



## Otomotiv Endüstrisi Kaynaklı Atıksuların PAC ve Demir Koagülantı ile Arıtılabilirlik ve İşletme Giderleri Bakımından Karşılaştırılması

Özcan Yavaş<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16000, Bursa

<sup>2</sup>Karsan Otomotiv San. ve Tic. A. Ş., Hasanağa Organize Sanayi Bölgesi, 16000, Bursa

E-posta: yavas.ozcann@gmail.com

Orcid: 0000-0001-8679-0485

**Gönderim 25.01.2021; Kabul 11.03.2021**

**Özet:** Bu çalışmada otomotiv endüstrisinden kaynaklanan atıksulara kimyasal arıtma proseslerinden koagülasyon-flokülasyon prosesi uygulanmış; Demir (III) klorür ( $FeCl_3$ ) ve Poli Alüminyum Klorür (PAC) koagülantları kullanılarak Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Fosfor (TP) yönünden kirletici giderim verimleri ve işletme maliyetleri kıyaslanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre; PAC koagülantının optimum doz olan 1mL/L %85 KOİ ve %86 TP giderdiği görülmüştür. Ayrıca tesis 1000 m<sup>3</sup> için pilot ölçekte çalıştırılmış ve işletme maliyetleri belirlenmiştir. PAC koagülantının  $FeCl_3$  koagülantına göre 1000 m<sup>3</sup> arıtılan atık su başına 1300 ₺ işletme maliyetlerinde avantaj sağladığı görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** PAC, demir klorür, otomotiv endüstrisi, işletme maliyetleri

### Treatment of Automotive wastewater by coagulation-flocculation using poly-aluminium chloride (PAC) and ferric chloride ( $FeCl_3$ ) and Comparing Operation Cost

**Received 25.01.2021; Accepted 11.03.2021**

**Abstract:** In this study, a chemical treatment systems (coagulation-flocculation) was applied for automotive wastewater using ferric chloride ( $FeCl_3$ ) and poly-aluminium chloride (PAC) as flocculant to determine the effectiveness for removal of chemical oxygen demand (COD) and total phosphorus (TP) and was compared with operating costs. The results obtained proved that PAC was comparatively more efficient than  $FeCl_3$ . PAC showed (optimum dose 1 mL/L) 85% removal for COD and 86% of TP. The comparison about operation costs, PAC less than  $FeCl_3$  1300 ₺ per 1000 m<sup>3</sup> treated wastewater.

**Key Words:** Poly-aluminium chloride, ferric chloride, automotive industry, operating costs

### GİRİŞ

Otomotiv endüstrisi faaliyetleri içerisinde bulunan atıksular, üretim faaliyetleri sırasında gerçekleşen metal kaplama, fosfat kaplama ve boyama prosesleri sırasında oluşmaktadır ve içerisinde krom, çinko, nikel gibi ağır metal ve fosfat bulunmaktadır (Tablo 1). Bu atıksular içerisinde bulunan yoğun toksik maddeler alıcı ortamlarda biyolojik toksisiteye sebep olmaktadır<sup>[1]</sup>. Boyama ve kaplama işlemleri sırasında oluşan atıksular otomotiv endüstrisinden kaynaklanan çevresel risklerin %60-%80 ini oluşturmaktadır<sup>[2,3,4]</sup>. Koagülasyon ve flokülasyon gibi kimyasal yöntemler, genellikle otomotiv atıksularını arıtma için kullanılır ancak kimyasal arıtma prosesleri yüksek miktarda kimyasal ilavesi gerektirdiğinden önemli ölçüde tehlikeli madde içeren atık çamur oluşturur. Bu nedenle, arıtılmış su kalitesini artırmak, kimyasal kullanımını azaltmak, çamuru azaltmak ve geri dönüştürmek için alternatif arıtma yöntemlerine ihtiyaç vardır.

Koagülasyon-Flokülasyon prosesleri basit ancak ağır metal ve inorganik bileşiklerin arıtılması için oldukça etkili ve uygulaması kolay bir prostestir<sup>[5]</sup>. Bu özelliklerinden dolayı genellikle yağlı atıksularda, tekstil atıksularında, otomotiv endüstrisi atıksularında ve mezbaaha atıksuları gibi yüksek içerikli atıksuların arıtılmasında kullanılırlar<sup>[6,7]</sup>. Kimyasal arıtma temel olarak nötralizasyon, koagülasyon ve flokülasyon proseslerinden oluşmaktadır. Nötralizasyon prosesi, negatif yüklü iyonların katyonik hidroliz ürünleri ile nötrale edilmesi prosesidir. Koagülasyon prosesi ile hem çökebilir hem de askıda bulunan kirletici taneciklerin flok adı verilen büyük tanecikler haline dönüştürerek flokülasyon prosesine hazırlamaktır. Büyük tanecikler haline getirilen bu kirleticiler çöktürme işlemi ile atıksudan uzaklaştırılırlar<sup>[5]</sup>.

\*\* İlgili E-posta/Corresponding E-mail: yavas.ozcann@gmail.com

Kimyasal arıtma tesislerinde koagülasyon-flokülasyon proseslerinde genel olarak alüminyum sülfat (alum), demir klorür ve demir klorosülfat gibi inorganik metal tuzları kullanılır. Bu inorganik tuzlar içerisinde demir tozları genellikle alüminyum tuzlara göre daha verimlidir <sup>[5,8]</sup>. Son yıllarda ise PAC (Poli-alüminyum klorür) gibi metal koagülantların polimerize formlarının kimyasal atıksu arıtma tesislerinde kullanımı yaygınlaşmıştır. Yapılan araştırmalar bu ürünlerin arıtma kimyasallarına göre yüksek kirletici giderimi, yüksek organik madde giderimi, düşük alkalinite ve daha düşük çamur oluşumuna sebep olduğunu göstermiştir <sup>[9]</sup>.

Bu çalışma kapsamında otomotiv faaliyetlerinin yüksek olduğu Bursa ilinde faaliyet gösteren bir otomobil üretim işletmesinde otomotiv atıksuyu ile gerçekleştirilen laboratuvar ve pilot ölçekli çalışmalarda PAC ve demir koagülantlarının KOİ ve Toplam Fosfor (TP) giderim verimleri incelenmiş aynı zamanda gerçek zamanlı tesiste uygulama gerçekleştirilerek işletme maliyetleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sırasında özellikle alıcı ortam deşarj standartlarına göre yüksek olduğu için KOİ ve TP seçilmiş olup özellikle literatür çalışmalarında eksik olduğu düşünülen işletme maliyetlerinin hesaplanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## MATERYAL VE METOD

### Atıksu Numunesi

Çalışma kapsamında hafif ticari ve ticari araç üretimi faaliyetlerinden kaynaklanan atıksu numunesi kullanılmıştır. Atıksu numunesi araçların boyama ve kataforez faaliyetleri sonucunda oluşmaktadır. Çalışma denemelerinin gerçekleştirildiği atıksu numunesi karakterizasyonu ile atıksuların deşarj edildiği bölgenin deşarj standartları ve alıcı ortam deşarj standartları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Otomotiv Endüstrisi Giriş Atıksuyu, Deşar alanı Limit ve Alıcı Ortam Limit Değerleri

Parametre	Birim	Ölçüm Değeri	Metot	Deşarj Bölgesi Limit Değer	SKKY* Alıcı Ortam Limit Değeri
pH	-	8,15	TS EN ISO 10523	6-10	6-10
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	78	TS EN 872	800	80
Renk	Pt-Co	<5	SM 2120 C	2000	280
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	1100-2000	SM 5220 B	1000	400
Yağ ve Gres	mg/L	17	SM 5520 C	120	20
Toplam Kjeldahl Azotu	mg/L	<10	SM 4500 Norg B	100	-
Sülfat (SO <sub>4</sub> -2)	mg/L	74	TS 5095	1500	-
Toplam Fosfor	mg/L	54	SM 4500P	25	-
Florür	mg/L	5	SM 4500 F	15	5
Toplam Siyanür	mg/L	<0.2	SM 4500 CN	1	0.05
Krom VI	mg/L	<0.01	SM 3500 Cr	0.5	0.05
Kurşun	mg/L	<0.01	ISO 11885	2	0.3
Demir	mg/L	5.1	ISO 11885	25	3
Bakır	mg/L	0.15	ISO 11885	3	0.3
Kadmiyum	mg/L	<0.01	ISO 11885	3	0.05
Çinko	mg/L	2.4	ISO 11885	20	0.05
Civa	mg/L	<0.02	-	0.05	2

\*Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 18.2 Taşıt Fabrikaları (Otomobil, Kamyon, Traktör, Minibüs, Bisiklet, Motosiklet vb. Taşıtlar) göre değerlendirilmiştir.

### Materyal

Bu çalışma kapsamında PAC ve FeCl<sub>3</sub> koagülantı KOİ ve Toplam-P giderim verimleri açısından birbirleri ile mukayese edilmiştir. Kirletici giderim çalışmaları laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan Demir (III) Klorür ve PAC koagülantlarının kimyasal formülasyonları sırasıyla FeCl<sub>3</sub>. 6 H<sub>2</sub>O (M<sub>A</sub> = 270,33 g/mol) ve Al(OH)<sub>a</sub>Cl<sub>b</sub>/Al(OH)<sub>a</sub>Cl<sub>b</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>c</sub> ; (a+b+2c)=3, a>1 olacak şekilde çözeltili formları kullanılmıştır.

### Deney Metodu

Demir (III) klorür deneylerinde; pH=1,5 olarak ayarlanmış ve daha sonra koagülantların aktifleşmesi için gerekli aralığa (pH=9-9,5) getirilmiştir. pH ayarlama işlemleri sırasında HCl (%2 solüsyon) ve NaOH (%48 solüsyon) kullanılmıştır. Daha sonra tüm örnekler 3 farklı dozda koagülant ilavesi yapılmıştır (0,6 mL/L, 0,8 mL/L ve 1 mL/L). Koagülant ilavesinin ardından % 1 lik anyonik polimer ilave edilmiştir.

Örnekler 200 rpm de 2dk. ve 40 rpm de 10 dk karşılaştırılmıştır<sup>[5,11]</sup>. Daha sonra analiz için örnekler 15 dk çökmeye bırakılmış ve yüzeyden 2 cm olacak şekilde numune alınmıştır.

PAC deneylerinde ise Demir (III) klorür deneyleri ile aynı prosedür takip edilmiş olup sadece pH ayarlama sırasında PAC koagülantının aktifleşmesi için pH 6,5 olarak ayarlanmıştır.

Optimum doz belirleme çalışmaları için VELD JLT 6 model ile 6 lı jar testi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Jar testi çalışmaları için 500 mL beherler kullanılmıştır.

### Analiz Metodu

Alınan numunelere LCK 114 ve LCK 348 test kiti uygulanarak sırasıyla KOİ ve TP analizi gerçekleştirilmiştir. pH analizleri için HQ40D Portatif Multimetre kullanılmıştır. Yapılan kitanalizlerini sonuçlandırmak için Merck Spectroquant Nova 60 marka Spektrofotometre kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki eşitlik kullanılarak verim hesaplanmıştır.

$$Verim (\%) = \left[ \frac{(C_s - C_i)}{C_s} \right] * 100 \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Cs: Kirleticinin son konsantrasyon değeri (mg/L)

Ci: Kirleticinin ilk konsantrasyon değeri (mg/L)

### İşletme Maliyeti Hesabı

Pilot ölçekli denemelerde, laboratuvar ölçekli deneylerde elde edilen optimum doza göre (0,8 mL/L Demir (III) klorür ve 1 mL/L PAC dozu) dozaj pompaları ayarlanmıştır. Tesis her 2 koagülant dozunda 1.000 m<sup>3</sup> atıksu arıtacak şekilde çalıştırılmış ve sarfiyatlar not edilerek işletme maliyetleri belirlenmiştir. İşletme maliyetleri hesaplanırken HCl, NaOH, koagülant sarfiyatı, anyonik polimer sarfiyatları dikkate alınmış olup tesisin her 2 durumda arıttığı atıksu değişmediğinden tesisin harcadığı enerji değerleri her iki koagülant için eşit kabul edilmiştir.

## ARAŞTIRMA SONUÇLARI

### Ham Su Giderim Verimleri

Otomotiv endüstrisi atıksu karakterizasyonu incelendiğinde KOİ ve Toplam Fosfor giriş değerlerinin alıcı ortam şartlarını sağlamadığı görülmektedir (Tablo 1). Giriş atıksuyuna FeCl<sub>3</sub> ve PAC koagülantı uygulandığında her iki koagülantın da değerleri sağladığı görülmektedir. Çıkış atıksu değerleri her iki koagülant için Tablo 2’de verilmiştir.

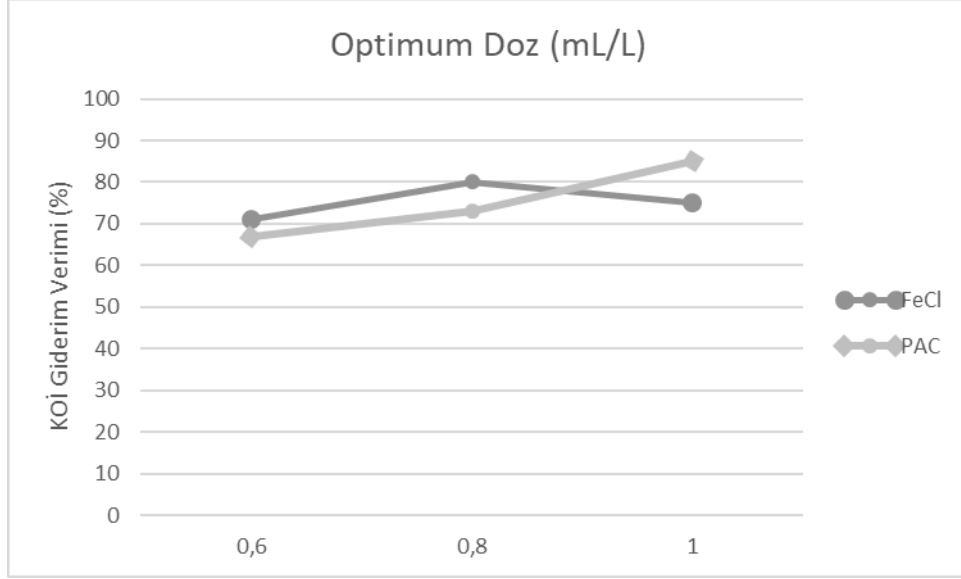
Tablo 2. Otomotiv Atıksuyu Çıkış Değerleri

Atıksu Parametresi	FeCl <sub>3</sub>	PAC	Deşarj Standartı
KOİ	220-400	165-300	400-1000
TP	15	7.6	25
pH	8	6.3	6-9

### Kirletici Giderim Verimleri

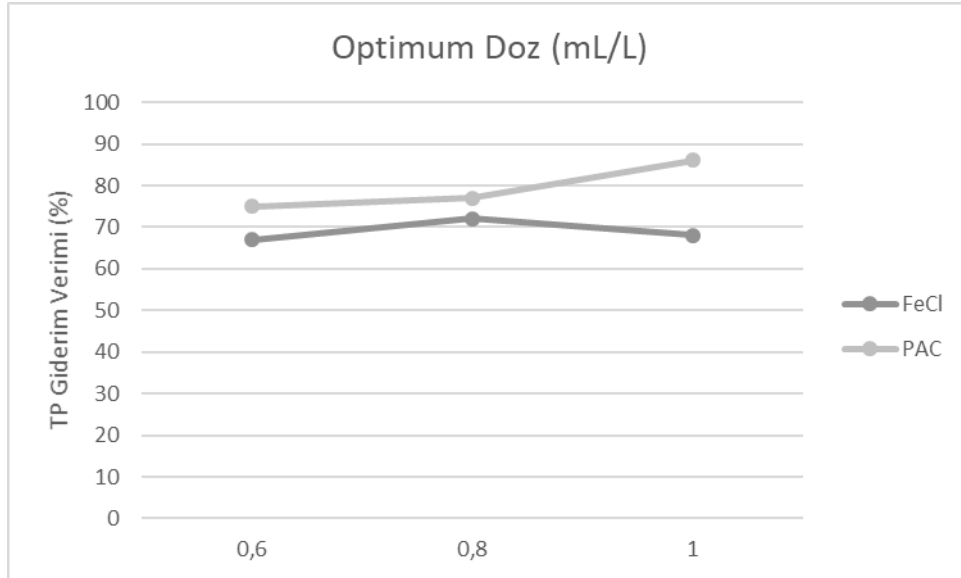
Laboratuvar deneylerine bakıldığında PAC ve FeCl<sub>3</sub> optimum pH değeri sırasıyla 6,5 ve 9,5 olarak belirlenmiştir. PAC deneylerinde 3 farklı doz için (0,6 mL/L, 0,8 mL/L ve 1 mL/L) KOİ giderim verimi belirlenmiş olup en yüksek giderim verimi 1,0 mL/L PAC dozunda gerçekleşmiştir (% 85 KOİ giderim verimi).

FeCl<sub>3</sub> deneylerinde 3 farklı doz için (0,6 mL/L, 0,8 mL/L ve 1 mL/L) KOİ giderim verimi hesaplanmış en yüksek giderim verimi 0,8 mL/L FeCl<sub>3</sub> dozunda gerçekleşmiştir (%80 KOİ giderim verimi). Koagülantların optimum pH ve 3 farklı doz için kirletici giderim verimleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Farklı koagülant türleri ve dozlarının KOİ giderim verimine etkisi

Koagülantların TP giderim verimleri incelendiğinde optimum FeCl<sub>3</sub> dozunda % 72 ve optimum PAC dozunda %86 TP giderim verimi elde edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Farklı koagülant türleri ve dozlarının TP giderim verimlerine etkisi

Deneyler jar testinde her iki koagülant için 3 farklı doz üzerinden yapılmış olup en uygun dozların kirletici giderimlerine etkisi Tablo 3'te verilmiştir. Doz belirlerken optimal pH'nın belirlenmesi her bir koagülant için belirli aralıklarda meydana geldiğinden pH belirleme çalışmaları için literatür çalışmaları kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar da optimum pH dozu PAC için 5.8-7.5 iken demir içerikli koagülantlarda pH 9.5-10.5 arasında giderim veriminin yüksek olduğu görülmektedir.<sup>[5,10]</sup>

Giderim verimleri incelendiğinde demir içerikli koagülantın hem KOİ hem de TP giderim veriminde doz arttıkça artması beklenmektedir. Ancak 1mL/L doz da bir azalış sağlandığı görülmekte

olup bu sonucun demir içerikli koagülant sebebiyle oluşan demir sülfat metal konsantrasyonunu arttırdığı için giderim verimlerini etkilemiştir.

**Tablo 3.** Koagülant dozlarının KOİ ve TP kirletici giderim verimlerine etkisi

Koagülant	Giderim Verimi (%)	Koagülant Dozu (mL/L)		
		0,6	0,8	1,0
Demir (III)	KOİ	71	80	75
Klorür	TP	67	72	68
PAC	KOİ	67	73	85
	TP	75	77	86

Optimum doz çalışmaları sırasında kullanılan koagülantların pH'ı etkilemediği ve ayarlanan pH'ın sabit kaldığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre kirletici giderim verimleri açısından PAC koagülantının FeCl<sub>3</sub> koagülantına göre daha yüksek arıtma verimlerine sahip olduğu söylenebilir.

#### **İşletme Maliyetleri**

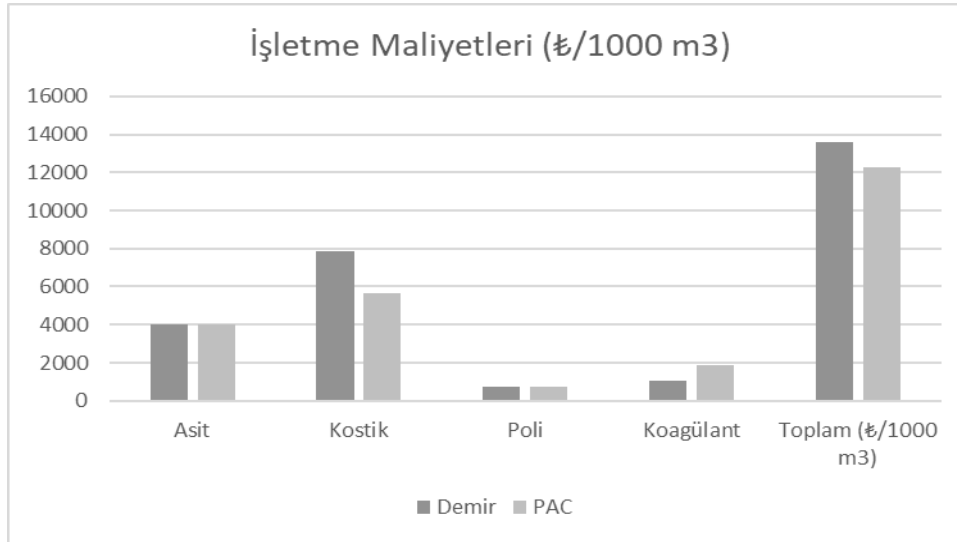
PAC ve FeCl<sub>3</sub> koagülantının işletme maliyetleri için yapılan çalışmalar 10 m<sup>3</sup>/sa kapasiteli bir kimyasal arıtma tesisinde denenmiştir. Her 2 deneme arıtılan 1.000 m<sup>3</sup> atıksu üzerinden yapılmış olup PAC, FeCl<sub>3</sub>, HCl, NaOH ve anyonik polimer sarfiyatları kayıt altına alınarak işletme maliyetleri belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan kimyasalların birim fiyatları Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Kimyasal arıtma tesisinde kullanılan kimyasalların birim fiyatları

Kimyasal	Birim Fiyat	Birim
Kostik	0,28	€/kg
Asit	0,19	€/kg
Demir (III) Klorür	0,19	€/kg
PAC	0,3	€/kg
Poli	0,1	€/kg

Yapılan deneylere göre tesisin işletme maliyetleri dikkate alındığında 1.000 m<sup>3</sup> atıksu arıtım başına arıtma tesisi işletme maliyetleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. 1.000 m<sup>3</sup> atıksu arıtılması için 2 farklı koagülant dozundaki işletme maliyetleri

Şekil 3 verileri dikkate alındığında PAC kimyasalının birim fiyatı daha yüksek olmasına rağmen düşük pH ta (pH 6,5) yüksek kirletici giderimi elde etmesi sebebiyle işletme maliyetlerinde FeCl<sub>3</sub> koagülantına göre yaklaşık 1.300 ₺ arıtılan 1.000 m<sup>3</sup> atıksu başına işletme tasarrufu sağladığı görülmüştür.

## SONUÇ

Bu çalışma kapsamında PAC ve FeCl<sub>3</sub> kullanılarak otomotiv endüstrisi atıksularından KOİ ve TP giderim verimleri hem ulusal deşarj parametreleri ile hem de işletme maliyetleri yönüyle karşılaştırılmıştır. PAC kimyasalı ile yapılan denemelerde, KOİ ve TP giderim verimlerinin FeCl<sub>3</sub> koagülantına göre daha yüksek olduğu görülmüştür (sırasıyla %85 ve %86).

Deneyler de koagülant seçimi olarak 1 adet demir bazlı 1 adet alüminyum bazlı koagülant seçimi yapılmıştır. PAC koagülantı atıksu arıtma tesislerinde son yıllarda yüksek arıtma verimi, yüksek bakım maliyeti ve düşük çamur oluşumu nedeniyle oldukça sık kullanılmaktadır.<sup>[10]</sup> PAC ince kolloidal tanecikleri birleştirir ve büyük floklar oluşturarak kirleticilerin ortamdan uzaklaştırılmasını sağlar. Aynı zamanda PAC alüminyum bazlı koagülantlar arasında en kolay hidrolize olan koagülanttır. Uzun moleküler zincirlere sahip polihidroksitler ve çözeltide daha fazla elektrik yükü yayar ve bu yükü en çok floğu oluşturarak ortamdan kirleticilerin uzaklaştırılmasını sağlar.<sup>[10]</sup>

Yapılan denemelerde giriş ve çıkış atıksu konsantrasyonları incelendiğinde otomotiv endüstrisinden kaynaklanan atıksuların KOİ ve TP dışında çok yüksek olmadığı görülmektedir. Bu sebeple denemeler de bu 2 parametre üzerine yoğunlaşmış ve kirletici giderim verimleri belirlenmiştir. Denemeler sonucunda her iki koagülantın da kirleticileri ulusal deşarj standartlarına düşürdüğü ve kullanılabilir olduğu görülmektedir. Bu sebeple bu çalışma sonucunda işletme parametreleri ve kirletici giderim verimlerine göre sonuçlar yorumlanmıştır.

Çalışma işletme maliyetleri açısından değerlendirildiğinde pH 6,5'ta kirletici giderimi gerçekleştirdiğinden kostik kullanımına bağlı işletme maliyetlerinde avantaj sağlamıştır (arıtılan 1.000 m<sup>3</sup> atıksu başına 1.300 ₺). İncelenen benzer araştırmalar da işletme maliyetlerine dair bir veriye rastlanmamıştır. Kirletici giderim veriminin yüksek ve deşarj parametrelerinin sağlandığı durumlarda arıtma tesisi işletme maliyetlerine etkisini değerlendirmek önemlidir. Bu kapsamda jar çalışmalarının yeterli olmayacağı düşünülmüş ve aynı kapasiteli iki tesisi 1.000 m<sup>3</sup> atıksu arıtana kadar optimum belirlenen dozlarda çalıştırılmıştır. Bu çalışmalarda jar testi çalışmalarından yola çıkarak alum içerikli koagülantların düşük pH'ta daha etkili çalıştığı görülmüş ve özellikle birim fiyatı yüksek olan kostik kimyasalının sarfiyatını düşürdüğü gözlenmiştir. Tüm sarfiyatlar birlikte incelendiğinde m<sup>3</sup> arıtılan atıksu başına 1.3 ₺ (yaklaşık %18) maliyet iyileştirmesi sağlamıştır.

Yapılan benzer çalışmalara bakıldığında Abu Bakar ve Halim (2014) yılında yaptıkları bir çalışmada otomotiv atıksularını demir (III) klorür (FeCl<sub>3</sub>), alum ve PAC kullanarak gerçekleştirdikleri deneylerde KOİ, AKM ve ağır metal (Fe, Ni, Zn) giderim verimlerini incelemişler ve PAC'ın alum ve demir koagülantlarına göre daha verimli olduklarını (sırasıyla %70, %64 ve %54 KOİ giderimi; sırasıyla

%98, %91 ve %94 AKM giderimi) bulmuşlardır.<sup>[5]</sup> Dharmasinghe 2017 yılında yaptığı bir çalışmada su arıtımında alum ve PAC koagülantını kıyaslamış ve %48 daha düşük koagülant dozunda %96 oranında bulanıklık giderimi sağlamıştır. Ayrıca çalışma kapsamında iki koagülant, işletme faktörleri ve çamur oluşumu yönünden kıyaslanmış olup, PAC kullanımının daha küçük dozlarda daha yüksek flok miktarları elde ettiğini belirlemişlerdir. Çamur hacminde de alum koagülantına göre bir kıyaslama yapılmıştır.<sup>[10]</sup> Zang ve arkadaşları 2018 yılında gerçekleştirdikleri bir çalışmada düşük sıcaklıkta ve düşük iletkenlikteki atıksuların yüksek pıhtılaşması için PAC kimyasalını incelemişler ve düşük bulanıktaki sularda PAC in oldukça verimli olarak kullanılabilineceğini belirlemişlerdir. Gerçekleştirdikleri çalışmada %63 Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) giderimi elde etmişlerdir.<sup>[12]</sup> Lal ve Garg 2019 yılında gerçekleştirdikleri bir çalışmada ise selüloz içerikli bir atıksu da PAC ve PFC ve PAFC koagülantları ile çalışmışlardır. Çalışma sonucunda PAC koagülantını diğer koagülantlara göre iyi çökelme özellikleri, yüksek su verme kapasitesi ve kolay biyolojik bozunabilirlik yönünden daha avantajlı bulmuşlardır.<sup>[13]</sup>

Bu çalışma da literatürdeki çalışmalara benzer olarak PAC koagülantının demir koagülantına göre işletme giderim verimleri hem KOİ giderimi hem de PAC giderimi yönünden daha yüksek bulunmuştur (sırasıyla %85 ve %86). Bursa ili otomotiv sektörü bakımından oldukça gelişmiş bir sanayiye sahiptir. Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan kimyasalların hem çevresel hem de ekonomik riski göz önünde bulundurulduğunda doğru arıtma kimyasallarının kullanımı bu riskleri düşüreceği görülmektedir. Bu sebeple koagülant belirleme çalışmaları belirlenirken sadece koagülant verimleri çalışılmamalı tüm arıtma tesisi kimyasal sarfiyatlarını ve arıtma çamuru gibi tehlikeli atıkları azaltan faktörler de dikkate alınmalıdır. Bu çalışma kapsamında farklı koagülant dozlarının işletme parametrelerine ve arıtma çamuru miktarına etkisi incelenmemiş olup literatürde bu konuda yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Bu etkiler de üretim tesislerin de iş gücü kaybı ve tehlikeli atık miktarlarını doğrudan etkilediği için geliştirilmeli ve pilot ölçekli tesislerde denenerek arıtma tesisine etkileri incelenmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Kurnaz A., Mutlu E., Uncumaşoğlu A., 2016, Determination of Water Quality Parameters and Heavy Metal Content in Surface Water of Cigdem Pond, Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology, 4(10): 907-913.
- [2] Geffen, C.A., Rothenberg, S., 2000, Suppliers and environmental innovation: the automotive paint process. Int. J. Oper. Prod. Manag. 20(2), 166e186.
- [3] Papasavva, S., Kia, S., Claya, J., Gunther, R., 2001, Characterization of automotive paints: an environmental impact analysis. Prog. Org. Coating 43, 193e206.
- [4] Zorpas, A.A., Inglezakis, V.J., 2012, Automotive industry challenges in meeting EU 2015 environmental standard. Technol. Soc. 34, 55e83.
- [5] Abdul Fattah Abu Bakar, Azhar Abdul Halim, 2013, Treatment of Automotive wastewater by coagulation-flocculation using poly-aluminium chloride (PAC), ferric chloride (FeCl<sub>3</sub>) and aluminium sulfate (alum), AIP Conference Proceedings 1571, 524.
- [6] S. Meric, H. Selcuk and V. Belgiorino, 2005, Acute toxicity removal in textile finishing wastewater by Fenton's oxidation, ozone and coagulation-flocculation processes, Water Res. 39 (6), 1147-1153.
- [7] O. S. Amuda and A. Alade, 2006, Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater, Desalination 196, 22-31.
- [8] A. Amokrane, C. Comel and J. Veron, 1997, Landfill leachates pretreatment by coagulant-flocculant, Water Res. 31, 2775-2782.
- [9] S. Sinha, Y. Yoon, G. Amy and J. Yoon, 2004, Determining the effectiveness of conventional and alternative coagulants through effective characterization schemes, Chemosphere 57, 1115-1122.
- [10] S. Dharmasinghe, 2017, Poly aluminium chloride as an alternative to alum as a coagulant in water treatment, Degree of Master University of Moratuwa, Master Thesis, 106.
- [11] J. P. Wang, Y. Z. Chen, S. J. Yuan, G. P. Sheng and H. Q. Yu, 2009, Synthesis and characterization of a novel cationic chitosan-based flocculant with a high water-solubility for pulp mill wastewater treatment, Water Res. 43 (20), 5267-5275.
- [12] Z. Zang, R. Jing, S. He, J. Qian, K. Zhang, G. Ma, X. Chang, M. Zhang, Y. Li, 2018, Coagulation of low temperature and low turbidity water: Adjusting acidity of polyaluminium chloride (PAC) and using chitosan as coagulant aid, Separation and Purification Technology, 206, 131-139.

- [13] K. Lal, A. Garg, 2019, Effectiveness of synthesized aluminium and iron based inorganic polymer coagulants for pulping wastewater treatment, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7, 103204.