

ATIK AKTİF ÇAMUR DEZENTTEGRASYONU: MEKANİK, TERMAL VE KİMYASAL YÖNTEMLER

*Canan ÇIRAKOĞLU **
*Efsun DİNDAR **
*F. Olcay TOPAÇ ŞAĞBAN **

Alınma: 23.09.2016; düzeltme: 29.11.2017; kabul: 17.02.2017

Öz: Çamur dezentegrasyon yöntemleri, atıksu çamurlarının çürüme işleminde hız sınırlayıcı adım olan hidroliz aşamasını elimine etmek, stabilizasyon derecesini ve oluşan biyogaz miktarını arttırmak amacıyla uygulanan ön arıtma yöntemleridir. Bu çalışmada çamura uygulanan farklı dezentegrasyon yöntemlerinin (mekanik, termal ve kimyasal) çamurun çözünürlüğüne olan etkisi, çözülmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (ÇKOİ) parametresindeki değişimler üzerinden irdelenerek kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre uygulanan prosesler çamurun ÇKOİ içeriğini %34 ila %75 arasında değişen oranlarda arttırmıştır. 150°C de uygulanan termal yöntem ile kavitasyon sayısının (KS) 0,2 olarak ayarlandığı şartlarda işletilen hidrodinamik kavitasyon en etkin dezentegrasyonu gerçekleştirmiştir. Kimyasal yöntemler kıyaslandığında ise alkali ilaveli yöntemlerin asidik yöntemlerden daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Yüksek çözünürlük değerlerine ulaşılması ve diğer yöntemlere göre daha ekonomik bir alternatif olmasından dolayı hidrodinamik kavitasyon yönteminin anaerobik çamur çürütme performansının artırılması için uygun bir yöntem olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aktif Çamur, Dezentegrasyon Yöntemleri, Çözünabilir KOİ

Disintegration of Waste Activated Sludge: Mechanical, Thermal and Chemical Methods

Abstract: Sludge disintegration methods are the pretreatment methods applied for eliminating rate-limiting hydrolysis step of anaerobic digestion process and increasing stabilization level and the amount of produced biogas. In this study, the effect of several disintegration methods (thermal, mechanical and chemical) on the solubility of sludge components was evaluated and compared with respect to the variation of soluble chemical oxygen demand (SCOD) parameter. According to the results, the applied methods increased SCOD of sludge by 34% to 75%. The thermal method carried out at 150°C and hydrodynamic cavitation operated under the condition of cavitation number (Cv) of 0.2 achieved the most efficient sludge disintegration. When the chemical methods were compared, alkali methods were found to be generally more efficient than acidic ones. While it is a more economical alternative and higher solubilization was achieved, hydrodynamic cavitation can be an appropriate method for increasing the performance of anaerobic digestion process.

Keywords: Activated sludge, Disintegration methods, Soluble COD

1. GİRİŞ

Su ve atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi sırasında bir yan ürün olarak oluşan arıtma çamurlarının bozunma ve kokuşmaya yatkın olması, yüksek su içeriğinden dolayı büyük hacimler işgal etmesi ve içerisinde çok sayıda hastalık yapıcı mikroorganizmalar barındırması nedeni ile uygun şekilde işlenmesi ve çevresel ortamlara herhangi bir zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Anaerobik çürütme, çamur stabilizasyonu için kullanılan en eski proseslerden biridir. Bu proses moleküler oksijen yokluğunda organik ve inorganik maddelerin parçalanması olarak

*Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer, Bursa
İletişim Yazarı: F. Olcay Topaç ŞAĞBAN (olcaytopac@uludag.edu.tr)

tanımlanmaktadır. Anaerobik çürütme prosesi; hidroliz, fermantasyon ve metanizasyon olmak üzere üç basamaktan oluşmaktadır. Bu proseste çamur içeriğindeki organik maddeler biyolojik olarak parçalanarak son adımda CO₂ ve CH₄'e dönüşmektedir (Filibeli,1998). Ancak anaerobik stabilizasyonun ilk basamağı olan hidroliz aşaması proses için hız sınırlayıcı olan aşamadır ve büyük reaktör hacimleri ile uzun bekleme zamanı ihtiyacını doğurmaktadır. Hidroliz hızının ve dolayısıyla anaerobik çürütme performansının artırılması amacıyla çürütülecek atık çamurlarına farklı ön arıtma işlemleri uygulanmaktadır. Çamur dezentegrasyon yöntemleri olarak anılan bu prosesler anaerobik olarak çürütülecek çamura yapılan mekanik, kimyasal, biyolojik ve termal uygulamaları kapsamaktadır (Filibeli ve Kaynak, 2006).

Dezentegrasyon yöntemleri çamurun pek çok özelliğini değiştirmektedir. Bu işlemler uygulandığında, çamur flok yapısı bozulmakta ve mikrobiyal hücre duvarları tahrip edilmektedir. Hücre duvarının parçalanması ile hücre duvarı tarafından korunan maddeler sıvı faza geçmekte, çözünür forma dönüşmektedir (Vranitzky ve diğ., 2005). Literatürde farklı dezentegrasyon yöntemlerinin incelendiği çok sayıda çalışma mevcut olup, proses verimliliğini etkileyen parametreler üzerindeki araştırmalar devam etmektedir. 170°C'de gerçekleştirilen bir termal dezentegrasyon çalışmasında, hidroliz edilmiş çamurun anaerobik çürütücüye verilmesi ile çamur çürüme derecesinin klasik işlemlere göre %80 oranında arttığı belirlenmiştir (Kepp ve Solheim, 2001). Ray ve diğ., (1990) farklı dozlarda NaOH ile kimyasal olarak dezentegre ettikleri çamuru anaerobik çürütücüye verdiklerinde organik madde indirgenmesinin ortalama %25-35, biyogaz üretiminin ortalama %29-112 aralığında arttığını ifade etmişlerdir. Lee ve Han (2013) ise yaptıkları hidrodinamik kaviteasyon çalışmasında 1mm çaplı 27 deliğin bulunduğu bir orifis plakası kullanarak 20 dakikalık kaviteasyon sonrası %12 ila %23 arasında değişen dezentegrasyon derecelerine ulaşıldığını gözlemlemişlerdir.

Bu çalışmada ise konserve gıda üretimi yapılan bir işletmenin arıtma tesisinden temin edilen atık aktif çamur örneği mekanik, termal ve kimyasal olmak üzere üç farklı yöntemle dezentegre edilerek, her bir yöntem için optimum çamur çözünürlüğünü sağlayan şartlar tespit edilmiştir. Çözünebilir forma geçen çamur organik maddesi çözülmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (ÇKOİ) parametresi ile değerlendirilerek, uygulanan dezentegrasyon yöntemlerinin kıyaslaması yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Araştırmada kullanılan atık aktif çamur örneği, konserve gıda üretimi yapılan bir işletmenin arıtma tesisinden temin edilmiştir. Havalandırma havuzu çıkışından alınan atık çamur örneğinin genel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan atık aktif çamurun genel özellikleri

Parametre	Değer
TKOİ (mg l ⁻¹)	13200
TKM (%)	1,40
UKM (% KM)	71,5
AKM (mg l ⁻¹)	10300
UAKM (mg l ⁻¹)	7140
pH	7,50
TKN (mg l ⁻¹)	724
NH ₄ ⁺ - N (mg l ⁻¹)	5,25
NO ₃ ⁻ - N (mg l ⁻¹)	4,20
TP (mg l ⁻¹)	416

2.2. Uygulanan Dezentegrasyon Yöntemleri

Mekanik Dezentegrasyon: Hidrodinamik Kaviteasyon

Hidrodinamik kaviteasyon denemeleri 3mm orifis plakalı kaviteasyon cihazı ile yürütülmüştür. Kullanılan sistem, 20lt hacminde paslanmaz çelikten yapılmış bir reaktör, 1,5 kw motor gücüne sahip dikey milli santrifüj pompa ve kaviteasyonun gerçekleştiği orifis kısmından oluşmaktadır. Pompanın deşarj kısmına bağlı olan boru ana hat ve bypass hattı olmak üzere dallanmaktadır (Şekil 1). 10 lt çamura uygulanan kaviteasyon işlemi 3 mm çaplı orifis plakasıyla ve 0,2 ve 0,5 kaviteasyon katsayılarının sağlandığı şartlarda 60 dakika boyunca sürdürülmüştür. Kaviteasyon etkinliğini değerlendirmek üzere işlem süresince 15, 30 ve 60. dakikalarda örnek alınmıştır. Kullanılan kaviteasyon cihazı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1:

Orifis plakalı hidrodinamik kaviteasyon cihazı

Termal Dezentegrasyon

Termal dezentegrasyon kapsamında yapılan çalışmalarda ise atık aktif çamur ağzı kapalı tüpler içerisinde blok ısıtıcılarda ısıl işleme tabi tutulmuştur. Çamur örnekleri 100°C, 130°C ve 150°C’ye getirilerek 15, 30 ve 60. dakikalarda örnek alınarak ÇKOİ parametresi incelenmiştir.

Kimyasal Dezentegrasyon : Alkali ve Asidik

Çamura uygulanan kimyasal dezentegrasyon denemelerinde NaOH, KOH, H₂SO₄ ve HCl kimyasalları kullanılmıştır. Alkali dezentegrasyon denemeleri kapsamında atık aktif çamura pH’ı 9, 10 ve 11 olacak şekilde NaOH ve KOH ilave edilmiştir ve manyetik karıştırıcı üzerinde 200 rpm’de 60 dakika süreyle karıştırılmıştır. Asit ile yapılan dezentegrasyon denemelerinde ise H₂SO₄ ve HCl ilave edilerek atık aktif çamurun pH değeri 3, 4 ve 5’e ayarlanmıştır. Kimyasal ilavesiyle pH’ı ayarlanan örnekler manyetik karıştırıcı üzerinde 200 rpmde 60 dakika süreyle karıştırılmıştır. İşlemler süresince 15, 30 ve 60. dakikalarda örnek alınarak ÇKOİ parametresindeki değişim incelenmiştir.

2.3. Laboratuvar Analizleri

Çamurun dezentegrasyon işlemi sonrasında parçalanabilirlik özelliğini değerlendirmek ve uygulanan yöntemlerin etkinliğini kıyaslamak amacıyla ÇKOİ parametresindeki değişimler değerlendirilmiştir.

Çözünebilir KOİ tayini için örnekler santrifüjlenmiş (10000 x g, 4°C, 20 dk.), süpernatant mavi bantlı filtreden süzölmüş ve süzükteki KOİ standart potasyum dikromat çözeltisi kullanılarak Standart Metotlara (APHA, 1998) göre tayin edilmiştir.

Tüm deneyler 3 paralelli yapılmış, değişimler ortalama değerler üzerinden değerlendirilmiştir.

2.4. İstatistiksel Analiz

Uygulanan her bir dezentegrasyon yöntemi için STATISTICA 10 programı kullanılarak varyans analizi yapılmış, ortalamalar TUKEY HSD testi uygulanarak kıyaslanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Hidrodinamik Kaviteasyon

Hidrodinamik kaviteasyon, orifis, vana ya da ventüri gibi dar bir geçitten sıvının geçmesi ile oluşturulmaktadır (Gogate ve Pandit, 2001). Bu geçiş sırasında akış alanındaki daralmaya bağlı olarak hızı süreklilik denklemi uyarınca artmakta ve Bernoulli denklemine göre basınç düşmektedir. Akış hızı yüksek olduğunda ise basınç sıvının buhar basıncına düşebilmekte ve bunun sonucu olarak sıvı kaynamaya başlamaktadır. Bu noktada kabarcıklar oluşmakta ve kaviteasyon olayı gerçekleşmektedir.

Kaviteasyon kabarcıklarının patlaması sırasında oluşan şok dalgaları kütle transferini ve kimyasal reaksiyonları hızlandıran, kimyasal kompozisyonda değişimlere neden olan faz geçiş sınır yüzeyinde belirgin bir artış yaratmaktadır. Meydana gelen ekstrem şartlar suyun H• ve OH• radikallerine disosiyasyon olmasına da neden olmaktadır. Bu şekilde oluşan ara bileşikler OH• radikalleri tarafından parçalanmaya ve biyolojik oksidasyona daha yatkın olmakta ve atıksuyun/atık çamurun toplam parçalanma/mineralizasyon verimi artmaktadır (Ozonek, 2012; Badve ve diğ., 2013).

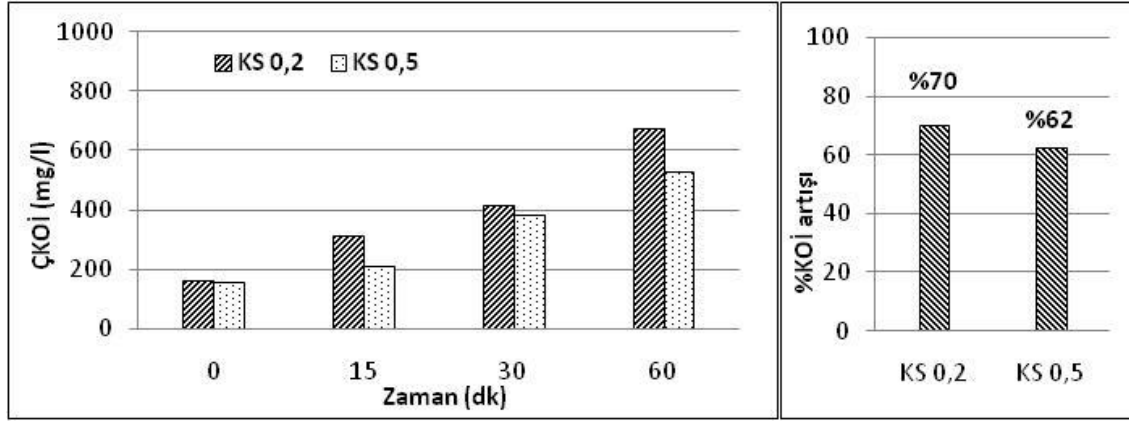
Kaviteasyon sayısı, C_v olarak bilinen boyutsuz bir sayıdır ve kaviteasyon yoğunluğu ile debi şartlarını ilişkilendirmek için kullanılmaktadır. Kaviteasyon sayısı denklem 1’de verilen formülle hesaplanmaktadır (Gogate ve Pandit, 2000).

$$C_v = \frac{P_2 - P_v}{\frac{1}{2} \rho V_{th}^2} \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde P_2 tamamen geri kazanılan aşağı akım basıncını, P_v sıvının buhar basıncını ve V_{th} daralma bölgesindeki sıvı hızını ifade etmektedir.

İdeal şartlarda kaviteasyon $C_v < 1$ olduğunda oluşmaktadır. Yapılan bir çalışmada, $C_v > 2$ olduğunda meydana gelen kaviteasyon kabarcıklarının çökmediği ve bu şartlarda oluşan basınç darbesinin sıvıda istenen kimyasal etkileri yaratmadığı, sadece küçük bir fiziksel ya da mekanik etki yaratabildiği ifade edilmiştir (Gogate ve Pandit, 2000).

Bu çalışmada kaviteasyon sayısının sistem performansına olan olası etkisi düşünülerek iki farklı kaviteasyon sayısını sağlayan debi şartlarında çalışılmıştır. Hidrodinamik kaviteasyon ile dezentegrasyon uygulaması süresince çözünmüş KOİ konsantrasyonunda zamana bağlı meydana gelen değişimler Şekil 2’de görülmektedir. Kaviteasyon sayısı ve zamanın çamurun ÇKOİ içeriğine olan etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 2). Çamura uygulanan hidrodinamik kaviteasyon işlemi çamur çözünürlüğünü her iki kaviteasyon sayısı için de önemli derecede arttırmıştır ($p < 0,001$). Yürütülen deneme neticesinde 0,2 kaviteasyon katsayısının sağlandığı debi şartlarında ÇKOİ konsantrasyonu %70 oranında bir artış gösterirken, 0,5 kaviteasyon katsayısının sağlandığı şartlarda meydana gelen ÇKOİ artışı %62 olarak bulunmuştur.



Şekil 2:

Hidrodinamik kaviteasyon ile dezentegrasyon uygulaması süresince çözülmüş KOİ konsantrasyonlarında zamana bağlı meydana gelen değişimler

Tablo 2. İstatistiksel analiz sonuçları özeti

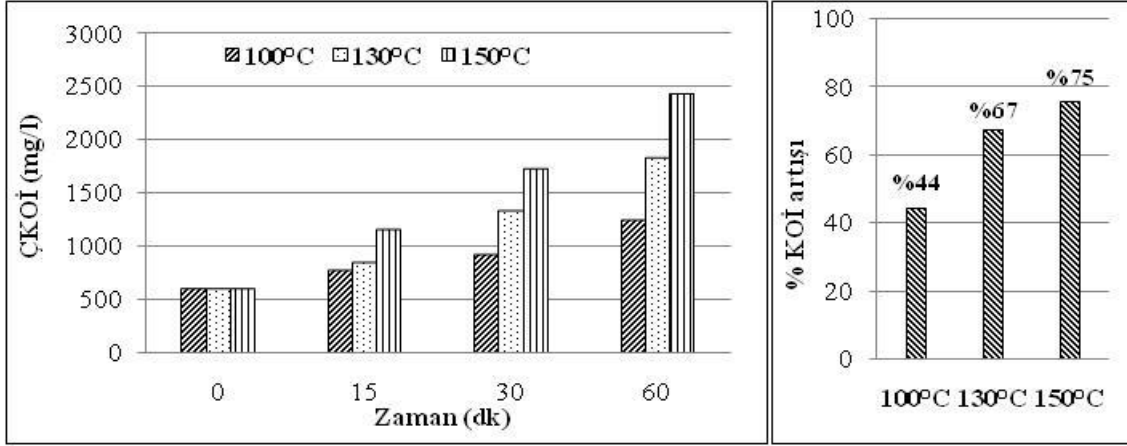
Değişkenlik kaynağı	df	MS	F	p
NaOH ilaveli dezentegrasyon				
pH	2	174087	19107	<0,001
Zaman(dk)	3	16468	18074	<0,001
pH x zaman	6	22558	2476	<0,001
Hata	24	9,11		
KOH ilaveli dezentegrasyon				
pH	2	114613	14228	<0,001
Zaman(dk)	3	263665	32731	<0,001
pH x zaman	6	24042	2985	<0,001
Hata	24	8,06		
HCl ilaveli dezentegrasyon				
pH	2	38260	5466	<0,001
Zaman(dk)	3	109685	15669	<0,001
pH x zaman	6	3830	547	<0,001
Hata	24	7		
H₂SO₄ ilaveli dezentegrasyon				
pH	2	32327	4911	<0,001
Zaman	3	67033	10182	<0,001
pH x zaman	6	3555	540	<0,001
Hata	24	6,58		
Termal dezentegrasyon				
Sıcaklık	2	1079238	173449	<0,001
Zaman	3	2553866	410443	<0,001
Sıcaklık x zaman	6	205462	33021	<0,001
Hata	24	6,22		
Hidrodinamik Kaviteasyon				
Kaviteasyon Sayısı (KS)	1	29190	2231	<0,001
Zaman (dk)	3	221268	16912	<0,001
KS x Zaman	3	6199	474	<0,001
Hata	16	13,1		

3.2 Termal Dezentegrasyon

Termal dezentegrasyonda, biyolojik çamurun jel yapısı parçalanır ve hücre içi hapsedilmiş su ortama salınır. Bu metot, organik maddelerin hızlı parçalanmasına, biyogaz üretiminin

artmasına, çamur özelliklerinde değişikliklere (viskozitenin azalması, filtrelenebilirliğin artması) ve patojen mikroorganizma seviyesinde azalmaya yol açmaktadır (Haug ve diğ., 1978; Valo ve diğ., 2004; Anderson ve diğ., 2002; Odegaard ve diğ., 2002).

Termal dezentegrasyon denemelerinde 100°C, 130°C ve 150°C'lerde çalışma yapılmıştır. Tablo 2'de görüldüğü gibi, sıcaklık ve zamanın çamurun ÇKOİ içeriğine olan etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Başlangıçta 595 mg/l olan ÇKOİ içeriği 60. dakika sonunda 100°C, 130°C ve 150°C'de sırasıyla 1233, 1821 ve 2434 mg/l'ye çıkmıştır (Şekil 3). 60. Dakikalık reaksiyon süresi sonunda alınan numunelerdeki ÇKOİ konsantrasyonlarında 0. dakikaya göre sırasıyla %44, %67 ve %75 artış gözlenmiştir.



Şekil 3:

Termal dezentegrasyon uygulaması süresince zamanla ÇKOİ konsantrasyonlarında meydana gelen değişimler

Valo ve diğ., (2004) yaptıkları termal dezentegrasyon denemesinde, 60 dk. sonunda 130°C, 150°C ve 170°C'de sırasıyla %25.3, %43.9, %59.5 olduğunu gözlemlemişlerdir. Myszograj ve diğ., (2013) tarafından yapılan çalışmada 135°C'de ısıtma işlemi gören çamurların 280 mg/l olan ÇKOİ içeriklerinin 30, 60 ve 120. dakikalar sonunda sırasıyla 1480, 1894 ve 2904 mg/l değerlerine çıktığı tespit edilmiştir.

Literatür incelendiğinde çalışmaların genelinde çalışma sıcaklığı olarak 170°C – 200°C aralığının seçildiği görülmektedir. Bougrier ve diğ., (2006) yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen termal dezentegrasyon işleminin enerji maliyetinin çok yüksek olduğunu ve dezentegrasyon sebebi ile meydana gelen biyogaz artışının getireceği kazanımın elimine edildiğini vurgulamışlardır. Ayrıca 180°C 'den yüksek sıcaklıkların çamurun inhibe edici içeriğini arttırabileceği de belirtilmiştir (Wilson ve Novak, 2009).

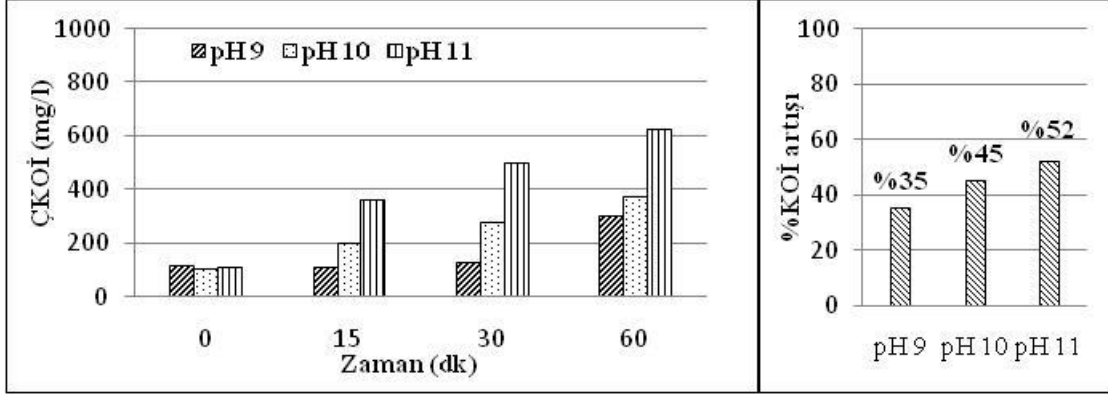
3.3. Alkali ve Asidik Dezentegrasyon

Kimyasal dezentegrasyon denemelerinde, kimyasal ilavesiyle ayarlanan pH ve zaman bağımsız değişkenlerinin çamurun ÇKOİ konsantrasyonuna olan etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 2). Şekil 4'te de görüldüğü gibi NaOH ile yapılan alkali dezentegrasyon işlemi ÇKOİ konsantrasyonunu önemli şekilde arttırmıştır (p<0,001). NaOH ile yapılan denemelerde atık aktif çamur örneklerine değişen miktarlarda NaOH ilave edilerek çamur pH'ı 9, 10, ve 11'e ayarlanmıştır. 60. dakikalarda alınan numunelerde belirlenen ÇKOİ konsantrasyonlarının 0. dakikaya göre sırasıyla %35, %45 ve %52 artış gösterdiği tespit edilmiştir.

KOH ilavesiyle gerçekleştirilen alkali dezentegrasyon uygulaması süresince çözünmüş KOİ konsantrasyonlarındaki zamana bağlı değişimler ise Şekil 5'te görülmektedir.

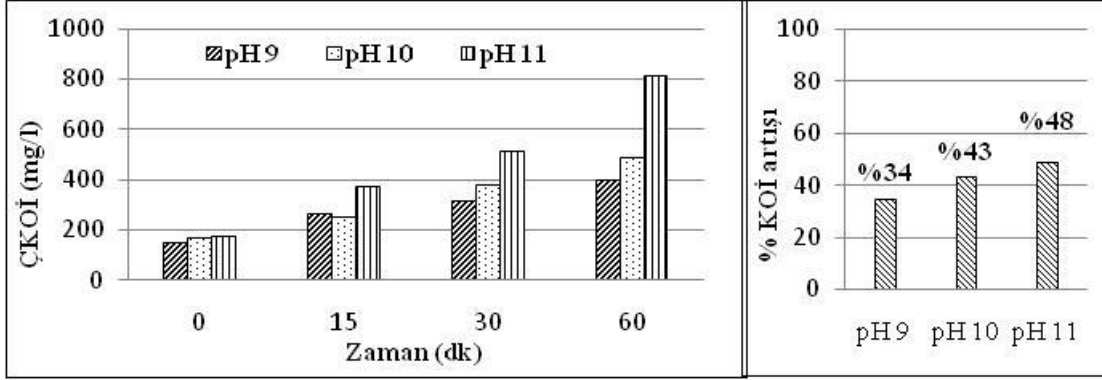
KOH ile yapılan alkali dezentegrasyon işlemi de ÇKOİ konsantrasyonunu belirgin şekilde arttırmıştır (p<0,001). KOH ilavesi ile pH'ı 9, 10, ve 11'e ayarlanan 60. dakika örneklerinin ÇKOİ konsantrasyonları 0. dakikaya göre sırasıyla %34, %43 ve %48 artış göstermiştir.

H_2SO_4 ile yapılan asidik dezentejrasyon uygulaması süresince çözünmüş KOİ parametresindeki değişimler Şekil 6'da verilmiştir.



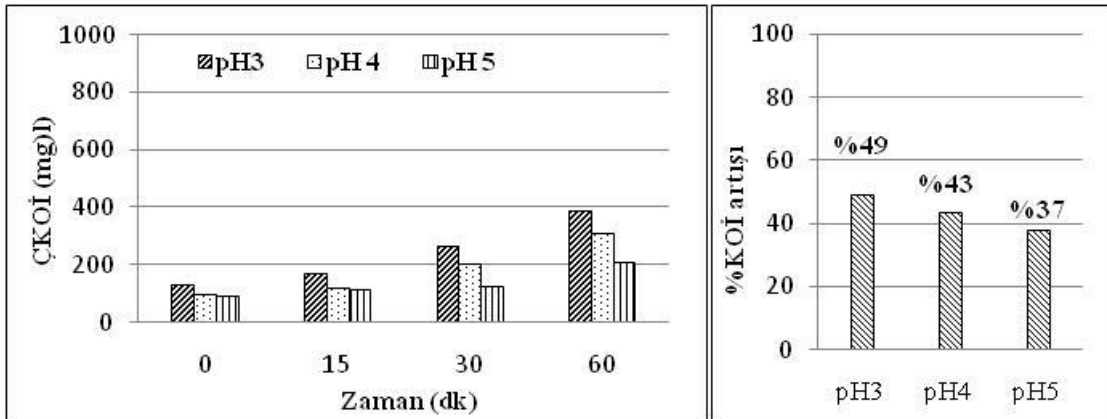
Şekil 4:

NaOH ile alkali dezentejrasyon uygulaması süresince ÇKOİ konsantrasyonunda zamana bağlı meydana gelen değişimler



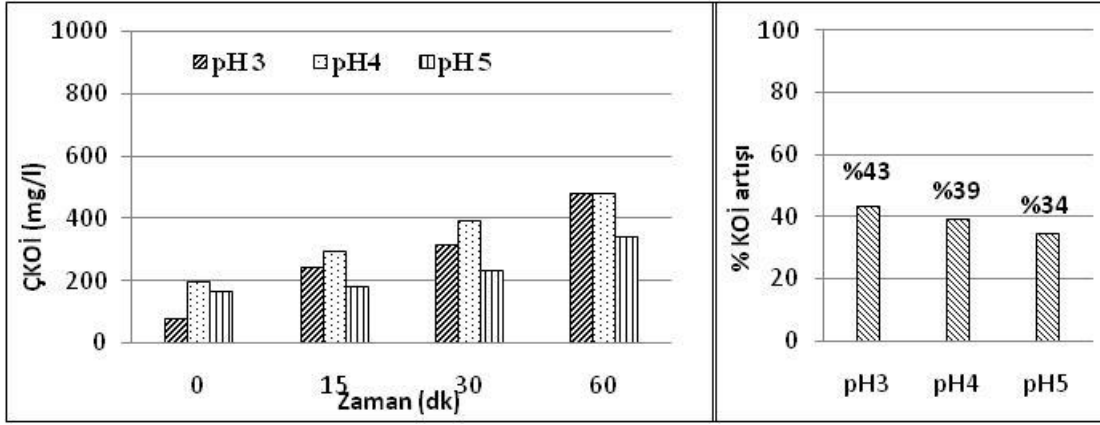
Şekil 5:

KOH ile alkali dezentejrasyon uygulaması süresince ÇKOİ konsantrasyonunda zamana bağlı meydana gelen değişimler



Şekil 6:

H_2SO_4 ile yapılan asidik dezentejrasyon uygulaması süresince çözünmüş KOİ konsantrasyonunda zamana bağlı meydana gelen değişimler

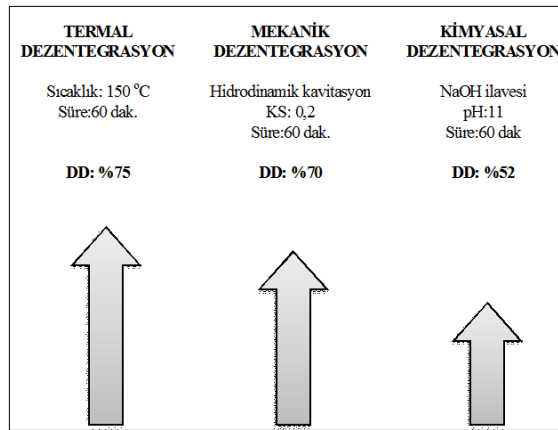


Şekil 7:

HCl ile yapılan asidik dezentegrasyon uygulaması süresince çözünmüş KOİ konsantrasyonunda zamana bağlı meydana gelen değişimler

Kim ve diğ., (2003) pH 12'de NaOH ve KOH ilavesi ile yaptıkları dezentegrasyon çalışmasında, 30 dakikalık reaksiyon süresi sonunda sırasıyla %39,8 ve %36,6 oranlarında ÇKOİ artışı gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Woodard ve Wukasch (1994) atık aktif çamuru H₂SO₄ ile 30 dakika oda sıcaklığında dezentegre ettiklerinde çamurda %50 - %60 arasında parçalanmayı arttırdığını ifade etmişlerdir. Aynı çalışmada, yüksek asit dozlarının kullanılmasının çamur dezentegrasyonu açısından çok uygun olmayacağı da vurgulanmıştır. Yüksek asit dozları ile dezentegrasyon yapıldığında, sistem ekipmanlarının korozyona uğrayabileceği ve sistemin işleyişini düzenlemek için ilave alkali madde eklenmesi gerektiğine dikkat çekilmiştir. HCl ve H₂SO₄ kullanılan bir diğer çalışmada asit ile dezentegrasyonda H₂SO₄ kullanımı daha uygun bulunmuştur (Neyens ve Baeyens, 2003). Diğer bir çalışmada ise alkali dezentegrasyon (pH 9,10 ve 11) yönteminin, ÇKOİ konsantrasyonlarını, nötre yakın ve asidik yöntemlere göre daha fazla arttırdığını belirtilmiştir (Chen ve diğ., 2007).

Çalışma kapsamında en yüksek dezentegrasyon verimliliğine ulaşılan mekanik, termal ve kimyasal dezentegrasyon yöntemlerinin kıyaslanması Şekil 8'de yapılmıştır. Buna göre yapılan çalışma kapsamındaki yöntemlerin etkililiği termal dezentegrasyon (150°C, 60 dak.) > mekanik dezentegrasyon (hidrodinamik kavitezyon, KS:0.2, 60 dak.) > kimyasal dezentegrasyon (NaOH, pH 11, 60 dak.) şeklinde sıralanmaktadır.



Şekil 8:

En yüksek dezentegrasyon verimliliğine ulaşılan termal, mekanik ve kimyasal dezentegrasyon yöntemlerinin kıyaslanması

4. SONUÇ

- Hidrodinamik kavitasyon ile gerçekleştirilen çamur dezentegrasyonu denemeleri, kavitasyon sayısı parametresinin sistem verimliliğini önemli derecede etkilediğini göstermiştir. 0,2 kavitasyon katsayısının sağlandığı akım şartlarında işletilen reaktör için ÇKOİ konsantrasyonundaki artış daha fazla bulunmuştur.
- Termal dezentegrasyon denemelerinde 100°C, 130°C ve 150°C 'lerde çalışılmış olup en iyi ÇKOİ artışı 150°C 'de gerçekleşmiştir. Başlangıçta 595mg/l olan çözülmüş KOİ konsantrasyonu 60 dakika sonunda 2434 mg/l'ye yükselmiştir.
- NaOH ve KOH ile yapılan alkali dezentegrasyonda NaOH'in KOH'e göre ÇKOİ konsantrasyonu arttırmada daha etkili olduğu görülmüştür. NaOH kullanıldığında en iyi performans pH 11 'de elde edilmiştir.
- HCl ve H₂SO₄ ile yapılan asidik dezentegrasyonda H₂SO₄'ün HCl'den daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. H₂SO₄ kullanıldığında en iyi sonuçlar pH 3'te gözlenmiştir.
- Kimyasal ilavesiyle yapılan dezentegrasyon denemelerine ait sonuçlar değerlendirildiğinde alkali dezentegrasyonun asidik dezentegrasyondan daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır.
- Yapılan çalışmada çözülmüş KOİ sonuçlarına göre en etkin dezentegrasyon yönteminin 150°C de uygulanan termal yöntem ile 0,2 KS şartlarında işletilen hidrodinamik kavitasyon yöntemi olduğu belirlenmiştir. Yüksek çözünürlük değerlerine ulaşılması ve diğer yöntemlere göre daha ekonomik bir alternatif olmasından dolayı hidrodinamik kavitasyon yönteminin anaerobik çamur çürütme performansının artırılması için uygun bir yöntem olabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Anderson, N.J., Dixon, D.R., Harbour, P.J., Scales, P.J. (2002) Complete characterisation of thermally treated sludges, *Water Science and Technology*, 46(10), 51-54.
2. APHA, AWWA, WEF, (1998) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed., American Public Health Association, Baltimore.
3. Badve, M., Gogate, P., Pandit, A., Csoka, L. (2013) Hydrodynamic cavitation as a novel approach for wastewater treatment in wood finishing industry, *Separation and Purification Technology*, 106, 15-21. doi:10.1016/j.seppur.2012.12.029
4. Bougrier, C., Albasi, C., Delgen`es, J.P., Carr`ere, H. (2006) Effect of ultrasonic, thermal and ozone pre-treatments on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability, *Chemical Engineering and Processing*, 45, 711-718. doi:10.1016/j.cep.2006.02.005
5. Filibeli, A. (1998) *Aritma Çamurlarının İşlenmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, No: 225, ISBN 975-441-117-4.
6. Filibeli, A., Erden Kaynak, G. (2006) Aritma çamuru miktarının azaltılması ve özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan ön işlemler, *İtü dergisi/e Su Kirlenmesi Kontrolü* , 16(1-3), 3-12.
7. Gogate, P. R., Pandit, A. B. (2000) Engineering design methods for cavitation reactors II:Hydrodynamic cavitation, *AIChE Journal*, 46(8), 1641-1649. doi: 10.1002/aic.690460815
8. Gogate, P. R., Pandit, A. B. (2001) Hydrodynamic cavitation reactors: A state of the art review, *Reviews in Chemical Engineering*, 17 (1), 1-85.

9. Haug, T.R., Stuckey, D.C., Gossett, J.M., McCarty, P.L. (1978) Effect of thermal pretreatment on digestibility and dewaterability of organic sludges, *Water Environment Federation*, 50, 73-85.
10. Kepp, U., Solheim, O.E. (2001) Meeting increased demands on sludge quality experience with full scale plant for thermal Disintegration, *Proceedings 9th World Congress, Anaerobic Conversion for Sustainability*, Antwerpen, Belgium.
11. Kim, J., Park, C., Kim, T-H., Lee, M., Kim, S., Kim, S-W., Lee, J. (2003) Effects of various pretreatments for enhanced anaerobic digestion with waste activated sludge, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 95, 271–275. doi:10.1016/S1389-1723(03)80028-2
12. Lee, I., Han, J.I. (2013) The effects of waste-activated sludge pretreatment using hydrodynamic cavitation for methane production, *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(6), 1450-1455. doi:10.1016/j.ultsonch.2013.03.006
13. Myszograj, S., Jędrzak, A., Suchowska-Kisielewicz, M., Sadecka Z. (2013) Thermal and chemical disintegration of excessive sewage sludge, *The 1st Global Virtual Conference*, Goce Delchev University Macedonia & Thomson Ltd., Slovakia.
14. Neyens, E., Baeyens, J. (2003) A review of thermal sludge pretreatment processes to improve dewaterability, *Journal of Hazardous Materials*, 98, 51-67. doi:10.1016/S0304-3894(02)00320-5
15. Odegaard, H., Paulsrud, B., Karlsson, I. (2002) Wastewater sludge as a resource: sludge disposal strategies and corresponding treatment technologies aimed at sustainable handling of wastewater sludge, *Water Science and Technology*, 46(10), 295-303.
16. Ozonek, J. 2012. *Application of Hydrodynamic Cavitation in Environmental Engineering*, Taylor and Francis Group, London.
17. Ray, B.T., Rajan, R.V., and Lin, J.G. (1990) Low-level alkaline solubilization for enhanced anaerobic digestion, *Research Journal of the Water Pollution Control Federation*, 62(1), 81-87.
18. Valo, A., Carre, H., Delgenes, J.P. (2004) Thermal, chemical and thermo-chemical pretreatment of waste activated sludge for anaerobic digestion, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 79, 1197-1203. doi: 10.1002/jctb.1106
19. Vranitzky, R., 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.
20. Wilson, C.A., Novak, J.T. (2009) Hydrolysis of macromolecular components of primary and secondary wastewater sludge by thermal hydrolytic pretreatment, *Water Research*, 43(18), 4489-4498. doi:10.1016/j.watres.2009.07.022
21. Woodard, S., Wukasz, R. (1994) A hydrolysis/thickening/filtration process for the treatment of waste activated sludge, *Water Science and Technology*, 30(3), 29-38.
22. Yinguang Chen_, Su Jiang, Hongying Yuan, Qi Zhou, Guowei Gu (2007) Hydrolysis and acidification of waste activated sludge at different pHs, *Water Research*, 41, 683-689. doi:10.1016/j.watres.2006.07.030