

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurevşan AKSOY

**KALSİYUM PEROKSİT İLE SENTETİK TEKSTİL
ATIKSULARINDAN RENK GİDERİMİ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2021

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KALSİYUM PEROKSİT İLE SENTETİK TEKSTİL ATIKSULARINDAN
RENK GİDERİMİ

Nurevşan AKSOY

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Behzat BALCI
: Yıl 2021, Sayfa:61
Jüri : Doç. Dr. Behzat BALCI
: Dr. Öğr. Üyesi F. Elçin ERKURT
: Dr. Öğr. Üyesi Rozelin AYDIN

Bu çalışmada, Reaktif Black 5 (RB5) boyar maddesinin simüle tekstil atıksuyundan (STA) gideriminde çevre dostu ve düşük maliyetli bir oksidan kalsiyum peroksit'in (CaO_2) potansiyel kullanımı araştırılmıştır. Sentezlenmiş CaO_2 'nin spesifik morfolojisi, element analizi, partikül boyutu dağılımı, kristal fazlarının tanımlanması ve yüzey fonksiyonel grupları sırasıyla, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Dağıtıcı X-ışını (EDX), Lazer Kırınımı (LD), Brunaure Emmett-Teller yöntemi (BET), X-ışını Kırınımı (XRD) ve Fourier İletim Kızılötesi (FTIR) analizleriyle incelenmiştir. X-ışını Kırınım analizi sentezlenen oksidani, tetragonal kristal yapı ile CaO_2 olarak doğrulanmıştır. FTIR spektroskopisinin parmak izi bölgesinde O—Ca—O'nun bükülme titreşimine karşılık gelen sinyal tespit edilmiştir. Temas süresi, pH, başlangıç RB5 konsantrasyonu ve CaO_2 miktarları gibi çeşitli bağımsız parametrelerin renk giderme üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları, pH, başlangıç boya konsantrasyonunun ve CaO_2 miktarlarının RB5'in degradasyonu üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir. RB5'in CaO_2 ile giderilmesinde optimum pH değeri 7 olarak belirlenmiştir. 300 mg/L RB5'in %96,93 verimle giderilmesi için 2,0 g CaO_2 'nin yeterli olduğu bulunmuştur. Ayrıca STA'dan %82,8 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) giderim verimi 2,0 g CaO_2 ile elde edilmiştir. Deneysel veriler, RB5 degradasyon kinetiğini anlamak için yalancı birinci derece kinetik modele uygulanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, CaO_2 'nin reaktif tekstil boyalarının etkili bir şekilde gideriminde çevre dostu ve düşük maliyetli bir oksidan olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kimyasal Oksidasyon, Kalsiyum Peroksit, Sentetik Tekstil Atıksuyu.

ABSTRACT

MSc THESIS

COLOR REMOVAL FROM SYNTHETIC TEXTILE WASTEWATERS WITH CALCIUM PEROXIDE

Nurevşan AKSOY

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Behzat BALCI
: Year 2021, Pages: 61
Jury : Assoc. Prof. Dr. Behzat BALCI
: Asst. Prof. Dr. F. Elçin ERKURT
: Asst. Prof. Dr. Rozelin AYDIN

In the present study, potential application of an environmentally friendly and low-cost oxidant calcium peroxide (CaO_2) was investigated for the removal of Reactive Black 5 (RB5) dye from simulated textile wastewater (STA) containing production auxiliary chemicals. The specific morphology, elemental analysis, particle size distribution, identification of the crystalline phases and surface functional groups of synthesized CaO_2 were investigated by Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy-Dispersive X-ray (EDX), Laser Diffraction (LD), Brunauer-Emmett-Teller method (BET), X-ray Diffraction (XRD) and Fourier Transmission Infrared (FTIR), respectively. X-ray Diffraction analysis confirmed the synthesized oxidant as CaO_2 with the tetragonal crystalline structure. Signal corresponding to bending vibration of $\text{O}-\text{Ca}-\text{O}$ was detected in the fingerprint region of the FTIR spectroscopy. The effects of various independent parameters such as contact time, pH, initial RB5 concentration and amounts of CaO_2 on decolorization were investigated. The results of the study showed that pH, initial dye concentration and the CaO_2 amounts have significant effects on degradation of the RB5. The optimum pH was determined 7 for the removal of RB5 by CaO_2 . 2.0 g CaO_2 was found to be sufficient for the removal of 300 mg/L RB5 with 96.93% removal efficiency. Also 82.8% Chemical Oxygen Demand (COD) removal efficiency from STA was obtained by 2.0 g CaO_2 . Experimental data were applied to pseudo first order model in order to understand the RB5 degradation kinetic. The results of the present study showed that the CaO_2 can be used as an environmentally friendly and low-cost oxidant for effective removal of reactive textile dyes.

Key Words: Chemical Oxidation, Calcium Peroxide, Synthetic Textile Waste Water.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Tekstil endüstrisi ülkemizde en çabuk gelişen sanayi dallarından birisidir. Bu endüstri çok çeşitli üretim proseslerini içinde barındırması sebebiyle yüksek kirlilik yükü ve atıksu miktarı, çözünmüş madde konsantrasyonu ve farklı yapılarda boyar maddeler içermektedir. Tekstil endüstrisi atıksularının başlıca kirlilik kaynağı boyama ve son işlemlerden gelmektedir. Boyama ve tekstil proseslerinin sonucunda ortaya çıkan atıksuyun kompozisyonu, boyar maddenin özelliğine, tipine ve ilave edilen bileşenlerin konsantrasyonlarına bağlı olarak günden güne ve her an büyük ölçüde değişim göstermektedir.

Tekstil boyama proseslerinde fazla su tüketilmesi endüstrinin büyük bir çevre sorunudur. Günümüzde, su kaynakları hızla azalmakta ve temiz su kaynağı bulmakta sorun yaşanmaktadır. Bu sebepten ötürü mevcut su kaynaklarının korunması da oldukça gerekli bir çevresel önlemdir. Dolayısıyla tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında atıksuyun içeriğindeki yüksek renk ve KOİ'yi nihai şekilde arıtabilecek ve elde edilen suyu tesis içinde yeniden kullanılabilir duruma getirebilecek yeni ve oldukça etkili arıtma proseslerinin kullanılması zorunlu hale gelmiştir.

Boyar madde içeren tekstil endüstrisi atıksuları alıcı ortama arıtılmadan deşarj edilmesi durumunda çevresel ve ekolojik açıdan büyük problemlere sebep olmaktadır. Koyu renkli boyar maddeler deşarj edilen su ortamında suyun yüzeyinde birikerek güneş ışınlarının suyun dibine ulaşmasını engeller. Böylece fotosentezin aktivitesi zayıflayarak sucul organizmalara zarar vermektedir. Ayrıca arıtılmayan bu suların kimyasal oksijen ihtiyacı, biyokimyasal oksijen ihtiyacı gibi çevresel açıdan önemli olan kirlilik parametreleri yüksek olmaktadır. Bu sebeple tekstil endüstrisi atıksularının arıtılması önem arz etmektedir.

Boyar maddeler, karmaşık aromatik yapıları nedeniyle su kütlelerinde fotodegradasyona ve aerobik biyobozunmaya karşı dirençlidir. Düşük konsantrasyonlarda bile boyar maddelerin varlığı, fotosentetik aktiviteyi azaltarak

gazların çözünürlüğünü düşürür ve su kalitesi bozulur. Boyar maddeler konsantrasyonlarına bağlı olarak suda yaşayan organizmalar için toksik veya zararlıdır.

Tekstil endüstrisi atıksuları ve diğer renkli atıksuların arıtılmasında kimyasal ve biyolojik metotlar yaygın olarak uygulanmaktadır. Konvansiyonel parametreler bakımından etkili olan bu sistemler, boyarmaddelerin yüksek moleküllü bileşikler olması sebebiyle renk giderimi bakımından biyolojik arıtmanın fazla etkili olmadığını, kimyasal arıtma yöntemlerinin daha verimli olduğunu göstermiştir. Renkli atıksuların arıtılması için kullanılan membran filtrasyonu, kimyasal çökeltme, gelişmiş oksidasyon ve adsorpsiyon gibi çeşitli yöntemler vardır.

Bu çalışmada Adana'da bir tekstil endüstrisinin atıksuyu baz alınarak sentetik tekstil atıksuyu hazırlanmış ve CaO_2 ile kimyasal oksidasyon prosesiyle Reaktif Black 5 giderimi ve KOİ giderimi çalışılmıştır. Bu yapılan çalışmalarda kimyasal oksidasyon üzerine pH, CaO_2 dozu, RB5 konsantrasyonu gibi bir takım parametrelerin etkisi araştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda CaO_2 'nin sentetik tekstil atıksuyundan RB5 gideriminde başarılı olduğu saptanmıştır. Ayrıca kimyasal oksijen ihtiyacı gideriminde etkili olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmalar CaO_2 'nin reaktif tekstil boyalarının etkili bir şekilde gideriminde çevre dostu ve düşük maliyetli bir oksidan olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Gerek yüksek lisans tezimde gerekse lisans öğrenimim sürecinde yardımlarını ve değerli bilgilerini esirgemeyen başta danışman hocam Sayın Doç. Dr. Behzat BALCI'ya ve emekleri geçen diğer hocalarıma sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üye. Fatma Elçin ERKURT'a ayrıca teşekkür ederim.

Bugün bulunduğum noktada olmamı sağlayan, beni yetiştiren canım annem Hatice ADIBELLİ ile babam Muzaffer ADIBELLİ'ye ve tüm aileme şükran ve minnetlerimi sunarım. Ayrıca tüm girişimlerimde beni destekleyen ve daima yanımda olan sevgili eşim Alper AKSOY'a minnetle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Tekstil Endüstrisinin Tanımı	1
1.2. Tekstil Endüstrisinin Genel Prosesleri.....	2
1.2.1. Haşılama	3
1.2.2. Yıkama Ve Haşıl Giderme.....	3
1.2.3. Ağartma	4
1.2.4. Merserizasyon.....	5
1.2.5. Boyama	5
1.2.6. Apreleme.....	5
1.2.7. Baskı	6
1.2.8. Pişirme	6
1.3. Boyar Madde	6
1.3.1. Boyar Maddelerin Yapıları	7
1.3.2. Boyar Maddelerin Çevre Üzerine Etkileri	7
1.4. Tekstil Endüstrisi Atıksularından Boyar Madde Giderim Yöntemleri	8
1.4.1. Fiziksel Yöntemler.....	8
1.4.1.1. Adsorpsiyon İle Renk Giderimi	8
1.4.1.2. Membran Filtrasyon İle Renk Giderimi	9
1.4.1.3. İyon Değişimi İle Renk Giderimi.....	9

1.4.2. Biyolojik Yöntemler	10
1.4.2.1. Anaerobik Arıtım İle Renk Giderimi	10
1.4.2.2. Aerobik Arıtım İle Renk Giderimi	10
1.4.2.3. Biyosorpsiyon	11
1.4.3. Kimyasal Yöntemler	11
1.4.3.1. Kimyasal Yumaklaştırma Ve Çöktürme Yöntemi İle Renk Giderimi	11
1.4.3.2. Kimyasal Oksidasyon İle Renk Giderimi.....	12
1.4.3.2.(1). Ozonlama	14
1.4.3.2.(2). Klor	14
1.4.3.2.(3). Oksijen	15
1.4.3.2.(4). Sodyum Hipoklorit (NaHClO) İle Renk Giderimi.....	15
1.4.3.2.(5). Elektrokimyasal Yöntem İle Renk Giderimi...	15
1.4.3.2.(6). Fenton Prosesi İle Renk Giderimi	16
1.4.3.2.(7). Fotokimyasal Yöntem İle Renk Giderimi	17
1.4.3.2.(8). Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) İle Renk Giderimi ..	18
1.4.3.2.(9). Kalsiyum Peroksit (CaO ₂) İle Renk Giderimi .	19
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	23
3. MATERYAL VE METOD	29
3.1. Materyal.....	29
3.1.1. Kalsiyum Peroksit.....	29
3.1.2. Reaktif Black 5 (RB5) Boyar Maddesi	29
3.1.3. Sentetik Tekstil Atıksuyu.....	30
3.2. Metot.....	32
3.2.1. CaO ₂ Karakterizasyonu	32
3.2.2. CaO ₂ Sentezi	32
3.2.3. RB5 Boyar Maddesinin Sentetik Tekstil Atıksudan Gideriminde Yapılan Kimyasal Oksidasyon Çalışmaları	33

3.2.3.1. Sentetik Tekstil Atıksuyundan RB5 Giderimine pH'ın Etkisi	34
3.2.3.2. Sentetik Tekstil Atıksuyunda Kullanılan CaO ₂ Dozunun Boyar madde Giderimine Etkisi.....	34
3.2.3.3. Sentetik Tekstil Atıksuyundaki RB5 Boyar Madde Konsantrasyonunun Kimyasal Oksidasyona Etkisi	34
3.2.3.4. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Ölçümleri	34
3.2.3.4.(1). CaO ₂ Miktarının KOİ Giderimine Etkisi.....	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	37
4.1. CaO ₂ 'nin Karakterizasyonu	37
4.1.1. CaO ₂ İçin SEM Analizi	37
4.1.2. CaO ₂ İçin Lazer Tane Boyutu Analizi.....	37
4.1.3. CaO ₂ İçin EDX Analizi	38
4.1.4. CaO ₂ için XRD Analizi	39
4.1.5. CaO ₂ İçin BET Analizi.....	39
4.1.6. CaO ₂ İçin FTIR Analizi	40
4.2. RB5'in Distile Su Ve Atıksu'dan Giderimi	42
4.3. STA'dan RB5 Boyar Maddesinin Giderimine pH Etkisi	43
4.4. STA'dan RB5 Giderimine Başlangıç Boyar Madde Konsantrasyonunun Etkisi.....	44
4.5. STA'dan RB5 Boyar Madde Giderimine ve Degradasyon Kinetiğine CaO ₂ Dozajının Etkisi	45
4.6. STA'da KOİ Giderimi	47
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
5.1. Sonuç	49
5.2. Öneriler.....	50
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	61



ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Oksitleyicilerin Oksidasyon Potansiyelleri.....	13
Çizelge 3.1. Sentetik Tekstil Atıksuyu Hazırlanırken Kullanılan Kimyasallar ve Konsantrasyonları.....	31
Çizelge 4.1. Birinci Derece Reaksiyon Kinetiğinin Parametreleri	47





Şekil 3.1. Genetik Algoritma Araştırmasından Elde Edilen Kalsiyum Peroksitin Kristal Yapısı.....	29
Şekil 3.2. Reaktif Black 5 Boyar Maddesinin Molekül Yapısı.....	30
Şekil 3.3. Manyetik Karıştırma İşlemi ve Kurutma İşlemi	33
Şekil 3.4. Kurutma İşlemi Yapıldıktan Sonra Toz Halindeki CaO_2	33
Şekil 4.1. CaO_2 'nin SEM Görüntüleri.....	37
Şekil 4.2. CaO_2 'nin Partikül Boyutu Dağılımı.....	38
Şekil 4.3. CaO_2 EDX.....	38
Şekil 4.4. CaO_2 'nin XRD Analizi	39
Şekil 4.5. CaO_2 için BET Grafiği.....	40
Şekil 4.6. CaO_2 için FTIR (a) Öncesi ve Sonrası (b) Renk Giderimi	41
Şekil 4.7. RB5'in Distile Su ve Sentetik Tekstil Atıksu'dan Giderimi	42
Şekil 4.8. pH'ın Renk Giderim Üzerindeki Etkisi	43
Şekil 4.9. Farklı pH Değerlerinde Renk Giderim Verimi	44
Şekil 4.10. RB5 Konsantrasyonunun Renk Giderim Üzerindeki Etkisi	44
Şekil 4.11. Farklı RB5 Konsantrasyonları için Renk Giderim Verimi	45
Şekil 4.12. CaO_2 Dozunun Renk Giderim Üzerindeki Etkisi	46
Şekil 4.13. Farklı CaO_2 Dozları için Renk Giderim Verimleri	47
Şekil 4.14. Farklı CaO_2 Dozlarına Göre KOİ Giderim Etkinlikleri	48



SİMGELER VE KISALTMALAR

CaO ₂	: Kalsiyum Peroksit
Na ₂ CO ₃	: Sodyum karbonat
NaOH	: Sodyum hidroksit
Al ₂ (SO ₄) ₃	: Alüminyum Sülfat
FeCl ₃	: Demir (III) Klorür
FeSO ₄	: Demir Sülfat
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
Fe(OH) ₃	: Demir (III) Hidroksit
Fe(OH) ₂	: Demir (II) Hidroksit
NaHClO	: Sodyum Hipoklorit
CO ₂	: Karbondioksit
H ₂ O	: Su
H ₂ O ₂	: Hidrojen Peroksit
O ₃	: Ozon
CaCl ₂	: Kalsiyum Klorür
KOH	: Potasyum Hidroksit
N ₂	: Azot
HCO ₃	: Bikarbonat
RB5	: Reaktif Black 5
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDX	: Enerji Dağıtıcı X-ışını
LD	: Lazer Kırınımı
BET	: Brauner-Emett – Teller yöntemi
XRD	: X-ışını Kırınımı Difraktometresi
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Dpektroskopisi
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı

EPA	:	Çevre Koruma Kuruluşu
PVA	:	Polivinil Alkol
BOİ	:	Biokimyasal Oksijen İhtiyacı
AKM	:	Askıda Katı Madde
TOK	:	Toplam Organik Karbon
STA	:	Sentetik Tekstil Atıksuyu
PRB	:	Geçirgen Reaktif Bariyer



1. GİRİŞ

Günümüz endüstri tesislerinde üretim süreci sonucunda atıksular oluşmakla birlikte bunlar bir takım arıtma prosesinden geçip alıcı ortamlara verilmektedir. Araştırmacılar sürekli olarak atıksuların arıtılmasında en uygun yöntemlerin geliştirilmesini amaç edinerek birtakım çalışmalar yapmaktadırlar. Bu çalışmaların hedefi, alıcı ortamları sonuç olarak insan sağlığını ve çevreyi korumaktır.

Günümüzde önemli kirleticilerden bir taneside yapay boyar maddelerdir. Boyar maddeler, tekstil sektöründe çoğunlukla kullanılmaktadır. Ayrıca küçük miktarlarda ki kullanımı bile renkli atıksu oluşumuna sebep olmaktadır. Boyar maddelerin, çevre üzerine olan kötü etkilerini yok etmek için alıcı ortamlara verilmeden önce atıksulardan yok edilmesi gerekmektedir (Balcı, 2007).

Reaktif ve asit boyar maddeleri tekstil boyalarının önemli iki grubudur. Atıksudan bu boyar maddelerin giderilebilmesi için uygulanan adsorpsiyon, koagülasyon-flokülasyon, filtrasyon, oksidasyon, ozonlama, elektrokimyasal gibi fiziksel ve kimyasal metotların pahalı, yatırım ve işletme maliyeti yüksek, yeni kirlilikler üreten çalışmalar olması sebebiyle seçenek olarak ucuz, kullanımı basit ve çevrenin kirlenmemesini amaçlayan yeni metotların getirilmesi önem arz etmektedir (Zeyrek, 2019).

Bu tez çalışmasının amacı Reaktif Black 5 boyar maddesinin sentetik tekstil atıksuyundan kimyasal oksidasyon yöntemi ile gideriminde kalsiyum peroksit kullanımının araştırılmasıdır.

1.1. Tekstil Endüstrisinin Tanımı

Tekstil endüstrisi doğal, sentetik ve yapay olan elyafları işlemekten geçirerek tekstil ürünleri üreten tesisleri içeren bir endüstri bölümüdür. Tekstil endüstrisi doğal, sentetik ve yapay ipliklerin hazırlanması; dokuma, örme veya başka metotlar aracılığı ile dokunmuş kumaş, örgü kumaş ve dokunmuş kumaşa boya, baskı, apre

gibi terbiye işlemlerinin uygulanmasını kapsamaktadır. Yün, pamuk, sentetik ve örme kumaşların üretiminde kullanılan liflerden, kumaş veya farklı bir tekstil ürünü üretimi yapan bir endüstri dalı olarak da tanımlanabilmektedir (EPA, 1997).

Tekstil endüstrisi, insanların gıda temininden sonra en temel ihtiyaçlarından biri olan giyeceklerin üretiminin yapıldığı bir sektördür. Günlük yaşantımızın her adımında, yatak örtüsünden, perdeye, havludan, işe giderken giydiğimiz elbiseler dahil olmak üzere tekstil yaşamımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bu çeşitlilik tekstil endüstrisi içinde fazlaca çeşitli süreçleri oluşturmuştur (Anonim, 2002).

Tekstil endüstrisi, birçok ülkenin ekonomisine katkıda bulunmasının yanında çeşitli sıvı, katı ve gaz atıklarının da ana kaynağını oluşturmaktadır. Endüstriyel aktivitenin bu çeşidi su ve enerji tüketiminin yanı sıra kirletici deşarjları yoluyla çevre üzerine negatif bir etkiye sahiptir. Kullanılan suyun miktarı ve oluşan atıksu fazlasıyla takip edilen işlemin belirli bir tipine tabi olmaktadır. Genel olarak boyama, yıkama ve apre (bitirme) işlemlerinde en fazla kullanım söz konusu olmaktadır (Fongsatitkul ve diğ., 2004).

1.2. Tekstil Endüstrisinin Genel Prosesleri

Tekstil endüstrisinin üretiminde yer alan proses ve işlemler, işlenen elyaftan ayrı tutularak tarif açısından birbirlerine benzemektedirler. Endüstride uygulanmakta olan temel işlemler, haşıllama, haşıl sökme, ağartma, merserize etme, boyama, apreleme, baskı ve pişirme olarak gruplandırılabilirler (Kırdar, 1995).

Tekstil endüstrisinde işlem gören genel elyaf çeşitleri ise pamuklu, yünlü ve sentetik elyaflardır. Kullanılan elyafın özelliğine bağlı olarak bazı farklı üretim işlemleri de görülmektedir; örneğin, yünlü ürünlere uygulanan karbonizasyon işlemi pamuklu ürünlerde merserizasyon ismini alır ya da pamuk ve sentetik elyaflarda başlangıçta yıkamayı gerektirecek bir kirlilik bulunmamasına karşın, yün elyafların aşırı kirli olması sebebiyle elyafın iplik haline getirilebilmesi için

önceden yıkama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Yünlü dokuma endüstrisini kirleticilik bakımından diğer tekstil gruplarından ayıran en önemli farklılık bu yıkama işlemidir (Kırdar, 1995)

1.2.1. Haşılama

İnce kumaşların dokunması esnasında aşırı ince iplik kullanılır. Ancak bu incelikte kullanılan iplik, dokuma esnasında maruz kalacağı gerilmelerin baskısıyla kopar. Bu gibi durumlarda, nişasta ve dekstrin gibi maddeler kullanılarak kumaş belirli bir süre sağlamlaştırılır. Bu işlem haşılama olarak adlandırılmaktadır (EPA 1997; EPA 2000).

Haşıl maddeleri çoğunlukla doğal nişastalar, modifiye selülozlar, polivinil alkol (PVA), polivinil asetat, karboksimetil selüloz ve poliakrilik asit gibi maddelerdir. Haşılama işlemi sırasında kazanlardan, tamburlardan, haşıl karıştırıcıdan, haşılama alanından ve kalan haşılama çözeltilerinin deşarjından miktarı az ancak BOİ, KOİ ve AKM içeriği yüksek atıksu oluşmaktadır (Sevimli, 2000).

Nişasta ve türevleri yerine BOİ değeri düşük sentetik haşıl maddeleri kullanılırsa haşıl sökmenin BOİ yükünü %50'den daha fazla azalttığı belirtilmektedir. Atıksuların yükleme miktarı (KOİ olarak) kadar önemli olan bir nokta da, atıksudaki yabancı maddelerin biyolojik olarak parçalanabilme durumudur. Nişasta biyolojik olarak en iyi elimine edilebilen haşıl maddesidir. Fakat biyolojik oksijen ihtiyacı çok yüksektir. Filament ipliklerin haşılmasında kullanılan poliakrilat esaslı haşıl maddelerinin çoğunlukla da biyolojik olarak %55-95 elimine edilebilmektedir ve bunların BOİ değerlerinin nişastaya nazaran oldukça düşük olduğu belirtilmektedir (Kemer ve Kara 1998).

1.2.2. Yıkama Ve Haşıl Giderme

Boyama ve aprelemeye kumaş hazırlamak amacıyla, haşılama işleminden gelen haşıl maddelerinin yok edilmesi gerekir. Bu işlem, tekstil atıksularında

toplam kirlilik yükünün ortalama olarak %50'sini oluşturmaktadır. Boyama ve apreleme amacıyla temiz kumaş hazırlayabilmek için sodyum hidroksit, klor, silikatlar, sodyum bisülfid ve deterjanlar, nişastanın hidrolizi için ise asitler ve enzimler kullanılmaktadır. Uygulanan elyafın türüne göre; kullanılacak kimyasal, suyun sıcaklığı ve temas süreleri değişmektedir. Yıkama toplam atık yükünün %30 artmasına neden olmaktadır.

Boyama proseslerinden önce haşıl maddelerinin yok edilmesi önemlidir. Eğer giderilmezse haşıl maddeleri boyanın elyafa nüfuz etmesine engel olur veya boyanın rengini değiştirir (Kırdar 1995; EPA 1997; EPA 2000).

Yıkama esnasında kullanılan yüzey aktif maddeler yıkama sonrası oluşan atıksuya karışmaktadır. Düşük derişimlerde bile yüzey gerilimini düşürücü etki gösteren bu maddeler sabunları, deterjanları ve emülsiyon yapıcıları içermektedir (Kemer ve Kara 1998).

1.2.3. Ağartma

Bu proste kullanılan kimyasallar, ipliklerin renginin ve pisliklerinin giderilebilmesi için kullanılmaktadır. En çok kullanılan ağartma maddeleri; güçlü oksitleyici maddeler olan sodyum hipoklorit ve hidrojen peroksittir. Bu maddeler, bu proste yok edilen pisliklerle beraber çıktı olarak deşarj edilmektedir. Bu ağartıcı maddelerden özellikle hidrojen peroksit pamuklu kumaşların ağartılmasında kullanılmaktadır. Peroksit su ve oksijenle bozunur ayrıca çözünmemiş katı parçalar ya da gözlenebilen artıklar bırakır. Peroksit ilavesi atık akımında oksijen miktarını arttırmaktadır (Kırdar 1995, EPA 1997, EPA 2000).

Ağartma prosesi üç basamakta gerçekleştirilir;

1. Kumaş, ağartıcı maddeler, aktifleştirici katkı maddeleri, stabilizatör ayrıca diğer gerekli kimyasallarla doyurulur.
2. Kumaşın yeteri kadar sıcaklıkta yeterli süre ağartıcı ile teması sağlanır.
3. Kumaş yıkanır ve kurutulur (Kırdar 1995, EPA 1997).

1.2.4. Mersevizasyon

Malzeme özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla pamuklu iplik veya kumaşların işlenmesi işlemidir. Pamuklu iplik düşük derecelerdeki sıcaklıklarda (15°C) sodyum hidroksit çözeltisine daldırılır ve daha sonra alkalinitesinin yok edilmesi amacıyla çalkalanır. Kumaş ise bu proseste yıkandıktan sonra sülfürik veya hidroklorik asit kullanımı ile nötralize edilir. Böylelikle çıkış suyunda fazla deşarj önlenir (Anonim 2002).

Mersevizasyonun asıl amacı pamuk elyafının parlaklığını düzenlemektir. Pamuklu dokumaların arıtımının sağlanması NaOH çözeltisi ile yapılmaktadır. Bu uygulama, daha fazla dokumanın boyanabilme ve absorblama karakterini düzeltebilmek için yapılmaktadır (Erdinç, 2006).

1.2.5. Boyama

Kumaş, elyaf ve ipliğe çeşitli renklerin verilmesi amacıyla bu proses kullanılır. Boyama işlemi birçok yöntemle ve yeni boyalar, yardımcı kimyasallar kullanılarak yapılır. Boyama genel olarak sıcak boya çözeltilerinde uygulanır. Boyamayı takip eden proseslerde her zaman bazı boya maddeleri boya eriyiğinde kalacak ve bunlar çıkış suyunda yer alacaktır. Bu proseste kullanılan ve ürüne karışmamış boyanın değeri %40 düzeylerinde olacak kadar fazla olabilir. Ancak bu oran proseste gerçekleştirilecek denemeler ve dikkatli uygulamalar ile %5 düzeylerine çekilebilir. Böylelikle hem maliyetten tasarruf sağlanır hem de çevresel etki azaltılabilir (Anonim 2002).

1.2.6. Apreleme

Apreleme fiziksel ve kimsayasal özellikleri değişen kumaşın işlenmesidir. Apreleme işlemi ile görünür, yumuşaklık, sağlamlık, pürüzsüzlük ve parlaklık gibi özelliklerin oldukça iyi olması sağlanır. Kullanılan maddeler; nişasta (kola) ve dekstrin kolası, doğal ve sentetik balmumu, sentetik reçineler, amonyum ve çinko klorit, yumuşatıcı maddeler ve türlü özel kimyasallar içerir. Aşınma kalitesinin

düzelmesi, su geçirmeme, yanmama ve küflenmeme gibi özellikler bu kimyasalların kullanımı ile birlikte sağlanır (Kırdar 1995, EPA 1997, EPA 2000).

1.2.7. Baskı

Kumaşlar; boya, koyultucular, higroskopik maddeler, boya yardımcıları, su ve diğer yardımcıları içeren baskı patı ile basılır. Baskı işlemi sonunda bu baskı patı ve kimyasalları gidermek amacıyla kumaş yıkanır. Bunun sonucu olarak tüm pat, kullanılan maddeler ve lif tarafından bağlanmayan boya maddeleri atıksuya karışarak kirlilik oluşturmaktadır (Kemer ve Kara 1998).

1.2.8. Pişirme

Yapay ve doğal materyallere uygulanan pişirme işlemi kumaşta doğal safsızlıkları giderebilmek için deterjan veya sabunları ihtiva eden sıcak alkali çözeltilerle (NaOH veya Na₂CO₃) uygulanır. Pişirme işleminde bulunan maddeler, soda, ıslatıcılar, sabun, yağ asitleri esteri, yüzey aktif maddelerdir. Depolama ve taşıma esnasında küflenmeye engel olmak amacıyla kullanılan herbisidler, insektisidler, kurutucular pişirme atıksuyunun yükünü arttırabilmektedir. Bu sebeple pişirme atıksuları zehirli olabilmektedir. Pamuklu tekstil üretiminde haşıl sökme ile birlikte pişirme prosesi organik yükün esas kaynağını teşkil etmektedir (Işık ve Sponza 2001).

Pişirme işlemi atıksuları; kuvvetli alkali (pH>12), koyu renkli, önemli miktarda çözünmüş katı madde ve yağ içeren buna karşın düşük AKM içeriği olan atıksulardır. Ayrıca pamuktan kaynaklanan doğal safsızlıklar, pişirme işlemi sonucu atık olarak suya karışarak atıksuyun BOİ'sinin artmasına sebep olmaktadır (Kemer ve Kara 1998).

1.3. Boyar Madde

Sentetik boyalar tekstil, boya, kağıt ve baskı endüstrilerinde genel olarak kullanılmaktadır. Gerek üretim, gerekse kullanım esnasından arta kalan boya

miktarı göz önüne alındığında renkli atıksuların çevresel bakımdan ne kadar mühim olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır (Kapdan ve Kargı, 2000).

1.3.1. Boyar Maddelerin Yapıları

Boyar madde molekülleri, kromojen gruplarını ihtiva etmektedir. Kromojen gruplar, kromofor adı verilen grupları kapsayan aromatik yapılardır. Kromofor renk veren anlamına gelmektedir. Kromofor bulunduran boyar maddelerin içerisinde en mühim yeri azo boyar maddeler oluşturur. Azo boyalar en az bir tane $N=N$ bağı bulunduran boyar maddelerdir. Monoazo boyar maddeler bir tek çift bağı azot bulundururken diazo ve triazo boyaları 2 ve 3 adet $N=N$ bağı bulundurur. Azo boyalar genel olarak benzen ve naftalin halkaları içermektedirler (Zollinger, 1991).

Temel anlamda bir sınıflandırma ile boyalar üç guruba ayrılabilirler :

1. Anyonik: Reaktif, direkt ve asit boyar maddeler
2. Katyonik: Bazik boyar maddeler
3. İyonik olmayan: Dispers boyar maddeler

1.3.2. Boyar Maddelerin Çevre Üzerine Etkileri

Boyar madde ihtiva eden atıksuların doğrudan olarak alıcı ortama verilmesinin kontrolsüz anaerobik şartlar altında toksik ve karsinojenik aromatik aminlerin oluşması gibi mühim bir çevresel etkisi ile beraber estetik sorunları da devamında getirir (Kapdan ve Kargı, 1998). Kimyasal yapılarından ötürü ışığın suya geçişine engel olurlar buda alıcı ortamda olumsuz etkilere sebep olur (McKay, 1979). Boyar maddelerde bulunan yapay organik pigmentlerin karmaşık kimyasal yapılarından dolayı bakteriyolojik olarak ayrıştırılmaya karşı dirençlilik gösterirler (Banat ve diğ., 1996). Bazı azoik boyalar anaerobik parçalanmaya uğramasına rağmen parçalanma esnasında aromatik aminler oluştuğundan ötürü çevre üzerine epeyce zararlı etkiler oluşturabilmektedir (Brown ve Devitoli, 1993).

1.4. Tekstil Endüstrisi Atıksularından Boyar Madde Giderim Yöntemleri

Boyar madde ihtiva eden atıksulardan renk giderimi amacıyla kullanılan kesin bir metot yoktur. Atıksuyun türüne göre kullanılacak metot da değişiklik göstermektedir. Bu metotlar kimyasal, fiziksel ve biyolojik metotlar olarak sıralanabilir.

Her bir boyanın giderim teknikleri ve ekonomik uygulanabilirliği türlü faktörlere bağlıdır. Bunlar;

- Boyanın tipi
- Atıksu içeriği
- Gerekli kimyasal maddelerin dozu ve maliyeti
- İşletme maliyeti (enerji ve malzeme)
- Üretilen atığın giderim maliyeti ve bu atığın çevresel etkisidir (Van der Zee, 2002).

Tekstil endüstrisi atıksularının hacmini ve kirlilik yükünü azaltacak tesis içi önlemler alınabilmesi mümkün olabilmektedir. Temiz çalışma, kapalı devre kontrolü, geri kazanma ve benzeri metotlarla atıkların miktarının azaltılabilmesi mümkündür (Vandevivere ve ark., 1998).

1.4.1. Fiziksel Yöntemler

1.4.1.1. Adsorpsiyon İle Renk Giderimi

Adsorpsiyon teknikleri sıradan yöntemler için fazla kararlı olan kirleticilerin giderimindeki verimlilikten ötürü son yıllarda ilgi görmektedir. Adsorpsiyon prosesi; boya/solvent etkileşimi, adsorbanın yüzey alanı, tanecik büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresi gibi birçok fizikokimyasal faktörün etkisindedir. Adsorpsiyonla renk giderim çalışmalarında en fazla aktif karbon kullanılmaktadır. Aktif karbonla renk giderimi özellikle asidik, bazik ve dispers

boyalar için etkiliyken, reaktif ve direkt boyalar için daha az bir renk giderimi olmaktadır (Kocaer ve Alkan, 2002).

Silika, kil, şeker kamışı posası, mısır bitkisi, pirinç, uçucu kül, kitin ve bataklık kömürü de tekstil atıksularının renginin gideriminde adsorban olarak kullanılmaktadır. Yüksek adsorbsiyon kapasitesine sahip bu tür adsorbanlarla düşük maliyetli arıtım sağlanabilmesine rağmen kullanılmış adsorban miktarı aşırı yüksek olup ayrıca sudan giderilmeleri epeyce pahalı ve zahmetli olacaktır (Başbüyük ve ark, 1998).

1.4.1.2. Membran Filtrasyon İle Renk Giderimi

Bu metot boyanın devamlı olarak arıtılması, konsantre edilmesi ve en önemlisi atıksudan arıtılmasını mümkün kılan ve en fazla kullanılan fiziksel metotlardan biridir (Kocaer ve Alkan, 2002). Diğer metotlara göre en önemli üstünlüğü sistemin sıcaklığa, beklenmedik bir kimyasal çevreye ve mikrobiyal aktiviteye karşı dirençli olmasıdır (Kocaer ve Alkan, 2002).

Günümüzde ticari amaçlı olarak kullanılan membran sistemleri olarak ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, ters osmoz, gaz ayırma ve elektrodiyaliz sayılabilmektedir (Başbüyük ve ark, 1998).

Membran filtrasyonun arıtmadan çıkan suyun yeniden kullanımı ve bazı boyar maddelerin geri kazanımı gibi avantajları vardır. Fakat membran sistemi kullanıldığında ortaya membranlarda yoğunlaşan maddenin giderilmesi sorunu çıkmaktadır. Bundan ötürü renk gideriminde tek başına kullanılamamaktadır (Cing, 2001).

1.4.1.3. İyon Değişimi İle Renk Giderimi

Boya ihtiva eden atıksuların arıtılmasında iyon değiştiricilerin kullanılması henüz yeterli düzeyde yaygın değildir. Bunun temel nedeni, iyon değiştiricilerle arıtılarak olumlu sonuç alınan boya türünün kısıtlı oluşu düşüncesidir. Metotda, atıksu, mevcut değişim bölgeleri doygunluğa erişene kadar iyon değiştirici

reçineler üzerinden geçer. Böylece, boyarmadde ihtiva eden atıksulardaki hem katyonik, hem de anyonik boyalar ayrıştırılabilmektedir. Metodun avantajları, rejenerasyonla adsorban kaybının bulunmaması, çözücünün kullanıldıktan sonra iyileştirilebilmesi ve çözünebilir boyaların etkin şekilde giderilebilmesidir. En büyük dezavantaj ise şüphesiz medtodun maliyetidir. Organik çözücüler epeyce pahalıdır. Ayrıca iyon değişim yöntemi dispers boyalar için yeterli düzeyde etkili değildir (Robinson ve ark., 2001).

1.4.2. Biyolojik Yöntemler

1.4.2.1. Anaerobik Arıtım İle Renk Giderimi

Boyar maddelerin anaerobik parçalanması, özellikle aerobik ortamda parçalanamayan reaktif azo boyar maddelerde etkili olmaktadır. Anaerobik olarak renk gideriminin gerçekleşebilmesi için fazladan karbon kaynağına gereksinim vardır. Eklenen karbonun metan ve karbondioksit dönüşmesi sonucunda elektronlar ortaya çıkar. Bu elektronlar son elektron alıcısı olarak reaktif boyayı kullanır ve azo bağının indirgenmesini sağlar. Bu işlem oksijenin varlığında gerçekleşmemektedir. Bu sebeple aerobik prosesten önce anaerobik şartlarda azo bağının kırılması sağlanmalıdır (Robinson ve diğ., 2001).

1.4.2.2. Aerobik Arıtım İle Renk Giderimi

Boyar madde ihtiva eden atıksuların aerobik olarak arıtılmasında uygulanan konvansiyonel aktif çamur sistemleri için birçok boya bileşiği biyolojik olarak indirgenmeye karşı dirençlidirler. Atıksuda çözünmüş halde bulunan bazik, direkt ve bazı azo boyar maddeler mikroorganizmalar tarafından indirgenememektedir fakat bakteri üzerine boyar maddelerin bir bölümü adsorbe olup giderilebilmektedir. Ancak bu durum fiziksel bir durumdur. Azo boyar maddelerin mikrobiyal parçalanmaya karşı dirençli olmasının sebebi, renklerinin solmamasına neden olacak şekilde üretilmelerindendir. Böylelikle boyar maddenin ürün üzerindeki kalıcılığı artmış olmaktadır.(Willmott ve diğ., 1998).

1.4.2.3. Biyosorpsiyon

Kimyasal maddelerin mikrobiyal biyokütle tarafından adsorbsiyonu veya kütlede birikimi “biyosorbsiyon” olarak ifade edilebilmektedir. Ölü bakteriler, maya ve mantarlar boyar madde atıksularının renginin yok edilmesinde kullanılabilmektedir. Tekstil boyalarının kimyası geniş bir yelpazede değişiklik gösterdiği için mikroorganizmalarla olan etkileşimler boyanın kimyasına ve mikrobiyal kütlenin kendine özgü kimyasına dayanmaktadır. Bu sebeple kullanılan mikroorganizmaların cinsine ve boyaya bağlı olarak farklı bağlanma hızları ve kapasiteleri söz konusu olmaktadır. Boyar madde ihtiva eden atıksu aşırı toksik olduğu durumlarda biyosorpsiyon avantajlı olmaktadır (Kocaer ve Alkan, 2002).

1.4.3. Kimyasal Yöntemler

Tekstil atıksularının kimyasal metodlarla arıtılması uzun zamanlardan beri en fazla ilgi gören metot olmuştur. Bunun en önemli sebebi, kuşkusuz atıksu kalitesinde meydana gelen değişikliklerin kullanılan kimyasal da veya uygulanan dozda yapılan değişikliklerle kolayca tolere edilebilir olmasıdır (Socha,1991). Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında çoğunlukla kullanılan kimyasal metotlar oksidasyon metotları, kimyasal çöktürme ve flokülasyon metodudur.

1.4.3.1. Kimyasal Yumaklaştırma Ve Çöktürme Yöntemi İle Renk Giderimi

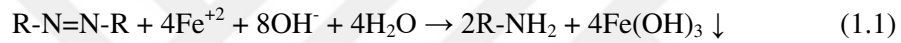
Bu metotta yumaklaşma ve çökelme kimyasal maddelerin desteğiyle gerçekleştirilmektedir. Atıksuya eklenen kimyasal maddeler yardımıyla meydana gelen yumaklaşma ile çözünmüş maddeler ve kolloidler yok edilebilmektedir. Bu metottan iyi bir sonuç alabilmek amacıyla etkili koagülant maddenin kullanılması mühimdir. Bu metotta genel olarak kullanılan kimyasal maddeler arasında $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $FeSO_4$ ve kireç sayılabilmektedir (Adak ve ark., 2005).

Yumaklaştırma ve çöktürme metodunun dezavantajı atık çamur oluşmasıdır. Oluşan çamurun giderim sorunu arıtma maliyetinin artmasına sebep

olacağından bu gibi problemlerle karşılaşmamak için koagülant olarak inorganik tuzlar yerine polielektrolit kullanılabilir.

Boyarmaddeler çöktürme sırasında flokların içinde tutularak veya metal hidroksitlere bağlanarak çökmektedirler. Metal hidroksitler hem çöktürücü hem de koagülant olarak etki ederler. Sıcaklık, pH, tuz konsantrasyonu, boyarmadde türü ve konsantrasyonu renk giderimine etki eden parametrelerdir.

Azo boyarmaddelerin renginin gideriminde genelde Fe(II) tuzları ve kireç kullanılmaktadır. Neticede CaCO_3 ve $\text{Fe}(\text{OH})_2$ oluşmakta ve azo boyarmaddelerin redüktif bölünmesi meydana gelmektedir. Fe(III), $\text{Fe}(\text{OH})_3$ şeklinde eşitlik 1.1'deki gibi çökelmektedir (Acarbabacan, 2002).



Yumaklaştırma ve çöktürme ile verimli bir şekilde renk giderilmesine rağmen bu yöntemin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar;

- Renk giderimi için en uygun koagülant dozajı belirlenmelidir.
- Koagülant miktarının fazla kullanılması halinde büyük miktarlarda atık çamur oluşmakta aynı zamanda kimyasal madde kullanımı maliyeti arttırmaktadır.
- Dispers boyaların renginin giderilebilmesine karşılık çözünmüş haldeki boyarmaddelerin gideriminde yeterli olmamaktadır.
- Katyonik yumaklaştırıcıların fazla kullanılması amonyak konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır (Acarbabacan, 2002).

1.4.3.2. Kimyasal Oksidasyon İle Renk Giderimi

Kimyasal oksidasyon prosesi, kimyasal maddeler arasında elektron transferine dayanmaktadır. Bu proses indirgenme yükseltgenme prosesi olarak da

adlandırılmaktadır. Kimyasal oksidasyonun amacı, su içerisinde bulunan bir maddenin kimyasal olarak oksitlenerek kararsız son ürünlere dönüştürülmesini sağlamaktır. Tekstil endüstrisi atıksularında renk giderilmesi için kullanılan en yaygın ve etkin yöntemlerden biridir. Kimyasal oksidasyon, serbest veya bir bileşik yapısında bulunan bir elementin oksidasyon düzeyinin yükseltilmesi ile sağlanır. Oksidasyona uğrayan elementi içeren bileşiğe, oksitlenmiş bileşik denir. Bir element veya bileşiğin oksidasyonu biyolojik süreçler içinde oluyor ise bu oksidasyon türü biyolojik oksidasyon olarak adlandırılır. Endüstride kullanılan en yaygın oksitleyicilerin oksidasyon potansiyelleri Çizelge 1.1’de verilmiştir (Acarbabacan, 2002).

Çizelge 1.1. Oksitleyicilerin Oksidasyon Potansiyelleri

Tür	Oksidasyon Potansiyeli (V)
Hidroksil serbest radikali	2,80
Ozon	1,07
Hidrojen peroksit	1,76
Permanganat	1,68
Hipoklorik asit	1,49
Klor	1,36
Hipobromik asit	1,33
Brom	1,07
Klordioksit	0,95
İyot	0,54
Oksijen	0,40

Kimyasal oksidasyonda kullanılan yöntemlerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

1.4.3.2.(1). Ozonlama

Ozonun, oksidasyon gücü çoğu element ve bileşiği yeterli koşullar sağlandığında en yüksek oksidasyon kademesine çıkartmaya yeterlidir. Normal şartlarda gaz halinde bulunmaktadır. Kararsız bir madde olan ozon havanın oksijeninden elde edilmektedir. Ozonun sulara oksitleme gücü sıcaklığına, pH'ına, kısmi basıncına ve reaksiyon süresine bağlıdır. Ozon organik maddelerdeki karbon bağlarını kolayca parçalar, aromatik halkayı kırar. Bazı organik maddeleri kısmen parçalar ve reaksiyon ürünleri ozonla daha fazla okside olmaz. Buna karşın birçok oksidasyon ürününü, başlangıç maddelerine göre biyolojik olarak daha kolay bir şekilde ayrıştırılabilmektedir.

Boyarmaddelere uygulanacak ozon dozajı, renk konsantrasyonuna bağlıdır. Boyarmadde ihtiva eden atıksuların ozonlanmasında hız sınırlayıcı basamak ozonun gaz fazından atıksuya olan kütle transferidir. Azo boyarmadde ihtiva eden atıksuların ozonlama metoduyla arıtıldığı bir çalışmada ozon transfer hızının, başlangıç boya konsantrasyonuna, uygulanan ozon miktarı ve sıcaklık derecesine bağlı olarak arttığı belirtilmiştir (Wu ve Wang, 2001).

Ozonunun yarı ömrünün kısa oluşu (tipik olarak 20 dakika) ozonlamanın en büyük dezavantajıdır. Alkali şartlar altında ozonun bozunması hız kazandığı için atıksuyun pH'ı dikkatli bir şekilde izlenmelidir. Ozonlama metodunun diğer bir dezavantajı ise kısa yarı ömrüne bağlı olarak ozonlamanın sürekli olması gerekliliği ve yüksek maliyetli olmasıdır (Robinson ve ark., 2001). Ozon, tekstil atıksularının arıtılmasında uygun bir arıtma yöntemi olmakla beraber aşırı pahalı bir arıtma yöntemidir. Özellikle tekstil endüstrisi atıksularının hacminin yüksek olduğu göz önüne alındığında, sistemin gerek ilk yatırım ve gerekse işletme maliyetinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

1.4.3.2.(2). Klor

Su ve atıksu oksidasyonunda en yaygın olarak kullanılan maddelerden birisi de klorlamadır. Hem dezenfektan hem de yükseltgendir. Ancak, gerekli olan

miktarının genellikle yüksek olması, klorun zaten yüksek olan zehirli bileşik oluşturma potansiyelini daha da arttırmaktadır. Diğer taraftan yüksek miktarlarda klor kullanımı maliyeti de arttırmaktadır. Bu sebeple klorlama daha çok arıtılmış atıksulardaki kalıntı rengin giderilmesi amacı ile kullanılmaktadır. Klor ile boyar maddelerdeki amino grupları elektrofilik olarak saldırıya uğrar ve bunun sonucunda azo bağlarının parçalanması hızlanmaktadır (Robinson ve ark., 2001).

1.4.3.2.(3). Oksijen

En yaygın ve ekonomik oksidasyon yöntemidir. Daha çok havalandırma prosesi ile gerçekleşmektedir. Atıksu hava ile temas ettirilerek, oksijen miktarının atıksu içinde çözünmesi sağlanır.

1.4.3.2.(4). Sodyum Hipoklorit (NaHClO) İle Renk Giderimi

Renkli atıksuların kimyasal oksidasyonu klorlu bileşiklerle de mümkün olmaktadır. Bu yöntem, Cl^- ile boya molekülünün amino grubuna etki eder ve azo bağının kırılmasını sağlar. Klor konsantrasyonundaki artış ile renk giderimi de artmaktadır. Sodyum hipoklorit ile renk giderimi asit ve direkt boyalar için olumlu neticeler vermektedir. Reaktif boyaların arıtımı için ise daha uzun zamana gereksinim duyulmaktadır. Metal kompleks boya çözeltileri arıtmadan sonra kısmen renkli kalırken, dispers boya çözeltilerinde NaOCl ile renk giderimi gerçekleşmemektedir (Slokar ve Marechal, 1998). NaHClO kullanılarak renk giderme çalışmalarında yüksek giderme verimleri elde edilmesine rağmen kanserojenik etkisi olan klorlu bileşiklerin oluşması bu yöntemin en önemli dezavantajıdır.

1.4.3.2.(5). Elektrokimyasal Yöntem İle Renk Giderimi

Bu yöntem 1990'ların ortalarından itibaren renk giderim çalışmalarında kullanılmaya başlanılmıştır. Bu yöntemde kimyasal bir reaktif yerine reaksiyona girmeyen bir elektrot aracılığı ile elektron transferi sağlanarak atıksudan rengin

yükseltgenme ya da indirgenme reaksiyonları ile parçalanması temeline dayanmaktadır (Naumczyk ve Szpyrkowicz, 1996).

Anot yüzeyinde gerçekleşen “doğrudan yükseltgenme”, anotta oluşturulan uygun yükseltgeyiciler ile (klor, hipoklorit, peroksit, ozon, fenton reaktifi) ana çözeltide gerçekleşen “dolaylı yükseltgenme”dir. Doğrudan yükseltgenmede organik maddelerin elektrokimyasal yükseltgenmesi, suyun oksijen üretmek üzere parçalandığı potansiyel bölgesinde oluşur. Oksijen oluşumu için ilk adım suyun anodik olarak parçalanarak organik kirleticilerin parçalanmasında önemli derecede rol oynayan adsorbe olmuş hidroksil radikallerinin oluşmasıdır. Dolaylı yükseltgenmede elektrokimyasal olarak üretilen en yaygın yükseltgeyici klor ve hipoklorittir. Kimyasal madde tüketiminin hiç olmaması veya çok az olması, çamur oluşumunun söz konusu olmaması bu yöntemin avantajlarıdır. Organik madde kökenli rengin arıtılmasında oldukça etkilidir. Kullanılan elektrik maliyeti diğer yöntemlerde kullanılan reaktiflerin maliyetiyle kıyaslanabilir orandadır.

Bu teknoloji renk, KOİ, TOK, AKM ve ağır metallerin tekstil atıksularından gideriminde kullanılmakla birlikte bu sistem kullanıldığında mutlaka başka bir konvansiyonel prosesle birlikte kullanılmalıdır.

1.4.3.2.(6). Fenton Prosesi İle Renk Giderimi

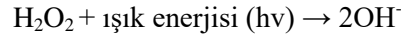
Fenton oksidasyonunun (H_2O_2/Fe^{+2}) atıksu arıtımında kullanılması, yüksek derecede oksitleyici özelliğe sahip olan hidroksil radikallerinin ($OH^\cdot$) oluşumuna dayanmaktadır. Fenton oksidasyonu ile oluşan hidroksil radikallerinin alkol, eter, boya, klorlu bileşikler, pestisit ve aromatik bileşikler ile hızlı ve etkili bir şekilde tepkimeye girmektedir. Fenton arıtımı, oksidasyon ve koagülasyonun birleştirmiş olma avantajına sahiptir. Bu metot atıksuda bulunan kirleticilerin oksidasyon yolu ile arıtımının yanı sıra koagülasyon yolu ile de ikinci bir arıtımı da sağlamaktadır. Fenton reaksiyonu asidik ortamda Fe^{+2} 'nin hidrojen peroksit ile etkileşmesidir. Asidik ortamda gerçekleşen bu reaksiyon sonucunda $OH^\cdot$ radikalleri oluşmaktadır. Bu oksidant ile organik maddeler CO_2 ve H_2O 'ya yükseltgenir. Bu reaksiyon

sırasında Fe(II)'nin büyük bir kısmı Fe(III)'e oksitlenmekte ve sonra nötrleştirmede pH=7-8'e getirilerek Fe(OH)₃ olarak çökmektedir. Böylece ilk aşamada oksidasyon yapılırken ikinci aşamada koagülasyon yoluyla ikinci bir arıtım sağlanmış olmaktadır.

Fenton prosesi uygulaması kolay, ilk yatırım maliyeti az, yüksek oranda KOİ giderimi, yüksek oranda organik madde ayrıştırılabilmesi bakımından etkili bir prosestir. Bunun yanında oluşan çamurların bertaraf edilmesi, ilave kimyasal madde gereksinimi, tuz oluşumu, potansiyel korozyon problemleri gibi dezavantajları bulunmaktadır.

1.4.3.2.(7). Fotokimyasal Yöntem İle Renk Giderimi

Fotokimyasal metot boya moleküllerini, hidrojen peroksit varlığında UV radyasyonu ile CO₂ ve H₂O'ya dönüştürmektedir. Parçalanma yüksek konsantrasyonlardaki hidroksit radikallerinin oluşmasıyla meydana gelmektedir. Yani, UV ışığı hidrojen peroksidi aktive ederek iki hidroksil radikaline parçalanmasını sağlamaktadır.



Böylelikle organik maddelerin kimyasal oksidasyonu gerçekleşmektedir.

Fotokimyasal metotlarda UV radyasyonu genel olarak civa ark lambaları ile sağlanmaktadır. Bu yöntemde boyarmaddenin giderim hızı, UV radyasyonun şiddetine, pH'a, boyarmaddenin yapısına ve boya banyosunun kompozisyonuna bağlıdır (Robinson ve ark., 2001).

Genel olarak, pH 7'de, UV radyasyon şiddeti yüksek olduğunda ve boya banyosu yükseltgenme potansiyeli peroksitten büyük olan başka oksitleyici maddeler içermediğinde, renk giderimi verimli olmaktadır (Slokar ve Marechal, 1998). Boyarmadde ihtiva eden atıksuların fotokimyasal yöntemlerle arıtılmasının

en önemli avantajı atık çamur oluşmaması ve kötü kokulara sebep olan organik maddelerin önemli miktarda giderilmesidir.

1.4.3.2.(8). Hidrojen Peroksit (H_2O_2) İle Renk Giderimi

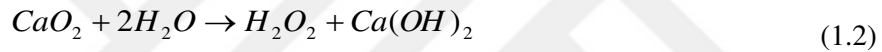
Hidrojen peroksit, suda çözünen ve sulu çözeltide oldukça kararlı olan bir bileşiktir. Oksidasyon gücü çok yüksek ve elde edilmesi kolaydır. Demirin oksidasyonunda, klor giderilmesinde, çeşitli organik maddelerin oksidasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoğunlukla asidik veya bazik pH'ların her ikisinde de kullanılabilir.

Oksidasyon için yüksek basınç ve sıcaklık gibi gerekli şartlar sağlandığında H_2O_2 kolayca bozunur ve organik maddeyi parçalar. Ancak tek başına kullanıldığında yüksek bir renk giderimi elde edilmez. Nötr pH değerlerinde, H_2O_2 ile yapılan renk giderim çalışmalarında herhangi bir renk giderimi gözlemlenememiştir. Belirgin bir renk giderimi ancak pH 12'de H_2O_2 ile 24 saatten sonra elde edilebilmiştir (Davis ve ark., 1982). Hidrojen peroksit ile ozon beraber kullanıldığında renk giderim hızı artmaktadır. H_2O_2/O_3 kombinasyonu ile renk giderimi direkt, metal kompleks ve mavi dispers boyarmaddeler için etkili bir giderim sağlamaktadır.

Hidrojen peroksit ve UV ışınlatma kullanılarak Reaktif Siyah 5 boyasının arıtıldığı bir çalışmada artan ışınlatma zamanında ve 24,5 mmol/l H_2O_2 konsantrasyonunda %99,6 oranında renk giderimi elde edilmiştir. Bu yöntemde, H_2O_2 UV ışığı ile katalizlenmektedir. H_2O_2 /UV arıtımını etkileyen faktörler; H_2O_2 konsantrasyonu, UV ışığının yoğunluğu, pH, boyarmadde yapısı ve boya banyosu kompozisyonudur. Genellikle yüksek yoğunluklu UV ışığında, pH 7'de farklı boya sınıfları için değişik optimum H_2O_2 konsantrasyonu ve peroksit konsantrasyonu bulunmaktadır (Acarbabacan, 2002).

1.4.3.2.(9). Kalsiyum Peroksit (CaO₂) İle Renk Giderimi

Kalsiyum peroksit (CaO₂), organik kirleticilerin arıtılması için 2,01 V redoks potansiyeline sahip güçlü bir oksitleyici ajan olarak kullanılabilen yenilikçi bir oksidandır. Geleneksel oksitleyici maddelerle karşılaştırıldığında CaO₂, uzun ömür, kolay taşıma, yüksek stabilite, saflık, kolay üretim ve düşük maliyet gibi avantajları ile öne çıkmaktadır. CaO₂, yüksek enerji seviyesinde kovalent peroksit bağına sahiptir ve aynı zamanda katı bir H₂O₂ formu olarak da bilinmektedir. Stokiyometrik denkleme göre (Eşitlik 1.2) CaO₂, maksimum 0,47 g H₂O₂/g CaO₂ açığa çıkarmaktadır (Yajie ve ark., 2015). CaO₂ sulu ortamda yavaşça oksijen ve H₂O₂ salgılar ve H₂O₂, OH •, HO₂ • ve • O₂ (Eşitlik 1.3-1.4-1.5-1.6) dahil olmak üzere O₂ ve oksitleyici radikal türleri oluşturmaktadır.



CaO₂ suda hemen hemen çözünmez olduğundan, doğrudan kirli suya enjekte edilebilmektedir. Ayrıca CaO₂, mikroorganizmalara oksijen sağladığı için su ortamında biyolojik bozunmayı teşvik etmektedir. Çalışmalar, CaO₂'nin su kütlelerinde çözünmüş oksijen konsantrasyonunu ve ORP seviyesini artırabildiğini göstermiştir (Wang ve ark., 2019). H₂O₂'nin ömrü kısadır, bu nedenle CaO₂,

oksitleyici radikallerin kontrollü salınımı nedeniyle organik kirleticilerin oksidasyonu için doğrudan H_2O_2 kullanımından daha uygundur. Kalsiyum biyolojik yaşam için gerekli bir metaldir. CaO_2 ve oksitleri diğer metal oksitlere kıyasla daha güvenlidir (Qiuxiang ve ark., 2020; Hamid ve ark., 2019; Shuguang ve ark., 2017). CaO_2 oksitleyici radikallerin hızlı üretimi için ayrı ayrı veya Fe^{+2} , Fe^{+3} , UV gibi aktivatörlerle birlikte kullanılabilir. (Yong ve ark., 2020; Weiwei ve ark., 2020; Gang ve ark., 2020). Bununla birlikte, demir iyonları için demir çamuru üretimi ve UV aktivatörü için artan maliyet, CaO_2 'nin aktivatörlerle kullanılmasının dezavantajlarıdır. Literatürde CaO_2 bazlı tekstil boyası giderimi üzerine sadece üç çalışmaya ulaşılmıştır. Alam ve ark. Asit Mavisi 161'in sulu çözeltiden giderilmesi için CaO_2 / Fe^{+2} kullanmıştır. Lu ve ark., boya içeren tekstil atıksularının arıtılması için $CaO_2 / H^+ / Fe^{+2}$ teknolojisini araştırmıştır. (Alam ve ark., 2015; Lu ve ark., 2014). CaO_2 ile oksitleyici radikal salınımını artırmak için demir iyonu kullanmıştır. Yukarıda bahsedildiği üzere demir iyonlarının aktivatör olarak kullanımı, ağır metal kirliliğine ve çamur oluşumuna neden olabileceği için çevre dostu bir uygulama açısından sınırlıdır. Malakootian ve Honarmandrad, Reaktif Mavi 19 boyasının giderimi için O_3 ve CaO_2 kombinasyonunu incelemiştir (Malakootian ve Honarmandrad, 2018). O_3 ve CaO_2 'nin sinerjik etkisi yüksek giderim oranları sağlayabilmektedir. Öte yandan ozon, atıksu arıtma maliyetlerinde ciddi bir artışa neden olmaktadır. Kalsiyum peroksitin endüstriyel atıksu arıtımında tek başına kullanılması uygun maliyetli ve çevre dostu bir yöntem olma potansiyeli taşımaktadır. Ciddi literatür eksikliği, boya içeren tekstil atıksularının arıtılmasında CaO_2 kullanımının kapsamlı bir şekilde araştırılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Boyar madde oksidasyonuna dayalı çalışmalar, oksidan ve boya molekülleri arasındaki spesifik etkileşimi anlamak için genellikle sulu çözelti (Boya + Distile su) ile gerçekleştirilmektedir. (Tong ve ark., 2021; Irudhaya ve Adhishi, 2021; Mingqing ve ark., 2021; Qiuyue ve ark., 2021; Antonis ve ark., 2021; Giuseppina ve ark., 2020; Mathew ve ark., 2020; Deshannavar ve ark., 2020; Xinxin ve ark., 2020; Arshad ve ark., 2020; Ahad ve ark., 2020; Krishna ve

Siddhartha, 2020). Öte yandan, tekstil üretimi karmaşık bir süreçtir ve tekstil atıksuları tuzlar, organik ve inorganik yardımcı kimyasallar gibi birçok safsızlık içerebilmektedir. (Kuleyin ve ark., 2021; Hongjie ve ark., 2020). Bu çalışmalardan elde edilen yüksek renk giderim verimleri pratik uygulamalarda tekstil atıksuyunda bulunan yardımcı kimyasalların oksidasyonu nedeniyle elde edilememektedir. Bu nedenle, gerçek uygulamalarda oksidan verimini tahmin etmek için boya oksidasyon çalışmalarında stabil ve gerçeğe yakın simüle edilmiş tekstil atıksuyunun (STA) hazırlanması büyük önem taşımaktadır.





2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Boyar maddelerin sentetik tekstil atıksularından giderimi ile ilgili literatür bilgisine bakıldığında çalışmaların genellikle kimyasal oksidasyona dayandığı görülmektedir. Aşağıda bu çalışmaların bazıları özet olarak verilmiştir.

Gholami ve ark., (2018) sentezlenmiş kalsiyum peroksit (CaO_2) nanopartiküllerinin yeraltı sularından geçirgen reaktif bariyer (PRB) ile naftalin biyoremediasyon için uygulanabilirliği araştırmışlardır. Kesikli deneylere göre, 400 mg/L CaO_2 nanopartiküllerinin uygulanması, naftalin (20 mg/L) biyoremediasyon için optimum konsantrasyonda, çevre koşullarının nanopartiküllerin stabilitesi üzerindeki etkisi, başlangıçtaki pH ve sıcaklığın CaO_2 'nin stabilitesi ve oksijen salma potansiyeli üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Başlangıç pH'ını 3'ten 12'ye çıkararak, çözünmüş oksijeni 4'ten 13,6 mg/L'ye yükseltip ve nanopartiküllerin stabilitesinin 70 gün civarında önemli ölçüde iyileştirildiğini saptamışlardır. Ayrıca, sıcaklığı 4'ten 30°C'ye çıkartarak CaO_2 'nin stabilitesini 120'den 30 güne düşürmüşlerdir. Sürekli akış deneyleriyle, naftalinle kirlenmiş yeraltı suyunun, 50 gün içinde kolonun etkinliğiyle CaO_2 nanopartiküllerinin ve mikroorganizmaların varlığında tamamen biyolojik olarak iyileştirildiğini ortaya çıkarmışlardır. Kirlenici maddenin doğal olarak iyileştirilmesi sonucunda (350 gün) %19,7 giderim sağlamışlardır.

Lu ve ark., (2017) çalışmalarında, atıksu arıtımı, yüzey suyu restorasyonu ve yeraltı suyu ve toprak ıslahı dahil olmak üzere, su ve toprak arıtmada CaO_2 uygulamalarındaki en son gelişmelere odaklanmışlardır. CaO_2 'nin stabilitesi, su ve topraktaki kirlenici maddelerin aerobik biyolojik bozunma ve kimyasal bozunması için H_2O_2 ve O_2 sağlamayı etkili bir katı faz haline getirdiğini söylemişlerdir. CaO_2 'nin boyaların, klorlu hidrokarbonların, petrol hidrokarbonlarının, pestisitlerin, ağır metallerin ve çeşitli diğer kirlenicilerin gideriminde büyük performans gösterdiğini söylemişlerdir. CaO_2 'nin diğer malzemelerle kapsülleme

teknolojilerindeki araştırma ilerlemesi ve CaO_2 nanopartiküllerinin hazırlanmasını da bu çalışmalarında sunmuşlardır.

Davis ve ark., (1982) hidrojen peroksit ile tekstil atıksularını oksitlediklerinde, nötral pH değerlerinde rengin giderilmediğini ancak 24 saat sonunda, bazik koşullarda ($\text{pH}=12$) yüksek verim saptamışlardır.

Kabdaşlı ve ark., (1995) akrilik boyama atıksularında ham ve biyolojik arıtılmış atıksular için asit ve alkali pH değerlerinde hidrojen peroksidin verimli olmadığını göstermişlerdir.

Fenton (1984), asidik şartlar altında Fe (II) tuzları ve hidrojen peroksit arasındaki reaksiyonu açıklayarak, reaksiyon sonucu oluşan OH radikalleri ile renk gideriminde kullanılacak uygun prosesi belirtmiştir.

Demircanlı (1995), kireç (kalsiyum oksit), alüminyum sülfat ve kalsiyum hidroksit, demir (III) klorür ve kalsiyum hidroksit, demir (III) sülfat ve kalsiyum hidroksit, genleştirilmiş ve öğütülmüş perlit, modifiye perlit, pH değişimi, Fenton reaktifleri, hidrojen peroksit ve ultraviyole ışık kaynağı, Fenton reaktifleri ve ultraviyole ışık kaynağı ile renk giderme çalışmaları yapmıştır. Renksizleştirmede ultraviyole ışığın etkili olmadığı, Fenton reaktifleri ve kirecin etkili olduğu görülmüştür.

Azbar ve ark. (2004), polyester ve asetat elyaf boyama atıksularından renk ve KOİ gidermek için çeşitli ileri oksidasyon yöntemleri (O_3 , O_3/UV , $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, $\text{Fe}^{+2}\text{H}_2\text{O}_2$) ile kimyasal arıtma metodlarını ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, FeCl_3 ve FeSO_4) kıyaslamışlardır. İleri oksidasyon proseslerinin, konvansiyonel kimyasal arıtma metodlarına göre çok daha üstün olduğu sonucuna varmışlardır. $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ kombinasyonunun diğer ileri arıtma proseslerine göre daha etkili olduğunu (KOİ gideriminde %99, renk gideriminde %96) belirterek, $\text{Fe}^{+2}\text{H}_2\text{O}_2$ 'nin KOİ ve renk gideriminde memnun edici seviyelerde ve asetat elyaf boyama atıksularından renk ve KOİ gidermede $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ 'e göre daha ekonomik çözüm olduğunu belirtmişlerdir.

Yoon ve ark. (2014), Wonju/Kore bölgesinde bulunan bir domuz çiftliğinden aldıkları atıksuya filtrasyon sonrası renk giderimi için ileri oksidasyon yöntemlerinde kullanılan sadece ozon (O_3) ve ozon-hidrojen peroksit (Perokzon- O_3/H_2O_2) kombinasyonunu uygulayarak bu maddelerin renk giderimindeki etkilerini karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, ozon (O_3) uygulamasının nanafiltrasyondan sonra daha etkili, perokzon (O_3/H_2O_2) uygulamasının ise ultrafiltrasyondan sonra daha etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca ozonun (O_3) ve perokzonun (O_3/H_2O_2) renk giderimi açısından yatırım ve işletme maliyetlerinin ters ozmoz prosesleriyle kıyaslandığında iki uygulamanın da maliyetlerinin daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Sun ve ark. (2007), su ortamındaki Azo Amido Black 10B boyar maddesinin fenton prosesi ile bozunumunu araştırmışlardır. pH, hidrojenperoksit konsantrasyonu ($[H_2O_2]$), demir konsantrasyonu ($[Fe^{2+}]$), Amido Black 10B konsantrasyonu ($[AB10B]$) ve sıcaklık (T) gibi farklı reaksiyon parametrelerinin bozunumdaki etkilerini değerlendirmişlerdir. Deneysel olarak optimum reaksiyon şartları belirlenmiştir : $[AB10B]$: 50 mg/L için; pH : 3,50, $[H_2O_2]$: 0,50 mM, $[Fe^{2+}]$: 0,025 mM ve T: 25 °C'dir. Optimum şartlarda ve 60 dakika sonunda sulu ortamdaki boya bozunma verimi %99,25 olarak gerçekleşmiştir. Fenton oksidasyonu işlemi sırasında sulu solüsyonda Amido Black 10B'nin UV spektrum değişimleri incelenmiştir. Fenton oksidasyonu ile azo bağının kırılmasının ($-N=N-$) Amido Black 10B aromatik halkanın kırılmasından daha kolay olduğunu belirtmişlerdir. Deneysel veriler fenton oksidasyonun düşük H_2O_2 ve Fe^{2+} konsantrasyonlarda Azo Amido Black 10B boyar maddesinin bozunumunda etkili olduğunu göstermiştir.

Sun ve ark. (2009), Orange G azo boyasını içeren atıksuyun renk gideriminde kullanılabilecek bir yöntem olan fenton oksidasyon prosesinin uygun maliyetli çalışma koşullarını belirlemek için; atıksuyun pH değeri, H_2O_2 ve Fe^{+2} dozajları, sıcaklığı, klorür iyonunun varlığı (konsantrasyonu)/yokluğu, boyar madde konsantrasyonu gibi bazı önemli işletim parametrelerinin potansiyel etkileri sistematik olarak araştırılmıştır. Ayrıca elde edilen verilere bağlı olarak Orange

G'nin renk giderim kinetiği açık bir şekilde anlatılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre renk giderimi için optimum şartlar: pH 4, H_2O_2 dozajı 10-2 M, $[H_2O_2]/[Fe^{+2}]$ oranı 286:1 olarak bulunmuştur. Sıcaklık artışıyla renk gideriminin arttığı, klorür varlığında renk gideriminin azaldığı belirtilmiştir.

Saatçi ve Hanay (2013), ileri oksidasyon yöntemlerinden olan Elektro-Fenton yöntemini kullanarak biyolojik arıtıma dirençli indigo boyası ihtiva eden tekstil endüstrisi atıksuyunda renk giderimini araştırmışlardır. Bu atıksuda en iyi renk giderimini sağlamak amacıyla sistemde elektriksel akım uygulaması ile farklı pH seviyelerinde, değişen Fe^{+2} konsantrasyonlarında ve farklı H_2O_2 dozajlarında deneyler gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda optimum pH 4'de elde edilen renk giderimini %100 olarak bulmuşlardır. Ayrıca ortama ilave edilen H_2O_2 dozajı optimize edilerek pH 4'de çözünen Fe^{+2} konsantrasyonuna göre $Fe^{+2}: H_2O_2$ molar oranı 1:73 olarak belirlenmiştir.

Hanay ve Hasar (2007), Malatya ilinde bulunan bir tekstil fabrikası atıksuyunu kullanarak fenton prosesi ile renk giderim verimini arttırmak amacıyla; reaksiyon süresi, sıcaklık, Fe^{+2} ve H_2O_2 konsantrasyonu, pH gibi bazı parametrelerin optimum değerlerini araştırmışlardır. Sonuç olarak $[Fe^{+2}]/[H_2O_2]$ M değeri 1:100 olarak tutulduğunda pH 2'de, 4 saatlik reaksiyon süresi ve 10 °C sıcaklığında, 60 mg/L Fe^{+2} ve uygulanan en yüksek H_2O_2 konsantrasyonu olan 8,53 mM ile en iyi renk giderimi sağlamışlardır.

Dehghani ve ark. (2016), atıksulardan metil orange ve metilen mavisinin renk giderimini iyileştirmek için, flotasyon yönteminde kullanılan poli-alüminyum klorür, granül ferrik hidroksit, şap, demir sülfat ile UV/ TiO_2/H_2O_2 ileri oksidasyon yönteminin birlikte uygulanmasını araştırmışlardır. İki adet UV-C (15 W) lamba içeren, 100 mL/dakika akışlı 6 L'lik reaktörü flotasyon tankı olarak kullanmışlardır. pH 10'da, 5 mg/L alüm, 1 g/L TiO_2 , 200 mL H_2O_2 konsantrasyon ve 100 mL/dakika hava akışı ile İOP/flotasyon sürecinde metil orange ve metilen mavisinin giderim verimi, sırasıyla %96-98 ve %90-95 elde edilmiştir. Bu çalışma, flotasyon yönteminin pıhtılaştırıcılarla birlikte sudaki çözünür bileşiklerin

konsantrasyonunun azaltılması ve giderilmesine ilişkin gelişmiş oksidasyon yöntemleriyle kombinasyonunun etkisini ortaya koymuştur.

Bu çalışmalar incelendiğinde ve değerlendirildiğinde açıkça görülüyor ki kalsiyum peroksit arıtma yönünden bakıldığında yüksek verimlere kadar ulaşabilmekte ve umut verici sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.





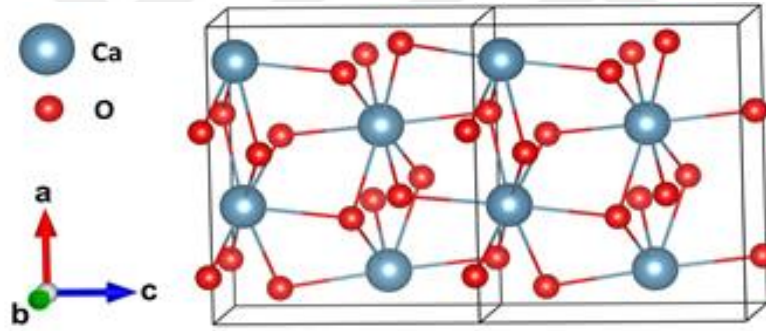
3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada değişken şartlar altında CaO_2 (kalsiyum peroksit) ile RB5 (Reaktif Black 5) boyar maddesinin sentetik tekstil atıksuyundan giderimi araştırılmıştır.

3.1. Materyal

3.1.1. Kalsiyum Peroksit

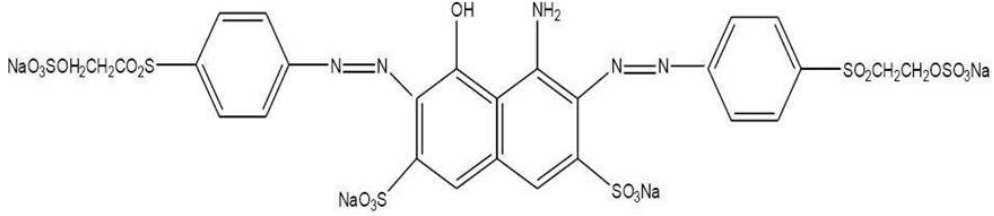
Bu çalışmada Kalsiyum Peroksit (CaO_2) sentezinde Kalsiyum Klorür (CaCl_2), Potasyum Hidroksit (KOH) ve Hidrojen Peroksit (H_2O_2) kimyasalları kullanılmıştır. Tüm kimyasal maddeler analitik saflıkta seçilmiştir.



Şekil 3.1. Genetik Algoritma Araştırmasından Elde Edilen Kalsiyum Peroksitin Kristal Yapısı ([https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/Crystal structure of CaO2.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/Crystal_structure_of_CaO2.jpg))

3.1.2. Reaktif Black 5 (RB5) Boyar Maddesi

Çalışmalarda, adsorbat olarak bir diazo boyar maddesi olan Reaktif Black 5 (RB5) kullanılmıştır. RB5'in molekül yapısı Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.2. Reaktif Black 5 Boyar Maddesinin Molekül Yapısı

3.1.3. Sentetik Tekstil Atıksuyu

Çizelge 3.1’de sentetik tekstil atıksuyu hazırlanırken kullanılan kimyasallar, boyar madde ve tekstil endüstrisinde kullanılan yardımcı kimyasallar listelenmiştir. Çizelgede belirtilen miktarlarda ve konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Bu konsantrasyonlar Adana’daki bir tekstil fabrikasının prosesi baz alınarak hazırlanmıştır. Sentetik tekstil atıksuyu 1 litre hazırlanmıştır. Yapılacak çalışmalarda gerek duyuldukça çizelgede belirtilen miktarlarda ve konsantrasyonlarda tekrar hazırlanmıştır. Hazırlanan sentetik tekstil atıksuyunun pH değeri 7 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 3.1. Sentetik Tekstil Atıksuyu Hazırlanırken Kullanılan Kimyasallar ve Konsantrasyonları

Kimyasal Madde	Açıklama	STA'da Konsantrasyon
Reactive Blue 5	Boya	50-400 mg/L
Modifiye Nişasta	Haşılama Maddesi	1000 mg/L
NaCl	Boyama Destekleyici	2000 mg/L
NaHCO ₃	Boyama Destekleyici, Ph Ayarlayıcı	1000 mg/L
Asetik Asit	Ph Ayarlayıcı	0,11 ml/L
%10 NaOH	Merserizasyon	0,57 ml/L
H ₂ O ₂	Ağartma Maddesi	0,18 ml/L
Stabilol ZM	Sabitleyici	0,6 ml/L
Cottonclarin TR	Islatıcı Madde	0,4 ml/L
Serawet CAS	Hızlı Islatma Maddesi	0,2 ml/L
Perlavin SRD	Sabun Maddesi	0,5 ml/L
Securon 1420	Boyama İçin Kompleks Yapıcı Madde	0,2 ml/L
Locanite CNT	Yıkama Maddesi	60 mg/L
Seragal MIP-O ₂	Boyama Yardımcı Maddesi	125 ppm
Serocon MLU	Boyama Yardımcı Maddesi	50 ppm
Colorfix NF2P	Boyama Yardımcı Maddesi	50 ppm
Setasil KF-1920	Yumuşatıcı Madde	50 ppm
Tubingal MAC	Sanforlama Yardımcı Maddesi	125 ppm
Belsoft 200	Yumuşatıcı Madde	50 ppm

3.2. Metot

3.2.1. CaO₂ Karakterizasyonu

CaO₂'nin morfolojisi Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile araştırılmıştır. CaO₂'nin kristalin fazlar belirlemek için, X-ışını Kırınımı (XRD) analizi 10–90° 'lik 2θ tarama aralığında (PANalytical EMPYREAN XRD) gerçekleştirilmiştir. CaO₂ spesifik yüzey alanı, azot (N₂) gaz adsorpsiyon tekniğine (Quantachrome, Sorptometer 1042) dayalı Brunaure–Emett–Teller (BET) yöntemi ile analiz edilmiştir. CaO₂'nin partikül boyutu dağılımı, düşük açılı lazer ışıkları tekniği (Malvern Panalytical, Mastersizer 3000) ile belirlenmiştir. CaO₂ fonksiyonel gruplarının araştırılması, Fourier Transmisyon Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) (Jasco, FT / IR-6700) ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. CaO₂ Sentezi

CaO₂ aşırı H₂O₂ ile alkali koşullarda çökeltme yöntemi ile sentezlenmiştir. 4 gram kalsiyum klorür (CaCl₂·2H₂O) belirli miktarda damıtılmış su içinde çözülmüş, karışıma 12,5 mL %35 H₂O₂ damlatılarak eklenmiştir. Daha sonra çözeltiye 30 mL (1N) KOH eklenmiştir. Çözeltinin nihai hacmi, damıtılmış su ile 100 mL'ye ayarlanmıştır. Çözelti, sarımsı çökelti elde etmek için 2 saat, 20 ° C'de karıştırılmıştır. Çözeltinin katı fazı santrifüj ile ayrılmıştır. Santrifüjden sonra katı faz, KOH kalıntılarından arındırılmak için birkaç kez damıtılmış su ile yıkanıp ve 80 ° C'de 24 saat kurutulmuştur.



Şekil 3.3. Manyetik Karıştırma İşlemi ve Kurutma İşlemi



Şekil 3.4. Kurutma İşlemi Yapıldıktan Sonra Toz Halindeki CaO_2

3.2.3. RB5 Boyar Maddesinin Sentetik Tekstil Atıksudan Gideriminde Yapılan Kimyasal Oksidasyon Çalışmaları

Çalışmada STA'dan RB5 giderim çalışmaları yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalar ile boyar madde ve CaO_2 arasındaki kimyasal oksidasyon

etkileşimlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Kontrol deneylerinde CaO_2 içermeyen STA'da renk değişimi ölçülerek gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.1. Sentetik Tekstil Atıksuyundan RB5 Giderimine pH'ın Etkisi

Çalışma 150 mL 200 mg/L RB5 ve 0,5 gram CaO_2 sabit dozu 20 °C'de gerçekleştirilmiştir. Kimyasal oksidasyon süreci üzerine pH parametresinin (4, 5, 6, 7, 8, 9) etkisi araştırılmıştır. Belirlenmiş zaman aralıklarında uygun miktarlarda numune alınarak santrifüj edilmiştir. Kalıntı boyar madde konsantrasyonları spektrofotometre ile tayin edilmiştir.

3.2.3.2. Sentetik Tekstil Atıksuyunda Kullanılan CaO_2 Dozunun Boyar madde Giderimine Etkisi

Çalışma 20 °C'de 200 mg/L RB5 içeren 150 ml STA ile gerçekleştirilmiştir. Her birine sırasıyla 0,25, 0,5, 0,75, 1,0, 1,25, 1,5, 1,75, 2,0 gr CaO_2 eklenip belirli aralıklarda 1'er ml numune alınmıştır. Alınan numuneler santrifüj edilmiştir. Kalıntı boyar madde konsantrasyonları spektrofotometre ile tayin edilmiştir.

3.2.3.3. Sentetik Tekstil Atıksuyundaki RB5 Boyar Madde Konsantrasyonunun Kimyasal Oksidasyona Etkisi

5 adet erlene 150 ml STA sırasıyla, 50, 100, 200, 300, 400 mg/L RB5 içerecek şekilde hazırlanmıştır. Her birine 0,5 g CaO_2 eklenmiştir. Belirli aralıklarda 1'er ml numune alınıp santrifüj edilmiştir. Kalıntı boyar madde konsantrasyonları spektrofotometre ile tayin edilmiştir.

3.2.3.4. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Ölçümleri

KOİ analizleri Standart Metotlar 1989, 5220D yöntemine göre yapılmıştır.

3.2.3.4.(1). CaO₂ Miktarının KOİ Giderimine Etkisi

200 mg/L RB5 içeren 150 ml STA alınarak 3 adet erlene koyulmuştur. Sırasıyla her bir erlene 1, g, 1,5 g, 2 g CaO₂ ilave edilmiştir. Belirli aralıklarda numune alınarak KOİ değerleri ölçülmüştür.



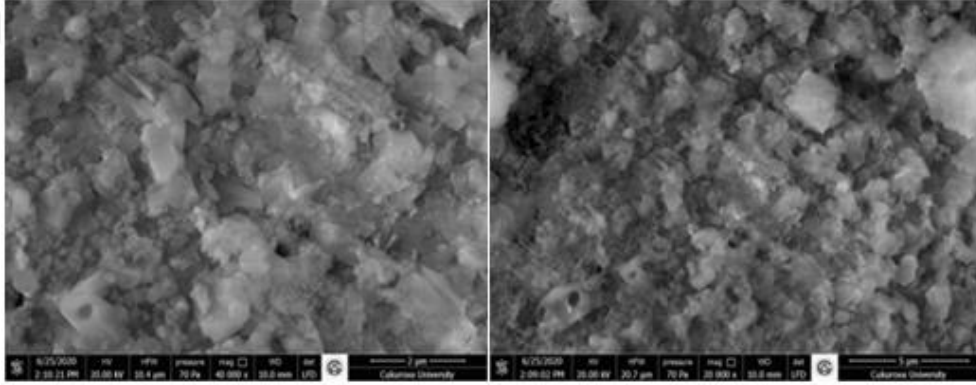


4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. CaO₂'nin Karakterizasyonu

4.1.1. CaO₂ İçin SEM Analizi

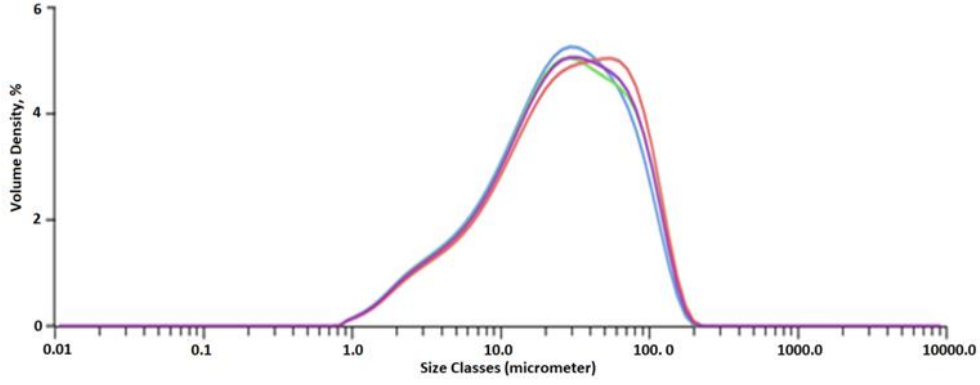
CaO₂'nin morfolojisi SEM ile araştırılmıştır (Şekil 4.1). CaO₂ partiküllerinin genel olarak düzensiz şekillere ve farklı küme yapılarına sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.1. CaO₂'nin SEM Görüntüleri

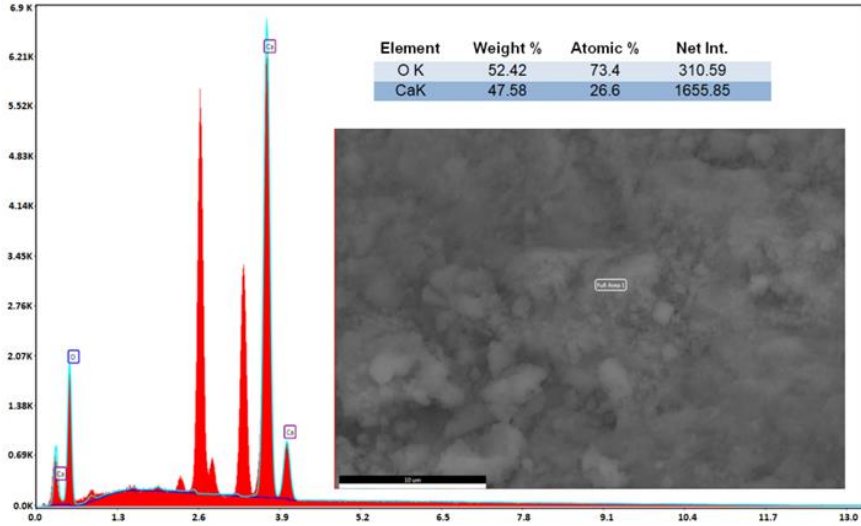
4.1.2. CaO₂ İçin Lazer Tane Boyutu Analizi

Partikül boyutu dağılımı analizi lazer difraktometrisi ile yapılmıştır (Şekil 4.2). CaO₂'nin partikül boyutunun 1 ila 200 mikrometre arasında değiştiği bulunmuştur. Öte yandan CaO₂'nin partikül boyutları çoğunlukla 40 mikrometre civarında olduğu görülmüştür.

Şekil 4.2. CaO_2 'nin Partikül Boyutu Dağılımı

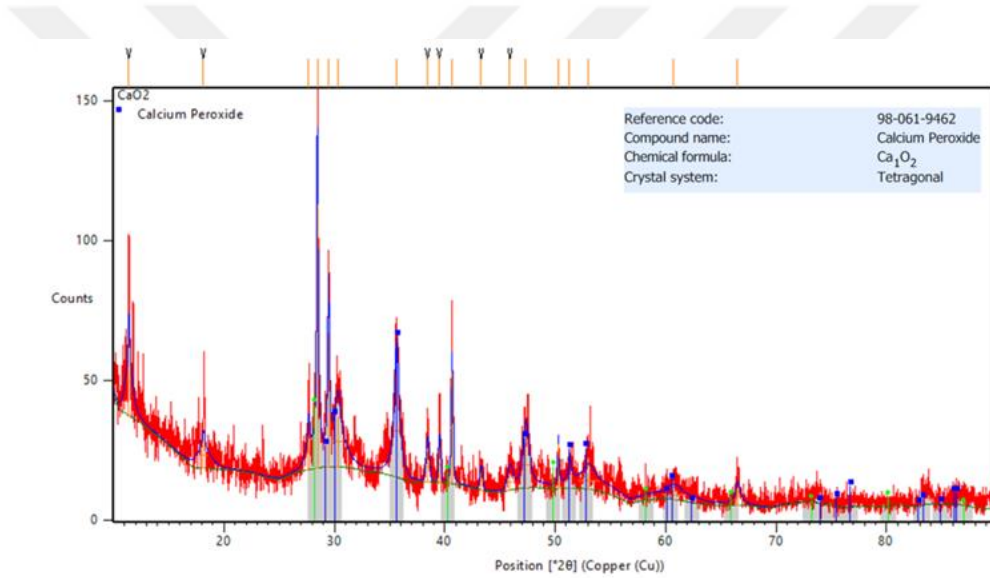
4.1.3. CaO_2 İçin EDX Analizi

CaO_2 'nin temel elementel analizi EDX ile yapılmıştır. Analiz sonucunda Kalsiyum ve Oksijen ile ilgili ana pikler elde edilmiştir. Kalsiyum ve Oksijen ağırlık yüzdeleri sırasıyla 47,58 ve 52,42 olarak bulunmuştur. Şekilde görülen isimsiz keskin pikler analiz öncesi numunenin iletkenliğini ayarlamak için kullanılan kaplama malzemesi olan Au elementine aittir. EDX grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir.

Şekil 4.3. CaO_2 EDX

4.1.4. CaO₂ için XRD Analizi

CaO₂ partiküllerinin kristal yapısı XRD analizi ile incelenmiştir. Tetragonal kristal yapıyla ilgili keskin pikler ($2\theta = 29,2, 30,0, 35,6, 47,2, 51,2, 52,7, 60,6, 76,6^\circ$), CaO₂ molekülü ile güçlü bir şekilde eşleşmiştir (Referans kodu: 98-061-9462) (Şekil 4.4). CaO₂'nin tetragonal kristal yapısı önceki çalışmalarda da bildirilmiştir (Meesam vd., 2020; Meng vd., 2019; Sapana vd., 2016). XRD analizi sonucu, CaO₂'nin bu çalışmadaki üretim prosedürü ile başarıyla elde edildiğini göstermiştir.

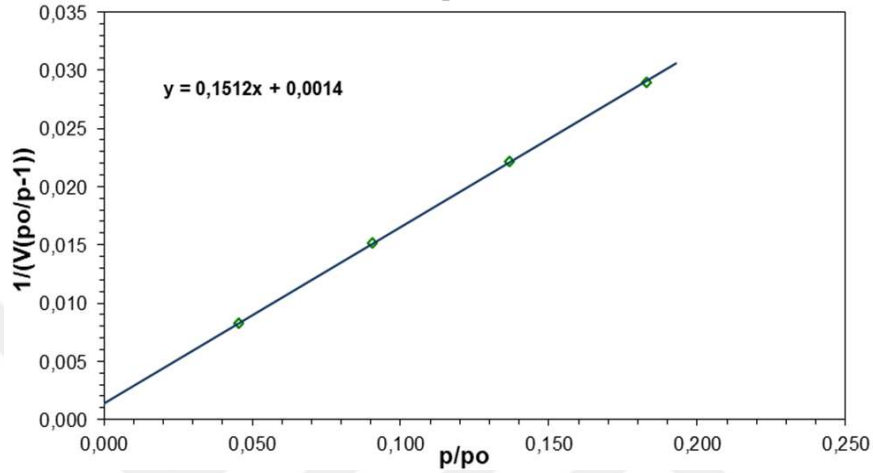


Şekil 4.4. CaO₂'nin XRD Analizi

4.1.5. CaO₂ İçin BET Analizi

CaO₂ partiküllerinin gözenek hacmi ve spesifik yüzey alanı, Brunauer-Emmett-Teller (BET) analizi ile elde edilmiştir. CaO₂'nin spesifik yüzey alanı 28,76 m² / g olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.5). Mikro gözenek hacmi, mikro gözenek alanı ve mikro gözenek dışı alan sırasıyla 0,307 mm³/g, 0,871 m²/g ve 27,895 m²/g olarak belirlenmiştir. CaO₂'nin, orta derecede yüksek bir yüzey

alanına sahip olduğu görülmüştür. Düşük mikro gözenekli yüzey alanı, CaO_2 'nin yüzey yapısının çoğunlukla gözeneksiz olduğunu göstermiştir.

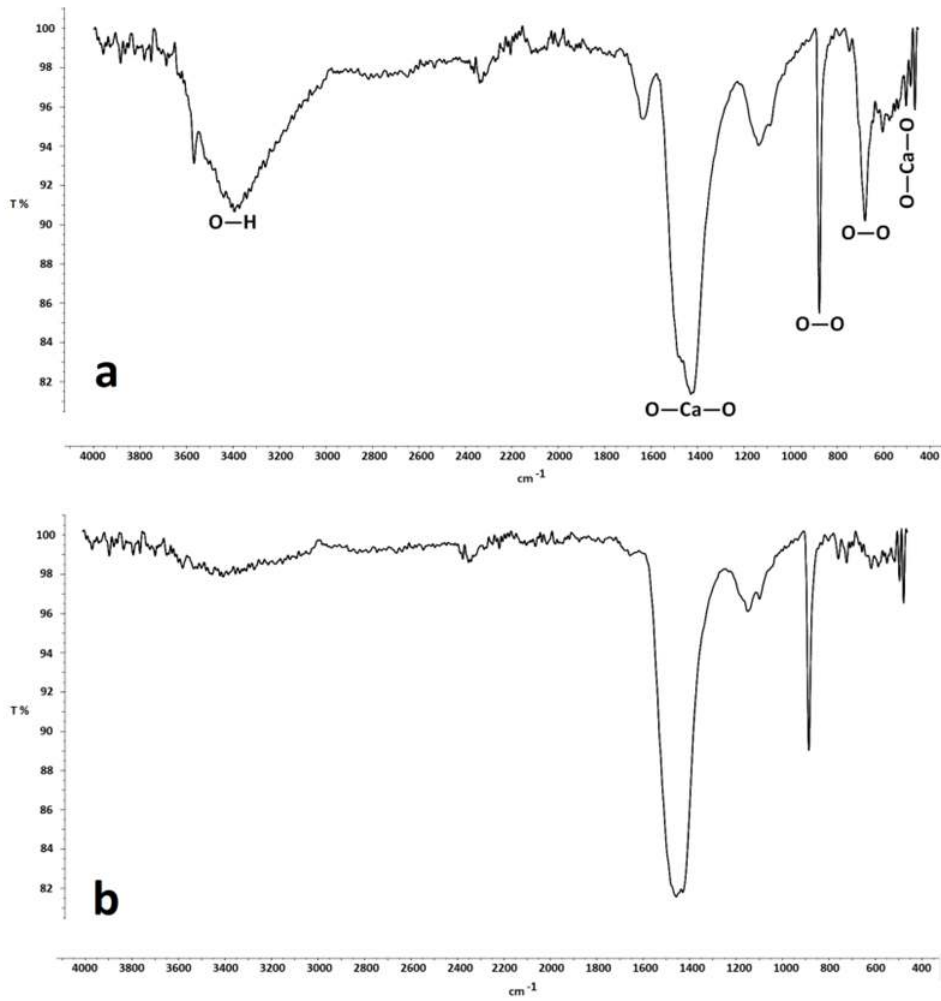


Şekil 4.5. CaO_2 için BET Grafiği

4.1.6. CaO_2 İçin FTIR Analizi

Renk gideriminden önce ve sonra CaO_2 'nin fonksiyonel gruplarının araştırılması FTIR analizi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.6). Renk giderimi öncesi CaO_2 'nin FTIR spektrumunda (Şekil 4.6.(a)), $3000\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen geniş tepe, üretim sırasında su moleküllerinin CaO_2 üzerine adsorpsiyonunun bir sonucu olarak -OH bağının gerilmesiyle ilgilidir. 1200 ve 1600 cm^{-1} arasında ortaya çıkan daha geniş sinyal, O-Ca-O 'nun bükülme titreşimine karşılık gelmektedir (Sajedeh ve diğerleri, 2020; Meesam ve diğerleri, 2020). 873 ve 680 cm^{-1} 'de belirlenen keskin sinyaller, peroksitin O-O germe titreşimine aittir (Şekil 4.6.(a)). Renk gideriminden önce 556 cm^{-1} 'de ortaya çıkan pik, O-Ca-O germe titreşimine aittir (Sajedeh ve diğerleri, 2020; Andrew ve diğerleri, 1996.). Su molekülleri ile ilgili sinyal ($3000\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$) renk gideriminden sonra önemli ölçüde azalmıştır. Renk giderme sırasında CaO_2 'den salınan oksitleyici radikaller ve O_2 'nin, su moleküllerinin CaO_2 yüzeyinden desorpsiyonuna neden olabileceği düşünülmektedir. Renk giderme işleminden sonra, peroksitin O-O germe

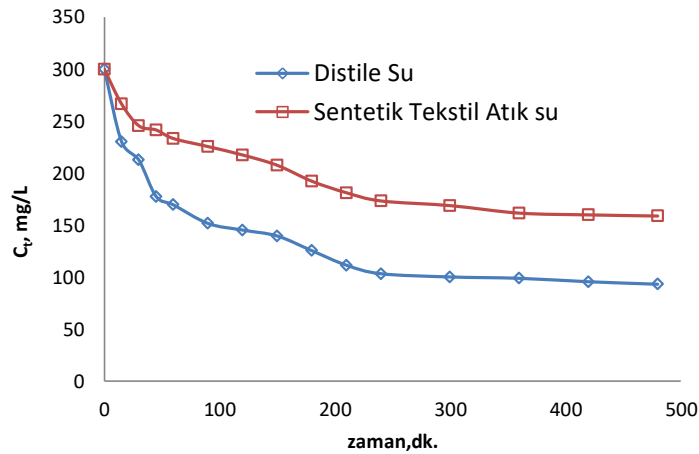
titreşimine (873 ve 680 cm^{-1}) ve O—Ca—O germe titreşimine (556 cm^{-1}) ait olan keskin sinyallerin yoğunluğu RB5 molekülünün bozunması sırasında CaO_2 tüketimi nedeniyle azalmıştır. Renk giderildikten sonra CaO_2 FTIR analizinde boya molekülüyle ilgili bir sinyal tespit edilmemiştir. Bu durum, RB5'in CaO_2 üzerine adsorbe edilmediğini ve renk giderme işleminin boya molekülünün oksitlenmesine dayandığını göstermektedir.



Şekil 4.6. CaO_2 için FTIR (a) Öncesi ve Sonrası (b) Renk Giderimi

4.2. RB5'in Distile Su Ve Atıksu'dan Giderimi

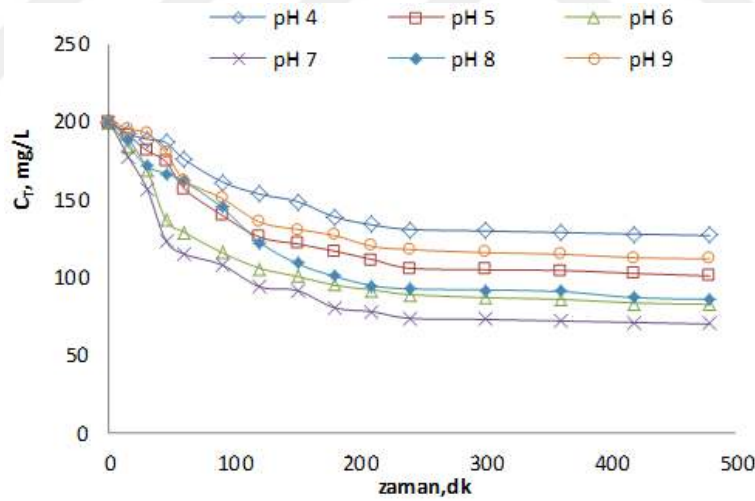
300 mg/L RB5'in distile su ve STA'dan 0,5 g CaO₂ ile giderimine yönelik deneyler pH 7'de gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.7' den görülebileceği gibi, 300 mg/L RB5 distile su ve STA'da sırasıyla 103,3 ve 173,3 mg/L'ye düşmüştür. STA ile düşük boya giderim kapasiteleri, nişasta gibi organik bazlı yardımcı kimyasalların oksidasyonu ile açıklanabilir. Öte yandan, distile suda CaO₂ tarafından sadece boya moleküllerinin parçalanmış daha yüksek giderim verimleri sağlamıştır. Ayrıca atıksu'daki Cl⁻ ve HCO₃⁻ anyonları, boya giderme veriminde azalmaya neden olmuştur. • Cl₂ radikali, Cl'nin OH ile reaksiyonu sonucu oluşmakta ve • Cl₂'nin oksidasyon potansiyeli OH•'den düşüktür (Canlan ve diğerleri, 2020; Ai ve diğerleri, 2018). HCO₃⁻ ve OH reaksiyonu •HCO₃ oluşturarak düşük boya giderim verimlerine neden olabilmektedir (Yajie vd., 2016; Xiang vd., 2015). Sonuçlar, STA'daki yardımcı kimsalların renk giderme veriminde azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Distile sudan ve STA'dan boya giderme deneyleri, tekstil atıksu arıtımında CaO₂ uygulamasının potansiyelini anlamak için tekstil atıksuyundaki yardımcı kimyasalların önemini göstermiştir. İleri ki çalışalarda renk giderimi STA ile gerçekleştirilmiştir.



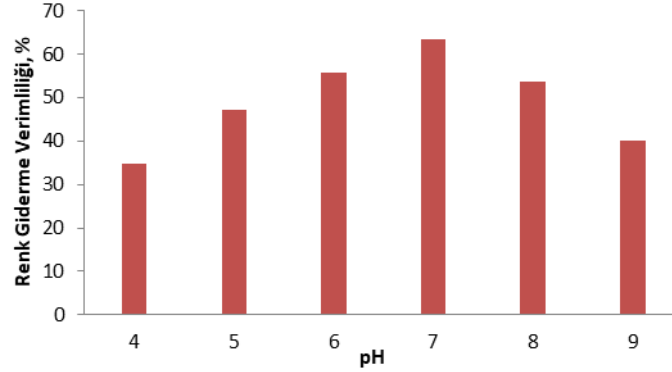
Şekil 4.7. RB5'in Distile Su ve Sentetik Tekstil Atıksu'dan Giderimi

4.3. STA'dan RB5 Boyar Maddesinin Giderimine pH Etkisi

STA'dan PH'ın RB5 giderimine pH (4, 5, 6, 7, 8 ve 9) parametresinin etkisine dayalı çalışmalar 200 mg/L başlangıç boya konsantrasyonu ve 0,5 g CaO₂ dozajı ile gerçekleştirilmiştir. RB5'in CaO₂ ile optimum giderimi pH 7'de elde edilmiştir (Şekil 4.8). Çalışılan tüm pH değerlerinde 240 dakikadan sonra belirgin bir renk giderimini olmadığı görülmüştür. 240 dakika içindeki RB5 giderim verimleri, pH 4, 7 ve 9 için sırasıyla %34,7, 63,35 ve 40,2 olarak bulunmuştur (Şekil 4.9). Artan pH ile giderim verimlerindeki azalma CaO₂ tarafından salınan H₂O₂ konsantrasyonunun azalmasıyla açıklanabilmektedir (Jiang ve diğerleri, 2021; Shuguang ve diğerleri, 2017). Düşük pH değerlerinde yüksek H⁺ iyon konsantrasyonları, CaO₂ ile doğrudan reaksiyona girerek H₂O₂ üretiminin azalmasına neden olabilmektedir (Jiang ve diğerleri, 2021). İleriki çalışmalar pH 7'de gerçekleştirilmiştir.



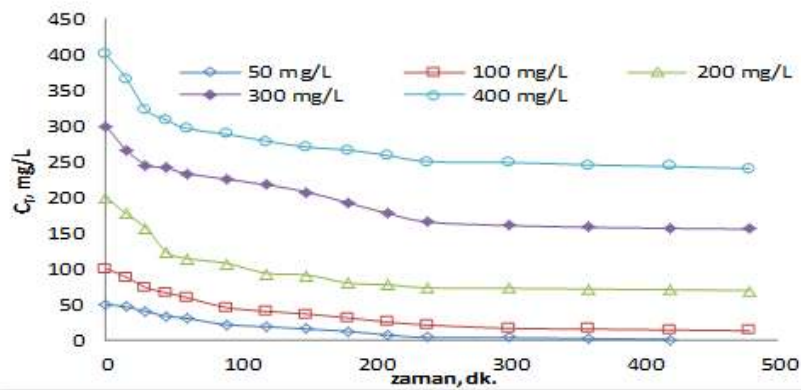
Şekil 4.8. pH'ın Renk Giderim Üzerindeki Etkisi



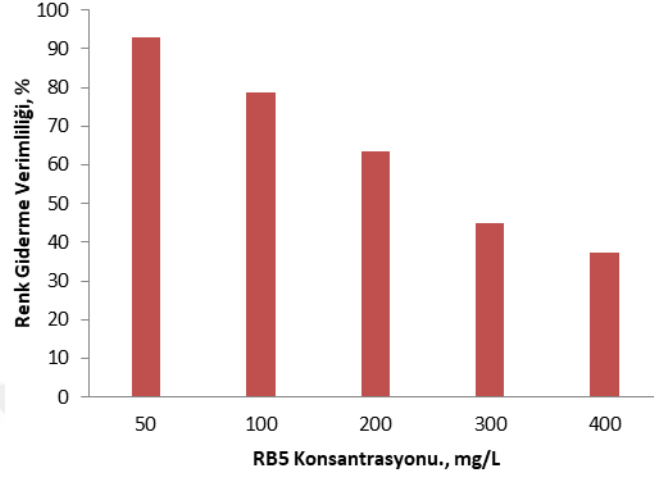
Şekil 4.9. Farklı pH Değerlerinde Renk Giderim Verimi

4.4. STA'dan RB5 Giderimine Başlangıç Boyar Madde Konsantrasyonunun Etkisi

RB5 konsantrasyonunun (50, 100, 200, 300 ve 400 mg/L) CaO_2 ile renk giderimi üzerindeki etkisi 0,5 g CaO_2 dozu ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.10). RB5 giderme etkinliğinin azalan başlangıç RB5 konsantrasyonu ile arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.11). Başlangıç RB5 konsantrasyonu 50'den 400 mg/L'ye yükseldiğinde, 240 dakika sonunda RB5'in giderim verimi yüzdesi %92,48'den %37,42'ye düşmüştür. Yüksek boya konsantrasyonunda düşük renk giderme verimi, oksidan-boya oranındaki düşüşle açıklanabilmektedir (Ehsan ve diğerleri, 2012).



Şekil 4.10. RB5 Konsantrasyonunun Renk Giderim Üzerindeki Etkisi



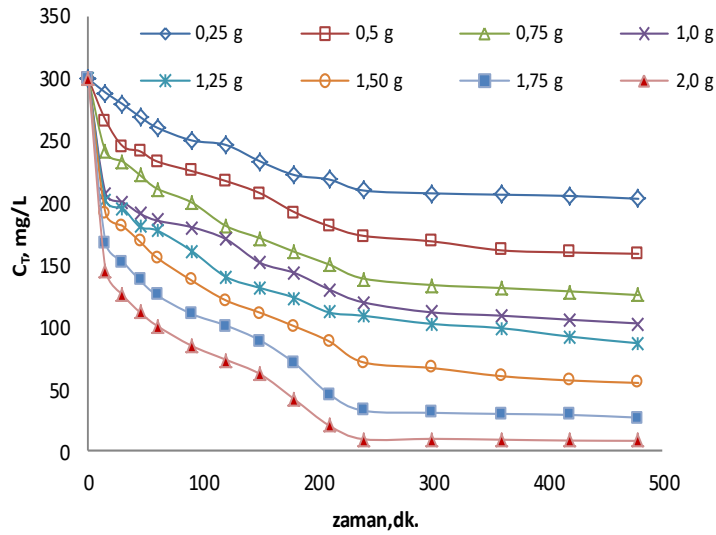
Şekil 4.11. Farklı RB5 Konsantrasyonları için Renk Giderim Verimi

4.5. STA'dan RB5 Boyar Madde Giderimine ve Degradasyon Kinetiğine CaO₂ Dozajının Etkisi

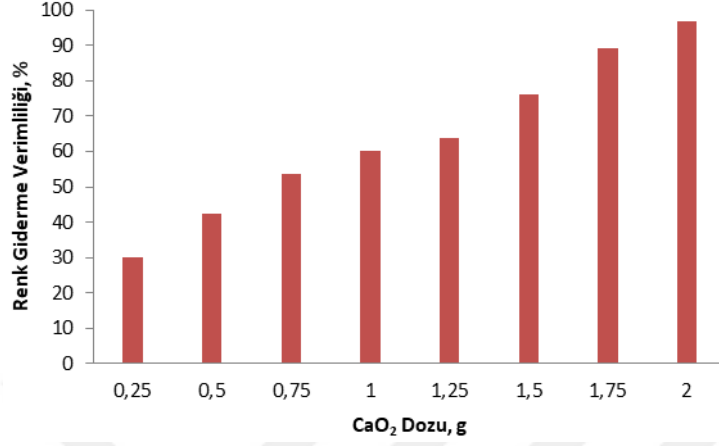
CaO₂ dozajının (0,25, 0,5, 0,75, 1,0, 1,25, 1,5, 1,75, 2,0 g) renk gidermede sentetik tekstil atıksu üzerindeki etkisi 300 mg/L RB5 ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.12-4.13'ten, artan CaO₂ miktarları ile RB5'in gideriminin arttığı görülmektedir. 0,25 CaO₂ için RB5 giderme verimi 240 dakika sonunda %30,03 bulunurken, 2,0 g CaO₂ için %96,9 olarak bulunmuştur. Deneylerin sonuçları, artan CaO₂ dozajı ile renk gideriminin büyük ölçüde arttığını göstermiştir. Yüksek miktarda CaO₂'de yüksek boya giderme verimleri, artan CaO₂ dozajı ile oksitleyici radikallerin artmasıyla açıklanabilmektedir (Ming ve diğerleri, 2019). Veriler, farklı CaO₂ için 300 mg/L RB5 bozunma oranlarını anlamak için yalancı birinci dereceden reaksiyon model (eşitlik 4.1) eşitliği kullanılmıştır.

$$\ln\left(\frac{C_T}{C_0}\right) = -k_{obs}t \quad (4.1)$$

burada C_T kalıntı boya konsantrasyonu (mg/L), C_0 başlangıç boya konsantrasyonu (mg/L), k_{obs} (min^{-1}) yalancı birinci dereceden modelin hız sabitidir ve t zamandır (dak.). k_{obs} , $\ln (C_T / C_0)$ ve t (Şekil burada gösterilmemiştir) grafiğinden elde edilebilmektedir (Yajia ve diğerleri, 2016). Yalancı birinci dereceden denklemin parametreleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.1'den görülebileceği gibi yalancı birinci dereceden hız sabitlerinin, CaO_2 dozajına büyük ölçüde bağlıdır. CaO_2 dozajı 0,25'ten 2,0 g'a çıktığında hız sabiti k_{obs} 'un 0,0008 dk^{-1} 'den 0,0071 dk^{-1} 'e çıktığı bulunmuştur. Yalancı birinci dereceden eşitliğinden elde edilen regresyon katsayısı (R^2) orta derecede yüksek bulunmuş ve 0,902 ile 0,933 arasında değişmektedir.



Şekil 4.12. CaO_2 Dozunun Renk Giderim Üzerindeki Etkisi

Şekil 4.13. Farklı CaO₂ Dozları için Renk Giderim Verimleri

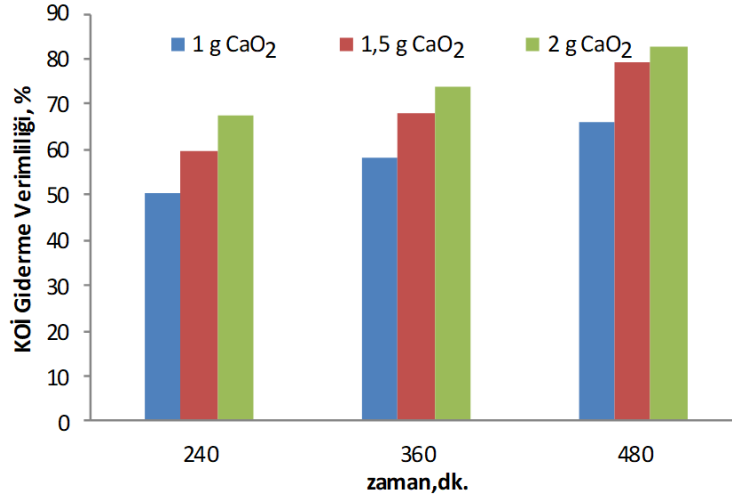
Çizelge 4.1. Birinci Derece Reaksiyon Kinetiğinin Parametreleri

CaO ₂ Dozu, g	k _{obs} (min ⁻¹)	R ²
0,25	0,0008	0,902
0,50	0,0012	0,913
0,75	0,0016	0,921
1,0	0,0019	0,915
1,25	0,0230	0,937
1,50	0,0036	0,933
1,75	0,0054	0,928
2,0	0,0071	0,932

4.6. STA'da KOİ Giderimi

STA'da 200 mg/L RB5 içeren KOİ giderme deneyleri, üç farklı CaO₂ dozajı (1,0, 1,5 ve 2,0 g) ile gerçekleştirilmiştir. Üç farklı reaksiyon süresi için (240, 360 ve 480 dakika) KOİ giderme verimleri belirlenmiştir. 200 mg/L RB5 içeren STA'nın başlangıç KOİ değeri 2180 mg/L olarak tespit edilmiştir. 200 mg/L RB5'in KOİ değeri 245 mg/L olarak tespit edilmiştir. STA'da 200 mg/L RB5 dışında kalan KOİ kaynakları organik bazlı yardımcı kimyasallardır. Şekil 4.14'ten

KOİ giderme verimliliklerinin artan zaman ve CaO_2 dozajı ile arttığı görülebilmektedir. 1,0 g CaO_2 'den elde edilen KOİ giderim verimleri 240 ve 480 dakika için sırasıyla %50,45 ve %67,6 olarak bulunmuştur. Öte yandan 2,0 g CaO_2 dozajı için 240 ve 480 dakika sonunda KOİ giderim verimleri sırasıyla %65,8 ve %82,8 olarak belirlenmiştir. 240 dakika sonunda 200 mg/L RB5, 2,0 g CaO_2 ile tamamen giderilmiştir ve kalan KOİ 455 mg/L olarak hesaplanmıştır. Deneyler, CaO_2 'nin boya molekülleri ile birlikte organik bazlı yardımcı kimyasalları da birlikte etkili bir şekilde oksitlediğini göstermiştir.



Şekil 4.14. Farklı CaO_2 Dozlarına Göre KOİ Giderim Etkinlikleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**5.1. Sonuç**

Bu çalışmada sentetik tekstil atıksuyundan RB5 boyar maddesinin CaO_2 ile giderim denemelerinden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1. Reaktif Black 5 gideriminde tek başına CaO_2 'nin için çevre dostu ve düşük maliyetli bir oksidan olarak kullanılabileceği görülmüştür..
2. pH, başlangıç boya konsantrasyonu ve CaO_2 dozajının renk giderme süreci üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur.
3. CaO_2 ile renk giderimi için optimum pH değeri 7 olarak bulunmuştur.
4. Artan CaO_2 dozajı ile renk giderim verimliliğinin büyük ölçüde arttığı görülmüştür.
5. 150 mL Sentetik Tekstil Atıksuyu'ndan 240 dakikada ~%92 verimlilikle 50 mg/L RB5'in giderilmesi için 0,5 g CaO_2 'nin yeterli olduğu bulunmuştur.
6. 300 mg/L RB5, 2,0 g CaO_2 ile ~%98 verim ile giderilebildiği tespit edilmiştir.
7. Sentetik Tekstil Atıksuyu'ndan %82,8 KOİ giderim verimliliği, 2,0 CaO_2 ile elde edilmiştir.

5.2. Öneriler

Bu çalışmanın daha ileri bir düzeye taşınması için aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

1. CaO_2 ile renk giderim çalışmalarında farklı boyar madde türlerinin kullanılması.
2. CaO_2 ile renk giderim çalışmalarında sıcaklık parametresinin etkisinin araştırılması.
3. CaO_2 ile renk giderim çalışmalarında gerçek tekstil atıksularının kullanılması.

KAYNAKLAR

- Acarbabacan, Ş., 2002, Reaktif boyarmaddeleri içeren atıksuların fenton prosesi ile renk giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Adak, A., Bandyopadhyay, M., Psal, A., 2005, Removal of crystal Violet Dye from Wastewater by Surfactant-Modified Alumina, Separation and Purification Technology , 44, 139-144.
- Ahad, M., Mohammad, K.P., Bahram, S.R., Mazıyar, A., Hadı, R., Masomeh, D., Amır, M., 2020. Synergetic photocatalytic effect of high purity ZnO pod shaped nanostructures with H₂O₂ on methylene blue dye degradation. Journal of Alloys and Compounds Cilt 845, 156333.
- Aı, Z., Xue, S., Xueyan, Y., Xiang, L., Yanan, L., 2018. Application of calcium peroxide for efficient removal of triamcinolone acetone from aqueous solutions: Mechanisms and products. Chemical Engineering Journal Cilt 345, syf 594-603.
- Alam, G. T., Pavels, S., U" Lar, P., Mıka, S., Walter, Z., T., 2015. Decolorization kinetics of Acid Blue 161 by solid peroxides catalyzed by iron in aqueous solution. Desalination and Water Treatment. 1–13.
- Andrews, L.,Chertıhın, G.V., Thompson, C.A., Dillon, J., Byrne, S., Bauschlicher, C.W., J., 1996. Infrared Spectra and Quantum Chemical Calculations of Group 2 MO, J. Phys. Chem., 100, 24, 10088.
- Anonim, 2002. Bursa Çevre Merkezi Aylık Bülten, Kasım 2002, Bursa.
- Antonis, M., Pavlos, K., P., Anastasia, C., Lambros, R., D., Georgia, S., Christos, A., 2021. Synergetic decolorization of azo dyes using ultrasounds, photocatalysis and photo-fenton reaction. Ultrasonics Sonochemistry Cilt 71, 105367.

- Arshad, R., Bokhari, T.H., Javed, T., Bhatti, I.A., Rasheed, S., Iqbal, M., Naz, S., Khan, M.I., Khosa, M.K.K., Iqbal, M., Zia-Ur-Rehman M., 2020. Degradation product distribution of Reactive Red-147 dye treated by UV/H₂O₂/TiO₂ advanced oxidation process. Journal of Materials Research and Technology Cilt 9, Issue 3, syf 3168-3178.
- Azbar, N., Yonar, T. And Kestioglu, K., 2004. Comparison of Various Advanced Oxidation Processes And Chemical Treatment Methods for COD and Color Removal From A Polyester And Acetate Fiber Dyeing Effluent. Chemosphere, 55(1):35-43.
- Balcı, B., 2007. Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Sürekli Ve Kesikli Sistemlerde Ağaç Kabuğu (*Eucalyptus Camaldulensis*) Kullanılarak Adsorpsiyon İle Giderilmesi çukurova üniversitesi, fen bilimleri enstitüsü, çevre mühendisliği anabilim dalı: yüksek lisans tezi.
- Banat, I., Nigam, P., Singh, D. And Marchant, R., 1996. Microbial Decolorization Of Textile Dye-Containing Effluents:A Review. Biosource Technology, 58:217-227.
- Baran, W., Makowski, A., Wardas, W., 2003. The Influence Of FeCl₃ On The Photocatalytic Degradation Of Dissolved Azo Dyes In Aqueous TiO₂ Suspensions. Chemosphere, 53:87–95.
- Başbüyük, M., Yüceer, A. Ve Yılmaz, T., 1998. Tekstil Atıksularında Renk Giderilmesinde Kullanılan Ğleri Teknolojiler. I. Atıksu Sempozyumu, Kayseri, 82-87.
- Brown, M.A., ve Devitolı, S.C., 1993. Predicting Azo Dye Toxicity. Critical Reviews in Environmental Science and Technology , 23: 249-324.
- Canlan, J., Ying, Y., Lei, Z., Dan, L., Lingli, L., Xiaoxue, Y., Tianming, C., 2020. Degradation of Atrazine, Simazine and Ametryn in an arable soil using thermal-activated persulfate oxidation process: Optimization, kinetics, and degradation pathway. Journal of Hazardous Materials Cilt 400, 123201.

- Cıng, S., 2001. Tekstil Boyalarının Renginin Giderilminde Mikroorganizma Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- Davis, M.G., Koon, J.H., Adams, C.E., 1982, Treatment of two textile dye house wastewaters, Proceeding 37, Purdue, 981-997.
- Dehghani, M.H., Karimi, B. And Rajaei, M.S., 2016. The Effect of Aeration on Advanced Coagulation, Flotation and Advanced Oxidation Processes for Color Removal from Wastewater. Journal of Molecular Liquids, 223:75–80.
- Deshannavar, U.B., Pradeep, K. S., Dattaraj, G. A., Gayathri, A. P., Litesh V. M., 2020. Removal of Acid Violet 49 and Acid Red 88 dyes from Aqueous Solutions using Advanced Oxidation Process. Materials Today: Proceedings 24 ,1011–1019.
- Ehsan, O., Hossein, B., Abbas, A., Alreza, R., Javad, K., 2012. Development of a cost-effective technique to remove the arsenic contamination from aqueous solutions by calcium peroxide nanoparticles. Separation and Purification Technology 95 , 10–15.
- EPA, 1997. Profile Of The Textile Industry, U.S. Government Printing Office Superintendent Of Documents, Washington.
- EPA, 2000. Emergency Planing And Community Right-To-Know Act Section 313 Reporting Guidance For Textile Processing Industry.
- Erdinç, E., 2006. Tekstil endüstrisinde kullanılan noniyonik yüzeyaktif maddelerin H_2O_2 / UV-C oksidasyonu ve biyolojik arıtılabilirliği, yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fongsatitkul, P., Elefsiniotis, P., Yamasmit, A., Yamasmit, N., 2004. Use of sequencing batch reactors and fenton's reagent to treat a wastewater from a textile industry, Biochemical Engineering Journal Volume 21, Issue 3, Pages 213- 220, November.
- Gang, X., Minghui, Z., Yajie, Q., Qian, L., Pin, G., Zhenhong, L., Hong, C., Xiang, L., 2020. Comparison of aniline removal by UV/ CaO_2 and UV/ H_2O_2 : Degradation kinetics and mechanism. Chemosphere Cilt 255, , 126983.

- Gholami, F., Shavandi, M., Dastgheib, S.M.M., Amoozegar, M.A., 2018. Naphthalene remediation from groundwater by calcium peroxide (CaO_2) nanoparticles in permeable reactive barrier (PRB). *Chemosphere*, (212):105-113.
- Giuseppina, I., Vincenzo, V., Vincenzo, P., 2020. Enhanced azo dye removal in aqueous solution by H_2O_2 assisted non-thermal plasma technology. *Environmental Technology & Innovation* Cilt 19 , 100969.
- Hamid, M., Fatemeh, G., Mahmoud, S., Seyed, M. M. D., Ebrahim A. , 2019. Bioremediation of benzene-contaminated groundwater by calcium peroxide (CaO_2) nanoparticles: Continuous-flow and biodiversity studies. *Journal of Hazardous Materials* 371 :183–190.
- Hanay, Ö. Ve Hasar, H., 2007. Fenton Oksidasyon Prosesi İle Tekstil Endüstrisi Atıksuyunda Renk Giderimi. *Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimler Dergisi*, 19(4):505-509.
- Hongjie, Z., Lyu, Z., Keke, M., 2020. Microfiber from textile dyeing and printing wastewater of a typical industrial park in China: Occurrence, removal and release. *Science of The Total Environment* Cilt 739 , 140329.
- Irudhaya, R., S., Adhish, J., 2021. Nanoscale transformation in CuS Fenton-like catalyst for highly selective and enhanced dye degradation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* Cilt 410, 113158.
- Işık, M. Ve D. Sponza, 2001. Tekstil Atıksularının Oluşumu, Karakterizasyonu ve Arıtım Yöntemleri, IV. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 621-629, Bodrum.
- Jiang, Y.Y., Chen, Z. W., Li, M. M., Xiang, Q. H., Wang, X. X., Miao, H. F., Ruan, W. Q., 2021. Degradation of diclofenac sodium using Fenton-like technology based on nano-calcium peroxide. *Science of The Total Environment* Cilt 773, 144801.
- Kapdan, I., Kargı, F., 1998. Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtım ile Giderimi. *Turkish Journal Of Engineering & Environmental Sciences*, 24:161-169.

- Kapdan, I., Kargı, F., 2000. Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtım ile Giderimi. Turkish Journal Of Engineering & Environmental Sciences, 24:161-169.
- Kapdaşı, I., Tünay, O., Artan, R., Ve Orhon, D., 1995. Acrylic Dyeing Wastewaters Characterization and Treatability., In proceedings of 3 rd International Conference Appropriate Waste Management Technology for Developing Countries, pp. 239-248 Nagpur, India.
- Kemer, M. ve Kara, Ş., 1998. Pamuklu Sentetik Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtılması, U.Ü., Bursa, 225 s.
- Kırdar, E., 1995. Tekstil Atıksularında Renk Giderimi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 116 s.
- Kocaer, F.O. Ve Alkan, U., 2002. Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi, 1: 47-55.
- Krishna, C. D., Siddhartha, S. D., 2020. Rapid catalytic degradation of malachite green by MgFe_2O_4 nanoparticles in presence of H_2O_2 . Journal of Alloys and Compounds Cilt 828, 154462.
- Kuleyn, A., Gok, A., Akbal, F., 2021. Treatment of textile industry wastewater by electro-Fenton process using graphite electrodes in batch and continuous mode. Journal of Environmental Chemical Engineering Cilt 9, Issue 1, 104782.
- Lu, X., G., Lin, P., Jie, Q., W., 2014. Study of pretreatment of textile wastewater using $\text{CaO}_2/\text{H}^+/\text{Fe}^{2+}$ advanced Fenton-like oxidation technology. Applied Mechanics and Materials Cilt. 675-677, syf 568-573.
- Lu, S., Zhang, X., Xue, Y., 2017, Application of calcium peroxide in water and soil treatment: A review. Journal of Hazardous Materials, (337):163-177.
- Malakootian, M., Honarmandrad, Z., 2018. Investigating the use of ozonation process with calcium peroxide for the removal of reactive blue 19 dye from textile wastewater. Desalination and Water Treatment. 118 336–341.

- Mathew, W., Gabriel, A., Ora, R., Srikanth, B., Kenny, M., Senthilkumar, V., Yong, S. K., 2020. Improved charge separation through H_2O_2 assisted copper tungstate for enhanced photocatalytic efficiency for the degradation of organic dyes under simulated sun light. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 204, 111781.
- Mckay, G., 1979. Waste Colour Removal From Textile Effluents. *Am. Dyes. Rep.* 68: 29-36.
- Meesam, A., Usman, F., Shuguang, L., Yong, S., Ming, L., Ayyaz, A., Ali, S., Zam, A., 2020. Synthesis of controlled release calcium peroxide nanoparticles (CR-nCPs): Characterizations, H_2O_2 liberate performances and pollutant degradation efficiency. *Separation and Purification Technology* Volume 241, 116729.
- Meng, Z., Ruixue, S., Yanyan, L., Zhigao, Y., Xianfu, M., Jiawen, Z., Zhongmin, T., Zhenwei, Y., Yang, L., Xiaogang, L., Wenbo, B., 2019. Calcium-Overload-Mediated Tumor Therapy by Calcium Peroxide Nanoparticles. *Chem. Cilt* 5, Issue 8, Syf 2171-2182.
- Ming, Z., Kevin, D.D., Minkyu, P., Alec, B. N., Erica, C.C., Yongmei, L., Shane, A.S., 2019. Attenuation of pharmaceutically active compounds in aqueous solution by UV/ CaO_2 process: Influencing factors, degradation mechanism and pathways. *Water Research* Cilt 164, 114922.
- Mingqing, Z., Seonghoon, Y., Junhyeok, C., 2021. Excellent dye degradation performance of FeSiBP amorphous alloys by Fenton-like process. *Journal of Environmental Sciences* Cilt 105, syf 116-127.
- Naumczyk, J., Szpyrkowicz, L., 1996, Electrochemical treatment of textile wastewater, *Water Science and Technology*, 34, 11, 17-24.
- Qiuyue, J., Fang, Z., Yu, L., Hao, C., Jianfeng, M., Sridhar, K., 2021. Fe-Co-SBA assisted by visible light can effectively activate NaHSO_3 or H_2O_2 for enhanced degradation of Orange II: Activation of NaHSO_3 versus H_2O_2 . *Microporous and Mesoporous Materials* Available online, 110902. In Press, Journal Pre-proof.

- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R. And Nigam, P., 2001, Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 77, 247–255.
- Saatçi, Y., Ve Hanay, Ö., 2013. İndigo Boyar Maddesi İçeren Atıksu Renginin Elektro-Fenton Prosesi ile Giderimi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 29(2):129-134.
- Sajedeh, K., Akbar, K., Shahin, B., 2020. Fabrication of amine-decorated nonspherical microparticles with calcium peroxide cargo for controlled release of oxygen. *J Biomed Mater Res*. 108A:136–147.
- Sapana, S. M., Kailas, L. Wasewar, C., Ravı, K., 2016. Adsorption kinetics, thermodynamics, and equilibrium of α -toluic acid onto calcium peroxide nanoparticles. *Advanced Powder Technology Cilt 27, Issue 5, syf 2112-2120*.
- Sevimli, M.F., 2000. Tekstil Endüstrisi Atıksularından Ozonlama İle Renk Giderimi Ve Ozonlamanın Biyolojik Arıtılabilirliğe Etkisi. Doktora Tezi. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Shuguang, L., Xiang, Z., Yunfei, X., 2017. Application of calcium peroxide in water and soil treatment: A review. *Journal of Hazardous Materials* 337:163–177.
- Slokar, Y.M., Marechal, A.M.L., 1998, Methods of decolorations of textile wastewaters, *Dyes and Pigments*, 37 (4), 335-356.
- Socha, K., 1991. Treatment of Textile Effluents, *Textile Month*, 12, 52-56.
- Sun, J.H., Sun, S.P., Wang, G.L., And Qiao, L.P., 2007. Degradation of Azo Dye Amido Black 10B in Aqueous Solution by Fenton Oxidation Process. *Dyes and Pigments*, 74(3): 647-652.

- Sun, S.P., Li, C.J., Sun, J.H., Shi, S.H., Fan, M.H. And Zhou, Q., 2009. Decolorization of an Azo Dye Orange G in Aqueous Solution by Fenton Oxidation Process: Effect of System Parameters and Kinetic Study. *Journal of Hazardous Materials*, 161(2):1052-1057.
- Tong, W., Yunliang, Z., Xiangke, J., Guang, Y., Zixuan, Z., Wei, W., Tingting, Z., Qiwu, Z., Shaoxian, S., 2021. Use of posnjakite containing sludge as catalyst for decoloring dye via photo-Fenton-like process. *Journal of Cleaner Production* Available online, 126184 In Press, Journal Pre-proof.
- Van Der Zee, F.P., 2002, Anaerobic azo dye reduction, Doctoral Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 142 pages.
- Vandevivere, P.C., Bianchi, R., Verstraete, W., 1998, Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: Review of emerging technologies. *J. Chem. Techno. Biotechnology*, 72: 289–302.
- Wang, Y., Wang, W., Yan, F., Ding, Z., Feng, L., Zhao, J., 2019, Effects and mechanisms of calcium peroxide on purification of severely eutrophic water. *Science of The Total Environment* Cilt 650, Bölüm 2, syf 2796-2806.
- Weirwei, H., Fei, Y., Wenli, H., Zhongfang, L., Zhenya, Z., 2020. Enhanced methane production from anaerobic digestion of rice straw pretreated by $\text{Fe}^{3+}/\text{CaO}_2$ catalyzed Fenton-like process. *Bioresource Technology Reports* Cilt 11, 100472.
- Willmott, N., Guthrie, J., Ve Nelson, G., 1998. The Biotechnology Approach to Colour Removal from Textile Effluent, *Journal of the Society of Dyers and Colorists*, 114: 38-41.
- Wu, J., Wang, T., 2001, Ozonation of aqueous azo dye in a semi-batch reactor, *Water Research*, 35, (4), 1093-1099.
- Xiang, Z., Xiaogang, G., Shuguang, L., Zhouwei, M., Minhui, X., Xiaori, F., Zhaofu, Q., Qian, S., 2015. Degradation of trichloroethylene in aqueous solution by calcium peroxide activated with ferrous ion. *Journal of Hazardous Materials* Cilt 284, syf 253-260.

- Xinxin, D., Leonardo, G., Jean, P. C., Minrui, L., Lijun, W., Yuru, W., 2020. Hydroxyl and sulfate radical-based oxidation of RhB dye in UV/H₂O₂ and UV/persulfate systems: Kinetics, mechanisms, and comparison. *Chemosphere* 253, 126655.
- Yajie, Q., Jing, Z., Yalei, Z., Jiabin, C., Xuefei, Z., 2016. Degradation of 2,4-dichlorophenol by nanoscale calcium peroxide: Implication for groundwater remediation. *Separation and Purification Technology* 166, 222-229.
- Yajie, Q., Xuefei, Z., Yalei, Z.P.S., Weixian, Z., Jiabin, C., Xin, G., Xiao, Z., 2015. Performance of a-methylnaphthalene degradation by dual oxidant of persulfate/calcium peroxide: Implication for ISCO. *Chemical Engineering Journal* 279, 538-546.
- Yong, S., Muhammad, D., Meesam, A., Ali, S., Ming, L., Yanchen, L., Zhaofu, Q., Qian, S., Xueke, Z., Shuguang, L., 2020. Trichloroethene degradation by nanoscale CaO₂ activated with Fe(II)/FeS: The role of FeS and the synergistic activation mechanism of Fe(II)/FeS. *Chemical Engineering Journal* 394, 124830.
- Yoon, Y., Hwang, Y., Kwon, M., Jung, Y., Hwang, T. M. And Kang, J. W., 2014. Application of O₃ and O₃/H₂O₂ as Post-treatment Processes for Color Removal in Swine Wastewater from a Membrane Filtration System. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(5):2801-2805.
- Zeyrek, A. 2019. Elma (van) kabuğundan elde edilen aktif karbon ile boyar maddelerin giderilmesi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, İlköğretim Anabilim Dalı :Yüksek Lisans Tezi.
- Zollinger, H., 1991. *Synthesis, Properties And Applications Of Organic Dyes And Pigments*. Weinheim: 367.
- Zollinger, H., 1991. *Color Chemistry: Syntheses, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments*. 496 pp.

<http://pubs.usgs.gov>

<http://www.ci.austin.tx.us>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/Crystal_structure_of_CaO2.jpg

https://ansiklopedi.halisinden.com/images/6/65/Kalsiyum_Klor%C3%BCr.jpg

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Kristallstruktur_Calciumchlorid.png



ÖZGEÇMİŞ

2012 yılında Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü kazandı. 2016 yılında lisans programından mezun olup 2019 yılında Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde yüksek lisans programına başladı.

