

## ATIK AKTİF ÇAMURDA BİYOGAZ ÜRETİMİNİN ARTIRILMASINA TERMAL VE KİMYASAL DEZENTEGRASYONUN ETKİSİ

*Efsun DİNDAR\**<sup>1</sup> 

*N.Aleyna YILMAZ\**<sup>2</sup> 

Alınma: 29.06.2022; düzeltme: 26.07.2022; kabul: 27.07.2022

**Öz:** Çamur dezentegrasyon yöntemleri, atıksu çamurunun çürüme sürecinde hız sınırlayıcı adım olan hidroliz fazını ortadan kaldırmak, oluşan biyogaz miktarını ve stabilizasyon derecesini artırmak için uygulanan ön işlem yöntemleridir. Bu çalışmada, çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı parametresindeki değişimler incelenerek farklı dezentegrasyon yöntemlerinin (termal ve kimyasal) çamurun çözünürlüğüne etkisi araştırılmıştır. Termal dezentegrasyon kapsamında yapılan çalışmalarda atık aktif çamur, kapalı tüplerdeki blok ısıtıcılarda ısıl işleme tabi tutulmuştur. Kimyasal(alkali) dezentegrasyon için, atık aktif çamurun pH'ı 10 ve 11 olacak şekilde NaOH ilave edilmiştir.

Çalışma sonucunda, BMP testi ile termal dezentegrasyon, alkali dezentegrasyon, aşı+ham çamur ve aşı çamurundan biyogaz üretimi sırasıyla 202.5, 189.8, 104 ve 80.5 ml olarak bulunmuştur. Çalışma kapsamında uygulanan kimyasal ve termal dezentegrasyon yöntemlerinin her ikisi de biyogazın verimini olumlu yönde etkilemiştir. Biyogaz verimliliği açısından termal dezentegrasyon yöntemi daha etkili bir yöntem gibi görünmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Atık aktif çamur, biyokimyasal metan potansiyeli, çamur dezentegrasyonu, termal dezentegrasyon, kimyasal dezentegrasyon

### **Effect of Thermal And Chemical Disintegration on The Enhance of Biogas Production in Waste Activated Sludge**

**Abstract:** Sludge disintegration methods are pre-treatment methods applied to eliminate the hydrolysis phase, which is the rate limiting step in the decay process of wastewater sludge, to increase the degree of stabilization and the amount of biogas formed. In this study, the effect of different disintegration methods (thermal and chemical) on the solubility of the sludge was investigated by examining the changes in the dissolved chemical oxygen demand parameter. In the studies conducted within the scope of thermal disintegration, waste activated sludge is subjected to heat treatment in block heaters in closed tubes. In the case of alkali disintegration experiments, NaOH was added such that the waste activated sludge pH was 10 and 11.

As a result of the study, biogas production was found 202.5, 189.8, 104 and 80.5 ml from thermal disintegration, alkaline disintegration, inoculum+raw sludge and inoculum sludge in a result of BMP test, respectively. Both of the chemical disintegration and thermal disintegration methods applied within the scope of the study have positively affected the efficiency of biogas. Thermal disintegration method seems to be more effective method in terms of biogas productivity.

\* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Nilüfer/Bursa  
İletişim yazarı: Efsun Dindar (efsun@uludag.edu.tr)

**Keywords:** Waste activated sludge, biochemical methane potential, sludge disintegration, thermal disintegration, chemical disintegration

## 1. GİRİŞ

Dezentegrasyon, çamur flok yapısını bozabilen, hücre duvarını tahrip ederek hücre içi polimerik madde (EPS) içeriğinin sıvı faza bırakılmasını sağlayan, çamur için yaygın bir ön arıtma yöntemidir. (Jin ve diğ., 2015; Vranitzky ve Lahnsteiner, 2005). Çamurun dezentegrasyonu, çamur flok yapısını ve nem dağılımını değiştirebilmektedir (Müller ve diğ., 2004; Filibeli ve Kaynak, 2006).

Çamur dezentegrasyon teknolojileri, atık veya atık gaz üretmediğinden çevre açısından güvenilir olarak kabul edilmektedir (Foladori ve diğ., 2010).

Etkili bir dezentegrasyon sonucunda çamurdaki organik maddenin çoğu sıvı faza geçer ve sıvı faza geçemeyen katı çamur partikülleri çoğunlukla inorganik maddeler içerir. Bu nedenle çamurun susuzlaştırılabilirliği de etkilenmektedir (Müller, 2003; Wett ve diğ. 2010).

Dezentegrasyon prosesinin uygulanmasında en önemli konular, enerji tüketimi, ilk yatırım maliyeti ve kimyasal madde tüketimine göre hesaplanan işletme maliyetleri ve sistem verimliliğidir.

Dezentegrasyonun, çamur minimizasyonu, enerji geri kazanımı, stabil çamur oluşturma gibi avantajları vardır (Yeşil 2011). Çamur dezentegrasyon yöntemleri ile ilgili son yıllarda birçok araştırma yapılmaktadır. Fazla çamuru azaltmak ve biyogaz üretimini artırmak için geliştirilen çamur parçalama teknolojileri, mekanik parçalama, termal parçalama, kimyasal veya termokimyasal parçalama ve biyolojik parçalama olarak sınıflandırılmaktadır.

Bu çalışmada, termal ve kimyasal olmak üzere iki çamur dezentegrasyon yöntemi kullanılarak bu yöntemlerin neden olduğu değişikliklerin (çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı ve metan üretimi) karşılaştırılması amaçlanmıştır.

**Kimyasal Dezentegrasyon:** Alkali ön arıtma, en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Kalsiyum hidroksit ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) ve sodyum hidroksitten ( $\text{NaOH}$ ) gelen hidroksil iyonları, sırasıyla hücre dışı ve hücre içi malzemenin salınmasına neden olarak hücrelerin yapısını kırmak için kullanılmaktadır (Mudhoo ve Sharma, 2011). Alkali koşullar hidrolizin geliştirilmesine yağların, hidrokarbonların ve proteinlerin alifatik asitler, polisakaritler ve amino asitler gibi daha küçük ve çözünür maddelere dönüştürülmesine olanak sağlamaktadır (Everett, 1973). Rajan ve diğ., (1989)  $\text{NaOH}$ 'ın kireçten daha yüksek çözünürlük verimliliğine sahip olduğunu bildirmiştir. Askıda katı madde çamur yüzdesi  $\text{NaOH}$  konsantrasyonu ile artış göstermektedir. Bu durum, çamurdaki çözünür  $\text{KOI}$  değerinde artışa neden olmaktadır (Chang ve diğ., 2002). Bilindiği gibi, çözünür  $\text{KOI}$ 'nin artması, çamurun dezentegrasyon derecesinin önemli bir göstergesidir.

Ray ve diğ. (1990) yaptıkları bir çalışmada, çamurun anaerobik parçalanmasında farklı dozlarda  $\text{NaOH}$  uygulaması ve  $35^\circ\text{C}$ 'de farklı sürelerde ön işlemden geçirilmesiyle, organik madde bozunumunun ve biyogaz üretiminin, işlenmemiş çamura kıyasla sırasıyla %25-35 ve %29-112 oranında arttığını bildirmiştir.

**Termal Dezentegrasyon:** Termal ön işlemden, çamur hücrelerini parçalamak için yüksek sıcaklık (bazen yüksek basınçla birleştirilir) kullanılmaktadır (Appels ve diğ., 2010). Termal ön işlem, çamur yapısını parçalama, biyolojik flokların ayrıştırılması, çamurun çözülmesi, bakteriyel hücre dezentegrasyonu ile hücre içi bileşenlerin ve bağlı suyun salınması gibi farklı şekillerde çamuru etkilemektedir (Anderson ve diğ., 2002; Odegaard ve diğ., 2002; Foladori ve diğ., 2010). Termal dezentegrasyon sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, çamur parçalama o kadar verimli olmaktadır (Barjenbruch ve Koppow, 2003).

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Dezentegrasyonda Kullanılan Atık Aktif Çamurun Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan atık aktif çamur, Bursa'da bulunan, konserve gıda üretimi yapılan bir işletmenin atıksu arıtma tesisinden alınmıştır. Evsel nitelikli atıksular ile proses sularının birlikte aktif çamur sistemiyle arıtıldığı arıtma tesisinin debisi  $5500 \text{ m}^3 \text{ gün}^{-1}$ 'dir. Proje kapsamında kullanılan çamur özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1. Atıksu çamurunun fizikokimyasal özellikleri**

Parametre	Değer
TKOİ (mg/l)	13200
ÇKOİ (mg/l)	280
TKM (%)	1,40
UKM (% KM)	71,5
AKM(mg/l)	10300
UAKM (mg/l)	7140
pH	7,5
TKN (mg/l)	724
ÇTKN (mg/l)	52
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	5.25
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	4.20
TP (mg/l)	416
ÇTP (mg/l)	74,6

### 2.2. Dezentegrasyon Süreci

#### Termal Dezentegrasyon

Bu çalışmada atık aktif çamur, kapalı tüplerdeki blok ısıtıcılarda ısıl işleme tabi tutulmuştur. Çamur numuneleri 100°C, 130°C ve 150°C'de ısıtılmıştır. Çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (ÇKOİ) parametresi 15., 30. ve 60. dakikalarda analiz edilmiştir.

#### Kimyasal (Alkali) Dezentegrasyon

Bu çalışmada, atık aktif çamura sıvı NaOH ilave edilerek pH değeri 10 ve 11 olacak şekilde ayarlanarak manyetik karıştırıcıda 200 rpm'de 60 dakika karıştırılmıştır. Çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (ÇKOİ) parametresi 15., 30. ve 60. dakikalarda analiz edilmiştir.

### 2.3. Potansiyel Biyogaz Üretiminin Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında, alkali ve termal dezentegrasyonun anaerobik parçalanma üzerindeki etkisi optimum koşullar altında belirlenerek BMP (biyokimyasal metan potansiyeli) testi uygulanmıştır.

Biyokimyasal metan potansiyeli testi, bir substratın metan üretimi açısından anaerobik işlenebilirliğinin belirlenmesi prensibine dayanmaktadır. Bu test, anaerobik bozunabilirliği değerlendirmek için yaygın olarak kullanılırken, anaerobik olarak metana dönüştürülebilen organik karbon miktarını belirlemek için de kullanılmaktadır.

BMP testi, anaerobik olarak metana dönüştürülebilen organik karbon miktarının belirlenmesinde gerçekçi bir yaklaşım olarak düşünülmektedir (Angelidaki ve Sanders, 2009). BMP testleri, Fransız Ulusal Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Çevresel Biyoteknoloji Laboratuvarı

tarafından önerilen standart yöntemle yapılmıştır. (Institut National de la Recherche Agronomique, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement INRA- LBE)

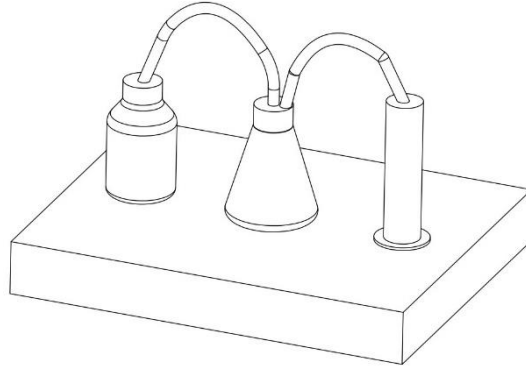
500 ml hacimli cam şişeler kullanılmış olup, işlem hacmi 300 ml olarak belirlenmiştir. Testlere mezofilik (35°C) koşullarda 60 gün devam edilerek, test periyotlarında BMP şişelerinin tam karışım halinde kalması sağlanmıştır. Önerilen yöntemle göre BMP reaktöründe aktif aşılama konsantrasyonu 3-5 g UAKM/L ve substrat-aşı oranı 0,5 (katılar için g UAKM/g UAKM, sıvı numuneler için KOİ/g UAKM) olmalıdır.

Aşılama aktivitesinin devam etmesi için BMP testinde kullanılan şişelere 2 ml makro ve 3 ml mikrobeyinler eklenmiş ve pH değişimini tamponlamak için NaHCO<sub>3</sub> kullanılmıştır. Şişeler, ağızları kapatılmadan önce içerisindeki oksijeni uzaklaştırmak için N<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> (%70/%30) gaz karışımından geçirilmiş ve sonra inkübatöre yerleştirilmiştir.

#### 2.4.Biyogaz Üretiminin Belirlenmesi

Çalışma süresince üç günde bir biyogaz ölçümleri yapılmıştır. Biyogaz ölçümü için hacimsel yer değiştirme yöntemi kullanılmıştır. Biyogaz ölçümü için hacimsel yer değiştirme yöntemi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Bu süreçte BMP şişesindeki biyogaz, bir şırınga yardımıyla erlen'e aktarılmıştır. Şişedeki yer değiştirme çözeltisi, Standart Yöntem SM 2720'ye göre hazırlanmış asidik bir tuz çözeltisidir (Anonim 1998). Böylece CO<sub>2</sub>'in sudaki çözünürlüğü önlenmektedir. Çözelti, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (200 g), derişik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (30 ml, %98) ve metil oranj (2 damla) saf suda 1 L'ye çözülerek hazırlanmıştır.



**Şekil 1:**  
*Biyogaz Ölçüm Aparatı*

### 3. SONUÇ VE TARTIŞMA

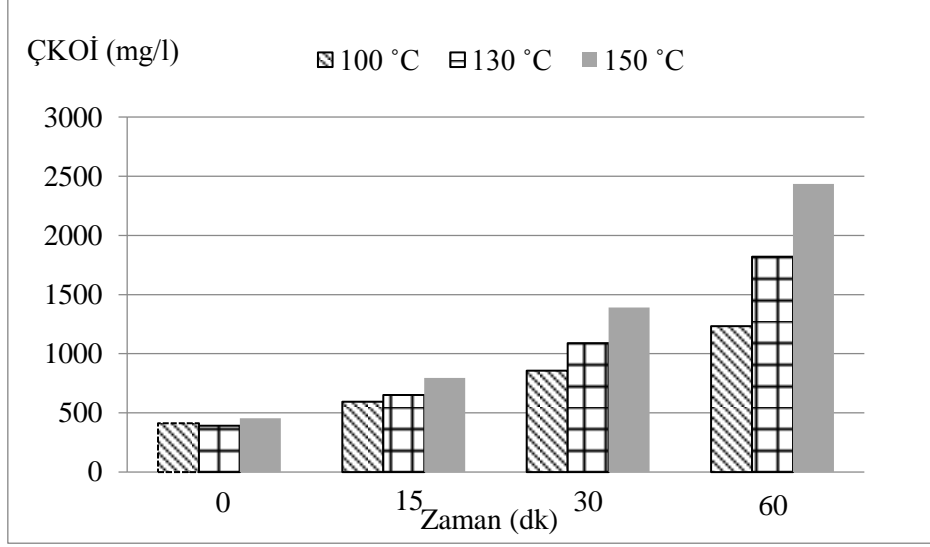
#### Termal Dezentegrasyon

Termal dezentegrasyon, biyolojik flokların ayrıştırılması, çamur çözünmesi, bakteri hücre çözünmesi ve hücre içi bileşenlerin ve bağlı suyun salınması gibi çamuru farklı şekillerde etkilemektedir. Termal ön işlem sırasında ısı uygulanması hücre duvarının kimyasal bağlarını parçalamaktadır (Tyagi ve Lo, 2011; Anderson ve diğ., 2002; Odegaard ve diğ., 2002). Temyiz ve diğ. (2010), termal hidroliz sırasındaki ön işlem sıcaklığının çamur çözünmesini etkilediğini tespit etmiştir.

Termal dezentegrasyon deneyleri, 100°C, 130°C ve 150°C'de gerçekleştirilmiştir. Çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacındaki değişiklikler (organik madde çözünürlüğünün bir sonucu olan ÇKOİ) Şekil 2'de sunulmuştur. Bu sonuçlar KOİ çözünürlüğünün hem sıcaklığa hem de temas süresine bağlı olduğunu göstermektedir.

100°, 130° ve 150°C'de 60 dakikalık termal hidrolizden sonra çamurdaki çözünür KOİ konsantrasyonları sırasıyla 1233, 1821 ve 2434 mg/L olarak tespit edilmiştir (Şekil 2).

Çözünmüş KOİ konsantrasyonu 60 dakikalık reaksiyon süresinin sonunda sırasıyla %107, 130°C'de %206 ve 150°C de %309 artmıştır.



**Şekil 2:**  
*Termal dezentegrasyonun ÇKOİ konsantrasyonları üzerine etkisi*

Valo ve diğ. (2004), parçalanmış çamurdaki ÇKOİ'nin 130, 150 ve 170°C'de 60 dakikalık termal hidrolizden sonra sırasıyla %25,3, %43,9 ve %59,5 oranında arttığını bulmuşlardır.

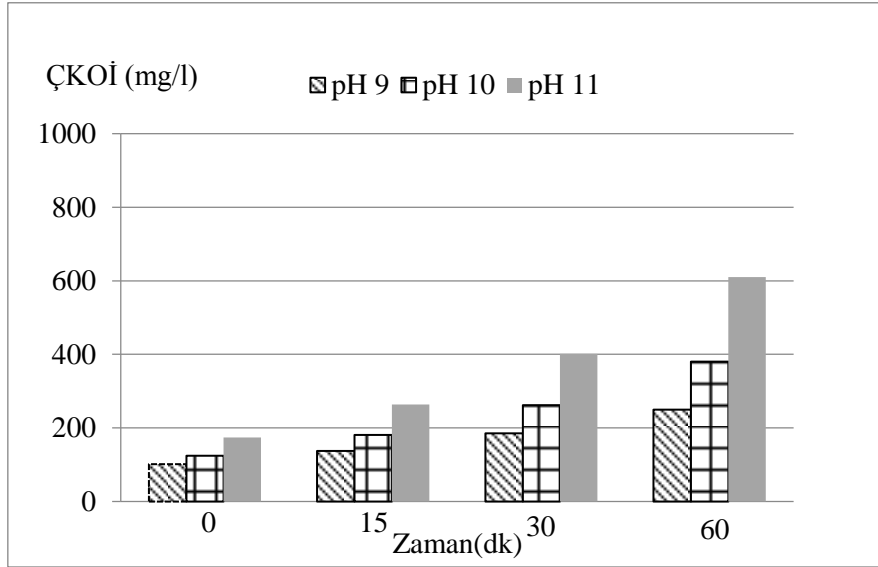
Myszograj ve diğ., (2013) işlenmemiş çamurdaki çözünür KOİ konsantrasyonunun 280 mg/L olduğunu ve ön işlem görmüş çamurdaki çözünür KOİ konsantrasyonlarının 135 ° C'de 30, 60 ve 120 dakikalık termal hidrolizden sonra sırasıyla 1480, 1894 ve 2904 mg/L olduğunu tespit etmişlerdir.

100°C'nin üzerindeki termal dezentegrasyonun dezavantajı, yüksek enerji gereksinimidir. (Bougrier ve diğ. 2006). Bu enerji, artan biyogaz üretimi yoluyla geri kazanılmaktadır. Bununla birlikte, >180°C sıcaklıklarda termal dezentegrasyon, inatçı çözünür organikler veya toksik/inhibitör ara ürünler üretmektedir (Wilson ve Novak, 2009). Maillard reaksiyonları yoluyla refrakter bileşiklerin oluşması nedeniyle, >180°C sıcaklıklar çamurun biyolojik olarak bozunabilirliğini arttırmadığı gibi çamurun biyolojik olarak parçalanabilirliğinde kademeli bir düşüşe sebep olmaktadır (Prorot ve diğ., 2011).

### **Alkali Dezentegrasyon**

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler, NaOH ilavesiyle KOİ çözünürlüğünün arttığını göstermiştir. Çözünmüş KOİ konsantrasyonu, 60 dakikalık reaksiyon süresinde sırasıyla 250, 380 ve 610 mg/l olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Çözünmüş KOİ konsantrasyonu, 60 dakikalık reaksiyon süresinden sonra sırasıyla pH 9'da %35, pH 10'da %45 ve pH 11'de %52 artmıştır. Çamurun ÇKOİ konsantrasyonu üzerine, pH ve reaksiyon süresinin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p < 0,001$ ).

Bu sonuçlar, alkali ön muamelede pH arttığında KOİ çözünürlüğünün arttığını göstermiştir. Kim ve diğ. (2003), pH 12 ve ortam sıcaklığında alkali ön işlemler gerçekleştirmiştir. NaOH, KOH, Mg(OH)<sub>2</sub> ve Ca(OH)<sub>2</sub> ekleyerek KOİ çözünürlük değerlerinin sırasıyla %39,8, %36,6, %10,8 ve %15,3 olduğunu bildirmişlerdir. Çamur dezentegrasyonu için en etkili olanın NaOH olduğunu ortaya koymuşlardır.



**Şekil 3:**  
Alkali dezentegrasyonun ÇKOİ konsantrasyonlarına etkisi

### Alkali ve Termal Dezentegrasyon ile Optimum Koşullarda Parçalanmış Çamurun Biyogaz Üretim Potansiyellerinin Değerlendirilmesi

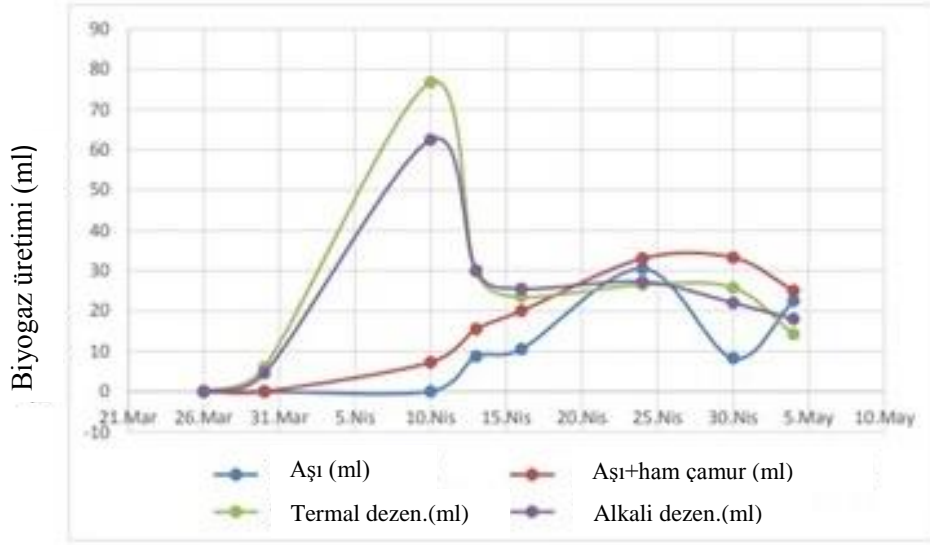
Alkali ve termal dezentegrasyon ile optimum koşullar altında gerçekleştirilen parçalama işleminin çamurun mezofilik koşullar altında anaerobik parçalanabilirliğine etkisini belirlemek için BMP testi uygulanmıştır.

Biyogaz üretim miktarları Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2. Biyogaz üretim miktarı (ml)**

	30 Mart 1.gün	10Nisan 11.gün	13Nisan 14.gün	16Nisan 17.gün	24Nisan 25.gün	30Nisan 31.gün	4Mayıs 35.gün
Aşılama çamuru (ml)	0	0	8,75	10,05	30,5	8,25	22,5
Aşılama çamuru + ham çamur (ml)	0	7,25	15,5	20	33	33,25	25
Termal Dezentegrasyon (ml)	6	76,75	29,75	23,5	26,5	25,75	14,25
Alkali Dezentegrasyon (ml)	4,5	62,5	30,05	25,5	27,25	22	18

Aşısız kullanılan substrat çamurunun etkinliğini karşılaştırmak için substrat kullanılmadan aşılama çamuru+ham çamura sadece BMP testi uygulanmıştır. Şekil 4, BMP testi sonucunda elde edilen biyogaz miktarlarının karşılaştırmasını göstermektedir.



**Şekil 4:**  
*Farklı çamur parçalama yöntemlerinden biyogaz üretimi.*

Şekil 4'te görüldüğü gibi BMP testi sonucunda termal dezenteegrasyon, alkali dezenteegrasyon, aşı+ham çamur ve aşı çamurundan biyogaz üretimi sırasıyla 202,5, 189,8, 104 ve 80,5 ml olarak bulunmuştur.

BMP test sonuçlarına göre ilk 4-5 gün aşı çamurunda ve aşı çamuru + ham çamurda gaz oluşumu gözlemlenmemiştir. Alkali ve termal dezenteegrasyon için mikroorganizmalar ilk 4-5 gün içerisinde ortama uyum sağladığından gaz çıkışı çok düşük olmuştur.

İlk 5 günden sonra 2 hafta boyunca termal ve alkali bozunma sonucunda biyogaz üretimi önemli ölçüde artmıştır. Bununla birlikte, termal dezenteegrasyon, alkali dezenteegrasyondan daha verimli bulunmuştur. Aşı çamurunda gaz oluşumu görülmezken aşı çamuru+ham çamur karışımında biyogaz üretimi çok düşük bulunmuştur.

18. günden sonra, mikroorganizmaların ölüm fazına geçmesiyle birlikte termal ve alkali yöntemle parçalanmış çamur için biyogaz çıkışında önemli bir düşüş gözlemlenmiştir. Öte yandan aşı çamuru ve ham çamur+aşı çamuru için biyogaz üretimi artış göstermiştir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde hem alkali parçalama hem de termal parçalama yöntemleri çamurun biyogaz verimini olumlu yönde etkilemiştir. Ancak termal parçalama yönteminin biyogaz verimliliği açısından diğer yöntemlere göre daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4. SONUÇ

Çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı parametresindeki değişimler incelendiğinde termal ve kimyasal dezenteegrasyon yöntemlerinin çamurun çözünürlüğüne etkisi olduğu bulunmuştur. Yüksek pH ve sıcaklıkta çözünmüş KOI değerinin arttığı tespit edilmiştir. Termal dezenteegrasyon sonucunda ÇKOI değerinin alkali dezenteegrasyona kıyasla daha fazla yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi, tüm dezenteegrasyon yöntemleri biyogaz üretim potansiyelini olumlu yönde etkilemiş olmakla birlikte en fazla biyogaz üretimi "Termal Dezenteegrasyon"da bulunmuştur. Termal ve alkali dezenteegrasyonda aşı çamuru ilavesinin biyogaz üretimini arttırdığı görülmüştür.

## ETİK KURUL ONAYI

Etik kurul onayı gerekli değildir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Bildirilecek herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

## YAZAR KATKISI

Bu araştırmada; Efsun DİNDAR yöntemin öncesinde yapılan hazırlık adımlarında, hesaplamaların yapılmasında, literatür araştırmalarında, analizlerin gerçekleştirilmesinde ve araştırma ve analiz yönteminin doğruluğunun kontrolü, makalenin genel içerik ve yapısının oluşturulması, N. Aleyna YILMAZ hesaplamalarda, literatür araştırmasında, şekil ve tablo düzenlenmelerinde, makalenin yazımında konularında katkı sağlamıştır.

## KAYNAKLAR

1. Anderson, N., Dixon, J., Harbour, P. J. & Scales, P. J. (2002). Complete characterisation of thermally treated sludges. *Water Science and Technology*, 46(10): 51-54
2. Angelidaki, I. & Sanders, W. (2004). Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 3: 117-129.
3. Anonim (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA-AWWA-WPCF Copyright by American Public Health Association, Washington.
4. Appels L., Degreve J., Bruggen B. Van der, Impe J. Van & Dewil, R. (2010). Influence of low temperature thermal pre-treatment on sludge solubilisation, heavy metal release and anaerobic digestion, *Bioresour. Technol.*, 101, 5743–5748.
5. Barjenbruch, M. & Kopplow, O. (2003). Enzymatic, mechanical and thermal pretreatment of surplus sludge, *Advances in Environmental Research*, 7,715–720
6. Bougrier, C., Albasi, C., Delgenes, J.P. & Carrere, 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.
7. Chang, C., Ying-Shih Ma, & Lo, C. (2002). Application of oxidation–reduction potential as a controlling parameter in waste activated sludge hydrolysis, *Chemical Engineering Journal*, 90, 273–281.
8. Everett, J. G. (1973). Recent developments in heat treatments, *J. Water Pollut. Control Fed.*, 50, 1,73-75
9. Filibeli, A. & Erden K. G. (2006). Arıtma çamuru miktarının azaltılması ve özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan ön işlemler. *itüdergisi/e*.
10. Foladori, P., Andreottola G. & Zigliio, G. (2010). *Sludge Reduction Technologies in Wastewater Treatment Plants*. IWA Publishing, London, UK
11. Jin, L., Zhang, G. & Zheng, X. (2015). Effects of different sludge disintegration methods on sludge moisture distribution and dewatering performance, *Journal of Environmental Sciences*, 28, 22-28.
12. 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, *J. Biosci. Bioeng.* 95 (3), 271–275.



13. Mudhoo, A. & Sharma S. K. (2011) Microwave irradiation technology in waste sludge and wastewater treatment research, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 41, 999–1066.
14. Müller, J. A. (2003). Conditioning, thickening and dewatering of mechanically disintegrated excess sludge. *Separation Science and Technology*, 38, 4, 889-902.
15. Müller, J. A., Winter, A. & Strümkann, G. (2004). Investigating and assesment of sludge pretreatment processes. *Water Science and Technology*, 49 (10): 97-104
16. 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.
17. 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
18. Prorot, A., Laurent, J., Dagot, C. & Leprat, P. (2011). Sludge disintegration during heat treatment at low temperature: a better understanding of involved mechanisms with a multiparametric approach, *Biochem. Eng. J.*, 54, 178–184.
19. Rajan, R. V., Lin, J.G. & Ray, B. T. (1989). Low level chemical pretreatment for enhanced sludge solubilization, *Res. J. Water Pollut. Control Fed.* 61, 1678–1683.
20. Ray, B. T., Rajan, R. V. & Lin, J.G. (1990). Lowlevel alkaline solubilization for enhanced anaerobic digestion, *Res. J. Water Pollut. Control Fed.*, 62, 81-87.
21. Tyagi, V.K. & Lo, S.L. (2011) Application of physico-chemical pretreatment methods to enhance the sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: an up to date review, *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 10, 215–242.
22. Valo, A., Carrere, H. & Delgenes, J.P. (2004). Thermal, chemical andthermo-chemical pretreatment of waste activated sludge foranaerobic digestion. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 79, 1197–1203.
23. 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
24. Wett, B., Phothilangka, P. & Eladawy, A. (2010) Systematic comparison of mechanical and thermal sludge disintegration technologies. *Waste Manag.* 30, 1057–1062.
25. 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
26. Yeşil, E. (2011). Atık Çamur Dezentegrasyonu Yöntemlerinin Çamur Minimizasyonu Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
27. Zhang, Y.X., Zhang, P.Y., Zhang, G.M., Ma, W.F., Wu, H. & Ma, B.Q. (2012). Sewage sludge disintegration by combined treatment of alkaline+high pressure homogenization. *Bioresour. Technol.* 123, 514–519.

