



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 19.11.2020  
Kabul Tarihi : 10.06.2021

Received Date : 19.11.2020  
Accepted Date : 10.06.2021

### NARENCİYE ATIKSULARININ ARITILABİLİRLİĞİNDE KOAGÜLASYON-FLOKÜLASYON METODUNUN UYGULANABİLİRLİĞİ

#### APPLICABILITY OF COAGULATION-FLOCCULATION PROCESS IN TREATABILITY OF CITRUS WASTEWATER

Hasan Kıvanç YEŞİLTAS<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0003-3331-3209)  
Çağatayhan Bekir ERSÜ<sup>1\*</sup> (ORCID: 0000-0001-6289-6947)

<sup>1</sup> Çukurova Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Çağatayhan Bekir ERSÜ, cbersu@cu.edu.tr

#### ÖZET

Bu araştırma makalesinde, Akdeniz bölgesinde faaliyet gösteren bir narenciye işleme tesisi atıksularının koagülasyon-flokülasyon metodu ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Arıtılabilirlik çalışması üç aşamada sürdürülmüş olup ilk aşamasında alum, demir-III-klorür ve magnezyum klorür koagülantları kullanılmıştır. Araştırmanın ikinci aşamasında, uygulanan alum dozunun artırılması ile atıksuda gerçekleşecek olan KOİ ve AKM gideriminin etkisi incelenmiştir. Son aşamada ise sadece kireç kullanılması durumunda ham atıksuda gerçekleşecek olan KOİ ve AKM giderimleri araştırılmıştır.

Bu çalışmada kullanılmış olan üç koagülant arasında, narenciye atıksularının arıtılmasında alum koagülantının kullanılmasının daha uygun olacağı tespit edilmiş olup pH ayarlamada kireç kullanılması neticesinde arıtma veriminin arttığı görülmüştür. Üç aşamadan oluşan arıtılabilirlik çalışması sonucunda, narenciye atıksularının arıtılmasında koagülasyon-flokülasyon prosesinin bir ön arıtma alternatifi olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır. Bu çalışmada tespit edilen en yüksek KOİ giderim verimi 1.000 mg/L alum dozu için %60,25 ve en yüksek AKM giderim verimi ise pH 11 değerinde %87,22 olarak ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Narenciye atıksuyu, koagülasyon-flokülasyon prosesi, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderimi, arıtılabilirlik çalışması.

#### ABSTRACT

In this research article, the treatability of the wastewater of a citrus processing plant operating in the Mediterranean region by coagulation-flocculation method was examined. Treatability study was carried out in three stages, and in the first stage alum, ferric chloride and magnesium chloride coagulants were used. In the second stage of the study, the effect of increasing the dose of the applied alum coagulant on COD and TSS removal was investigated. In the last stage, COD and TSS removals that would occur in raw wastewater in case of using only lime were examined.

Among the three coagulants used in this study, it was determined that it would be more appropriate to use alum coagulant in the treatment of citrus wastewater and that the treatment efficiency would increase as a result of lime use for pH adjustment. As a result of the laboratory work, it was understood that the coagulation-flocculation process can be used as a pre-treatment alternative in the treatment of citrus wastewater. The highest COD removal efficiency determined in this study was 60.25% for 1000 mg/L alum dose and the highest TSS removal efficiency was measured as 87.22% at pH 11.

**Keywords:** citrus wastewater, coagulation-flocculation process, chemical oxygen demand (COD) removal, treatability studies

## GİRİŞ

Akdeniz iklimi, yerkürede, narenciye çeşitlerinin (portakal, mandalina, limon, greyluft vb.) büyük ölçekli tarımın gerçekleştirilebileceği uygun niteliklere sahip önemli bölgelerden bir tanesidir (Aygün vd., 2018; Guzmán vd., 2016; Saraçoğlu, 2017). Bünyesinde bulunan vitamin ve minerallerden kaynaklı olarak bağışıklık sistemini güçlendiren narenciye ürünleri, kalp ve damar hastalıklarına da iyi gelmektedir (Eryildiz vd., 2020; Aygün vd., 2018; Sharma vd., 2017; Sollid, 2016). İnsan sağlığına olumlu etkileri sebebiyle günlük olarak sıklıkla tüketilen narenciye çeşitlerinin endüstriyel tesislerde de (meyve suyu, gıda, konserve, kimya, kozmetik, ilaç sanayi) kullanımları mevcuttur (Eryildiz vd., 2020; Saraçoğlu, 2017).

Narenciye işleme tesislerinde bol miktarda su tüketilmekte olup oluşan atıksuyun karakteristiği, narenciye ürününün çeşidine ve hasat mevsimine göre değişiklik göstermektedir (Corsino vd., 2018). Üretim prosesi sonucu oluşan atıksu ise asidik (genel olarak  $pH < 3$ ) nitelikte olup yüksek organik içeriğe sahiptir (Zema vd., 2019; Corsino vd., 2018). Ayrıca narenciye atıksuları yağlı bir içeriğe sahip olup eser miktarda azot ve fosfor elementlerini de bünyelerinde barındırmaktadır (Corsino vd., 2018; Guzmán vd., 2016). Narenciye prosesi atıksularının uygun arıtma işlemine tabi tutulmadan alıcı ortama deşarj edilmesi neticesinde istenmeyen koku problemleri oluşmakta olup bünyesinde yer alan katı madde muhtevassından dolayı haşere oluşumları da gözlenmektedir (Eryildiz vd., 2020). Ayrıca atıksuyun pH değerinin düşük olması ve biyolojik olarak parçalanabilir organik madde muhtevassının yüksek olması sebebiyle, deşarj işlemini takiben toprak ekosisteminde ve su kalitesinde arzu edilmeyen etkiler meydana getirmektedir (Eryildiz vd., 2020; Zema vd., 2019). Alıcı ortamlarda meydana gelebilecek olan tahribatın engellenmesi için idari yönetimler tarafından deşarj işleminin kontrollü yapılabilmesi amacıyla deşarj standartları belirlenmekte ve bu tip atıksular için arıtılma zorunluluğu Dünya'nın çeşitli bölgelerinde uygulanmaktadır (Zema vd., 2019; Corsino vd., 2018). Ülkemizde ise narenciye atıksularının alıcı ortama arıtılmadan deşarj edilmemesi amacıyla ilgili deşarj standartları belirlenmiş olup yetkili kurumlar tarafından denetimleri sürdürülmektedir (SKKY, 2004).

Narenciye atıksuların arıtılmasında lagün sistemleri ve aktif çamur süreçleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Zema vd. 2019; Koppa & Pullammanappallil, 2013). Arıtma sistemi olarak doğal ekosistemin bir taklidi olan insan yapımı lagün sistemlerinin tercih edilmesi durumunda arıtma süreci yavaş ilerlemekte olup büyük alan gereksinimlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Andiloro vd., 2013; Zaimoğlu & Bozkurt, 2010). Ayrıca atıksu arıtımında kullanılması planlanan lagünlerin yerleşim yerlerine uzak olması da oluşabilecek koku vb. olumsuzlukların önlenmesi açısından tercih edilmektedir (Carawan & Chambers, 1979). Aktif çamur prosesleri ise atıksuyun arıtılması için özel olarak tasarlanmış biyolojik sistemler olup arıtma lagünlerine kıyasla aynı miktarda atıksuyun arıtılması için daha az alan gereksinimi bulunmaktadır (Metcalf & Eddy, Inc., 2003). Fakat aktif çamur prosesinden kaynaklı olarak oluşan atık çamur miktarının fazla olması ve sistemin yüksek miktarda oksijen gereksinimine ihtiyaç duyması bu metodun önemli dezavantajları olarak görülmektedir (Speece, 1996). Narenciye atıksularının arıtılmasında tercih edilen bir diğer biyolojik sistem olan anaerobik arıtma sistemleri, organik maddenin özümlemesinde kullanılan biokütlelerin metabolik faaliyetleri sebebiyle aktif çamur süreçlerine göre daha az miktarda atık çamur üretmektedir (Van Haandel & Lettinga, 1994). Ayrıca anaerobik üretim neticesinde arıtma ünitesinde biyogaz elde edilmekte olup bu gazın yakıt olarak kullanılması neticesinde işletme masraflarının azaltılmasında olumlu katkı sağlanmaktadır (Rosas-Mendoza vd., 2020; Koppa & Pullammanappallil, 2013).

Atıksuların biyolojik arıtımında, giriş suyunun sürekli izlenmesi ve arıtma ünitesi için olumsuz etkiler yapabilecek kirleticilerin ya da kirleticilerin yüksek konsantrasyonlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Guzmán (2012), Küba'da yer alan bir narenciye işleme şirketinin soğuk sıkılmış yağ üretim hattı ile ilgili bir çalışma yapmış ve narenciye atıksularının yüksek miktarda yağ içerdiğini belirterek aerobik arıtma esaslı sistemlerde istenilmeyen işletme problemlerinin çıkabileceğini bildirmiştir. Bu tip durumlarda ise gerekli önlemlerin alınması aşamasında bir ön arıtma ünitesi teşkil edilebilmektedir. Ayrıca ön arıtımın bir avantajı da kendisinden sonra teşkil edilmiş/edilecek olan ünitenin kirlilik yükünü azaltmasıdır. Aktif çamur proseslerinde ise tasarım aşamasında, organik yük temel bir tasarım parametresi olmakta ve tesis için alan ihtiyacının belirlenmesinde kullanıldığı gibi sisteme gerekli oksijen miktarının hesaplanmasında da kullanılmaktadır (Crittenden vd., 2005). Dolayısıyla bir ön arıtma prosesi ile birlikte planlanacak olan aktif çamur prosesi için daha az alan gereksinimi olabileceği gibi işletme maliyetleri de düşürülebilecektir. Organize sanayi bölgelerinde ya da ölçeğine göre mücavir alan sınırları içerisinde yer alan işletmelerde oluşacak narenciye atıksularının ise ön arıtıma tabi tutularak ortak arıtma tesislerinde ya da yerel yönetimlere ait atıksu arıtma tesislerinde arıtılması mümkün olabilmektedir (Carawan & Chambers, 1979). Guzmán vd. (2016), narenciye atıksularının ön arıtımında kimyasal oksidasyon proseslerinin

uygun olacağını belirterek ileri oksidasyon prosesleri ile atıksuda bulunan yüksek organik içeriğin de azaltılabileceğini bildirmişlerdir.

Endüstriyel üretimin gerçekleştirildiği sanayi tesislerinde ürünün talebine bağlı olarak kapasite artışları gerçekleştirilebilmektedir. Üretimin artırılması neticesinde ise oluşacak atıksu miktarı ve karakteri değişebilmekte ve mevcut atıksu arıtma tesisi kapasitesi yerine göre yetersiz kalabilmektedir. Bu tip durumlarda ise mevcut arıtma tesisine gelecek kirlilik yükünü azaltmak amacıyla ön arıtma uygulamaları bir alternatif olarak tercih edilmektedir. Çeşitli araştırmacılar literatürde endüstriyel faaliyetlerden kaynaklı oluşan atıksuların (tekstil, biyodizel, şeker, gıda vb.) arıtılmasında bir kimyasal arıtma prosesi olan koagülasyon-flokülasyon metodu ile çalışmış olup bu metodun endüstriyel atıksuların arıtılmasında uygulanabilir olduğunu bildirmişlerdir (Yılmaz & Yılmaz, 2019; Daud vd., 2015; Konieczny vd., 2005; Khan vd., 2003). Koagülasyon-flokülasyon prosesi endüstriyel atıksuların arıtılmasında kullanılan temel bir proses olup koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme adımlarından oluşan üç aşamalı bir yöntemdir (Sahu & Chaudhari, 2013). Koagülasyon-flokülasyon prosesinin ilk aşamasında (koagülasyon) reaktöre bir kimyasal madde (koagülant) eklenerek, su içerisinde kendi ağırlıkları ile çökelemeyen partiküllerin stabilitelelerinin bozulması hedeflenmektedir. Devamında ise stabilitesi bozulan partiküllerin karışımı ortamda çökmesi engellenerek daha büyük partiküller floklar oluşturulmaktadır. Son adımda ise floklar arasında yer alan ve kirlilik yaratan maddeler çökelti olarak sistemden uzaklaştırılmaktadır (Sahu & Chaudhari, 2013; Crittenden vd., 2005). Üç aşamadan oluşan koagülasyon-flokülasyon prosesi, mevcut arıtma tesislerinde ön arıtma niteliğinde teşkil edilebileceği gibi işletilmekte olan arıtma ünitesinden sonra da ileri arıtma olarak teşkil edilebilmektedir (Bouchareb vd., 2020; Guerreiro vd., 2016; Guzmán vd., 2016; Teh vd., 2016; Di Bella vd., 2014; Sahu & Chaudhari, 2013; Rizzo vd., 2008; Crittenden vd., 2005).

Bu çalışmada, kimyasal bir süreç olan koagülasyon-flokülasyon metodunun narenciye atıksularının arıtılmasında uygulanabilirliği deneysel olarak çalışılmıştır. Bu amaç ile çeşitli alum, demir-III-klorür ve magnezyum klorür koagülantları kullanılarak arıtılabilirlik çalışması gerçekleştirilmiştir. KOİ ve AKM parametreleri üzerinden giderim verimleri tespit edilmiş olup en uygun koagülant ile dozu tespit edilmiştir. Arıtılabilirlik çalışması kapsamında pH ayarlamalarında kireç kullanılmış olup pH'nin değişmesine bağlı olarak arıtım veriminin de değişimi izlenmiştir. Bu araştırma ayrıca koagülasyon-flokülasyon prosesinin KOİ ve AKM giderme verimleri üzerinden narenciye atıksularının ön arıtımında kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu çalışmanın önemi ise daha önce literatürde benzeri bir çalışmanın sunulmamış olmasıdır. Bu durumun sebebinin ise önemli bir atıksu arıtma yüzdesinin elde edilmemesi ve deşarj standartlara uygun çıkış suyu kalitesine ulaşamamış olması düşünülmektedir. Ancak, yine de önemli bir ön arıtma yöntemi olduğu düşünülmektedir.

## MATERYAL VE METOT

### Materyal

#### Narenciye Atıksuyu, Kullanılan Cihazlar ve Reaktifler

Bu çalışmada kullanılmış olan narenciye atıksuyu Adana bölgesinde faaliyet gösteren bir narenciye işleme tesisinden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan ham atıksuda kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), çözülmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (ÇKOİ), askıda katı madde (AKM) ve pH parametreleri ölçülmüştür. Arıtılabilirlik çalışması esnasında Velp Scientifica marka FC6S model jar test cihazı, pH ölçümleri için WTW marka 3110 model pH metre ve askıda katı madde analizinde ise Whatman GF/C filtre kağıdı, vakum pompası ve etüv kullanılmıştır. KOİ analizleri ise Selecta marka yakma ünitesi kullanılarak analize hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan çözeltiler ise Tablo 1'de yer alan kimyasallar kullanılarak hazırlanmıştır.

**Tablo 1.** Çalışmada Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Bilgileri

Kimyasal adı	Formülü	Marka
Alüminyum sülfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	Merck
Demir-III-klorür	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Merck
Magnezyum klorür	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	Merck
Kalsiyum hidroksit	$Ca(OH)_2$	Sigma-Aldrich

### Metot

#### Koagülasyon-Flokülasyon Çalışması

Koagülasyon-flokülasyon çalışması laboratuvar şartlarında (24°C), karıştırma hızı el ile ayarlanabilen altı pedala sahip jar test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma esnasında her bir deneme setinde 500'er mL atıksu

hacmi ile çalışılmıştır. Her bir koagülant denemesi, içinde atıksu bulunan reaktöre karışımli ortamda koagülant eklenecek başlanmış olup devamında ise kireç kullanılarak uygun başlangıç pH'ı ayarlanmıştır. Koagülasyon (hızlı karıştırma) adımı reaksiyon süresi 3 dakika ile sınırlandırılmış ve 120 dev/dk karıştırma hızında işlem sürdürülmüştür. Flokülasyon (yavaş karıştırma) işlemi 17 dakika temas süresi ile 30 dev/dk karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. Çöktürme adımı ise 30 dakika olarak belirlenmiş olup sürecin sonunda üst fazdan numune alınarak KOİ ve AKM analizleri yapılmıştır.

Arıtılabilirlik çalışması üç aşamada gerçekleştirilmiş olup ilk aşamasında koagülant olarak alum, demir-III-klorür ve magnezyum klorür kullanılmıştır. İlk aşamada üç koagülant için aynı başlangıç dozlarında çalışılmış olup uygun koagülant belirlenmiştir. Birinci aşamaya ait ilgili başlangıç pH'ları ve uygulanan dozlar Tablo 2'de (Set 1-3) verilmiştir. İkinci aşamada ise optimum koagülant olan alumun dozunun artırılması neticesinde arıtma verimindeki değişim incelenmiştir (Tablo 2-Set 4). Son adımda ise arıtma pH'ın etkisi kireç kullanılarak çalışılmıştır (Tablo 2-Set 5).

**Tablo 2.** Çalışmada Kullanılan Koagülantlar, Koagülant Dozları ve Başlangıç pH'ları

Analiz	Koagülant	Uygulanan Doz, mg/L	Başlangıç pH'ı
Set 1	Alum	50; 100;150; 200 ve 250	6,5
Set 2	Demir-III-klorür	50; 100;150; 200 ve 250	8,5
Set 3	Magnezyum Klorür	50; 100;150; 200 ve 250	10,5
Set 4	Alum	200; 300; 400; 500; 600 ve 1.000	6,5
Set 5	Kireç	-	6,0; 6,5; 7,0; 8,0; 8,5; 9,0; 10,0; 10,5 ve 11,0

### **Analytik Metotlar**

Araştırma sürecinde pH, askıda katı madde (AKM) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) analizleri gerçekleştirilmiştir. pH analizleri Standart Methods 4500 H<sup>+</sup> metoduna uygun olarak WTW pH sentix 41 probu ile elektrometrik olarak, AKM analizleri ise Standart Methods 2540 D gravimetrik metoduna uygun olarak ölçülmüştür. KOİ analizleri, numunede mevcut organik bileşiklerin kuvvetli asidik şartlarda oksitlenmesi neticesinde Standart Methods 5220 C titrimetrik metoduna uygun olarak ölçülmüştür (APHA vd., 2012).

## **BULGULAR VE TARTIŞMA**

### **Atıksu Karakterizasyonu**

Narenciye endüstrisinden 24 saatlik kompozit olarak alınan ham atıksu örneğinde bu çalışmanın materyal ve metot bölümünde belirtilen analizler gerçekleştirilmiştir. Ham atıksuya ait su karakterizasyonu Tablo 3'te özetlenmiştir.

**Tablo 3.** Ham Atıksu Değerleri

Parametre	Değer
pH	3,8
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	6.551 mg/L
Çözülmüş KOİ (ÇKOİ)	3.173 mg/L
Askıda Katı Madde (AKM)	783 mg/L

Narenciye atıksuları ile çalışan çeşitli araştırmacılar, çalıştıkları atıksuyun ham pH değerlerinin 3,3-5,2 arasında değiştiklerini bildirmişlerdir (Corsino vd., 2018; Guzmán vd., 2016; Andiloro vd., 2013). Bu çalışmada kullanılan atıksuyun pH değeri ise 3,8'dir. Bu sektöre ait atıksuyun düşük pH değerleri aktif çamur, damlatmalı filtre vb. biyolojik sistemlerin işletilebilmesi ve reaktörde mevcut olan canlıların fizyolojileri açısından uygun olmamaktadır (Kimball, 1999). Ayrıca asidik nitelikteki atıksuların alıcı ortamlara deşarj edilmesi neticesinde mevcut sistemin ekolojik dengesi de bozulacağından yasal mevzuatlar gereği önlemler alınmalıdır.

Narenciye endüstrisi atıksularının ham KOİ değerleri geniş bir aralıkta değişebilmektedir. Narenciye atıksuları ile çalışan araştırmacıların genel olarak 3.065-10.019 mg/L arasında değişen KOİ değerlerine sahip atıksular ile çalıştıkları bildirilmiştir (Zema vd., 2019; Corsino vd., 2018; Guzmán vd., 2016; Andiloro vd., 2013;). Bu çalışmada kullanılan ham atıksuyun başlangıç KOİ değeri ise 6.551 mg/L'dir. KOİ parametresi, biyolojik sistemlerde oksitlenmesi mümkün olan organik maddeler ile birlikte biyolojik asimilasyona uygun olmayan organik maddelerin tümünün ifadesidir (Metcalf & Eddy, Inc., 2003). Ayrıca KOİ parametresi partiküler ve çözülmüş organik madde fraksiyonunun tümünü ifade etmektedir. İlgili atıksu biyolojik sistemler kullanılarak arıtılacak ise

KOİ içerisinde mevcut biyolojik parçalamaya uygun organik madde miktarının belirlenmesi, arıtma tesisinin tasarımı ve verimli olarak işletilmesi açısından önem taşımaktadır (Çalışkan vd., 2002; Orhon & Çokgör, 1997).

Corsino vd. (2018), bu sektöre ait atıksularla yaptıkları çalışmalarda çözünmüş KOİ'nin (çözünmüş KOİ) 1.595-6.480 mg/L aralığında değiştiğini bildirmişlerdir (Corsino vd., 2018). ÇKOİ analizi yapılırken atıksu numunesi Whatman GF/C filtre kağıdından geçirilmekte ve atıksuyun bünyesinde bulunan partiküller içerik filtre üzerinde tutulmaktadır. Devamında ise süzütüden numune alınarak KOİ analizi yapılmakta ve tespit edilen sonuç, ÇKOİ konsantrasyonunu ifade etmektedir. Bu çalışmada ise ham atıksuya ait ÇKOİ değeri 3.173 mg/L olarak tespit edilmiştir. ÇKOİ parametresi, KOİ'nin; biyolojik parçalanmaya hazır organik kısmını, koloidal KOİ'nin küçük bir kısmını ve biyolojik olarak parçalanmayan KOİ'nin çözünmüş kısmını ifade etmektedir (Metcalf & Eddy, Inc., 2003). KOİ ve ÇKOİ arasındaki fark ise KOİ'nin biyolojik sistemler tarafından uzun sürede çözünebilir partiküller fraksiyonunu ve biyolojik olarak çözünemeyen partiküller kısmını ifade etmektedir. KOİ'nin partiküller fraksiyonunun ifadesi olan bu fark ise (KOİ - ÇKOİ) bu çalışmada 3.378 mg/L (ham atıksuyun KOİ'sinin %48'i) olarak hesaplanmıştır. Bu durumda narenciye atıksularının arıtılmasında fiziksel ve kimyasal proseslerin kullanılmasının istenilen deşarj standartlarının sağlanması açısından önemli olacağı düşünülmektedir. Ayrıca biyolojik arıtma sistemlerinin kullanıldığı tesislerde, kimyasal arıtma prosesleri ile biyolojik olarak parçalanmayan fraksiyonun azaltılmasının mümkün olduğu ve teşkil edilecek olan ön ya da ileri arıtma neticesinde işletme giderlerinin de düşürülebileceği düşünülmektedir.

Çeşitli araştırmalarda çalışılan narenciye atıksuları için AKM değerleri 190-1.871 mg/L arasında değişmektedir (Zema vd., 2019; Corsino vd., 2018; Guzmán vd., 2016; Osorio vd., 2006). Bu çalışmada kullanılan atıksuyun AKM değeri 783 mg/L dir. AKM parametresi, arıtma tesislerinin mekanik aksamalarında tıkanmalara ve istenmeyen kirlilik birikimlere sebep olabileceği gibi arıtma ünitesinin tasarımı ve işletilmesi aşamasında önemli bir kontrol parametresi olmaktadır. Alıcı ortamlarda AKM'nin bulunması durumunda suyun bulanıklığı artmakta, su ortamına güneş ışığının girişi azalmakta olup bu değişimler mevcut ekosistemi olumsuz olarak etkilemektedir. Biyolojik sistemlerde ise canlılar AKM'den kaynaklı organik maddeleri asimile edememekte ya da çok az bir kısmını kullanabilmektedir. Bu durumda ise yüksek AKM konsantrasyonları biyolojik sistemler için istenmeyen bir kirlilik yükü olmaktadır.

#### **Kimyasal Arıtılabilirlik Çalışması - KOİ Giderimi**

Bu çalışmanın ilk aşamasında alum ( $Al_2(SO_4)_3$ ), demir-III-klorür ( $FeCl_3$ ) ve magnezyum klorür ( $MgCl_2$ ) koagülantları kullanılmıştır. Aynı koagülant dozlarında sürdürülmüş olan çalışma en uygun arıtılabilirlik performansının alum ile çalışılması durumunda gerçekleşeceği belirlenmiştir. Çalışmanın birinci aşamasına ait kullanılan koagülant dozlarına karşı arıtma sonrası elde edilen KOİ değerleri (mg/L) ve giderme verileri Tablo 4'te verilmiştir (Ham suyun başlangıç KOİ değeri 6.551 mg/L dir).

**Tablo 4.** Birinci Aşamaya Ait Sonuç Çizelgesi

Doz, mg/L	Alum		Demir-III-klorür		Magnezyum klorür	
	KOİ*, mg/L	Giderme Verimi, %	KOİ*, mg/L	Giderme Verimi, %	KOİ*, mg/L	Giderme Verimi, %
50	4.801	26,71	4.597	29,82	3.804	41,93
100	4.516	31,06	4.516	31,06	3.886	40,69
150	4.353	33,55	4.272	34,79	3.942	39,82
200	4.190	36,03	4.150	36,65	3.989	39,12
250	4.132	36,92	4.068	37,90	4.102	37,38

\* Jar testi çalışması sonrası arıtılmış atıksudaki değer

Tablo 4'te yer alan sonuçlar incelendiği zaman düşük koagülant dozlarında magnezyumun daha etkili olduğu fakat dozun artırılması ile arıtım veriminde büyük bir farklılık oluşturmadığı görülmektedir. 50-200 mg/L dozlarda verim değerleri birbirine oldukça yakın olurken dozun 250 mg/L'ye çıkarılması ile arıtma veriminde düşüş gözlenmiştir. Alum ve demir-III-klorür koagülantları ile yapılmış olan denemelerde ise arıtma verimlerinin ve ulaşılan çıkış KOİ değerlerinin birbirlerine yakın olduğu gözlenmiştir. Fakat reaktörlere koagülantların eklenmesini takiben başlangıç pH değeri 3,8 olan atıksu numunesinin pH'ı Tablo 3'de yer alan pH değerlerine yükseltilmekte ve bu aşamada kireç kullanılmaktadır. Kireç kullanımı da göz önüne alınması durumunda alum koagülantının daha işlevsel olacağı düşünülmektedir. Ayrıca SKKY Tablo 5.9'a göre (Tablo 5) Gıda sanayi (sebze, meyve yıkama ve işleme tesisleri) atıksuları için atıksu arıtma tesisi çıkışında pH değerinin 6-9 arasında olması istenilmektedir

(SKKY, 2004). Alım kullanılması durumunda ise atıksuyun çıkış pH değeri bu aralıkta (pH 6-9) olacak ve ihtiyaç durumunda pH ayarlaması yapılarak alıcı ortama arıtılmış atıksu deşarj edilebilecektir.

**Tablo 5.** SKKY Tablo 5.9: Sektör: Gıda Sanayi (Sebze, Meyve Yıkama ve İşleme Tesisleri)

Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 saatlik	Kompozit Numune 24 saatlik
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	150	100
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	200	100
pH	-	6-9	6-9

Birinci aşamada denenmiş olan, alım ve demir-III-klorür koagülantlarının dozun artması neticesinde arıtma veriminin arttığı gözlenmiştir. Birinci aşama sonucunda pH ayarlamalarından kaynaklı kimyasal kullanımı ve işletme maliyeti göz önüne alınarak narenciye atıksularının arıtılmasında alım koagülantının kullanılmasının avantajlı olacağı düşünülmektedir. İkinci aşamada ise alım dozu artırılarak atıksuyun KOİ ve AKM değerlerindeki değişim tespit edilmiştir. İkinci aşamaya ait sonuç çizelgesi Tablo 6'da yer almaktadır.

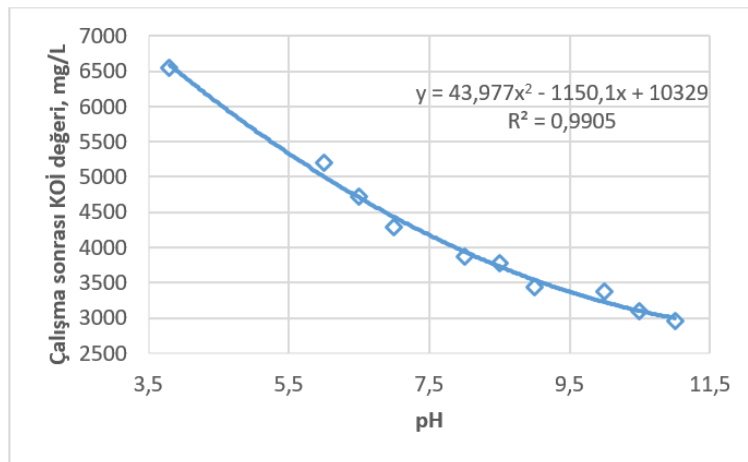
**Tablo 6.** İkinci Aşamaya Ait Sonuç Çizelgesi\*

Alım Dozu	KOİ, mg/L	Giderme Verimi (%)
200	4.129	36,96
300	4.057	38,08
400	3.702	43,48
500	3.438	47,52
600	3.313	49,43
1.000	2.604	60,25

\* Ham suyun başlangıç KOİ değeri 6.551 mg/L dir.

İkinci aşamanın tamamlanmasını takiben narenciye atıksuyunun arıtımında kullanılan alım dozunun artması neticesinde KOİ miktarında azalma tespit edilmiş olup ayrıca 1.000 mg/L alım dozunda %60,25 arıtma verimi değerine ulaşılmıştır. Bu çalışmada koagülant olarak alım kullanılması durumunda birinci ve ikinci aşamalarda alım %26,71 ile %60,25 arasında KOİ giderim verimi tespit edilmiştir. Alım dozunun yükseltilmesi neticesinde giderim verimi artarken kullanılan koagülant miktarı da artmaktadır. Bu da endüstriyel faaliyet için bir gider kalemi olarak sonuçlanmaktadır. Ayrıca her narenciye atıksuyu aynı seviyede kirlilik içermemekte olup ham KOİ miktarının artması durumunda kullanılacak olan koagülant miktarı da bu değişime oranla daha da artacaktır.

Bu çalışmanın üçüncü aşamasında ise pH ayarlamasında kullandığımız kalsiyum hidroksit (kireç) narenciye atıksuyu arıtımına olan etkisi ile birlikte, pH'ın kireç ile değiştirilmesi neticesinde atıksuda KOİ giderimi incelenmiştir. Kirecin su ortamında iyonlaşması neticesinde yapısında bulunan hidroksit (OH<sup>-</sup>) ve kalsiyum (Ca<sup>+2</sup>) iyonlarını su ortamına geçmektedir. OH<sup>-</sup> anyonu su ortamında pH değerini yükseltirken Ca<sup>+2</sup> katyonları ise suda mevcut bulunan alkalinite ile çeşitli reaksiyonlara girmekte ve devamında floklar oluşturarak sistemden çökelti olarak uzaklaştırılmaktadır (Metcalf & Eddy, Inc., 2003). Üçüncü aşama kapsamında yapılan çalışma neticesinde tespit edilen çıkış değerleri Şekil 1'de yer almaktadır (Başlangıç pH değeri 3,8 olup grafik üzerine ham atıksuya ait KOİ değeri işlenmiştir).



**Şekil 1.** Üçüncü Aşamaya Ait Atıksu Çıkışı KOİ Değerleri

Şekil 1 incelendiğinde, arıtılabilirlik çalışması esnasında pH ayarlama için kullanılan kirecin aynı zamanda koagülant etkisi yarattığı ve başka herhangi bir kimyasal kullanılmadan da arıtıma destek olduğu görülmektedir. Arıtma verimlerinin hesaplanması neticesinde ise pH 6 değerinde %34,48 giderim verimi tespit edilirken pH'ın 11'e gelmesi neticesinde giderim verimi %54,97 seviyesine ulaşmaktadır.

Andiloro vd. (2013), laboratuvar ölçeğinde işlettikleri reaktör (1 m<sup>3</sup> hacme sahip silindirik reaktör) ve arazi ölçeğinde kurulu arıtma ünitesinde (7 m yüksekliğinde ve 10.000 m<sup>3</sup> hacme sahip, su geçirmez plastik ünite) narenciye atıksularının arıtımını araştırmışlardır (Andiloro vd., 2013). Araştırmacılar, yüksek organik yüklem oranlarında çalışmış olup belirli aralıklarda aerobik ve anaerobik bölgeler teşkil ederek çalışmalarını tamamlamışlardır. Laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirilen çalışmada, KOİ giderimi %9-35 (5-6 g/L KOİ değerinde başlayarak 3-12 g/L KOİ değerine yaklaşmışlardır) arasında değişmekte olup arazi ölçeğinde ise %59-97 (20-30 g/L KOİ değerinde çalışmışlardır) arasında değişen KOİ giderimlerine ulaşmışlardır (Andiloro vd., 2013).

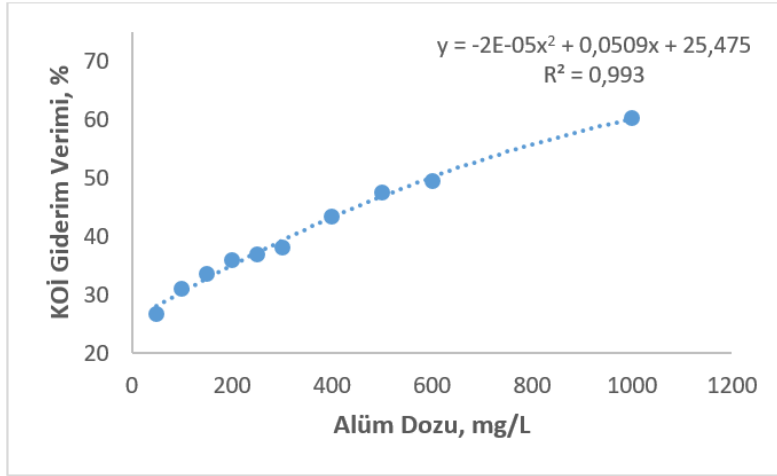
Corsino vd. (2018), ardışık kesikli reaktörlerde (AKR) aerobik granüler çamur kullanarak, başlangıç KOİ konsantrasyonu 5.464±1.291 mg/L olan narenciye atıksuyunun arıtılabilirliğini araştırmışlardır (Corsino vd., 2018). Araştırmacılar yapmış oldukları çalışmada %90 KOİ giderimine ulaşmışlardır (Corsino vd., 2018). Osorio vd. (2006) ise kil destek malzemesi kullanarak teşkil ettikleri biyolojik havalandırmalı aktif çamur sistemi ile %97 KOİ giderimi (ilgili hesaplamaların yapıldığı havalandırmalı biyolojik filtre sistemine ait ham narenciye atıksuyunun KOİ değeri 2.430-5.795 mg/L arasında değişmekte olup araştırmacılar KOİ değeri 1960-6425 mg/L arasında değişen ham narenciye atıksuyu ile çalışmışlardır) elde etmişlerdir (Zema vd., 2019; Osorio vd., 2006).

Rosas-Mendoza vd. (2018) ise narenciye endüstrisi atıksularının anaerobik hibrit reaktör vasıtasıyla özümlemesine çalışmışlardır. Bu araştırma neticesinde araştırmacılar %75-85 arasında değişen oranlarda KOİ giderimi (ham KOİ değeri 38.780 mg/L olmaktadır) tespit etmişlerdir (Rosas-Mendoza vd., 2018). Guzmán vd. (2016) ise sentetik olarak hazırlamış oldukları narenciye atıksuyunda ozon tabanlı proseslerin ön arıtımını araştırmışlardır (Guzmán vd., 2016). Araştırmacıların hazırlamış oldukları sentetik atıksuyun başlangıç KOİ değeri ise 10.000 mg/L olmaktadır. Araştırmacılar ozon prosesleri arasından foto-fenton prosesinin kullanılması neticesinde %76,9 KOİ giderim verimi gerçekleştirmişlerdir (Guzmán vd., 2016). Literatür çalışmalarına ait çalışma şartları ve KOİ giderimi Tablo 8'de özetlenmiştir. Bu çalışmada ise başlangıç KOİ değeri 6.551 mg/L olan narenciye atıksuyu ile çalışılmış olup çalışma adımları arasında en yüksek KOİ giderim verimi yaklaşık %60 olarak belirlenmiş olup koagülant dozunun artırılması ile KOİ giderim veriminin artacağı düşünülmektedir (Şekil 2).

**Tablo 8.** Literatürde Narenciye Atıksuları İçin Farklı Yöntemlerle Yapılmış Arıtılabilirlik Çalışmaları

Yöntem	İşletme Koşulları	Giriş Değerleri	Giderme Verimi	Kaynak
Lagün	1 m <sup>3</sup> işletme hacminde aerobik ve aerobik-anaerobik 1 yıl	5-6 g/L KOİ değeri 3-12 g/L KOİ değerine yükseltilecek	%9-35 KOİ giderimi	Andiloro vd., 2013
Lagün	7 m yükseklik ve 10.000 m <sup>3</sup> hacimde aerobik ve anaerobik bölgeler	Organik yüklem değeri 20-30 g/L KOİ değerine artırılarak	%97 KOİ giderimi	Andiloro vd., 2013
Aktif çamur	Ardışık kesikli reaktörler aerobik granüler çamur 3-7 kg KOİ m <sup>3</sup> /gün 7-15 kg KOİ m <sup>3</sup> /gün Çalışma pH'ları 7,0 ve 5,5	5,464±1,291 g/L KOİ	%90 KOİ giderimi	Corsino vd., 2018
Aktif çamur	Kil destek malzeme biyolojik havalandırmalı aktif çamur reaktörü	1,960-6,425 g/L arasında değişen KOİ	%75-97 KOİ giderimi	Osorio vd., 2006
Anaerobik Arıtma	AHR 1 günden daha az HBS 8-10 g KOİ /L.gün OYO	38,780 g/L KOİ	%75-85 KOİ giderimi	Rosas-Mendoza vd., 2018
Kimyasal oksidasyon	Ozon tabanlı prosesler solar foto-fenton prosesi sentetik narenciye atıksuyu ön arıtılabilirlik	10 g/L KOİ	%77 KOİ giderim verimi (foto-fenton prosesi ile)	Guzmán vd., 2016
<b>Bu çalışma (KFC)</b>	<b>KFC</b>	<b>6,551 g/L KOİ</b>	<b>%60 KOİ giderimi</b>	<b>-</b>

\*HBS: Hidrolik bekleme süresi, AHR: Anaerobik hibrit reaktör, OYO: Organik yükleme oranı, KFÇ: Koagülasyon-Flokülasyon ve Çöktürme



Şekil 2. KOİ Giderim Veriminin Koagülant Dozunun Arttırılması İle Değişimi

### Artılabilirlik Çalışması-AKM Giderimi

Narenciye işleme tesislerine ait atıksuların deşarj edilmeden önce SKKY Tablo 5.9'a (Bkz. Tablo 5) göre uygun standartları sağlaması gerekmektedir (SKKY, 2004). İlgili kurumlar tarafından yönetmelikler ile pH, KOİ ve AKM parametreleri deşarj esnasında öncelikli kontrol parametresi olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında koagülant olarak alum kullanılması durumunda ve pH'ın kireç kullanılarak yükseltilmesi neticesinde atıksuda kalan AKM değerleri ölçülmüş olup Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Artılabilirlik Çalışması Sonrasında Çözeltide Kalan AKM Değerleri\*

Alum Dozu, mg/L	Çıkış AKM Değeri, mg/L	Giderim Verimi, %	pH	Çıkış AKM Değeri, mg/L	Giderim Verimi, %
200	241	69,20	9	107	86,33
500	254	67,54	10	105	86,58
1000	267	65,88	11	100	87,22

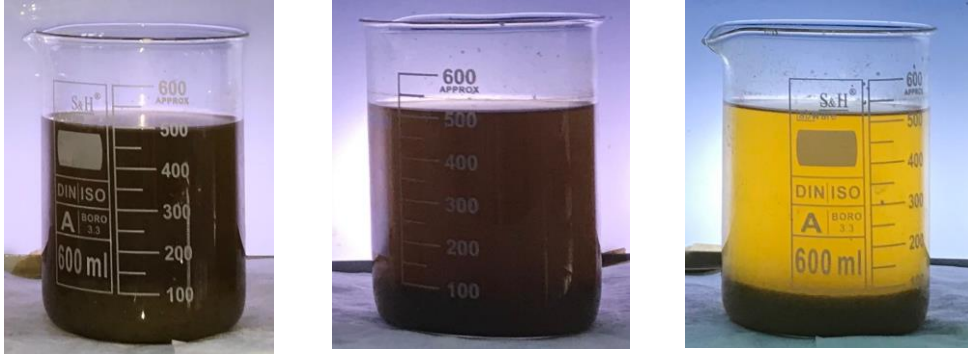
\* Ham atıksuyun başlangıç AKM değeri 783 mg/L dir.

Osorio vd. (2006), yapmış oldukları araştırmada reaktör çıkışında 43-466 mg/L (%39-%46) ve 188-380 mg/L (%35-%77) arasında AKM değerlerine ulaşmışlardır (Osorio vd., 2006; Zema vd., 2019). Guzmán ve ark. (2016) ise solar foto-fenton prosesi kullanarak %70,2 AKM giderim verimi elde etmişlerdir (Guzmán vd., 2016). Bu çalışmada kireç ilavesi ile pH 11 değerinde çalışılarak %87,22 AKM giderim verimi elde edilmiştir. pH 9 ve 10 değerlerinde ise tespit edilen AKM giderimlerinin (sırası ile %86,33 ve 86,58) pH 11 değeri ile büyük bir farklılık göstermediği görülmüştür. Benzer bir durum alum koagülantının 200, 500 ve 1.000 mg/L dozları için geçerlidir (Bkz. Tablo 8). AKM analizlerinin gerçekleştirildiği setlerde alınan sonuçlar değerlendirildiği zaman alum kullanımı neticesinde AKM giderimlerinde büyük bir farklılığın olmadığı, kireç ile pH yükseltilmesi neticesinde ise aynı şekilde AKM giderimlerinin yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda ise AKM giderimi için sadece kireç kullanılmasının yeterli olacağı ve atıksuyun pH derecesinin 11 gibi yüksek değerlere kireç ile yükseltilmeden yüksek AKM giderimine ulaşabileceği anlaşılmaktadır. Fakat arıtma performansının değerlendirilmesi için sadece AKM parametresi yeterli olmamaktadır. KOİ parametresi ile birlikte değerlendirilmesi neticesinde alum kullanılarak KOİ giderim veriminin arttığı ve aynı şekilde pH'ın kireç ile yükseltilmesi neticesinde KOİ giderim veriminin arttığı yapılan bu çalışma da tespit edilmiştir (Bknz. kimyasal artılabilirlik çalışması – KOİ giderimi). Ayrıca 1.000 mg/L alum dozunda bu çalışmada ulaşılan en yüksek KOİ giderimi (%60,25) elde edilmiş olup kireç ile pH'ın yükseltilmesi sonucunda ise en yüksek KOİ gideriminin (%54,97) alum kullanımına göre daha az olduğu görülmüştür. Dolayısıyla AKM ve KOİ parametrelerine uygun olarak arıtımın yapılacak olması sebebiyle koagülant olarak alum kullanımının daha uygun olacağı bu çalışmada tespit edilen sonuçlara bağlı olarak önerilmektedir.



### ***Arıtma Sonrası Oluşan Atık Çamur Hacimleri***

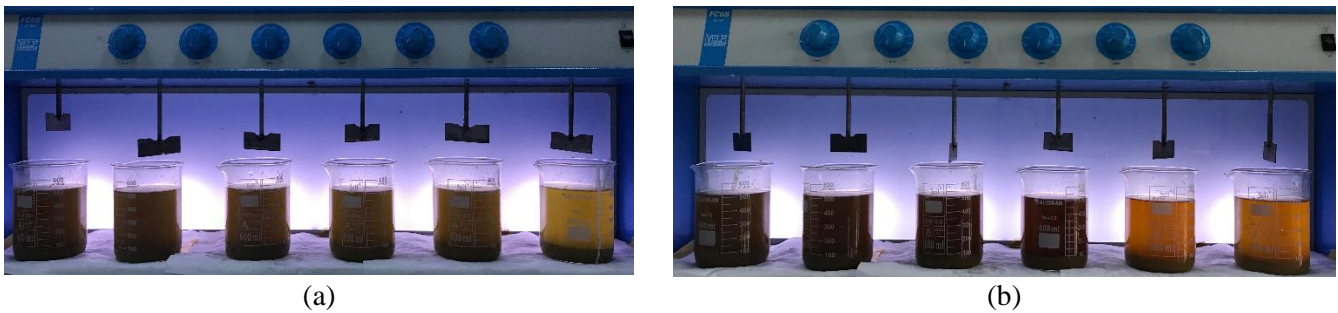
Koagülasyon-flokülasyon prosesi sonucunda oluşan atık çamur, çeşitli kimyasalları içermesi sebebiyle ilgili yasal mevzuat kapsamında kontrollü bir şekilde bertaraf edilmelidir. Dolayısıyla proses sonucunda oluşan atık çamurun bertarafı endüstriyel tesis için bir gider kalemi olarak düşünülmelidir. Çalışmanın birinci aşamasında alum ve demir-III-klorür koagülantları kullanılarak yapılan çalışmada benzer koagülant dozları için oluşan çamur hacminin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Ayrıca çamur tabakasının üstünde kalan berrak tabakanın ise ham atıksuyun rengine benzer olduğu tespit edilmiştir. Koagülant olarak magnezyum klorür kullanılması durumunda ise alum ve demir-III-klorür koagülantlarına oranla daha az çamur gözlenmiş olup çamur üstünde yer alan arıtılmış su tabakasının daha açık renkte olduğu belirlenmiştir. Birinci, 2. ve 3. setlerde 250 mg/L koagülant dozu kullanılması neticesinde yapılan çalışma sonrasına ait fotoğraf görüntüsü Şekil 2’de yer almaktadır.



**Şekil 2.** 250 mg/L Koagülant Dozu Kullanılmasını Takiben Çökeltme Sonrası Görüntüleri (Sırası ile Alum, Demir-III-klorür ve Magnezyum Klorür yer almaktadır.)

Çalışmanın ikinci aşamasında ise koagülant dozu arttıkça oluşan atık çamur miktarının arttığı ve arıtılmış su tabakasının (çökeltme sonrası üst fazda) renginin daha da açıldığı gözlenmiştir. Bu araştırmanın son aşamasında ise pH’ın artması ile arıtılmış suyun renginin açıldığı fakat oluşan atık çamur hacminin değişiminde büyük bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Tüm çalışma adımlarında çökeltme aşamasında eşit sürede beklenilmiş olup (30 dakika) bekleme süresinin artması neticesinde daha az hacim kaplayacak şekilde atık çamur birikeceği düşünülmektedir. Fakat atık çamurun bertarafından önce su içeriği azaltılmakta olduğundan atık çamurun içindeki katı madde miktarı birim maliyetlerin hesaplanması aşamasında önemli olmaktadır.

Bu çalışmanın tüm uygulamaları arasında en açık renkli arıtılmış su tabakasının (çamur tabakasının üzerinde yer alan su tabakası) koagülant magnezyum klorür ile çalışılması neticesinde tespit edilmiştir. Fakat uygulanan magnezyum klorür dozunun artması neticesinde oluşan atık çamur miktarlarının birbirlerine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmanın ikinci ve üçüncü adımlarına ait arıtılabilirlik çalışması sonrası görüntüleri Şekil 3’te yer almaktadır. Şekil 3’te çalışma seti 4’ün bitiminde çekilmiş olan görüntü (a) ve Set 5’e ait sırası ile pH 6,7,8,9,10 ve 11’e ait çalışma sonrası görüntüleri (b) yer almaktadır (Soldan sağa doğru gittikçe koagülant dozu ve pH derecesi artmaktadır.).



**Şekil 3.** Çalışmanın ikinci (değişen alum dozları) ve üçüncü aşamasının (kireç ile farklı pH değerleri) bitimini takiben çekilmiş olan görüntüleri

## SONUÇ

Yaptığımız bu çalışma neticesinde narenciye atıksularının arıtılmasında kimyasal bir arıtma metodu olan koagülasyon-flokülasyon prosesinin bir ön arıtma alternatifi olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir. Arıtılabilirlik çalışmasının ilk aşamasında kullanılan üç koagülant arasında magnezyum klorür koagülantının aynı dozdaki alum ve demir-III-klorür koagülantlarına göre daha yüksek KOİ giderimi yaptığı belirlenmiştir (Tablo 4). Fakat magnezyum klorür dozunun artırılması ile KOİ giderimlerinde fazla bir değişme olmadığı gözlenmiştir. Alum ve demir-III-klorür koagülantlarının kullanılması ile birlikte tespit edilen KOİ giderimleri birbirine yakın olup başlangıç pH değerleri farklılık göstermektedir (Tablo 4). Atıksuyun asidik özellikte (pH 3,8) olması sebebiyle pH'ın artırılması aşamasında daha fazla kireç kullanılacak olması sebebiyle alum koagülantının seçilmesinin daha ekonomik ve çevreye duyarlı olacağı düşünülmektedir. İkinci aşama neticesinde alum miktarının artırılması ile birlikte 1.000 mg/L alum dozunda bu çalışmada elde edilmiş en yüksek KOİ giderim değerine (%60,25) ulaşılmıştır.

## KAYNAKLAR

- APHA, AWWA & WEF (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, New York.
- Andiloro, S., Bombino, G., Tamburino, V., Zema, D.A. & Zimbone, S.M. (2013). Aerated lagooning of agro-industrial wastewater: Depuration performance and energy requirements. *Journal of Agricultural Engineering*, 44, 827–832. <https://doi.org/10.4081/jae.2013.408>
- Aygün İ., Çakmak B. & Alayunt F.N. (2018). Narenciye hasadının ergonomik açıdan incelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6, 312-318. <https://doi.org/10.21923/jesd.358270>
- Bouchareb, R., Derbal, K., Özay, Y., Bilici, Z. & Dizge, N. (2020). Combined natural/chemical coagulation and membrane filtration for wood processing wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 37, 101521. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101521>.
- Carawan, R. E. & Chambers, J. V. (1979). Spinoff on fruit and vegetable water and wastewater management. *Extension Special Report No. AM-18E, North Carolina State University, Cornell University and Purdue University*.
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R. Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2005). MWH's water treatment: principles and design. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, Amerika Birleşik Devletleri.
- Corsino S.F., Trapani D.D., Torregrossa M. & Viviani G. (2018). Aerobic granular sludge treating high strength citrus wastewater: Analysis of pH and organic loading rate effect on kinetics, performance and stability. *Journal of Environmental Management*, 214, 23-35. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.087>
- Çalışkan, M., Değirmenci, M. & Çiner, F. (2002). Kot boyama tekstil atıksuyunda kalıcı KOİ'nin belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4 (1), 1-9.
- Daud Z., Awang H., Latif A.A.A., Nasir N., Ridzuan M.B. & Ahmad Z. (2015). Suspended solid, color and oil and grease removal from biodiesel wastewater by coagulation and flocculation processes. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2407-2411. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.234>
- Di Bella, G., Giustra, M. G. & Freni, G. (2014). Optimisation of coagulation/flocculation for pre-treatment of high strength and saline wastewater: Performance analysis with different coagulant doses. *Chemical Engineering Journal*, 254, 283-292. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.05.115>
- Eryildiz B., Lukitawesa & Taherzadeh M.J. (2020). Effect of pH, substrate loading, oxygen, and methanogens inhibitors on volatile fatty acid (VFA) production from citrus waste by anaerobic digestion. *Bioresourc Technology*, 302, 122800. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122800>
- Guerreiro, L. F., Rodrigues, C. S., Duda, R. M., de Oliveira, R. A., Boaventura, R. A. & Madeira, L. M. (2016). Treatment of sugarcane vinasse by combination of coagulation/flocculation and Fenton's oxidation. *Journal of Environmental Management*, 181, 237-248. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.027>
- Guzmán J., Mosteo R., Sarasa J., Alba J.A. & Ovellerio J.L. (2016). Evaluation of solar photo-Fenton and ozone based processes as citrus wastewater pre-treatments. *Separation and Purification Technology*, 164, 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.03.025>

- Guzmán J. (2012). Sustainability of the Process of Obtaining Citrus Essential Oil (Sostenibilidad del proceso de obtención de aceite esencial cítrico). *Academic Publishing GmbH & Co. KG, Alemania, ISBN 978-3-8484-5530-0*.
- Khan, M., Kalsoom, U., Mahmood, T., Riaz, M. & Khan, A.R. (2003). Characterization and treatment of industrial effluent from sugar industry. *Journal Chemical Society*, 25 (3), 242-247.
- Kimball, D. A. (1999). Citrus processing: A complete guide 2nd Edition. *An Aspen Publication, Gaithersburg, Maryland*.
- Koppar A. & Pullammanappallil P., (2013). Anaerobic digestion of peel waste and wastewater for on site energy generation in a citrus processing facility. *Energy*, 60, 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.08.007>
- Konieczny, P., Ekner, E., Uchman, W. & Kufel, B. (2005). Effective use of ferric sulfate in treatment of different food industry wastewater. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 4 (1), 123-132.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th Edition. McGraw-Hill, New York.
- Orhon, D. & Çokgör, E.U. (1997). COD Fractionation in wastewater characterization-the state of the art. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 68, 283-293. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199703\)68:3<283::AID-JCTB633>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199703)68:3<283::AID-JCTB633>3.0.CO;2-X)
- Osorio, F., Torres, J.C. & Hontoria, E. (2006). Study of Biological Aerated Filters for the Treatment of Effluents from the Citrus Industry. *Journal of Environmental Science and Health Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 41, 2683–2697. <https://doi.org/10.1080/10934520600966136>
- Rizzo, L., Lofrano, G., Grassi, M. & Belgiorno, V. (2008). Pre-treatment of olive mill wastewater by chitosan coagulation and advanced oxidation processes. *Separation and Purification Technology*, 63 (3), 648-653. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.07.003>
- Rosas-Mendoza E.S., Contreras J.M., Aguilar-Lasserre A.A., Vallejo-Cantú N.A. & Alvarado-Lassman A., (2020). Evaluation of bioenergy potential from citrus effluents through anaerobic digestion. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120128. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120128>
- Rosas-Mendoza, E.S., Méndez-Contreras, J.M., Martínez-Sibaja, A., Vallejo-Cantú, N.A. & Alvarado-Lassman, A. (2018). Anaerobic digestion of citrus industry effluents using an anaerobic hybrid reactor. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20, 1387-1397. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1483-1>
- Sahu O.P. & Chaudhari P.K. (2013). Review on chemical treatment of industrial waste water. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 17 (2) 241-257. <https://doi.org/10.4314/jasem.v17i2.8>
- Saraçoğlu T. (2017). Bazı narenciye türlerinin seçilmiş fiziksel ve hidrodinamik özellikleri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32, 206-215. <https://doi.org/10.7161/omuanajas.303881>
- Sharma K., Mahato N., Cho M.H. & Lee Y.R. (2017). Converting citrus wastes into value-added products: Economic and environmentally friendly approaches. *Nutrition*, 31, 29-46. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2016.09.006>
- SKKY (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Resmî Gazete Tarihi: 31.12.2004, Resmî Gazete Sayısı: 25687.
- Speece, R.E. (1996). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters*. *Archae Press, Nashville, Tennessee*.
- Sollid, K. (2016). Citrus: Great Fruits for Heart Health, <https://foodinsight.org/citrus-great-fruits-for-heart-health/> Erişim Tarihi: 12.10.2020.
- Teh, C. Y., Budiman, P. M., Shak, K. P. Y. & Wu, T. Y. (2016). Recent advancement of coagulation–flocculation and its application in wastewater treatment. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55 (16), 4363-4389. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b04703>
- Van Haandel A.C. & Lettinga G. (1994). *Anaerobic Sewage Treatment*. *John Wiley ve Sons Ltd, England*.
- Yılmaz T. & Yılmaz. K. (2019). Tekstil atıksuyu ve sentetik boyarmadde çözeltilerinden renk ve koi gideriminde alum ve magnezyum klorürün karşılaştırılması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (4) , 271-280. <https://doi.org/10.17780/ksujes.637637>
- Zaimoğlu Z. & Bozkurt S. (2010). Yapay sulak alanlarda atıksu arıtımı. Nobel Yayınevi, Adana.

Zema D.A., Calabro P.S., Folino A., Tamburino V., Zappia G. & Zimbone S.M. (2019). Wastewater management in citrus processing industries: an overview advantages and limits. *Water*, *11*, 2481. <https://doi.org/10.3390/w11122481>