

Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atık Suyunun Koagülasyon- Flokülasyon ile Ön Arıtımı ve Fotoreaktör İle İleri Arıtımının İncelenmesi

Tayyar TORUN¹
Meltem SARIOĞLU CEBECİ²

1. GİRİŞ

Teknolojinin ve dolaylı olarak sanayi endüstrisinin gelişmesi ile birlikte su kaynaklarına olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır ve bu tesislerde su kullanımı olmaktadır. Dünyadaki mevcut içilebilir su miktarı göz önünde bulundurulursa elimizdeki su kaynaklarına sahip çıkmamız gerekmektedir. Endüstride kullanılan sular atık suya dönüşmesinin akabinde kirleticilerinden arındırılarak deşarj standartları sağlandıktan sonra deşarj edilmelidir. Aksi takdirde sınırlı olan su kaynakları kirlenip çevre ve su problemlerine neden olabilir. Özellikle tekstil endüstrisinde su kullanımı ve atık su oluşumu oldukça fazladır. Tekstil atık suları bünyesinde yüksek miktarda renk, KOİ, AKM gibi istenmeyen parametreler barındırabilir. Bu sebepten ötürü tekstil atık suları arıtılmadan deşarj edilmemelidir.

Renk barındıran atık suların direkt alıcı ortama verilirken çok az konsantrasyonlarda bile olsa önemli çevresel faktörler oluşturur (Balcı B. ; Nigam ve diğ., 2000). Renkten dolayı ışık suda alt katmanlara geçişi sağlayamaz ve alıcı ortamı olumsuz etkilenir (McKay, 1979). Tekstil sanayisi atık sularında büyük sorunlardan biri de renk içermesidir (KAMAG, 2013).

Kimyasal çöktürme işlemi, tekstil atık sularının renk gideriminde yaygın kullanılan proseslerdendir. Tekstil endüstrisi atık suları $\text{Ca}(\text{OH})_2$, FeCl_3 , FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ve CaCl_2 gibi kimyasal maddeler kullanılarak hızlı karıştırma, yumaklaştırma, çökeltme havuzlarından oluşan kimyasal çöktürme düzeneği ile arıtılabilmektedir. Kullanılan katalizörlerin verimi, pH değerine göre değişir ve uygun pH değerini elde etmek için asitler ve bazlar kullanılmaktadır. Kimyasal çöktürme prosesi ile çoğu rengin giderimi sağlanmaktadır (Üner H. 2002).

Fotokatalizörler, UV etkisi aracılığıyla yüzeyinde oksitleyici ortamı oluşan yarı iletkenler şeklinde tanımlanabilir. Fotokatalizörler ışık yardımıyla aktif hale gelirler ve enerjiyi katalizöre aktararak tepkimeyi başlatır (Sayılkan, 2007). Birçok metal oksit yarı iletkenidir ama arasında fotokatalik prosese en uygunu TiO_2 'dir. (Yiğit, 2008). Ayrıca TiO_2 hesaplı ve kolay bulunabilir olmasıyla oldukça avantajlıdır. (Sakthivel vd., 2003).

2. MATERYALLER

2.1. Deneysel Çalışma

Çalışmada gerçek tekstil atık suyu kullanılarak koagülasyon ve flokülasyon ile ön arıtım yapılmıştır ve ardından fotokatalik proseste ileri arıtım yapılmıştır. Koagülasyon ve flokülasyon ile

¹ Student, Sivas Cumhuriyet University, Environmental Engineering Department, Orcid: 0000-0003-0268-4218

² Prof. Dr., Sivas Cumhuriyet University, Environmental Engineering Department, Orcid: 0000-0002-3636-0388

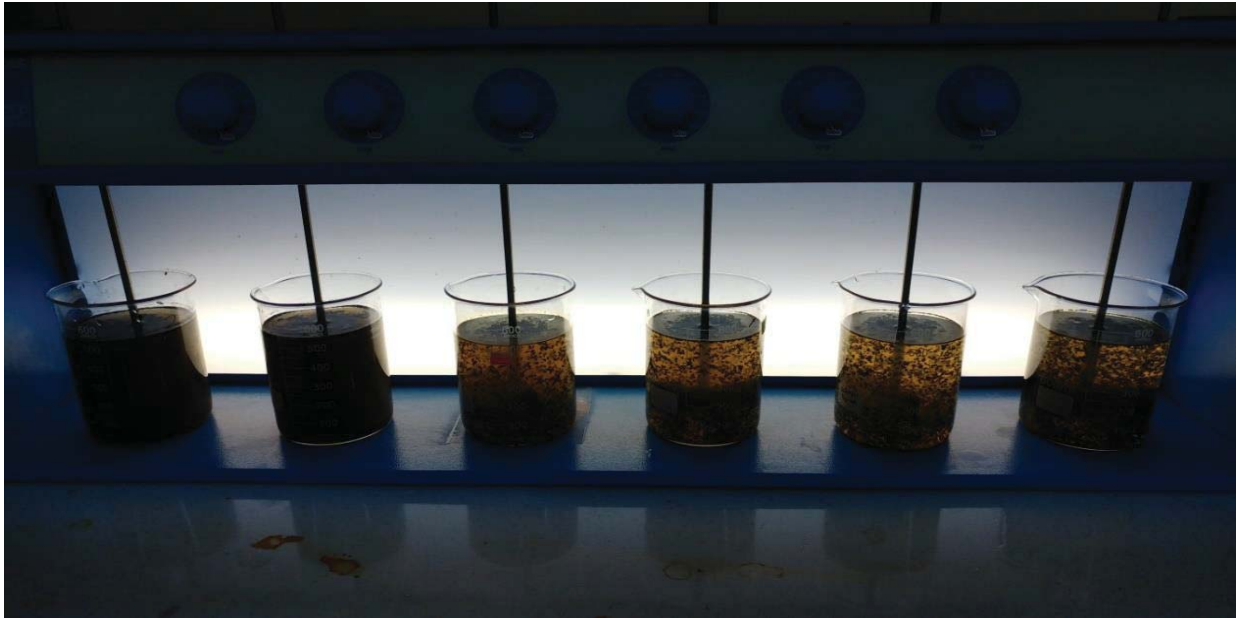
ön arıtımda önce; optimum ph, sonrasında uygun koagülant dozu ve uygun çökeltme zamanı bulunarak ardından ön arıtım yapılarak; renk, AKM, KOİ parametrelerine bakılmıştır. Koagülasyon ve flokülasyon ile ön arıtmadan çıkan arıtılmış su fotokatalitik proses ile farklı katalizörlerle (TiO_2 ve ZnO) ve farklı dozlarda ileri arıtıma tabi tutularak; renk, AKM, KOİ değerleri analiz edilmiştir

2.2. Deneyleerde Kullanılan Materyaller

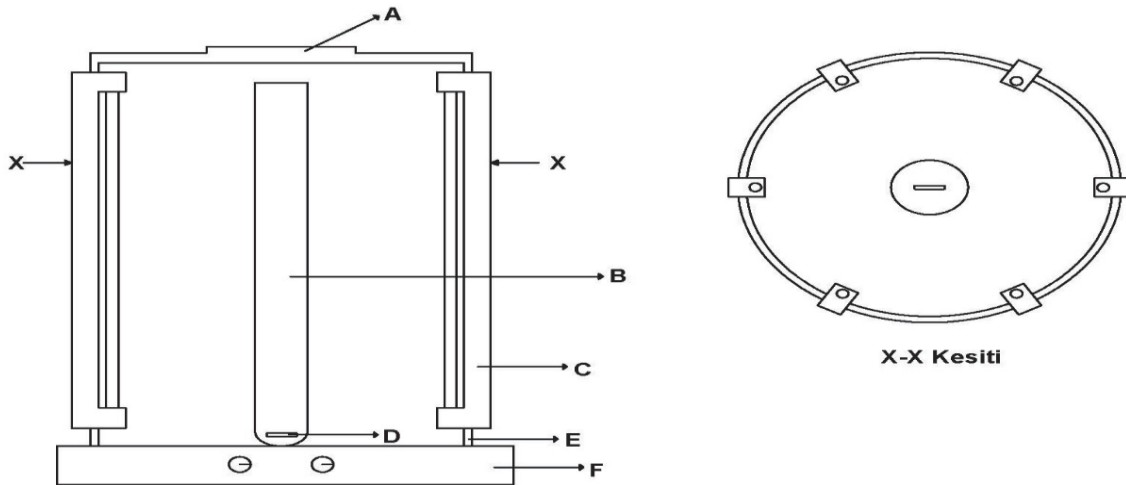
Çalışmada; koagülasyon-flokülasyon deney düzeneği ve $FeCl_3$ kimyasalı (koagülantı), fotokatalitik reaktör prosesi ve TiO_2 ve ZnO katalizörleri ile deneyleerde gerekli olan cam malzemeler, ölçümler için gerekli cihazlar ve gerekli kimyasallar kullanılmıştır.

2.3. Deney Düzeneği

Koagülasyon ve flokülasyon ile arıtım deney düzeneği ve fotokatalitik proses çalışma prensibi aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Koagülasyon-flokülasyon deney düzeneği



Şekil 2.2 Fotokatalitik reaktörün şematik gösterimi. A: Kapak, B: Quartz tüp, C: UV-C lamba ve duyu, D: Manyetik balık, E: Silindir reaktör, F: Manyetik karıştırıcı. (Selçuk, 2017)

2.4. Deneylerde Kullanılan Koagülant ve Katalizörler

2.4.1. Demir 3 Klorür (FeCl₃)

Demir tuzları, pH 3-13 arasında çözünemeyen demir bileşikleri oluştururlar. Kuvvetli asit anyonları içeren koagülantlar hidrolizleri sonucunda asit gibi davranışlarından dolayı koagülasyondan sonra pH'ı artırmak için ortam kireç ilavesi gerekebilir. Bu durum atık suyun değerlerine bağlıdır. (<https://www.yesilaski.com/jar-testi-deneyi.html>)

2.4.2. Titanyum Dioksit (TiO₂)

TiO₂ doğada 4 farklı kristal yapıdadır ve bunlar Amorf, Rutil Brookit ve Anataz şeklindedir. Amorf yapıdaki TiO₂ XRD analizinde pik vermez, bu sebepten dolayı fotokatalitik sistemde etkinliği yoktur. Bu çalışmada Anataz yapıdaki TiO₂ kullanılmıştır ve aşağıdaki tabloda bazı bilgileri verilmiştir. (Selçuk, 2017)

Tablo 2.1 TiO₂'in tanecik boyutu ve yüzey alanıyla ilgili bilgiler (Selçuk, 2017).

Ölçülen Tanecik Sayısı	50
En Büyük Tanecik Boyutu	395,52 nm
En Küçük Tanecik Boyutu	63,10 nm
Ortalama Tanecik Boyutu	197.90 nm
BET Yüzey Alanı Ölçümü	15,81 m ² /g
Gözenek Hacmi	0,07616 cc/g
Molekül Ağırlığı	81,37 g/mol

2.4.3 Çinko Oksit (ZnO)

ZnO, bir yarı iletkenidir ve bu nedenle kullanımı oldukça yaygındır. ZnO “wurtzite” kristal yapıdadır. Aşağıda bazı bilgileri verilmiştir. (Selçuk, 2017)

Tablo 2.2 ZnO'ın tanecik boyutu ve yüzey alanıyla ilgili bilgiler (Selçuk, 2017).

Ölçülen Tanecik Sayısı	50
En Büyük Tanecik Boyutu	395,52 nm
En Küçük Tanecik Boyutu	63,10 nm
Ortalama Tanecik Boyutu	197.90 nm
BET Yüzey Alanı Ölçümü	15,81 m ² /g
Gözenek Hacmi	0,07616 cc/g
Molekül Ağırlığı	81,37 g/mol

2.5. Deneylerde Kullanılan Diğer Ekipmanlar

Deneylerde aşağıdaki ekipmanlar da kullanılmıştır;

- Spektrofotometre (Hach Lange DR 3900),
- Manyetik karıştırıcı (İka),
- Termoreaktör.
- AKM filtre ve pompa sistemi,
- PH ve iletkenlik ölçer (Adwa),

- Türbidimetre (WTW 355IR),
- Hassas terazi (Shimatzu).

2.6. Deneysel Yöntem

Koagülasyon-flokülasyon ile ön arıtmada; deney sisteminde karıştırıcılar, 500 mL'lik beherlerin içerisine daldırılır ve 100 dev/dak. hızında karıştırılır. Koagülant madde bu adımda sisteme eklenir ve hız 30 dev/dak.'ya düşürülerek yavaş karıştırma adımına geçilir. Otuz dakika geçtikten ve floklar oluştuğundan sonra sistem kapatılarak çökeltme adımına geçilir. Çökeltme olduktan sonra pipet yardımı ile berrak su floklar dağıtılmadan alınır.

Fotokatalitik reaktör ile arıtım 400 ml atık su ile yapılmıştır. Hazırlanan çözeltiye katalizörü ekledikten sonra UV lambalar açılmadan 1 dk boyunca karanlıkta çözelti karıştırılarak numune alınmıştır. Sonrasında lambalar çalıştırılarak 30 dk'da bir numune alınmıştır. Alınan numuneler ivedilikle 0,45 mikron'luk filtrelerden AKM filtresinden pompa yardımı ile geçirerek katalizörden ayrılmış numunenin analizleri yapılmıştır.

2.7. Analiz Yöntemi

Gerçek tekstil atık suyuna spektrofotometre yardımı ile absorbans dalga boyu taraması yapılarak maksimum dalga boyları belirlenmiştir. Renk konsantrasyonu bilinen sulu çözeltilerin maksimum dalga boyları absorbans değerleri ölçülerek renkler için kalibrasyon grafikleri elde edilmiştir. Böylece fotometre ile ölçülüp renk konsantrasyonları analiz edilmiştir. Analiz edilen değerlere göre renk giderim verimleri Denklem 2.1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Verim} = \left(\frac{C_0 - C}{C_0} \right) * 100 \quad [2.1]$$

Denklem 2.1'de verim; renk giderim verimini, C_0 ; başlangıç renk konsantrasyonunu, C ; numunenin renk konsantrasyonunu belirtmektedir.

KOI deneyleri APHA standart metotlarına uygun şekilde kapalı reflux titrimetrik yöntemiyle analiz edilmiştir (APHA, 1995).

3. BULGULAR

Deneylerde kullanılan gerçek tekstil atık suyunun özellikleri aşağıdaki gibidir

Tablo 3.1 Çalışmada kullanılan tekstil atık suyunun özellikleri

BULANIKLIK	260.4 NTU
KOI	2150 mg/L
AKM	715 mg/L
RENKLER	Yeşil : 4752 (Pt-Co) Turuncu : 4398 (Pt-Co) Menekşe : 4042 (Pt-Co) Sarı : 4592 (Pt-Co)

3.1. Ön Arıtımda Optimum pH'ın Belirlenmesi

Optimum pH'ı bulmak için pH 3-10 arasında diğer değişkenler sabit tutularak deneyler yapılmıştır ve bunun sonucunda en uygun pH aralığının 5 olduğu belirlenmiştir(Tablo 3.2).

Tablo 3.2 Optimum pH'ı bulmak için yapılan deneyler

PH	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
3	252	3928	2741	2456	1918
4	198	3225	2087	1838	1376
5	153	2796	1634	1413	988
6	237	4229	2510	2201	1375
7	344	5197	5205	4685	3208
8	318	5176	5221	4432	2998
9	318	5175	5293	4376	2946
10	316	5127	5180	4897	2905

3.2. Ön Arıtımda Optimum Dozun Belirlenmesi

Optimum dozu bulmak için önce 0,25 g/L Fe, 0,50 g/L Fe, 0,75 g/L Fe, 1 g/L Fe, 1,25 g/L Fe, 1,50 g/L Fe, 1,75 g/L Fe ve 2 g/L Fe dozunda deneyler yapılmıştır ve uygun dozun 0,25 g/L Fe olduğu belirlenmiştir. Ardından ilaveten 0,05 g/L Fe ve 0,1 g/L Fe dozunda ilave deneyler yapılarak uygun koagülant dozunun 0,1 g/L Fe olduğu anlaşılmıştır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 Optimum dozu bulmak için yapılan deneyler

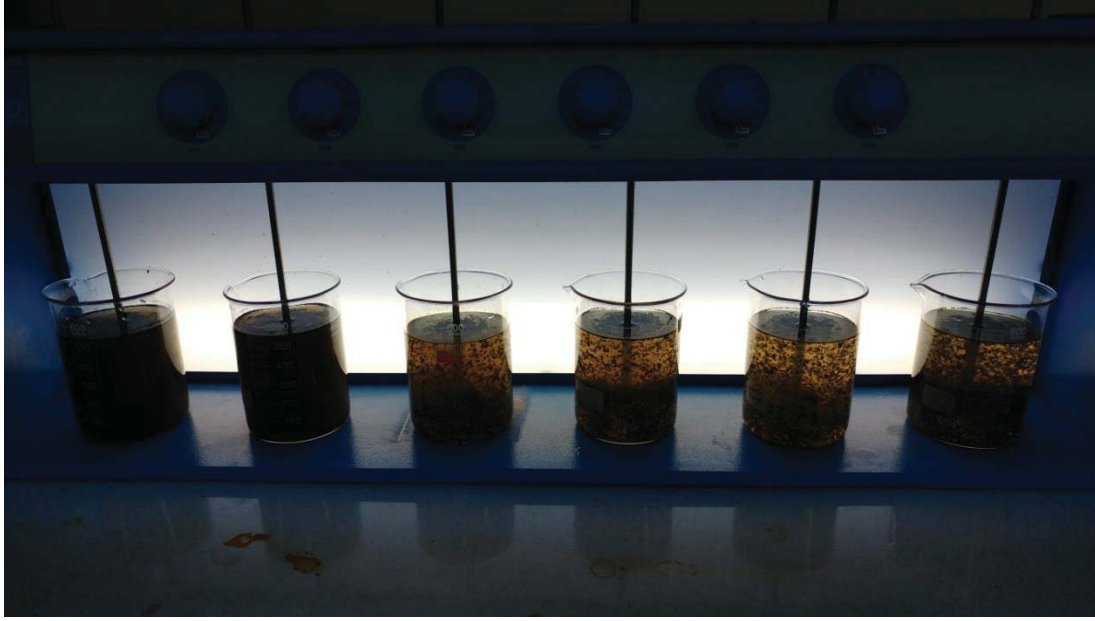
Doz FeCl3 g/L Fe	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0,05	99	1223	936	828	705
0,1	101	1178	893	799	602
0,25	216	2891	2100	1876	1348
0,5	279	3890	2770	2473	1786
0,75	215	3272	2238	1981	1481
1	228	3657	2418	2130	1573
1,25	224	3914	2459	2148	1563
1,5	218	4081	2452	2125	1536
1,75	222	4356	2541	2192	1565
2	225	4499	2615	2234	1571

3.3. Ön Arıtımda Optimum Çökeltme Zamanının Belirlenmesi

Koagülasyon-flokülasyon deneylerinde deney sonlandıktan sonra çökeltim aşamasında uygun bekleme sürelerine bakılmıştır. Buna göre en uygun bekleme zamanının 0,5 saat olduğu açığa çıkmıştır ve 0,5 saatten sonraki sürelerde flokların tekrar dağıldığı gözlemlenmiştir (Tablo 3.4)

Tablo 3.4 Optimum çökeltme zamanını bulmak için yapılan deneyler

Zaman (saat)	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0,5	101	1178	893	799	602
1	106	1255	961	863	654



Şekil 3.1 Koagülasyon-flokülasyon ile arıtımda yapılan çalışmanın görseli

Şekil 3.1 de kimyasal çöktürme deneyinde kullanılan jar testi deneyi ve çalışmada elde edilen sonucun beherdeki görüntüsü verilmektedir. Tablo 3.5 de alumün koagülant olarak kullanıldığı ve optimum koagülant dozunun 0,1 g/L olarak belirlendiği ve buna göre AKM (mg/L), KOİ (mg/L) ve bulanıklığın (NTU) sırasıyla 85, 650 ve 101 olduğu bulunduğu verilmiştir. Tablo 3.6 da da optimum koagülant dozunda deney sonucunda bulunan renk değerleri yer almaktadır.

Tablo 3.5 Koagülasyon-flokülasyon ile arıtım sonuçları

Koagülant	AKM mg/L	KOİ (mg/L)	Bulanıklık (NTU)
FeCl ₃ 0,1 g/L Fe	85	650	101

Tablo 3.6 Koagülasyon-flokülasyon ile arıtım sonuçları

Koagülant	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu (Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
FeCl ₃ 0,1 g/L Fe	1178	893	799	602

Sonuç olarak, gerçek tekstil atık suyu koagülasyon-flokülasyon ve kimyasal çöktürme ile ön arıtımı sonucu giriş atık su içerisinde ölçülen parametrelerin giderildiği ancak bu tekstil atık suyunu proses suyu olarak ya da farklı amaçlarla yeniden kullanmak üzere değerlendirildiğinde çalışmanın 2. Aşamasında fotokatalitik reaktör ile ileri arıtım yapılmıştır.

3.3. Fotokatalitik Proses İle Yapılan Deneyler

Tekstil atık suyunun koagülasyon ve flokülasyonla ön arıtım yapılarak stok ön arıtılmış atık su elde edilmiştir. Stok atık suyun özellikleri tablo 3.5 ve 3.6'daki değerlerdir. Bu atık su aynı zamanda fotoreaktörün giriş atık suyudur. Fotokatalitik reaktörde koagülasyon ve flokülasyonla ön arıtmadan çıkan atık su önce katalizör ilavesiz arıtıma tabi tutulmuştur ve verim alınamamıştır. Daha sonra Koagülasyon-Flokülasyonla ön arıtılmış atıksu daha sonra TiO₂ ve ZnO katalizörleri ile 0,1 g/L Ti, 0,2 g/L Ti, 0,3 g/L Ti ve 0,1 g/L Zn, 0,2 g/L Zn, 0,3 g/L Zn farklı dozlarında katalizörün katıldığı başlangıç anından başlayarak her 30 dakikada bir örnek alınarak sonuçlara bakılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 3.7 Koagülasyon-flokülasyonda FeCl₃ koagülantı kullanılarak arıtılmış stok atık suyun fotoreaktör ile arıtılması çıkış değerleri

	Katalizör ilavesiz				
Zaman (dk)	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0	101	1178	893	799	602
30	103	1150	890	801	598
60	102	1160	882	802	590
90	104	1155	885	793	595
120	101	1166	879	796	599

150	102	1173	881	790	591
180	103	1175	884	794	595
210	102	1172	887	798	600

Tablo 3.8 Koagülasyon-flokülasyonda FeCl₃ koagülantı kullanılarak arıtılmış stok atık suyun TiO₂ katalizörlü fotoreaktör ile arıtılması çıkış değerleri

TiO ₂ katalizörlü (0,1 g/L Ti)					
Zaman (dk)	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0	90	1100	801	698	513
30	50	560	457	387	284
60	45	380	308	291	202
90	40	270	265	240	150
120	41	268	260	230	148
150	40	269	261	235	147

Tablo 3.9 Koagülasyon-flokülasyonda FeCl₃ koagülantı kullanılarak arıtılmış stok atık suyun TiO₂ katalizörlü fotoreaktör ile arıtılması çıkış değerleri

TiO ₂ katalizörlü (0,2 g/L Ti)					
Zaman (dk)	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0	70	901	650	496	305
30	15	300	220	170	100
60	5	175	105	80	51
90	4	85	54	48	27
120	3	60	42	36	15
150	2	61	40	36	15
180	3	59	41	36	14

Tablo 3.10 Koagülasyon-flokülasyonda FeCl₃ koagülantı kullanılarak arıtılmış stok atık suyun TiO₂ katalizörlü fotoreaktör ile arıtılması çıkış değerleri

	TiO ₂ katalizörlü (0,3 g/L Ti)				
Zaman (dk)	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0	55	740	490	330	142
30	20	350	284	150	77
60	22	200	176	104	55
90	18	107	110	99	49
120	20	88	105	88	40
150	17	80	100	90	39
180	19	80	103	89	41

Tablo 3.11 Koagülasyon-flokülasyonda FeCl₃ koagülantı kullanılarak arıtılmış stok atık suyun ZnO katalizörlü fotoreaktör ile arıtılması çıkış değerleri

	ZnO katalizörlü (0,1 g/L Zn)				
Zaman (dk)	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0	94	1050	800	705	500
30	95	1055	810	706	515
60	3	175	123	115	99
90	2	111	108	105	82
120	1	100	84	80	66
150	2	101	84	76	61
180	1	102	85	77	64

Tablo 3.12 Koagülasyon-flokülasyonda FeCl₃ koagülantı kullanılarak arıtılmış stok atık suyun ZnO katalizörlü fotoreaktör ile arıtılması çıkış değerleri

	ZnO katalizörlü (0,2 g/L Zn)				
Zaman (dk)	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0	88	970	754	650	400
30	1	100	81	60	50

60	0,5	50	44	35	25
90	0,4	51	43	34	23
120	0,3	49	43	33	21

Tablo 3.13 Koagülasyon-flokülasyonda FeCl₃ koagülantı kullanılarak arıtılmış stok atık suyun ZnO katalizörlü fotoreaktör ile arıtılması çıkış değerleri

Zaman (dk)	ZnO katalizörlü (0,3 g/L Zn)				
	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0	70	900	688	597	344
30	15	94	72	65	59
60	10	80	56	51	44
90	11	80	55	50	46
120	9	81	53	49	45

Tablo 3.14 Arıtılmış atık suyun fotokatalitik reaktörden çıkış değerleri

Fotokatalitik reaktördeki atıksu cinsi	Katalizör	KOİ (mg/L)
FeCl ₃ koagülantlı arıtılmış stok atık suyu	ZnO (0,2 g/L Zn)	200
FeCl ₃ koagülantlı arıtılmış stok atık suyu	TiO ₂ (0,2 g/L Ti)	187



Şekil 3.2 Deneylerde kullanılan fotoreaktörün üstten görünümü

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tekstil atık suyunun koagülasyon ve flokülasyonla arıtımının; yapılan deney sonuçlarına bakılacak olursa renk giderimi %75,2 ile %85,1 arasında bulunmuştur. Ayrıca %88,1 AKM , %61,2 bulanıklık ve %69,7 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

Bu çalışmada, tekstil atık suyunun koagülasyon ve flokülasyon ile ön arıttımdan sonra fotokatalitik reaktör ile ileri arıtım sonuçlarını değerlendirdiğimizde; ZnO katalizörü ilavesi ile yapılan deneylerde sistem toplamda; %98,9-99,4 arasında renk giderim verimi, %100 AKM giderim verimi, %99,9 bulanıklık giderimi ve %90,6 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. TiO₂ katalizörü ilavesi ile yapılan deneylerde sistem toplamda; %98,7-99,6 arasında renk giderim verimi, %100 AKM giderim verimi, %99,9 bulanıklık giderimi ve %91,3 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

Koagülasyon-flokülasyonla ön arıttımdan sonra fotokatalitik reaktörle yapılan çalışmalarda giderim verimlerine bakıldığında oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun sonucunda fotokatalitik reaktörden sonra arıtılmış su; tarımsal alanda, endüstriyel alanda, yeraltı suyunun beslenmesinde, park ve bahçelerin sulanmasında, yangın suyu olarak, tuvaletlerde ve benzeri alanlarda tekrar kullanılabilir hale gelmiştir. Özellikle tekstil endüstrilerinde proste olduğu fazla su kullanılmakta olup, bu endüstri için su ihtiyacı ülkemizde yaygın olan tekstil endüstrilerinde arıtılmış olan sular da endüstride tekrar proses suyu hazırlamak için kullanılabilir.

4.2. ÖNERİLER

- Bu çalışmanın benzeri farklı tekstil atık suları ile çalışılabilir.
- Koagülasyon ve flokülasyon ile arıttımda farklı koagülantlar kullanılabilir.
- Bu çalışmanın sonuçları gerçek ölçekli olarak uygulanabilir.
- Fotokatalitik reaktörde farklı katalizörler denenebilir.
- Fotokatalitik reaktörde kullanılan katalizör dozları daha hassas oranlara denenebilir.

KAYNAKLAR

APHA (American Public Health Association) (1995). Standart Methods for the Examination of Water and Waste Water, 19th ed. APHA-AWWA-WEF, Washington, DC. USA.

Balcı B. Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Sürekli ve Kesikli Sistemlerde Ağaç Kabuğu Kullanılarak Adsorpsiyon ile Giderilmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana

KAMAG, (Kamu Araştırmaları Destek Grubu) (2013). 109G083 Nolu Tübitak Kamag Projesi El Kitabı

MCKAY G., 1979. Waste Colour Removal From Textile Effluents. Am. Dyes. Rep. 68: 29-36.

Nıgam P., Armour G., Banat I.M., Singh D., Marchant R., 2000. Physical Removal Of Textile Dyes And Solid State Fermentation Of Dyeadsorbed Agricultural Residues. Bioresour. Technol. 72: 219-226.

Sakthivel, S., Geissen, S.U., Bahnemann, D.W., Murugesan, V., Vogelpohl, A. (2002). Enhancement of photocatalytic activity by semiconductor heterojunctions: α -Fe₂O₃, WO₃ and

Sayılkan, F. (2007). Nano-TiO₂ Sentezi Fotokatalizör Sentezi ve Fotokatalitik Aktivitesinin Belirlenmesi. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Malatya.

Sefa Furkan Selçuk, Tekstil Boyasının Sulu Çözeltilerden Fotokatalitik reaktörle giderimi ve farklı katalizörlerin veriminin incelenmesi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 2017

Üner H. (2002). Bir Tekstil Endüstrisi Boya Atıksularının Kimyasal Arıtılabilirliği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Yiğit, Z. (2008). Fotokatalitik Arıtmanın Doğal Organik Madde Karakterizasyonu ve Dezenfeksiyon Yan Ürünlerine Etkisi. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.

<https://docplayer.biz.tr/203725476-Ileri-aritim-prosesleri-prof-dr-yuksel-ardali.html>
01.10.2022 15.55

<https://www.yesilaski.com/jar-testi-deneyi.html> 01.10.2022 13.45