

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**PONZA TAŞI ATIKLARININ HAREKETLİ YATAKLI BİYOLOJİK ARITMA
SİSTEMLERİNDE TAŞIYICI MALZEME OLARAK KULLANIMININ
ARITMA PERFORMANSI VE RENK GİDERİMİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berrak TORUSDAĞ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

ŞUBAT 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**PONZA TAŞI ATIKLARININ HAREKETLİ YATAKLI BİYOLOJİK ARITMA
SİSTEMLERİNDE TAŞIYICI MALZEME OLARAK KULLANIMININ
ARITMA PERFORMANSI VE RENK GİDERİMİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Berrak TORUSDAĞ
(501181708)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Seval SÖZEN

ŞUBAT 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 50118108 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Berrak TORUSDAĞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “PONZA TAŞI ATIKLARININ HAREKETLİ YATAKLI BİYOLOJİK ARITMA SİSTEMLERİNDE TAŞIYICI MALZEME OLARAK KULLANIMININ ARITMA PERFORMANSI VE RENK GİDERİMİNE ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Seval SÖZEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Neşe TÜFEKÇİ**
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Gülsüm Emel ZENGİN BALCI
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 30 Aralık 2022
Savunma Tarihi : 07 Şubat 2023





Aileme,



ÖNSÖZ

Deneyimleriyle ve yönlendirmeleriyle ufku genişletmeme ve mesleğe farklı açıdan bakmama katkı sağlayan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Seval Sözen'e,

Teorik bilgileri laboratuvar ortamında uygulama konusunda yardım ve desteğini esirgemeyen, bölümümüz Araştırma Görevlisi Sn. Gökşin Özyıldız'a ve yüksek lisans bölüm arkadaşım Elif Tunç'a,

Tüm çalışmalarım ve tez yazım süresince her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Aralık 2022

Berrak Torusdağ
(Çevre Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNE GENEL BAKIŞ.....	3
2.1 Tekstil Endüstrisinde Atıksular	4
2.2 Denim Endüstrisi	6
2.3 Denim Endüstrisi Üretim Prosesleri	7
3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARI ARITMA TEKNOLOJİLERİ	11
3.1 Fiziksel Yöntemler	11
3.1.1 Adsorpsiyon	11
3.1.2 İyon değişimi.....	12
3.1.3 Membran filtrasyonu.....	12
3.2 Kimyasal Yöntemler	13
3.2.1 Oksidasyon.....	13
3.2.2 Ozon	13
3.2.3 Elektrokimyasal yöntem	14
3.2.4 Kimyasal flokleştirme ve çöktürme yöntemi	15
3.3 Biyolojik Yöntemler.....	15
3.4 Hareketli Yataklı Biyofilm Sistemleri (HYBR).....	17
3.5 Ponza Taşı	18
4. İNCELENEN DENİM ENDÜSTRİSİNİN TANITIMI.....	21
4.1 Rinse Yıkama Prosesi.....	21
4.2 Ağartma Prosesi	22
4.3 Havlu (Random) Yıkama Prosesi.....	23
4.4 Lokal Yıkama Prosesi	24
4.5 Tint Prosesi.....	25
4.6 Koyu Taş Yıkama Prosesi	26
4.7 Taş Yıkama – Hypo Ağartma Prosesi	27
5. GEREÇ VE YÖNTEM.....	29
5.1 Gereç	29
5.1.1 Deneyisel tasarım	29
5.1.2 Atıksu karakterizasyonu.....	30
5.2 Yöntem	31
5.2.1 En uygun ponza taşı doluluk oranının belirlenmesi.....	31

5.2.2 Askıda çoğalan reaktörlerin (kontrol) kurulması ve işletilmesi	33
5.2.3 Ponza taşı kullanılan reaktörlerin işletilmesi	35
5.2.4 Adsorpsiyon ile renk giderimi deneyleri	39
5.2.5 Adsorpsiyon ile renk giderimi kolon deneyi	41
6. SONUÇLAR	43
6.1 En Uygun Ponza Taşı Boyut ve Doluluk Oranının Belirlenmesi Sonuçları	43
6.2 Askıda Çoğalan Reaktörler (kontrol)	43
6.3 Ponza Taşı Kullanılan Reaktörler	45
6.4 Adsorpsiyon ile Renk Giderimi Deney Sonuçları	48
6.5 İzoterm Çalışmaları	50
6.6 Adsorpsiyon ile Renk Giderimi Kolon Deneyi Sonuçları	55
7. DEĞERLENDİRME	57
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	65



KISALTMALAR

AKM	: Askıda Katı Madde
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
ÇOK	: Çözünmüş Organik Karbon
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TDS	: Toplam Çözünmüş Katı Maddeler
TKN	: Toplam Kjeldahl Azotu
TOK	: Toplam Organik Karbon
UAKM	: Uçucu Askıda Katı Madde



SEMBOLLER

q	: Dengede birim adsorplayıcı ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı
C_o	: Başlangıçta çözünen derişimi
C_e	: Dengede adsorplanmadan çözültide kalan çözünen derişimi
K_f	: Adsorpsiyon kapasitesi
n	: Adsorpsiyon şiddeti
K	: Adsorpsiyon net entalpisi ile ilgili bir sabit



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Tekstil endüstrisinin farklı proseslerine ait atıksuların karakterizasyonu [10].	5
Çizelge 4.1 : Rinse yıkama prosesi kirletici konsantrasyonları	21
Çizelge 4.2 : Ağartma prosesi kirletici konsantrasyonları	22
Çizelge 4.3 : Havlu yıkama prosesi kirletici konsantrasyonları	23
Çizelge 4.4 : Lokal yıkama prosesi kirletici konsantrasyonları	24
Çizelge 4.5 : Tint prosesi kirletici konsantrasyonları	25
Çizelge 4.6 : Koyu taş yıkama prosesi kirletici konsantrasyonları	26
Çizelge 4.7 : Taş yıkama – hypo ağartma prosesi kirletici konsantrasyonları	27
Çizelge 5.1 : Denim atıksuyu karakterizasyonu	31
Çizelge 5.2 : Ponza taşı boyutları ve doluluk oranları	32
Çizelge 5.3 : Stok sentetik çözelti içeriği	34
Çizelge 5.4 : Solüsyon A'nın içeriği	34
Çizelge 5.5 : Solüsyon B'nin içeriği	34
Çizelge 5.6 : Adsorpsiyon deney setleri ve giriş koşulları	40
Çizelge 5.7 : Adsorpsiyon kolonu deneyi giriş koşulları	42
Çizelge 6.1 : Deney süresince TOK ve ÇOK ölçümleri	50
Çizelge 6.2 : İzoterm sınamaları (Pt-Co)	51
Çizelge 6.3 : İzoterm sınamaları (436 nm)	52
Çizelge 6.4 : İzoterm sınamaları (525 nm)	52
Çizelge 6.5 : İzoterm sınamaları (620 nm)	52



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tekstil endüstrisinin farklı basamaklarında ana kirletici bileşenleri [11].	6
Şekil 2.2 : Denim kumaşı üretimi iş akım şeması [15].	8
Şekil 3.1 : Ponza taşı görünümü.	19
Şekil 4.1 : Rinse yıkama prosesi akım şeması.	22
Şekil 5.1 : Farklı boyut aralıklarındaki ponza taşları ile kurulmuş kesikli deney düzenekleri.	32
Şekil 5.2 : Hazırlanan çözeltiler.	33
Şekil 5.3 : Reaktör düzenekleri.	35
Şekil 5.4 : Ponza taşlı reaktör düzeneği.	36
Şekil 5.5 : Kontrol reaktörü düzeneği.	37
Şekil 5.6 : Denim atıksuyu ile beslenen reaktörler.	37
Şekil 5.7 : AKM ölçüm sistemi.	38
Şekil 5.8 : KOİ ölçüm sistemi.	39
Şekil 5.9 : Adsorpsiyon ile renk giderimi deney düzeneği.	40
Şekil 6.1 : Aklımasyon reaktöründeki UAKM konsantrasyonu değişimi.	44
Şekil 6.2 : Aklımasyon reaktöründeki KOİ konsantrasyonu değişimi.	44
Şekil 6.3 : Kontrol reaktöründe AKM ve UAKM konsantrasyonları (mg/L).	45
Şekil 6.4 : Kontrol reaktörünün üst fazındaki AKM ve UAKM konsantrasyonları (mg/L).	46
Şekil 6.5 : 4L reaktördeki AKM ve UAKM konsantrasyonları (mg/L).	46
Şekil 6.6 : 4L reaktörün üst fazındaki AKM ve UAKM konsantrasyonları (mg/L).	47
Şekil 6.7 : Reaktörlerin çıkış KOİ konsantrasyonları (mg/L).	47
Şekil 6.8 : Pt-Co biriminde deney süresince renk giderimi (%20-%30-%40 doluluk oranı).	48
Şekil 6.9 : 436 nm’de deney süresince renk giderimi (%20-%30-%40 doluluk oranı).	49
Şekil 6.11 : 620 nm’de deney süresince renk giderimi (%20-%30-%40 doluluk oranı).	49
Şekil 6.12 : Pt-Co biriminde Freundlich izoterm çalışmaları.	53
Şekil 6.13 : 436 nm absorbans değerlerinde Freundlich izoterm çalışmaları.	53
Şekil 6.14 : 525 nm absorbans değerlerinde Freundlich izoterm çalışmaları.	53
Şekil 6.15 : 620 nm absorbans değerlerinde Freundlich izoterm çalışmaları.	54
Şekil 6.16 : Pt-Co biriminde Langmuir izoterm çalışmaları.	54
Şekil 6.17 : 436 nm absorbans değerlerinde Langmuir izoterm çalışmaları.	54
Şekil 6.18 : 525 nm absorbans değerlerinde Langmuir izoterm çalışmaları.	55
Şekil 6.19 : 620 nm absorbans değerlerinde Langmuir izoterm çalışmaları.	55
Şekil 6.20 : %40 Doluluk oranında Pt-Co, 436 nm, 525 nm, 620 nm’de renk giderimi.	56



PONZA TAŞI ATIKLARININ HAREKETLİ YATAKLI BİYOLOJİK ARITMA SİSTEMLERİNDE TAŞIYICI MALZEME OLARAK KULLANIMININ ARITMA PERFORMANSI VE RENK GİDERİMİNE ETKİSİ

ÖZET

Denim kumaşı, kot üretiminde kullanılan pamuklu bir kumaştır. Denim işleme tesislerinde üretim sonucu oluşan atıksular içeriğinde çok yüksek miktarda organik madde kirliliği ve renk bulundurmaktadır. Bu nedenle bu atıksuların arıtımında organik madde giderimine ilave olarak renk giderimine yönelik de ek yatırımlar yapılması gerekmektedir.

Ponza taşı ise denim işleme tesislerinde büyük miktarlarda kullanılan bir üretim malzemesidir. Kullanılan ponza taşının sadece küçük bir kısmı geri kazanılarak tekrar kullanılmakta, geri kalan bölümü de işlevini kaybettiği düşünüldüğü için biriktirilmektedir ve uzaklaştırılması yüksek maliyet gerektirir.

Hareketli yataklı biyolojik arıtma sistemleri, biyofilm sistemleri ve aktif çamur sistemlerinin eş zamanlı uygulanıp faydalarının birleştirildiği bir hibrid prosestir. Bu arıtma sistemlerinde, reaktörde serbest bir şekilde hareket eden ve üretim maddesi polietilen olan farklı tiplerde bulunan “biyofilm taşıyıcı yatak malzemeleri” kullanılmaktadır. Bu taşıyıcılar sayesinde reaktörde olması gerekenden daha çok biyokütle tutulup, daha sabit ve yüksek verimli arıtma gerçekleşebilmektedir. Hareketli yataklı biyolojik arıtma sistemleri, geleneksel aktif çamur tipi biyolojik arıtma sistemlerine göre, çok önemli oranda reaktör hacmi ve enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Bu çalışmada, hareketli yataklı biyolojik arıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan sentetik taşıyıcı malzemeler yerine gözenekli yapısından kaynaklı yüksek poroziteye sahip olan ponza taşı taşıyıcı malzeme olarak kullanılmıştır.

Çalışmada temel olarak ponza taşının iki farklı işlev altında kullanılabilirliği ve atık malzemenin katma değeri olan bir malzemeye dönüştürülebilmesi araştırılmıştır. Atık olarak uzaklaştırılan ponza taşlarının yeniden kullanımının işlevli olabileceği nedeniyle taşıyıcı malzeme (carrier) olarak kullanımının arıtma ayak izini küçültmesi buna ek olarak adsorban olarak kullanılabilmesi ile organik maddenin giderim performansı ile birlikte renk giderim performansı da incelenmiştir.

4-6,35 mm, 6,35-8 mm ve 10-14 mm boyut aralığında kullanılan ponza taşlarının KOİ giderim performansı açısından en uygun aralığı araştırılmış ve 10-14 mm boyutundaki ponza taşlarının taşıyıcı malzeme olarak kullanılmasının daha verimli olduğuna karar verilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmada ponza taşının taşıyıcı olarak kullanıldığı durumda, taşıyıcı kullanılmayan askıda sistemin KOİ giderimine ilave olarak, yaklaşık 60 mg/L daha fazla giderim olduğu görülmüştür. Bu ilave giderimin reaktördeki taşıyıcı ponza taşı üzerinde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Ponza taşı ilave edilen reaktörde gözlenen

ilave KOİ giderimi aslında bu sistemlerin hedeflenen KOİ giderimini daha küçük hacimlerde gerçekleştirilebileceğinin de bir göstergesidir.

Çalışmada aynı zamanda ponza taşının adsorban olarak kullanılması ile üç farklı dalga boyunda (436 nm, 525 nm, 620 nm) ve Pt-Co renk biriminde normalize edildiğinde %20, %30 ve %40 doluluk oranlarında renk giderimi sağlandığı da gözlemlenmiştir.



TREATMENT AND COLOR REMOVAL PERFORMANCE OF PUMICE STONE WASTE AS A CARRIER MATERIAL IN MOVING BED BIOLOGICAL TREATMENT SYSTEMS

SUMMARY

Denim fabric produced in the denim industry is a cotton fabric used in the production of jeans. The denim industry is one of the industries with the highest water consumption and the wastewater from the production contains a high amount of pollutant parameters as a characteristic. Denim processing plant wastewater contains high amounts of organic matter pollution as well as color due to "bluejean" production. The removal of color and COD from the wastewater of this industry has gained intensity with the studies carried out especially on the dyes used or the recipes prepared. For denim wastewater, additional investments are required for color removal in addition to organic matter removal.

Pumice stone is a common production material in denim manufacturing plants. Each product uses approximately 0.8-1.0 kg of pumice stone, and only 30-35% of the pumice stone used is recovered, with the remaining 65-70% disposed of in wastewater. Pumice stones are generally considered to have served their purpose after being used in denim production and are discarded. The removal of pumice stones that accumulate after wastewater separation is expensive.

Moving bed biological treatment systems are an example of a hybrid process that combines the benefits of activated sludge and biofilm systems. Various types of "biofilm carrier bed materials," usually made of polyethylene, are used in these treatment systems and can move freely within the reactor. More biomass can be retained in the reactor using these carriers, resulting in more stable and higher treatment efficiencies. When compared to conventional activated sludge biological treatment systems, moving bed biological treatment systems provide significant reactor volume (treatment footprint) and energy savings. For a long time, "moving bed biological treatment systems" supported by synthetic (plastic) particles have been used in practice. Pumice stone has similar properties to commercial carriers due to its porous structure and high porosity. Despite this similarity, there are not many studies using pumice stone as a carrier.

Characterization of denim process wastewater, biological treatability and modeling in suspended systems, chemical treatability and separation of these wastewaters by membrane processes are available in the literature. However, the aim of this experimental study is to utilize pumice stone in moving bed biofilm systems both as a carrier material and as an adsorbent under two different functions and to transform the waste material into a material with added value.

The use of pumice stone as a carrier in biological systems and as an adsorbent in color removal were investigated in this context. The use of pumice stone as a carrier in biological systems aims to investigate the optimum conditions for biofilm formation on pumice stone, as well as the optimization of organic matter and color removal,

whereas its use as an adsorbent material aims to remove pumice stone directly without the formation of biofilms.

In this study, pumice stone with high porosity was used instead of synthetic carrier materials commonly used in moving bed biological treatment systems. Only a small portion of the pumice stone used is recovered and reused, the rest is disposed of by mixing with wastewater. Pumice separated from wastewater is usually accumulated in the plant and its removal requires high costs.

The usability of pumice stone for two different functions, as well as the roadmap for transforming waste material into a material with added value, were investigated in this study. The use of waste pumice stones as carrier material reduces the treatment footprint by working with higher loading rates than traditional activated sludge systems, and the removal of color and organic matter is also investigated because the carrier material can function as an adsorbent.

In the denim industry, which is the subject of this study, many processes such as garment, dry processes, wet processes, chemical processes, finishing, quality control are applied within the scope of production. In the facility under investigation, the processes that are mainly worked during the experimental process are rinse washing, bleaching, towel (random) washing, local, tint, dark stone washing and stone washing-hypo bleaching processes.

The wastewater samples taken from the inlet of the facility, which was determined as a preliminary study, were measured in the laboratory according to standard methods for SS, VSS, COD and color and wastewater characterization was determined. The purpose of the preliminary study is to have information about the wastewater characterization of the plant. Then, the pumice stones taken from the denim production facility were categorized into 4-6.35 mm, 6.35-8 mm, 8-10 mm, 10-14 mm, 14-16 mm, 16-19 mm, 19-22 mm diameters. The most suitable range of pumice stones used in the size range of 4-6.35 mm, 6.35-8 mm and 10-14 mm in terms of COD removal was investigated and it was decided that it is more efficient to use pumice stones of 10-14 mm size as carrier material with the preliminary experiments.

In the experimental studies, a main reactor (Reactor 1) with a volume of 4 L, with a filling rate of 30% and using pumice stones with a diameter of 10-14 mm, and a control reactor (Reactor 2) with a volume of 2 L, which is operated only as a suspended system without pumice stones, were established in parallel with this reactor. The reactors were fed first with peptone mixture and stock solutions and then with characterized wastewater from the denim industry inlet. It was observed that when pumice stone was used as a carrier, in addition to the COD removal of the suspended system without carrier, approximately 60 mg/L more COD was removed. It is understood that this additional removal is realized on the carrier pumice stone in the reactor. The additional COD removal observed in the pumice stone added reactor is actually an indication that these systems will achieve the targeted COD removal in smaller volumes.

Adsorption experiments were carried out for color removal performance, which is another stage of the experimental study. In order to determine the dyestuff removal efficiency, the studies were carried out in the mixer at 150 RPM and $22 \pm 1^\circ\text{C}$ constant temperature at predetermined 20%, 30%, 40% filling ratios and the color parameter was measured in the spectrophotometer using 3 different wavelengths (436 nm, 525 nm and 620 nm) and Pt-Co unit. The color removal efficiencies of denim wastewater were investigated by using pumice stone as adsorbent at 20%, 30% and 40% by volume. When the pH value was normalized to 6.7 and three different wavelengths

and Pt-Co color units, the color removal efficiency was calculated as 30% and 36% for Pt-Co units at 20% and 40% by volume, respectively. The highest removal efficiency of 41% was obtained at 30% occupancy. When absorbance measurements at 436 nm were evaluated, the highest removal efficiency was determined as 39% at 30% filling rate. In the measurements performed at 525 nm, similar removal efficiencies (~45%) were observed at 30% and 40% occupancy rates. For 620 nm wavelength, the removal efficiencies were 31%, 44% and 48% for 20%, 30% and 40% occupancy rates, respectively.

In the column application, which is the other stage of color removal by adsorption, 16%, 15%, 525 nm and 17% color removal at 436 nm, 436 nm, 525 nm and 620 nm, respectively, were achieved in Pt-Co unit at 40% occupancy rate in studies carried out with pH value 7.5 and pumice stones.

In this experimental study, the use of pumice stone as a carrier material in moving bed aerobic biological systems was investigated and this study will shed light on the unexplained points in this field. It is expected that the results of this study will provide a solution to the color problem along with organic matter, which is one of the important environmental problems of pumice stone, that is discarded after being used in large quantities in denim processing plants.



1. GİRİŞ

Günümüzde tekstil atıksularının arıtılması üzerine yapılan fazla sayıda araştırma bulunmasına rağmen denim üretiminde ortaya çıkan ponza taşı ve renk problemleri üzerine yapılan araştırmalar daha sınırlıdır. Bu çalışmada, uzun zamandır sentetik taşıyıcı parçacıklarla desteklenmiş olarak kullanılan hareketli yataklı biyolojik arıtma sistemlerinde yüksek poroziteye ve gözenek yapısına sahip ponza taşının taşıyıcı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ponza taşının taşıyıcı malzeme olarak kullanıldığı bu arıtma sistemi aktif çamur sistemleri ve biyofilm sistemlerinin beraber uygulanmasının avantajlarının birleştirildiği bir proses niteliğindedir.

Son zamanlarda yaşanan hızlı nüfus artışı, gittikçe artan endüstrileşme ve bunun yanında doğal kaynakların bilinçsizce kullanılması özellikle tatlı su kaynaklarının hızlıca tükenmesine sebep olmaktadır. Çevre bilincini yok sayarak gerçekleştirilen endüstriyel faaliyetler ve atıksuların yeteri kadar arıtılmadan alıcı ortama deşarj edilmesi tatlı su kaynakları için ciddi tehdit oluşturmaktadır.

Tekstil endüstrisinde üretimde oldukça fazla proses suyu kullanılmakta ve bu nedenle de yüksek miktarda atıksu oluşmaktadır. Tekstil sektöründen kaynaklı atıksular yüksek oranda organik ve inorganik kirleticiler, biyolojik olarak ayrışamayan boya ve tuz içermektedir. İçeriğindeki boyar maddelerden kaynaklanan renkli atıksular doğal ortama doğrudan deşarj edildiğinde estetik ve görsel olarak rahatsızlık vermenin yanı sıra ortamın ışık geçirgenliğini azaltarak fotosentez olayını engellemekte, bu da ortamın çözünmüş oksijenini düşürerek sucul bitki büyümesi ve balıkların yaşamı üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır.

Bu kapsamda, tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında giderilmesi gereken en önemli kirletici parametreler kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve renktir. Bu atıksularının arıtılmasında atıksuyun özelliklerine bağlı olarak biyolojik, kimyasal ve fiziksel arıtma yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemler, çoğunlukla tek başına değil birbirleriyle art arda uygulanmaktadır.

Hareketli yataklı biyolojik arıtma sistemleri, biyofilm sistemleri ve aktif çamur sistemlerinin aynı anda uygulanarak faydalarının birleştirildiği bir hibrid prosestir. Bu arıtma sistemlerinde, reaktörün içinde serbest bir şekilde hareket eden taşıyıcı malzemeler kullanılmaktadır. Bu taşıyıcılar vasıtası ile reaktörde tutulan biyokütle artmakta, daha sabit ve daha fazla arıtma verimi elde edilebilmektedir. Hareketli yataklı biyolojik arıtma sistemleri ile, geleneksel aktif çamur tipi biyolojik arıtma sistemlerine göre, çok önemli oranda reaktör hacmi (arıtma ayak izi) ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Ponza taşı denim işleme tesislerinde büyük miktarlarda kullanılan bir üretim malzemesidir. Ürün başına yaklaşık 0,8- 1,0 kg ponza taşı kullanılmakta ve kullanılan ponza taşının ancak %30-35'i geri kazanılmakta, kalan %65-70'i atıksulara karışarak atılmaktadır. Atıksulardan ayrılan ponza taşı, genelde arıtma tesislerinde birikmekte ve uzaklaştırılması yüksek maliyet gerektirmektedir.

Bu çalışmanın amacı, bir denim endüstrisindeki atıksudan ayrılan ponza taşlarının atılması yerine, iki farklı işlev altında kullanılabilirliği ve atık malzemenin arıtma işleminde kullanılabilecek, yeniden değerlendirilebilir bir malzemeye dönüştürülebilmesinin yol haritasının araştırılmasıdır. Bu doğrultuda, atık olarak çıkan ponza taşlarının hareketli yataklı biyolojik arıtma sistemlerinde taşıyıcı malzeme (carrier) göreviyle kullanımı geleneksel aktif çamur sistemlerine kıyasla daha yüksek yükleme oranları ile gerçekleştirerek arıtım ayak izini küçülterek organik madde giderim performansının ve taşıyıcı malzemenin adsorban olarak kullanılabilecek olması sebebiyle renk giderim performansının da ölçülmesi hedeflenmektedir.

2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNE GENEL BAKIŞ

Tekstil endüstrisi, hem doğal hem de yapay liflerin kullanımıyla kumaşların ve diğer tekstil ürünlerinin üretilmesini sağlayan tesisleri kapsamaktadır [1]. Pamuk, sadece ülkede kolay bulunabilmesi nedeniyle değil, aynı zamanda ülkenin iklim koşullarının da pamuklu giyim ihtiyacını belirlemesi nedeniyle tüm dünyada hakim konumunu korumuştur. Bölgelerde tekstil endüstrisinin büyümesi, iklim koşullarından ve hammaddelerin mevcudiyetinden büyük ölçüde etkilenmektedir.

Tekstil endüstrileri, süreç, ürün çeşitleri ve hammaddeler söz konusu olduğunda doğası gereği çok karmaşık yapılardadır. Üretim sırasında kumaşın haşılama, haşıl sökme, ovma, merserize etme, ağartma, boyama, baskı ve terbiye gibi çeşitli işlemlerden ve kimyasal operasyonlardan geçmesi gerekir. Bir tekstil endüstrisinde, kumaşlara istenen kaliteyi kazandırmak için fazlaca boya kimyasalları ve yardımcı kimyasallar kullanılır. Bu endüstrinin atık suyu, yapısı gereği oldukça alkalidir ve yüksek konsantrasyonda Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Çözünmüş Katı Maddeler (TDS) içerir. Bertaraf edilmeden önce uygun şekilde arıtılmadığı takdirde çevresel sorunlara neden olabilir. Sektör ayrıca hava kirliliğine de yol açmaktadır. Elyafların eğirme ve dokuma öncesinde ve sırasında işlenmesi, endüstrideki çalışma ortamını bozan toz, tiftik vb. üretir [2].

Liflerin, kumaşların ve giysilerin işlenmesi başta olmak üzere tekstil endüstrisi tüm süreçlerinden kaynaklı çok çeşitli kirleticiler oluşturur. Endüstrideki en önemli çevresel endişeler, deşarj edilen tekstil atıklarının miktarı ve taşınan kimyasal yüküdür.

Bu endüstrisinin üretim aşamaları uzun ve karmaşık bir zincire sahiptir ve boyama bu zincirin en önemlilerinden biridir. Tekstil ürünlerinde güzel bir görünüm elde edip ürünlerin son kullanıcıya göre renklendirilmesini sağlamak amacıyla boyama işlemi yapılmaktadır. Bu nedenle birçok kimyasal ve yardımcı madde kullanılmaktadır. Kullanılan boyarmadde ve pigmentlerin bir kısmı tehlikeli atık grubunda iken bir kısmı da tehlikesiz atık grubunda yer almaktadır [3].

Sektörden kaynaklanan su kirleticileri çeşitli kimyasallarla ve boyalarla da karıştığında fazla miktarda zararlı çıktılar oluşturup su kirlenmesine sebep olarak çevre koşullarını kötü etkilemektedir. Su kirlenmesini azaltmak/gidermek için özel adsorbanlar veya modern teknolojiler kullanılarak etkili arıtma yöntemlerinin kullanılması gereklidir.

Tüm endüstriyel atıksularda uygulandığı gibi bu endüstriden kaynaklanan atıksular da uygun çerçevelerde kontrol edilmeli ve denetlenmelidir. Bu doğrultuda en uygun görünen yaklaşım üretim aşamasındaki proseslerin ve atıksuların sınıflandırılmasıdır.

2.1 Tekstil Endüstrisinde Atıksular

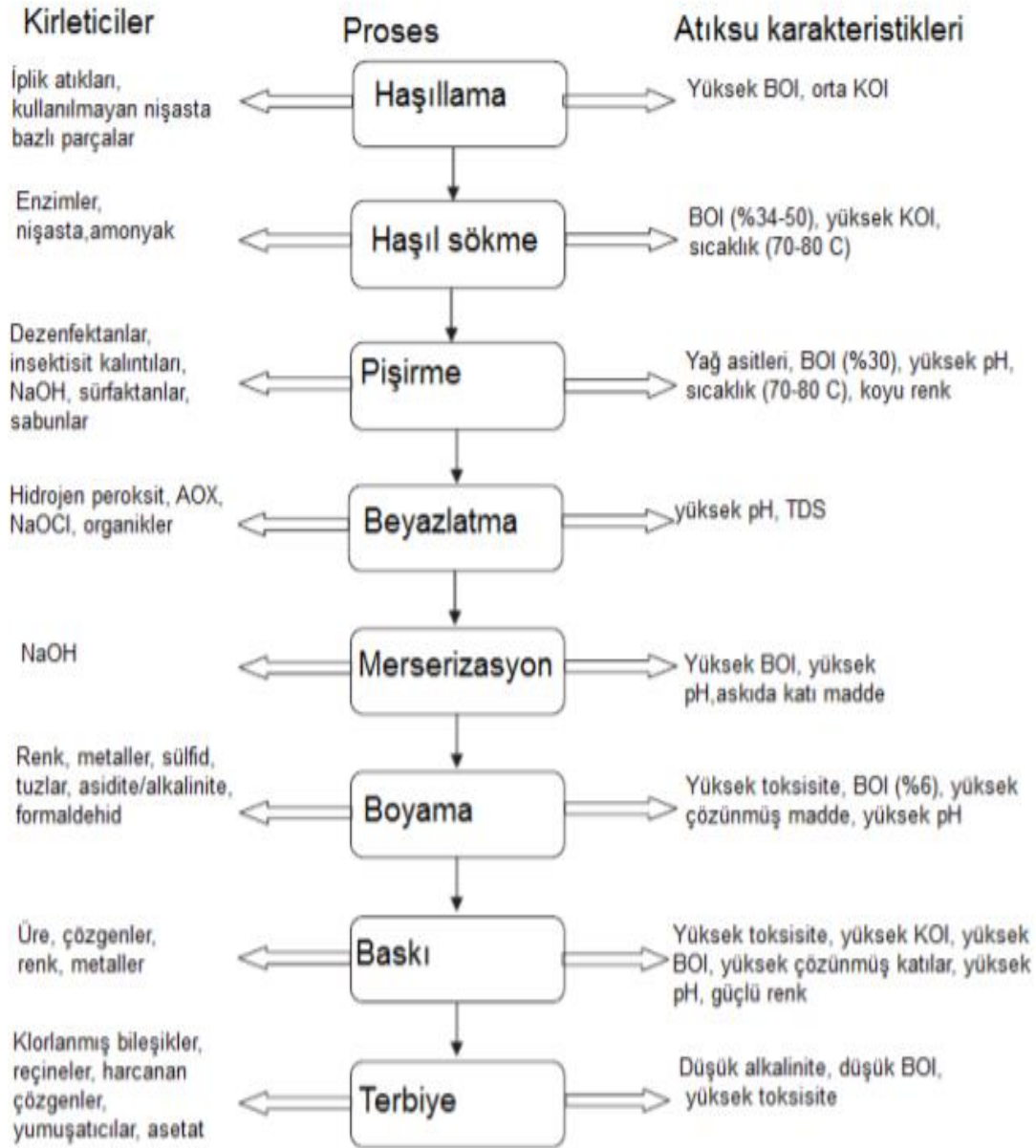
Tekstil atıksuları endüstriyel kirliliğin önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. Su kalitesi yönetim programları endüstriyel faaliyetleri iki farklı boyutta ele almaktadır: (1) atıksu karakterizasyonu ve (2) atıksu deşarj sınırlamaları. Sonuç olarak, herhangi bir kalite yönetim planının başarısı, esas olarak atıksuların ne kadar kapsamlı bir şekilde karakterize edildiğine ve seçilen arıtma planının atıksu sınırlamalarına uymak için ne kadar etkili ve sürdürülebilir olduğuna bağlıdır. Tekstil faaliyetleri genellikle organik karbon ve renk içeriği açısından güçlü atıksular üretir ve bunlar katı atıksu sınırlamalarına tabidir [4-9].

Endüstriden kaynaklanan atıksular işletme şartlarına, kuru-yaş işlem basamaklarında kullanılan değişik organik bileşiklere ve organik ve inorganik formda bulunan kimyasallara göre değişkenlik gösterebilmektedir (Şekil 2.1) ve bu kirleticiler çevre koşullarını olumsuz etkilemektedir. Çizelge 2.1’de farklı proseslere ait atıksu karakterizasyonları gösterilmiştir [10].

Tekstil atıksularında genel olarak KOİ, renk, BOİ, pH, tuzluluk gibi parametreler daha yüksek değerler göstermekte ve ortaya çıkan atıksuların klasik arıtma yöntemleri ile arıtılmasını imkansız hale getirmektedir. Bu yüzden bu atıksuları deşarj etmeden önce özel adsorbanlar veya diğer modern arıtma teknolojileri kullanılarak arıtma uygulanması gerekmektedir.

Çizelge 2.1 : Tekstil endüstrisinin farklı proseslerine ait atıksuların karakterizasyonu [10].

Parametre	Elyaf Türü	Haşıl Sökme	Yıkama	Ağartma	Boyama	Baskı
	Yün	-	5000-90000	-	7920	-
		950-				
	Pamuk	2000	8000	288-13500	1115-4585	-
KOİ (mg/l)	Sentetik	-	-	-	620	1515
	Yün	-	2270-60000	400	400-2000	-
	Pamuk	-	100-2900	90-1700	970-1460	-
BOİ (mg/l)	Sentetik	-	500-2800	-	530	590
	Yün	-	2000	-	2225	-
		64-				
Renk (ADMI)	Pamuk	1900	694	153	1450-4750	-
	Sentetik	-	-	910	1750	-
	Yün	-	28900-49300	2300-14400	-	-
Toplam Katı KOİ (mg/l)	Pamuk	-	-	-	-	-
	Sentetik	-	-	900	-	150-250
	Yün	-	1000-26200	130-25000	-	-
		18-				
Toplam Askıda Katı KOİ (mg/l)	Pamuk	800	184-17400	-	-	-
	Sentetik	-	600-3300	4760-19500	120-190	-
Toplam Çözülmüş Katı KOİ (mg/l)		530-				
	Pamuk	6900	-	-	140	-
	Yün	-	7.6-10.4	6	4.6-8	-
		8.8-				
	Pamuk	9.2	7.2-13	6.5-13.5	9.2-10.1	-
pH	Sentetik	-	8-10	-	11.7	-



Şekil 2.1 : Tekstil endüstrisinin farklı basamaklarında ana kirletici bileşenleri [11].

2.2 Denim Endüstrisi

Pamuklu bir kumaş olan denim özellikle kot üretiminde kullanılmaktadır. [12]. Denim “Blue jeans” olarak da isimlendirilir. İçeriğinde viskon, lycra, naylon, polyester de bulunabilen çözgüsü mavi indigo boyalı, atkısı boyanmamış (ham) kumaştır. Son yıllarda daha rahat, vücuda daha iyi uyum sağlayan ve esnek özelliklerde giysilere olan

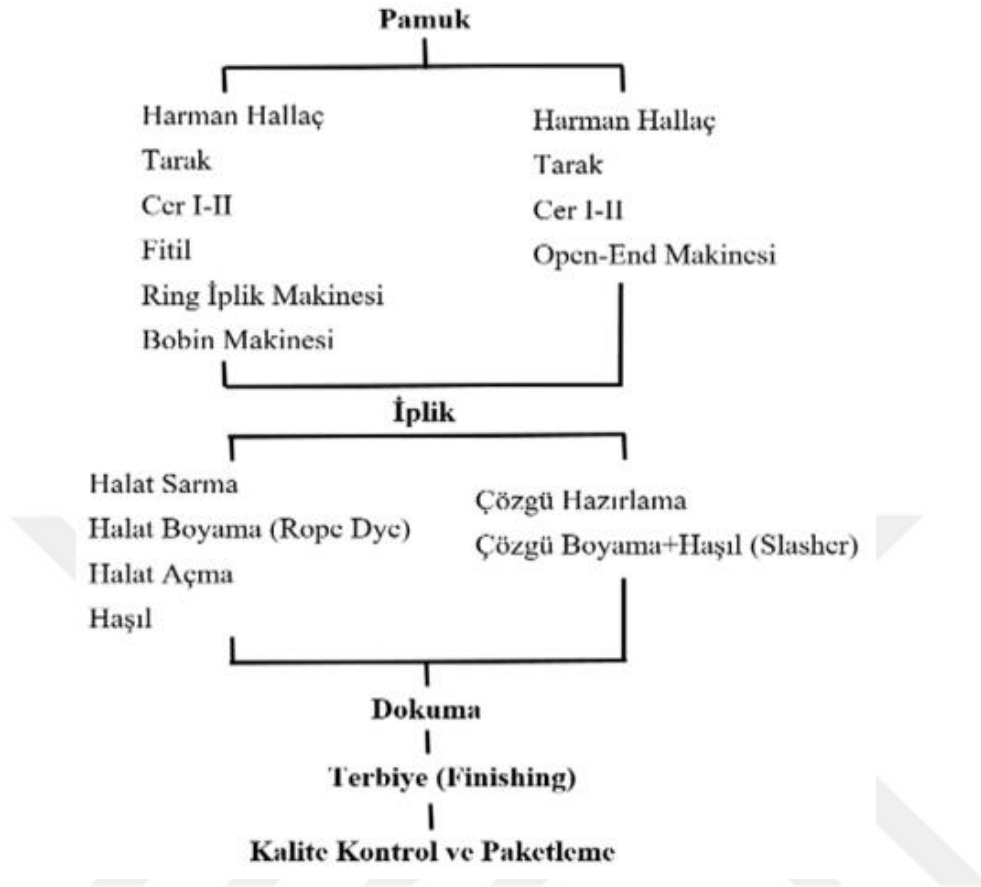
talep kaynaklı gündelik giyimde elastan içerikli denim kumaşlar giderek daha fazla tercih edilmektedir. [13].

18. yüzyılın sonlarında Atlantik üzerinden denim kumaşı üretiminin Amerika'ya gelmesiyle, küçük denim üretim tesisleri Amerika'da kök salmaya başlamıştır. Kumaşın sağlam yapıda olması ve kolay bir şekilde aşınma olmaması sebebiyle 18. yüzyılda işçilerin, 19. yüzyılda da maden çalışanlarının giyindikleri pantolonlar olarak kullanılmaya başlanmıştır. 2. Dünya Savaşı'ndan sonra ülkemizde de Amerikan üsleri kurulmakta olmuş ve Amerikan askerlerinin günlük yaşamda giydikleri kot pantolonlar ilgi görmeye başlamıştır. O yıllarda "yıkılmış kot pantolon" diye bir tanım bulunmamaktadır. Üretimde gerekli bir aşama olarak da denimın yıkanması bilinmemektedir. Dükkanlarda satılan haline bakıldığında zımpara kağıdına benzer ham haldedir. Oldukça sert bir kumaş olan denim kumaşı sadece uzun zaman kullanıldıktan sonra mavimsi ve yumuşak olan bir hale gelebiliyordu. Bu aşamaları hızlandırmak amacıyla deniz kenarında taşlama yapmak, tahta fırçalar yardımıyla fırçalamak, vücuda istenilen ölçülerde oturması için pantolonla birlikte denize girmek gibi uygulamalar deneniyordu. Tüm bu süreçlerin ve insanların denim pantolonlara gösterdiği ilgilerin sonucunda denim pantolonlar, işçi kıyafeti olmaktan çıkıp, gençliğin, özgürlüğün ve demokrasinin pantolonu olduğunu ilan etmiş ve aynı zamanda dünyanın her yerine yayılmıştır. Tarihsel aşamalardan geçen denimde günümüze ulaşana kadar hem formunda, hem yapılan işlemlerde, değişik yıkama türleriyle ve kumaşında farklı terbiye işlemleri yapılarak yenilikler sağlanmıştır. Formunun daha iyi olması ve rahatlığının artması için denim kumaşına ek olarak lycra, poliamid, polyester gibi karışımli kumaşlar kullanılmıştır. Bu uygulanan işlemlerden sonra büyük değişikliğe uğrayan denim oldukça yenilenmiştir. [14].

Günümüzde hala her kesimden insanlar görünümü, dayanıklılığı, rahatlığı ve moda uyması sebebiyle denimden yapılan giysileri tercih etmektedirler.

2.3 Denim Endüstrisi Üretim Prosesleri

Denimin hammaddesi olan pamuk tekstil üretiminde kullanılmakta olan en eski elyaf olarak bilinmektedir. Antartika bölgesi hariç dünyanın her yerinde yetişir [13]. Pamuk çoğunlukla havası nemli ve sıcak olan yerlerde yetişir (Türkiye, Çin, Brezilya, Meksika, ABD, Pakistan). Denim kumaş üretiminin gösterildiği akım şeması Şekil 2.2'de belirtilmiştir.



Şekil 2.2 : Denim kumaşı üretimi iş akım şeması [15].

Akım şemasına bakıldığında, pamuğun sırasıyla açma işlemlerinden geçirilmesiyle iplik oluşturulmaktadır. Ardından işlemler dokuma, terbiye ve kalite kontrol olarak devam etmektedir. Terbiye işlemlerinde su kullanımı yüksek miktardadır.

Denim üretim fabrikaları, diğer tekstil fabrikalarında bulunmayan bir taş yıkama işlemi uygulamaktadır. Günümüzde denim, belki de en çok tercih edilen giysidir. Taş yıkama, malzemeye yıpranmış görünüm, eskitilmiş kot görünümü kazandırmak için uygulanır. Bu amaçla, taşlar ve denim reaktörde birlikte eğrilir. Eğirme süresi, daha iyi kontrastlarla, istenen daha açık kumaş rengini elde etmek için ayarlanır. Taş yıkamada, oldukça gözenekli ve delikli bir dokuya sahip volkanik bir kaya olan ponza taşı kullanılır. Ponza taşı işlem sırasında ufalanır, böylece atıksu geniş bir boyut dağılımında yüksek konsantrasyonda taş/inorganik partiküller içerir. İnorganik

partikül maddenin mekanik ekipmanların üzerinde önemli aşınma etkileri olduğundan, uygun arıtma teknolojisinin seçimi son derece önemli ve karmaşık hale gelmektedir.

Denim işleme, kullanılan malzemeye bağlı olarak farklı sıralarda uygulanan çok çeşitli adımlar gerektirir; örneğin, farklı renklerde pantolonlar, gömlekler, etekler, ceketler vb. Sonuç olarak, proses sırası farklı üretim türlerine göre ayarlandığından, atıksu özellikleri zamanla önemli değişiklikler gösterir. Bu bağlamda, uygun bir arıtma sisteminin tasarımı ve işletimi için kullanılabilecek güvenilir bir atık su karakterini belirleyecek bir deneysel programın tanımlanması ve uygulanması zorunludur. Bu iki husus, denim atıksuyunu benzersiz ve diğer tekstil atık sularından oldukça farklı kılmaktadır. [16].

Üretim aşamalarında, söz konusu tekstil ürünlerine istenilen görünümü kazandırma amacıyla boyama, kotun çekmemesi, eski görünümün sağlanması için farklı kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bunlara ek, üretilme sürecinde çok yüksek miktarlarda su kullanımı gerçekleşmektedir. Oldukça fazla tüketilen su ile birlikte yüksek kirletici miktarı bulunan atıksular meydana gelmektedir. [17].



3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARI ARITMA TEKNOLOJİLERİ

Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksular, uygun arıtma teknolojileri uygulanmadan deşarj edildiğinde çevreyi ciddi bir şekilde etkileyen, toksik kompleks bileşenler bulunduran tehlikeli atıksulardır ve su ekosistemlerine olduğu kadar insan sağlığına da zararlı etkilere neden olmaktadır [3].

Kullanılmakta olan ham maddeler ve kimyasal maddelerin tamamı, gerçekleştirilen işlemlerin, her işlem adına kullanılan teknolojik yöntemlerin değişik olması ile farklı miktarlarda su harcanması durumuna göre değişen yapıda olan endüstridir. Bu değişken yapısı gereği atıksuyun karakterizasyonu ve gerçekleştirilen arıtma teknolojileri de değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple, bu endüstri için sıradan atıksu ve klasik arıtma teknolojilerinden söz edilememektedir. Tekstil endüstrisinden kaynaklı atıksularının arıtımında fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılarak arıtma yapılabilmektedir. Bahsedilen yöntemler, çoğunlukla tek başına değil, art arda gerçekleştirilmektedir. Endüstriden kaynaklı atıksularının arıtılmasında kullanılmakta olan başlıca arıtma teknolojileri içerisinde kimyasal çöktürme, biyolojik arıtma, nötralizasyon, adsorpsiyon, çökeltme-yüzdürme, dengeleme, kimyasal oksidasyon vs. bulunmaktadır. Bunlara ek olarak ileri arıtma tekniği olarak renk ve çözünmüş madde giderimini gerçekleştirmek için iyon değişimi ve ters osmoz gibi farklı yöntemler de kullanılabilmektedir. [14]

3.1 Fiziksel Yöntemler

3.1.1 Adsorpsiyon

Adsorpsiyonun son yıllarda ilgi görmesinin sebebi konvansiyonel metodlara göre kararlılığı yüksek olan kirletici maddelerin giderimini gerçekleştirirken sağladığı verimliliğidir. Ekonomik olarak uygun ve yüksek kaliteli ürünlerin çıktısını sağlar [18]. Bu proses, tanecik büyüklüğü, boya-sorbent etkileşimi, yüzey alanı, sıcaklık, temas süresi, pH gibi birden fazla fiziko-kimyasal durumun etkisinde gerçekleşir [14].

Adsorpsiyon yöntemi ile renk giderim işleminde en sık uygulanan yöntem aktif karbon metodudur. Aktif karbon kullanımı ile renk giderimi işlemi özellikle asit boyalar, katyonik ve mordant için etkili olurken, pigment, dispers, vat direkt ve reaktif boyalar için daha az oranlarda renk giderimi gerçekleşir. Atıksuların karakteristik özelliklerine, yöntemin verimliliğine ve kullanılan karbonun özelliğine ve bağlıdır. Yeniden kullanım ve rejenerasyon uygulamaları verimde düşüşe yol açarken bu olumsuzluk fazla miktarlarda aktif karbonun kullanımı ile önlenabilir. Fakat aktif karbon fiyatı yüksek malzemedir. Adsorban olarak kullanılabilecek bir başka madde ise bataklık kömürüdür. Bataklık kömürü, içinde boya bulunan atıksudaki geçiş metallerini ve polar organik bileşikler adsorplama yeteneğine sahiptirler. Ağaç kabukları, mısır koçanı, silika jeller, doğal killeri, uçucu kül ve kömür karışımından oluşan malzemeler de boya giderilirken adsorban madde olarak kullanılabilmektedirler. Bu maddelerin uygun ve kolay ulaşılabilir olması boyar madde gideriminde kullanımlarını da ekonomik olarak mantıklı kılmaktadır [18].

3.1.2 İyon değişimi

Renkli atıksuların arıtımında kullanılan iyon değiştirici maddeleri henüz yeteri kadar yaygın değildir. Bu durumun sebebi, iyon değiştirici maddelerle arıtılarak verimli sonuç elde edilen boya çeşidinin sınırlı olduğunun düşünülmesidir. Bu yöntemle arıtılan atıksu, mevcuttaki değişim bölgesi doygun duruma geçene kadar iyon değiştirici reçinelerin üzerinden geçer. Böylece, boya içeren atıksudaki anyonik ve de katyonik boyalar uzaklaştırılabilmektedir. Bu yöntemin uygulanmasının olumlu tarafları, çözücünün kullanıldıktan sonra iyileştirilebilmesi, rejenerasyonla adsorban kaybının bulunmaması ve çözünabilir boyaların yüksek verimle giderilebilmesidir. Bu yöntemdeki en ciddi olumsuzluk ise uygulama maliyetinin yüksek olmasıdır. Organik çözücü maddeler çok maliyetlidir ve iyon değişimi yöntemi dispers boyalarda yeteri kadar etki sağlamamaktadır [19].

3.1.3 Membran filtrasyonu

Membran filtrasyonu yönteminde boyanın devamlı olarak giderilmesi, konsantre edilmesi ve hepsinden daha da önemli olan atıksulardan ayrılma işlemi sağlanmaktadır. Uygulanan başka yöntemlere göre avantajı bu sistemlerin beklenmedik bir kimyasal çevreye ve mikrobiyal aktiviteye karşı dirençli olması ve sıcaklığa karşı karşı direncini korumasıdır. Ters osmoz membran yöntemi birçok

iyonik yapılı tür özelinde yüzde doksandan fazla verim sağlar ve yüksek kaliteli bir permeat elde edilir. Boya banyolarının çıkışlarında bulunan sulardaki yardımcı kimyasal maddeler ve boyaların tek aşamada giderimi sağlanır. Fakat yüksek ozmotik basıncın farklı olması ters osmoz ile yapılan uygulamalara sınırlandırma getirmektedir. Nanofiltrasyon membranı negatif yüzeysel yükten kaynaklı iyon seçicidir. Çok valanslı anyonların tek valanslı anyonlara göre daha sıkı tutulduğu bilinmektedir. Membran sistemlerin bu karakteristik yapısına dayalı boyar madde içeren atıksularda var olan bazı yardımcı kimyasallar membranlardan geçebilmektedir. Konu özelinde gerçekleştirilen çalışmalar, membran filtrasyonu ile, çıkış suyunda düşük konsantrasyonda boyar madde içeren tekstil endüstrilerinde suyun tesise geri kazandırılmasının gerçekleşmeyeceğini net bir şekilde gösterir. Fakat bu yöntem, suların tekrar kullanımı için önemli bir parametre olduğu bilinen çözünmüş katı madde içeriğini etkilememektedir. Membran teknolojileri, fazla sayıda ayırmalardan sonra kalan konsantre atıkların bertarafı problemlerine sebebiyle ve başlangıç giderlerinin yüksek olmasından, membranların tıkanma olasılığı ve yenilenme gerekliliği gibi dezavantajlara da sahiptir [18].

3.2 Kimyasal Yöntemler

3.2.1 Oksidasyon

Oksidasyon yönteminin uygulanması kimyasal yöntemlere bakıldığında en bilindik ve yaygın bir şekilde uygulanan renk giderim yöntemidir. Bunun sebebi de uygulanmasının kolay oluşudur. Kimyasal oksidasyon sonucunda boyanın moleküllerindeki aromatik halkalar parçalanarak atıksulardaki boyar maddenin giderimi sağlanır [20].

3.2.2 Ozon

Ozon uygulaması ile önemli oranlarda renk giderim performansı gerçekleştirilmektedir. Ozonlama yönteminin sonucunda elde edilen renk giderim verimi boyaların türüne göre değişkenlik göstermektedir. Gerçekleşen çalışmaların birinde otuz dakika süresinde ozonlanan dispers/sülfür, azoik ve reaktif boya bulunan atıksularda verimli bir şekilde renk giderimi gerçekleştirirken, Vat boyar maddesi bulunan atıksularda aynı verim alınamamış ve giderim verimi yüzde elli olarak kalmıştır. Boya banyosu çıkış atıksularının ozonlamadan sonra yeniden

kullanılabilirliği ve tesiste su ve kimyasal tasarrufu sağlayıp, atıksu arıtma tesisinin yükünü düşürmektedir. Kararsızlığının yüksekliğine bağlı fazlaca iyi bir yükseltgen madde olan ozon ek olarak tekstil üretim aşamalarından olan yaş proses işlemlerinden kaynaklı atıksulara karışan yüzey aktif maddelerin ve taşıyıcılar gibi diğer kirleticilerin de arıtımına neden olur [18]. Ozonla oksidasyon, aromatik hidrokarbonların, fenollerin, klorlu hidrokarbonların ve pestisitlerin giderilmesinde de oldukça etkilidir. Boyar madde bulunan sulara uygulanan dozajın miktarı, toplam renk miktarına bağlıdır ve giderilecek KOİ bir kalıntı ya da çamur oluşumuna veya toksik ara ürünlerin oluşumuna neden olmaz. Bir diğer faydası ise ozonun gaz halinde de uygulanabilir olması ve bu nedenle başka giderim yöntemlerin tersine atık çamur oluşturmamasıdır. Boyaların içinde bulunan kromoforlar çoğunlukla konjuge çift bağlı organik bileşiklerdir. Bu bağların kırılmasıyla daha da ufak moleküller oluşturabilir ve renkte giderim gerçekleşebilir. Ufak moleküller atıksuyun kansere sebep olan özelliklerini ya da toksik özelliklerini yükseltebilirler. Bu durumun engellenmesinde ozonlama yöntemi ilave bir arıtma metodu olarak da uygulanabilmektedir. Ozonlama metodunun en kötü özelliği yarı ömrünün kısa oluşudur. Alkali durumlarda ozonun bozunma hızı arttığı için atıksuyun pH değerine dikkat edilmelidir. Ozonlama metodunun bir başka olumsuz yanı ise kısa yarı ömrüne bağlı olarak ozonlamanın devamlı yapılması gerekmesi ve artan maliyetidir [19].

3.2.3 Elektrokimyasal yöntem

Elektrokimyasal yöntem doksanlı yılların ortasında geliştirilen bir metottur. Bu reaksiyonda yük, elektrod ile iletken sıvıdaki reaktif türlerin arasında bulunan arayüzeylere geçiş yapar. Elektrokimyasal bir reaktörde bir anot, bir katot, bir iletken elektrolit ve güç kaynağı bulunmaktadır. Katot tarafında yük reaksiyona giren türe geçiş yaparak oksidasyonda azalmaya sebebiyet verir. Anotta tarafındaysa yük reaktif türlerden elektrodun üstüne geçiş yaparak oksidasyon durumunu yükseltir. Oksidasyondaki farklılıklar türlerin kimyasal özelliklerine ve formlarının değişimine neden olur. Boyar maddenin gideriminde verimli olarak kullanılabilirliği nedeniyle bu yöntem pozitif yanlara sahiptir. Kimyasalların kullanımı yok denecek kadar azdır ve çamur oluşturmaz. Fazla pozitif etkili ve uygun maliyette bir boyar madde giderimi sağlar ve renk gideriminde ve dirençli kirleticilerin yok olmasında yüksek giderim verimi gösterir. Organik bileşiklerin elektrokimyasal yöntemlerle arıtımında söz konusu bileşikler anot üzerinde su ve karbondioksit okside olmaktadır. Önceden

anot olarak grafit yoğunlukla kullanılırken günümüzde gerçekleşen deneyler elektro-oksidadasyon için ince tabakada soy metallerle kaplanmış titanyum elektrodlarının kullanımına odaklanmıştır [18].

3.2.4 Kimyasal floklaştırma ve çöktürme yöntemi

Bu yöntemde floklaştırmayla çöktürme kimyasallar yardımıyla gerçekleştirilir. Atıksulara eklenen kimyasalların yardımıyla oluşan floklaşma ile çözünmüş maddelerin ve kolloidlerin giderimi gerçekleşir. Sık sık kullanımı gerçekleşen kimyasal maddelerin içinde, $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $FeSO_4$ ve kireç gösterilebilir. Gerçekleşen bir uygulamada asidik boyar madde içeren bir atıksuda kimyasal çöktürme, kimyasal oksidadasyon ve adsorpsiyon işlemleri denenmiş ve bu metodlar renk giderimi performansı açısından incelenmiştir. Kimyasal çöktürmede uygun kimyasal madde dozajı sağlandığında ortadan yüksek derecelere kadar renk giderim performansı sağlandığı ve kullanılan kimyasallardan içinde alumun diğerlerine oranla daha faydalı olduğu gözlemlenmiştir. Bu yöntemde çoğunlukla işletme masraflarının oranı önemlidir. Özellikle floklaşma maddeleri ve meydana gelen çamurun bertarafı giderlerin çoğunluğunu oluşturmaktadır [19].

3.3 Biyolojik Yöntemler

Bu arıtım prosesleri tekstil atıksularının arıtılmasında çoğunlukla kullanılmaktadır. Sentetik boyaların biyolojik prosesler uygulanmasıyla giderilmesi diğer proseslere kıyasla daha az maliyetlidir işletme maliyet oranları da daha azdır. Ek olarak tam mineralizasyondan sonra oluşan ürünler toksik içerikte değildirler. Biyolojik proseslerin en büyük faydalarından biri de az miktarda çamur ortaya çıkarmasıdır [18]. Bu yöntemler genellikle organik madde giderimi ve askıda katı maddelerin gideriminde faydalı olsa bile atıksudan boyar maddelerin gideriminde genellikle verimsizdir. Çünkü geleneksel aktif çamur sistemleriyle tekstil endüstrisinde kullanılan boyar madde türleri ya biyolojik olarak oldukça zor indirgenebilmekte ya da hiç bozunmamaktadır. Atıksulardaki direk, bazik ve bazı azo boyalar mikroorganizmalar ile biyolojik olarak indirgenememekte ve bir kısmı da adsorbe edilerek ortamdan uzaklaştırılabilmektedir. Başka bir deyişle biyosorpsiyon (aktif çamur yüzeyinde tutunma) ile renk giderimi sağlanmaktadır. Boyar maddelerden olan azo boyaların mikrobiyal parçalanmada direnç göstermesinin sebebi, boyar

maddelerin ürünler üzerindeki kalıcılığını sağlamak için renklerinin solmamasını sağlayacak halde üretilmesidir. Bu boyar maddelerin (azo) biyolojik arıtımında döner biyolojik diskler kullanılır ve bu işlemde bakteriler boyar maddeyi yok eder. Biyosorpsiyon işleminde etkisi bulunan parametreler çamur kalitesi, su sertliği, temas süresi ve substrat konsantrasyonudur. Ön çökeltmede, çözünemeyen dispers ve vat boyaların arıtmanın verimi yüksek oranda artırması ile aktif çamurun içinde adsorpsiyon işlemine dayalı bazik ve direkt boyaların orta halde arıtılması sağlanabilmektedir. Çok yaygın olarak kullanımı gerçekleşen asit boyaların ve reaktif boyaların arıtımı çok az gerçekleşmektedir. Bu sistemlerdeki en sık rastlanan sorunlardan biri ise Nocardia köpüklenmesi ve filamentli bakterilerden kaynaklı çamurun kabarmasıdır. Bu olayların karmaşık yapıları net bir şekilde anlaşılmayıp yüksek konsantrasyonlarda nişasta ve yüzey maddelerinin bu durumu yarattığı gözlemlenmiştir. Biyolojik arıtmada renk giderimi aktif çamur sistemlerinde havalandırma havuzlarına toz aktif karbonun eklenmesiyle uygulanır. Toz karbon kullanımının neden olduğu faydalar KOİ ve BOİ giderimlerinde yüksek verim sağlanması ve köpük problemine engel olması söylenebilir. Biyolojik yöntemler adsorpsiyon gibi verimli renk giderim performansı sağlamamakta ve ek olarak % 20 – 55 arasında bir renk giderim performansı gerçekleştirmektedir.

Anaerobik arıtma sistemlerinde ise rengin giderimi, ağır metaller ve organik halojenlerin arıtımı pozitif sonuçlar ortaya çıkarır. Atıksuların yüksek miktarda renk konsantrasyonunda olduğu zamanlarda anaerobik arıtmadan sonra, aktif çamur sistemine beslenerek yüzde doksanın üzerinde KOİ ve renk giderim performansına ulaşılabilir. Boyaların anaerobik parçalanması, özellikle aerobik koşullarda parçalanmayan boyar maddelerin arıtımında etkilidir. Anaerobik şartlarda Azo boyaların çoğunluğu biyolojik olarak kolay ayrılan aromatik aminlere dönüşürler. Ancak oksijensiz olarak renk giderim performansının gerçekleşebilmesi için ek olarak karbon kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ek karbonun metan ve karbondioksit gazına dönüşmesi sonucunda elektronlar meydana gelir. Reaktif boyalar ortaya çıkan bu elektronların son elektron alıcısı olarak rol oynar ve böylece azo bağının indirgenmesi sağlanır. Bu işlem oksijenin varlığında gerçekleşemediğinden aerobik proseslerden önce anaerobik koşullarda azo bağlarının kırılması gerekmektedir. Anaerobik arıtmanın olumsuz yanlarından biri toksik ve kanserojen aromatik aminlerin oluşmasıdır [20].

3.4 Hareketli Yataklı Biyofilm Sistemleri (HYBR)

Hareketli yatak biyofilm sistemleri, doksanlı yılların başlarında Norveç'te konvansiyonel aktif çamur reaktörlerine kompakt bir arıtımın yedeği olarak geliştirilmiştir [21] ilk zamanlarında soğuk iklim koşullarına uygun olarak geliştirilmiştir [22-24]. Bu reaktörlerin tasarlanmasının altındaki neden; biyofilm sistemleri ve aktif çamur sistemlerinin en verimli özelliklerinin bir reaktörde uygulanabilmesidir [25].

Hareketli Yataklı Biyofilm Reaktörleri (HYBR), yüzeyinde mikrobiyal üremenin gerçekleştiği taşıyıcı yatak malzemesi ile doldurulmuş tam karışımli sistemlerdir. Aerobik ve anoksik proseslerin uygulanabildiği HYBR'ler genellikle sürekli akımla işletilen, düşük yük kaybı ve yüksek spesifik biyofilm yüzey alanına sahip biyofilm sistemleridir. Yatak malzemesi havalandırma, atıksu sirkülasyonu veya mekanik karıştırıcı yardımıyla reaktör içerisinde sürekli olarak askıda tutulmaktadır. Böylece sabit yataklı biyofilm proseslerinin avantajlarını sağlarken (kompakt, stabil giderim verimi, kolay işletim vb.), dezavantajlarını da yok etmektedir (yatakta kalınlaşma, tıkanma ve ölü bölgelerin oluşması). Hareketli yataklı biyofilm sistemleri organik yükleme değişimlerine karşı dayanıklı olmakla birlikte, nutrient kısıtlaması, toksik maddeler, pH ve sıcaklık değişimleri gibi etkilerle arıtma kapasitesi düşebilmekte, ancak reaktördeki biyokütle önemli derecede etkilenmemektedir.

HYBR prosesi birçok ülkede evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında organik karbon giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fosfor giderimi amaçlarıyla uygulanmaktadır. Bu sistem yeni bir arıtma tesisi olarak tasarlanabileceği gibi mevcut bir tesisin kapasitesinin artırılması veya besi maddesi giderimine çalıştırılması amacıyla yenilenebilmesi için de uygulanabilmektedir [26].

Bu sistemlerde çoğu biyofilm reaktörün tam tersine biyokütlenin gelişmesinde reaktörün hacminin tamamının kullanılması ve aktif çamur sistemlerinin tersine herhangi bir çamur geri devrine gerek duyulmaması önemlidir [27,28]. Reaktördeki taşıyıcılar geniş yüzey alanlarına sahip oldukları için mikroorganizmaların adsorpsiyonu ve gelişmesi için önemli bir ortam sağlanmaktadır [29]. Son çöktürme havuzuna gelen biyokütle konsantrasyonunu (AKM) önemli ölçüde arttırılmaksızın reaktör içinde yüksek biyokütleli konsantrasyon oluşturmak mümkün olmaktadır [30]. Durumun böyle olması tanımlı bir reaktörün hacmi için biyolojik arıtmadaki

kapasitesini arttırdığı gibi, çamur geri devri gerekliliğini de ortadan kaldırmaktadır [31,32].

Hareketli yataklı biyofilm reaktörlerde katı madde bekletme zamanı aktif çamur sistemlerine göre daha yüksek olduğundan biyokütlenin kaybedilme riski daha düşük olmaktadır [33,34]. Sistemde taşıyıcı bekletme süresinin fazlalığı nitrifikasyon bakterilerine benzer büyümesi yavaş mikroorganizmaların gelişebilmesi için uygun bir alan oluşturmaktadır [30, 35, 36]. Bu sistemler yüksek organik ve hidrolik yüklerle çalıştırılabilir, toksik kirleticilere karşı direnç gösterip, yüksek kirletici giderim hızına sahiptirler [37,38]. Bu sistemler gerek evsel atıksular gerekse endüstriyel atıksuların arıtılmasında, özellikle kağıt endüstrisi atıksuları [39, 40], kümes hayvanları atıksuları [41], fenolik atıksular [42], ilaç endüstrisi atıksuları [43], süt endüstrisi, mezbaha atıksuları [44,45] gibi yüksek kirletici yüküne sahip endüstriyel atıksuların arıtımında da başarı ile kullanılmıştır.

HYBR'nin performansı, reaktörde sağlanan ortam yüzdesine, biyofilm yüzey alanına, çözünmüş oksijene ve organik yüklemeye bağlıdır [46].

3.5 Ponza Taşı

Ponza taşı, esas olarak SiO_2 'den oluşan amorf, gözenekli bir volkanik kayadan oluşmaktadır. Yüksek gözenekliliğe ve düşük yoğunluğa sahiptir ($0,35\text{-}0,65 \text{ g/cm}^3$). Yüksek gözenekliliği ve yüzey alanı nedeniyle, organik (fenol, tekstil boyaları) ve inorganik (çeşitli ağır metaller ve radyoaktif elementler) su kirleticilerinin uzaklaştırılması için bir adsorban olarak doğal veya modifiye edilmiş ponza (Şekil 3.1) kullanımı uygundur [47].



Şekil 3.1 : Ponza taşı görünümü.

Geleneksel olarak, denim kumaş veya kotlarda taşla yıkanmış görünüm, kumaşlarda istenen bölgesel aşınmayı oluşturmak ponza taşı ile sağlanır. Türkiye'de ponza taşı enzimlerden daha ucuz ve bol olduğu için kot yıkama fabrikalarında taş yıkama işlemi hala popüler olan işlemlerdir. Bunun sonucunda da açığa çok fazla ponza taşı çıkmaktadır. Bu atık ponza taşları tekrar arıtmada kullanılırsa hem ekonomik olarak hem çevresel olarak büyük fayda sağlanır. Atık niteliğindeki ponza taşı taşıyıcı malzeme (carrier) olarak kullanılarak bir ürün niteliğine dönüştürülebilir, hareketli yataklı sistemde taşıyıcı olarak kullanılması durumunda arıtma daha yüksek yükleme oranı ile daha düşük reaktör hacminde gerçekleştirilebilir, ponza taşının adsorban özelliğinden yararlanılarak organik madde gideriminin yanı sıra renk giderimi de sağlanabilir.

Ponza taşının su ve atıksu arıtımında kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Ancak bu çalışmalar çoğunlukla, ponza taşının adsorpsiyon ve katalitik oksidasyon ile kadmiyum, boyar madde ve diğer kirleticilerin giderimi üzerine yoğunlaşmış ve ponza taşının daha çok adsorban olarak kullanılabilirliğini ortaya koymaktan öteye geçememiştir.



4. İNCELENEN DENİM ENDÜSTRİSİNİN TANITIMI

Bu çalışmaya konu olup incelenen denim endüstrisi, 70000 m²'lik açık alanda ve 35000 m² kapalı alanda kurulu bulunan tesisinde yıllık yaklaşık on iki milyon adet denim ve denim olmayan ürün üretimi gerçekleştirmektedir. Bu üretimler için konfeksiyon, kuru işlemler, ıslak işlemler, kimyasal maddeli işlemler, son işlem, kalite kontrol gibi çeşitli prosesler gerçekleştirilmektedir. Bu tesis senenin 350 günü 3 vardiya şeklinde faaliyettedir ve yaklaşık 2500 kişi çalışmaktadır. Tesisin 2017 yılındaki verilerine bakıldığında toplam üretimin 27.231.542'i işlenen ürün, 1.537.790'ü tamir edilen ürün olmak üzere 28.769.332 adet olduğu söylenebilir.

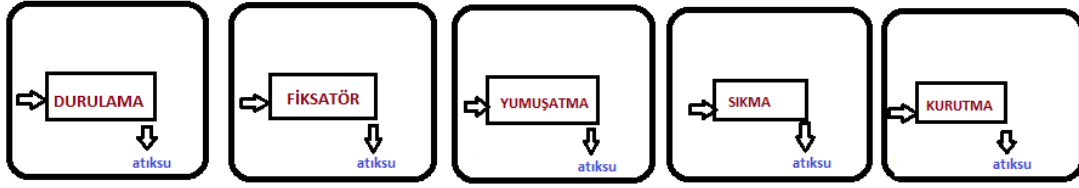
Proje süreci devam ederken tesiste ağırlıklı olarak çalışılan prosesler rinse yıkama, ağartma, havlu (random) yıkama, lokal, tint, koyu taş yıkama ve taş yıkama-hypo ağartma prosesleridir.

4.1 Rinse Yıkama Prosesi

Rinse Yıkama Prosesi *durulama, fiksator, yumuşatma, sıkma ve kurutma* olmak üzere 5 adımdan oluşmaktadır (Şekil 4.1). Bu süreçte ortalama olarak 110 ürün işlem görmektedir. 2017 verileri 2.573.458 adet ürüne Rinse Yıkama Prosesi uygulandığını ve bu prosesin 23.395 defa uygulandığını göstermektedir. Yıllık üretim miktarı dikkate alındığında Rinse Yıkama Prosesi üretimin % 8,95'ini oluşturmaktadır. Çizelge 4.1'de prosese ait kirletici konsantrasyonları gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Rinse yıkama süreci kirletici konsantrasyonları.

Parametre	Konsantrasyon
Toplam KOİ (mg/L)	1.100
AKM (mg/L)	250
Renk (Pt-Co)	1660



Şekil 4.1 : Rinse yıkama prosesi akım şeması.

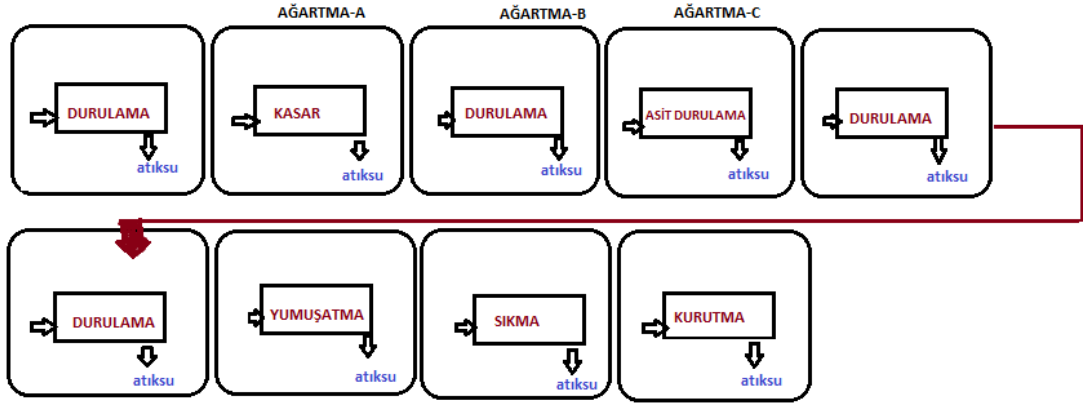
4.2 Ağartma Prosesi

Ağartma Prosesi kasar, durulama, yumuşatma, sıkma ve kurutma adımlarını içeren 9 adımdan oluşmaktadır. Proseste *kasar*, *asit durulama* ve *yumuşatma* adımlarında kimyasal madde kullanılmaktadır (Şekil 4.2). Ağartma prosesinde 145 adet ürün işleme tabi tutulmaktadır. 2017 verileri Ağartma Prosesi'nden 665.655 adet ürünün işlem gördüğünü göstermektedir. Bu miktar ürün için yılda 4.591 Ağartma Prosesi uygulanmaktadır. Toplam ürün miktarı dikkate alındığında ağartma prosesinin toplam üretimin %2,3'ünü oluşturduğu anlaşılmaktadır. Toplam üretim dikkate alındığında kullanılan su miktarının 12.855 m³/yıl, oluşan atıksuyun 12.694 m³/yıl ve buharlaşan miktarın 161 m³/yıl olduğu söylenebilir.

Ağartma Prosesi'nde oluşan atıksuların belirtilen parametreler esas alınarak yürütülen karakterizasyon çalışması Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Ağartma prosesi kirletici konsantrasyonları.

Parametre	Konsantrasyon
Toplam KOİ (mg/L)	870
AKM (mg/L)	40
Renk (Pt-Co)	105



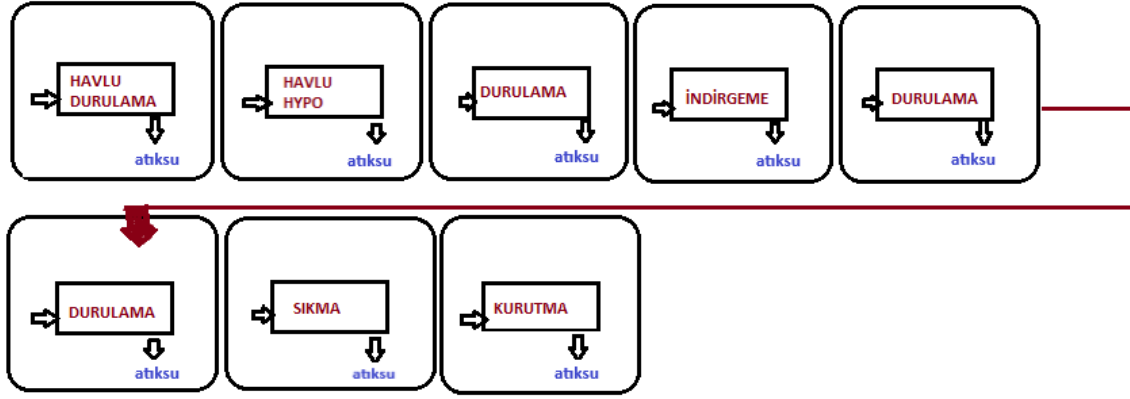
Şekil 4.2 : Ağartma prosesi akım şeması.

4.3 Havlu (Random) Yıkama Prosesi

Havlu (Random) Yıkama Prosesi, havlu durulama, havlu hypo, durulama, indirgeme, 2 kademe durulama, sıkma ve kurutma olarak 8 aşamadan oluşmaktadır (Şekil 4.3). Havlu (Random) Yıkama Prosesi'nde ortalama 78 adet ürün işleme tabi tutulmaktadır. 2017 verileri 1.086.657 adet ürünün bu prosesten geçtiğini göstermektedir. Bu veriler yılda 13.932 adet Havlu (Random) Yıkama Prosesi uygulandığını ve bu prosesin toplam üretimin %3,8 'ünü oluşturduğunu göstermektedir. Yıl boyunca tamamlanan tüketimler dikkate alındığında 29.954 m³/yıl su kullanıldığı, 29.536 m³/yıl atıksu oluştuğu ve 418 m³/yıl suyun buharlaştığı söylenebilir. Havlu yıkama prosesine ait kirlilik konsantrasyonları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Havlu yıkama prosesi kirletici konsantrasyonları.

Parametre	Konsantrasyon
Toplam KOİ (mg/L)	530
AKM (mg/L)	210
Renk (Pt-Co)	20



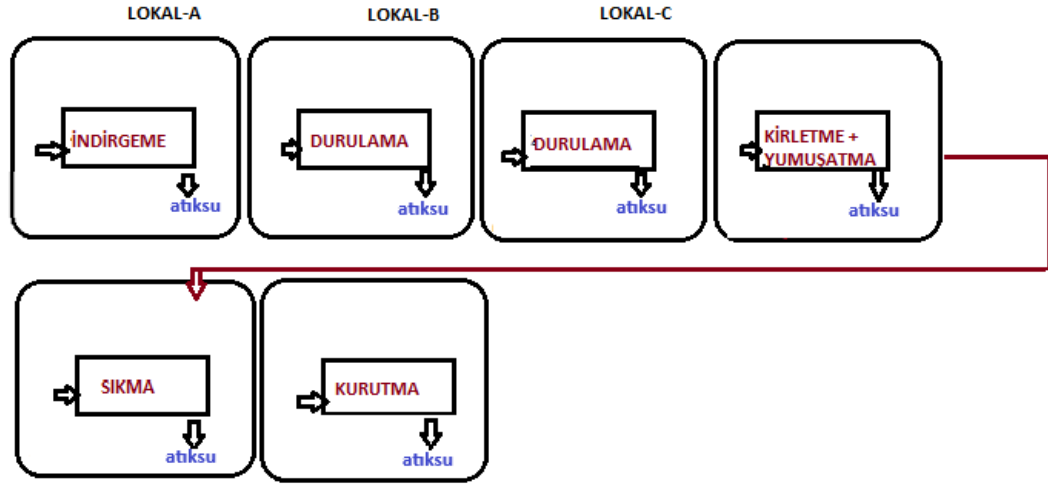
Şekil 4.3 : Havlu (random) yıkama prosesi akım şeması.

4.4 Lokal Yıkama Prosesi

Lokal Yıkama Prosesi, indirgeme adımı ile başlayan buna takiben 2 kademeli durulama, kirletme-yumuşatma, sıkma ve kurutma olacak şekilde 6 aşamada gerçekleşmektedir (Şekil 4.4). 122 adet ürünün lokal yıkamaya tabi tutulduğu bu prosesin indirgeme ve kirletme-yumuşatma adımlarında kimyasal madde kullanımları mevcuttur. İndirgeme adımı 1.5 kg Crs HAS, kirletme-yumuşatma adımı 0.2 gr Direkt Boyar Madde ve 4 kg Crs Evasoft EPS kullanılmaktadır. 2017 verilerine göre Lokal Yıkama Prosesi'nde 7.416.896 adet ürün işlem görmüş olup, bu miktar için yıl içerisinde 60.794 işlem uygulanmıştır. Bu proses toplam üretimin %25,8'ini oluşturmaktadır. Yıllık tüketimler dikkate alınmak suretiyle yapılan değerlendirmeler su kullanımının 91.191 m³/yıl, buharlaşmanın 1.824 m³/yıl ve atıksu oluşumunun 89.367 m³/yıl olduğunu gösterir. Prosesten kaynaklanan atıksular üzerinde yapılan karakterizasyon çalışması Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 : Lokal yıkama prosesi kirletici konsantrasyonları.

Parametre	Konsantrasyon
Toplam KOİ (mg/L)	800
AKM (mg/L)	250
Renk (Pt-Co)	596



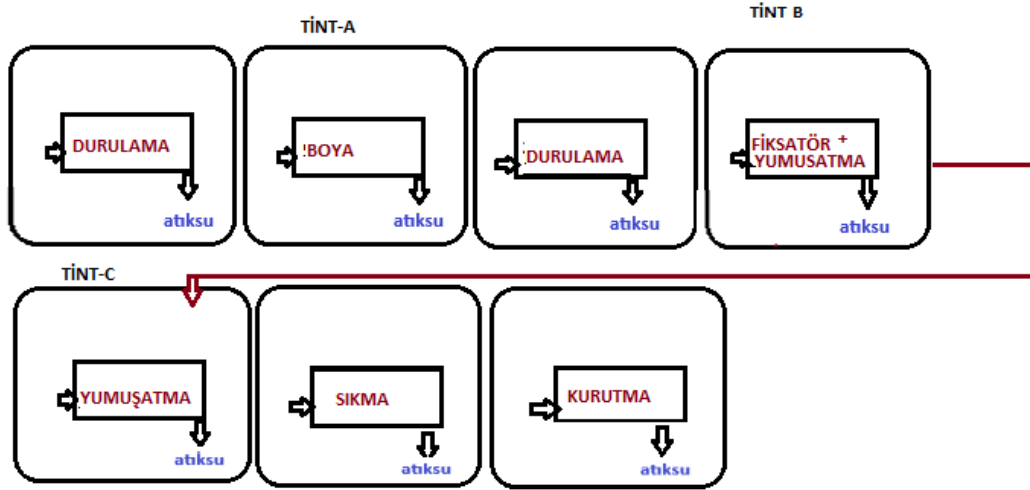
Şekil 4.4 : Lokal yıkama prosesi akım şeması.

4.5 Tint Prosesi

Tint Prosesi, ilk olarak durulama işlemi ile başlayan boya, durulama, fiksator-yumuşatma, yumuşatma, sıkma ve kurutma işlemleri ile devam eden 7 adımdan meydana gelmektedir (Şekil 4.5). Proseste ortalama 118 ürün işlem görmektedir. 2017 yılı üretim değerleri dikkate alındığında 29.212 m³ su kullanıldığı ve buna karşılık 28.680 m³ atıksu olduğu saptanmıştır. Bu üretim sürecinde 532 m³ su buharlaşmıştır. Tint Prosesi'nde oluşan atıksular ile ilgili karakterizasyon çalışması Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Tint prosesi kirletici konsantrasyonları.

Parametre	Konsantrasyon
Toplam KOİ (mg/L)	360
AKM (mg/L)	50
Renk (Pt-Co)	110



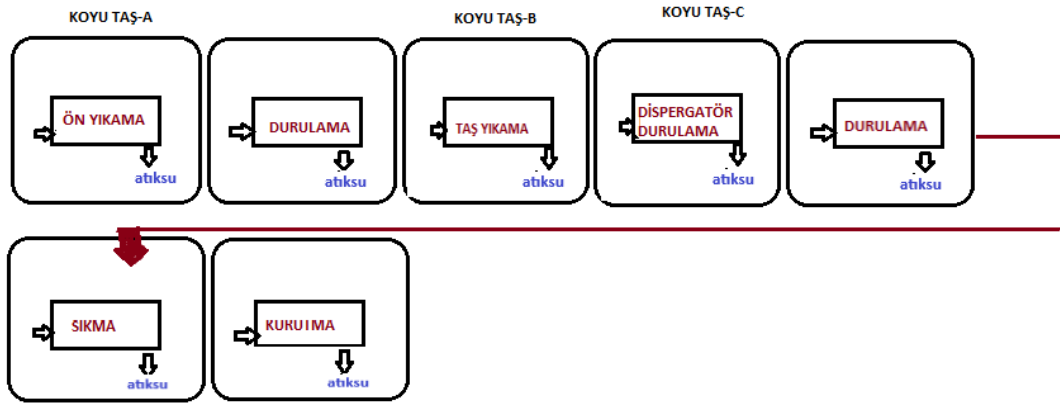
Şekil 4.5 : Tint prosesi akım şeması.

4.6 Koyu Taş Yıkama Prosesi

Koyu Taş Yıkama Prosesi ön yıkama, durulama, taş yıkama, dispergatör durulama, durulama, sıkma ve kurutma aşamalarının yer aldığı 7 adımdan oluşmaktadır (Şekil 4.6). Proseste işleme alınan ürün ortalama olarak 122 adettir. 2017 yılı üretim değerleri dikkate alındığında, 44.333 m³ su kullanıldığı ve buna karşılık 43.637 m³ atıksu oluştuğu saptanmıştır. Bu üretim sürecinde 696 m³ su buharlaşmıştır. Bu prosese ait atıksuların kuvvetli oranda renkli olduğu söylenebilir. Prosesten kaynaklanan atıksular üzerinde yapılan karakterizasyon çalışması Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Koyu taş yıkama prosesi kirletici konsantrasyonları.

Parametre	Konsantrasyon
Toplam KOİ (mg/L)	2500
AKM (mg/L)	2100
Renk (Pt-Co)	2348



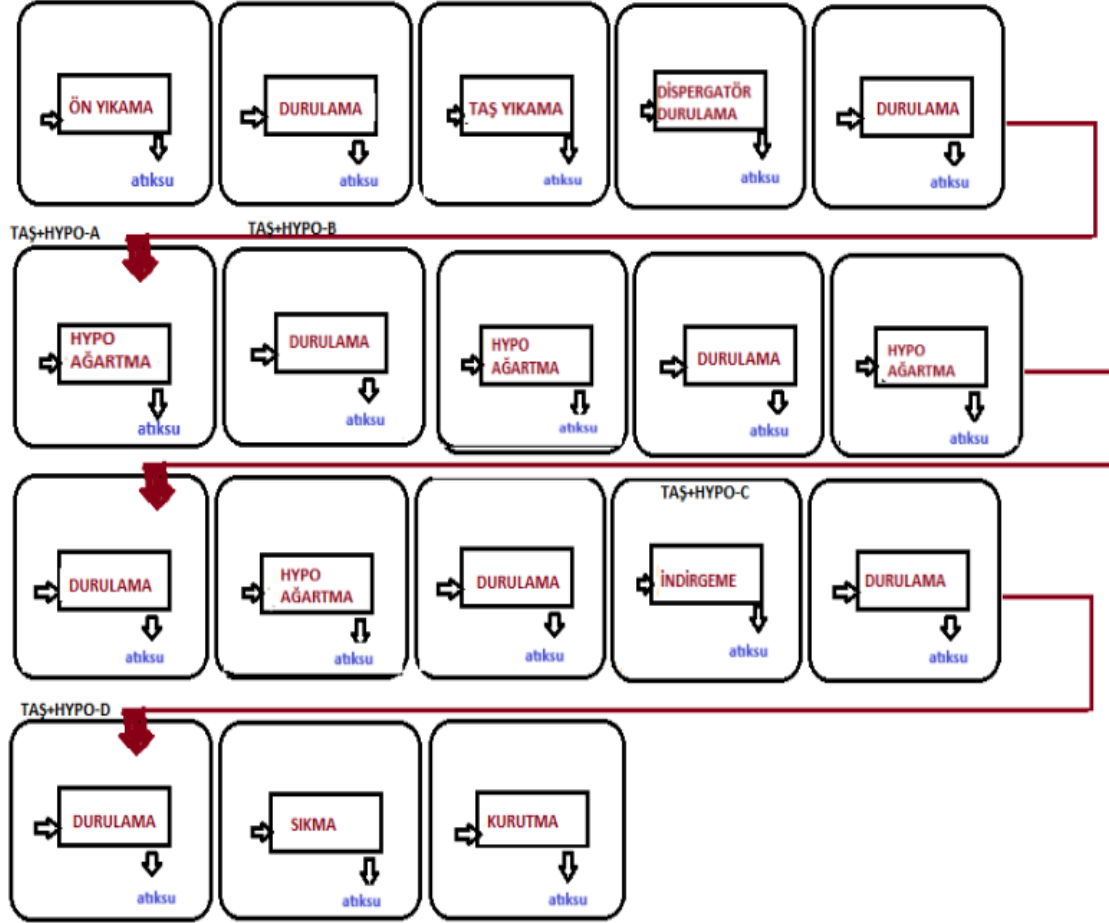
Şekil 4.6 : Koyu taş yıkama prosesi akım şeması.

4.7 Taş Yıkama – Hypo Ağartma Prosesi

Taş Yıkama-Hypo Ağartma Prosesi 18 işleminden oluşmaktadır (Şekil 4.7). Bu proseste kimyasal madde kullanımı ön yıkama, taş yıkama, dispergatör durulma, hypo ağartma ve indirgeme adımlarıdır. Proses içinde farklı aşamalarda 8 durulama ve nihai adımlar olarak da sıkma ve kurutma aşamaları mevcuttur. Bu proseste ortalama olarak 132 adet ürün işlenmektedir. 2017 verileri bu prosesten elde edilen toplam üretim özelinde 197.087 m³ su kullanıldığını, 882 m³ suyun buharlaştığını ve 196.205 m³ atıksu oluştuğunu ortaya koymaktadır. Bu prosese ait atıksuların kuvvetli oranda renkli olduğu görülmektedir. (Çizelge 4.7)

Çizelge 4.7 : Taş yıkama – hypo ağartma prosesi kirletici konsantrasyonları.

Parametre	Konsantrasyon
Toplam KOİ (mg/L)	1350
AKM (mg/L)	750
Renk (Pt-Co)	900



Şekil 4.7 : Taş yıkama – hypo ağartma prosesi akım şeması.

İşletmenin atıksu karakterizasyonunun belirlenmesinde %70 rinse yıkama, ağartma prosesi, havlu (random) yıkama prosesi, lokal yıkama ve tint proseslerinin, %30 olarak da koyu taş yıkama ve taş yıkama-hypo ağartma işlemlerinin etkisi olduğu söylenebilir.

5. GEREÇ VE YÖNTEM

5.1 Gereç

5.1.1 Deneysel tasarım

Yürütülen deneysel çalışmada denim üretim tesisinden atık olarak çıkan ponza taşının taşıyıcı malzeme olarak yeniden kullanması değerlendirilmiştir. Temel olarak ponza taşının HYBR'lerde taşıyıcı malzeme (carrier) olarak kullanılmasının KOİ giderim performansına ve adsorban olarak kullanılmasının renk giderim performansına etkisi ölçülmüştür.

Ön çalışma olarak belirlenen tesisin girişinden alınan atıksu numunelerine laboratuvar ortamında standart metotlara göre AKM, UAKM, KOİ ve renk ölçümleri yapılarak atıksu karakterizasyonu belirlenmiştir. Ardından tesisten alınan farklı boyutlardaki (4-6,35, 6,35-8, 8-10, 10-14, 14-16, 16-19, 19-22 mm) ponza taşları eleme yöntemiyle kategorilere ayrılmıştır. Deneylerde kullanılacak en uygun boyut ağırlığının belirlenmesi için kategorilere ayrılan ponza taşlarıyla ön değerlendirmeler yapılarak 4-6,35 mm, 6,35-8 mm, 10-14 mm çaplarındaki ponza taşlarının kullanılmasına ve reaktörlerdeki doluluk oranlarının %20 olmasına karar verilmiştir. Belirlenen boyutlardaki ponza taşları kullanılarak üç tane ponza taşlı bir tane de kontrol düzeneği olmak üzere toplam dört reaktör iki ay boyunca işletilmiştir. Bu süreç sonunda AKM ve UAKM sonuçlarına göre en uygun boyut aralığının 10-14 mm olduğuna karar verilerek doluluk oranları için de sonraki aşamalarda %20, %30 ve %40 oranları dikkate alınmıştır.

Ponza taşlı reaktörlerin kurulumundan önce her biri 3 L hacminde, çamur yaşı 10 gün, günde bir defa beslenen doldur-boşalt olarak işletilen iki adet askıda çoğalan kontrol reaktörleri kurulmuştur. Bu reaktörler denim endüstrisinden temin edilen aşı çamuru kullanılarak oluşturulup pepton karışımı ve stok çözeltilerle beslenmiştir. Üç aylık

aklimasyon süresi boyunca mikroorganizma oluşumunun belirlenmesi ve arıtma performansının tespiti için AKM, UAKM, KOİ parametreleri ölçülmüştür.

Bu sürecin sonrasında aklimasyonu tamamlanan reaktörler birleştirilerek 4 L hacminde, doluluk oranı %30 olarak belirlenen ve 10 -14 mm çapındaki ponza taşlarının kullanıldığı, deneylerin ilerletileceği ana reaktör (Reaktör 1) ve bu reaktöre paralel olarak ponza taşı bulunmayan sadece askıda sistem olarak işletilen 2 L hacminde kontrol reaktörü (Reaktör 2) oluşturulmuştur. Oluşturulan reaktörler önce pepton karışımı ve stok çözeltilerle ardından denim endüstrisi girişinden alınan ve karakterizasyonu belirlenen atıksu ile beslenmiştir. Reaktörlerin işletilmesi süresince düzenli olarak AKM, UAKM, KOİ parametreleri ölçülerek organik madde giderim performansı ölçülmüştür.

DeneySEL çalışmanın bir diğer aşaması olan renk giderim performansı için adsorpsiyon deneyleri yürütülmüştür. Öncelikle boyar madde giderim veriminin belirlenmesi amacıyla çalışmalar önceden belirlenen %20, %30, %40 doluluk oranlarında 2000 mL hacimli erlenmayerde atıksu ve ponza taşı hacmi toplam 1500 mL olacak şekilde 150 RPM’de ve $22\pm1^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta karıştırıcıda gerçekleştirilmiş ve 3 değişik dalga boyu (436, 525 ve 620 nm) ve Pt-Co birimi kullanılarak spektrofotometrede renk parametresi ölçülmüştür.

Adsorpsiyon ile renk giderim performansı ölçümünün diğer aşamasında 2000 mL hacimli cam kolon sistemi kurularak %40 doluluk oranı sağlanacak şekilde atıksuyun kolon içinde dolaşması sağlanıp deney yürütülmüş ve yine 3 dalga boyu (436, 525 ve 620 nm) ve Pt-Co biriminde renk parametresi ölçülerek renk giderim performansı belirlenmiştir.

5.1.2 Atıksu karakterizasyonu

Deneylerde kullanılan atıksu farklı tarihlerde denim endüstrisi atıksu arıtma tesisi girişinden alınmıştır. Atıksu karakterizasyonu için KOİ ve renk ölçümleri yapılmış ve giderim çalışmalarında esas olarak kullanılacak atıksu karakterleri belirlenmiştir. Farklı tarihlerde alınan atıksuyun karakterizasyonu Çizelge 5.1’ de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Denim atıksuyu karakterizasyonu.

Parametre	Ham Atıksu-1	Ham Atıksu-2	Birim
pH	6,65	7,46	-
AKM	700	997	mg/L
UAKM	95	136	mg/L
Alkalinite	64	-	mg CaCO ₃ /L
Top.KOİ	592	857	mg/L
Çöz.KOİ	500	597	mg/L
TOK	174	288	mg/L
ÇOK	152	197	mg/L
TKN	19,1	-	mg/L
TP	8,9	-	mg/L
Renk	434	305	Pt-Co
436 nm	12	9	m ⁻¹
525 nm	14	9	m ⁻¹
620 nm	26	15	m ⁻¹

5.2 Yöntem

Deneysel çalışmalar standart metodlara göre yapılmıştır. Ön çalışma olarak tesisin girişinden alınan atıksu numunelerine laboratuvar ortamında AKM, UAKM, KOİ ve renk ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ön çalışmanın amacı tesisin atıksu karakterizasyonu hakkında bilgi sahibi olmaktır (Çizelge 5.1).

5.2.1 En uygun ponza taşı doluluk oranının belirlenmesi

Denim üretim tesisinden alınan ponza taşları eleme yoluyla 4-6,35, 6,35-8, 8-10, 10-14, 14-16, 16-19 ve 19-22 mm çaplarında kategorilere ayrılmıştır. Ön değerlendirmeler sonucunda 4-6,35 mm, 6,35-8 mm, 10-14 mm çaplarındaki ponza taşlarının kullanılmasına karar verilmiş ve bunların yaklaşık %20 doluluk oranı için ihtiyaç duyulan miktarları belirlenmiştir. Çizelge 5.2’de gösterildiği gibi tüm boyut aralıkları için yaklaşık 100 g ponza taşının taşıdığı su hacmi 115 mL olarak belirlenmiştir. Takip eden aşamada bu boyut aralıklarındaki ponza taşları kullanılarak üç adet ponza taşı içeren ve bir adet de kontrol olmak üzere toplam dört kesikli deney düzeneği kurulmuştur (Şekil 5.1). Deney düzeneklerinde 1 L hacimli dairesel kesitli reaktörler kullanılmıştır. Başlangıçta %20 doluluk oranı sağlanacak şekilde reaktörlere

ponza taşı taşıyıcı malzeme olarak ilave edilmiştir. Reaktör düzeneklerindeki başlangıç mikroorganizma konsantrasyonu 200 mg/L olacak şekilde ayarlanmıştır. Mikroorganizmalar, sentetik çözeltiye alışmış laboratuvar ölçekli bir biyolojik sistemden temin edilmiştir. Reaktörler biyolojik aktivitenin oluşması ve karışımın sağlanması amacıyla 0,5 - 2,3 mL/dakika oksijen olacak şekilde ayarlanabilir hava pompası ile havalandırılmıştır. Evsel atıksu niteliğine benzer özellikler gösteren sentetik çözelti karışımı 24 saat aralıkla (HRT=24 saat) ve hızlı besleme koşullarında bütün reaktörlere beslenmiştir. Sentetik çözelti KOİ konsantrasyonu 560 mg/L olacak şekilde 16 gram peptonla, 11 gram et (protein) ekstraktı, 3 gram üre, 0.7 g NaCl, 0.4 g CaCl₂ 2H₂O, 0.2 g MgSO₄ 7H₂O, 2.8 g K₂HPO₄ ve 1.4 g KH₂PO₄ ile hazırlanmıştır. Biyolojik aktivitenin sağlanması için reaktöre mikro nutrient çözeltisi olarak MgSO₄ 7H₂O (15 g L⁻¹), FeSO₄ 7H₂O (0.5 g L⁻¹), ZnSO₄ 7H₂O (0.5 g L⁻¹), MnSO₄ H₂O (0.7 g L⁻¹) ve CaCl₂ 2H₂O (0.4 g L⁻¹) karışımından gerekli miktarda ilave edilmiştir.

Çizelge 5.2 : Ponza taşı boyutları ve doluluk oranları

Boyut (mm)	Tartım (g)	Taşın Su Hacmi (ml)	Doluluk Oranı (%)
4 - 6,35	100,59	115	18,6
6,35 - 8	100,01	115	18
10-14	100,56	115	20



Şekil 5 : Farklı boyut aralıklarındaki ponza taşları ile kurulmuş kesikli deney düzenekleri.

Reaktörler iki ay boyunca işletilmiş ve en uygun ponza taşı boyutunu belirlemek amacıyla ponza taşları üzerinde biyofilm oluşumu gözlenmiş, belirli aralıklarla sıvı fazda ve ponza taşı numunelerinde askıda katı madde (AKM) ve uçucu askıda katı madde (UAKM) ölçülmüştür. Boyutları ile doluluk oranları belirlenmiştir.

5.2.2 Askıda çoğalan reaktörlerin (kontrol) kurulması ve işletilmesi

Reaktör kurulumu esnasında COVID-19 virüsü bulaşmamış aşı çamuru, evsel atıksu karışmamış tekstil endüstrisi arıtma tesisi çamurundan temin edilmiştir. Reaktörler düşük miktarda aşı çamuru (100 mg UAKM/L) ile başlatılmış ve pepton karışımı ile beslenmiştir. Bu amaçla KOİ konsantrasyonu 28000 mg/L olan stok sentetik çözelti (Çizelge 5.3) ve gerekli besi maddeleri ve eser elementleri sağlamak üzere A (Çizelge 5.4) ve B (Çizelge 5.5) çözeltileri hazırlanmıştır (Şekil 5.2).



Şekil 6 : Hazırlanan çözeltiler.

Çizelge 5.3 : Stok sentetik çözelti içeriği.

Kimyasal	Miktar	Birim
Pepton	16	g/L
Et suyu	11	g/L
Üre	3	g/L

Çizelge 5.4 : Solüsyon A'nın içeriği.

Kimyasal	Miktar	Birim
KH ₂ PO ₄	26,3	g/L
K ₂ HPO ₄	22,5	g/L

Çizelge 5.5 : Solüsyon B'nin içeriği.

Kimyasal	Miktar	Birim
MgSO ₄ .7H ₂ O	15	g/L
FeSO ₄ .7H ₂ O	0,5	g/L
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,5	g/L
MnCl ₂ .2H ₂ O	0,41	g/L
CaCl ₂ .2H ₂ O	2,65	g/L

Her biri 3 L hacminde çamur yaşı 10 gün, günde bir defa beslenen doldur-boşalt olarak işletilen iki reaktör kurulmuştur (Şekil 5.3). Reaktör sistemleri, ayarlanabilir hava pompası ile 0,5 - 2,3 mL/dakika olarak beslenmek suretiyle reaktörlerde 2 mg/L oksijen olacak şekilde biyolojik aktivitenin oluşması ve karışımın sağlanması amacıyla ile havalandırılmıştır. Reaktörler içerisinde 560 mg KOİ/L olacak şekilde 60 mL pepton karışımı, 1,5 mL A solüsyonu ve 1,5 mL B solüsyonu ile beslenmiştir.



Şekil 7 : Reaktör düzenekleri.

Reaktörler çamur yaşı 10 gün olacak şekilde işletmeye alınmış ve her 24 saat sonunda 300 mL çamur atılmıştır. Çamur atıldıktan sonra reaktörler çökelmeye bırakılmış ve 2000 mL üst faz uzaklaştırılmış ve 2000 mL pepton karışımı yeniden beslenmiştir. Bu durumda, reaktörün işletme prensibi ardışık kesikli reaktör olarak düşünüldüğünde, çevrim sayısı $m=1$ ve çevrim süresi $T_c = 1/m = 1$ gün olmaktadır. Reaktörlerde doldurma hacmi $V_F = Q T_c = Q/m = 2$ L seçilmiştir, $V_0 = 3$ L- 2 L = 1 L olarak hesaplanmaktadır.

Buna göre;

Hidrolik bekletme süresi = $V_T / V_F = 3$ L / 2 L/gün = 1.5 gün,

Çamur bekletme süresi = $M_{XT}/P_{XT} = V_T X / V_S X = V_T / V_S = 3$ L/ 300 mL/gün = 10 gün olmaktadır.

Aklimesyonun tamamlanması için reaktörler bu koşullarda üç ay işletilmiştir. Aklimesyon süresi boyunca mikroorganizma oluşumunun belirlenmesi amacı ile askıda katı madde (AKM) ve uçucu askıda katı madde (UAKM), arıtma verimliliğinin tespiti için ise $KOİ$ parametreleri ölçülmüştür.

5.2.3 Ponza taşı kullanılan reaktörlerin işletilmesi

Askıda çoğalan ve aklimesyonu tamamlanan reaktörler birleştirilerek hacmi 4 L olan yeni bir reaktör kurulmuştur. Bundan sonra deneyler bu 4 L hacimli reaktörde, çamur yaşı 10 gün olacak şekilde ve her gün reaktörün tam karışımından hacmin $1/10$ 'u atılarak yürütülmüştür. Bu reaktörde doluluk oranı %30 (1200 mL) olacak şekilde 10 -

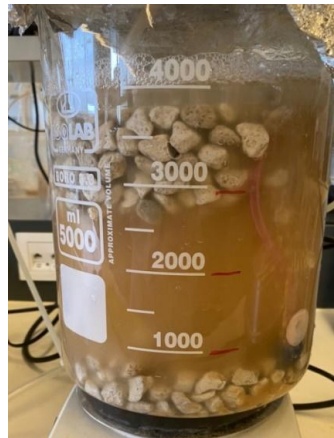
14 mm çapındaki ponza taşları kullanılmıştır. Ponza taşlarının yaklaşık ağırlığı 410 gr'dır. Çamur atımı sırasında ponza taşlarının reaktör içinde kalması sağlanmıştır.

Deneyssel çalışmanın ilk aşaması sentetik çözelti kullanılmak sureti ile yürütölmüştür. Sentetik özelti ile beslenen reaktörde ponza taşları boşluklarının sentetik çözelti ile dolması sonucu taş hacmi 500 mL'ye düştüğünden reaktöre 3,5 L sentetik çözelti eklenerek 4 L hacim elde edilmiştir (şekil 5.4).

Reaktör, debisi 0,5 - 2,3 mL/dakika aralığında olan ayarlanabilir hava pompası ile beslenerek reaktör içerisinde hem biyolojik aktivitenin gerçekleşmesi için 2 mg/L oksijen olması hem de karışım sağlanmıştır. Reaktör daha önce de uygulandığı şekli ile evsel atıksu karakterini yansıtmak üzere 560 mg KOİ/L eşdeğeri pepton karışımı ile beslenmiştir. Bu amaçla 80 mL pepton karışımı, 2 mL A özeltisi ve 2 mL B özeltisi kullanılmıştır.

Bu reaktöre paralel olarak ponza taşı ilave edilmeden sadece askıda sistem olarak işletilen 2 L hacminde kontrol reaktörü kurulmuştur. Çamur yaşı 10 gün olan ve günde bir defa beslenen bu doldur-boşalt reaktöre de 560 mg KOİ/L olacak şekilde 40 mL pepton karışımı, 1 mL A özeltisi ve 1 mL B özeltisi ile beslenmiştir. (şekil 5.5).

Bu koşullarda oluşturulan ve sentetik çözelti ile beslenen reaktörler yaklaşık üç ay boyunca işletilmiştir. Reaktörlerin kararlı hale geliş sürecini izlemek üzere askıda katı madde (AKM) ve uçucu askıda katı madde (UAKM), arıtma verimliliğinin tespiti için ise KOİ ölçölmüştür.



şekil 8 : Ponza taşlı reaktör düzeneği.



Şekil 9 : Kontrol reaktörü düzeneği.

Sentetik çözelti ile beslenerek kararlı hale gelen ponza taşlı reaktör ve kontrol reaktörü daha sonra denim endüstrisi atıksuyu ile beslenmiştir. Denim endüstrisi atıksu arıtma tesisi girişinden alınan atıksuyun karakterizasyonu Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Reaktörler önceden olduğu gibi debisi 0,5 - 2,3 mL/dakika aralığında olan ayarlanabilir hava pompası ile beslenerek reaktör içerisinde hem biyolojik aktivitenin gerçekleşmesi için 2 mg/L oksijen olması hem de karışım sağlanmıştır. (Şekil 5.6)



Şekil 10 : Denim atıksuyu ile beslenen reaktörler.

Reaktörler yaklaşık iki ay boyunca işletilmiştir. Reaktörlerde askıda katı madde (AKM), uçucu askıda katı madde (UAKM) ve standart metodlarla (Şekil 5.7) kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) kapalı reflux titrimetrik yöntemi kullanılarak (Şekil 5.8) ölçülmüştür.



Şekil 11 : AKM ölçüm sistemi.



Şekil 12 : KOİ ölçüm sistemi.

5.2.4 Adsorpsiyon ile renk giderimi deneyleri

Ponza taşlarının renk giderimi üzerindeki etkisini belirlemek üzere karakterizasyonu Çizelge 5.6’da verilen atıksu ile adsorpsiyon deneyleri yürütülmüştür. IKA KS 4000 IC Control marka orbital karıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 5.9). Adsorpsiyon deneyleri 2000 mL hacimli erlenmayerde atıksu ve ponza taşı hacmi toplam 1500 mL olacak şekilde 150 RPM’de ve $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta yürütülmüştür. Deney düzeneği Şekil 5.9’da verilmiştir. Deneysel çalışmalar denim atıksuyunun kendi pH değeri olan 6,7’de gerçekleştirilmiş, ayrıca pH ayarlaması yapılmamıştır. pH ölçülürken Thermo Orion marka ve modeli 720A+ pH metre kullanılmıştır.



Şekil 13 : Adsorpsiyon ile renk giderimi deney düzeneği.

Boyar madde giderim verimlerinin belirlenmesinde her bir deneyde 3 dalga boyu (436 nm, 525 nm ve 620 nm) ve Pt-Co biriminde renk parametresi ölçülmüştür. Renk ölçümleri Hach Lange DR 1900 marka spektrofotometrede gerçekleştirilmiştir. Deney süresi boyunca organik madde giderimini takip etmek üzere numuneler alınmış ve TOK ölçümleri için Shimadzu VPCN model TOK analizörü kullanılmıştır. Yürütülen tüm adsorpsiyon deneyleri için deney koşulları Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Adsorpsiyon deney setleri ve giriş koşulları.

Deney No	Doluluk Oranı	Ponza Taşı Miktarı, g	pH	Başlangıç Renk Kons., Pt-Co	Başlangıç Renk (436 nm) Kons., m ⁻¹	Başlangıç Renk (525 nm) Kons., m ⁻¹	Başlangıç Renk (620 nm) Kons., m ⁻¹	Başlangıç TOK Kons., mg/L	Deney Süresi, sa
1	20%	110	6,7	434	12	14	26	174	24
2	30%	160	6,7	434	12	14	26	174	24
3	40%	225	6,7	434	12	14	26	174	24

5.2.5 Adsorpsiyon ile renk giderimi kolon deneyi

Adsorpsiyon kolon deneyleri tesisten alınan ikinci bir atıksu üzerinde yürütülmüştür. Bu atıksu organik madde ve askıda katı madde açısından denim atıksuyu-1'den daha kuvvetli olmakla birlikte renk parametresi açısından daha düşük konsantrasyona sahiptir.

Adsorpsiyon kolonu deneyleri 2000 mL hacimli cam kolon sisteminde (Şekil 20) gerçekleştirilmiştir. Kolonun çapı 5 cm, yüksekliği 65 cm'dir. %40 doluluk oranı sağlanacak şekilde yani 300 g (800 mL) ponza taşı, 1200 mL gerçek atıksu kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 22'de verilmiştir. Atıksuyun kolon içinde dolaşması için basma ve çekme yapmak üzere 2 adet Heidolph Pump drive 5201 marka pompa kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar denim atıksuyunun pH değeri olan 7,46'da gerçekleştirilmiştir. pH ölçümleri Thermo Orion model 720A+ pH metre kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 5.10 : Adsorpsiyon kolonu deney düzeneği.

Adsorpsiyon kolonunda boyar madde giderim verimlerinin belirlenmesi amacı ile 3 farklı dalga boyu (436 nm, 525 nm ve 620 nm) ve Pt-Co biriminde renk parametresi ölçülmüştür. Renk ölçümleri Hach Lange DR 1900 marka spektrofotometrede gerçekleştirilmiştir. Deney süresi boyunca organik madde giderimini takip etmek

üzere numuneler alınmış ve TOK ölçümleri için Shimadzu VPCN model TOK analizörü kullanılmıştır. Yürütülen tüm adsorpsiyon deneyleri için deney koşulları Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Adsorpsiyon kolonu deneyi giriş koşulları.

Deney No	Doluluk Oranı	Ponza Taşı Miktarı, g	pH	Başlangıç Renk Kons., Pt-Co	Başlangıç Renk (436 nm) Kons., m ⁻¹	Başlangıç Renk (525 nm) Kons., m ⁻¹	Başlangıç Renk (620 nm) Kons., m ⁻¹	Başlangıç TOK Kons., mg/L	Deney Süresi, sa
1	%40	300	7,5	305	9	9	15	288	12

6. SONUÇLAR

6.1 En Uygun Ponza Taşı Boyut ve Doluluk Oranının Belirlenmesi Sonuçları

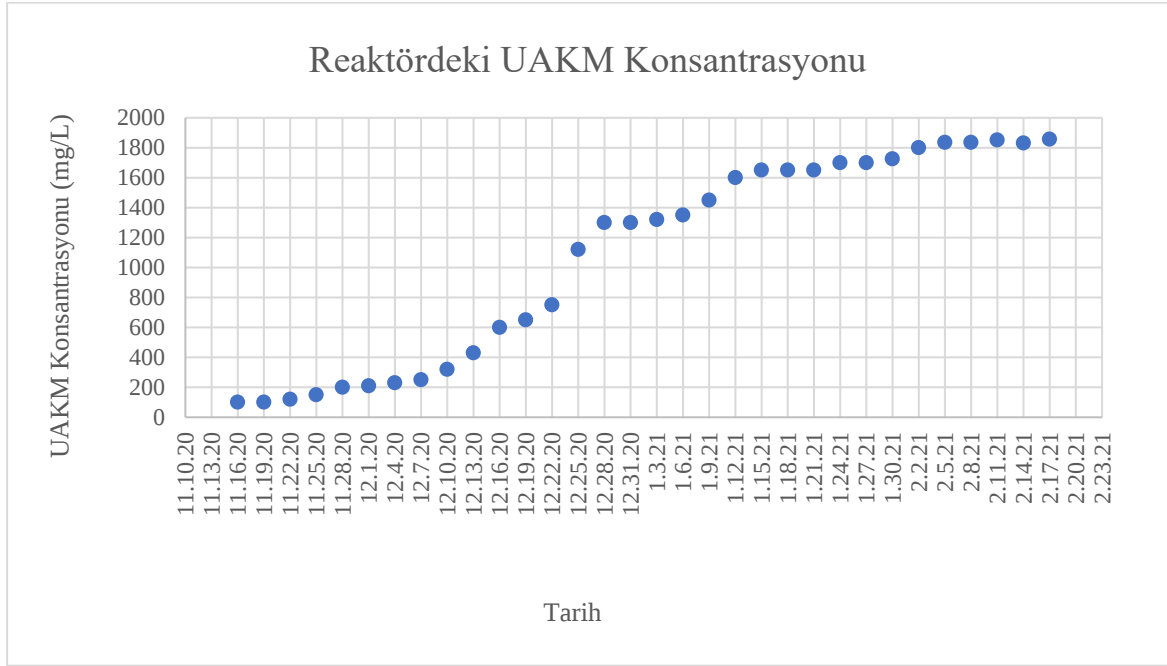
Denim endüstrisi üretiminde kullanılan ponza taşları eleme yoluyla 4-6,35 mm, 6,35-8 mm, 8-10 mm, 10-14 mm, 14-16 mm, 16-19 mm, 19-22 mm çaplarında kategorilere ayrılmıştır. Ön değerlendirmeler sonucunda 4-6,35 mm, 6,35-8 mm, 10-14 mm çaplarındaki ponza taşlarının deneyde kullanılmasına karar verilmiştir.

Kontrol reaktörü dahil tüm reaktörlerde mikroorganizma çoğalmasını görülmüş olmakla birlikte ponza taşı üzerinde biyofilm oluşumunun sınırlı miktarda olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında ponza taşının yapısal olarak biyolojik çoğalmayı olumsuz etkilemediği sonucuna varılmıştır. Ancak ponza taşı hassas bir taş olduğu için 4-6,35 mm ve 6,35-8 mm çapındaki taşların bulunduğu reaktörlerde ponza taşlarının birbirlerine sürterek ufalandığı görülmüştür. Aynı zamanda havanın olmadığı yerlerde ponza taşlarının biriktiği, yeterli karışım sağlanamadığı için de ponza taşlarının üstte kaldığı ve reaktördeki suyun bulanıklaştığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden bu boyutlardaki taşların deneylerde kullanılmasının uygun olmadığına karar verilmiştir. 10-14 mm çapındaki ponza taşları diğer boyutlara göre daha iyi karışıp hareket etmiş ve reaktörde taşlarda ufalanma, birikme problemi daha az yaşanmıştır. Bu nedenle en uygun ponza taşı boyut aralığı 10-14 mm olarak belirlenmiştir. Bu deneylerde doluluk oranı %20 olarak ele alınmıştır, sonraki deneylerde ilave olarak %30 ve %40 doluluk oranları da dikkate alınmıştır.

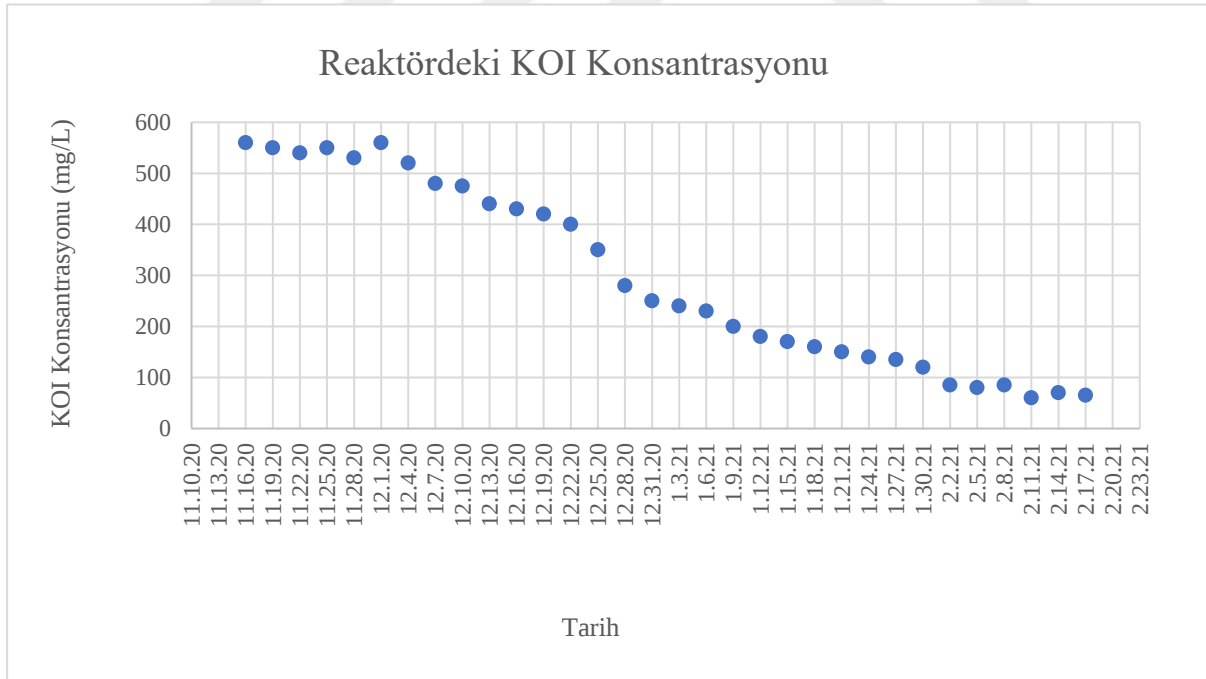
6.2 Askıda Çoğalan Reaktörler (kontrol)

Ponza taşı kullanılmayan kontrol reaktöründe elde edilen UAKM konsantrasyonları Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Sonuçlar yaklaşık 2000 mg/L civarında kararlı hal koşullarına ulaştığını ortaya koymaktadır. Buna karşılık ölçülen KOİ konsantrasyonları da Şekil 6.2’de verilmiştir. Reaktör içindeki KOİ konsantrasyonu

60-70 mg/L civarında seyretmektedir, bu da bu koşullarda reaktörün kararlı hal durumuna ulaştığını göstermektedir.



Şekil 14 : Aklımasyon reaktöründeki UAKM konsantrasyonu değışimi.



Şekil 15 : Aklımasyon reaktöründeki KOİ konsantrasyonu değışimi.

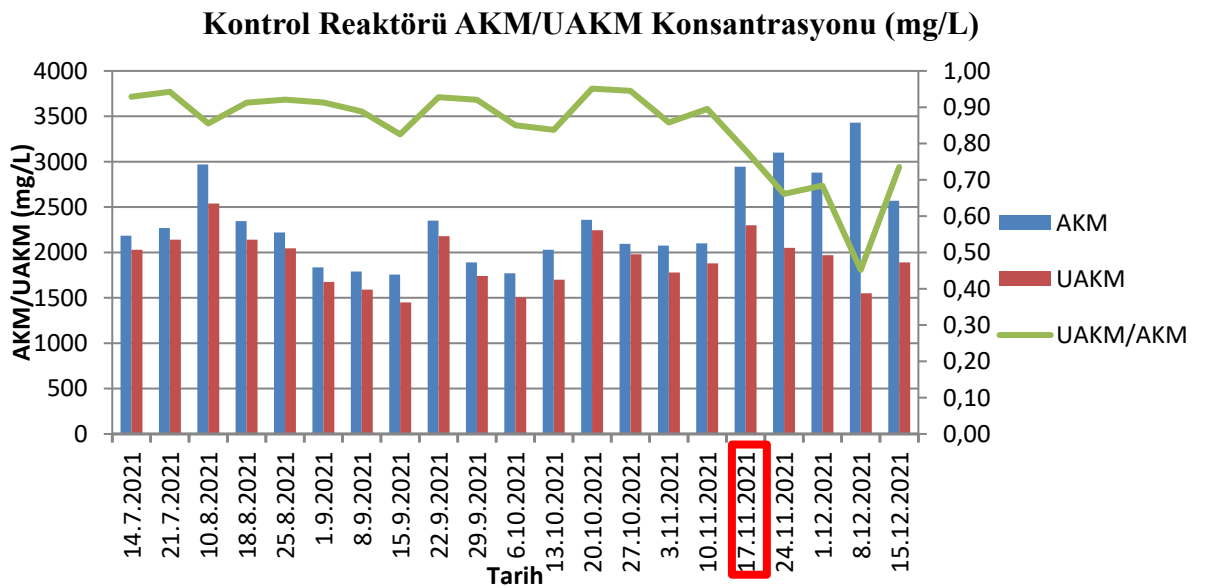
6.3 Ponza Taşı Kullanılan Reaktörler

14.07.2021 tarihinde güvenli koşullarda aklımasyonu tamamlanan 3 L hacmindeki reaktörler birleştirilerek 4 L hacminde %30 (1200 mL) ponza taşı doluluk oranına sahip yeni bir reaktör oluşturulmuştur. Bu reaktöre paralel olarak sadece askıda sistem olarak işletilen 2 L hacminde bir kontrol reaktörü kurulmuştur. Reaktörler 17.12.2021 tarihine kadar sentetik çözelti ile işletilmiştir. 17.12.2021 tarihinden sonra reaktörler aydenim atıksuyu ile işletilmeye başlanmıştır. AKM/UAKM, üst faz AKM/UAKM konsantrasyonları ve KOİ giderim sonuçları Şekil 23-27’de gösterilmektedir.

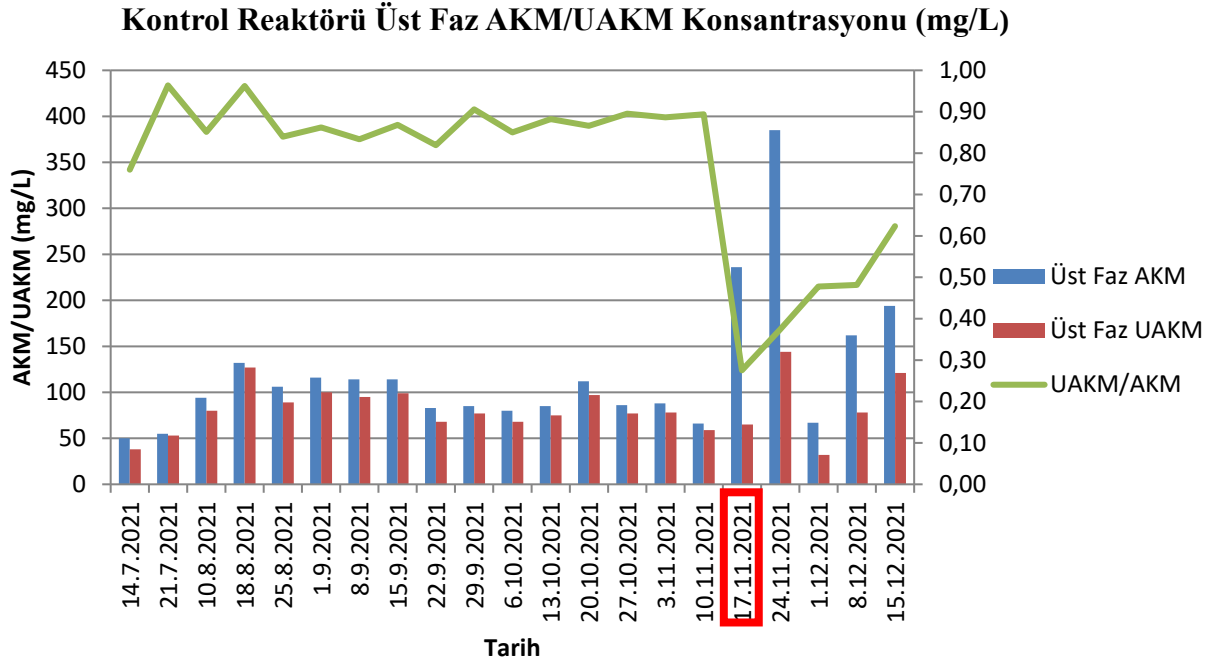
Şekil 6.3, kontrol reaktörünün AKM ve UAKM değerlerini göstermektedir. Ölçüm sonuçları reaktörün yaklaşık 2000 mg/L UAKM konsantrasyonunda kararlı hal koşullarına ulaştığını göstermektedir.

Şekil 6.5 ise 4 L hacminde olan ve içinde %30 doluluk oranında ponza taşı bulunan ana reaktörün AKM ve UAKM değerlerini göstermektedir. Ölçüm sonuçları reaktörün yaklaşık 2500 mg/L UAKM Konsantrasyonunda kararlı hal koşullarına ulaştığını göstermektedir.

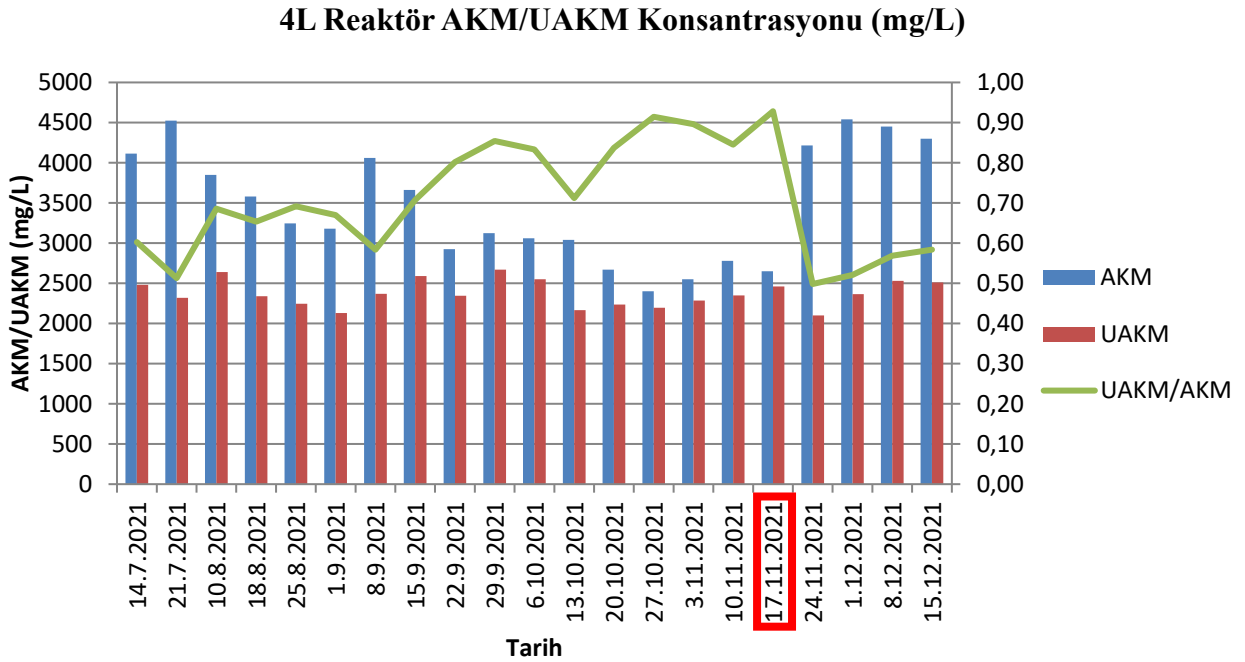
Şekil 6.7 ise kontrol reaktörü ve 4 L hacmindeki reaktörün KOİ sonuçlarını göstermektedir. Bu sonuçlar kararlı hal koşullarında yaklaşık 60 mg/L ilave KOİ gideriminin ponza taşı ile vasıtasıyla gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.



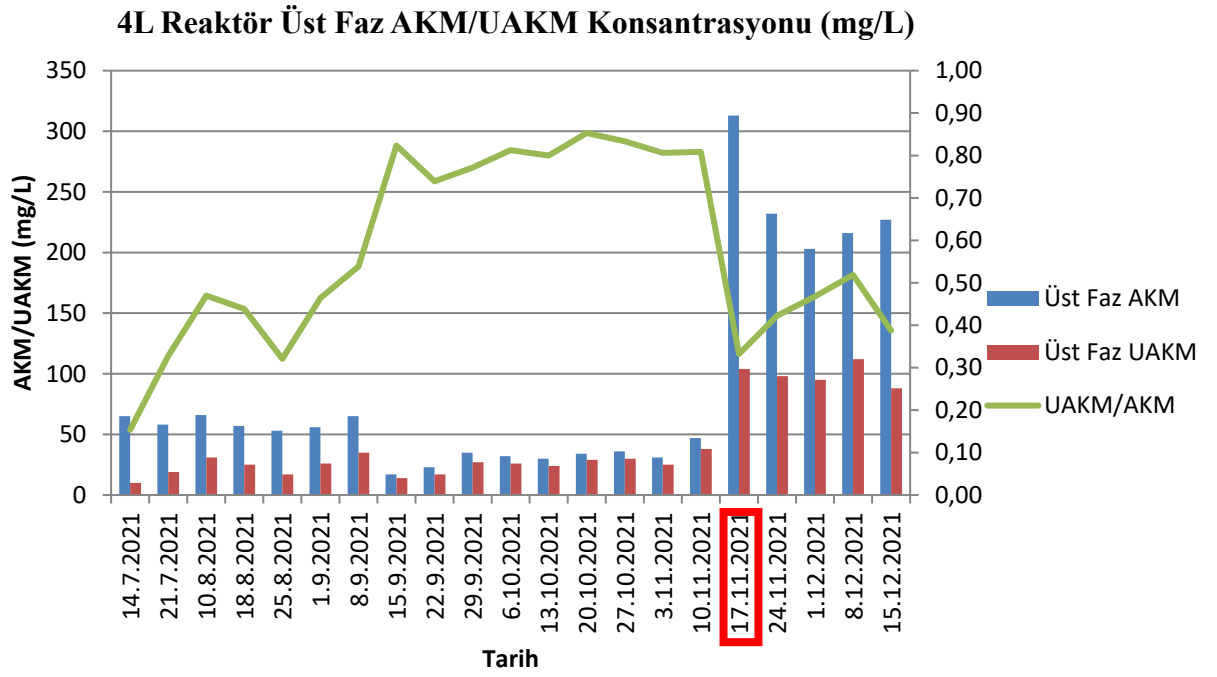
Şekil 16 : Kontrol reaktöründe AKM ve UAKM konsantrasyonları (mg/L).



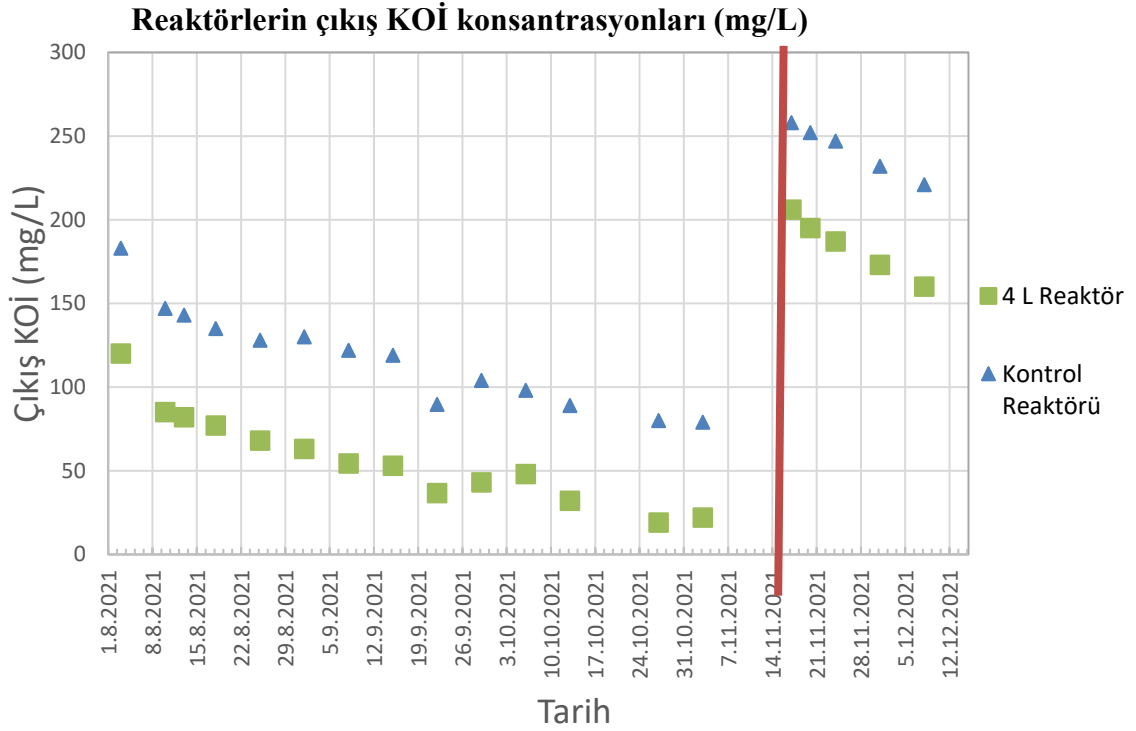
Şekil 17 : Kontrol reaktörünün üst fazındaki AKM ve UAKM konsantrasyonları (mg/L).



Şekil 18 : 4L reaktördeki AKM ve UAKM konsantrasyonları (mg/L).



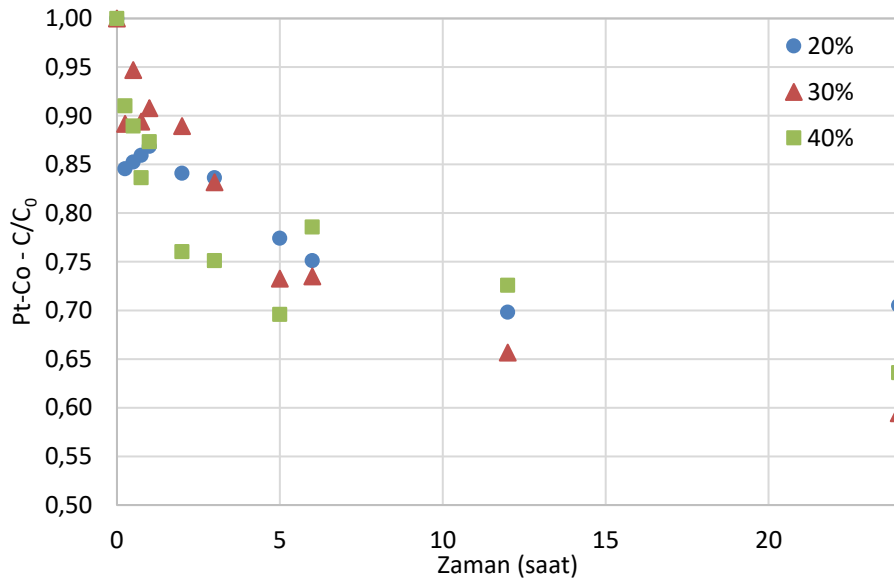
Şekil 19 : 4L reaktörün üst fazındaki AKM ve UAKM konsantrasyonları (mg/L).



Şekil 20 : Reaktörlerin çıkış KOİ konsantrasyonları (mg/L).

6.4 Adsorpsiyon ile Renk Giderimi Deney Sonuçları

Hacimce %20, %30 ve %40 doluluk oranlarında ponza taşının (10-14 mm) adsorban olarak kullanılması ile denim atıksuyunda renk giderim verimleri araştırılmıştır. Belirtilen çalışma koşulları doğrultusunda, başlangıçtaki pH'ı 6,7 ve pH kontrolü sağlanmadan çalışılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçları her 3 doluluk oranı için 3 farklı dalga boyu absorbans değerleri ve Pt-Co renk biriminde normalize edilmiş şekilde Şekil 6.8-6.11'de verilmiştir.



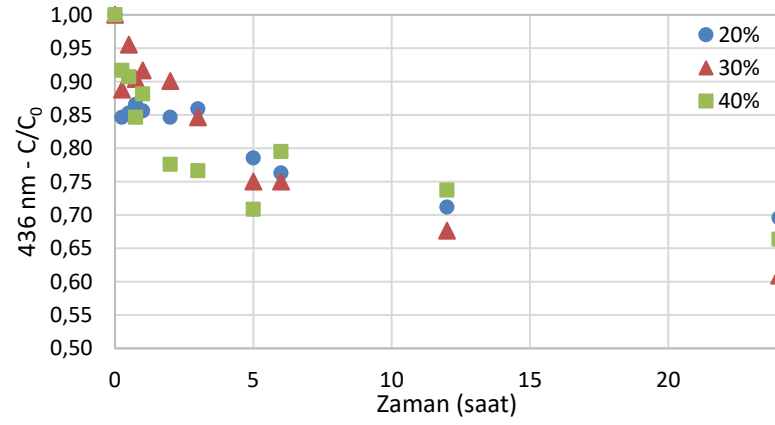
Şekil 21 : Pt-Co biriminde deney süresince renk giderimi (%20-%30-%40 doluluk oranı).

%20 ve %40 doluluk oranında Pt-Co biriminde renk giderimi sırası ile %30 ve %36 olarak hesaplanmıştır. Şekil 6.8'de görüldüğü gibi 24 saatlik deney süresi sonunda en giderim oranı %41, %30 doluluk oranında gözlemlenmiştir.

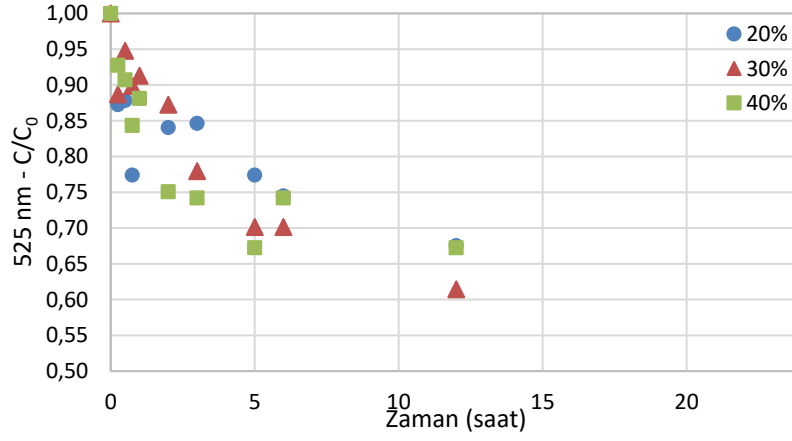
Benzer şekilde 436 nm'de gerçekleştirilen absorbans ölçümleri değerlendirildiğinde en yüksek giderim verimi %30 doluluk oranında %39 olarak belirlenmiştir (Şekil 6.9).

525 nm'de gerçekleştirilen ölçümlerde ise %30 ve %40 doluluk oranlarında benzer giderim verimleri (~%45) gözlemlenmiştir. En düşük doluluk oranı olan %20'de ise %32 giderim elde edilmiştir (Şekil 6.10).

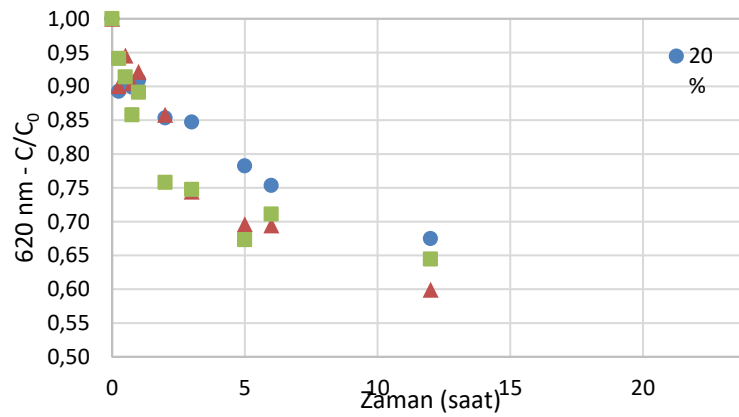
620 nm dalga boyu için hazırlanan Şekil 6.11 incelendiğinde giderim verimlerinin %20, %30 ve %40 doluluk oranları için sırası ile %31, %44 ve %48 olduğu görülmektedir.



Şekil 22 : 436 nm’de deney süresince renk giderimi (%20-%30-%40 doluluk oranı).



Şekil 6.10 : 525 nm’de deney süresince renk giderimi (%20-%30-%40 doluluk oranı).



Şekil 23 : 620 nm’de deney süresince renk giderimi (%20-%30-%40 doluluk oranı).

Renk gideriminin yanısıra organik madde gideriminin belirlenmesi amacıyla 60 dakika ve deney süresi olan 24 saat sonunda gerçekleştirilen TOK ve ÇOK ölçümleri Çizelge 6.1’de verilmektedir. %30 ve %40 doluluk oranlarında 24 saat sonunda yaklaşık %15 organik madde giderim verimi elde edilirken, %20 doluluk oranı için giderim verimi %10 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.1 : Deney süresince TOK ve ÇOK ölçümleri.

Doluluk Oranı (%)	Başlangıç		1 saat		24 saat	
	TOK (mg/l)	ÇOK (mg/l)	TOK (mg/l)	ÇOK (mg/l)	TOK (mg/l)	ÇOK (mg/l)
20	174	152	168	142	157	141
30	174	152	161	144	148	138
40	174	152	158	142	148	137

Çalışılan tüm koşullarda adsorpsiyon deneyleri süresi boyunca pH değerinde değişiklik gözlenmemiştir.

6.5 İzoterm Çalışmaları

Farklı doluluk oranlarında kullanılan ponza taşının renk giderimi kapasitelerinin belirlenebilmesi için izoterm deneylerinde 3 dalga boyunda ve Pt-Co biriminde denim atıksuyundaki rengin zamana karşı değişimi izlenmiş ve deney sonuçlarının Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermlerine uygunluğu incelenmiştir (Çizelge 6.2-6.5).

İzotermilere ilişkin sınamalar aşağıdaki matematik ifadeler kullanılarak yapılmıştır:

Freundlich izotermi:

Denklem 6.1 ve 6.2’de dengede birim adsorplayıcı ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı ve adsorplanan çözeltinin derişimi ifade edilmiştir.

$$q = x/m = Kf.Ce(1/n) \quad (6.1)$$

$$x = Cads = Co - Ce \quad (6.2)$$

Denlem 6.3’de görüleceği üzere Freundlich izoterminin logaritmik şekli eğimi 1/n ve eksenini kestiği yer Log Kf olan bir doğru deklemini şekilde ifade edilir.

$$\text{Log } (x/m) = \text{Log } K_f + (1/n) \text{Log } C_e \quad (6.3)$$

$q = x/m$ (mg/g adsorplayıcı)

$x = C_{ads}$: Adsorplanan çözünenin derişimi (mg/L)

C_0 : Başlangıçtaki çözünenin derişimi (mg/L)

C_e : Dengedeki çözeltide kalan çözünenin derişimi (mg/L)

K_f : Adsorpsiyon kapasitesi

n : Adsorpsiyonun şiddeti

(K_f ve n sabit değerler)

Langmuir izotermini:

Denklem 6.4 ve 6.5’de tek tabakalı olarak oluşan ve maksimum adsorpsiyon, adsorplayıcı yüzeyine bağlanan moleküllerin doygun bir tabaka oluşturduğu langmuir izotermini ifade edilmiştir.

$$q = x/m = (a \cdot K \cdot C_e) / (1 + K \cdot C_e) \quad (6.4)$$

$$1/(x/m) = (1/a K)(1/C_e) + (1/a) \quad (6.5)$$

a : Yüzeydeki adsorplayıcının birim ağırlığındaki adsorplanan maddenin miktarı (mg/g)

K : Adsorpsiyon net entalpisi sabiti

Çizelge 6.2 : İzoterm sınamaları (Pt-Co).

	C_0	C_e	X, g	V, L	$C_0 - C_e$	$q_e = (C_0 - C_e) \cdot V/X$	Freundlich		Langmuir	
							$1/C$	$1/q$	C_e	C_e/q_e
%20	434	306	110,555	1,5	128	0,001737	0,00327	576	306	176197
%30	434	258	156,675	1,5	176	0,001685	0,00388	593	258	153114
%40	434	276	210,943	1,5	158	0,001124	0,00362	890	276	245655

Çizelge 6.3 : İzoterm sınamaları (436 nm).

	C ₀	C _e	X, g	V, L	C ₀ - C _e	$q_e = (C_0 - C_e) \cdot V/X$	Freundlich		Langmuir	
							1/C	1/q	C _e	C _e /q _e
%20	12	8.54	110,555	1,5	4	0,000050746	0,1170507	19706	9	168354
%30	12	7.48	156,675	1,5	5	0,000045985	0,1336842	21746	7	162668
%40	12	8.15	210,943	1,5	4	0,000029396	0,1227053	34019	8	277239

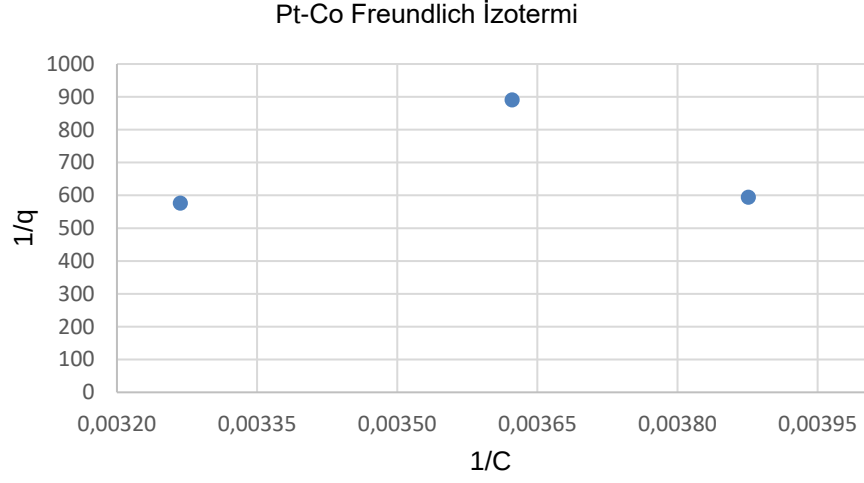
Çizelge 6.4 : İzoterm sınamaları (525 nm).

	C ₀	C _e	X, g	V, L	C ₀ - C _e	$q_e = (C_0 - C_e) \cdot V/X$	Freundlich		Langmuir	
							1/C	1/q	C _e	C _e /q _e
%20	14	9,25	110,555	1,5	4	0,000058759	0,1080851	17019	9	157457
%30	14	7,60	156,675	1,5	6	0,000057293	0,1316062	17454	8	132624
%40	14	7,52	210,943	1,5	6	0,000043113	0,1329843	23195	8	174416

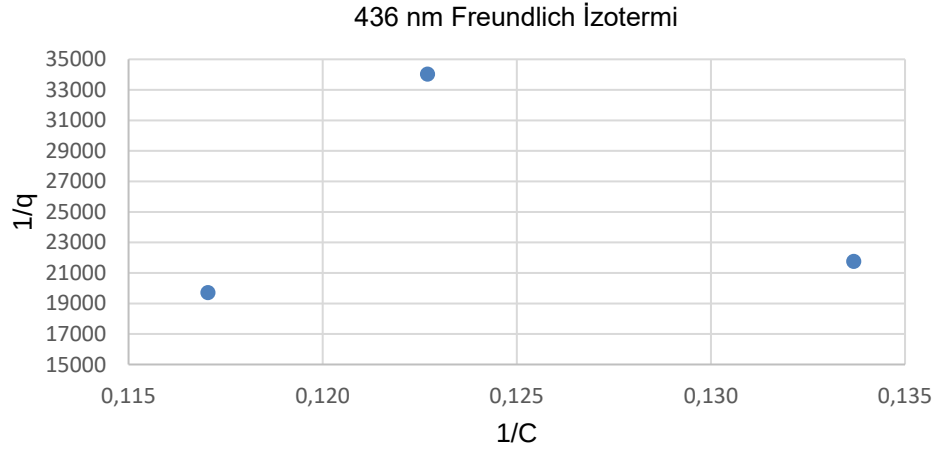
Çizelge 6.5 : İzoterm sınamaları (620 nm).

	C ₀	C _e	X, g	V, L	C ₀ - C _e	$q_e = (C_0 - C_e) \cdot V/X$	Freundlich		Langmuir	
							1/C	1/q	C _e	C _e /q _e
%20	26	17.87	110,555	1,5	8	0,000110573	0.055947137	9044	18	161649
%30	26	14.45	156,675	1,5	12	0,000110817	0.069209809	9024	14	130385
%40	26	13.54	210,943	1,5	12	0,000088747	0.073837209	11268	14	152607

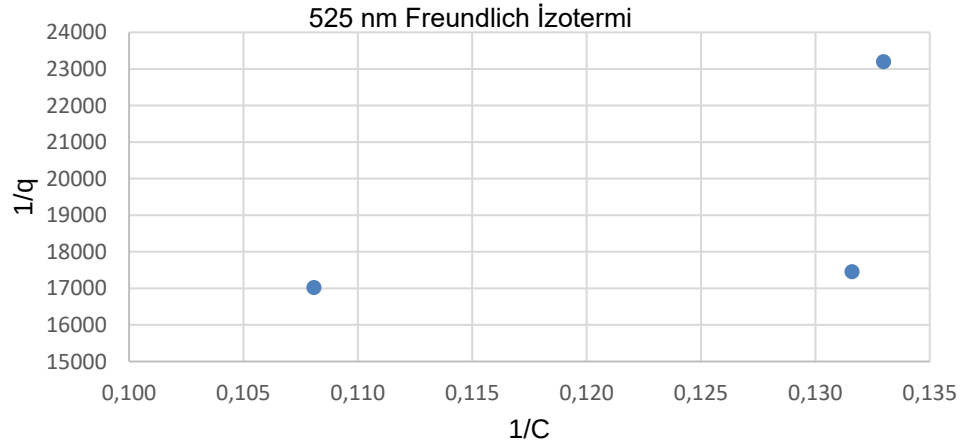
Çizelge 6.1-Çizelge 6.5’de elde edilen sonuçların şematik gösterimi Şekil 6.12 - Şekil 6.19’da verilmektedir.



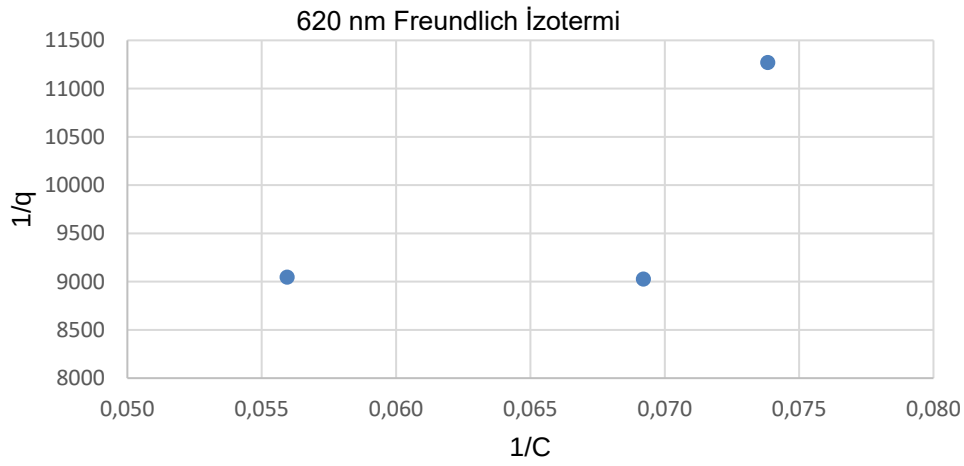
Şekil 24 : Pt-Co biriminde Freundlich izoterm çalışmaları.



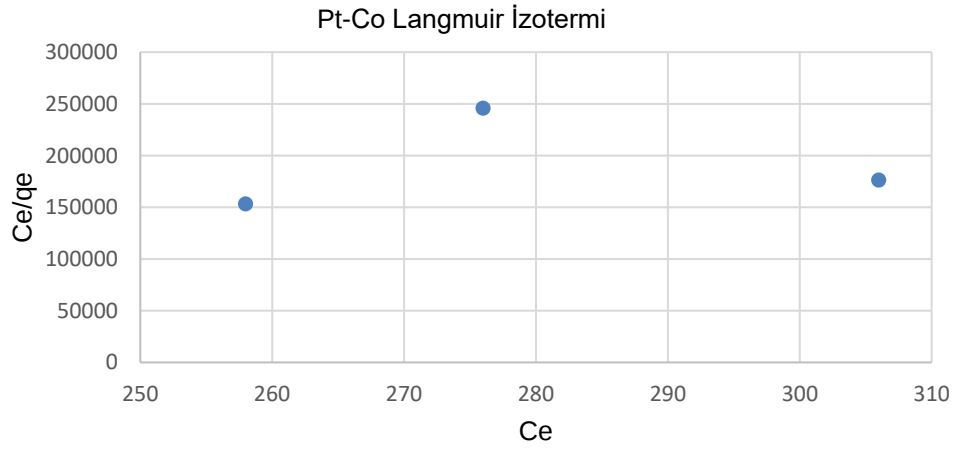
Şekil 25 : 436 nm absorbans değerlerinde Freundlich izoterm çalışmaları.



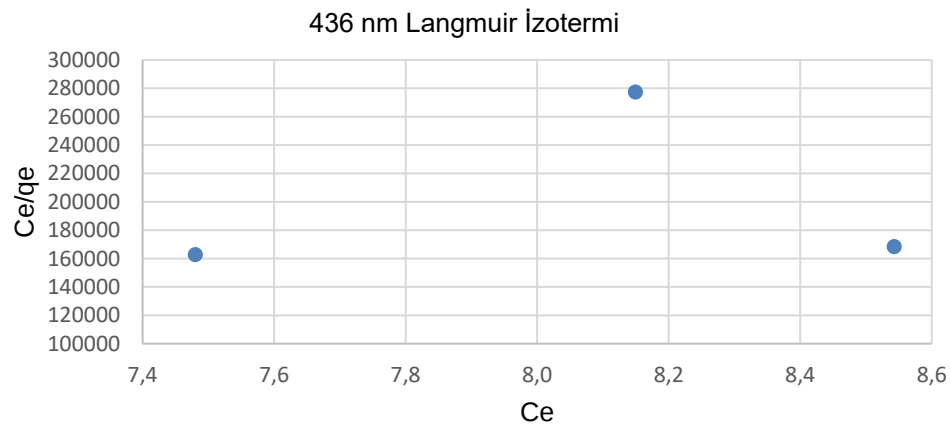
Şekil 26 : 525 nm absorbans değerlerinde Freundlich izoterm çalışmaları.



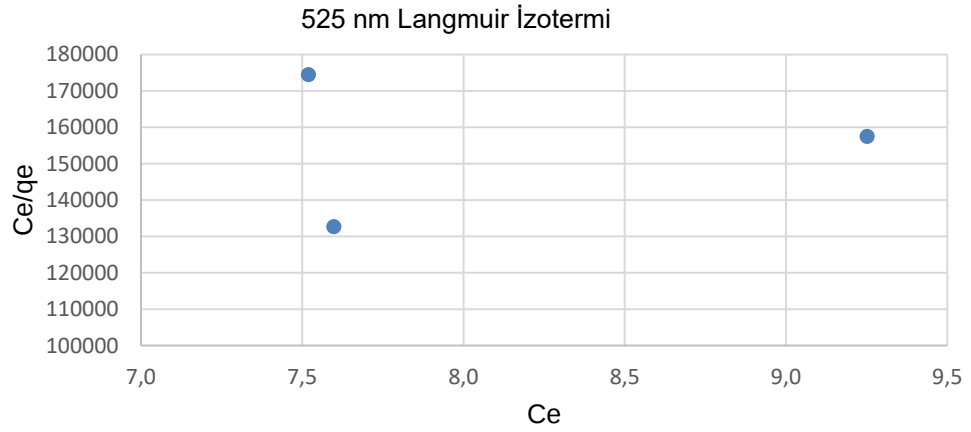
Şekil 27 : 620 nm absorbans değerlerinde Freundlich izoterm çalışmaları.



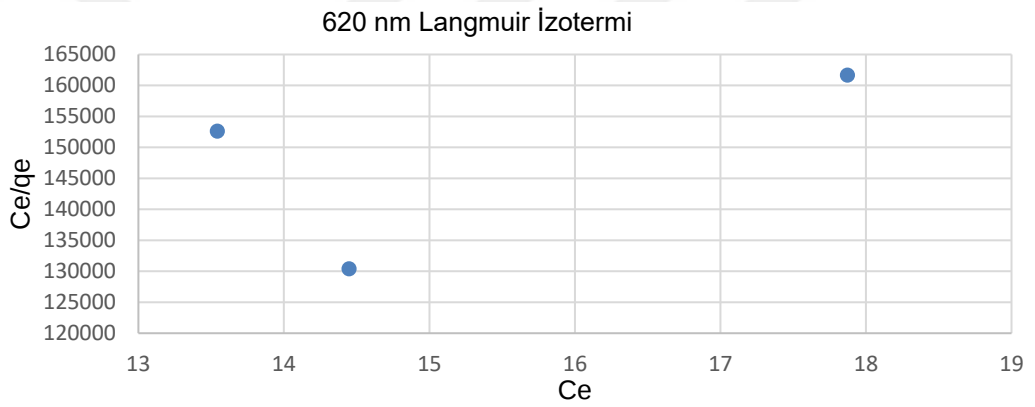
Şekil 28.16 : Pt-Co biriminde Langmuir izoterm çalışmaları.



Şekil 29 : 436 nm absorbans değerlerinde Langmuir izoterm çalışmaları.



Şekil 30 : 525 nm absorbans değerlerinde Langmuir izoterm çalışmaları.

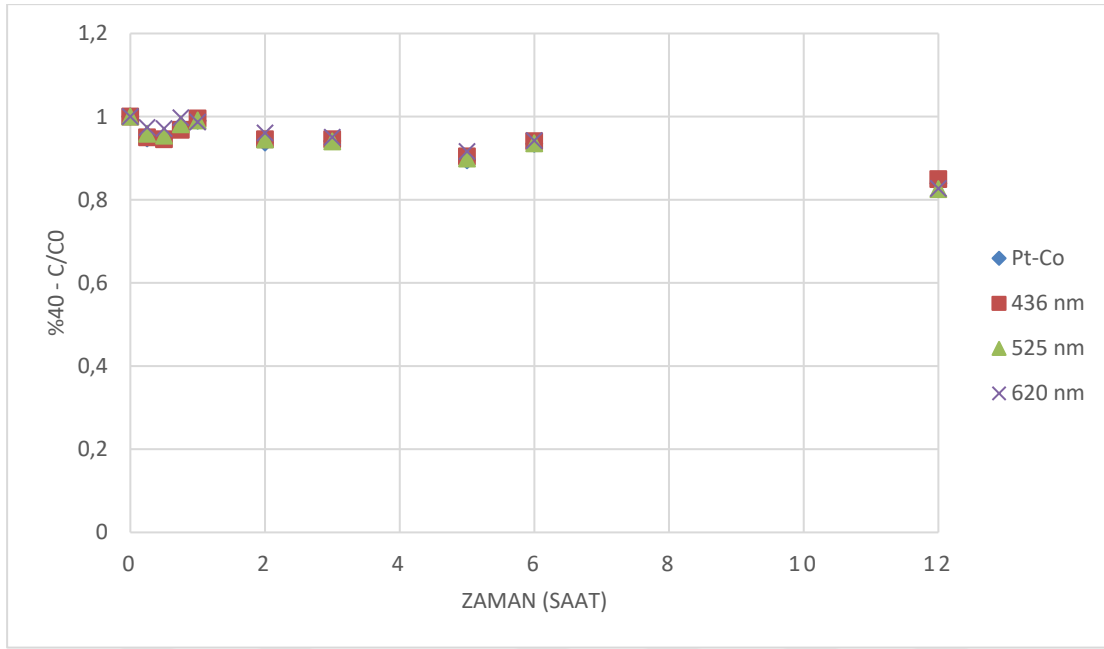


Şekil 31 : 620 nm absorbans değerlerinde Langmuir izoterm çalışmaları.

Deneylerin sonucuna göre adsorpsiyon verilerinin Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uyum göstermediği tespit edilmiştir.

6.6 Adsorpsiyon ile Renk Giderimi Kolon Deneyi Sonuçları

%40 doluluk oranında ponza taşının (10-14 mm) adsorban olarak kullanılması ile denim atıksuyunda renk giderim verimleri araştırılmıştır. Belirtilen çalışma koşulları doğrultusunda, başlangıçtaki pH'ı 7,5 ve pH kontrolü olmadan çalıştırılmıştır. Yürütülen deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.20'de verilmiştir.



Şekil 32 : %40 Doluluk oranında Pt-Co, 436 nm, 525 nm, 620 nm’de renk giderimi.

Adsorpsiyon kolonu deneyinde %40 doluluk oranında Pt-Co biriminde %16, 436 nm’de %15, 525 nm ve 620 nm’de %17 renk giderimi gerçekleşmiştir.

7. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada 4-6,35 mm, 6,35-8 mm ve 10-14 mm boyut aralığında kullanılan ponza taşlarının KOİ giderim performansı açısından en uygun aralığı araştırılmış ve 10-14 mm boyutundaki ponza taşlarının taşıyıcı malzeme olarak kullanılmasının daha verimli olduğuna karar verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda ponza taşının taşıyıcı olarak kullanıldığı durumda, taşıyıcı kullanılmayan askıda sistemin KOİ giderimine ilave olarak, yaklaşık 60 mg/L KOİ daha fazla giderimin olduğu görülmüştür. Bu ilave giderimin reaktördeki taşıyıcı ponza taşı üzerinde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Ponza taşı ilave edilen reaktörde gözlenen ilave KOİ giderimi aslında bu sistemlerin hedeflenen KOİ giderimini daha küçük hacimlerde gerçekleştirileceğinin bir göstergesidir.

Hacimce %20, %30 ve %40 doluluk oranlarında ponza taşının adsorban olarak kullanılması ile denim atıksuyunda renk giderim verimleri araştırılmıştır. pH değeri 6,7 ve üç farklı dalga boyu (436 nm, 525 nm, 620 nm) ve Pt-Co renk biriminde normalize edildiğinde %20 ve %40 doluluk oranında Pt-Co biriminde renk giderimi sırası ile %30 ve %36 olarak hesaplanmıştır. En fazla giderim %41 olarak %30 doluluk oranında sağlanmıştır. 436 nm’de gerçekleştirilen absorbans ölçümleri değerlendirildiğinde en yüksek giderim verimi %30 doluluk oranında %39 olarak belirlenmiştir. 525 nm’de gerçekleştirilen ölçümlerde ise %30 ve %40 doluluk oranlarında benzer giderim verimleri (~%45) gözlemlenmiştir. 620 nm dalga boyu için ise giderim verimlerinin %20, %30 ve %40 doluluk oranları için sırası ile %31, %44 ve %48 olduğu tespit edilmiştir.

Renk giderim performansı ölçümü için uygulanan adsorpsiyon kolonu deneyinde pH değeri 7,5 ve ponza taşları ile yürütülen çalışmalarda %40 doluluk oranında Pt-Co biriminde %16, 436 nm’de 15, 525 nm ve 620 nm’de %17 renk giderimi gerçekleşmiştir.

Çalışmanın sonuçları değerlendirilirken literatürde ponza kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar da incelenmiştir:

Ponza taşının adsorban olarak kullanıldığı nadir çalışmalardan birinde reaktif mavi 221'in giderimi incelenmiş, pH 7.0'de partikül büyüklüğü 0,59 mm olan 2,00 g adsorban ile bir buçuk saat karıştırma sonucunda gözlenen adsorplama kapasiteleri 8×10^{-4} M boya konsantrasyonu için 293 K, 318 K ve 333 K sıcaklıklarda sırayla 36.60 mg/g, 47.90 mg/g ve 54.20 mg/g olarak tespit edilmiştir. Adsorpsiyon verilerinin Langmuir izotermine daha fazla uyum gösterdiği ve termodinamik parametre sonuçlarında adsorpsiyonun endotermik olduğu saptanmıştır [48].

Ponza taşının arıtmada ve renk gideriminde kullanıldığı bir diğer çalışmanın sonuçlarına göre; 1 g/L ponza taşı (> 2 mm boyutunda); 3,4 g/L askıda katı madde (< 2 mm boyutunda); $1,15 \text{ g L}^{-1}$ kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve renk 630 platin-kobalt (Pt-Co) birimi ile %70 değerinde güçlü bir çıkış suyu ortaya çıkmıştır. Daha sonra, %70 KOİ değerine yaklaşan iki temsili numune, bir dizi ön çökeltme ve kimyasal çökeltme deneylerini içeren laboratuvar ölçekli değerlendirme için alınmıştır. Numune 1 ve 2 için 1 saatlik ön çöktürme TSS seviyelerini sırasıyla 760-520 mg/L ve KOİ seviyelerini 790-810 mg/L'ye düşürmüştür. Bu çalışmada, renk giderim performansında önemli bir azalma gözlenmemiştir. Polielektrolit ve poli-alüminyum klorür (PAC) ile kimyasal arıtma, ön çökeltme çıkış suyu üzerinde önemli bir parlatma etkisi yaratmış, toplam askıda katı maddenin 60 mg/L'ye kadar neredeyse tamamen giderilmesini ve KOİ'nin 335 mg/L nihai seviyesine kadar azaltılmasını sağlamıştır. Ayrıca, 436, 525 ve 630 nm'de test edilen tüm absorban seviyeleri için renk 7.0 m^{-1} 'in altına indirilebilmiştir [16].

Ponza taşının adsorban olarak kullanıldığı bu çalışmada [49] tekstil endüstrisi atıksularından indigo boya giderimi araştırılmış ve yürütülen kesikli deneylerde 20°C'de 3 saat karıştırma süresinde 7 ve 30 ppm boya konsantrasyonları aynı koşullarda incelenmiştir. Boyanın 7 ppm olması durumunda adsorbanın 5 g/L ile dahi yaklaşık %76 renk giderimi sağladığı, adsorbanın 35 g/L'ye yükseltilmesi ile giderim veriminin %100'e yükseldiği saptanmıştır. Renk konsantrasyonunun 30 ppm olması durumunda ise renk giderim veriminin lineer olarak arttığı ancak çok daha düşük verimlerde seyrettiği görülmüştür.

Bir başka çalışmada, Fe_2^+ ve H_2O_2 kullanan bir yöntem olan Fenton oksidasyonunun geleneksel aktif çamur arıtma adımının yerini alabileceği varsayılmıştır. Ön çökeltme, kimyasal çökeltme ve Fenton oksidasyonu için laboratuvar ölçeğinde günlük bir kompozit numune üzerinde çalışılmıştır. Ponza taşının kısmi KOİ giderimi ve düşük oranda renk giderimi ile ön çöktürme ile etkili olarak kontrol edilebileceğini bulunmuştur. Kimyasal arıtma KOİ giderimini iyileştirmiş ama renk azaltımı hala düşük oranda kalmıştır. Fenton oksidasyonu 5 dakika sonunda rengi görsel algılamanın altına düşürmüştür ve KOİ 30 dakika sonra 110 mg/L'ye düşmüştür [12].

Bir diğer çalışmada ise, ponza taşı üzerine immobilize edilmiş “*Saccharomyces cerevisiae*” tarafından “Remazol Yellow” renk giderimi araştırılmıştır. Immobilize işlemi için yeni bir teknik kullanılmış ve sabitleme matrisi HCl ile ön işlem görmüş ponza taşı mikroorganizmanın büyüme ortamına eklenmiştir. pH, başlangıç biyosorbenti (Co) ve boya konsantrasyonunun (Cb) biyosorpsiyon üzerindeki etkisi “Yanıt Yüzey Metodolojisi” (RSM) ile optimize edilmiş ve parametrelerin etkilerini başarılı bir şekilde tanımlamak için ikinci dereceden karesel model kullanılmıştır. Optimum pH 3, Cb 2,5 g/L, Co 400 ppm koşullarında maksimum boya giderimi %99 olmuş ve 140 mg/g kapasite yakalanmıştır. Biyosorpsiyon deneylerinde ponza taşı, HCl katkılı ponza taşı ve “*Saccharomyces cerevisiae*” kullanıldığında sırasıyla doğrudan %44, %69, %75 boya giderimi elde edilmiştir. 0.5 M NaOH (pH 13.69) ve su (pH 8) sabit biyosorbent için desorpsiyon ajanı olarak seçilmiştir. Desorpsiyon verimi 0,5 M NaOH ile %21 ve su (pH 8) ile %1,5 olarak bulunmuştur. Karakterizasyon çalışmaları Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Fourier Transformer InfraRed (FT-IR) spektroskopisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, sabit biyosorbentin Remazol Yellow'un sulu çözeltilerden biyosorpsiyonu için umut verici bir alternatif olduğunu göstermektedir [50].

Ponza taşının su ve atıksu arıtımında kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde çalışmaların çoğunluğunda, ponza taşının adsorpsiyon ve katalitik oksidasyon ile kadmiyum, boyar madde ve diğer kirleticilerin giderimi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Bu deneysel çalışmada hareketli yataklı aerobik biyolojik sistemlerde ponza taşının taşıyıcı malzeme olarak kullanımı araştırılmıştır ve yapılan çalışma bu alandaki açıklanmamış noktalara ışık tutacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] **Yıldız Töre, G., Güngör, R., & Yavuz, S.** (2010). Biyolojik Arıtma Sonrası Granüler Filtrasyon ile Denim Yıkama Atıksularının Geri Kazanım Verimliliğinin Değerlendirilmesi, sh. 227-240, İTÜ 12. *Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, 16-18.
- [2] **Bhatia, S. C., & Devraj, S.** (2017). *Pollution control in textile industry*. (1st ed.). WPI publishing, New York.
- [3] **Hynes, N. R. J., Kumar, J. S., Kamyab, H., Sujana, J. A. J., Al-Khashman, O. A., Kuslu, Y., Ene, A., & Kumar, B. S.** (2020). Modern enabling techniques and adsorbents based dye removal with sustainability concerns in textile industrial sector-A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122636.
- [4] **Sözen, S., Dulkadiroglu, H., Begum Yucel, A., Insel, G., & Orhon, D.** (2019). Pollutant footprint analysis for wastewater management in textile dye houses processing different fabrics. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(4), 1330-1340.
- [5] **Shafqat, M., Khalid, A., Mahmood, T., Siddique, M. T., Han, J. I., & Habteselassie, M. Y.** (2017). Evaluation of bacteria isolated from textile wastewater and rhizosphere to simultaneously degrade azo dyes and promote plant growth. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92(10), 2760-2768.
- [6] **Herrera-González, A. M., Peláez-Cid, A. A., & Caldera-Villalobos, M.** (2017). Adsorption of textile dyes present in aqueous solution and wastewater using polyelectrolytes derived from chitosan. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92(7), 1488-1495.
- [7] **Vandevivere, P. C., Bianchi, R., & Verstraete, W.** (1998). Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: Review of emerging technologies. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental and Clean Technology*, 72(4), 289-302.
- [8] **O'Neill, C., Hawkes, F. R., Hawkes, D. L., Lourenço, N. D., Pinheiro, H. M., & Delée, W.** (1999). Colour in textile effluents—sources, measurement, discharge consents and simulation: a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 74(11), 1009-1018.
- [9] **Allègre, C., Moulin, P., Maisseu, M., & Charbit, F.** (2006). Treatment and reuse of reactive dyeing effluents. *Journal of Membrane Science*, 269(1-2), 15-34.

- [10] **Bisschops, I., & Spanjers, H.** (2003). Literature review on textile wastewater characterisation. *Environmental Technology*, 24(11), 1399-1411.
- [11] **Verma, A. K., Dash, R. R., & Bhunia, P.** (2012). A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. *Journal of Environmental Management*, 93(1), 154-168.
- [12] **Sözen, S., Olmez-Hanci, T., Hooshmand, M., & Orhon, D.** (2020). Fenton oxidation for effective removal of color and organic matter from denim cotton wastewater without biological treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 207-213.
- [13] **Özdil, N.** (2008). Stretch and bagging properties of denim fabrics containing different rates of elastane. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 16(1), 66.
- [14] **Güngör, R.** (2011). *Tesis içi geri kazanım-yeniden kullanım alternatifi sonrasında denim yıkama atıksularının İnert KOİ'sinin belirlenmesi* (Master's thesis). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [15] **Kurban, N. S., & Babaarslan, O.** (2019). Süper streç denim kumaşların özelliklerine dair literatür incelemesi. *Tekstil ve Mühendis*, 26(113), 104-115.
- [16] **Hooshmand, M., Sözen, S., Sensoy, H. A., Orday, N., Yagci, N., & Orhon, D.** (2020). Color and pumice stone problems in denim processing effluents: removal potential by integrated physical–chemical treatment. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 95(1), 142-150.
- [17] **Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L.** (2001). Electrocoagulation (EC)—science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84(1), 29-41.
- [18] **Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., & Nigam, P.** (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 77(3), 247-255.
- [19] **Kocaer, F. O., & Alkan, U.** (2002). Boyarmadde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7, 47-55.
- [20] **Namal, O. Ö.** (2017). Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında kullanılan proseslerin araştırılması. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 388-396.
- [21] **Odegaard, H.** (1999). The moving bed biofilm reactor. *Water Environmental Engineering and Reuse of Water*, 250-305.
- [22] **Pal, L., Kraigher, B., Brajer-Humar, B., Levstek, M., & Mandic-Mulec, I.** (2012). Total bacterial and ammonia-oxidizer community structure in moving bed biofilm reactors treating municipal wastewater and inorganic synthetic wastewater. *Bioresource Technology*, 110, 135-143.
- [23] **Plattes, M., Henry, E., Schosseler, P. M., & Weidenhaupt, A.** (2006). Modelling and dynamic simulation of a moving bed bioreactor for the treatment of municipal wastewater. *Biochemical Engineering Journal*, 32(2), 61-68.
- [24] **Jaroszynski, L. W., Cicek, N., Sparling, R., & Oleszkiewicz, J. A.** (2011). Importance of the operating pH in maintaining the stability of anoxic ammonium oxidation (anammox) activity in moving bed biofilm reactors. *Bioresource Technology*, 102(14), 7051-7056.
- [25] **Delnavaz, M., Ayati, B., & Ganjidoust, H.** (2010). Prediction of moving bed biofilm reactor (MBBR) performance for the treatment of aniline using artificial neural networks (ANN). *Journal of Hazardous Materials*, 179(1-3), 769-775

- [26] **Dulkadiroğlu, H.** (2003). *Hareketli Yataklı Ardışık Kesikli Reaktörlerde Karbon Ve Besi Maddesi Giderim Kinetiği* (Doctoral dissertation). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] **Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y., & Lygren, E.** (2006). Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 322-331.
- [28] **Rouse, J. D., Burica, O., Stražar, M., & Levstek, M.** (2007). A pilot-plant study of a moving-bed biofilm reactor system using PVA gel as a biocarrier for removals of organic carbon and nitrogen. *Water Science and Technology*, 55(8-9), 135-141.
- [29] **Martín-Pascual, J., Reboleiro-Rivas, P., López-López, C., González-López, J., Hontoria, E., & Poyatos, J. M.** (2014). Influence of hydraulic retention time on heterotrophic biomass in a wastewater moving bed membrane bioreactor treatment plant. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11, 1449-1458.
- [30] **Mannina, G., Di Trapani, D., Viviani, G., & Ødegaard, H.** (2011). Modelling and dynamic simulation of hybrid moving bed biofilm reactors: model concepts and application to a pilot plant. *Biochemical Engineering Journal*, 56(1-2), 23-36.
- [31] **Hegazy, B. E. D. E., Fouad, H. A., & Kamel, A. M. M.** (2013). Moving bed biofilm reactor with activated sludge for treating paper industrial wastewater. *International Journal of Academic Research*, 5(4).
- [32] **Jaroszynski, L. W., Cicek, N., Sparling, R., & Oleszkiewicz, J. A.** (2012). Impact of free ammonia on anammox rates (anoxic ammonium oxidation) in a moving bed biofilm reactor. *Chemosphere*, 88(2), 188-195.
- [33] **Shi, Y., Huang, C., Rocha, K. C., El-Din, M. G., & Liu, Y.** (2015). Treatment of oil sands process-affected water using moving bed biofilm reactors: with and without ozone pretreatment. *Bioresource Technology*, 192, 219-227.
- [34] **Ateia, M., Nasr, M., Yoshimura, C., & Fujii, M.** (2015). Organic matter removal from saline agricultural drainage wastewater using a moving bed biofilm reactor. *Water Science and Technology*, 72(8), 1327-1333.
- [35] **Rodgers, M., & Zhan, X. M.** (2003). Moving-medium biofilm reactors. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 2, 213-224.
- [36] **Jenkins, A. M., & Sanders, D.** (2012). Introduction to fixed-film bio-reactors for decentralized wastewater treatment. *Contech, Engineered Solutions*.
- [37] **Borkar, R. P., Gulhane, M. L., & Kotangale, A. J.** (2013). Moving bed biofilm reactor: a new perspective in wastewater treatment. *J Environ Sci Toxicol Food Technol*, 6(6), 15-21.
- [38] **Zhuang, H., Han, H., Jia, S., Zhao, Q., & Hou, B.** (2014). Advanced treatment of biologically pretreated coal gasification wastewater using a novel anoxic moving bed biofilm reactor (ANMBBR)–biological aerated filter (BAF) system. *Bioresource Technology*, 157, 223-230.
- [39] **Jahren, S. J., Rintala, J. A., & Ødegaard, H.** (2002). Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermomechanical pulping whitewater under thermophilic conditions. *Water Research*, 36(4), 1067-1075.
- [40] **Vaidhegi, K.** (2013). Treatment of bagasse based pulp and paper industry effluent using moving bed biofilm reactor. *International Journal of ChemTech Research*, 5(3), 1313-1319.

- [41] **Rusten, B., Siljudalen, J. G., Wien, A., & Eidem, D.** (1998). Biological pretreatment of poultry processing wastewater. *Water Science and Technology*, 38(4-5), 19-28.
- [42] **Hosseini, S. H., & Borghei, S. M.** (2005). The treatment of phenolic wastewater using a moving bed bio-reactor. *Process Biochemistry*, 40(3-4), 1027-1031.
- [43] **Brinkley, J., Johnson, C.H., & Souza, R.** (2007). Moving bed biofilm reactor technology—a full scale installation for treatment of pharmaceutical wastewater, North Carolina American Water Works Association-Water Environment Federation (NC AWWA-WEA). In *Annual Conference Technical Program*.
- [44] **Kermani, M., Bina, B., Movahedian, H., Amin, M. M., & Nikaein, M.** (2008). Application of moving bed biofilm process for biological organics and nutrients removal from municipal wastewater. *American Journal of Environmental Sciences*, 4(6), 675.
- [45] **McQuarrie, J. P., & Boltz, J. P.** (2011). Moving bed biofilm reactor technology: process applications, design, and performance. *Water Environment Research*, 83(6), 560-575.
- [46] **Barwal, A., & Chaudhary, R.** (2014). To study the performance of biocarriers in moving bed biofilm reactor (MBBR) technology and kinetics of biofilm for retrofitting the existing aerobic treatment systems: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 13, 285-299.
- [47] **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*, 15(3), 158-163.
- [48] **Aksu, A., Murathan, A., & Koçyiğit, H.** (2011). Reaktif Mavi 221'in pomza ile adsorpsiyonu ve kinetiği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(4).
- [49] **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*, 15(3), 158-163.
- [50] **Erdem, F., & Ergun, M.** (2020). Application of response surface methodology for removal of remazol yellow (RR) by immobilised *S. cerevisiae* on pumice stone. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 39(3), 175-187.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Berrak Torusdağ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2022 yılında Ernst and Young şirketinde Sürdürülebilirlik Danışmanı olarak çalıştı.
- 2022 yılında Ekoteks şirketinde Çevre Mühendisi olarak çalıştı.
- 2018 yılında TÜBİTAK 2241 Özel Sektöre Yönelik Lisans Bitirme Tezleri Yarışmasında 3. oldu.