

## POTASYUM PERMANGANATIN ÇAMUR DEZENTEGRASYONU ÜZERİNE ETKİLERİ VE ULTRASONİK ÖN ARITIMLA GELİŞTİRİLMESİ

Özlem DEMİR \*

Alınma: 19.02.2016; düzeltme: 10.10.2016; kabul: 10.10.2016

**Öz:** Çamur dezentegrasyonu, çamurun anaerobik olarak çürütülmesini arttırmak için çamurun flok yapısını bozar ve hücre içeriğini sıvı faza salar. Bu çalışmanın ilk aşamasında, çamur dezentegrasyonu için potasyum permanganatın kullanılması araştırılmıştır. Dezentegrasyon derecesine göre çamur dezentegrasyon verimi değerlendirilmiş ve optimum potasyum permanganat dozu belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında, ultrasonik frekans uygulaması için spesifik enerji değişiminin çamur dezentegrasyonu üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, 13021 ile 78125 kJ/kgKM aralığında özgül enerji değerleri flok dezentegrasyonu için kullanılmış ve çözülmüş kimyasal oksijen ihtiyacı göz önünde bulundurularak en uygun enerji seviyesi belirlenmiştir. Sonuçlara göre, çamura 500 mg/L potasyum permanganat ilavesi ile 20 dakikalık süre karıştırma sonunda % 37,9 dezentegrasyon derecesi elde edilmiş ve optimum değer olarak kabul edilmiştir. Ultrasonik uygulamada, en yüksek çözülmüş KOİ konsantrasyonu 52083 kJ/kgKM özgül enerji uygulamasında 20 dakika ile elde edilmiştir. Çalışmanın üçüncü aşamasında, birleşik metot olarak, çamura optimum potasyum permanganat dozu ile ultrasonik dezentegrasyonun optimum değeri birlikte uygulanmıştır. Sonuçlar, potasyum permanganat ve ultrasonik dezentegrasyonun birlikte uygulanmasıyla % 66'lık bir dezentegrasyon derecesi elde edildiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çamur dezentegrasyonu, potasyum permanganat, ultrasonik ön arıtım

### Effects of Potassium Permanganate on Sludge Disintegration and Improving with Ultrasonic Pre-treatment

**Abstract:** Sludge disintegration destroys the sludge floc structure and releases the cell contents into the liquid phase to enhance the sludge anaerobic digestion. In the first stage of this study, the usage of potassium permanganate was investigated for sludge disintegration. The efficiency of the sludge disintegration was evaluated in terms of disintegration degree and the optimum dose of potassium permanganate was determined. In the second stage of the study, the effects of specific energy variability on sludge disintegration were examined for ultrasonic frequency application. For this purpose, the range of 13021-78125 kJ/kgTS of specific energy were used for floc disintegration and the most suitable energy level was determined considering the soluble chemical oxygen demand. According to the results, after the addition of 500 mg/L potassium permanganate to the sludge and stirring during 20 minutes, 37,9 % of disintegration degree was obtained and determined as optimum value. The optimum soluble chemical oxygen demand value for ultrasonic application was obtained for 52083 kJ/kgTS and 20 minutes. In the third stage of the study, the optimal dose of potassium permanganate and optimum ultrasonic disintegration value were applied to the sludge together as a combined method. The results show that 66 of % disintegration degree was achieved for the combined application of potassium permanganate and ultrasonic disintegration.

**Keywords:** Sludge disintegration, potassium permanganate, ultrasonic disintegration

\* Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Osmanbey Kampüsü, 63000 Şanlıurfa  
İletişim Yazarı: Ö. Demir (odemir@harran.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Dünya genelinde arıtma tesislerinin sayısı, insan nüfusunun sürekli artması ve hızlı kentleşmeye bağlı olarak giderek artmaktadır. Bu arıtma tesislerinden elde edilen aşırı çamur çeşitli sorunları da beraberinde getirmektedir. Çamur genellikle, patojenleri, ağır metalleri, zararlı böcek yumurtalarını ve çevresel kirliliğe yol açan inatçı maddeleri içermektedir (Shehu ve diğ., 2012). Anaerobik çürütme, evsel atıksu arıtma tesislerinden gelen çamurun stabilizasyonu için yaygın olarak kullanılan arıtım prosesidir.

Anaerobik çürütme işlemi, hidroliz, asitleşme, asetat eldesi ve metanlaşma gibi aşamalardan oluşan bir prosestir. Anaerobik arıtım prosesinde hidroliz basamağı hız sınırlayıcı basamak olarak tanımlanır (Kim ve diğ., 2003). Selüloz, hemiselüloz, lignin gibi hücre duvarının organik bileşenleri ve diğer inatçı protein bileşenleri ile yağlar anaerobik çürütmenin hızını yavaşlatır ve bu da alıkonma süresinin 20-50 gün arasında değişmesine neden olur. Yavaş bir parçalanma verimi mezofilik koşullarda %20-50 arasında değişmektedir (Kim ve diğ., 2010; Weemaes ve Verstraete, 1998). Bu problemin üstesinden gelmek ve anaerobik çürütme prosesinin verimini ve biyogaz eldesini arttırmak için dezentegrasyon işlemi bir ön arıtma prosesi olarak uygulanır (Filibeli ve Kaynak, 2006).

Dezentegrasyon prosesi, mekanik, akustik, kimyasal, fiziksel, termal ve biyolojik proseslerin uygulaması ile gerçekleştirilir. Daha iyi sonuçlar elde etmek için bu metotların birleşimi uygulanmaktadır. Bu metotlar, hücre duvarını parçalamak suretiyle organik içeriğin salınması amacıyla çamura uygulanmaktadır. Hücre duvarı ve membran parçalanır ve hücre içeriği karbonhidratlar, proteinler, vitaminler ve yağlar salınmaktadır (Ferrer ve diğ., 2008). Böylece hidroliz adımı geliştirilmiş ve bunun sonucunda biyogaz eldesi arttırılmış olur.

Çoğu araştırmacı, son zamanlarda çamur dezentegrasyonu ile ilgili birçok tekniği araştırmaktadır. Bunlar; alkali, ozonlama ve asit uygulamaları gibi kimyasal metotlar (Bougrier ve diğ., 2006; Weemaes ve diğ., 2000); ultrasonik , yüksek basınçlı homojenizörler veya bilyalı değirmenler gibi mekanik metotlar (Kim ve diğ., 2003; Kopp ve diğ., 1997; Rai ve Rao, 2009; Zubrowska-Sudol ve diğ., 2014; Zielewicz, 2016), düşük ve yüksek sıcaklıkta termal metotlar (Barjenbruch ve Kopplow, 2003), dondurma ve çözme (Montusiewicz ve diğ., 2010) ve belli mikroorganizmaların uygulamasını içeren biyolojik yöntemlerdir (Hasegawa ve diğ., 2000). Bu tekniklerin birlikte kullanımı da araştırılmış ve çamur dezentegrasyonundaki artışlar değerlendirilmiştir. Bunlar alkali ve ultrasonik yöntemlerin (Chiu ve diğ., 1997); Kim ve diğ., 2003, 2010); ozon oksidasyonu ve ultrasonik yöntemlerin (Erden ve Filibeli, 2010b); bilyalı değirmen ve ozonlama (Lee ve diğ., 2010), asidik ve ultrasonik ön arıtım (Şahinkaya, 2015), termal, kimyasal ve ultrasonik dezentegrasyon (Kavitha ve diğ., 2015), ultrasonik dezentegrasyon ve mikrodalga çürütme (Alagöz ve diğ., 2015) yöntemlerinin bileşiminden ibarettir.

Dezentegrasyon prosesinin mekanik olan prosesleri, yüksek basınçlı homojenizörleri, bilyalı değirmenleri ve santrifüjleri içermektedir. Mekanik proseslerin en önemli dezavantajı çamur arıtım proseslerinin maliyetinin artmasına sebep olan yüksek enerji gereksinimidir. Akustik metotlara en iyi örnek ultrasonik dezentegrasyondur. Çamurun ultrasonik yöntemle dezentegrasyonunda çamurun flok yapısı bozulur ve çözünebilir karbonhidratlar ve organik maddeler dışa salınır (Thiem vd., 1997). Ultrasonik dezentegrasyonun anaerobik çürütme işlemi öncesinde bir ön işlem olarak uygulanması biyogaz oluşumu artmaktadır. Ultrasonik işlem sırasında sıvı fazda oluşan kabarcıklar belirli bir büyüklüğe ulaştıklarında söner ve sıvı-gaz ara yüzeyinde bölgesel bir sıcaklık artışına ve yüksek basınca sebep olmaktadır (Bougrier vd., 2005). Ultrasonik dezentegrasyon işlemi büyük ölçüde •OH radikalının oksitleyici etkisiyle gerçekleşmektedir (Wang vd., 2005). Ultrasonik arıtım sırasında sıcaklığın artması ile stoplazmik membrandaki yağ çözümlenerek membran üzerinde küçük delikler oluşturmaktadır. Hücre içi maddelerin bu deliklerden dışarı çıkması sonucu dezentegrasyon gerçekleşmektedir. Sisteme verilen enerji, ultrasonik frekans ve giriş çamurunun özellikleri (pH, katı madde içeriği

vb.) ultrasonik arıtma mekanizmasını etkileyen en önemli faktörlerdir (Filibeli ve Kaynak, 2006). Bu konuyla ilgili önceki çalışmalar, bu yöntemin etkinliğini kanıtlamıştır fakat güç gereksiniminin olması ve ultrasonik probun 1,5-2 yılda bir değişmesinin gerekliliği yöntemin pratik uygulamaları sınırlamaktadır (Zhang ve diğ., 2007).

Kimyasal metotlar, asit ve alkali arıtımı, ozon oksidasyonunun ve deterjan ve tuzların kullanımını kapsamaktadır ve güçlükle parçalanabilen bileşiklerin kolayca parçalanabilir hale dönüşmesi hedeflenmektedir (Tanaka ve diğ., 1997). Bu metot çok etkilidir fakat çamurun nötral pH'ını asidik veya alkali hale getirmesi sebebiyle birçok soruna neden olur. Anaerobik çürütme nötral pH'da başlar ve kimyasal olarak dezentegre edilmiş çamurun tekrar nötralize edilmesi oldukça zordur. NaOH, KOH, Mg(OH)<sub>2</sub> ve Ca(OH)<sub>2</sub> birçok araştırmacı tarafından dezentegrasyon amacıyla kullanılmış olup; sonuçlar NaOH kullanılarak yapılan dezentegrasyon işleminin diğer kimyasallara kıyasla daha etkili olduğunu göstermiştir (Kim ve diğ.,2003; Li ve diğ., 2008; Yiyiing ve diğ.,2009). Atık aktif çamura uygulanan NaOH konsantrasyonu ve çamurun askıda katı madde yüzdesindeki artış çamurda çözünmüş KOİ değerinde artışa neden olmaktadır (Chang ve diğ., 2002). Bilindiği gibi çözünmüş KOİ artışı çamurun dezentegrasyon derecesinin bir göstergesidir. (daha fazla biyogaz eldesi, daha stabil çamur oluşumu) arttırmaktadır (Vranitzky ve Lahnsteiner, 2005). Potasyum permanganat (KMnO<sub>4</sub>) da güçlü bir oksidanttır ve suyun dezenfeksiyonunda, toksik maddelerin oksidasyonunda ve alglerin büyümesini inhibe etmek için kullanılmaktadır. Diğer oksidant olarak kullanılan ozon ve kloro göre KMnO<sub>4</sub>'ün üstünlükleri kullanımının toksik olmayışı ve güvenli oluşu ve çamuru dezentegre etmekte de başarılı olmasıdır. Bu nedenle, kimyasal dezentegrasyon maksatlı uygulanabilirliği gündeme gelmiş ve son zamanlarda araştırılan bir konu olmuştur. Bununla birlikte, literatürde şimdiye kadar aşırı çamurun KMnO<sub>4</sub> ile dezentegrasyonu konu alan sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmaktadır (Wu ve diğ., 2014). Wu ve diğ., (2014)'nın yaptığı çalışmada, aşırı çamuru dezentegre eden KMnO<sub>4</sub>'ün potansiyel yararları araştırılmıştır. Çamur dezentegrasyonunun uygulanabilirliği, çamur üst suyundaki çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİç)'nin ölçülmesi ile değerlendirilmiştir. Çamur dezentegrasyon mekanizması partikül boyutundaki değişimin, hücre dışı polimerik maddelerin, yükseltgenme-indirgenme potansiyelinin ve Mn durumunun analiz edilmesi ile ortaya konmuştur. Çamur dezentegrasyon prosesi, dezentegrasyon derecesinin belirlenmesi ile optimize edilmiştir. Sonuçlar, KMnO<sub>4</sub>'ün aşırı çamuru %3473 çözünmüş KOİ artışı, %97'den fazla Mn'ın katı faza geçişi ile dezentegre ettiğini göstermiştir. Partikül boyutunda küçük bir azalma gözlenmiştir. Hücre dışı polimerik maddeler çamur üst suyuna etkin bir şekilde salınmış ve üst sudaki protein ve polisakkaritler sırasıyla % 490 ve % 141 artmıştır. Bu çalışmada, çamur dezentegrasyonunun ana mekanizmasının KMnO<sub>4</sub> oksidasyonu olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada, dezentegrasyon yöntemi olarak sık kullanılmayan bir yöntem olan KMnO<sub>4</sub> uygulamasının çamur dezentegrasyonu üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, farklı dozlar denenerek, optimum KMnO<sub>4</sub> dozu belirlenmiş ve daha sonra da optimum ultrasonik ön arıtım ile birlikte uygulanarak iki farklı dezentegrasyon yönteminin dezentegrasyon derecesi ve çamur üst suyundaki toplam azot ve topla fosfor değişimi üzerine sinerjik etkileri gözlenmiştir.

## 2. MATERYAL ve METOT

### 2.1. Çamur Karakteristiği

KMnO<sub>4</sub> ile dezentegrasyon çalışmasında kullanılan çamur, Gaziantep Atıksu arıtma tesisi yoğunlaştırıcı çıkışından alınmıştır. Çamurun karakteristiği Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1. Gaziantep Atıksu Artıma Tesisi Çamuru Karakterizasyonu**

Parametre	Değer (mg/L)
Toplam Katı Madde	4608
Toplam Uçucu Katı Madde	3390
Toplam KOİ	1550
Çözünmüş KOİ	418
pH	6,5

## 2.2. Optimum $KMnO_4$ Dozun Belirlenmesi

Çamur dezentegrasyonunun verimliliği, çamur üst suyunda çözünmüş KOİ'nin artışına bağlı olarak değerlendirilen dezentegrasyon derecesine (%DD) göre yorumlanmış ve optimum  $KMnO_4$  dozu olarak, DD'nin en yüksek olduğu doz kabul edilmiştir. Dört farklı  $KMnO_4$  konsantrasyonu 1-50 dk süre aralığındaki farklı sürelerde çamurla muamele edilmiştir. Daha sonra çamurun üst suyundaki çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİç)'deki değişime bağlı olarak dezentegrasyon derecesi ve optimum  $KMnO_4$  dozu belirlenmiştir.

Her biri 500 mL hacimdeki çamur numunesi 20 adet kesikli deney yürütülmüştür. Her deneyden önce çamur öncelikle oda sıcaklığına getirilmiştir. Farklı  $KMnO_4$  doz ve süreleri denenmiştir. 250, 500, 750 ve 1000 mg/L  $KMnO_4$  dozları çamura eklenerek 10-50 dk 110 rpm'de karıştırılmak suretiyle deneyler tamamlanmış ve sonuçta dezentegre edilmiş çamurun üst suyunda KOİ analizi yapılmıştır. Dezentegrasyona bağlı olarak üst sudaki KOİ artışına göre dezentegrasyon dereceleri hesaplanmış ve DD'nin en yüksek olduğu nokta optimum doz ve süre olarak belirlenmiştir.  $KMnO_4$  ile ilgili deneysel çalışmalar Tablo 2'de özetlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, farklı bir dezentegrasyon yöntemi olan ultrasonik dezentegrasyon çalışması için optimum doz belirlenmiştir. Son olarak ise ultrasonik uygulama ile  $KMnO_4$  optimum sürede ve dozda çamura birlikte uygulanmış ve sinerjik dezentegrasyon etkisi araştırılmıştır. Ayrıca birleşik yöntemle dezentegre edilmiş çamurun üst suyunda toplam azot ve toplam fosfor analizi yapılmıştır.

**Tablo 2.  $KMnO_4$  ile Dezentegrasyonun Deneysel Çalışmaları**

Deneyin Adı	$KMnO_4$ ile Kimyasal Dezentegrasyon			
	1.Deney Seti	2.Deney Seti	3.Deney Seti	4.Deney Seti
<b>Deneyin Amacı</b>	Optimum $KMnO_4$ doz ve süresini belirlemek	Optimum $KMnO_4$ doz ve süresini belirlemek	Optimum $KMnO_4$ doz ve süresini belirlemek	Optimum $KMnO_4$ doz ve süresini belirlemek
<b>Uygulanan <math>KMnO_4</math> Dozu</b>	250 mg/L	500 mg/L	750 mg/L	1000 mg/L
<b>Uygulama Süreleri</b>	10 dk, 20 dk , 30 dk 40 dk,50 dk	10 dk, 20 dk , 30 dk 40 dk,50 dk	10 dk, 20 dk , 30 dk 40 dk,50 dk	10 dk, 20 dk , 30 dk 40 dk,50 dk
<b>Toplam Deney Sayısı</b>	5	5	5	5

### 2.3. Ultrasonik Dezentegrasyon

Ultrasonik ön arıtmada VC 505- VC 750 Ultrasonic Processor adlı bir ultrasonik homojenleştirici ile çalışan bir ultrasonik prob kullanılmıştır. Sistem maksimum 750 Watt güce sahiptir. Uygulanan frekans ise 20 kHz'dir.

Çalışmada 100 mL hacmindeki çamur örnekleri cam beherlere alınmış ve 5-30 dakika arasında değişen farklı sürelerde ultrasonik ön arıtmaya tabi tutulmuştur. Tablo 3'de gösterilen değişen sürelerle bağlı olarak 13021 ile 78125 kJ/kgKM arasında değişen farklı özgül enerji değerleri ile çalışılmıştır.

**Tablo 3. Ultrasonik uygulama deney şartları**

Uygulama Süresi, dk	Ultrasonik Güç, Watt	Özgül Enerji, kJ/kgKM
5	20	13021
10	20	26042
15	20	39063
20	20	52083
25	20	65104
30	20	78125

Özgül enerji (ÖE), ultrasonik güç (P), uygulama süresi (t), numune hacmi (V) ve başlangıçtaki KM konsantrasyonuna bağlı olan aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır (Bougrier ve diğ., 2006).

$$\text{ÖE} = \frac{Pxt}{VxTK} \quad (1)$$

SE= Spesifik enerji, kJ/kgKM,

P= Ultrasonik güç, Watt,

T=süre, s

V=çamur hacmi, L

TK=kati madde içeriği, g/L

### 2.4. Analitik Yöntemler

Ham çamur ve  $\text{KMnO}_4$  ile dezentegre olan çamurların üst suyunda  $\text{KOİ}$  analizi yapılmıştır. Ayrıca DD'ni hesaplarırken kimyasal dezentegrasyondan sonra çamur üst suyunda  $\text{KOİ}$  analizi yapılmıştır. Çamurların üst suyu alınırken çamur, 5000 rpm de 15 dk santrifüjlenmiştir. Tüm  $\text{KOİ}$  analizleri Standard Method'lara göre yapılmıştır (APHA, 2005). Ham çamurda pH ölçümü Hach pH metre kullanarak ölçülmüştür

Ham çamurun toplam ve uçucu kati madde içeriğini belirlenmiştir. Toplam ve uçucu kati madde deneyleri TS standartlarına göre yapılmıştır (TSE Standardı, 2002 ve TSE Standardı, 2003).

$\text{KMnO}_4$  ilavesinden sonra çamurun santrifüjlenmesiyle elde edilen numunenin  $\text{KOİ}$  değerleri, DD'nin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Çamurun dezentegrasyon işlemi sonrasında indirgenebilirlik özelliğini değerlendirmek amacıyla DD parametresi kullanılmaktadır. Dezentegrasyon derecesi çamurdaki en yüksek çözünürlük noktasını veren bir parametredir. Dezentegrasyon işleminin amacı çamurdaki yüksek organik madde içeriğini bakterilerin daha kolay kullanabileceği forma dönüştürmek olduğundan çamurun çözünür forma geçmesi oldukça önemlidir. Bu parametre, Müller (2000) tarafından ultrasonik dezentegrasyon için geliştirilmiş aşağıdaki bağıntı kullanılarak % olarak hesaplanmaktadır (Muller,2000; Erden ve Filibeli, 2010a). Bu çalışmadaki ilk uygulanan dezentegrasyon yöntemi  $KMnO_4$  ile dezentegrasyon yöntemi olduğundan  $KOI_D$ ,  $KMnO_4$  ile dezentegrasyon yöntemi sonrası çözünmüş  $KOI$  konsantrasyonunu ifade etmektedir.

$$DD = [(KOI_D - KOI_0)/(KOI_{NaOH} - KOI_0)] \times 100 \quad (\text{Muller,2000; Erden ve Filibeli, 2010a})$$

Burada;

$KOI_0$ = Ham çamurdaki çözünmüş  $KOI$  konsantrasyonu,

$KOI_D$ = Dezentegrasyon yöntemi sonrası çözünmüş  $KOI$  konsantrasyonu,

$KOI_{NaOH}$ = Alkali dezentegrasyon sonrası çözünmüş  $KOI$  konsantrasyonu. Alkali dezentegrasyon için çamur 1 mol/L NaOH ilavesinden sonra  $90^\circ C$ 'de 10 dakika bekletilir. Çamurun çözünmüş kısmı 20 dk 15000 rpm de santrifüjlenmesi ile elde edilir.

### 3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

#### 3.1. Çözünmüş $KOI$ ve Dezentegrasyon Derecesi (DD)ve Optimum $KMnO_4$ Dozu

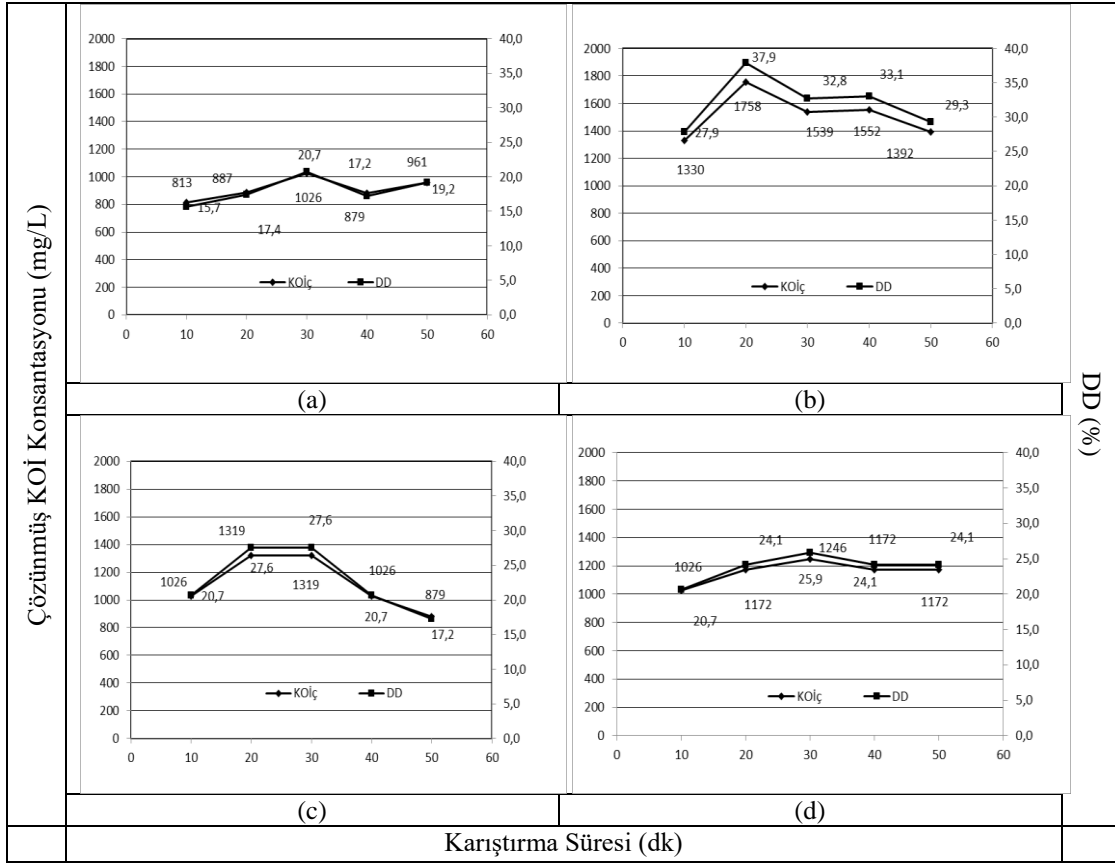
$KMnO_4$ 'ın dezentegrasyon amacıyla çamura uygulanması aşamasında uygulanan doz ve süreler ile elde edilen çözünmüş  $KOI$  ve %DD Tablo 4'de vermiştir.

**Tablo 4. Deney sonuçları**

Deney No	$KMnO_4$ Dozu (mg/L)	Karıştırma Süresi (dk)	Çözünmüş $KOI$ Konsantrasyonu (mg/L)	DD (%)
1	250	10	813	15,7
2	250	20	887	17,4
3	250	30	1026	20,7
4	250	40	879	17,2
5	250	50	961	19,2
6	500	10	1330	27,9
7	500	20	1758	37,9
8	500	30	1539	32,8
9	500	40	1552	33,1
10	500	50	1392	29,3
11	750	10	1026	20,7

12	750	20	1319	27,6
13	750	30	1319	27,6
14	750	40	1026	20,7
15	750	50	879	17,2
16	1000	10	1026	20,7
17	1000	20	1172	24,1
18	1000	30	1246	25,9
19	1000	40	1172	24,1
20	1000	50	1172	24,1

Dezenteğrasyon derecesi, çamurun çözünabilirliğinin son kademesini belirlemede kullanılan bir parametredir (Bougrier vd., 2005). Şekil 1’de görüldüğü gibi çözünmüş KOİ konsantrasyonu ve dezenteğrasyon derecesi artan uygulama süresi ve  $\text{KMnO}_4$  dozuna bağlı olarak artmıştır. Şekil 1 (a)’da görüldüğü gibi 250 mg/L  $\text{KMnO}_4$  dozu farklı reaksiyon süreleri uygulanması sonucu en yüksek çözünmüş KOİ konsantrasyonu ve DD sırasıyla, 1026 mg/L ve %20,7 ile 30 dakika sonunda elde edilmiştir. 250 mg/L gibi düşük  $\text{KMnO}_4$  dozunda diğer dozlarla kıyaslandığı zaman daha uzun bir temas süresine ihtiyaç duyulmuştur. Şekil 1.(b)’den de 500 mg/L  $\text{KMnO}_4$  dozu farklı reaksiyon süreleri uygulanması sonucu en yüksek çözünmüş KOİ konsantrasyonu ve dezenteğrasyon derecesinin sırasıyla, 1758 mg/L ve % 37,9 ile 20 dakika sonunda elde edildiği anlaşılmaktadır. Şekil 1 (a) ve (b) ve karşılaştırıldığı zaman dozun artmasının optimum noktayı yakalama süresini kısalttığı sonucuna varılabilir. Ayrıca bu sonuç, Wu ve diğ., (2014)’nin yaptığı çalışma ile elde edilen 500mg/L  $\text{KMnO}_4$  dozu ile %34 DD optimum sonucuna yakın bir sonuçtur. Şekil 1 (c)’de görüldüğü gibi 1000 mg/L  $\text{KMnO}_4$  dozu farklı reaksiyon süreleri uygulanması sonucu en yüksek çözünmüş KOİ konsantrasyonu ve dezenteğrasyon derecesinin sırasıyla, 1319 mg/L ve % 27,6 ile 20. ve 30. dakika sonunda elde edilmiştir. 750 mg/L  $\text{KMnO}_4$  doz uygulamasının daha fazla DD’ni arttırmadığı açıkça görülmektedir. Şekil 1(d)’den de 1000 mg/L  $\text{KMnO}_4$  dozu farklı reaksiyon süreleri uygulanması sonucu en yüksek çözünmüş KOİ konsantrasyonu ve dezenteğrasyon derecesinin sırasıyla, 1246 mg/L ve % 25,9 ile 30 dakika olduğu görülmektedir. Burada da daha fazla  $\text{KMnO}_4$  artışının çözünmüş KOİ konsantrasyonunu arttırmadığı görülmektedir. Belli bir noktadan sonra DD’nin azalması yüksek doz  $\text{KMnO}_4$  uygulamalarının çamur çözünürlüğünü takiben çamur mineralizasyonuna yönelik bir etki göstermesine dayandırılabilir.

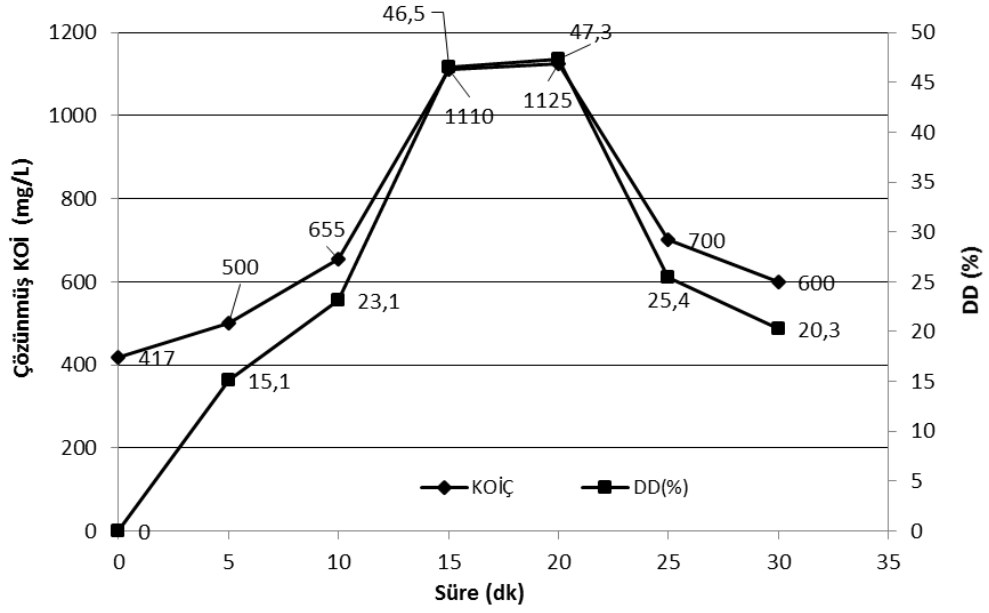


**Şekil 1:**  
Farklı  $KMnO_4$  Dozları için Çözünmüş KOI ve DD Değerleri a)  $KMnO_4$ :250 mg/L, b)  $KMnO_4$ :500 mg/L, c)  $KMnO_4$ :750 mg/L, d)  $KMnO_4$ :1000 mg/L

### 3.2. Ultrasonik ön arıtım optimizasyonu

Farklı sürelerde uygulanan ultrasonik ön arıtım sonrası elde edilen çözünmüş KOI sonuçları Şekil 2’de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere en yüksek çözünmüş KOI konsantrasyonu olan 1125 mg/L ve % 47,3 DD, 20 dk ultrasonik ön arıtım uygulaması yani 18433 kJ/kgKM özlü enerji uygulaması ile elde edilmiştir.





**Şekil 2:**  
Ultrasonik ön arıtım sonrası çözünmüş KOİ

### 3.3. $KMnO_4$ +Ultrases Metotları Sinerjik Etkisi

20 dk ultrasonik ön arıtım maksimum çözünmüş KOİ artışı ve % 47,3 DD ile en yüksek dezantegrasyon derecesini verdiğini söylemek mümkündür. Potasyum permanganat oksidasyonu ile 500 mg/L ile 20 dakika muamele sonucu % 37,9 DD derecesine ulaşılmış ve optimum nokta yakalanmıştır.

Bu iki ayrı optimizasyon çalışması sonucu elde edilen doz ve süreler farklı bir çamura uygulanmış ve deney sonucu dezantegrasyon derecesi hesaplanmıştır.  $KMnO_4$  ile elde edilen dezantegrasyon derecesini ultrasonik ön arıtımla birleşince % 66'ya yükselmiştir. Bu da iki dezantegrasyon yönteminin birlikte uygulamasının daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

Ham çamur,  $KMnO_4$  ile dezantegrasyon ve hem  $KMnO_4$  hem de ultrasonik dezantegrasyon birlikte uygulanması sonucunda çamur üst suyundaki toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonundaki değişim Tablo 5'de gösterilmektedir. Dezantegrasyona bağlı olarak flok içeriğinin parçalanarak hücre dışına salınması ile karbon ile birlikte azot ve fosforun da sıvı faza geçtiği bilinmektedir. Dezantegrasyon sonrası çamur üst suyunda azotun sadece  $KMnO_4$  uygulaması ile 92,5 mg/L'den 117,5 mg/L'ye, fosforun ise 35 mg/L'den 72,5 mg/L'ye;  $KMnO_4$ +Ultrasonik dezantegrasyonla ise azotun 247,5 mg/L'ye, fosforun ise 127,5 mg/L'ye arttığı görülmüştür.

**Tablo 5. Birleşik yöntem sonrası toplam azot ve toplam fosfor**

	Toplam Azot (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)
Ham Çamur Sentrat	92,5	35
$KMnO_4$	117,5	72,5
$KMnO_4$ +Ultrasonik ön arıtım	247,5	127,5

#### 4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

KMnO<sub>4</sub> arıtımı çamur dezentegrasyonunda etkili bir yöntemdir. Çamurun dezentegrasyonu amacıyla kullanılan KMnO<sub>4</sub> ilavesi sonrasında çamur üst suyunda çözülmüş KOİ artışına bağlı olarak değerlendirilen dezentegrasyon derecesine (%DD) göre DD verimi yorumlanmış ve optimum potasyum permanganat dozu, % 37,9 dezentegrasyon derecesi ile 500 mg/L KMnO<sub>4</sub>'ın 20 dk süre ile çamura uygulanması sonucu elde edilmiştir. Ultrasonik ön arıtmada optimum özgül enerji belirleme çalışmaları sonucunda en yüksek çözülmüş KOİ konsantrasyonu olan 1125 mg/L, %47,3 DD ile 20 dk ultrasonik ön arıtım uygulaması yani 52083 kJ/kgKM özgül enerji uygulaması ile elde edilmiştir. Ultrasonik ön arıtım dezentegrasyon yönteminin optimum dozu ile optimum KMnO<sub>4</sub> dozunun aynı çamura uygulanması sonucunda bir dezentegrasyon derecesi belirlenmiştir. Bu sonuca göre de, KMnO<sub>4</sub>+ ultrasonik dezentegrasyonun birlikte uygulanmasının % 66'lık bir DD verdiğini göstermiştir. Sonuç olarak, iki farklı dezentegrasyon yöntemi olan ultrasonik ve KMnO<sub>4</sub> arıtımının birlikte uygulamasının dezentegrasyon derecesi arttırdığı görülmüştür.

#### REFERANSLAR

1. Alagöz, B.A., Yenigün, O. ve Erdineçler, A. 2015 Enhancement of anaerobic digestion efficiency of wastewater sludge and olive waste: Synergistic effect of co-digestion and ultrasonic/microwave sludge pre-treatment, *Waste Management*, 46,182-188. doi: 10.1016/j.wasman.2015.08.020.
2. APHA, AWWA, WEF. 2005 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed., *American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation*, Washington, DC, USA. doi: 10.2105/AJPH.51.6.940-a.
3. Barjenbruch, M. ve Kopplow O. 2003 Enzymatic, Mechanical and Thermal Pre-treatment of Surplus Sludge, *Advances in Environmental Research*, 7, 715–720. doi: 10.1016/S1093-0191(02)00032-1.
4. Bougrier, C., Albasi C., Delgen'es J.P. ve Carr'ere, H. 2006 Effect of ultrasonic,thermal and ozone pre-treatments on waste activated sludgesolubilisation and anaerobic biodegradability, *Chem Eng Process*, 45, 711–718. doi: 10.1016/j.cep.2006.02.005.
5. Bougrier C., Carrère H. ve Delgenes J. P. 2005 Solubilisation of Waste-activated Sludge by Ultrasonic Treatment, *Chemical Engineering Journal*, 106, 163-169. doi: 10.1016/j.cej.2004.11.013.
6. Chang C., Ying-Shih, M. ve Lo, C. 2002 Application of Oxidation–Reduction Potential as a Controlling Parameter in Waste Activated Sludge Hydrolysis, *Chemical Engineering Journal*, 90, 273–28. doi: 10.1016/S1385-8947(02)00015-3.
7. Chiu, Y.C., Chang, C.N., Lin, J.G. ve Huang, S.J. 1997 Alkaline and ultrasonic pretreatment of sludge before anaerobic digestion, *Water Science and Technology*, 36 (11), 155–162. doi: 10.1016/S0273-1223(97)00681-1.
8. Erden, G. ve Filibeli, A. 2010a Kentsel nitelikli arıtma çamurlarının ultrasonik yöntemle ön arıtımı. itüdergisi/e su kirlenmesi kontrolü, Cilt:20, Sayı:1, 39-48.
9. Erden, G. ve Filibeli, A. 2010b Ultrasonik pre-treatment of biological sludge: Consequences for disintegration, anaerobic biodegradability, and filterability, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 85(1),145 – 150. doi: 10.1002/jctb.2298.

10. Ferrer, I., Ponsa, S., Vazquez, F. ve Font, X. 2008 Increasing biogas production by thermal (70 °C) sludge pretreatment prior to thermophilic anaerobic digestion. *Biochemical Engineering Journal*, 42, 186–192. doi: 10.1016/j.bej.2008.06.020.
11. Filibeli, A. ve Kaynak, G.E. 2006 Arıtma çamuru miktarının azaltılması ve özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan ön işlemler, itüdergisi/e su kirlenmesi kontrolü, Cilt:16, Sayı:1-3, 3-12.
12. Hasegawa, S., Shiota, N., Katsura, K. ve Akashi, A. 2000 Solubilization of organic sludge by thermophilic aerobic bacteria as pretreatment for anaerobic digestion, *Water Science and Technology*, 41 (3), 163–169.
13. Kavitha, S., Yukesh Kannah, R., Tae Yeom, I., Do, K-U. ve Rajesh Banu, J. 2015 Combined thermo-chemo-sonic disintegration of waste activated sludge for biogas production, *Bioresource Technology*, 197,383-392. doi: 10.1016/j.biortech.2015.08.131.
14. Kim J.S., Park C.H., Kim T.H., Lee, M., Kim, S., Kim, S.W. ve Lee J. 2003 Effects of various pretreatment for enhanced anaerobic digestion with waste activated sludge, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 95, 271–275. doi: 10.1016/S1389-1723(03)80028-2.
15. Kim, D.-H., Jeong, E., Oh, S.-E. ve Shin, H.-S. 2010 Combined (alkaline + ultrasonic) pretreatment effect on sewage sludge disintegration, *Water Research*, 44, 3093–3100. doi: 10.1016/j.watres.2010.02.032.
16. Kopp, J., Muller, J., Dichtl, N. ve Schwedes, J. 1997 Anaerobic digestion and dewatering characteristics of mechanically disintegrated excess sludge, *Water Science and Technology*, 36 (11), 129–136. doi: 10.1016/S0273-1223(97)00694-X.
17. Lee, M.J., Kim, T.H., Yoo, G.Y., Min, B.K. ve Hwang, S.J. 2010 Reduction of sewage sludge by ball mill pretreatment and Mn catalytic ozonation, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 14 (5), 693–697. doi:10.1007/s12205-010-0934-6.
18. Li, H., Jin, Y., Mahar, R.B., Wang, Z. ve Nie, Y. 2008 Effects and model of alkaline waste activated sludge treatment, *Bioresour. Technol*, 99, 5140–5144. doi: 10.1016/j.biortech.2007.09.019.
19. Montusiewicz, A., Lebiocka, M., Ro Zej, A., Zacharska, E. ve Pawłowski, L. 2010 Freezing/thawing effects on anaerobic digestion of mixed sewage sludge, *Bioresource Technology*, 101 (10), 3466–3473. doi: 10.1016/j.biortech.2009.12.125.
20. Muller J. A. 2000 Disintegration as a Key-Step in Sewage Sludge Treatment, *Water Science and Technology*, 41, (8) 123–130.
21. Rai, C.L. ve Rao, P.G. 2009 Influence of sludge disintegration by high pressure homogenizer on microbial growth in sewage sludge: an approach for excess sludge reduction, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 11, 437–446. doi: 10.1007/s10098-009-0202-y.
22. Şahinkaya, S. 2015 Disintegration of municipal waste activated sludge by simultaneous combination of acid and ultrasonic pretreatment, *Process Safety and Environmental Protection*,93,201-2015. doi: 10.1016/j.psep.2014.04.002.
23. Shehu, M.S., Manan, Z.A. ve Wan Alwi, S.R. 2012 Optimization of thermo-alkaline disintegration of sewage sludge for enhanced biogas yield, *Bioresource Technology*, 114:69-74. doi: 10.1016/j.biortech.2012.02.135.
24. Tanaka, S., Kobayashi, T., Kamiyama, K. ve Bildan, M. L.S., 1997 Effects of thermochemical pre-treatment on the anaerobic digestion of waste activated sludge, *Wat. Sci. Tech.*, 8, 209-215. doi:10.1016/S0273-1223(97)00169-8.

25. Thiem, A., Nickel, K. ve Neis U. 1997 The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge, *Water Science & Technology*, 36 (11), 121–128. doi: 10.1016/S0273-1223(97)00676-8.
26. TSE Standardı, 2002, TS 9546 EN 12880- Çamurların Karakterizasyonu- Kuru Kalıntı ve Su Muhtevası Tayini
27. TSE Standardı, 2003, TS EN 12879- Çamurların Özellikleri- Kuru Kütlenin Kızdırma Kaybının Tayini
28. Vranitzky R. ve Lahnsteiner J., 2005 Sewage Sludge Disintegration Using Ozone – A Method of Enhancing the Anaerobic Stabilization of Sewage Sludge, Va Tech Wabah, R&D Process Engineering, Siemensstrasse, 89, A-1211 Vienna, Austria.
29. Wang F., Wang Y. ve Ji M., 2005 Mechanisms and Kinetics Models for Ultrasonic Waste Activated Sludge Disintegration, *Journal of Hazardous Materials*, B123, 145–150. doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.03.033.
30. Weemaes, M. ve Verstraete, W. 1998 Evaluation of current wet sludge disintegration techniques, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 73, 83–92. doi: 10.1002/(SICI)1097-4660(1998100)73:2<83::AID-JCTB932>3.0.CO;2-2.
31. Weemaes, M., Grootaerd, H., Simoens, F., Huysmans A. ve Verstraete, W. 2000 Ozonation of Sewage Sludge Prior to Anaerobic Digestion, *Water Science and Technology*, 42, 9, 175–178.
32. Wu, C., Zhang, G., Zhang, P. ve Chang, C-C. 2014 Disintegration of excess activated sludge with potassium permanganate: Feasibility, mechanisms and parameter optimization, *Chemical Engineering Journal*, 240, 420-425. doi: 10.1016/j.cej.2013.12.011.
33. Yiyang J., Huan L., Bux M. R., Zhiyu W. ve Yongfeng N., 2009 Combined alkaline and ultrasonic pretreatment of sludge before aerobic digestion, *Journal of Environmental Sciences*, 21, 279–284. doi:10.1016/S1001-0742(08)62264-0.
34. Zhang, P., Zhang, G. ve Wang, W. 2007 Ultrasonic treatment of biological sludge: Floc disintegration, cell lysis and inactivation, *Bioresource Technology*, 98 (1), 207 – 210. doi: 10.1016/j.biortech.2005.12.002.
35. Zielewicz, E. 2016 Effects of ultrasonic disintegration of excess sewage sludge, *Applied Acoustics*, 103, 182–189. doi: 10.1016/j.apacoust.2015.05.007.
36. Zubrowska-Sudol, M. ve Walczak, J. 2014 Effects of mechanical disintegration of activated sludge on the activity of nitrifying and denitrifying bacteria and phosphorus accumulating organisms, *Water Research*, 61, 200-209. doi: 10.1016/j.watres.2014.05.029.