar büyük patlamalar şeklinde bacadan püskürmeye başlar. Ani basınç düşüşü genişlemeye ve bünyedeki uçucu bileşenlerin ani olarak kaçmasına neden olur. Uçucuları takiben, arkada kalan erimiş küresel parçalar, atmosferle temas eder etmez hızla soğurlar. Böylelikle ponza oluşur ve volkan aktivitesi sonrasında genellikle volkan krateri zamanla bir krater gölü şekline dönüşebilmektedir. Burada ponza oluşumuna etki eden faktörler;

- Püskürme süresi,
- Ara süreler,
- Magmanın ısısı,
- Magmadaki erimiş gaz miktarı,
- Püsküren malzemenin soğuma zamanıdır.

Bu oluşan ponza parçaları volkan bacalarının yakınından itibaren uzaklara doğru hava akımının da etkisiyle, eski yüzey şekline uygun olarak depolanır. Bu durumdaki ponza yatakları oluşmuş olup, bu yataklar zamanla akarsular tarafından taşınarak uygun havzalarda depolanabilir (Özkan ve Tuncer, 2001).

6.3 Ponzanın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Ponza taşı fiziksel olarak incelendiğinde gözenekli yapıya sahip olduğu ve nispeten hafif bir taş olduğu görülmektedir. İçerdiği gözenekler matris yapı oluşturmuştur ve genellikle birbirleriyle bağlantı kurmazlar. Gözenek boyutları çok değişken olup mikro gözenek boyutundan makro gözenek boyutuna kadar geniş bir yelpazeye sahiptir. Sertliği Mohs ölçeğine göre 5-6'dır (Özkan ve Tuncer, 2001).

Kimyasal olarak incelendiğinde, ponza taşının %75'e varan oranda silis içerdiği gözlemlenmektedir. Ponzanın kimyasal yapısı Çizelge 6.1'de görülmektedir:

Çizelge 6.1 Ponzanın genel kimyasal bileşimi (Özkan ve Tuncer, 2001)

Bileşen	• içerik (%)
SiO ₂	60-75
Al ₂ O ₃	13-15
Fe ₂ O ₃	1-3
CaO	1-2
MgO	1-2
Na ₂ O+K ₂ O	7-8
TiO ₂	Eser
SO ₂	Eser
Cl	Eser

Kayacın içerdiği SiO_2 oranı, kayaca aşındırıcı özellik kazandırmaktadır. Bu yüzden çeliği bile rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergileyebilir. Al_2O_3 bileşimi ise ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırır. Na_2O ve K_2O tekstil sanayiinde reaksiyon özellikleri veren bileşimler olarak bilinmektedir. Fe_2O_3 ponzanın sertliğini düşürür. Tuf ve yabancı maddelerin ponza bünyesine girmesi ise kaliteyi düşürür (Gündüz vd., 2001).

Doğada asidik ve volkanik faaliyetler neticesinde iki tür ponza gözlenmektedir. Bunlar, asidik ponza ve bazik ponzadır. Asidik ponza beyaz ve kirlili beyaz renktedir. Mohs skalasına göre sertliği 5-6 olup, yoğunluğu $0,5-1 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Bazik ponza ise kahverengi veya siyah renkte olup daha ağırdır. Sertliği 5-6, yoğunluğu $1-2 \text{ gr/cm}^3$ 'tür (Özkan ve Tuncer, 2001).

6.4 Ponzanın Sınıflandırılması

Ponzanın kayaç oluşum şekline bağlı olarak birçok farklı tipte sınıflandırma yapmak mümkündür. Başlıca sınıflandırma tipleri şunlardır:

- Mineralojik sınıflama
- Kimyasal sınıflama
- Dokusal sınıflama
- Doğada bulunuş şekillerine göre sınıflama,
- Renk indisine göre sınıflama
- Feldspat indisine göre sınıflama

Burada, ponza oluşumlarının nitelik olarak incelenmesinde en yaygın olarak kullanılanı, "kimyasal sınıflama" şeklindedir. Bu sınıflandırma, kayacın kimyasal yöntemlerle analizi sonucu elde edilen elementlere dayanarak yapılmaktadır (Özkan ve Tuncer, 2001).

Bir kayacın kimyasal analizi, çeşitli oksitlerin yüzde oranlarını ifade eder. Bunlar SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 gibi oksitlerdir. Bu oksit elementlere kayacın "majör elementleri" denilmektedir. Bu oksit elementlere dayanılarak, çeşitli araştırmacılar

tarafından farklı tip sınıflandırmalar geliştirilmiştir. Bunların en yaygın olarak bilineni, SiO₂ içeriğine göre olan sınıflandırmadır. Bu sınıflamada esas olarak irdelenen, kayaç yapısındaki silika içeriğidir. Magmadan oluşmuş kayaçlarda SiO₂ oranı %35 - %80 arasında değişim göstermektedir (Özkan ve Tuncer, 2001).

SiO₂ içeriğine ponzaların sınıflandırılması şu şekildedir:

- %66'dan fazla SiO₂ içeren kayaçlar - asidik ponza
- %66 - 52 SiO₂ içeren, kayaçlar - nötr ponza
- %52 - 45 SiO₂ içeren kayaçlar - bazik ponza

Endüstride daha çok asidik ve bazik ponzalar tercih edilir. Her iki tür de, oluşum esnasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani olarak terk etmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmıştır. Ancak, asidik magmanın yoğunluğu bazik magmaya göre daha düşük olup, ponzanın yoğunluğu yaklaşık 0,5-1 gr/cm³ civarındadır. Silisyum, alüminyum, potasyum ve sodyum ihtiva eden ve bu bileşimler nedeniyle de açık renkli görünüm sergilemektedirler. Asidik ve bazik özellikler taşıyan ponzaların tipik kimyasal bileşimlerine Çizelge 6.2'de yer verilmiştir.

Çizelge 6.2 Asidik ve bazik ponzanın kimyasal bileşimlerinin karşılaştırılması (Özkan ve Tuncer, 2001).

Bileşen (%)	Asidik Pz.	Bazik Pz.
SiO ₂	70	45
Al ₂ O ₃	14	21
FeA	2.5	7
CaO	0.9	11
MgO	0.6	7
Na ₂ O+K ₂ O	9	8
Ateş Kaybı	3	1

6.5 Ponzanın Kullanım Alanları

Ponza oluşumlarının, farklı endüstri alanlarında kullanım kriterlerin belirleyen en önemli faktörlerin başında, malzemenin makro yapısında bulunan boşluk durumu ve malzemenin doluluğu gelmektedir. Malzemenin doluluğu, o

malzemenin boşluklu birim hacim ağırlığı ile boşluksuz birim hacim ağırlığı arasındaki oran ile belirlenmektedir. Boşluk ise, malzemenin dolu kısmının dışında kalan değer in yüzde (%) olarak ifadesidir. Malzemede boşluk oranı arttıkça, malzemenin mukavemetinde düşme, ısı yutuculuk değerlerinde ise artma görülmektedir. Malzeme boşluklarının devamlılığı halinde su ve buhar geçirimsizlik değeri de artmaktadır. Bu sebeple, malzemenin donmaya karşı mukavemeti de azalmaktadır. Ponzanın, malzeme karakteristiği açısından bu anlamda irdelenmesi için öncelikle malzeme iç yapısının, boşluk oranı ve boşluk geometrilerinin analizi yapılmalıdır (Gündüz vd., 2001).

Yapısal özellikleri analiz edilmiş ve sınıflandırılmış ponzalar endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Başlıca kullanıldığı sektörler şunlardır:

- İnşaat
- Tekstil
- Tarım
- Kimya
- Diğer endüstriyel alanlar (Özkan ve Tuncer, 2001).

6.5.1 İnşaat sektöründe ponza kullanımı

Ponza, ülkemizde ve pekçok Avrupa ülkesinde yaygın olarak hafif yapı elemanı üretiminde kullanılmaktadır. Hafif tuğlalar, bloklar, asmolenler, paneller ve diğer kullanım şekilleri inşaatta kullanılan harç ve inşaat demirinden tasarruf sağladığı gibi inşaatlarda önemli oranda ısı ve ses izolasyonu sağlamaktadır. Ayrıca yangına dayanıklılık açısından da normal betona kıyasla %20'ye varan oranda daha emniyetli olduğu kabul edilmektedir. Bunun yanında hafif yapı elemanı nakliyesi daha kolaydır. Ponzalı betonun normal betona kıyasla önemli bir avantajı da deprem yüklerine karşı daha elastik davranış gösterebilmesidir. Ayrıca ponzalı beton ve yapı elemanları dondan etkilenmemektedir (Özkan ve Tuncer, 2001).

6.5.2 Tekstil sektöründe ponza kullanımı

Tekstil sektörü, günümüzde ülkemiz endüstrisinde en önemli paya sahip sektör olma konumuna gelmiştir. Tekstil sektörünün bazı dallarında ponza, aranılan ve azımsanmayacak miktarlarda tüketilen önemli girdi hammaddelerinden biri olmuştur. Yaygın olarak denim taşlama olarak bilinen bu işlemde denim kumaşlarının renklerinin açılması (ağartılması) ve kumaşın yumuşatılması yapılmaktadır. Bu sektörde pomzanın belirli fizikokimyasal özellikleri taşıması aranır. Bu özellikler şu şekildedir;

- Ponza orta sertlikte olmalı ve kırılmadan ezilmelidir.
- Mineralojik yapısında ponzadan sert mineral olmamalıdır (kumaşı çizmemelidir).
- Yabancı madde içermemeli, kimyasal yapısında içerdiği FeO, K₂O ve Na₂O miktarları istenilen limitlerde olmalıdır (kumaşı boyamamalıdır).
- Kuru, yüksek poroziteli ve yuvarlatılmış olmalıdır.
- Kullanılan pomzanın kalitesi standart olmalıdır.
- Beyaz renkte ve suda belirli süre yüzme kabiliyetine sahip olmalıdır (Özkan ve Tuncer, 2001).

6.5.3 Tarım sektöründe ponza kullanımı

Ponza gelişmiş ülkelerin çoğunda tarımda kuraklığa çare olarak başvurulan seçeneklerden bir tanesidir. Bünyesine aldığı suyu uzun müddet muhafaza ederek sürekli olarak nemli bir ortamın oluşmasını temin ettiğinden kuraklığa çare olarak kısmi bir çözüm getirirse de yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Sıcak iklimli bölgelerde sulama suyunun aşırı buharlaşmasından kaynaklanan su kaybının önüne geçilebilmesi için toprağın altında belirli bir derinlikte ve belirli bir kalınlıkta serilen ponza tabakası içerisine (yastıklama), toprak altından su vererek, bitkilerin ihtiyacı olan suyun direkt olarak köklere ulaşması sağlanmakta ve buharlaşmadan kaynaklanan su kaybının önüne

geçilmektedir. Öte yandan sıvı gübre kullanımı söz konusu olduğunda ponza gübre kaybını minimuma indirdiği gibi yeraltı su kaynaklarının kirlenmesinin de önüne geçmektedir (Özkan ve Tuncer, 2001).

6.5.4 Kimya sektöründe ponza kullanımı

Günümüzde ponza aşağıda sunulan kimya endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır

- Tarım ilaçları ve kibritle sanayiinde taşıyıcı olarak
- Gübre sanayiinde gübrenin topaklaşmasının önlenmesinde antikek maddesi olarak
- Diş macunlarında ve dişçilikte parlatma keki ve tozu olarak
- Temizlik ve deterjan sanayiinde katkı malzemesi olarak
- Özel tip boyalarda (akustik ve yalıtımlı boyalarda, pürüzlü duvar kaplamalarında, trafik boyalarında, kaymaz tip boyalarda) katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Özkan ve Tuncer, 2001).

7. YAPILAN BENZER ÇALIŞMALAR

Bu tezde yapılmış çalışmaya benzer geçmişte yapılmış bazı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların özetleri şöyledir:

Akbal tarafından yapılmış çalışmada, toz haline getirilmiş ponza taşlarının, sulu çözeltide yer alan bazik boyarmaddeleri adsorpsiyon yoluyla tutması araştırılmıştır. Çalışmada, metilen mavisi ve kristal viyolenin sulu çözeltilerinden ponza tozlarıyla adsorpsiyonu incelenmiştir. Çalışma sırasında sonuca etki edecek parametreler olarak, çözeltinin karıştırılma süresi, adsorbent dozajı ve boyarmadde konsantrasyonu seçilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, ponza tozlarının, metilen mavisi maddesinde olduğu gibi, sulu çözeltide yer alan kristal viyolenin de tutulmasında etkin olarak rol oynadığı gözlemlenmiştir. Adsorplama yüzdesinin, artan boyar madde derişimi ile azaldığı, adsorbent miktarı ile ise arttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile ponza taşlarının, sulu çözeltilerde yer alan boyarmaddelerin adsorplanması amacıyla ucuz ve etkili bir madde olarak kullanılabileceği belirlenmiştir (Akbal, 2005).

Sapçı ve Üstün tarafından yapılan çalışmada, denim ürün yıkama işletmesinde kullanılmış olan atık ponza taşlarıyla, poliester boyamacılığı yapılan bir firmanın tekstil atık sularındaki KOİ değerlerinin düşürülmesi ve atık su renginin iyileştirilmesi incelenmiştir. Çalışma sırasında, arıtma işlemlerinde ponza taşının yanı sıra $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve FeSO_4 gibi kimyasallar da kullanılmış ve farklı konsantrasyonlarının renk giderme ve KOİ'ye etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneylerde ponza taşlarının belirli bir adsorpsiyon kapasitesi ve KOİ azaltma yeteneğinin olduğu, arıtmada kullanılan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve FeSO_4 gibi kimyasalların ortama ilavesiyle de adsorpsiyon kapasitesinin arttığı ve KOİ değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir (Sapçı ve Üstün, 2003).

Veliev ve arkadaşları tarafından yürütülmüş çalışmada, sulu çözelti içinde bulunan reaktif azo boyarmaddelerinin ponza taşları tarafından adsorpsiyonu incelenmiştir. Bu çalışmada, çözeltideki boyarmadde konsantrasyonu, çözeltinin karıştırılması ve çözeltiliye eklenecek adsorbent miktarının etkileri değişken parametreler olarak seçilmiştir. Ponza taşlarının boyarmadde için denge adsorpsiyonu kapasitesi, lineer Freundlich izotermi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, ponza taşlarının atık sulardan boyarmadde adsorpsiyonu için uygun bir adsorbent olduğu gözlemlenmiştir. Adsorpsiyon mekanizmasının açıklanmasında ise bir difüzyon mekanizması

uygulanmış olup, hesaplamalar, katı difüzyon yeteneği (Ds) ve dış katı kütle transferi katsayısı (kf) için yapılmıştır (Veliev vd., 2006)

Başbuğ tarafından gerçekleştirilmiş çalışmada ise, sulu çözeltide ve tekstil atık sularında yer alan boyarmaddelerin bentonit ve ponza taşı ile adsorpsiyonu incelenmiştir. Adsorpsiyon çalışmalarında, ponza ham halde ve bir katyonik yüzey aktif madde olan CDBA (setildimetilbenzilamonyumklorür) ile muamele edilerek kullanılmıştır. Çalışmada, pH'ın, temas süresinin, başlangıç boyarmadde konsantrasyonunun ve sıcaklığın adsorpsiyon üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda ponza numunelerinin pH düştükçe daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiş ve optimum değer pH 1,7 olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, ponza ile temas süresi arttıkça adsorpsiyonun arttığı ve optimum temas süresinin 60 dk olduğu gözlemlenmiştir. Denemelerde, düşük sıcaklığın ponzanın adsorpsiyonu için ideal olduğu ve sıcaklık artışının ponzanın adsorpsiyon kapasitesini artırmadığı belirlenmiştir. Ponza için en yüksek adsorpsiyonun olduğu sıcaklık 20°C bulunmuştur. Ayrıca ponza miktarının artışının boyarmaddenin adsorpsiyonunu artırdığı da gözlemlenmiştir. (Başbuğ, 2008)

Bu çalışmada, denim ürün yıkama işletmesinin atık su arıtma tesisinin son kısmına kurulacak bir adsorpsiyon kolonunda, adsorbent olarak denim yıkamada kullanılmış atık ponza taşının kullanılması, buna bağlı olarak atık suyun daha etkin arıtılması ve bunun sonucunda atık suyun geri kazanımı amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, katı atık haline gelmiş bir materyalin, işletmeye ait diğer bir atığın (atık su) temizlenmesinde kullanılarak katı atık değerlendirilmesi yapılması; bunun sonucu olarak da hem daha temiz atık su elde edilmesi hem de temizlenen suyun geri kazanımı yoluyla kaynak kullanımının azaltılması sağlanmıştır.

8. MATERYAL VE YÖNTEM

8.1 Materyal

8.1.1 Ponza taşı

Deneyisel çalışmalarda, ‘‘Soylu Endüstriyel Mineraller’’ şirketinden temin edilen tek tip ponza taşı kullanılmıştır. Kullanılan ponza taşı Nevşehir’de bulunan maden yataklarından çıkarılmıştır. Bu taşlar, denim taşlama işleminin uygulandığı ‘‘VF Ege Giyim Sanayi ve Ticaret Ltd. Şirketi’’ nde denim taşlamada kullanılmış ve atık haline geldikten sonra deneyisel çalışmalarda yer almıştır.

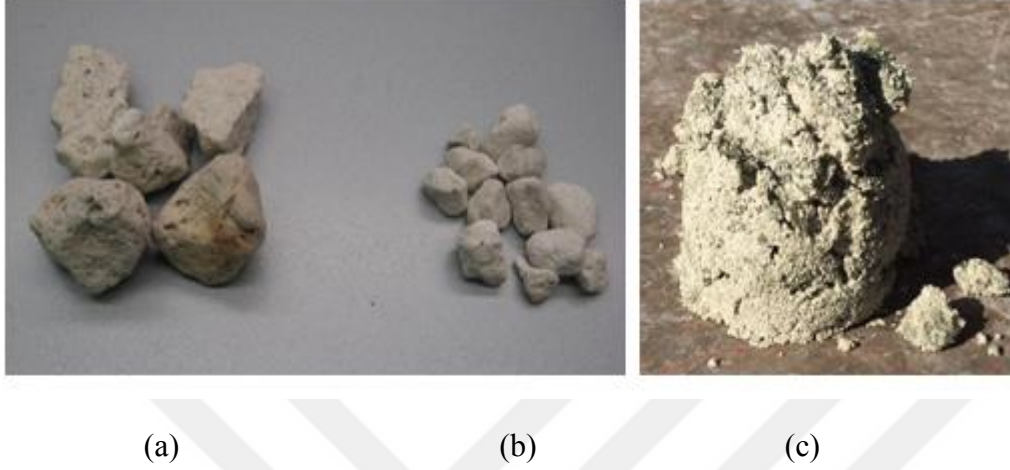
Kullanılan ponzalar normal şartlarda 1-2 cm yada 3-4 cm boyutundadır. Denemelerde kullanılan ponza taşları ise, denim taşlama işlemine giren ve bu işlem sırasında tekrar kullanılamayacak duruma gelen taşlar olup tümünün çapı birbirine (ortalama 0,3-0,5 cm) yakındır.

Denim yıkamada kullanılmış ve atık haline gelmiş ponza taşları, adsorpsiyon etkinliğini artırmak için bir öğütücüde, literatür taramalarının ışığında belirlenen çaplarda öğütülmüştür. Öğütüldükten sonra elek yardımıyla belirli çaplarda sınıflandırılmışlardır. Belirlenen çap aralığı;

1. Çap < 100 µm
2. 100 µm < Çap < 595 µm
3. Çap > 595 µm’dir.

Yapılan ön çalışmalarda (bkz. Bölüm 9.1.1.1.) , 100 µm’den küçük çaptaki ponzaların sistemi tıkadığı, 595 µm’den büyük çaptaki ponzaların ise adsorpsiyonla arıtma etkinliğinin olmadığı görülmüş, buna bağlı olarak da tüm deneylerde 100-595 µm çap aralığında, öğütülmüş ponza taşları kullanılmıştır.

Taşlar 70°C’de 1 gün boyunca kurutulduktan sonra denemelerde kullanılmıştır. Şekil 8-1’de denim yıkamada kullanılan ham ve adsorpsiyon denemelerin de kullanılmış-öğütülmüş ponza taşları görülmektedir.



Şekil 12.1 Denim taşlamada kullanılan 3-4 cm (a), 1-2 cm (b) ve öğütülmüş haldeki (c) ponza taşları

8.1.2 Atık su

Deneysel çalışmalarda kullanılan atık su, VF Ege Giyim Sanayi’nden temin edilmiştir. Firmada, denim ürün konfeksiyonu yapılırken aynı zamanda denim ürün yıkama işlemleri de gerçekleştirilmektedir. Yapılan yıkama işlemlerinin bazıları rins yıkama, taşlama, ağartma, boyama, nötralizasyon ve yumuşatmadır.

Yıkama işlemlerinde kullanıldıktan sonra atık haline gelen su, hem kumaştan hem de yıkama işlemlerinde kullanılan kimyasallardan kaynaklı olarak çok farklı maddeler içermektedir. Bu maddelerin bazıları nişasta, yağsı ve mumsu maddeler, indigo ve direk boyarmaddeler, uzun hidrokarbon zincirli yıkama maddeleri, asitler ve bazlardır ve atık sudaki konsantrasyonları günlük yıkama rejimine göre sıkça değişmektedir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan atık su, dinlendirme havuzu çıkışı, kimyasal arıtma sonu çıkış ve biyolojik arıtma sonu çıkış bölgelerinden temin edilmiştir.

8.1.3 Kimyasallar

Atık suyun geri kazanım çalışmaları sırasında ve arıtılan atık su ile yapılan yıkama işlemlerinde bazı kimyasallar kullanılmıştır.

Bu amaçlarla kullanılan kimyasallar şunlardır:

- **Dispers Den-KA:** Kristal Kimya'ya ait sülfonat esaslı dispergatördür.
- **Sodyum Hipoklorit:** Atılğan Kimya'dan temin edilen ve 150gr/l aktif klor içeren sodyum hipoklorittir.
- **Sitrik Asit:** Atılğan Kimya'dan temin edilen %100 saflıktaki sitrik asittir.
- **VF Softener:** VF firması için üretilen katyonik (kuarterner amonyum) payet yumuşatıcıdır.
- **Roge Con Mex:** Dystar'dan temin edilen hidroksi amonyum sülfattır. Potasyum permanganat ve sodyum hipokloritin nötralizasyonunda kullanılır.
- **Lavacell NG Cold:** Dystar'dan temin edilen ve taş yıkama işlemlerinde kullanılan nötral selülaz enzimidir.
- **Celsoft CR:** Alfa Kimya'dan temin edilen ve biopolish (tüy giderme) işlemlerinde kullanılan nötral selülaz enzimidir.
- **Dng Fix R:** Denge Kimya'dan temin edilen katyonik esaslı indigo boyarmadde fiksatörüdür.
- **Densoft CLS New:** Denge Kimya'dan temin edilen mikro silikon esaslı yumuşatıcıdır.
- **Elam NH4:** Garmon Kimya'dan temin edilen makro silikon esaslı yumuşatıcıdır.

8.1.4 Ekipmanlar

Bu grupta yer alan ekipmanlar, atık ponza taşı ile yapılan adsorpsiyon deneylerinde ve ardından yapılan bazı analizlerde kullanılmıştır. Bunlar:

- **Bıçaklı öğütücü:** Atık ponza taşlarının istenen çapa kadar ufaltılmasında kullanılmıştır.
- **Büyük pleksiglas kolon:** 80 mm çapında, 5 mm et kalınlığında ve 670 mm yüksekliğinde olup, proje ekibi tarafından tasarlanmış ve pilot ölçekli denemelerde kullanılmıştır.
- **Küçük cam kolonlar:** 1 ve 1,5 cm çapında olup, atık suyun arıtılmasında, parametrelerin belirlenmesi amacıyla yapılan ön denemelerde kullanılmıştır.
- **pH metre ve iletkenlik ölçer:** WTW marka olup çözeltilerin pH ve iletkenliklerini ölçmede kullanılmıştır.
- **Elektronik hassas terazi:** Ohaus marka olup tartımlarda kullanılmıştır.
- **Peristaltik pompa (1):** Watson-Marlow marka 120S/DV model olup, laboratuvar ölçekli denemelerde kullanılmıştır.
- **Peristaltik pompa (2):** ISMATEC marka, REGLO ANALOG ISM830 model olup, orta etkinliktedir. Atık suyun kolona basınçla pompalanmasında kullanılmıştır.
- **Fraksiyon kollektörü:** Gilson marka, FC203 model olup, küçük kolonla çalışmalarda atık su arıtma örneği almada kullanılmıştır.
- **Spektral fotometre (1):** Hach Lange marka olup çözeltilerden renk ölçümünde kullanılmıştır.
- **Spektral fotometre (2):** Hunterlab marka, Ultra Scan PRO model olup, yıkanmış kumaşların renk değerlerinin ölçülmesinde kullanılmıştır.

8.1.5 Kumaş

Arıtılmış suyun tekrar kullanılması ile ilgili deneysel çalışmalarda, pantolon formunda dikilmiş, tek tip denim kumaş kullanılmıştır. Denim pantolonlar, temiz su ve geri kazanılan su ile yıkandıktan sonra, daha önce belirlenen testler uygulanmıştır.

Söz konusu kumaş, İtalyan Candiani firmasından temin edilmiş olup %98 pamuk + %2 elastan içermektedir. Çözgüsü sadece pamuk içerirken, atkısı pamuk + elastan içermektedir. Terbiye dairesinde, kontinü halat boyama şeklinde indigo boyarmadde ile boyanmıştır.

Dokuma tipi olarak 3/1 sağ dimi uygulanmıştır. Çözgüde 1 cm'de 34 iplik, atkıda 1 cm'de 20 iplik bulunmaktadır. Hem çözgü, hem de atkı iplikleri penye ringtir.

8.2 Yöntem

Tez aşamasında belirlenen ve tez süresince uygulanması planlanan araştırma yöntemleri, üç aşamalı olarak tasarlanmıştır. Belirlenen aşamalar şunlardır:

1. Atık ponza taşının, denim yıkama atık suyunun adsorpsiyonla arıtılmasında kullanılması,
2. Atık ponza taşının özelliklerinin belirlenmesi,
3. Geri kazanılan atık suyun denim yıkamada kullanılması.

Projede uygulanan araştırma yöntemlerinin **birinci aşaması**, iki alt basamaklı olarak planlanmıştır. **Birinci alt basamakta** “laboratuvar ölçeğinde” çalışmalar, **ikinci alt basamakta** ise “büyük ölçekte” çalışmalar yapılmıştır. Hem birinci hem de ikinci alt basamaklarda planlanan çalışmaların detayları deneysel çalışma planında ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

Laboratuvar ölçeğinde yapılan deneylerde, çapı 1-1,5 cm aralığında değişen cam kolonlar kullanılmıştır. Kullanılan atık su, denim yıkama fabrikasının arıtma tesisinden temin edilmiş ve deney planına göre dinlendirme havuzu

çıkışından, kimyasal arıtma çıkışından ve biyolojik arıtma çıkışından atık sulardan seçilmiştir. Büyük ölçekte yapılan çalışmalarda ise çapı 9 cm olan pleksiglas kolon kullanılmıştır. Kullanılan atık su, denim yıkama fabrikasının arıtma tesisinden temin edilmiş ve farklı arıtma havuzlarında yer alan atık sulardan seçilmiştir.

Atık suyun kolona beslenmesi, basınç ayarlı pompa ile sağlanmıştır. Belirlenen pompa basıncı ile kolona beslenen atık su, kolonda yer alan adsorbentlerle belirli süre boyunca temas ettikten sonra kolonun altından süzülüş, belirli sürelerde numuneler alınmış ve KOİ, BOİ gibi farklı atık karakterizasyon özellikleri incelenmiştir. Arıtma etkinliği, bu testlerin sonuçları göz önüne alınarak belirlenmiştir. Birinci aşamanın birinci ve ikinci alt basamaklarına ait deneysel çalışma ortamlarının görüntüleri Şekil 8.2 ve Şekil 8.3'te verilmiştir.



Şekil 12.2 Laboratuvar ölçekli deneysel çalışma alanı



Şekil 12.3 Büyük ölçekli deneysel çalışma alanı

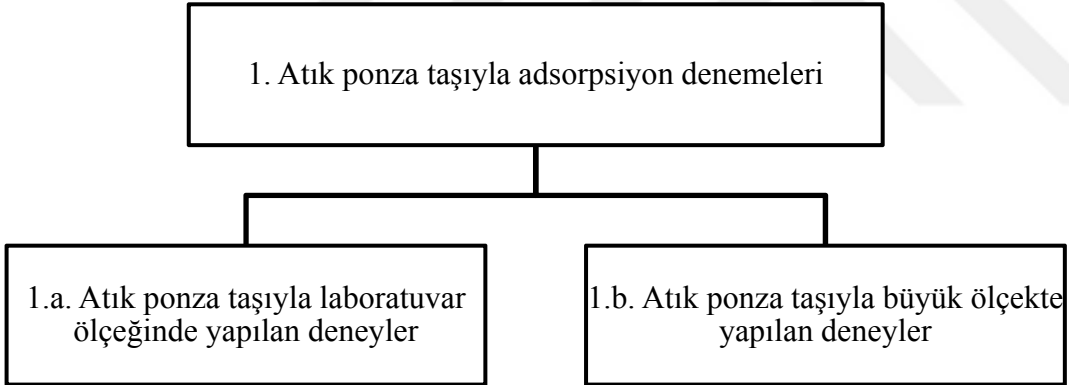
Projede uygulanan araştırma yöntemlerinin **ikinci aşaması**, atık ponza taşlarının özelliklerinin belirlenmesi için yapılan testleri içermektedir. Bu amaçla , atık ponza taşlarının XRD, EDX, SEM ve BET analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak atık ponza taşının morfolojisi ve adsorpsiyon kapasitesi hakkında yorumlar yapılmıştır.

Projede uygulanan araştırma yöntemlerinin **üçüncü aşamasında**, büyük ölçekli denemelerden elde edilen arıtılmış atık suyun, denim yıkamada tekrar kullanım olanakları incelenmiştir. Bu amaçla, arıtılan su, belirli oranda temiz su ile seyreltilerek denim yıkama işlemlerinde tekrar kullanılmıştır. Temizlenmiş atık su ile yıkanan denim pantolonlara, deney planında belirlenen testler uygulanmış ve atık suyla yıkanan pantolonların fiziksel/kimyasal özellikleri incelenmiştir. Elde edilen verilerle atık suyun denim yıkamada tekrar kullanım olanakları hakkında yorumlar yapılmıştır.

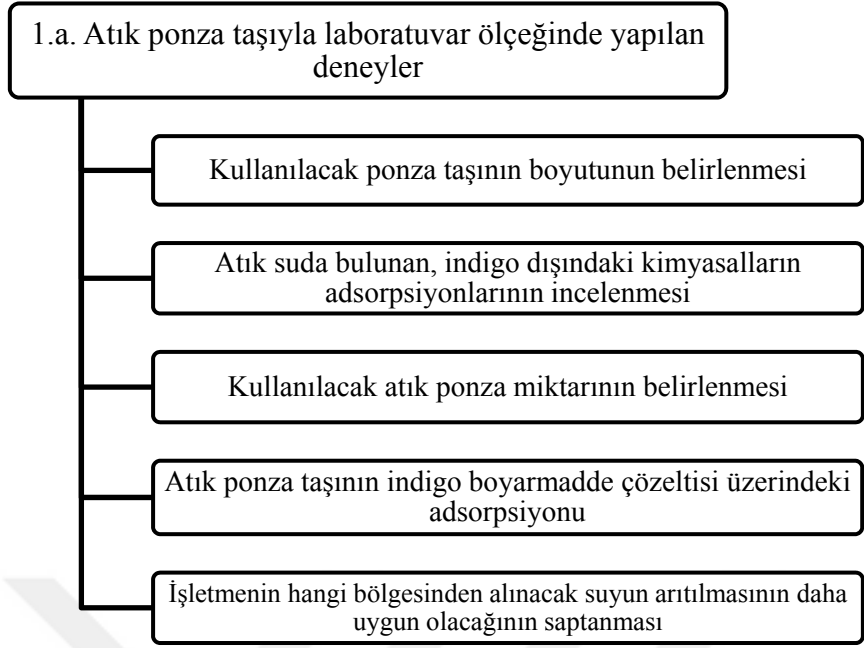
8.2.1 Deneysel çalışma planı



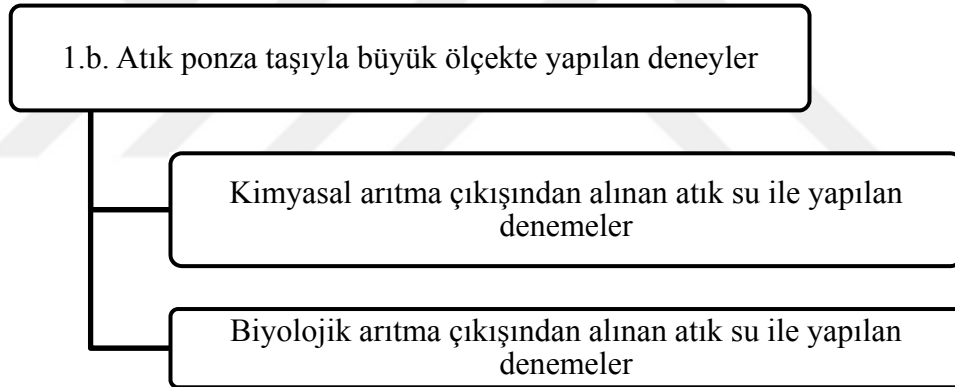
Şekil 12.4 Deneysel çalışma planının temel aşamaları



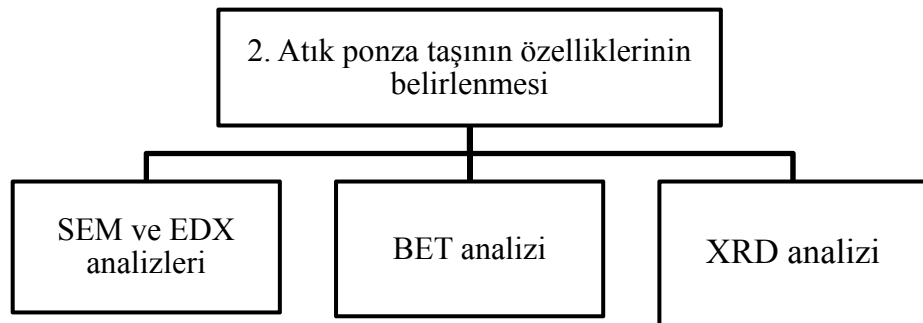
Şekil 12.5 Atık ponza taşının, denim yıkama atık suyunun adsorpsiyonunda kullanılırken uygulanan alt aşamalar



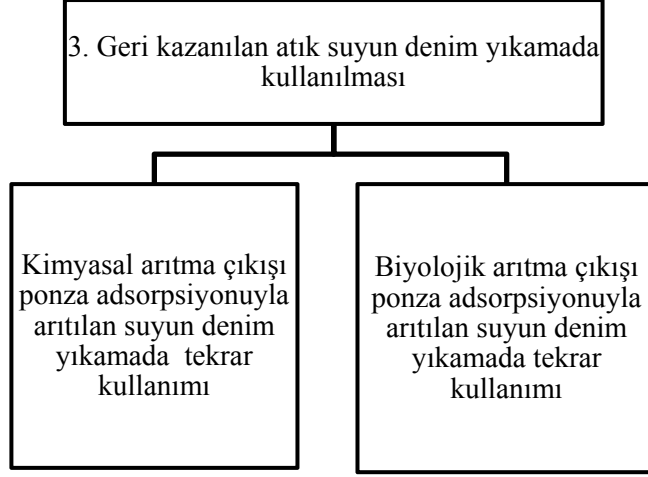
Şekil 12.6 Atık ponza taşıyla laboratuvar ölçeğinde yapılan deneyler



Şekil 12.7 Atık ponza taşıyla büyük ölçekte yapılan deneyler



Şekil 12.8 Atık ponza taşının özelliklerinin belirlenmesi



Şekil 12.9 Geri kazanılan atık suyun denim yıkamada kullanılması

8.2.2 Deneysel çalışmalarda uygulanan yıkama reçeteleri

Arıtılmış suyun etkinliği, atık ve işletme giriş suyu ile yapılan yıkama denemeleri ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile belirlenmiştir. Yıkamalar, Tablo 8-1’de belirtilen şekilde farklı tiplerde seçilmiş ve etkin arıtılan suyun denim yıkama işlemlerinde kullanılabilirliği incelenmiştir.

Çizelge 12.1 Adsorpsiyonla etkin arıtılmış suyla ve işletme giriş suyuyla yapılan yıkama reçeteleri

Yıkama Cinsi	Sıcaklık (°C)	Yıkama Süresi (dk)	Durulama Süresi (dk)	Yıkama Su Miktarı (lt)	Durulama Su Miktarı (lt)
Durulama (Rinse)	50	15	5	100	100
Taşlama	30	30	5	100	100
Boyama (Tint)	60	15	5	100	100
Hipoklorit Ağartması	60	15	10	100	100

Durulama uygulanan yıkamalarda kimyasal kullanılmamıştır. Taşlama uygulanan yıkamalarda sadece yeni ponza taşı (1-2 cm çap) kullanılmıştır. Boyama uygulamasında %0,5 Tubantin Brown GGL direk boyarmaddesi ile beraber 30 gr/l sodyum klorür tuzu kullanılmıştır. Hipoklorit ağartmasında ise 10

gr/l sodyum hipoklorit kullanılıp, nötralizasyonunda %0,5 hidroksil amonyum sülfat kullanılmıştır.

8.2.3 Deneysel çalışmalarda uygulanan testler

Deney planında yer alan testler üç grup olarak yapılmıştır. Birinci grupta yer alan testler, temiz, atık ve geri kazanılmış su numunelerine uygulanırken, ikinci gruptaki testler, geri kazanılmış suyla yıkanan denim pantolonlara, üçüncü gruptakiler ise atık ponza taşına ait uygulanmıştır.

8.2.3.1 Temiz, atık ve geri kazanılmış sulara uygulanan testler

Renk (SM 2120 C:2005): Atık ponza taşının, atık suda yer alan indigo boyarmaddesinin ne kadarının adsorbe edildiğini gösterecek olan parametredir. Pt-Co cinsinden ifade edilir.

AOX miktarı (TS EN ISO 9562): Bu testle beraber atık suyun çevre açısından toksisitesi belirlenmektedir. Çevre kirliliği açısından önemli bir kriterdir. Toplam organik halojen bileşiklerinin miktarını ifade eden parametredir.

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (SM 5220 B): Kimyasal oksijen ihtiyacı atık suların karakterizasyonunda önemli ve çabuk sonuç veren bir parametredir. Atık suda yer alan yükseltgenbilir maddelerin, kimyasal yolla oksitlenebilmesi için gerekli oksijen miktarıdır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca belirlenmiş, denim yıkama atık suları için üst sınır 250 mg/l'dir. Tasarlanan arıtma yöntemi ile KOİ değerinin düşürülmesi hedeflendiğinden, bu testle ne oranda başarılı olduğu belirlenebilir.

Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) (SM 5210 B): Biyolojik oksijen ihtiyacı, atık suların karakterizasyonunda önemli ve çabuk sonuç veren bir parametredir. Atık suda yer alan mikroorganizmaların, atık sudaki organik maddeleri oksitleyebilmesi için gereken çözünmüş oksijen ihtiyacını ifade eder. Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca belirlenmiş, denim yıkama atık suları için üst sınır 50 mg/l'dir. Tasarlanan arıtma yöntemi ile BOİ değerinin düşürülmesi hedeflendiğinden, bu testle ne oranda başarılı olduğu belirlenebilir.

Askıda katı miktarı (SM 2540 D): Denim atık sularında önemli oranda bulunan katı madde, arıtılan suyun tekrar denim yıkamada kullanılması sırasında

olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Bu nedenle arıtma sonunda askıda katı madde miktarının da azaltılması beklenir. Özetle bu parametre suyun tekrar kullanılabilir olup olmadığını değerlendirmede kullanılan bir parametredir.

Toplam çözülmüş katı madde (SM 2540 C): Hem askıda hem de çözülmüş katı maddelerin miktarını gösteren parametredir. İşletmenin atık suyu ve geri kazanılan atık suyun içerdiği toplam katı madde miktarı tayin edilerek su kalitesi hakkında bilgi sahibi olunmaktadır.

pH (ISO 3071-1990): Atık suyun karakterizasyonunda önemli bir parametredir. Arıtılan su tekrar denim yıkamada kullanılacağından, başarılı bir yıkama işlemi için pH'nın bilmesinde fayda vardır.

Bulanıklık (Turbidite) (SM 2130 B): İşletmenin atık suyu ve geri kazanılan suyun bulanıklığı tayin edilerek su kalitesi hakkında bilgi sağlanmaktadır. Geri kazanım için yapılan değerlendirmelerde önemli bir kriterdir. Denim ürün yıkama sonrası, ürünlerin temiz ve parlak görünmesi ancak berrak su ile sağlanabilir.

Yağ ve Gres Miktarı (SM 5520 B): Denim yıkama işlemlerinde sıkça yağ ve ester bazlı kimyasallar kullanılmaktadır. Bu kimyasallar atık su için büyük yük oluşturmaktadır. Bu ürünlerin atık sudaki miktarı, atık suyun geri kazanılabilme özelliklerini etkilemektedir. Geri kazanabilme için yapılacak değerlendirmelerde kullanılan önemli bir parametredir.

Klor Miktarı (SM 4500 Cl B): Denim ürün renk açma işlemlerinde en çok kullanılan hipoklorit, atık suya aktif klor vermektedir. Aktif klor, atık suda zamanla AOX oluşturmakta ve su kalitesini düşürmektedir. Klor miktarı, suyun denim yıkamada geri kullanılabilmesi için yapılacak değerlendirmelerde yer alan önemli bir parametredir.

Sodyum Miktarı (SM 3120 B): Denim ürün yıkama işlemlerinde kullanılan bazı tuzlar ve alkali ağartıcıların katyonu olan sodyum, atık su içinde yük oluşturmaktadır. Sodyum miktarı, suyun denim yıkamada geri kullanılabilmesi için yapılan değerlendirmelerde yer alan bir parametredir.

Amonyum Azotu (SM 4500 NH3-N): Azot, protein sentezinde gerekli bir element olması sebebiyle, biyolojik proseslerle atık suyun arıtılabilirliğini

artırmak için gereklidir. Yetersiz azot bulunduğunda ise arıtım için azot ilavesi gerekebilmektedir. Alıcı su ortamındaki algal büyümelerin kontrolünde ise deşarjdan önce azotun azaltılması veya uzaklaştırılması gereklidir. Atık su kalitesinin belirlenmesinde önemli bir değerlendirme kriteri olarak yer almaktadır.

Sülfür Miktarı (SM 4500 S2- F): Atık suda oluşmuş hidrojen sülfür zamanla, biyolojik olarak sülfürik aside indirgenir ve ardından ortamda sülfür oluşmaya başlar. Sülfür oluşumu ile beraber ortamda korozif etki oluşur ve biyolojik proses bozulmaya başlar. Biyolojik arıtmanın yürütülmesi açısından atık sudaki sülfür miktarının bilinmesi önemlidir.

Sülfid Miktarı (SM 4500 SO32- B): Kükürt, protein sentezi için gereklidir. Atık sudan gelen sülfat iyonları anaerobik koşullar altında hidrojen sülfid oluşturmak için sülfite indirgenir. Atık sudaki sülfid miktarı 200 mg/l'yi geçtiğinde biyolojik proses bozulmaya başlar. Biyolojik arıtmanın yürütülmesi açısından atık sudaki sülfid miktarının belirli bir düzeyin altında olması gereklidir.

8.2.3.2 Geri kazanılmış suyla yıkanan denim pantolonlara uygulanan testler

CIELAb renk değerleri: Denim yıkamada çok önemli bir parametre olan “renk” hakkında fikir vermektedir. Yıkamada kullanılan suyun, denim yıkama sonunda kumaşın rengini nasıl değiştirdiği konusunda fikir verir.

Sürtme haslığı testi (AATCC 8-1989): Temiz işletme suyu ve arıtılmış su ile yıkanmış denim giysilerde kalan boyarmaddenin sürtme haslığı, hem işlemlerin karşılaştırması hem de ürün kalitesi açısından önemlidir. Bu özellik, yıkama sonrasında yapılan durulama sayısı ve süresi bakımından, dolayısıyla da su sarfiyatı açısından önemli bir parametredir.

pH testi (ISO 3071-2015): Yıkanmış denim pantolonların hem diğer işlemler hem de kullanım ve depolama sırasında sararma yaratmaması ve giyim esnasında ciltte kaşıntı yapmaması için pH'nın nötr-hafif asidik olması istenmektedir. Bu özellik, yıkama sonrasında yapılan durulama sayısı ve süresi bakımından, dolayısıyla da su sarfiyatı açısından önemli bir parametredir.

Gerilme dayanımı testi (ASTM D5034-95 (2001): Temiz işletme suyu ve arıtılmış su ile yıkanmış denim pantolonların mukavemeti, hem arıtılmış atık suda

kalan kimyasalların liflere verdiği zararı göstermesi açısından hem de ürün kalitesi açısından önemlidir.

Yırtılma dayanımı testi (ASTM D 1424-83): Prensipte olarak gerilme dayanımına benzer. Temiz işletme suyu ve arıtılmış su ile yıkanmış denim pantolonların mukavemeti, hem arıtılmış atık suda kalan kimyasalların denimdeki liflere verdiği zararı göstermesi açısından hem de ürün kalitesi açısından önemlidir.

Sararma testi (VF Corp. QI-10-20-60-10-17): Yıkanmış örneklerin hem kullanım hem de depolama sırasında sararma sorunu yaratmaması açısından önemli bir parametredir. Evrensel bir metot olmayıp, VF Ege firmasının kendi geliştirdiği bir test metodudur. Sararma testi yapılacak numune, ozon ve NO_x gazlarına maruz bırakılmaktadır. Renkteki değişimin ölçüsü gri skala ile değerlendirilmekte ve haslık numaralarıyla açıklanmaktadır. Numenin sararma makinesi içerisinde kalma süresi standart referans bir kumaş vasıtasıyla belirlenmektedir. Standart kumaş seçimi yapılırken sararmaya karşı düşük hassasiyete sahip kumaşlar seçilmektedir. Bütün test numuneleri, sararma makinesinde standart kumaşın rengi gri skalada 5'ten 4/5'e gelinceye kadar gaza maruz bırakılmaktadır. Daha sonra bütün test numunelerinin renk değişimi gri skalada değerlendirilmektedir.

Elastikiyet ve Geri toplama (VF Corp. QI-10-20-60-12-11): Denim ürünlerde yüksek elastikiyet sağlamak için yer alan elastan lifleri, özellikle asit ve klorlu bileşiklere karşı az dirençlidir. Arıtılmış atık suda yer alan eser miktardaki kimyasallar, denim kumaştaki elastana zarar verip esneme özelliğini azaltabilirler. Bu test sayesinde, ürünlerin esneme ve esnedikten sonra geri toplama değerlerine bakarak hem atık su hem de denim ürün hakkında fikir sahibi olunmaktadır. VF Corp. firmasının kendi geliştirdiği bir test metodudur.

8.2.3.3 Atık ponza taşına uygulanan testler

XRD Analizi: X-ışını kırınımı (XRD) spektroskopisi isminden de anlaşılacağı gibi X-ışını denilen ultraviyole ışıktan daha kuvvetli fakat gamma ışınından daha zayıf enerjili ışın kullanılarak yapılan analizi temel alır. Katı üzerine belirli açılarla gönderilen X-ışını kristal yapıya bağlı olarak belli açılarda kırılarak yansır. Bu kırılmalar kullanılarak mineral tanımlaması yapılır.

BET Analizi: Katıların genellikle azot (N₂) gazı adsorpsiyonu izotermine Brunauer, Emmet ve Teller (BET) modelinin uygulanması ile yüzey alanı ve gözenekliliğinin saptanması yöntemidir. Analiz sonuçlarında tek ve çok noktalı BET yüzey alanı, toplam gözenek hacmi, BJH gözenek boyutu dağılımı değerleri ve adsorpsiyon-desorpsiyon eğrileri verilmektedir.

SEM Analizi: Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan çalışmalar elektronların numunedeki atomlarla etkileşerek numune yüzeyindeki topografi ve kompozisyon hakkında bilgiler içeren farklı sinyaller üretmesine dayanır. SEM ile 1 nanometreden daha yüksek çözünürlüğe ulaşılabilir ve yüzey yapısı aydınlatılabilir.

EDX Analizi: “Energy dispersive X-Ray analysis” olarak bilinen bu yöntem, maddelerin elementer bileşimlerini tanımlamak için kullanılan bir X ışını yöntemidir. EDX sistemleri, SEM ölçüm sistemine eklenen bir yapıdır ve SEM ile beraber ölçümler alınır (Intertek, 2017).

9. BULGULAR VE TARTIŞMA

9.1 Atık Ponza Taşının Atık Suyun Adsorpsiyonunda Kullanılması

Çalışma, laboratuvar ve büyük ölçekte yapılan adsorpsiyon denemeleri, kullanılan adsorbentin karakterizasyonu ve arıtılmış atık suyun denim yıkamada kullanımı aşamalarından oluşmaktadır. Arıtılmış su ile yıkanan pantolon formundaki denim kumaşlara daha sonra fiziksel ve kimyasal testler uygulanmıştır. Bu bölümde, bulgular; laboratuvar ölçeğinde yapılan denemeler, büyük ölçekte yapılan deneme, atık ponza taşının özelliklerinin belirlenmesi ve arıtılmış atık suyun yıkamada kullanımı alt başlıkları ile sunulmuştur.

9.1.1 Atık ponza taşıyla laboratuvar ölçeğinde yapılan deneyler

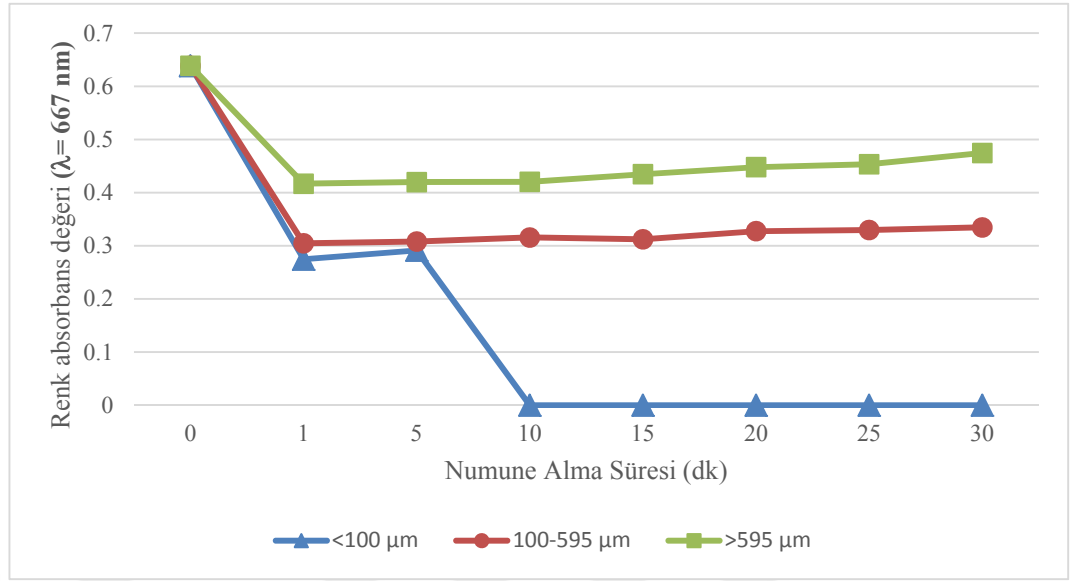
Bu gruptaki denemeler; atık ponza boyutunu ve miktarını belirlenmesi, indigo boyarmaddenin sulu çözeltisi (sentetik atık su) ve atık suda yer alan kimyasalların sulu çözeltilerinden ponza ile adsorpsiyonu, ve adsorpsiyon kolonunun arıtma tesisinin hangi bölgesine yerleştirileceğini belirlemek amacıyla farklı bölgelerden alınan atık suların arıtılması gibi konuları kapsamaktadır.

9.1.1.1 Atık ponza taşının boyutunu belirlemek için yapılan deneyler

Bu deneysel çalışmada üç farklı tanecik boyutunda ponza taşı kullanılmıştır. Kullanılan tanecik boyutları şunlardır:

1. Tane boyutu $< 100 \mu\text{m}$
2. $100 \mu\text{m} < \text{Tane boyutu} < 595 \mu\text{m}$
3. Tane boyutu $> 595 \mu\text{m}$

Adsorpsiyon denemeleri, kimyasal arıtma havuzundan alınmış denim yıkama atık suyu ve yukarıda verilen tanecik boyutuna sahip ponzalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fraksiyon kollektörü ile her beş dakikada bir alınan numunelerin spektrometrede renk absorpsiyon değerleri ölçülmüştür ($\lambda = 667 \text{ nm}$). Renk giderme kapasitelerine göre en uygun tanecik boyutu belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen veriler Şekil 9.1'dedir.



Şekil 9.1 Farklı tanecik boyutuna sahip ponza taşlarının adsorpsiyonla renk giderimine etkisi

Elde edilen sonuçlarda; **100 μm'den küçük boyuta sahip ponza** ile yapılan denemelerde ilk beş dakika içinde rengin en etkin giderildiği ancak beşinci dakikadan sonra kolonun tıkandığı gözlenmiştir. Bu nedenle bu boyuttaki ponza taşının kolon çalışmaları için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

100-595 μm arası ve 595 μm'den büyük boyuta sahip ponzalarla yapılan çalışmada tıkanma gözlenmemiştir. Her ikisinde de renk giderimi zamanla azalmakta ancak bu azalma lineer şekilde olmaktadır. Çizelge incelendiğinde, **100-595 μm arası** boyuta sahip ponza ile yapılan çalışmada, renk giderme etkinliğinin, **595 μm'den büyük** boyuttaki ponzalara göre %20-30 aralığında daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu açıdan bakıldığında 595 μm'den büyük boyuttaki ponzalarla çalışmanın uygun olmadığına ve denemelerde **“100-595 μm arası boyuttaki ponza”** taşı kullanılmasına karar verilmiştir.

9.1.1.2 Atık ponza taşı miktarının adsorpsiyonla arıtmada renk gidermeye etkisinin incelenmesi

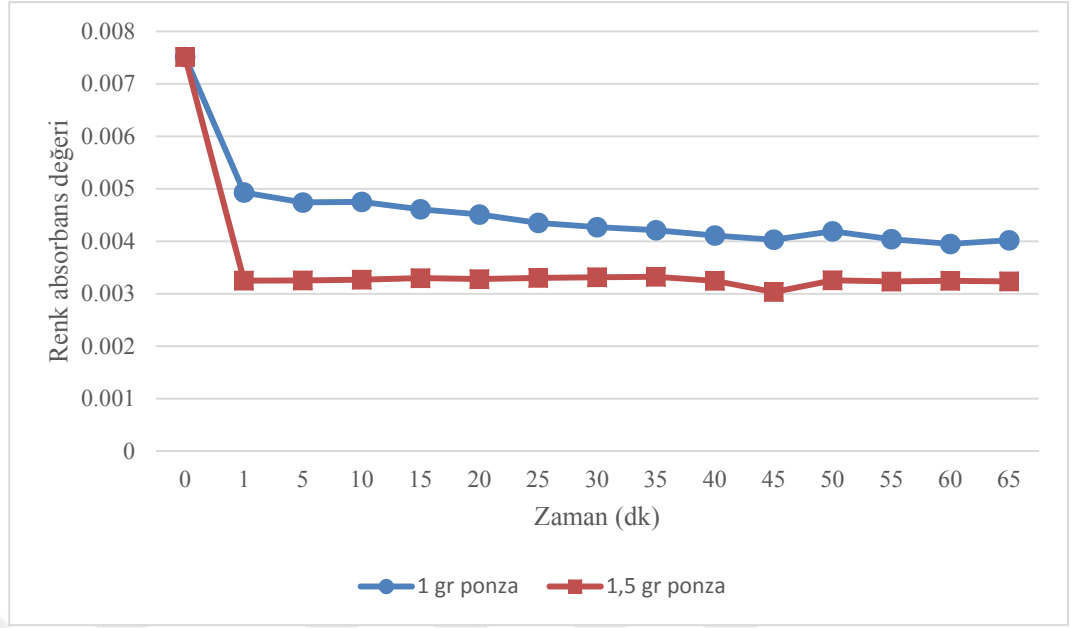
Deneylerde kullanılacak ponza taşı boyutunun belirlenmesinin ardından ponza taşı miktarının atık suyun rengini gidermeye etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için, yapılan litertür taramalarında, laboratuvar ölçeğindeki 0,5-1 cm çapındaki cam kolonlar için genellikle 1-1,5 gr ağırlığında ve 100-595

µm tanecik boyutunda ponza taşları kullanıldığı saptanmış (Akbal, 2005; Sapçı ve Üstün, 2003; Başbuğ, 2008) ve denemelerde bu miktarlar esas alınmıştır.

Ponza taşları, 0,5 cm çapındaki cam kolona yerleştirilmiş ve pompa aracılığıyla sabit basınç (0,5 bar) ve sabit sıcaklık (oda sıcaklığı) ve kimyasal havuzu çıkışından alınan atık su ile adsorpsiyon denemeleri yapılmıştır. Atık suyun akış hızı kolon çıkışında; 1 gr'lık ponzalı sistem için 1,8 ml/dk, 1,5 gr'lık ponzalı sistem için 1,3 ml/dk olarak ölçülmüştür. Yatak hacmi, 1 gr'lık ponzalı sistem için 3 cm, 1,5 gr'lık ponzalı sistem için 5 cm olmuştur. Deneyde her 5 dakikada bir numune alınmış ve numunelerin renk absorbans ölçümleri yapılarak, atık ponzaların renk giderme oranları karşılaştırılmıştır. Ayrıca kolon çıkışında alınan belirli numunelerin kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerlerine bakılmış ve ponzanın atık sudaki renk dışındaki kimyasalları tutabilme yeteneği de ölçülmüştür. Elde edilen renk absorbans ölçüm sonuçları ve atık ponzaların renk giderme yüzdeleri Çizelge 9.1'de görülmektedir. Renk sonuçlarının grafik üzerinde gösterimi Şekil 9.2'de görülmektedir.

Çizelge 9.1 Ponza taşı miktarının renk gidermeye etkisi

Kolondan Numune Alınma Zamanı (dk)	Absorbans (L= 667 nm)			
	1 gr Atık Ponza	1 gr Atık Ponzanın Renk Giderme Yüzdesi	1,5 gr Atık Ponza	1,5 gr Atık Ponzanın Renk Giderme Yüzdesi
0	0,751	0	0,751	0
1	0,493	34,35%	0,325	56,74%
5	0,474	36,88%	0,325	56,68%
10	0,475	36,75%	0,327	56,50%
15	0,461	38,62%	0,330	56,11%
20	0,451	39,95%	0,328	56,35%
25	0,435	42,08%	0,330	56,03%
30	0,427	43,14%	0,331	55,89%
35	0,421	43,94%	0,332	55,75%
40	0,411	45,27%	0,325	56,78%
45	0,403	46,34%	0,303	59,61%
50	0,419	44,21%	0,326	56,64%
55	0,404	46,21%	0,323	56,95%
60	0,395	47,40%	0,325	56,76%
65	0,402	46,47%	0,323	56,94%
Ortalama	0,434	42,26%	0,325	56,70%



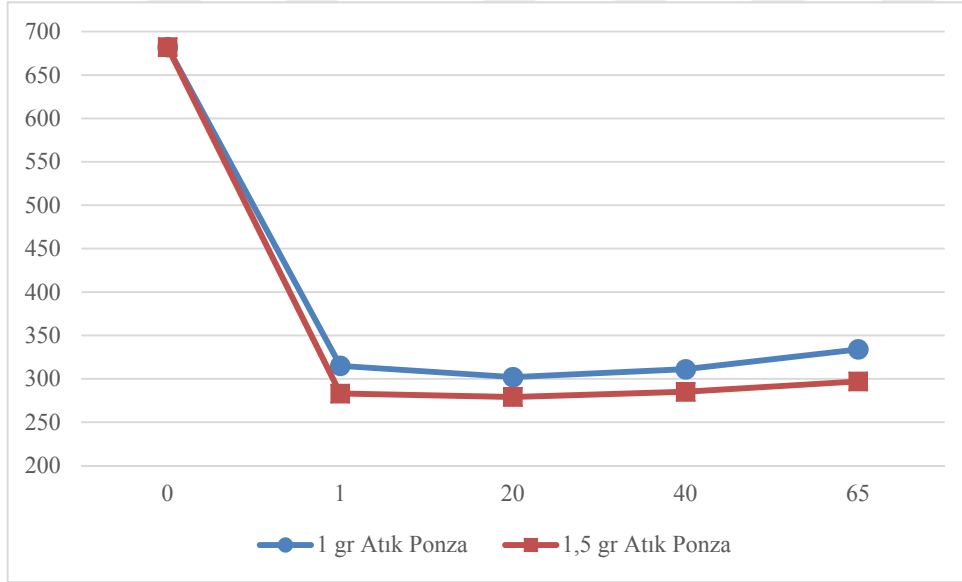
Şekil 9.2 Ponza taşı miktarının renk gidermeye etkisi

Sonuçlar değerlendirildiğinde, 1,5 gr ponza taşı kullanılan deneyde elde edilen renk giderme oranının, 1 gr ponza kullanılabildiğine göre yaklaşık %15 daha iyi olduğu görülmektedir. 1 gr ponza ile renk giderimi ortalama %42,26'da kalırken, 1,5 gr ponza kullanılarak yapılan renk giderimi ortalama %56,70 olmuştur. Bu sonuçlara göre, adsorpsiyonda kullanılan atık ponza miktarı arttıkça, renk gideriminin de arttığı görülmektedir. Bunun sebebi, adsorpsiyon sisteminde kullanılan adsorbent miktarının ve dolayısıyla adsorpsiyon kapasitesinin artırılmış olmasıdır. Atık ponza taşının süngerimsi yapısı, adsorpsiyon için çok uygundur ve adsorpsiyon sistemindeki miktarı arttıkça, adsorplanacak madde miktarı da artmaktadır.

Kolon çıkışından alınan 1., 20., 40. ve 65. Numunelerin KOİ değerlerine bakılmış ve farklı miktarlardaki atık ponzaların, atık sudaki kimyasalları tutabilme yeteneği karşılaştırılmıştır. Elde edilen KOİ ölçüm sonuçları ve atık ponzaların KOİ giderme yüzdeleri Çizelge 9.2'de görülmektedir. Elde edilen KOİ ölçüm sonuçlarının grafiği ise Şekil 9.3'te görülmektedir.

Çizelge 9.2 Adsorpsiyona uğramış atık suların KOİ değerleri ve KOİ giderilme yüzdeleri

	Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) değerleri (mg/l)			
	1 gr Atık Ponza	1 gr Atık Ponzanın Renk Giderme Yüzdesi	1,5 gr Atık Ponza	1,5 gr Atık Ponzanın Renk Giderme Yüzdesi
0	682	0	682	0
1	315	53,81%	283	58,50%
20	302	55,72%	279	59,09%
40	311	54,40%	285	58,21%
65	334	51,03%	297	56,45%
Ortalama	315,5	53,74%	286	58,06%



Şekil 9.3 Farklı miktarlardaki atık ponzalarla adsorpsiyona uğramış atık suların KOİ değerleri

Sonuçlar değerlendirildiğinde, 1,5 gr ponza taşı kullanılan deneyden elde edilen KOİ değerlerinin, 1 gr ponza kullanılabildiğine göre düşük olduğu görülmektedir. 1,5 gr ponza ile yapılan denemede KOİ değerindeki düşüş ortalama %58,06 iken, 1 gr ponza kullanılarak yapılan denemede ise düşüş ortalama %53,75 olmuştur. Renk gidermede elde edilen sonuçlara paralel olarak, ponza taşı miktarı arttıkça, KOİ değerlerinin düştüğü; yani atık suda yer alan ve KOİ değerini yükselten kimyasalların atık ponza üzerinde adsorplandığı ve buna bağlı olarak da adsorpsiyon etkinliğinin arttığı görülmektedir. Bu sonuç, ponza miktarının artması ile beraber adsorbent yüzeyinin artması ve buna paralel olarak adsorpsiyonun

kimyasal miktarının artması şeklinde açıklanabilmektedir. Çıkan sonuçlar ışığı ve belirlenen hedefler doğrultusunda, deneysel çalışmalarda 1,5 gr ponza taşı kullanımının daha uygun olacağı tespit edilmiştir.

9.1.1.3 Atık ponza taşının indigo boyarmaddenin sulu çözeltisi üzerindeki adsorpsiyon deneyi

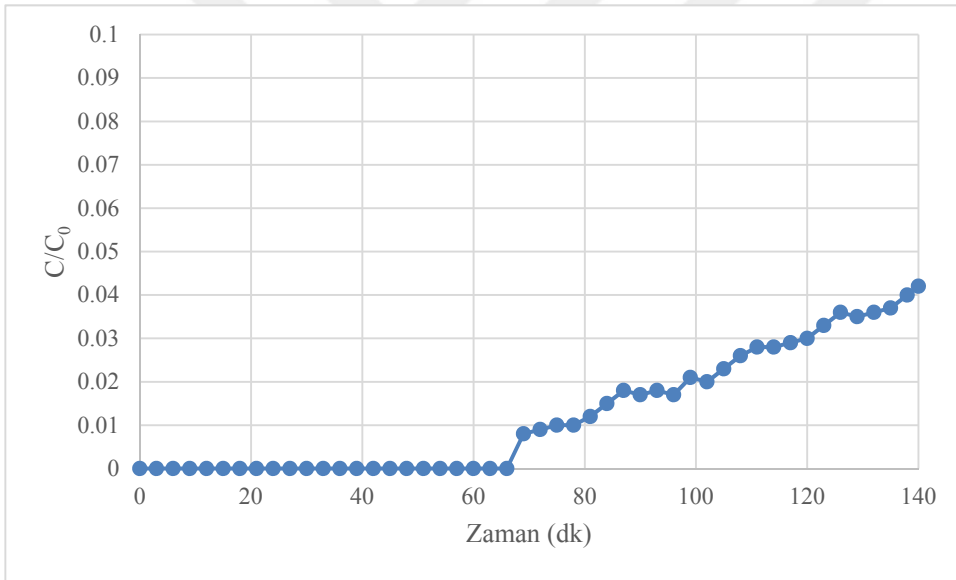
Atık ponza taşlarıyla adsorpsiyon uygulanacak olan denim yıkama atık suyunun kompozisyonu karmaşıktır. Deneyler sırasında, atık suyun kompozisyonu iki ayrı kategoride değerlendirilmiştir: **atık suyun rengi ve içerdiği kimyasallar.**

Denim yıkama atık suyunun rengi mavidir. Mavi renk, denim kumaşların boyanmasında kullanılan indigo boyarmaddesinin, denim yıkama işlemleri sırasında fiziksel ve kimyasal yollarla denim ürünlerden uzaklaşıp, atık suya geçmesi sebebiyle oluşur. Atık sudaki indigo boyarmadde, atık suya hem rengini veren hem de atık suyun fiziksel ve kimyasal değerlerini düşüren etkiye sahiptir.

Çalışmanın bu aşamasında, atık ponza taşlarının, denim yıkama atık suyundaki indigo boyarmaddesini tek başına uzaklaştırma özelliğine bakılmıştır. Bunun için, denim boyamada kullanılan indigo boyarmaddenin %2'lik sulu çözeltisi hazırlanmış ve adsorpsiyon sistemine dahil edilmiştir. Deneyde daha önce tespit edildiği gibi 1,5 gr ağırlığında ve 100-595 µm boyutunda atık ponza taşı kullanılmıştır. Ponza taşı, 0,5 cm çapındaki cam kolona yerleştirilmiş ve pompa aracılığıyla sabit basınç (0,5 bar) ve sabit sıcaklık (oda sıcaklığı) koşullarında deneme yapılmıştır. Çözeltinin yataktan akış hızı 1,3 ml/dk olarak ölçülmüştür. Yatak hacmi 5 cm olmuştur. Deneyde her 3 dakikada bir numune alınmış ve numunelerin renk absorbans ölçümleri yapılarak adsorpsiyon sonrası boyarmadde konsantrasyonları belirlenmiştir (667 nm). Elde edilen konsantrasyon değerleri (C) ile indigo boyarmaddenin sulu çözeltisinin değeri (C₀) karşılaştırılmış ve C/C₀ değerleri hesaplanarak grafik oluşturulmuştur. Sürekli adsorpsiyon denemelerinde kullanılan sistem Şekil 9.4'te verilmiştir. Şekil 9.5'te ise "Zaman-C/C₀" grafiği görülmektedir.



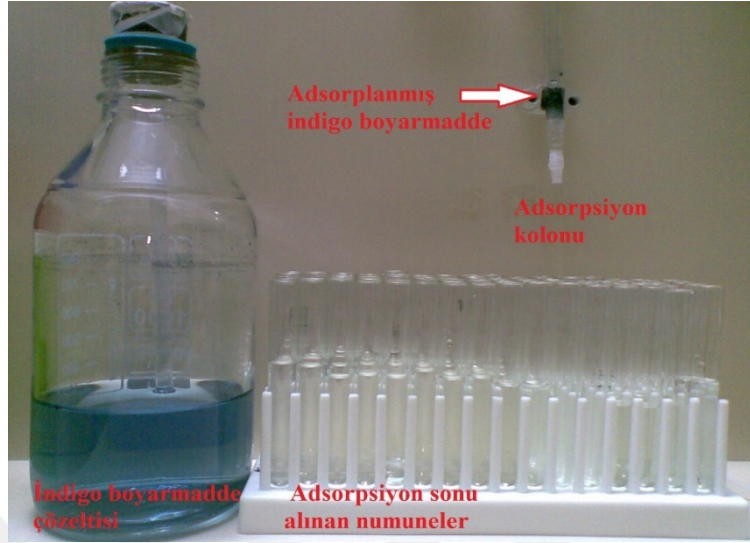
Şekil 9.4 İndigo boyarmaddenin sulu çözeltisinin, atık ponza taşlarıyla adsorpsiyona uğradığı sistem



Şekil 9.5 İndigo boyarmaddenin atık ponza ile adsorpsiyonu sonucu elde edilen C/C_0 - zaman grafiği

Şekil 9.5'te de gösterildiği gibi , 69. dakikaya kadar, kolondan çıkan suyun adsorpsiyona uğramış suyun içindeki boyarmadde konsantrasyonunun "0" olduğu, en son alınan 140. dakikaya ait numunede ise $C/C_0 = 0,042$ olduğu gözlemlenmiştir. Bu tür sürekli çalışmalarda C/C_0 oranının kıstas olarak alınmakta ve bu oranın 0,1'e eşit olduğu zaman kolonun verimliliği açısından değerlendirilmektedir. C/C_0 değerinin 0,1 ulaştığı zamanın artması kolonun verimli olarak çalıştığının göstergesi olarak kabul edilmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda, atık ponza taşlarının, adsorpsiyon yöntemiyle indigo

boyarmaddesini etkin şekilde adsorplayabildiği ve kolondaki ponzanın işlevini daha da sürdürebileceği gözlemlenmektedir.



Şekil 9.6 Adsorpsiyon öncesi ve sonrası indigo boyarmadde çözeltisinin görünümü

9.1.1.4 Atık suda yer alan diğer kimyasalların atık ponza taşı ile adsorpsiyonu

Atık ponza taşının, indigo boyarmaddenin sulu çözeltiden adsorpsiyonu deneyinde, sadece, atık ponza taşının, suya renk veren indigo boyarmaddeyi adsorplayabilme yeteneğine bakılmıştır. Bu aşamadaki deneysel çalışma planında ise denim yıkamada kullanılıp atık suya geçen ve atık su kalitesini düşüren kimyasallara, atık ponza taşıyla adsorpsiyon uygulanmış ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

Denemelerde, seçilen denim yıkama fabrikasında, bir yıl içinde en yüksek miktarlarda kullanılan on kimyasalın sulu çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan sulu çözeltiler, kimyasalların denim yıkama sırasında günlük ortalama kullanım miktarlarının, günlük arıtma kapasitesine oranlanmasıyla elde edilmiştir. Bu sayede, kimyasalların arıtma suyu içindeki ortalama miktarları bulunmuştur. Seçilen kimyasallar, özellikleri ve atık su içinde yer alan ortalama miktarları Çizelge 9.3'te yer almaktadır.

Çizelge 9.3 Denim yıkama işlemlerinde en çok kullanılan kimyasalların atık suda yer alan ortalama miktarları (Körlü vd., 2015)

Kimyasalın çeşidi	Kimyasalın özel adı	Günlük ortalama kullanım miktarı (kg)	Günlük ortalama atık su miktarı (ton)	Atık suda yer alan ortalama konsantrasyonu (gr/l)
Dispergator	Dispers Den-K	506	800	0,633
Ağartıcı	Hipoklorit	240	800	0,300
Asit	Sitrik Asit	102	800	0,128
Katyonik fiksator	Dng Fix R	54	800	0,068
Hidroksil amonyum sülfat	Roge Con Mex	53,8	800	0,067
Mikro silikonik yumuşatıcı	Densoft CLS New	32,6	800	0,041
Nötral selüloz	Lavacell NG	19,2	800	0,024
Katyonik yumuşatıcı	Evosoft UC 100	4,9	800	0,006
Makro silikonik yumuşatıcı	Elam NH4	4,5	800	0,006
Nötral selüloz	Celsoft CR	3	800	0,004

Çizelge 9.3'te yer alan her bir kimyasal için tabloda belirtilen "atık suda yer alan ortalama konsantrasyon" oranlarında sulu çözeltiler hazırlanmıştır. Her kimyasal için ayrı hazırlanan sulu çözeltiler kullanılarak, atık ponza taşıyla adsorpsiyon denemeleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerin tümünde 1,5 gr ağırlığında ve 100-595 µm boyutunda atık ponza taşı kullanılmıştır. Ponza taşı, 0,5 cm çapındaki cam kolona yerleştirilmiş ve pompa aracılığıyla sabit basınç (0,5 bar) ve sabit sıcaklık (oda sıcaklığı) altında adsorpsiyon uygulanmıştır. Çözeltilerin kolondan akış hızları 1,33 ml/dk olarak ölçülmüştür. Yatak hacimleri 5 cm olmuştur. Deneylerde her 3 dakikada bir numune alınmış ve 30. numuneden sonra deneme sonlandırılmıştır. Kolon çıkışından alınan 1. ve 30. numune ve yıkamada kullanılan temiz giriş suyunun kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerleri ölçülmüş ve çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir. Ölçüm sonu elde edilen KOİ değerleri Çizelge 9.4'te görülmektedir.

Çizelge 9.4 Denim yıkama atık suyunda en çok yer alan kimyasalların çözeltilerine ait adsorpsiyon öncesi ve sonrası KOİ değerleri

Kimyasalın çeşidi	Kimyasalın özel adı	Çözeltideki konsantrasyonu (gr/l)	Temiz giriş suyu	KOİ (mg/l)			Çözelti - 30. numune arası fark (%)
				Çözelti	1. Numune	30. Numune	
Mikro silikonik yumuşatıcı	Densoft CLS New	0,041	24,2	59,1	28,8	29,8	49,58%
Katyonik yumuşatıcı	Evosoft UC 100	0,06	24,2	35,9	29,6	22,7	36,77%
Dispergator	Dispers Den-K	0,633	24,2	152	122	114	25,00%
Katyonik fiksator	Dng Fix R	0,068	24,2	57,6	39	44,5	22,74%
Hidroksil amonyum sülfat	Roge Con Mex	0,067	24,2	77,4	58	64	17,31%
Nötral selüloz	Lavacell NG	0,024	24,2	49,6	32,5	41,9	15,52%
Nötral selüloz	Celsoft CR	0,004	24,2	35,6	26,7	30,6	14,04%
Makro silikonik yumuşatıcı	Elam NH4	0,006	24,2	33,4	32,2	29,9	10,48%
Ağartıcı	Hipoklorit	0,3	24,2	95,3	94,4	93,1	2,31%
Asit	Sitrik Asit	0,128	24,2	128	149	126	1,56%

Elde edilen sonuçlar iki aşamalı incelenebilir: kimyasalların sulu çözeltilerinin KOİ değerleri bakımından incelenmesi ve sulu çözeltilerin adsorpsiyon sonrası yaşanan KOİ düşüşü bakımından incelenmesi.

Çıkan sonuçlar, kimyasalların sulu çözeltilerinin KOİ değerleri bakımından incelendiğinde, atık su içinde konsantrasyonu en yüksek olan dispergatorün, KOİ değerinin de en yüksek çıktığı (152 mg/l) görülmektedir. Konsantrasyon olarak dispergatorü takip eden ağartıcı ve asidin KOİ değerleri de dispergatorü paralel çıkmış ve sonuç olarak sulu çözeltisinde en yüksek KOİ değerine sahip ilk üç kimyasal olmuşlardır. Sudaki ortalama konsantrasyon bakımından ilk üç kimyasalı takip eden diğer kimyasalların KOİ değerleri de, sulu çözeltilerindeki konsantrasyon bakımından yer aldıkları sıraları takip etmiştir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, sudaki konsantrasyonu en yüksek olan kimyasalın, sulu çözeltisinin KOİ'sinin de en yüksek çıktığı ve dolayısıyla atık suyun yükünü en çok artıran kimyasal olduğu görülmektedir. Kimyasalların sulu çözeltilerindeki konsantrasyonları azaldıkça, sulu çözeltilerinin KOİ değerleri de azalmakta ve suya binen atık yükü de azalmaktadır.

Çıkan sonuçlar, kimyasalların sulu çözeltilerin adsorpsiyon sonrası yaşanan KOİ düşüşü bakımından incelendiğinde, **her kimyasalın** ponza taşı ile

adsorpsiyon sonrası KOİ değerinin düştüğü ve düşüş yüzdesinin %1,5 – %49,5 arasında değiştiği görülmektedir. KOİ değerlerindeki düşüşler geniş bir aralığa tekabül etmektedir. Bunun nedenleri, sulu çözeltileri hazırlanan kimyasalların molekül büyüklüklerinin farklı olması, kullanılan her kimyasalın, molekül yapısından kaynaklı olarak, adsorbent olarak kullanılan atık ponza taşına tutunabilme özelliklerinin (bağ kurabilme – Van der Waals ve dispersiyon bağları) farklı olması ve adsorpsiyon kinetikleridir.

Çizelge 9.4'e genel olarak baktığımızda, KOİ'nin en fazla mikro silikon ve katyonik yumuşatıcıların sulu çözeltilerinde düştüğü görülmektedir. KOİ düşüş yüzdeleri, mikro silikonik yumuşatıcıda %49,58, katyonik yumuşatıcıda %36,77 olmuştur. Bu iki kimyasal, adsorbente tutunabilme yeteneği bakımından en uygun (Van der Waals ve dispersiyon bağ kurabilme yeteneği en çok olan) kimyasallardır. Düşüş bakımından üçüncü sırada olan kimyasal dispergatördür ve adsorpsiyon sonu KOİ'deki düşüş oranı %25'tir. Kullanılan dispergatörün molekül büyüklüğü, ilk iki sırada yer alan kimyasallardan daha fazladır. Buna karşın, yapısında yer alan ve adsorpsiyon için gereken dispersiyon bağlarının oluşumunu sağlayan atomların fazlalığı, yüzeye adsorbe olabilme yeteneğini artırmıştır. KOİ'deki düşüş olarak en son iki sırada hipoklorit ve sitrik ait yer almaktadır. Hipoklorit, molekül büyüklüğü bakımından küçük olsa da adsorbent yüzeyine tutunabilecek bağları oluşturacak yeterli sayıda atom içermediğinden istenen tutunmayı başaramamış ve azalma oranı 2,31%'de kalmıştır. Sitrik asitte ise tutunma için gereken dispersiyon bağlarını oluşturacak karbon, hidrojen ve oksijen gibi atomların sayısı yeterli iken, molekülün büyük olmasından kaynaklı gözeneklere girememesi ve adsorpsiyon kinetiğinin de yavaş olması sebebiyle KOİ'deki düşüş oranı 1,56%'da kalmıştır.

9.1.1.5 Arıtmanın farklı bölgelerinden seçilen atık sularla yapılan adsorpsiyon çalışmaları

Bu aşamadaki çalışma planında, seçilen denim yıkama fabrikasının arıtma sisteminin farklı bölgelerinden alınan atık sular ile adsorpsiyon denemeleri yapılmıştır. Arıtmanın farklı bölgelerinde yer alan atık suların karakterleri ve buna bağlı olarak arıtılabilme özellikleri farklıdır. Bu aşamadaki amaç, seçilen arıtma bölgelerinde yer alan atık suların, atık ponza taşıyla arıtılabilme yeteneklerini gözlemlemek ve atık ponza taşıyla adsorpsiyonun en uygun şekilde uygulanabileceği arıtma bölgesini seçmektir.

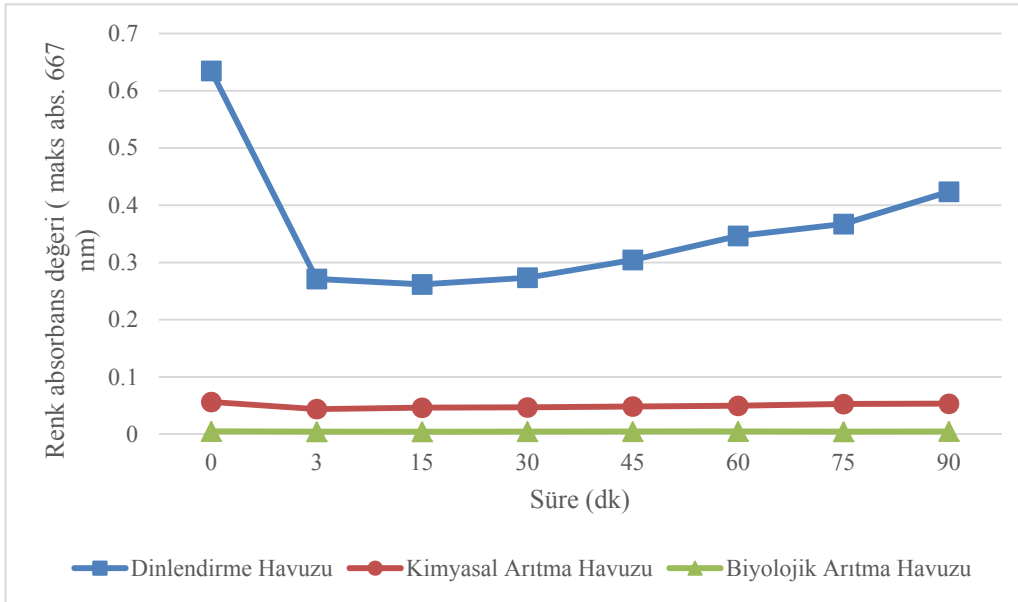
Bu çalışma için, denim yıkama arıtma tesisinin üç ayrı bölgesinden atık su temin edilmiştir. Seçilen atık sular:

- Dinlendirme,
- Kimyasal arıtma ve
- Biyolojik arıtma havuzlarından alınmıştır.

Deneylerin tümünde 10 gr ağırlığında ve 100-595 µm boyutunda atık ponza taşı kullanılmıştır. Ponza taşı, 1,2 cm çapındaki cam kolona yerleştirilmiş ve pompa aracılığıyla sabit basınç (1 bar) ve sabit sıcaklık (oda sıcaklığı) altında denemeler gerçekleştirilmiştir. Ortalama akış hızları, dinlendirme havuzundan alınan atık su için 1,26 ml/dk, kimyasal arıtma havuzundan alınan atık su için 2 ml/dk ve biyolojik arıtma havuzundan alınan atık su için 2,66 ml/dk olarak ölçülmüştür. Yatak hacimleri, tüm denemelerde 5 cm olmuştur. Deneylerde her 3 dakikada bir numune alınmış ve 20. numuneden sonra çalışma sona erdirilmiştir. Uygulanan üç deney için, her beş numunede bir yapılan renk absorbans ölçümleri (667 nm) sonucu elde edilen değerler Çizelge 9.5'te ve Şekil 9.7'de verilmiştir.

Çizelge 9.5 Arıtmanın farklı bölgelerinden seçilen atık sulara atık ponza taşıyla uygulanan adsorpsiyon sonu elde edilen numunelerin renk absorbans değerleri

Süre (dk)	Renk absorbans değerleri (667 nm)		
	Dinlendirme Havuzu	Kimyasal Arıtma Havuzu	Biyolojik Arıtma Havuzu
0	0,6349	0,0562	0,0047
3	0,2711	0,0438	0,0042
15	0,2616	0,0461	0,0041
30	0,2734	0,0467	0,0045
45	0,3044	0,0482	0,0044
60	0,3464	0,0495	0,0046
75	0,3672	0,0525	0,0042
90	0,4236	0,0531	0,0046



Şekil 9.7 Arıtmanın farklı bölgelerinden seçilen atık sulara atık ponza taşıyla uygulanan adsorpsiyon sonu elde edilen numunelerin renk absorbans değerleri

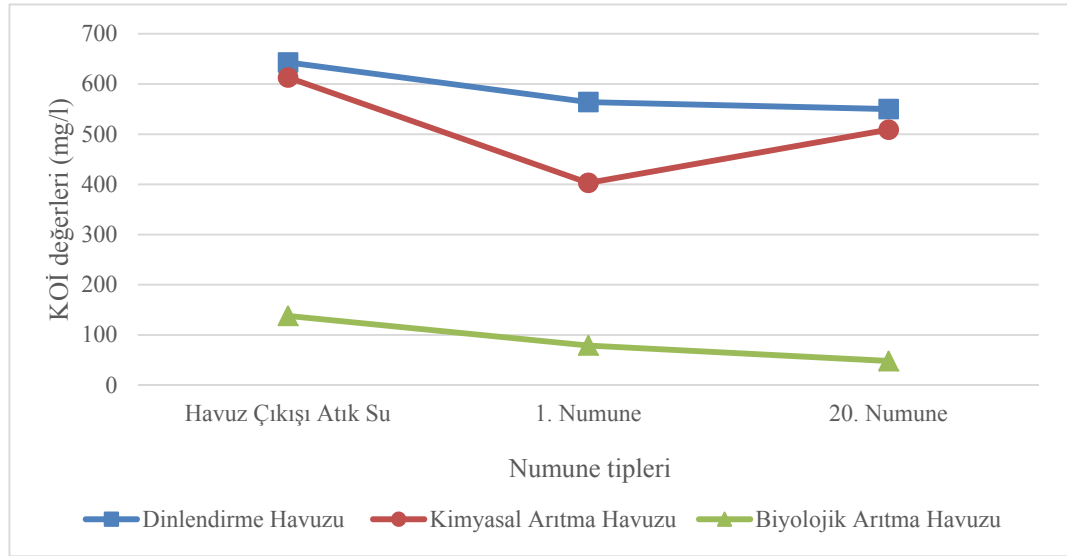
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, dinlendirme havuzundan alınan atık suda renk giderme oranının 33-58% aralığında, kimyasal arıtma havuzundan alınan atık suda renk giderme oranının 5-22% aralığında ve biyolojik arıtma havuzundan alınan atık suda renk giderme oranının 2-10% aralığında olduğu gözlemlenmektedir. Renk giderme oranının dinlendirme havuzundan alınan atık su için en yüksek olduğu görülmektedir. Dinlendirme havuzu, denim yıkama fabrikasına ait atık su arıtma tesisinin ilk bölümü olup, yıkama işlemlerinden gelen atık suyun ilk toplandığı yerdir. İçerik olarak diğer havuzlarla karşılaştırıldığında, denim ürünlerden uzaklaşan indigo boyarmadde sebebiyle rengin en yüksek derişimde olduğu arıtma bölümüdür. Dinlendirme havuzundaki

atık suda yüksek oranda yer alan indigo boyarmadde, atık ponza tarafından adsorplanmış ve atık sudaki rengin büyük oranda giderilmesi sağlanmıştır. Kimyasal ve biyolojik arıtma havuzlarından alınan atık sulardaki renk giderim oranları, dinlendirme havuzuna nazaran nispeten düşüktür. Bu havuzlarda yer alan atık suların renk değerleri, dinlendirme havuzuna göre çok düşüktür ve dolayısıyla içerdikleri indigo boyarmadde konsantrasyonu da azdır. Bu havuzlarda genellikle diğer atık kimyasal maddelerin adsorplanması sağlanmaktadır.

Adsorpsiyon sonu alınan 1. ve 20. numune ile havuzlardan alınan atık suların kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerleri ölçülmüş ve çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuçlara ait değerler Çizelge 9.6'da ve Şekil 9.8'de görülmektedir.

Çizelge 9.6 Arıtmanın farklı bölgelerinden seçilen atık sulara atık ponza taşıyla uygulanan adsorpsiyon sonu elde edilen numunelerin KOİ değerleri

	KOİ (mg/l)			20. Numunede Fark Yüzdesi
	Havuz Çıkışı Atık Su	1. Numune	20. Numune	
Dinlendirme Havuzu	643	564	550	14,46%
Kimyasal Arıtma Havuzu	613	403	509	16,96%
Biyolojik Arıtma Havuzu	138	79	48	65,21%



Şekil 9.8 Arıtmanın farklı bölgelerinden seçilen atık sulara atık ponza taşıyla uygulanan adsorpsiyon sonu elde edilen numunelerin KOİ değerleri

Elde edilen değerler incelendiğinde, KOİ'nin giderilme yüzdesinin en çok biyolojik arıtma havuzundan alınan atık suda olduğu (65,21%), bunu sırasıyla kimyasal (16,96%) ve dinlendirme havuzlarından alınan atık suların (14,46%) izlediği görülmektedir. Renk absorbans değerlerinin yorumlarına paralel olacak şekilde, dinlendirme havuzundan alınan atık sularda indigo boyarmadde derişimi yüksek olduğu için, ponza taşı öncelikle indigo boyarmaddeyi adsorplamış ve atık suda yer alan diğer kimyasalların adsorpsiyonu için az sayıda gözenek kalmıştır. Biyolojik arıtma havuzundan alınan atık suda ise boyar madde derişimi çok düşük olduğundan, atık ponza taşları, atık suda yer alan kimyasalları adsorplamış ve dolayısıyla KOİ'deki en büyük düşüş biyolojik havuzdan alınan atık suda görülmüştür.

Pratikte, dinlendirme havuzu çıkış suyunu adsorpsiyonla arıtmak pek mümkün değildir. Bunun nedeni, dinlendirme havuzu çıkış suyunun içerdiği yüksek orandaki lifler, ufak partiküller ve askıdaki katı maddelerdir. Bu maddeler, adsorpsiyon öncesi yer alan ön filtreyi çok kısa zamanda tıkayarak sistemin devamlı çalışmasına engel olmaktadır. Biyolojik arıtmada ise bu tip maddeler en az miktarda olduğu için sadece askıda ya da emülsiyeye maddeler ponza taşlarının gözeneklerinde adsorplanır. Bu da diğer atık su çeşitlerine göre daha etkin arıtma sağlar.

Teoride, adsorpsiyonla arıtmanın mümkün olduğunca arıtma prosesinin son basamağında yapılması tavsiye edilir. Bu nedenle adsorpsiyonla arıtma işletme dilinde 'cilalama' olarak da adlandırılır (Eltem, 2008).

9.1.2 Atık ponza taşıyla büyük ölçekte yapılan deneyler

Atık ponza taşıyla büyük ölçekte yapılan çalışmalarda üç alt aşama planlanmış ve uygulanmıştır. Alt aşamalarda, atık ponza taşına, büyük kolonda adsorpsiyon uygulanması için gereken sistemin kurulumuna yönelik, atık ponza taşının, kimyasal arıtma çıkışı atık su üzerindeki adsorpsiyon uygulamasına yönelik ve atık ponza taşının, biyolojik arıtma çıkışı atık su üzerindeki adsorpsiyon uygulamasına yönelik deneyler uygulanmıştır.

9.1.2.1 Büyük kolonda adsorpsiyon uygulaması için gerekli sistemin kurulumu için yapılan denemeler

Ponza taşı kullanarak denim yıkama atık suyunu adsorpsiyonla arıtma işlemi için, belirli parametreler göz önüne alınarak, laboratuvar şartlarında deneyler yapılmıştır. Laboratuvar şartlarında elde edilen veriler kullanılarak, sistemin, büyük ölçeğe taşınması için bir deney planı tasarlanmış ve uygulanmıştır. Uygulanan deneyde amaç, sistemin, laboratuvar ölçeğinden endüstriyel ölçeği taklit edecek şekilde adapte edilmesi ve bunu takip edecek diğer iki büyük ölçekli deneye temel oluşturmasıdır.

Büyük ölçekli ortamda, ponza taşı ile adsorpsiyon yöntemine göre atık suyun arıtılması denemesinde, 10 cm çapındaki büyük pleksiglas kolon kullanılmış ve deneysel çalışma, denim yıkama fabrikasının atık su arıtma tesisinde gerçekleştirilmiştir. Deneyde 200 gr ağırlığında ve 100-595 µm boyutunda atık ponza taşı ve kimyasal arıtma havuzunda yer alan atık su kullanılmıştır. Ponza taşı, 10 cm çapındaki pleksiglas kolona yerleştirilmiş ve pompa aracılığıyla sabit basınç (pompa gücü: %30) ve sabit sıcaklık (oda sıcaklığı) altında adsorpsiyon yapılmıştır. Sistemin akış hızı ortalama 28 ml/dk olarak ölçülmüştür. Yatak hacmi 8 cm olmuştur. Deneyde her 3 saatte bir numune alınmıştır. Deney yaklaşık 28 saat sürmüştür ve toplam 50 lt adsorpsiyonla arıtılmış su elde edilmiştir. Deney sırasında alınan numunelerin renk absorbans ölçümleri yapılarak, adsorpsiyon sonrası içerdikleri boyarmadde konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca numunelere KOİ testi de uygulanmış ve atık sudaki kimyasal giderme oranları değerlendirilmiştir. Uygulanan deneye ait sistemin genel görüntüsü Şekil 9.9'dadır.

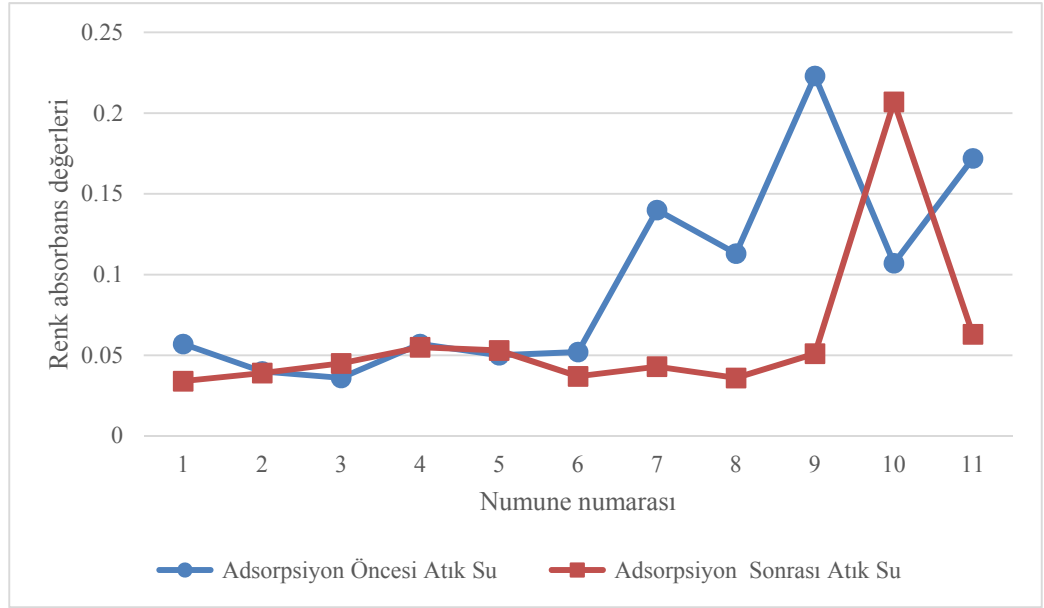


Şekil 9.9 Büyük ölçekte yapılan adsorpsiyon deneyi sisteminin görüntüsü

Çalışma sonunda alınan numunelerin renk absorbans değerleri ve adsorpsiyon öncesi-sonrası renk değişim farkları Çizelge 9.7'dedir. Bu değerlere ait grafik görüntüsü Şekil 9.10'dadır.

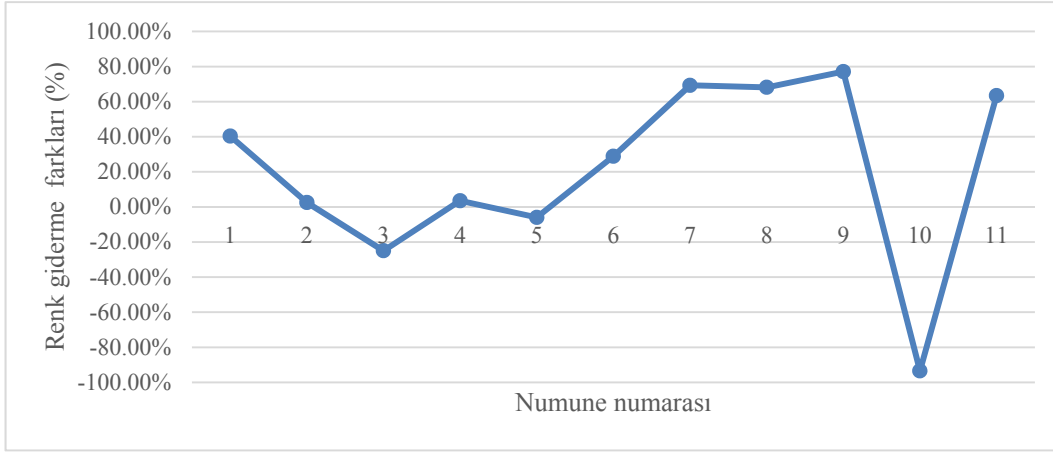
Çizelge 9.7 Büyük ölçekte yapılan adsorpsiyon deneyi sonrası numunelerin renk absorbans değerleri ve öncesi-sonrası renk değişimleri

	Renk Absorbans Değerleri (667 nm)		
	Adsorpsiyon Öncesi Atık Su	Adsorpsiyon Sonrası Atık Su	Renk Değişim Farkları (%)
1	0,057	0,034	40,35%
2	0,04	0,039	2,50%
3	0,036	0,045	-25,00%
4	0,057	0,055	3,51%
5	0,05	0,053	-6,00%
6	0,052	0,037	28,85%
7	0,14	0,043	69,29%
8	0,113	0,036	68,14%
9	0,223	0,051	77,13%
10	0,107	0,207	-93,46%
11	0,172	0,063	63,37%



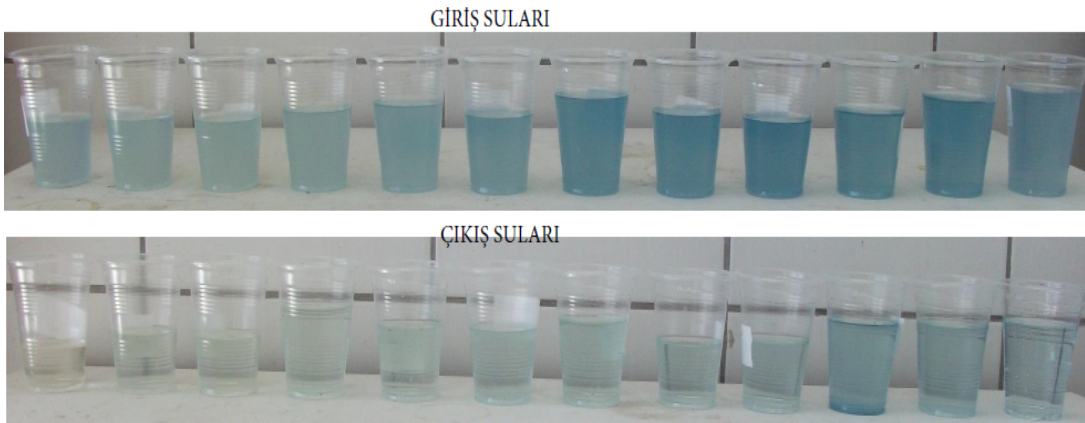
Şekil 9.10 Büyük ölçekte yapılan adsorpsiyon deneyi sonrası numunelerin renk absorbans değerleri ve öncesi-sonrası arası renk değişimleri

Çalışma sonunda alınan numunelerin renk absorbans değerleri incelendiğinde, sistemin başlangıçta atık suyun rengini gidermeye başladığı, ancak devam eden 10 saat boyunca renk gidermenin net olarak yapılmadığı ve sistemin dengede gittiği görülmektedir. Sistem, 10. saatten (5. numune) sonra etkin şekilde renk gidermeye başlamış ve bu süreç yaklaşık 12 saat sürmüştür. 12 saat sonra renk gidermenin gittikçe azaldığı ve 10. numune itibarıyla kolonun işlevini yitirdiği görülmektedir. Bu noktada sistemin devamlılığı için, “ters yıkama” adı verilen ve kolonun altından üstüne doğru, ters yönde, basınçlı su uygulanarak sistem tıkanıklığını gideren yıkama yapılmış ve yeni bir numune (11. numune) alınmıştır. Alınan numunede, rengin tekrar giderildiği ve kolonun tekrar işlevini sürdürmeye başladığı görülmektedir. Bu durum, ponza taşlarının oluşturduğu kolon içindeki kütlelerin tümünün doymadığını ve atık su içinde yer alan lif vs. katı atıkların atık ponza taşı kütlelerini tıkadığının göstergesidir. Çalışmada elde edilen renk absorbans sonuçları arasındaki renk giderimine ait grafik Şekil 9.11’de yer almaktadır.



Şekil 9.11 Büyük ölçekteki deneyde adsorpsiyonla arıtma öncesi – sonrası renk absorbans değerleri arasındaki farklar (%)

Grafik incelendiğinde, sistemin renk giderme yeteneğinin başlangıçta mevcut olduğu, ancak 3. numune itibarıyla bu özelliğini tam olarak sağlayamadığı görülmektedir. 3. ve 5. numuneler arasında geçen sürede, sistemin renk giderme yetkinliğinin yeterince etkin olmadığı ve sistemin dengede gittiği görülmektedir. 5. numune itibarıyla tekrar başlayan renk giderim işleminin 10. numuneye kadar devam ettiği, ancak bu numunedeki suyun renginin, atık su giriş suyundan daha kirli olması sebebiyle sistemin özelliğini yitirdiği gözlemlenmektedir. Aynı saatte yapılan ters yıkama işlemiyle beraber sistemin tekrar çalışır hale geldiği ve renk giderme işlemine devam ettiği görülmektedir. Sistemden alınan numunelerin karşılaştırmalı resimleri Şekil 9.12’de görülmektedir.



Soldan sağa doğru ilk numuneden son numuneye...



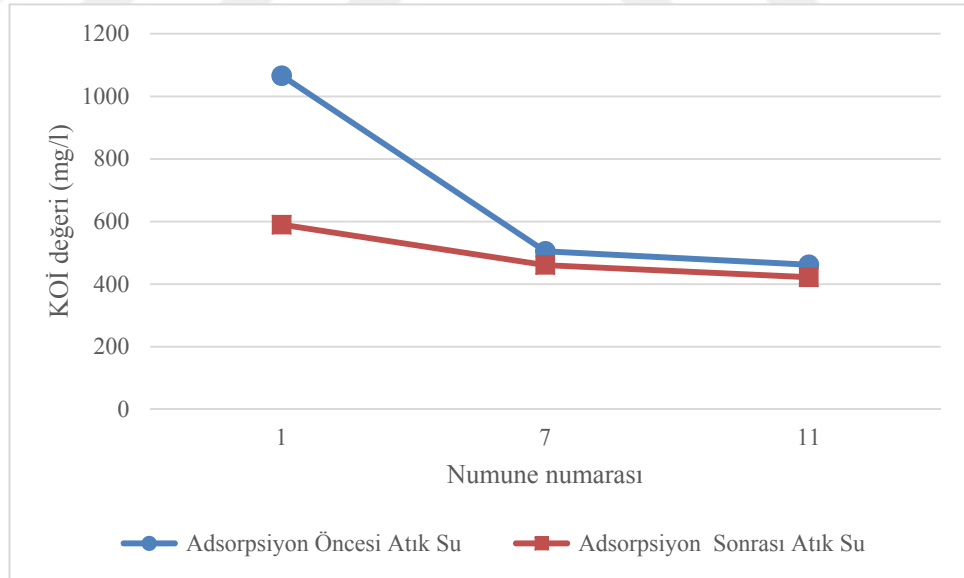
Şekil 9.12 Büyük ölçekteki deney sırasında alınan numunelerin karşılaştırmalı görselleri

Numuneler incelendiğinde, resimlerde görülen renklerin, grafikte yer alan renk absorbans değerlerini destekleyen renk tonlarına sahip olduğu görülmektedir. Numune alma sırası, soldan sağa doğru 1. numune ile başlamaktadır. 11. numuneye bakıldığında, sistemin yeteri kadar rengi gideremediği ve tıkanıp görülmekte, ardından yapılan ters yıkama işlemi sonrası ise sistemin tekrar adsorpsiyona devam edebildiği gözlemlenmektedir.

Adsorpsiyon öncesi ve sonrası alınan numunelerin KOİ değerleri Çizelge 9.8’de, bu değerlere ait grafik ise Şekil 9.13’te görülmektedir.

Çizelge 9.8 Büyük ölçekteki adsorpsiyon öncesi ve sonrası alınan numunelerin KOİ değerleri ve değişim yüzdeleri

	KOİ (mg/l)		KOİ Değişim Farkları (%)
	Adsorpsiyon Öncesi Atık Su	Adsorpsiyon Sonrası Atık Su	
1	1066	590	44,65%
7	505	461	8,71%
11	462	422	8,66%



Şekil 9.13 Büyük ölçekteki adsorpsiyon öncesi ve sonrası alınan numunelerin KOİ değerleri

Değerler incelendiğinde, sistemin renk giderme işleminin yanında, KOİ’yi de düşürdüğü gözlemlenmektedir. Bu durum, atık suda yer alan istenmeyen kimyasalların da adsorplandığını göstermektedir. Başlangıçta, KOİ düşürme hızı yüksek iken (%44,65 düşüş), son saatlerde KOİ düşürme hızının azaldığı

(yaklaşık %9) görülmüştür. Bu durum, adsorpsiyon sonucu atık ponza taşının gözeneklerinin yavaş yavaş dolmaya başladığını ve adsorplama kapasitesinin düştüğünü göstermektedir.

Büyük ölçekli çalışmada elde edilen sonuçlar, atık ponza taşı kullanarak denim yıkama atık sularının adsorpsiyon yöntemine göre arıtılmasında, hem renk gidermede hem de KOİ düşürmede başarılı sonuçlar elde edilebildiğini göstermektedir. Elde edilen değerler temel alınarak, deneyde kullanılan parametreler ve değerleri, devamında yapılacak deneyler için referans olarak kullanılmıştır.

9.1.2.2 Ponza taşıyla kimyasal arıtma çıkış suyu üzerinde adsorpsiyon denemeleri

Atık ponza taşıyla büyük ölçekli ortamda yapılan deney sonrası elde edilen veriler ışığında, yapılması planlanan iki temel deneyden birisi olan “kimyasal arıtma çıkışı atık suyu adsorpsiyon denemeleri” deneyi uygulanmıştır. Uygulanan deney, işletme şartlarında ve uzun süreli gerçekleştirilmiş olup, sistemin endüstriyel olarak uygulanabilirliği incelenmiştir.

Bu çalışmada, 10 cm çapındaki büyük pleksiglas kolon kullanılmış ve deneysel çalışma, denim yıkama fabrikasının atık su arıtma tesisinde gerçekleştirilmiştir. Deneyde 200 gr ağırlığında ve 100-595 µm boyutunda atık ponza taşı ve kimyasal arıtma havuzunda yer alan atık su kullanılmıştır. Ponza taşı, 10 cm çapındaki pleksiglas kolona yerleştirilmiş ve pompa aracılığıyla sabit basınç (pompa gücü: %30 - 0,75 bar) ve sabit sıcaklık (oda sıcaklığı) altında adsorpsiyon yapılmıştır. Sistemin akış hızı ortalama 29 ml/dk olarak ölçülmüştür. Yatak hacmi 7 cm olmuştur. Deneyin ilk günlerinde her 3 saatte 1 kez olacak şekilde giriş ve çıkış suyu numuneleri alınarak arıtmanın etkinliği daha sık kontrol edilmiş, ilerleyen günlerde numune alma sıklığı ise 6 saatte 1 keze indirilmiştir. Deney, iki hafta kesintisiz olarak sürdürülmüş ve deney sonunda 380 lt adsorpsiyon uygulanmış atık su elde edilmiştir. Deneye ait resimler Şekil 9.14'tedir.



Şekil 9.14 Atık pumza taşının kimyasal arıtma çıkış suyu üzerindeki adsorpsiyonu deneyi

Elde edilen atık suyun denim yıkamada tekrar kullanılması planlanmıştır. Ancak kimyasal arıtma sonu elde edilen suyun biyolojik arıtmaya girmeden denim yıkamada tekrar kullanılması, hem renk hem de su kalitesi açısından mümkün değildir. Bu sorunu çözmek için, adsorpsiyon sonu elde edilen atık suya, özel olarak tasarlanan bir biyolojik arıtma işlemi uygulanmıştır.

Biyolojik arıtma sistemi için boş bir konteynır kullanılmıştır. Konteynırın içine, işletmedeki biyolojik arıtma tesisinden 200 lt'lik “bakteri çözeltisi” ve “adsorpsiyon uygulanmış 380 lt'lik atık su” ilave edilerek karıştırılmıştır. Eklenen bakteri çözeltisindeki bakterilerin biyolojik arıtma yeterliliğinin kontrolü için “Imhoff Hunisi” yöntemi kullanılmıştır (bkz. Şekil 9.15). Bu teknikte kullanılan kap, çökebilir katı maddeleri ölçmek için kullanılan ve huni şeklinde olan bir ölçüm kabıdır. Çökme süresi 2 saat alınmaktadır. Bu yöntemle göre, Imhoff Hunisi'nin içine konan bakteri çözeltisinde yer alan bakterilerin, huninin dibine çökmesi beklenir. Dibe çöktükten sonra, sadece bakterilerin yer aldığı en üst noktadaki rakam, bakteri miktarını gösterir ve rakam olarak en az 400 birimi göstermelidir (Trakya Çevre, 2017). Hazırlanan düzenekte bu rakam 650 birim olmuş ve yeterli biyolojik arıtmayı sağlayacak kapasiteyi içermiştir. Biyolojik arıtmanın temel prensibi olan oksijen dozajı ve hareket enerjisi, konteynırın içine adapte edilen basınçlı hava vasıtasıyla sağlanmıştır.



Şekil 9.15 Imhoff hunisi ve tasarlanan biyolojik arıtma sistemindeki bakterilerin miktarı

Oluşturulan biyolojik arıtma sistemi 1 tam gün boyunca çalıştırılmıştır. 1 tam günün sonunda, arıtmaya giren bakterilerin arıtılan atık sudan uzaklaştırılması için çökmeleri beklenmiştir. Çökelme işlemi 2 gün sürmüştür. Çökelme sonu üstte toplanan arıtılmış atık su sistemden ayrılmıştır. Çökelme sonucu bakterilerin görüntüsü Şekil 9.16’da görülmektedir.



Şekil 9.16 Tasarlanan biyolojik arıtma sonrası çöken bakterilerin görüntüsü

Biyolojik arıtma sonunda toplam 450 lt’lik adsorpsiyona girmiş atık su elde edilmiştir. Tezin temel amaçlarından birisi olan “atık suyu denim yıkama işlemlerinde geri kullanma” için, arıtılan atık su değerlendirilmiştir. Bu aşama için, arıtılan atık suyun saf olarak denim yıkamada tekrar kullanılması yerine 1:1 oranında, temiz su ile seyreltilerek denim yıkamada geri kullanılması planlanmıştır. Bu amaçla, 450 lt’lik adsorpsiyonla arıtılmış atık suya 450 lt temiz

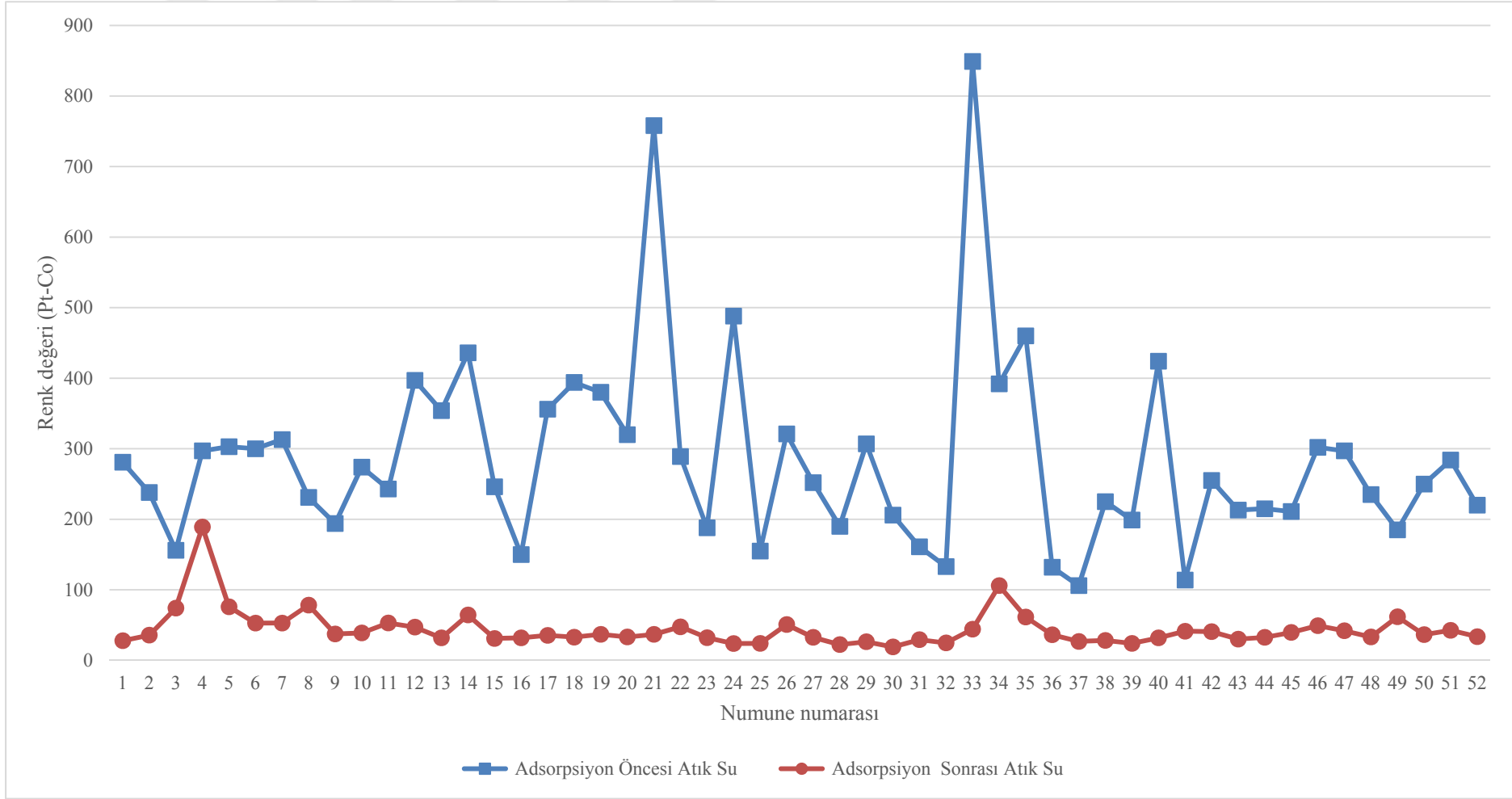
su ilave edilmiş ve toplamda 900 lt'lik denim yıkamada geri kullanılacak su elde edilmiştir. Tüm deney boyunca alınan su numunelerine renk ölçümü (Pt-Co) ve belirlenen numunelere KOİ testleri yapılmıştır. Konteynıra toplanan ve temiz suyla karıştırılan su numunesine ve deney sırasında alınan su numunelerine su analizleri yapılmıştır. Adsorpsiyona girmiş ve girmemiş atık ponza taşlarına ise SEM, BET ve XRD analizleri yapılmıştır. Taş analizleri, “atık ponza taşının incelenmesi” kısmında ayrıntılı incelenmiştir. Yapılan çalışma sonrası elde edilen atık su numunelerine uygulanan renk ölçümü (Pt-Co) değerleri Çizelge 9.10’da, değerlerin grafik görüntüsü Şekil 9.17’de, değerler arasındaki farkların yüzdelere ait grafik Şekil 9.18’dedir.

Çizelge 9.9 Kimyasal arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri (Pt-Co) ve giriş-çıkış arası farkları (%)

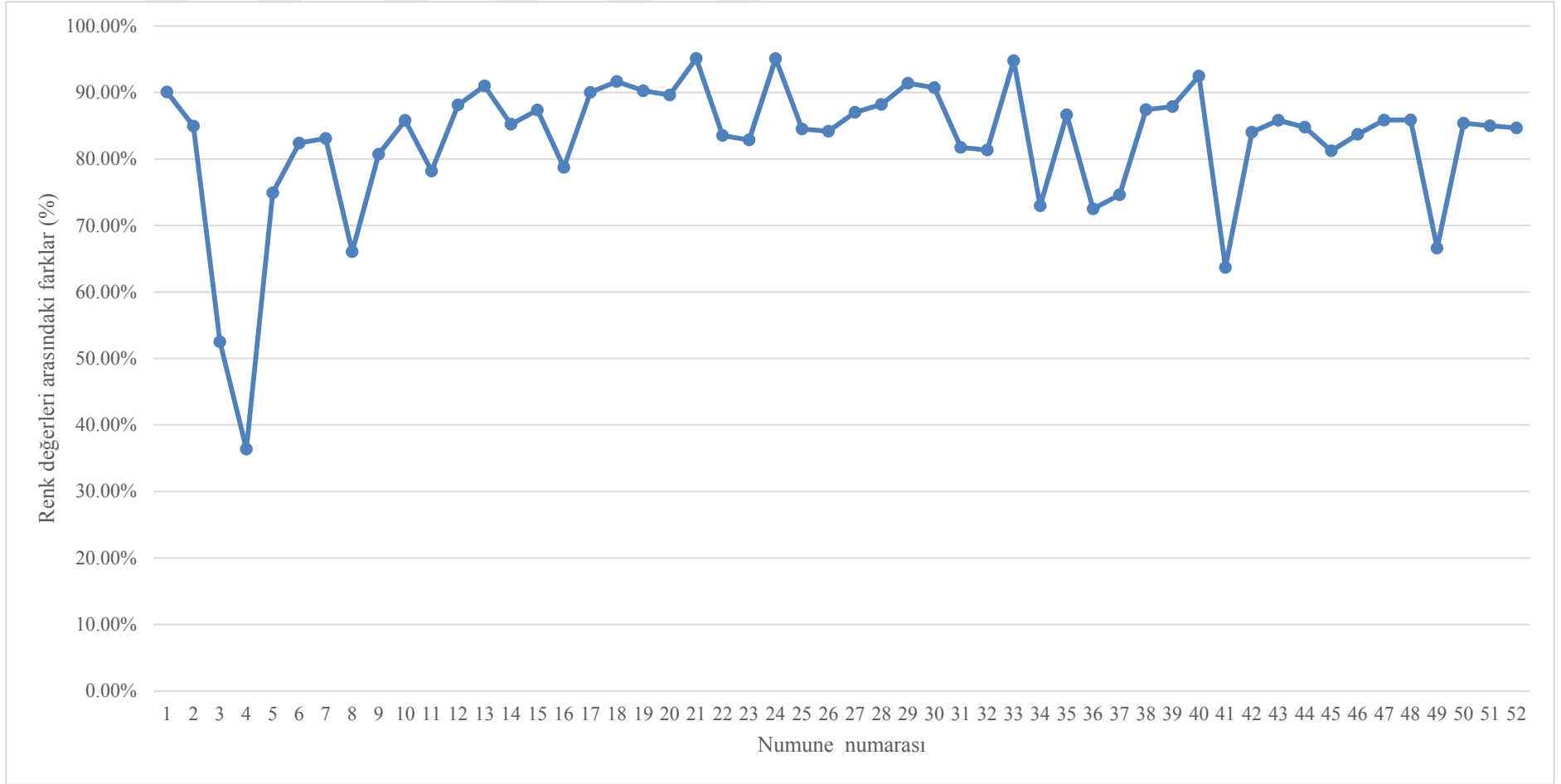
	Renk (Pt-Co)		Fark
	Adsorpsiyon Öncesi Atık Su	Adsorpsiyon Sonrası Atık Su	
1	281	27,9	90,07%
2	238	35,8	84,96%
3	156	74,1	52,50%
4	297	189	36,36%
5	303	76	74,92%
6	300	52,8	82,40%
7	313	52,9	83,10%
8	231	78,4	66,06%
9	194	37,4	80,72%
10	274	38,9	85,80%
11	243	53	78,19%
12	397	47,1	88,14%
13	354	31,9	90,99%
14	436	64,4	85,23%
15	246	31,1	87,36%
16	150	31,9	78,73%
17	356	35,5	90,03%
18	394	32,9	91,65%
19	380	37	90,26%
20	320	33,2	89,63%
21	758	36,9	95,13%
22	289	47,6	83,53%

Çizelge 9.10 Kimyasal arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri (Pt-Co) ve giriş-çıkış arası farkları (%) (Devam)

	Renk (Pt-Co)		Fark
	Adsorpsiyon Öncesi Atık Su	Adsorpsiyon Sonrası Atık Su	
23	188	32,2	82,87%
24	488	23,9	95,10%
25	155	24	84,52%
26	321	50,8	84,17%
27	252	32,7	87,02%
28	190	22,4	88,21%
29	307	26,4	91,40%
30	206	19,1	90,73%
31	161	29,4	81,74%
32	133	24,8	81,35%
33	849	44,3	94,78%
34	392	106	72,96%
35	460	61,4	86,65%
36	132	36,3	72,50%
37	106	26,9	74,62%
38	225	28,3	87,42%
39	199	24,1	87,89%
40	424	31,9	92,48%
41	114	41,4	63,68%
42	255	40,7	84,04%
43	213	30,2	85,82%
44	215	32,7	84,79%
45	211	39,6	81,23%
46	302	49,2	83,71%
47	297	42	85,86%
48	235	33,2	85,87%
49	185	61,8	66,59%
50	250	36,5	85,40%
51	284	42,6	85,00%
52	220	33,7	84,68%



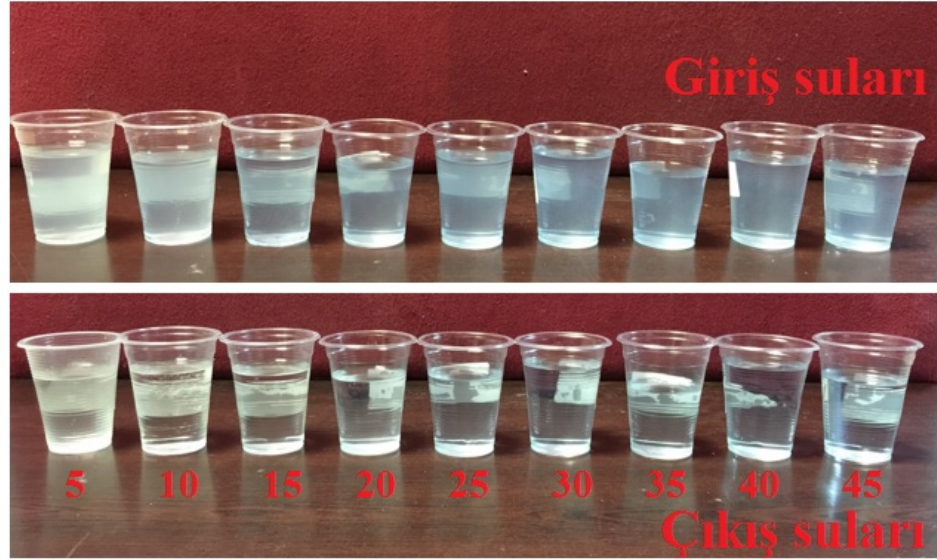
Şekil 9.17 Kimyasal arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri (Pt-Co)



Şekil 9.18 Kimyasal arıtma atık suyuyla yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri arası giriş-çıkış arası farkları (%)

Çalışma sonunda alınan numunelerin renk ölçüm değerleri incelendiğinde, sistemin başlangıçta atık suyun rengini gidermeye başladığı, ancak 11. numuneye kadar renk gidermenin yaklaşık %74 oranında olduğu görülmüştür. Sistem, 11. numuneye kadar kararsız bir hal göstermektedir. 11. numuneden sonra, sistem daha etkin şekilde renk gidermeye başlamış ve bu süreç deneyin sonuna kadar sürmüştür. Sistem, atık suda yer alan partiküller nedeniyle ilk kez 36. numunede (başlangıçtan 9 gün sonra) tıkanmıştır. Tıkanma sonucu sistemin devamlılığını sağlamak için kolona ters yıkama uygulanmış ve adsorpsiyon etkin şekilde devam etmiştir. İlk tıkanmayı takip eden her 24 saat sonunda, tekrar ters yıkamalar uygulanmış, sistemin etkinliği devam ettirilmiş ve gerekli tüm veriler elde edildikten sonra, adsorpsiyon sistemi 14. gün sonunda sonlandırılmıştır.

Su numunelerine uygulanan renk ölçümü sonrası yapılan analizlerde, adsorpsiyon öncesi giriş atık suyun renginin toplamda ortalama %82,67'sinin adsorpsiyon sonrası giderildiği görülmüştür. Fark yüzdesi grafiği incelendiğinde, adsorpsiyonun 11. numuneden itibaren istikrarlı şekilde devam ettiği ve sistemin işlevini devam ettirdiği görülmektedir. Sonuçlar, atık ponzanın atık suyun rengini etkin şekilde giderebildiğini göstermiştir. Renk gidermeye ait giriş suyu-çıkış suyu karşılaştırmalı resim, Şekil 9.19'da görülmektedir.

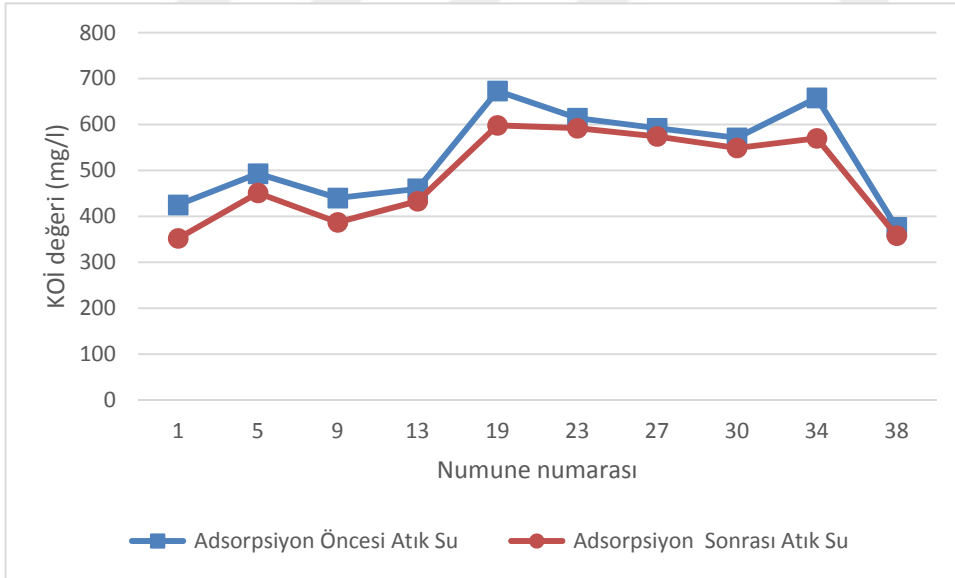


Şekil 9.19 Kimyasal arıtma atık suyuyla yapılan ponza adsorpsiyonu sonucunda elde edilen su numunelerinin karşılaştırmalı görüntüleri

Adsorpsiyon öncesi ve sonrası alınan numunelerin KOİ değerleri ve değerler arasındaki farklar Çizelge 9.11’de, bu değerlere ait grafik ise Şekil 9.20’de görülmektedir.

Çizelge 9.11 Kimyasal arıtma atık suyuyla yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen KOİ değerleri ve farkları (%)

	KOİ (mg/l)		Fark (%)
	Adsorpsiyon Öncesi Atık Su	Adsorpsiyon Sonrası Atık Su	
1	425	352	17,18%
5	493	451	8,52%
9	440	387	12,05%
13	460	433	5,87%
19	673	598	11,14%
23	614	592	3,58%
27	592	574	3,04%
30	571	549	3,85%
34	658	570	13,37%
38	376	358	4,79%



Şekil 9.20 Kimyasal arıtma atık suyuyla yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen KOİ değerleri

Değerler incelendiğinde, sistemin renk gidermenin yanında KOİ’yi de düşürdüğü gözlemlenmektedir. Bu durum, atık suda yer alan istenmeyen

kimyasalların da adsorplandığını göstermektedir. KOİ düşürme etkinliği, tüm deney boyunca dalgalı bir seyir izlerken, KOİ'nin en yüksek giderildiği oran %17 seviyesinde olup, ilk alınan numunede gözlemlenmiştir. KOİ'nin ortalama giderilme oranı %8,34'tür. KOİ'nin gideriliyor olması, sistemin, atık suda yer alan indigo boyarmaddeyi adsorplamasının yanında diğer atık kimyasalları da adsorpladığını göstermektedir.

Adsorpsiyon sırasında alınan su numunelerine ait detaylı analiz Çizelge 9.12'de görülmektedir.

Çizelge 9.12 Kimyasal arıtma atık suyuyla yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen su numunelerinin detaylı analizi

Parametre	Kimyasal Arıtma Çıkışı Atık su	Kimyasal Arıtma Çıkışı Ponza Ads. Yapılan Atık su	İşletme Giriş Suyu (Temiz Su)	Dereye Verilen İşletme Atık Suyu	Kimyasal Arıtma Çıkışı Ponza Ads. Yapılan, Ardından Biyolojik Arıtma + %50 Sulandırılan Atık su
Klorür (Cl)	307 mg/L	183 mg/L	75 mg/L	205 mg/L	175 mg/L
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	480 mg/L	416 mg/L	12 mg/L	16 mg/L	16 mg/L
Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS)	2000 mg/L	1640 mg/L	832 mg/L	1480 mg/L	1264 mg/L
Askıda Katı Madde (AKM)	145 mg/L	71 mg/L	< 2,95 mg/L	27 mg/L	7 mg/L
Yağ ve Gres	14,6 mg/L	13,6 mg/L	< 4 mg/L	< 4 mg/L	< 4 mg/L
Sülfür (SO ₃ ²⁻)	3 mg/L	1 mg/L	< 1,45 mg/L	< 1,45 mg/L	< 1,45 mg/L
Sülfür (S ²⁻)	2,4 mg/L	< 0,79 mg/L	< 0,79 mg/L	< 0,79 mg/L	< 0,79 mg/L
Amonyum (NH ₄ ⁺)	9,8 mg/L	7 mg/L	< 0,24 mg/L	< 0,24 mg/L	3,15 mg/L
Bulanıklık	77,2 NTU	66,6 NTU	< 0,1 NTU	1,95 NTU	2,59 NTU
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅)	350 mg/L	300 mg/L	7 mg/L	10 mg/L	10 mg/L
Sodyum (Na)	145 mg/L	234 mg/L	88 mg/L	187 mg/L	173 mg/L
Adsorblanabilen Organik Halojenler (AOX)	45 mg/L	23,5 mg/L	4,28 µg/L	40,08 µg/L	39,54 µg/L
Renk	326 Pt-Co	35,6 Pt-Co	11,7 Pt-Co	122 Pt-Co	27,1 Pt-Co

Belirlenen su numunelerinin detaylı su analizleri iki ayrı basamakta incelenebilir. Birinci basamakta, kimyasal arıtma çıkışı atık su ve kimyasal arıtma çıkışı adsorpsiyona uğrayan su değerleri incelenebilir. Birinci basamak, ponzanın yeterince adsorpsiyon yapıp yapmadığının değerlendirilmesini sağlar. Değerlere bakıldığında, adsorpsiyona uğrayan suyun, yapılan tüm analizlerde (sodyum değeri hariç) parametre değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Özellikle renk,

klorür, askıda katı madde (AKM), sülfid ve alkilenebilir organik halojenler (AOX)'taki düşüşler %50 ve üzerindedir. Bu beş parametre, ponzanın katı maddeleri adsorplayabildiğini gösteren bir göstergedir. Bahsedilen beş parametre, suyun denim yıkamada tekrar kullanılabilirliği için öncelikle dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir.

İkinci basamakta ise arıtılan atık suyun denim yıkama işlemlerinde tekrar kullanılabilirliği değerlendirilmektedir. Bu basamakta, işletme giriş suyu (temiz su), dereye verilen işletme atık suyu ve kimyasal arıtma çıkışı ponza adsorpsiyonu yapılan ve ardından %50 oranında sulandırılan atık su incelenebilir. Hedef, %50 sulandırılan atık suyun değerlerinin, dereye verilen atık sudan daha iyi çıkması ve mümkün olduğunca işletme giriş suyuna yakın olmasıdır. %50 sulandırılan atık su ve dereye verilen işletme atık suyunun değerleri karşılaştırıldığında tüm sonuçların birbirine yakın olduğu, ancak %50 sulandırılan suyun değerlerinin bir miktar daha iyi olduğu görülmektedir. Özellikle klorür, AKM ve renk değerleri, dereye verilen atık sudan çok daha iyi (%40-%80 aralığında) çıkmıştır. Beklenen durum, %50 sulandırılmış suyun tüm değerlerinin dereye verilen atık sudan çok daha iyi çıkmasıdır, ancak değerler birbirine yakın çıkmıştır. Bu durum, kimyasal arıtma sonrası tasarlanan manuel biyolojik arıtma işleminin işlevselliğiyle ilişkilidir.

9.1.2.3 Ponza taşıyla biyolojik arıtma çıkış suyu üzerinde adsorpsiyon denemeleri

Atık ponza taşıyla büyük ölçekli ortamda yapılan ilk iki deney sonrası, planlanmış olan üçüncü büyük ölçekli geçilmiştir. Bu aşamda, “ponza taşıyla biyolojik arıtma çıkış suyu üzerinde adsorpsiyon” denemesi uygulanmıştır. Uygulanan deneme, işletme şartlarında ve uzun süreli gerçekleştirilmiş olup, sistemin endüstriyel olarak uygulanabilirliği incelenmiştir.

Bu çalışmada, kimyasal arıtma çıkışı atık su üzerindeki deneye paralel olarak, 10 cm çapındaki büyük pleksiglas kolon kullanılmış ve deneysel çalışma, denim yıkama fabrikasının atık su arıtma tesisinde gerçekleştirilmiştir. Deneyde 200 gr ağırlığında ve 100-595 µm boyutunda atık ponza taşı ve biyolojik arıtma havuzunda yer alan atık su kullanılmıştır. Ponza taşı, 10 cm çapındaki pleksiglas kolona yerleştirilmiş ve pompa aracılığıyla sabit basınç (pompa gücü: %30 - 0,75 bar) ve sabit sıcaklık (oda sıcaklığı) altında adsorpsiyon yapılmıştır. Sistemin akış hızı ortalama 41,9 ml/dk olarak ölçülmüştür. Yatak hacmi 8 cm olmuştur.

Deneyin ilk günlerinde her 3 saatte 1 kez olacak şekilde giriş ve çıkış suyu numuneleri alınarak arıtmanın etkinliği daha sık kontrol edilmiş, ilerleyen günlerde numune alma sıklığı ise 6 saatte 1 keze indirilmiştir. Deney, iki hafta kesintisiz olarak sürdürülmüş ve deney sonunda 500 lt adsorpsiyon uygulanmış atık su elde edilmiştir. Deneye ait resimler Şekil 9.21’dedir.



Şekil 9.21 Ponza taşıyla biyolojik arıtma çıkış suyu üzerinde adsorpsiyon denemesi

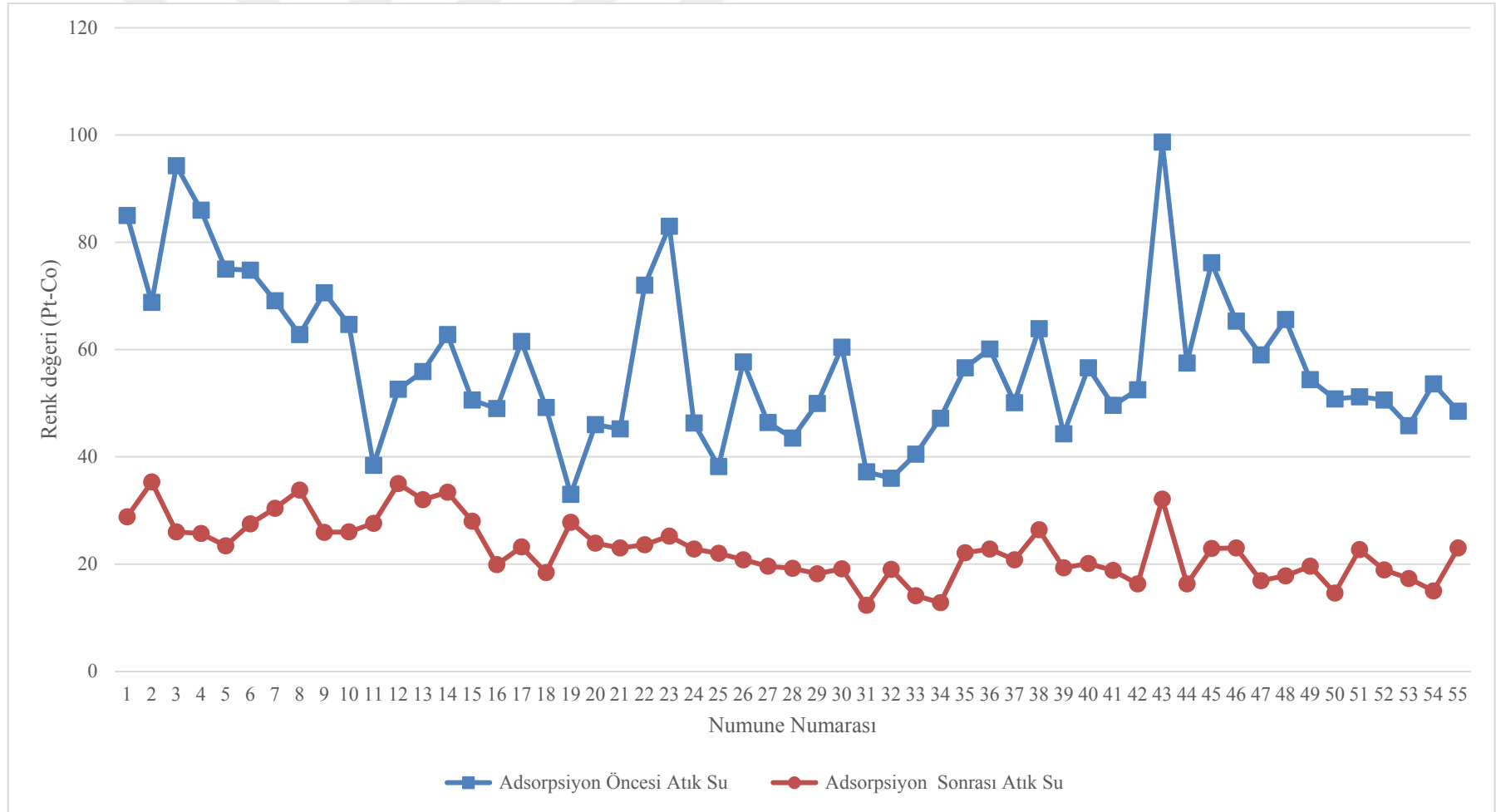
Biyolojik arıtma çıkış suyu üzerindeki adsorpsiyon deneyi sonunda toplam 500 lt’lik adsorpsiyona girmiş atık su elde edilmiştir. Tezin temel amaçlarından birisi olan “atık suyu denim yıkama işlemlerinde geri kullanma” için, arıtılan atık su değerlendirilmiştir. Bu aşama için, arıtılan atık suyun saf olarak denim yıkamada tekrar kullanılması yerine 1:1 oranında, temiz su ile seyreltilerek denim yıkamada geri kullanılması planlanmıştır. Seyreltmede amaç, atık suyun %100 kullanılması düşünülen durumlarda, işletme temiz giriş suyunun sahip olduğu minimum fiziksel değerlere sahip olamamasıdır. Buradan hareketle, 500 lt’lik adsorpsiyonla arıtılmış atık suya 500 lt temiz su ilave edilmiş ve toplamda 1000 lt’lik denim yıkamada geri kullanılacak su elde edilmiştir. Elde edilen su karışımı, 1 gün boyunca dinlendirilmiştir. Tüm deney boyunca alınan su numunelerine renk ölçümü (Pt-Co) ve belirlenen numunelere KOİ testleri yapılmıştır. Konteynıra toplanan ve temiz suyla karıştırılan su numunesine ve deney sırasında alınan su numunelerine DEÜ Çevre Mühendisliğinde su analizi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonrası elde edilen atık su numunelerine uygulanan renk ölçümü (Pt-Co) değerleri Çizelge 9.13 ve Çizelge 9.14’te, değerlerin grafik görüntüsü Şekil 9.22’de, değerler arasındaki farkların yüzdelere ait grafik Şekil 9.23’tedir.

Çizelge 9.13 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri (Pt-Co) ve giriş-çıkış arası farkları (%)

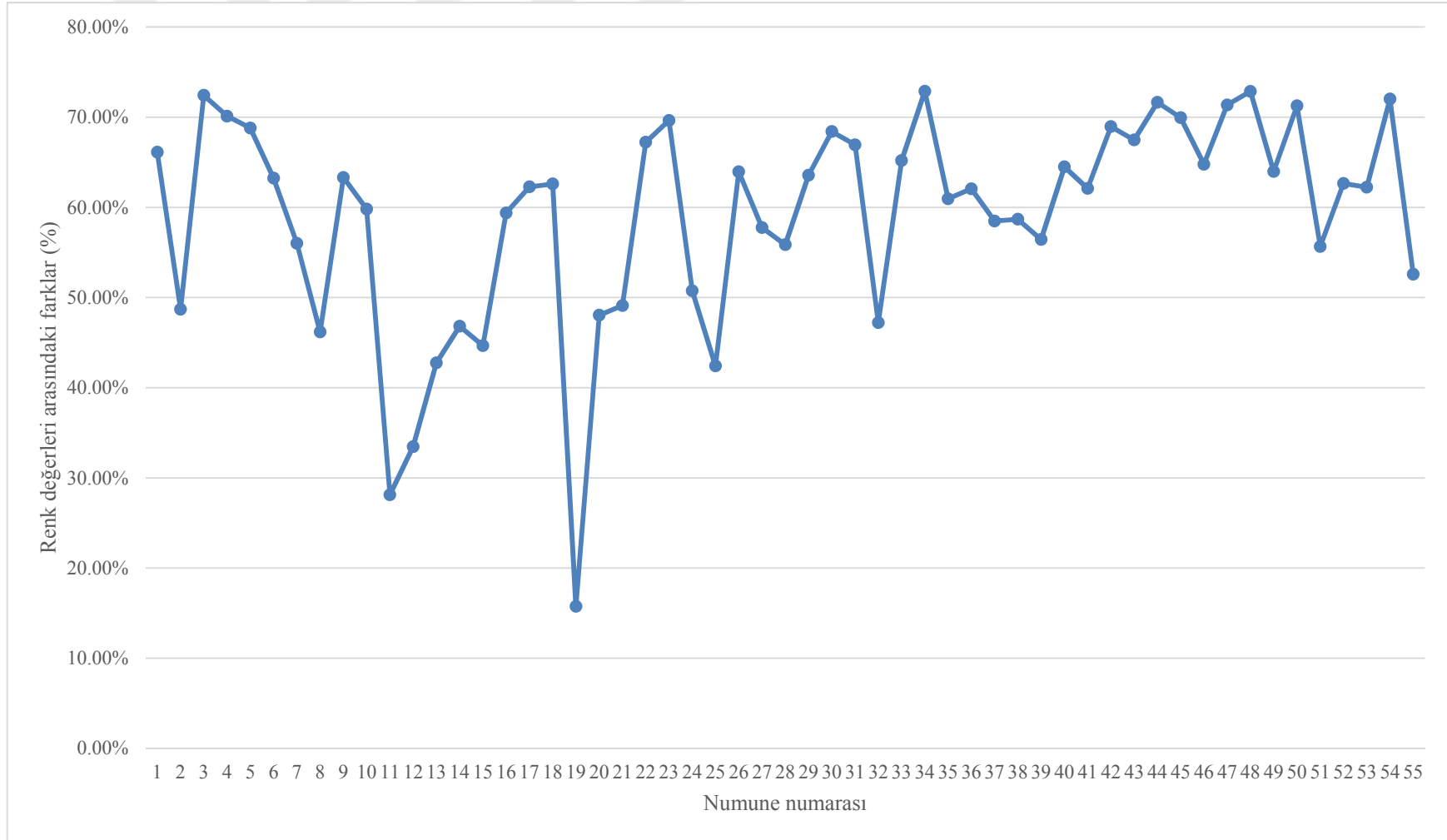
	Renk (Pt-Co)		
	Adsorpsiyon Öncesi Atık Su	Adsorpsiyon Sonrası Atık Su	Fark (%)
1	85	28,8	66,12%
2	68,8	35,3	48,69%
3	94,3	26	72,43%
4	86	25,7	70,12%
5	75	23,4	68,80%
6	74,8	27,5	63,24%
7	69,1	30,4	56,01%
8	62,8	33,8	46,18%
9	70,6	25,9	63,31%
10	64,7	26	59,81%
11	38,4	27,6	28,13%
12	52,6	35	33,46%
13	55,9	32	42,75%
14	62,8	33,4	46,82%
15	50,6	28	44,66%
16	49	19,9	59,39%
17	61,5	23,2	62,28%
18	49,2	18,4	62,60%
19	33	27,8	15,76%
20	46	23,9	48,04%
21	45,2	23	49,12%
22	72	23,6	67,22%
23	83	25,2	69,64%
24	46,3	22,8	50,76%
25	38,2	22	42,41%
26	57,7	20,8	63,95%
27	46,4	19,6	57,76%
28	43,5	19,2	55,86%
29	49,95	18,2	63,56%
30	60,45	19,1	68,40%
31	37,2	12,3	66,94%
32	36	19	47,22%
33	40,5	14,1	65,19%
34	47,2	12,8	72,88%
35	56,6	22,1	60,95%
36	60,1	22,8	62,06%
37	50,1	20,8	58,48%
38	63,9	26,4	58,69%
39	44,3	19,3	56,43%
40	56,6	20,1	64,49%

Çizelge 9.14 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri (Pt-Co) ve giriş-çıkış arası farkları (%) (Devam)

	Renk (Pt-Co)		
	Adsorpsiyon Öncesi Atık Su	Adsorpsiyon Sonrası Atık Su	Fark (%)
41	49,6	18,8	62,10%
42	52,5	16,3	68,95%
43	98,7	32,1	67,48%
44	57,5	16,3	71,65%
45	76,2	22,9	69,95%
46	65,3	23	64,78%
47	59	16,9	71,36%
48	65,6	17,8	72,87%
49	54,4	19,6	63,97%
50	50,8	14,6	71,26%
51	51,2	22,7	55,66%
52	50,6	18,9	62,65%
53	45,8	17,3	62,23%
54	53,6	15	72,01%
55	48,5	23	52,58%



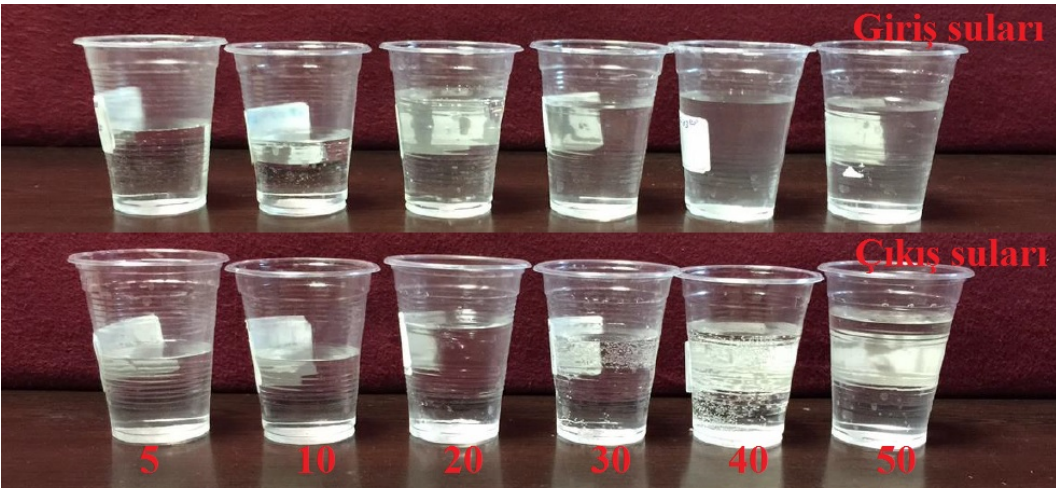
Şekil 9.22 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri (Pt-Co)



Şekil 9.23 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen renk değerleri arası giriş-çıkış arası farkları (%)

Çalışma sonunda alınan numunelerin renk ölçüm değerleri incelendiğinde, sistemin başlangıçta atık suyun rengini gidermeye başladığı, ancak 34. numuneye kadar renk gidermenin genel olarak dengesiz gittiği görülmektedir. Bunun nedenlerinden biri, 11. ve 15. numuneler arasında, biyolojik arıtma havuzunda yaşanan pompa arızasından ve 21. ve 32. numunelerde sistemin, atık suda yer alan partiküller nedeniyle tıkanmasından kaynaklıdır. Grafikler incelendiğinde, sistemin 34. numuneden itibaren sistemin kararlı hale geldiği ve renk gidermede etkinlik kazandığı görülmektedir. Tüm veriler elde edildikten sonra, adsorpsiyon sistemi 14. gün sonunda sonlandırılmıştır.

Su numunelerinden alınan renk ölçümü sonrası yapılan analizlerde, adsorpsiyon öncesi giriş atık suyunun renginin ortalama %59,09'unun adsorpsiyon sonrası giderildiği görülmüştür. Giriş suyunun kimyasal arıtma havuzundan alınan atık suyla yapılan deneyde bu rakam 582,67'yd. Bu noktada, kimyasal havuzundan alınan suyla yapılan deneyin sonuçlarına göre, renk gidermenin, biyolojik arıtma havuzundan alınan atık suyla yapılan adsorpsiyonda daha düşük verimde çıktığı görülmektedir. Sonuca genel olarak bakıldığında ise, biyolojik arıtma havuzundan alınan atık suya, atık ponza taşıyla uygulanan adsorpsiyon sonu rengin giderilebildiği gözlemlenmektedir. Renk gidermeye ait giriş suyu-çıkış suyu karşılaştırmalı resim, Şekil 9.24'te görülmektedir.

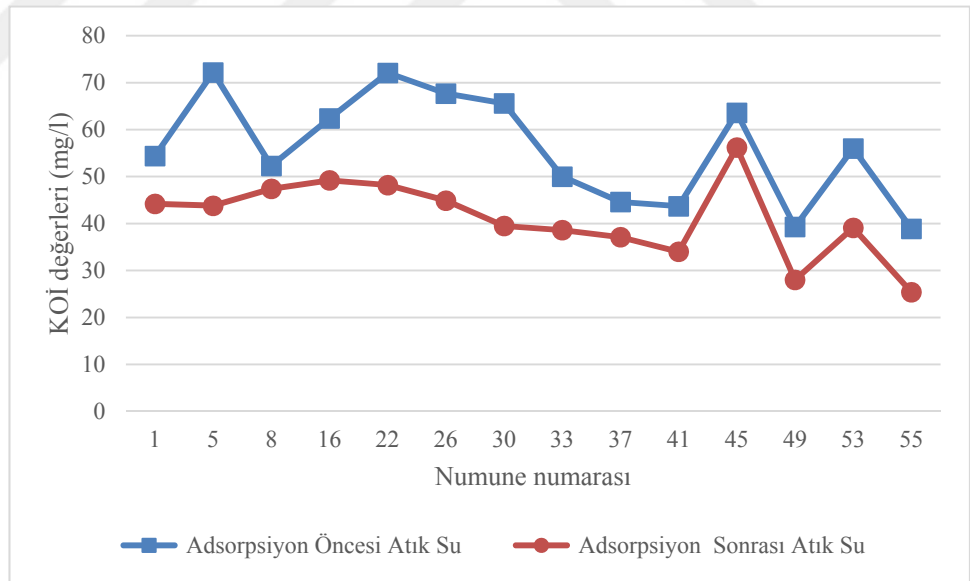


Şekil 9.24 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen su numunelerinin karşılaştırmalı görünümü

Adsorpsiyon öncesi ve sonrası alınan numunelerin KOİ değerleri ve değerler arasındaki farklar Çizelge 9-15'te, bu değerlere ait grafik ise Şekil 9.25'te görülmektedir.

Çizelge 9.15 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen KOİ değerleri ve farkları (%)

	KOİ (mg/l)		Fark
	Adsorpsiyon Öncesi Atık Su	Adsorpsiyon Sonrası Atık Su	
1	54,4	44,2	18,75%
5	72,2	43,8	39,34%
8	52,3	47,4	9,37%
16	62,4	49,2	21,15%
22	72,1	48,2	33,15%
26	67,7	44,9	33,68%
30	65,6	39,5	39,79%
33	50	38,6	22,80%
37	44,6	37,1	16,82%
41	43,7	34	22,20%
45	63,6	56,2	11,64%
49	39,3	28	28,75%
53	56	39,1	30,18%
55	38,9	25,4	34,70%



Şekil 9.25 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen KOİ değerleri

Değerler incelendiğinde, sistemin renk gidermenin yanında KOİ'yi de düşürdüğü gözlemlenmektedir. Bu durum, atık suda yer alan istenmeyen kimyasalların da adsorplandığını göstermektedir. KOİ düşürme etkinliği, tüm deney boyunca lineer bir seyir izlerken, 45. numunede KOİ giderme en düşük seviyede çıkmıştır. Bunun nedeni, 45. numunede sistemin tıkanmış olması ve ardından ters yıkamaya gerek duyulmasından kaynaklıdır. KOİ'nin en yüksek giderildiği oran %40 seviyesinde olup, 5. ve 30. numunelerde gözlemlenmiştir. Bu durum, sistemin tüm çalışma ömrü boyunca KOİ'yi etkin şekilde giderebildiğinin göstergesidir. KOİ'nin gideriliyor olması, sistemin, atık suda yer alan indigo boyarmaddeyi adsorplamasının yanında diğer atık kimyasalları da adsorpladığını göstermektedir.

Su numunelerinden alınan KOİ ölçümü sonrası giriş ve çıkış suyu arasındaki KOİ değişiminin ortalama %25,88 olduğu görülmüştür. Giriş suyunu kimyasal arıtma havuzundan alındığı deneyde ise bu rakam ortalama %9 civarındaydı. Giriş suyunun kimyasal arıtma ve biyolojik arıtmadan alındığı iki ayrı deney arasında karşılaştırma yapıldığında, kimyasal arıtma suyuyla yapılan deneyde rengin giderilme yüzdesinin daha yüksek, biyolojik arıtma suyuyla yapılan deneyde ise KOİ'nin giderilme yüzdesinin daha yüksek görülmektedir. Kimyasal arıtma suyuyla yapılan deneyde, rengin, diğer deneye göre daha çok, KOİ değerinin ise daha az giderilmesi, atık ponzanın, kimyasal arıtma ile yapılan deney sisteminde öncelikle indigo boyarmadde moleküllerini adsorbe ettiğini, biyolojik arıtma havuzundaki atık su ile yapılan deneyde ise atık suda yeteri kadar indigo boyarmadde kalmadığı için, atık suda yer alan diğer kimyasalları adsorbe etmeye başladığı gözlemlenmektedir. Şekil 9.19 ve Şekil 9.25 incelendiğinde, kimyasal arıtma havuzundan alınan atık sularda indigo boyarmadde konsantrasyonunun, biyolojik arıtma havuzundan alınan atık sulara göre daha yüksek olduğu görsel olarak da fark edilmektedir. Şekil 9.25'teki çıkış suları incelendiğinde, atık sudaki kimyasalların uzaklaştırılmasından kaynaklı olarak su içinde oksijen kabarcıkları oluşumu gözlemlenmektedir.

Adsorpsiyon sırasında alınan su numunelerine ait detaylı analiz Çizelge 9.16'da görülmektedir.

Çizelge 9.16 Biyolojik arıtma atık suyuna yapılan ponza adsorpsiyonu sonu elde edilen su numunelerinin detaylı analizi

PARAMETRE	Ölçülen Konsantrasyon			
	Dereye Verilen İşletme Çıkış suyu	Adsorpsiyon Uygulanan Atık Su	Adsorpsiyon Uygulanan + 50% Sulandırılan Atık Su	İşletme Giriş suyu (Temiz Su)
Klorür (Cl ⁻)	253 mg/L	197 mg/L	137 mg/L	73 mg/L
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOD)	< 6,07 mg/L	< 6,07 mg/L	< 6,07 mg/L	< 6,07 mg/L
Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS)	1705 mg/L	1550 mg/L	1208 mg/L	830 mg/L
Askıda Katı Madde (AKM)	15 mg/L	8 mg/L	7 mg/L	7 mg/L
Yağ ve Gres	< 4 mg/L	< 4 mg/L	< 4 mg/L	< 4 mg/L
Sülfür (S ²⁻)	< 1,45 mg/L	< 1,45 mg/L	< 1,45 mg/L	< 1,45 mg/L
Sülfür (S ²⁻)	< 0,79 mg/L	< 0,79 mg/L	< 0,79 mg/L	< 0,79 mg/L
Amonyum (NH ₄ ⁺)	< 0,24 mg/L	< 0,24 mg/L	< 0,24 mg/L	< 0,24 mg/L
Bulanıklık	4,27 NTU	0,90 NTU	0,59 NTU	0,16 NTU
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅)	< 4 mg/L	< 4 mg/L	< 4 mg/L	< 4 mg/L
Sodyum (Na)	217 mg/L	164 mg/L	130 mg/L	88 mg/L
Adsorplanabilen Organik Halojenler (AOX)	68,34 µg/L	36,74 µg/L	28,56 µg/L	< 8 µg/L
Renk (Pt-Co)	14,2	6,31	3,22	0,42

Belirlenen su numunelerinin detaylı su analizleri iki ayrı basamakta incelenebilir. Birinci basamakta, biyolojik arıtma çıkışı işletme atık suyunun (dereye verilen su) ve biyolojik arıtma çıkışı adsorpsiyona uğrayan işletme atık suyunun analiz sonuçlarının yorumlanması, ikinci basamakta ise arıtılan atık suyun denim yıkama işlemlerinde tekrar kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi yapılabilir.

Birinci basamak, ponzanın ne kadar etkinlikle adsorpsiyon yaptığının değerlendirilmesini sağlar. Değerlere bakıldığında, adsorpsiyona uğrayan suyun, dereye verilen atık suya göre, yapılan tüm analizlerde parametre değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Özellikle renk, askıda katı madde (AKM), bulanıklık ve adsorplanabilir organik halojenler (AOX)'deki düşüşler %50 ve üzerindedir. Bu parametreler, ponzanın katı maddeleri adsorplayabildiğini gösteren ana

göstergelerdir. Bahsedilen parametreler, suyun denim yıkamada tekrar kullanılabilirliği için öncelikle dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir.

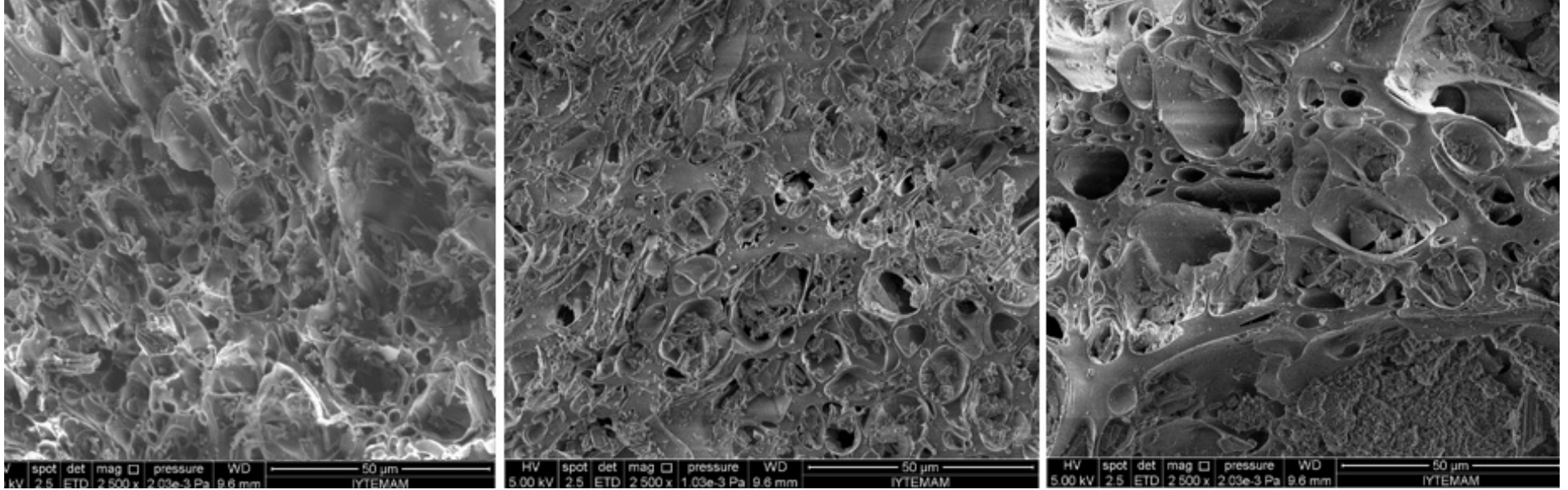
İkinci basamakta ise, arıtılan atık suyun denim yıkama işlemlerinde tekrar kullanılabilirliği değerlendirilmektedir. Bu basamakta, işletme giriş suyu (temiz su), dereye verilen işletme atık suyu ve biyolojik arıtma çıkışı ponza adsorpsiyonu yapılan ve %50 sulandırılan atık su incelenmektedir. Hedef, %50 sulandırılan atık suyun değerlerinin, dereye verilen atık sudan daha iyi çıkması ve mümkün olduğunca işletme giriş suyu değerlerine yakın olmasıdır. %50 sulandırılan atık su ve dereye verilen işletme atık suyunun değerleri karşılaştırıldığında, %50 sulandırılan suyun tüm parametre değerlerinin, dereye verilen atık sudan daha iyi olduğu ve değerler arasında ortalama %50 fark olduğu görülmektedir. Özellikle klorür, AKM, AOX ve renk değerleri, dereye verilen atık sudan çok daha iyi (%45-%95 aralığında) çıkmıştır. Çıkan sonuçlar, adsorpsiyonla arıtmanın biyolojik arıtma çıkışında etkin çalıştığının bir göstergesidir.

9.1.3 Atık ponza taşının özelliklerinin belirlenmesi

Laboratuvar ve büyük ölçekli ortamlarda uygulanan deneylerde kullanılan atık ponza taşlarının özelliklerinin belirlenmesi için çeşitli analizler uygulanmıştır. Bunlar SEM, BET ve XRD analizleridir. Bu analizler sonucu elde edilen veriler ışığında, adsorbent olarak kullanılan atık ponza taşının özellikleri hakkında değerlendirmeler yapılabilmektedir.

9.1.3.1 SEM analizi

SEM analizi yapılabilmesi için üç ayrı kategoride ponza taşı belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla ham ponza, denim yıkamada kullanıp atık haline gelmiş ponza ve denim yıkama kullanılıp atık haline gelmiş ve adsorpsiyonda kullanılmış ponzadır. Adsorpsiyonda kullanılan atık ponza taşı, kimyasal arıtma çıkışı suyuna uygulanan adsorpsiyon denemesinde kullanılan taşlardan alınmıştır. Alınan ponza taşı numunelerine SEM analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu, ponzaların 2500 kez büyütülmüş halini gösteren SEM görüntüleri Şekil 9.26'da yer almaktadır.



(a)

(b)

(c)

Şekil 9.26 Ham ponza (a), denim yıkamada kullanılmış atık ponza (b) ve adsorbent olarak kullanılmış atık ponzanın (c) SEM görüntüleri

Resimler incelendiğinde, ham ponzanın gözenekli ve damarlı bir yapıya sahip olduğu, denim ürün taşlama işleminde kullanılan ponzada ise gözenek girişlerindeki sivri ve keskin kısımların uzaklaşıp, gözenek girişlerinin açıldığı ve gözenek giriş hacminin arttığı gözlemlenmektedir. Ponza taşının yapısında hem mikro hem de meso büyüklükte gözenekler gözlemlenmektedir.

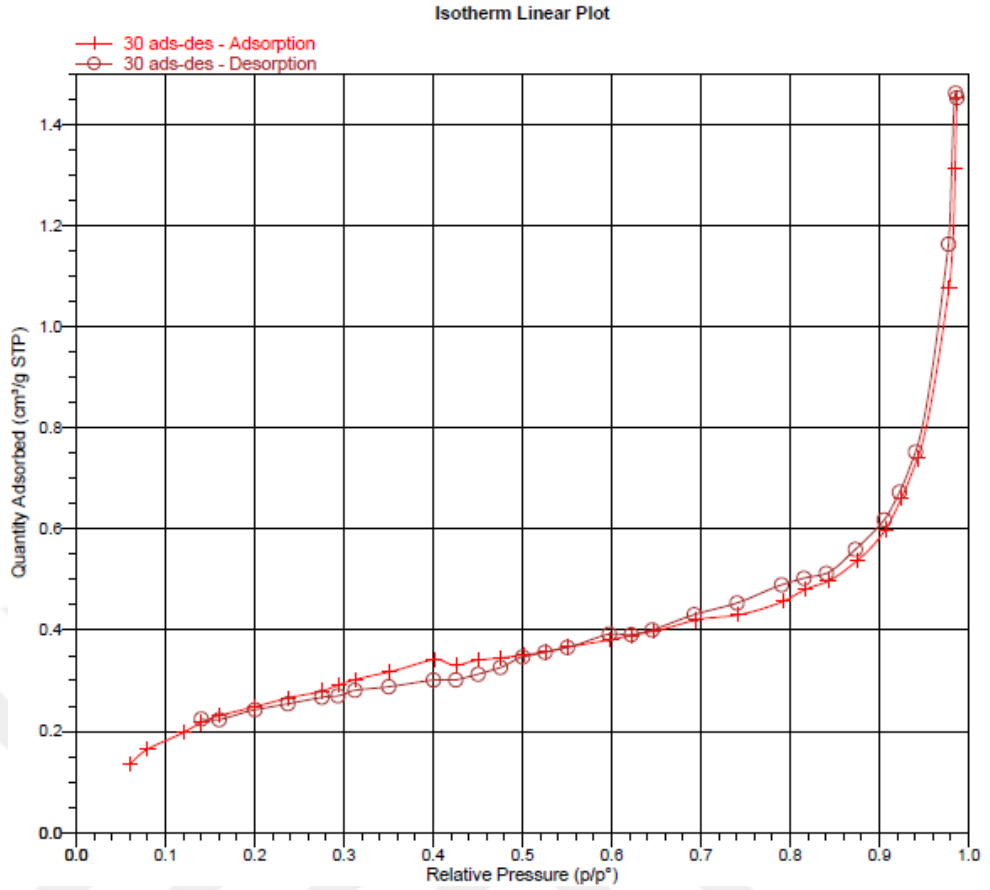
Denim yıkamada kullanılmış atık ponzanın, adsorpsiyonda kullanılmak üzere 100-595 nm boyutuna getirilmek için öğütülmesiyle beraber, atık ponzanın yapısından kopan parçaların, ponzanın gözeneklerine yerleştiği görülmektedir. Adsorpsiyonda kullanılan atık ponzada ise, kendi yapısından kopan ve gözenek girişlerine yerleşen parçaların, kolondan geçen basınçlı suyun etkisiyle süzüldüğü ve gözenek girişlerinden uzaklaştığı, ayrıca bu sayede gözeneklerin daha da görünür hale geldiği gözlemlenmektedir.

Adsorpsiyonda kullanılan ponzanın yapısında, gözeneklerin atık katı maddelerde dolmaya başladığı net bir şekilde görülmektedir. Gözeneklerde adsorpsiyon, katmanlar halindedir. Gözeneklerin büyük bir kısmının hala dolmadığı ve ponzanın adsorpsiyon için daha fazla kapasitesi olduğu görülmektedir.

9.1.3.2 BET analizi

Ponza taşının özelliklerinin belirlenmesi çalışmalarında, diğer aşama olarak “denim yıkamada kullanılmış atık ponza” ve “denim yıkamada kullanılmış ve adsorpsiyonda yer almış atık ponzalara” BET analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu, adsorpsiyon izotermi ve yüzey alanları verileri elde edilmiştir.

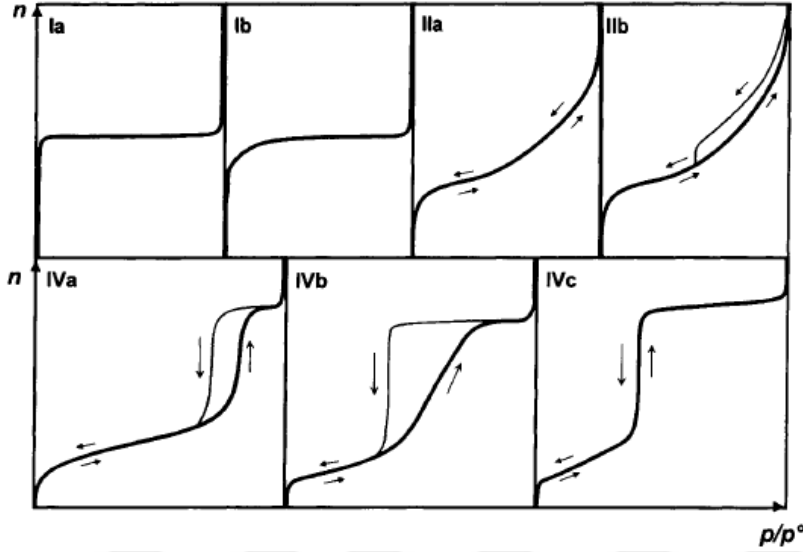
Denim yıkamada kullanılmış ponza taşına ait adsorpsiyon izoterm grafiği Şekil 9.27’dedir.



Şekil 9.27 Denim yıkamada kullanılmış atık ponza taşına ait adsorpsiyon izotermi

Grafik incelendiğinde, izotermin, BET analizi sırasındaki azot adsorpsiyonu ve desorpsiyonuna izoterm grafiklerinden tip 2'ye (bkz. Şekil 5.4), alt basamak olarak ise tip 2-a'ya (bkz. Şekil 9.28) benzediği görülmektedir. Grafikte ayrıca "histerisiz" döngüsünün oluşumu gözlenmemektedir. Histerisiz oluşumun yaşandığı durumlar, adsorbentın mikropor ve mezopor yapı içerdiği, monolayer adsorpsiyon yaptığı ve kapılar kondenzasyon oluştuğu durumlardır (Rouquerol vd., 1999). Tip 2-a'ya benzeyen izotermelere sahip adsorbentlerde, adsorpsiyon, adsorbentın dış yüzeyinde, açık şekilde ve hem tek tabaka hem de çoklu tabaka şeklinde ilerlemektedir. Bu tip adsorbentler, makro gözeneklere sahip olup, sınırlı sayıda mikro ve mezo gözeneklere sahiptir. Tip 2-a izotermelerinde adsorbent-adsorbat arasında yüksek heterojenlik mevcuttur. İzotermde yer alan keskin "B" noktası; bununla beraber yüksek değerdeki "C" miktarı, iyi kurulmuş bir "tek tabaka" adsorpsiyonun göstergesidir. Belirgin olmayan bir "B" noktası ise hem tek tabaka hem de çoklu tabaka adsorpsiyonun gerçekleştiğini göstermektedir (Rouquerol vd., 1999). Grafik incelendiğinde, "B" noktasının, relatif basıncın 0,4 olduğunda ortaya çıktığı ve çok keskin olmadığı

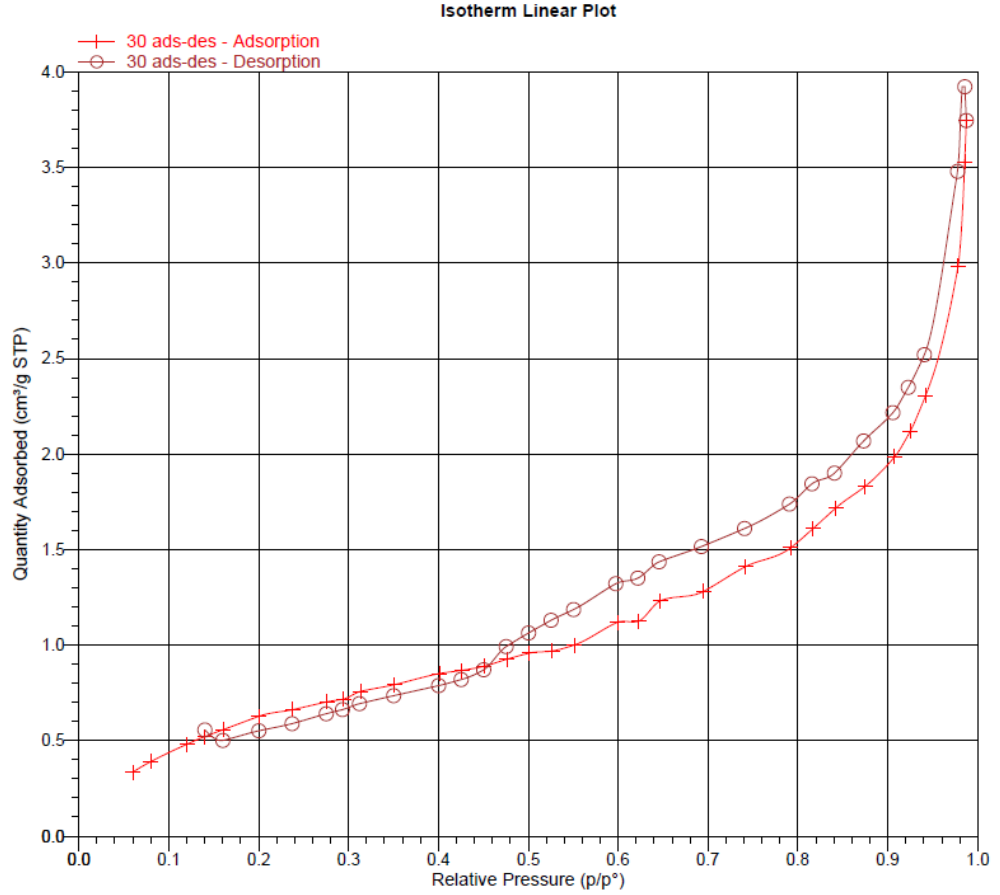
görülmektedir. Bu durumda, denim yıkamada kullanılmış atık ponzanın tek ve çoklu tabaka adsorpsiyon yapabildiği gözlemlenmektedir.



Şekil 9.28 Katı-gaz fizosorpsiyon izoterm eğrilerinden tip 1, tip 2 ve tip 4'e ait alt basamak eğrileri (Rouquerol, 1999).

Ponzanın adsorpladığı miktar incelendiğinde, miktarın nispeten az olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, ponza taşının morfolojik yapısı ve adsorpsiyonun yürüme mekanizmasıyla ilgilidir. Ponza taşının gözenek yapısı makro gözeneklerden oluşmaktadır. Adsorpsiyon da makro gözenekler ve dış yüzey üzerinden yürümektedir. Makro gözenek içeren bir yapıda adsorbe edilen madde miktarı, mikro ve mezo gözenek içeren malzemelere göre nispeten düşük kalmaktadır. Bunun yanında, atık ponzada adsorpsiyon yanında, atık sudaki katı maddeler, ponzaların oluşturduğu kütle arasında birikme şeklinde de tutulmaktadır. Bu tutulma, adsorpsiyon analizi için yapılan analizlerde herhangi bir değeri içermediği için toplam adsorplanan madde miktarı nispeten düşük görünmektedir.

Denim yıkamada kullanılmış ve adsorpsiyonda yer almış ponza taşına ait adsorpsiyon izoterm grafiği Şekil 9.29'dadır.



Şekil 9.29 Denim yıkamada kullanılmış ve adsorpsiyonda yer almış atk ponza taşına ait adsorpsiyon izotermi

Grafik incelendiğinde, BET analizi sırasındaki azot adsorpsiyonu ve desorpsiyonuna ait değerler histerisiz oluşumunu göstermektedir. Katı-gaz adsorpsiyonu grafik sınıflandırmasına bakıldığında tip 2b'ye çok benzediği görülmektedir.

Tip 2b'ye benzer izoterm grafiklerinde adsorpsiyon, plaka şekline benzer partiküllerin oluşturduğu agregatların adsorbente tutunması şeklinde yürür. Bu tip adsorbentler, rijit olmayan ve yarık şeklinde gözeneklere sahiptir. Geç oluşan kapılar kondenzasyon sebebiyle, ancak yüksek relatif basınç değerlerine ulaşıldığında partikül yüzeyinde çok tabakalı adsorpsiyon gerçekleşebilir. Kondenzasyon ortaya çıktığında ise adsorbentin durumu değişir ve desorpsiyon eğrisi bu nedenle farklı bir yol izler. İzlediği farklı yol, kondenzatın kritik relatif basınç değerlerine ulaştığında durur ve adsorpsiyon eğrisiyle aynı yolu izlemeye devam eder (Rouquerol vd., 1999).

Hem denim yıkamada kullanılmış ponza taşı hem de denim yıkamada kullanılmış ve adsorpsiyonda yer almış ponza taşına ait izotermber beraber değerlendirildiğinde, her iki taşın da makro gözeneklere sahip olduğu, adsorpsiyonun yüzeyde ve makro gözeneklerin çevresinde olduğu, adsorpsiyonun hem tekli hem de çoklu tabaka şeklinde yürüdüğü ve adsorpsiyona uğrayan maddelerin agregat şekilde ponzaya tutunduğu sonuçlarına varılmaktadır.

Denim yıkamada kullanılmış ponza taşına ve denim yıkamada kullanıldıktan sonra adsorpsiyonda değerlendirilmiş ponza taşına uygulanan BET analizi sonucu elde edilen yüzey alanı, gözenek hacmi ve gözenek boyutları değerleri Şekil 9.30'dadır.

<p style="text-align: center;">Surface Area</p> <p>Single point surface area at $p/p^{\circ} = 0.200483792$: 0.8663 m²/g</p> <p>BET Surface Area: 1.0806 m²/g</p> <p>Langmuir Surface Area: 1.6938 m²/g</p> <p>t-Plot External Surface Area: 1.5564 m²/g</p> <p>BJH Adsorption cumulative surface area of pores between 17.000 Å and 3000.000 Å width: 0.959 m²/g</p> <p>BJH Desorption cumulative surface area of pores between 17.000 Å and 3000.000 Å width: 0.8406 m²/g</p> <p style="text-align: center;">Pore Volume</p> <p>Single point adsorption total pore volume of pores less than 1313.020 Å width at $p/p^{\circ} = 0.985035294$: 0.002030 cm³/g</p> <p>Single point desorption total pore volume of pores less than 1346.560 Å width at $p/p^{\circ} = 0.985414529$: 0.002260 cm³/g</p> <p>t-Plot micropore volume: -0.000288 cm³/g</p> <p>BJH Adsorption cumulative volume of pores between 17.000 Å and 3000.000 Å width: 0.002321 cm³/g</p> <p>BJH Desorption cumulative volume of pores between 17.000 Å and 3000.000 Å width: 0.002327 cm³/g</p> <p style="text-align: center;">Pore Size</p> <p>Adsorption average pore width (4V/A by BET): 75.1426 Å</p> <p>Desorption average pore width (4V/A by BET): 83.6597 Å</p> <p>BJH Adsorption average pore width (4V/A): 96.857 Å</p> <p>BJH Desorption average pore width (4V/A): 110.732 Å</p> <p style="text-align: center;">(a)</p>	<p style="text-align: center;">Surface Area</p> <p>Single point surface area at $p/p^{\circ} = 0.200558846$: 2.1843 m²/g</p> <p>BET Surface Area: 2.7390 m²/g</p> <p>Langmuir Surface Area: 4.3598 m²/g</p> <p>t-Plot External Surface Area: 4.2908 m²/g</p> <p>BJH Adsorption cumulative surface area of pores between 17.000 Å and 3000.000 Å width: 2.823 m²/g</p> <p>BJH Desorption cumulative surface area of pores between 17.000 Å and 3000.000 Å width: 2.9654 m²/g</p> <p style="text-align: center;">Pore Volume</p> <p>Single point adsorption total pore volume of pores less than 1353.881 Å width at $p/p^{\circ} = 0.985494774$: 0.005458 cm³/g</p> <p>Single point desorption total pore volume of pores less than 1362.299 Å width at $p/p^{\circ} = 0.98585970$: 0.006068 cm³/g</p> <p>t-Plot micropore volume: -0.000902 cm³/g</p> <p>BJH Adsorption cumulative volume of pores between 17.000 Å and 3000.000 Å width: 0.005910 cm³/g</p> <p>BJH Desorption cumulative volume of pores between 17.000 Å and 3000.000 Å width: 0.006142 cm³/g</p> <p style="text-align: center;">Pore Size</p> <p>Adsorption average pore width (4V/A by BET): 79.7068 Å</p> <p>Desorption average pore width (4V/A by BET): 88.6142 Å</p> <p>BJH Adsorption average pore width (4V/A): 83.737 Å</p> <p>BJH Desorption average pore width (4V/A): 82.849 Å</p> <p style="text-align: center;">(b)</p>
--	--

Şekil 9.30 Denim yıkamada kullanılmış ponza taşına (a) ve denim yıkamada kullanılmış ve adsorpsiyonda yer almış ponza taşına (b) uygulanan BET analizi sonucu elde edilen yüzey alanı, gözenek hacmi ve gözenek boyutları değerleri

BET yüzey alanı değerleri incelendiğinde, denim yıkamada kullanılmış ponza taşının yüzey alanının 1,0806 m²/g olduğu, adsorpsiyonda yer alan aynı

ponzanın yüzey alanının ise 2,739 m²/g olduğu görülmektedir. Adsorpsiyon sonrası yüzey alanının arttığı görülmektedir. Fakat bu artış, önemsenmeyecek kadar küçük bir artıştır. Ponzanın yüzey alanı değeri diğer adsorbentlerle karşılaştırıldığında oldukça düşük kalmaktadır. Örneğin, aktif karbonun yüzey alanı 500-2000 m²/g arasında değişmektedir (Küçükgül, 2004). Normal şartlarda bu yüzey alanına sahip bir maddenin yeterli adsorpsiyon yapması beklenmez. Ancak ponzanın izoterm grafiklerindeki yorumlarda belirtildiği gibi, ponzada adsorpsiyon genellikle dış yüzey ve makro gözeneklerde, hem tekli hem de çoklu tabaka üzerinden ve agregat şeklinde ilerlediğinden, yüzey alanı değerinin düşük çıkması, adsorpsiyonun kabul edilebilir seviyede olmasını engellemiştir.

Kümülatif gözenek hacmi değerleri incelendiğinde, denim yıkamada kullanılmış ponza taşının gözenek hacminin 0,002321 cm³/g olduğu, adsorpsiyonda yer alan aynı ponzanın gözenek hacminin ise 0,005910 cm³/g olduğu görülmektedir. Ponzanın kümülatif gözenek hacmi değeri diğer adsorbentlerle karşılaştırıldığında oldukça düşük kalmaktadır. Örneğin, aktif karbonun kümülatif gözenek hacmi 0,2-1 cm³/g arasında değişmektedir (Küçükgül, 2004). Yüzey alanında yaşanan duruma benzer şekilde, ponza taşının morfolojik yapısından kaynaklı olarak, adsorpsiyon makro gözeneklerde ve dış yüzeyde yürümektedir. Ponza taşında mikro ve meso gözenek yapılarına az rastlandığı için kümülatif gözenek hacmi değerleri de nispeten az çıkmıştır.

Gözenek boyutları incelendiğinde, denim yıkamada kullanılmış ponza taşının gözenek boyutunun 75,1426 Å olduğu, adsorpsiyonda yer alan aynı ponzanın gözenek boyutunun ise 79,7068 Å olduğu görülmektedir. Değerlere bakıldığında, boyut aralığının meso/makro gözenekli yapı içerdiği görülmektedir. Ancak elde edilen verilen ortalama değerler olduğu ve izotermelerden elde edilen yorumlar genellikle makro gözenek yapısını gösterdiği için gözenek yapısı hakkında kesin bir hükme varmak zordur. Verilerden çıkarılacak en net sonuç, ponzanın mikro gözenek yapısına sahip olmadığıdır.

9.1.3.3 EDX analizi

Ponza taşının özelliklerinin belirlenmesi çalışmalarında, üçüncü aşama olarak “denim yıkamada kullanılmış atık ponza” ve “denim yıkamada kullanılmış ve adsorpsiyonda yer almış atık ponzalara” EDX analizleri yapılmıştır. Analiz sırasında, ponza numunelerinden üç ayrı bölge seçilerek örnek alınmış ve elde edilen değerlerin ortalama değerleri belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucu

denim yıkamada kullanılmış atık ponzanın ve daha sonra adsorpsiyonda kullanılmış atık ponzanın içermiş olduğu atomlar ve ağırlıkça yüzdeleri Çizelge 9.17’de verilmiştir.

Çizelge 9.17 Denim yıkamada kullanılmış atık ponza ve denim yıkamada kullanılmış ve adsorpsiyonda yer almış atık ponzalara uygulanan EDX analizi sonuçları

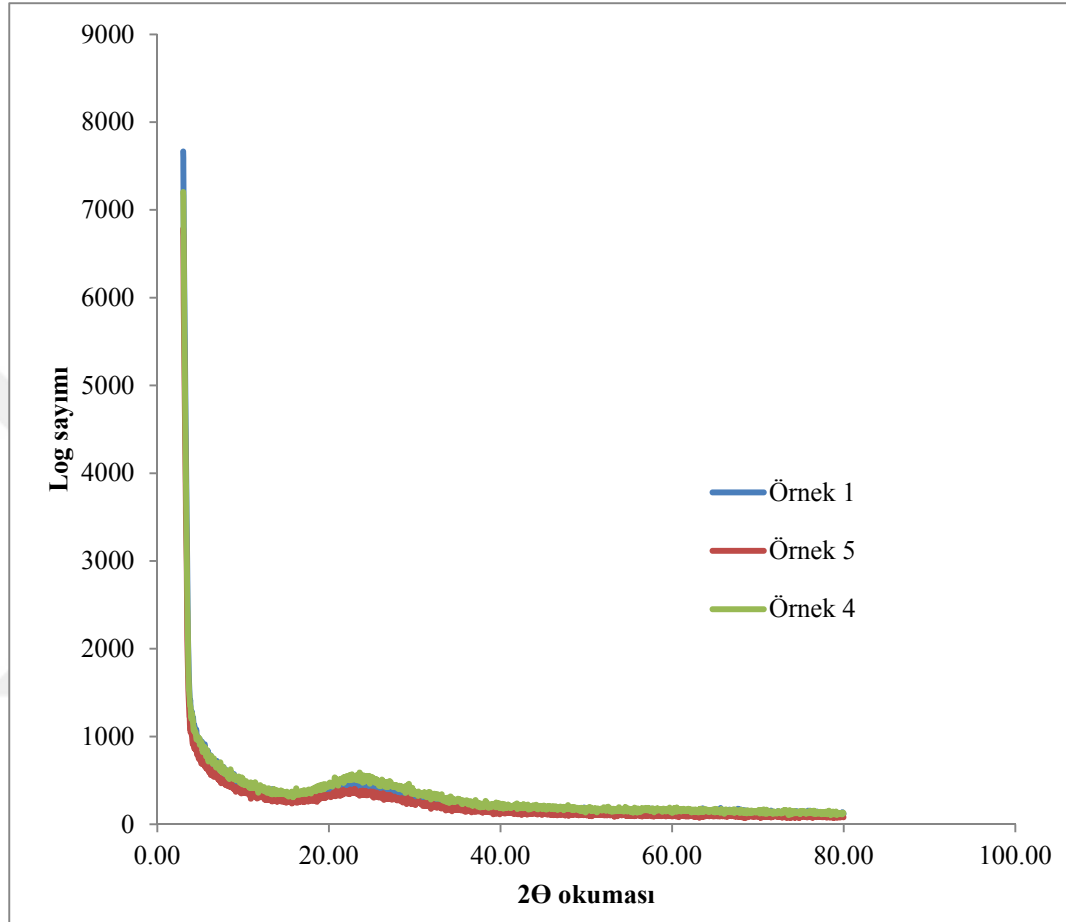
Element	Denim Yıkamada Kullanılmış Atık Ponza		Denim Yıkamada Kullanılmış ve Adsorpsiyonda Yer Almış Atık Ponza	
	Ağırlık Bazında Yüzde	Atom Bazında Yüzde	Ağırlık Bazında Yüzde	Atom Bazında Yüzde
C	3,56%	5,67%	10,54%	15,62%
O	56,39%	67,46%	55,54%	62,75%
Na	2,61%	2,17%	2,32%	1,83%
Al	5,68%	4,03%	5,17%	3,47%
Si	27,49%	18,78%	22,80%	14,71%
K	3,22%	1,53%	2,54%	1,19%
Fe	0,96%	0,33%	0,59%	0,19%
Mg	0,02%	0,01%	0,09%	0,06%
Mn	0,07%	0,02%	0,00%	0,00%
S	0,00%	0,00%	0,05%	0,03%
Cl	0,00%	0,00%	0,36%	0,15%

Veriler değerlendirildiğinde, ponzanın yapısında yüksek oranda silisyumoksit içeriği görülmektedir. Bu bileşik, ponzanın yapı taşıdır. Adsorpsiyon öncesi ve sonrası ponzaların içerdiği atomlar ve içerik yüzdeleri değerlendirildiğinde, adsorpsiyonda yer almış ponzaların karbon içeriğinin arttığı, ayrıca yapısında kükürt ve klor atomları izlendiği görülmektedir. Bu durum, ponzanın adsorpsiyon sırasında, atık suda yer alan karbon, kükürt ve klor içeren bazı kimyasalları yapısında tuttuğunu göstermektedir. Bu maddelerin başında, denim yıkama işlemlerinde sıkça kullanılan ve temelinde uzun karbon zincirleri yer alan yüzeyaktif maddeler gelmektedir. Ayrıca hipoklorit gibi klor içeren ağartıcı maddeler de ponza içinde tutulmuştur.

9.1.3.4 XRD analizi

Ponza taşının özelliklerinin belirlenmesi çalışmalarında, dördüncü aşama olarak”ham ponza”, “denim yıkamada kullanılmış atık ponza” ve “denim

yıkamada kullanılmış ve adsorpsiyonda yer almış atık ponzalara” İYTE’de XRD analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu, ham ponzanın, denim yıkamada kullanılmış atık ponzanın ve ardından adsorpsiyonda yer almış atık ponzanın morfolojik yapısına ait veriler elde edilmiştir. Çıkan sonuçlar grafik halinde Şekil 9.31’de yer almaktadır.



Şekil 9.31 Ham ponza, denim yıkamada kullanılmış atık ponza ve denim yıkamada kullanılmış ve adsorpsiyonda yer almış atık ponzalara uygulanan XRD analizi sonuçları

Grafikte yer alan örnek numaraları olarak, örnek 1 “ham ponzayı”, örnek 4 “denim yıkamada kullanılmış ve adsorpsiyonda yer almış atık ponzayı” ve örnek 5 ise “denim yıkamada kullanılmış atık ponzayı” ifade etmektedir. Grafik incelendiğinde, malzeme karakteristiğini belirten piklere rastlanmamaktadır. Tüm ponza numuneleri amorf yapıdadır. Denim yıkamada kullanım sonrası ya da adsorpsiyonda kullanım sonrası ponzaların amorf yapısında bir değişim görülmemektedir.

9.1.4 Geri kazanılan atık suyun denim yıkamada kullanılması

Adsorpsiyon uygulanan atık suyun 1:1 oranında temiz suyla karıştırılması sonucu elde edilen su, denim yıkamada geri kazanılacak şekilde tekrar yıkamada kullanılmıştır. Bunun için dört farklı yıkama tipi seçilmiş ve denim pantolonlar tamamen atık su ile yıkanmıştır. Karşılaştırma yapabilmek adına, geri kazanılmış su kullanarak uygulanan reçeteler, denim yıkama fabrikası temiz suyu için de uygulanmış ve pantolonlar hem temiz su hem de geri kazanılmış suyla yıkanmış olarak iki set halinde hazırlanmıştır. Uygulanan yıkama reçeteleri Çizelge 8.1’de yer almaktadır.

Hem geri kazanılan suyla hem de temiz su ile yıkanan denim pantolonlara, Bölüm 8.2.3.2’de belirtilen testler uygulanmış ve elde edilen veriler yorumlanarak, atık suyun denim yıkamada kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

9.1.4.1 Kimyasal arıtma çıkışı ponza adsorpsiyonuyla arıtılan suyun denim yıkamada tekrar kullanımı ve belirlenen testlerin yapılması

Kimyasal arıtma çıkışı adsorpsiyon uygulanmış atık su ve temiz su ile yıkanmış denim pantolonlara ait CIELab ölçüm değerleri Çizelge 9.18’de yer almaktadır.

Çizelge 9.18 Kimyasal arıtma çıkışı adsorpsiyon uygulanmış atık su ve temiz su ile yıkanmış denim pantolonlara ait CIELab ölçüm değerleri

ID	L*	a*	b*
Standart	25,52	1,21	-8,35
Atık Su - Rinse	22,45	0,61	-12,57
Temiz su - Rinse	20,19	1,07	-10,73
Atık Su - Taşlama	25,19	-0,46	-13,79
Temiz su - Taşlama	24,04	-0,19	-12,77
Atık Su - Tint	21,32	0,46	-10,82
Temiz su - Tint	19,42	0,96	-9,87
Atık Su - Ağartma	37,09	-2,48	-19,19
Temiz su- Ağartma	33,8	-1,57	-19,91

Ölçüm sonrası elde edilen L*, a* ve b* değerleri incelendiğinde, her iki tip suyla yıkanan denim pantolonların değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmektedir. Renk olarak birbirlerine yakın sonuçlar çıkmıştır. Gerek sayısal değerler gerekse gözle yapılan değerlendirme sonuçları incelendiğinde, dikkat çeken sonuç, atık suyla yıkanan pantolonların renginin, temiz suyla yıkananlara göre biraz daha açık çıkmış olmasıdır. Bunun nedeni, atık suda tam olarak giderilememiş bazı yüzey aktif maddeler ve oksidatif maddelerin etkisidir. Çizelge 9.4 ve Çizelge 9.12'deki değerler incelendiğinde, denim ağartma işlemlerinde kullanılan en temel oksidatif madde hipokloritin, adsorpsiyonla giderilme etkinliğinin düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar da, atık suyla yıkanmış pantolonların renginin daha açık olmasının, temel olarak, tam olarak giderilemeyen hipoklorit nedeniyle ortaya çıktığını desteklemektedir.

Kimyasal arıtma çıkışı adsorpsiyon uygulanmış atık su ve temiz su ile yıkanmış denim pantolonlara uygulanan fiziksel testlere ait değerler Çizelge 9.19'da yer almaktadır.

Çizelge 9.19 Kimyasal arıtma çıkışı adsorpsiyon uygulanmış atık su ve temiz su ile yıkanmış denim pantolonlara uygulanan fiziksel testlere ait değerler

	Yırtılma Dayanımı (grf)		Gerilme Dayanımı (kg)		Sürtme Hashğı		Elastikiyet (%)	Sararma	pH
	Çözüğü	Atkı	Çözüğü	Atkı	Kuru	Yaş			
Atık Su Rinse	6480	4533	89,74	36,66	4	2	30,67	4	9
Temiz Su Rinse	6371	4240	75,77	35,6	4	2	26,67	4	8,9
Atık Su Taşlama	4914	2653	82,98	37,31	4	2	29,33	4	9,2
Temiz Su Taşlama	5566	3457	71,66	32,91	4	2	29,33	4	9
Atık Su Tint	6240	4370	89,51	34,6	4	2	30,67	3/4	9,9
Temiz Su Tint	6284	4675	81,31	35,97	4	2	30	4	9,6
Atık Su Ağartma	6284	4283	79,35	34	4/5	3	28,67	3/4	6,8
Temiz Su Ağartma	6153	3783	83,16	36,09	4/5	2/3	30,67	3/4	7

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, atık su ve temiz su ile yıkanan pantolonların tüm fiziksel özelliklerine ait değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Sadece, taşlama işlemi, atık su ile yıkanan pantolona ait sararma değeri, gri sklala kullanılarak “5” üzerinden “3/4” çıkmış, temiz suyla yıkanan pantolonda ise “4” çıkmıştır. Yarım puanlık bir fark çok fazla farkın olduğuna işaret etmezken, bunun nedeni, atık suda yer alan bazı oksidatif ve yüzey aktif maddelerin sararmayı artırıcı etki yapmasından kaynaklıdır. Atık suyla yıkanan pantolonun renginin daha açık olmasına neden olan “hipokloritin adsorpsiyonla etkin giderilememesi” (bkz. Çizelge 9.4 ve Çizelge 9.12), bu deneyde atık suyla yıkanan pantolonun sararma değerinin yarım puan düşük çıkmasındaki baş etmendir.

9.1.4.2 Biyolojik arıtma çıkışı ponza adsorpsiyonuyla arıtılan suyun denim yıkamada tekrar kullanımı ve belirlenen testlerin yapılması

Biyolojik arıtma çıkışı adsorpsiyon uygulanmış atık su ve temiz su ile yıkanmış denim pantolonlara ait CIELab ölçüm değerleri Çizelge 9.20’de yer almaktadır.

Çizelge 9.20 Biyolojik arıtma çıkışı adsorpsiyon uygulanmış atık su ve temiz su ile yıkanmış denim pantolonlara ait CIELab ölçüm değerleri

ID	L*	a*	b*
Standart	25,52	1,21	-8,35
Atık su - Rinse	22,45	0,61	-12,57
Temiz su - Rinse	20,19	1,07	-10,73
Atık Su - Taşlama	25,19	-0,46	-13,79
Temiz su - Taşlama	26,89	-0,86	-14,15
Atık su - Tint	20,67	0,39	-8,9
Temiz su - Tint	23,55	-0,76	-10,77
Atık Su - Ağartma	36,85	-2,41	-19,4
Temiz su - Ağartma	40,15	-3,07	-19

Ölçüm sonrası elde edilen L*, a* ve b* değerlerine bakıldığında, her iki tip suyla yıkanan denim pantolonların değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmektedir. Renk olarak birbirlerine yakın değerler çıkmıştır. Göz ile değerlendirildiğinde de atık su ve temiz su ile yıkanan pantolonlar arasında keskin farklar görülmemiştir.

Biyolojik arıtma çıkışı adsorpsiyon uygulanmış atık su ve temiz su ile yıkanmış denim pantolonlara uygulanan fiziksel testlere ait değerler Çizelge 9.21'de yer almaktadır.

Çizelge 9.21 Biyolojik arıtma çıkışı adsorpsiyon uygulanmış atık su ve temiz su ile yıkanmış denim pantolonlara uygulanan fiziksel testlere ait değerler

	Yırtılma Dayanımı (grf)		Gerilme Dayanımı (kg)		Sürtme Haslığı		Elastikiyet (%)	Sararma	pH
	Çözgü	Atkı	Çözgü	Atkı	Kuru	Yaş			
Atık Su Rinse	6371	5023	85,86	38,6	4/5	2/3	32	3/4	8,3
Temiz Su Rinse	6414	4914	83,62	38,02	4/5	2/3	33,33	4	8,5
Atık Su Taşlama	5697	3914	86,65	35,56	4/5	2	31,33	4	8,8
Temiz Su Taşlama	5523	3870	74,8	37,45	4/5	2	32	4	8,7
Atık Su Tint	6306	4957	87,09	37,54	4/5	2	33,33	3/4	9,4
Temiz Su Tint	6306	5175	79,86	35,28	4/5	2/3	32,67	3/4	9,5
Atık Su Ağartma	6262	4784	86,89	37,82	4/5	3	32,67	3/4	7,5
Temiz Su Ağartma	6371	4925	91,88	35,72	4/5	3	29,33	3/4	6,9

Elde edilen sonuçlara incelendiğinde, atık su ve temiz su ile yıkanan pantolonların tüm fiziksel özelliklerine ait değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Rinse reçetesinde atık su ile yıkanan pantolona ait sararma değeri, gri sklala kullanılarak 5 üzerinden 3/4 çıkmış, temiz suyla yıkanan pantolonda ise 4 çıkmıştır. Tint reçetesinde ise atık su ile yıkanan pantolona ait yaş sürtme haslığı değeri, mavi sklala kullanılarak 5 üzerinden 2 çıkmış, temiz suyla yıkanan pantolonda ise 2/3 çıkmıştır. Yarım puanlık düşüş, kabul edilebilir bir fark iken, bunun nedeni, atık suda yer alan bazı oksidatif ve yüzey aktif maddelerin sararmayı artırıcı ve sürtme haslığını düşürücü etki yapmasından kaynaklıdır. Atık suyla yıkanan pantolonun renginin daha açık olmasına neden olan “hipokloritin adsorpsiyonla etkin giderilememesi” (bkz. Çizelge 9.4 ve Çizelge 9.12), bu deneyde atık suyla yıkanan pantolonun sararma değerinin yarım puan düşük çıkmasının en önemli nedenidir.

Yapılan tüm deney ve çalışmalar ışığında, ponza taşının denim yıkama atık suyunu adsorpsiyon yoluyla net bir şekilde temizlediği ve arıtılan suyun %50 seyreltilerek denim yıkamada tekrar geri kullanılabilceği görülmektedir.

10. SONUÇ

Çalışma planına göre uygulanan denemeler sonucunda, denim yıkamada kullanılmış atık ponza taşının, denim yıkama atık suyunu arıtmada, adsorbent olarak kullanımına yönelik veriler elde edilmiş; bunun yanında, atık ponza adsorpsiyonu uygulanmış atık suyun, belirli oranda temiz su ile seyreltilerek denim yıkama işlemlerinde tekrar kullanımına yönelik çalışmalar yapıp veriler toplanmış ve tüm bu verilerin hem etkin arıtma hem de atık suyun denim yıkamada tekrar kullanılabilirliği için yeterlilikleri değerlendirilmiştir.

Atık ponzaya ait yapılan malzeme analizlerinde, atık ponzanın SEM görüntüleri incelenmiş ve adsorpsiyon öncesi ve sonrası fotoğrafları incelenerek, hem yüzeyde hem de gözeneklerinin iç kısmında, denim yıkama atık suyundan gelen atık kimyasalları adsorbe ettiği gözlemlenmiştir. Yapılan BET analizleri sonucunda, elde edilen BET izoterm grafikleri yorumlanmış ve atık ponzanın hem tekli hem de çoklu tabaka adsorpsiyon yaptığı, yapısının, uzun kanallar şeklinde ve gözenekli katmanlardan oluştuğu ve belirli bir adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Atık ponza ile yapılan adsorpsiyon sonrası atık suyun değerleri analiz edildiğinde, adsorpsiyonun etkisiyle, atık sudaki zehirlilik ve atık kimyasalların ve atık suyun renginin belirli oranlarda uzaklaştırıldığı belirlenmiştir.

Arıtılmış atık suyun 1:1 oranında sulandırılmasıyla beraber, geri kazanılan suyla yıkanan pantolonların temel fiziksel özellikleri incelenmiş ve çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde, hem temiz hem de atık su ile yıkanan pantolonların fiziksel özelliklerine ait değerlerin birbirine yakın olduğu, bazı durumlarda, atık suyla yıkanan pantolonların yırtılma dayanımlarının sınırlı oranda düşük olduğu görülmüştür. Renk değerleri incelendiğinde ise, atık suyla yıkanan pantolonların daha yeşil tonda olduğu ancak daha parlak/açık renk verdikleri gözlemlenmiştir.

Adsorpsiyon uygulanmış atık suya uygulanan su analizleri sonucu elde edilen değerler, arıtma sonu çevreye deşarj edilme açısından ve denim yıkamada tekrar kullanım açısından iki aşamalı olarak incelenmelidir. Deşarj açısından değerlendirildiğinde, atık suyun, Bakanlığın yönetmelikle belirlediği deşarj değerlerine uygun değerlere sahip olması gerekmektedir (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2014). Denim yıkamada tekrar kullanım açısından değerlendirildiğinde ise, atık suyun sahip olması gereken değerlere ait ortak bir

kriter yoktur. Kılavuz olması açısından, büyük ölçekli deneylerin yapıldığı denim yıkama fabrikasının Meksika Kolu'nda yer alan bir diğer denim yıkama fabrikasının hazırlamış olduğu kriterler kullanılabilir. Karşılaştırma amaçlı hazırlanan ve Bakanlığa ait değerler ve denim yıkama fabrikasının belirlemiş olduğu değerler Çizelge 10.1'dedir.

Çizelge 10.1 T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın denim yıkama atık suları için belirlemiş olduğu sınırlar, denim yıkama fabrikasının geri kazanım için belirlemiş olduğu sınırlar ve adsorpsiyon uygulanmış atık suya ait değerler

Analizi Yapılan Parametreler	Yönetmelik Değeri	Örnek Alınan Denim Yıkama Fabrikasının Belirlediği Sınırlar Değerler	Deneysel Aşamada Bulunan Değerler	
			Kimyasal Arıtma Çıkışı Adsorpsiyon Uygulanan ve Temiz Suyla Seyreltilen Atık Su	Biyolojik Arıtma Çıkışı Adsorpsiyon Uygulanan ve Temiz Suyla Seyreltilen Atık Su
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	250 mg/l	200 mg/l	16 mg/l	<6,07 mg/l
Askıda katı madde (AKM)	160 mg/l	10 mg/l	7 mg/l	7 mg/l
Amonyum azotu	5 mg/l	-	3,15 mg/l	<0,24 mg/l
Sülfür	0,1 mg/l	-	<0,79 mg/l	<0,79 mg/l
Sülfid	1 mg/l	-	<1,45 mg/l	<1,45 mg/l
Yağ ve gres	10 mg/l	-	<4 mg/l	<4 mg/l
Toplam Krom	2 mg/l	-	-	<0,005 mg/l
pH	6-9	6-8	8,46	7,56
Renk	280 Pt-Co	15 TCU	27,1 Pt-Co	3,22 Pt-Co
Serbest Klor	0,3 mg/l	0,25 mg/l	-	<0,04 mg/l
Toplam Sertlik	-	50 mg/l	-	32 mg/l
Bulanıklık	-	3 NTU	2,59 NTU	0,59 NTU
Toplam Çözünmüş Katı Madde	-	1000 mg/l	1264 mg/l	830 mg/l
Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ)	-	50 mg/l	10 mg/l	< 4 mg/l

Tüm değerler incelendiğinde, biyolojik arıtma çıkışı adsorpsiyon uygulanan ve temiz suyla seyreltilen atık suya ait değerlerin, hem Bakanlığın belirlediği değerlerin hem de denim yıkamada geri kazanım için, denim yıkama fabrikasının kendi bünyesinde belirlediği değerlerin altında olduğu görülmektedir. Bu durum, atık ponza taşıyla adsorpsiyon uygulanan atık suyun hem çevreye güvenle deşarj edilebileceği, hem de denim yıkamada tekrar kullanılabilceğini göstermektedir. Nitekim, geri kazanım açısından, atık suyla yıkanan denim pantolonlara ait ölçülen fiziksel değerler de, temiz suyla yıkananlara paralel çıkmıştır. Bu durum, atık ponza ile adsorpsiyon uygulanmış atık suyun, denim yıkamada tekrar kullanılabilceğini gösterir bir durumdur.

Sonuç olarak, denim yıkamada kullanılmış atık ponza taşıyla yapılan çalışmalardan elde edilen veriler, atık ponza taşının, denim yıkama atık suyunun adsorpsiyon yöntemiyle arıtılması işleminde adsorbent olarak kullanılmasının mümkün olduğunu göstermiştir. Atık ponzanın, yapılan tüm adsorpsiyon çalışmaları sonucu elde edilen verileriyle, adsorpsiyon uygulanmış atık suyun, denim yıkamada geri kullanılmasıyla elde edilen verileri beraber değerlendirildiğinde; atık ponzanın, denim yıkama atık suyunun kolonla adsorpsiyonu yönteminde adsorbent olarak kullanılması uygundur. Ayrıca arıtılmış atık suyun 1:1 oranında temiz su ile sulandırılarak, denim yıkama işlemlerinde tekrar kullanımı da, yapılan testler ve analizlerden elde edilen değerler doğrultusunda mümkündür.

Bu bilgiler ışığında, uygulanan sistemin, kullanılmakta olan arıtma sistemine adaptasyonu ile mevcut tesisin arıtma yükü azalacaktır. Konvansiyonel arıtmada kullanılan demir sülfat ve kireç gibi yardımcı malzemelerin kullanım miktarı ve dolayısıyla toplam maliyetleri azalacak ve biyolojik arıtmada da KOİ ve BOİ değerlerinin azalması nedeniyle iyileştirme sağlanacaktır. Bu noktada, etkin adsorpsiyon sağlamak için, “sistemin kurulacağı yer” önemlidir. Elde edilen analiz değerleri incelendiğinde, kimyasal arıtma çıkışı yapılan adsorpsiyon deneyine ait atık su değerlerinin, biyolojik arıtmaya göre daha düşük olduğu görülmektedir. Buna neden olarak, kimyasal arıtmaya gelen atık su yükünün daha ağır olması gösterilebilir. Ayrıca, kimyasal arıtma çıkışında uygulanan “elle (manual) hazırlanmış biyolojik arıtmanın verimliliği de diğer bir etmendir. Sistemin biyolojik arıtma çıkışına kurulması daha avantajlı görülmektedir. Bu durum, hem sistemin kolay kurulabilmesi, hem de arıtma etkinliğinin yüksek olması açısından daha avantajlı olacaktır. Bu iyileştirmelere karşın, suyun kolona beslenmesi ile gereken ek pompalama, kolon ve sistem kurulumu için boru vb.

sistem aletlerinin döşenmesi ve kolonun belirli zamanlarda boşaltılıp yeni doldurulması için gereken işçilik, sistem adına ek maliyetler yaratacaktır. Ancak bu durum, su tüketimine harcanacak bedelin geri ödemesinin belirli bir zamanda karşılanmasını sağlayacaktır.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Arceivala, S. J.**, 2002, Çevre Kirliliği Kontrolünde Atık Su Arıtımı, Tata McGraw – Hill Publishing company limited.
- Akbal, F.**, 2005, Adsorption of basic dyes from aqueous solution onto pumice powder, *Journal Of Colloid And Interface Science*, 286:455-458 pp.
- Bağırın, İ. C.**, 2011, Denim Yıkamada Karşılaşılan Sorunlar ve Bunlara Yönelik Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniv. Fen Bil. Ens., 333 sayfa
- Başbuğ, M.**, 2008, Bentonit ve ponza ile sulu çözeltilerden ve tekstil atık suyundan adsorpsiyonun incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniv. Fen Bil. Ens, 87s.
- Campos R., Paulo C.A., Andreaus J. And Gübitz G.**, 2000, “Indigo-Cellulase Interactions”, *Textile Res. J.* 70(6), 532-536p.
- Curt, K.**, Biyolojik Arıtma, <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10093.pdf>, (Erişim Tarihi: 18 Nisan 2017)
- Çoban, S.**, 1999, Genel Tekstil Terbiyesi ve Bitim İşlemleri, Ege Üniv. Basımevi, İzmir, 314s.
- Duong, D. D.**, 1998, Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics, Imperial College Press.
- Dystar**, 2008, Laundry Guide Booklet.
- Dystar**, 2011, Temel Yıkama Prensipleri Sunumu, Çorlu.
- Eckenfelder, W.W. , Jr.**, 1989, Industrial Water Pollution Control, Second Edition, McGraw-Hill International Editions.
- Eltem, R.**, 2008, Atık Sular ve Arıtım, Ege Üniv. Fen Fakültesi Yayınları No: 172, İzmir, 188 s.
- Gönder, Z. B.**, 2004, Fenton Prosesi ve İyon Değişimi Kombinasyonu ile Renkli Atıksuların Arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniv. Fen Bil. Ens., 97 sayfa
- Gündüz, L., Rota, A. ve Hüseyin A.**, 2001, Türkiye ve dünyadaki ponza oluşumlarının malzeme karakteristiği analizi, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir
- Intertek**, “Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX)”, (Erişim tarihi: 18 Ocak 2017)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Karadag, D., Koç, Y., Turan, M. and Armagan, B.,** 2006, Removal of Ammonium ion from aqueous solution using natural Turkish clinoptilolite, *J. Hazard. Materials*, **136(3)**, 604-609
- Körlü, A.E., Yapar, S., Perinçek, S., Yılmaz, H., Bağır, C.,** 2015, Dye removal from textile waste water through the adsorption by pumice used in stone washing, *AUTEX Research Journal*, DOI: 10.1515/aut-2015-0012
- Küçükgül, E. Y.,** 2004, Ticari aktif karbon üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 6 Sayı 3 Sf 41-56
- Metcalf & Eddy,** 2003, Waste water Engineering, Treatment and Reuse, Fourth Edition, McGraw Hill, Inc.
- Özkan, Ş. G ve Tuncer G.,** 2001, Ponza madenciliğine genel bir bakış, 4. Endüstriyel Hammadlere Sempozyumu, İzmir
- Özkaya, İ. Ç.,** Endüstriyel Atık Su Yönetimi ve Endüstriyel Atık Su Arıtımı, https://xzenon34.files.wordpress.com/2012/03/6-cakmakci_ipek_ozkaya_ders_notu.pdf, Ders Notları, (Erişim Tarihi: 9 Nisan 2017)
- Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U.,** Atık Su Arıtımının Esasları, http://www.hasanege.com/download/hasanege_atiksuaritimesaslari.pdf, (Erişim Tarihi: 8 Nisan 2017)
- Rouquerol, F., Rouquerol, J., Sing K.,** 1999, Adsorption by Powders and Propous Solids, Academic Press.
- Sapçı, Z., Üstün, B.,** 2003, The removal of color and COD from textile wastewater by using pumice stones, *Electronic Journal of Enviromental, Agricultural and Food Chemistry*, 2:286-290 pp.
- Sefer, O.,** 2009, Çevre Dostu Organik Denim Terbiyesinin Klasik Denim Terbiyesiyle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, 200s.
- T.C. Başbakanlık Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği,** 2014
- Trakya Çevre,** “Atıksuların Arıtılması”, <http://www.trakyacevre.com/aritma-dosyasi.pdf>, (Erişim tarihi: 2 Mart 2017)
- Unlu, M., Yukseler, H., Yetis, U.,** 2008, Indigo dyeing wastewater reclamation by membrane-based filtration and coagulation processes, *Elsevier, Desalination* 240 (2009) 178-185,

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Veliev, E. V., Öztürk, T., Veli, S., Fatullayev, A. G., 2005, Application of diffusion model for adsorption of azo reactive dye on pumice, *Polish J. Environ. Stud.*, Vol. 15 (2):347-353 pp.

VF Ege Giyim San ve Tic. Ltd. Şti, 2008, Denim Yıkama Oryantasyon Sunumu, Söke/Aydın

Walker, G.M. and Weatherley, L.R., 2000. Textile wastewater treatment using granular activated carbon adsorption in fixed beds, *Separation Science and Technology*, 35(9), 1329-1341

Weber, Jr., W.J., 1972, *Physicochemical processes for water water quality control*, John Wiley & Sons, USA

Yerli, S. V., 2011, Su kalitesi Ders Notları, Hacettepe Üniv., Ankara

ÖZGEÇMİŞ

29.10.1983 tarihinde Edirne’de dünyaya gelen İsmail Cem BAĞIRAN ilköğretim ve lise öğrenimini Kırklareli’de tamamladıktan sonra 2001 yılında Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü’nde yüksek öğrenimine başlamıştır. 2006 yılında Tekstil Kimyası ve Terbiyesi opsiyonundan “Tekstil Mühendisi” unvanıyla mezun olan BAĞIRAN, aynı yıl Çorlu/TEKİRDAĞ’ da Nuryıldız Tekstil San. ve Tic. A.Ş.’de “Pad-Batch Boyama Sorumlu Mühendisi” olarak göreve başlamıştır. 2007 yılı itibariyle VF Ege Giyim San. ve Tic. A.Ş.’de “Denim Yıkama Mühendisi” olarak çalışmaya başlamıştır. Hala aynı firmada “Denim Yıkama Üretim Öncesi Şefi ve Fabrika Sürdürülebilirlik Koordinatörü” olarak çalışmaya devam etmektedir.





