

## FARKLI DEZENTEGRASYON YÖNTEMLERİYLE İŞLEM GÖRMÜŞ ÇAMURLARIN ÇÖZÜNEBİLİRLİKLERİNİN VE SUYUNU VERME ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

F. Olcay TOPAÇ<sup>1</sup>\*   
Melike YALILI KILIÇ<sup>1</sup> 

Alınma: 22.05.2024 ; kabul: 10.06.2024

**Öz:** Çamur dezentegrasyon yöntemleri özellikle atık çamurların anaerobik çürütülmesinden önce ön arıtım yöntemi olarak kullanılmakta ve çeşitli çamur özelliklerinde iyileşmeler sağlayabilmektedir. Bu çalışmada, konserve gıda üretimi yapan bir işletmenin atıksu arıtma tesisinden alınan atık aktif çamura hidrodinamik kavitasyon, asidik dezentegrasyon ve alkali dezentegrasyon yöntemleri uygulanmış, çözünebilir kimyasal oksijen ihtiyacı (ÇKOİ), kapiler emme süresi (KES) ve santrifüjlenebilir çökebilirlik indeksi (SÇİ) değerlerinde meydana gelen değişimler incelenmiş ve uygulanan yöntemlerin, çamur çözünebilirliği ile susuzlaştırılabilirliği üzerindeki etkileri kıyaslanmıştır. Çalışmada çamura uygulanan tüm dezentegrasyon yöntemleri atık aktif çamurun çözünebilirliğini olumlu yönde etkilemiş ve çamurdaki ÇKOİ konsantrasyonunu önemli derecede arttırmıştır. Uygulanan yöntemler içerisinde çamurun çözünebilirliğini en fazla arttıran yöntemlerin hidrodinamik kavitasyon ve alkali dezentegrasyon (pH 11) olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan çamurun çözünebilirliğini en fazla arttıran bu yöntemlerin çamurun KES ve SÇİ değerlerini de arttırdığı, yani çamurun su verme performansını olumsuz yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Atık aktif çamur, çamur dezentegrasyonu, kapiler emme süresi, çözünebilir KOİ, santrifüjlenebilir çökebilirlik indeksi

### Evaluation of the Solubility and Dewaterability of Sludges Treated with Different Disintegration Methods

**Abstract:** Sludge disintegration methods are particularly used as pretreatment techniques prior to the anaerobic digestion of waste sludge, and they can improve various sludge characteristics. In this study, hydrodynamic cavitation, acidic disintegration, and alkaline disintegration methods were applied to waste activated sludge obtained from a wastewater treatment plant of a canned food production facility. The changes in soluble chemical oxygen demand (SCOD), capillary suction time (CST), and centrifugal settleability index (CSI) were examined, and the effects of the applied methods on sludge solubility and dewaterability were compared. All disintegration methods applied in the study positively influenced the solubility of waste activated sludge and significantly increased the SCOD concentration in the sludge. Among the applied methods, hydrodynamic cavitation and alkaline disintegration (at pH 11) were found to be the most effective in increasing sludge solubility. On the other hand, these methods, which significantly increased sludge solubility, were also found to increase CST and CSI values, indicating a negative impact on the dewatering performance of the sludge.

**Keywords:** Waste activated sludge, sludge disintegration, capillary suction time, soluble COD, centrifugal settleability index

<sup>1</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer/Bursa  
İletişim Yazarı: F.Olcay TOPAÇ (olcaytopac@uludag.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Su ve atıksu arıtma tesislerinde bir yan ürün olarak meydana gelen arıtma çamurları, makro/mikro besinler ile organik bileşikler gibi tarımsal değere sahip unsurları içermektedir. Bununla birlikte keskin kokusu, büyük hacimler işgal etmeleri, bünyelerinde patojenler, ağır metaller ve diğer toksik maddeleri bulundurmaları nedeniyle çevreye zarar vermeden bertaraf edilmeleri gerekmektedir (Cao ve diğ., 2021; Topaç ve diğ., 2024). Çamurların arıtma maliyetleri su içeriklerinin yüksek olması nedeniyle, arıtma tesislerinin toplam işletme maliyetinin yaklaşık %60'ına karşılık gelmektedir (Hu ve diğ., 2020). Çamur bertarafının kolaylaşması ve taşıma maliyetlerinin azaltılması açısından çamurun kaynağında azaltılması oldukça önem taşımaktadır.

Çamur yönetim sistemlerinde, yoğunlaştırma, çürütme veya şartlandırma gibi ön işlemlerden geçtikten sonra çamur, genellikle yakma, kompostlama veya depolama gibi ek işlem aşamalarına geçmeden önce susuzlaştırmaya tabi tutulur. Çamurun su içeriğinin düşürülerek bertaraf edilmesini kolaylaştıran çamur susuzlaştırma, atıksu arıtma prosesinde önemli bir aşamadır. Çamur yönetiminin tüm maliyeti, çamur susuzlaştırmanın ne kadar iyi çalıştığından doğrudan etkilenir. Verimli susuzlaştırma sırasında daha yüksek oranda su uzaklaştırılır, bu da çamurun hacminin ve ağırlığının azalmasına neden olur. Sonuç olarak çamurun taşınması ve bertaraf edilmesi daha basit ve daha az maliyetli hale gelir (Liu ve diğ., 2016a).

Çamurun su verme özelliklerinin iyileştirilmesi ve çamur özelliklerinin sonraki çamur arıtım proseslerine uygun hale getirilmesi için farklı yaklaşımlara sahip çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Çamur arıtımında kullanılan ve dezentegrasyon yöntemleri olarak anılan bu yöntemler, mekanik (Nazif ve diğ., 2016; Rao ve diğ., 2024), kimyasal (Niu ve diğ., 2013; Li ve diğ., 2020), biyolojik (Yang ve diğ., 2021; Ferrer ve diğ., 2024), termal (Liew ve diğ., 2022; Kavacık ve Dölgen, 2023), ultrasonik (Wolski, 2020; Yu ve diğ., 2022), asidik (He ve diğ., 2017; Chen ve diğ., 2020), alkali (Mancuso ve diğ., 2019; Skripsts ve diğ., 2024) ve kombine metotları (Xu ve diğ., 2021; Rashvanlou ve diğ., 2022; Xia ve diğ., 2023) içermektedir.

Bu dezentegrasyon yöntemleri içerisinde yer alan hidrodinamik kavitezyon, alkali dezentegrasyon ve asidik dezentegrasyon yöntemleri özellikle atık çamurların anaerobik çürütülmesinden önce ön arıtım yöntemi olarak kullanılmakta ve çeşitli çamur özelliklerinde iyileşmeler sağlamaktadır. Hidrodinamik kavitezyon yöntemiyle evsel atık çamurundan siloksan gideriminin incelendiği bir çalışmada, 400 mg/L siloksan konsantrasyonuna sahip olan çamur 1 saat boyunca kavitezyona tabi tutulmuş ve siloksan %57 oranında giderilmiş olup, hidrodinamik kavitezyonun siloksanı gidermede oldukça başarılı olduğu sonucuna varılmıştır (Doğan ve Şen, 2017). Atık aktif çamurun entegre hidrodinamik kavitezyon ve Fenton reaksiyonu ile susuzlaştırılmasının incelendiği diğer bir çalışmada, başlangıç pH'nın, çamur konsantrasyonunun, akış hızının ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun, su içeriği, kapiler emme süresi ve filtrelemeye karşı spesifik direnç ile temsil edilen çamurun susuzlaştırılabilirliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Susuzlaştırma testlerinin sonuçları, asidik pH ve düşük çamur konsantrasyonunun hidrodinamik kavitezyon/Fenton sisteminde susuzlaştırma performansını iyileştirmek için uygun olduğunu, uygulanan optimum akış hızı ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun ise sistem çalışmasına bağlı olduğunu göstermiştir (Cai ve diğ., 2018).

Arıtma çamurundan organik maddenin geri kazanımına yönelik yapılan bir çalışmada, alkali şartlarda (pH 11'in üstünde) ve oda sıcaklığında %75 oranında organik madde geri kazanılmıştır (Becerra ve diğ., 2010). He ve diğ. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve NaCl ilavesi ile bağlı su içeriğinin ve flok dağılımının çamurun susuzlaştırma performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Asidik koşullar altında hücre lizisi, hücre içi suyun salınmasına yardımcı olmuş ve çamur susuzlaştırma performansını arttırmıştır. Düşük dozajlı alkali şartlandırmada ise bağlı su içeriğinin artması çamurun susuzlaştırılabilirliğini kötüleştirmiştir. Sonuç olarak hücre dışı polimerik maddeler ve çamurdaki su içeriği dağılımının H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve NaCl ilavesi için önemli olduğu belirlenmiştir. Atık aktif çamurun çözünürlüğünün asidik ve alkali şartlarda incelendiği bir çalışmada, alkali ön arıtmanın daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Alkali ön arıtma uygulamasının avantajı, biyometan üretiminin artmasının yanı sıra çamur bertaraf maliyetlerini de azaltmasıdır

(de Sousa ve diğ., 2021). Kanalizasyon çamurunda organik madde ve Kjeldahl azotunun ekstraksiyonu ile protein çözünürlüğünün fiziksel, asidik ve alkali yöntemlerle incelendiği bir çalışmada, çamurun hidrolizi için 3 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve 2.8 M NaOH kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, alkali şartlarda organik maddenin ekstraksiyonu %79, asidik şartlarda ise %90.2 oranında gerçekleşmiştir. Fiziksel-asidik arıtmada yüksek protein hidroliz oranı elde edilmiş olup, termal-alkali arıtmada ise organik azot bileşiklerinin ekstraksiyonu %95.3 oranında olmuştur (Skripsts ve diğ., 2024).

Yürütülen çalışmada, konserve gıda üretimi yapılan bir fabrikanın atıksularının arıtıldığı arıtma tesisinden temin edilen atık aktif çamura hidrodinamik kaviteasyon, asidik dezentegrasyon ve alkali dezentegrasyon yöntemleri uygulanmış, çözünebilir kimyasal oksijen ihtiyacı (ÇKOİ), kapiler emme süresi (KES) ve santrifüjlenebilir çökebilirlik indeksi (SÇİ) değerlerinde meydana gelen değişimler incelenmiş ve uygulanan yöntemlerin çamur çözünebilirliği ve susuzlaştırılabilirliği üzerindeki etkileri kıyaslanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Çalışmada dezentegre edilen atık aktif çamur örneği, konserve gıda maddelerinin üretildiği bir fabrikanın atıksularının arıtıldığı arıtma tesisinden temin edilmiştir. Tesiste evsel atıksular ve proses suları aktif çamur sistemiyle arıtmakta olup, tesisin debisi 5500 m<sup>3</sup>/gün'dür. Atık aktif çamuru bazı özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1. Çalışmada dezentegre edilen atık aktif çamurun özellikleri**

Parametre	Birim	Değer
TKOİ	mg/L	9824
ÇKOİ	mg/L	198
TKM	%	1,44
AKM	mg/L	8820
pH	-	7,22
TKN	mg/L	512
TP	mg/L	314

### 2.2. Deneysel Kurgu

Çalışma kapsamında atık aktif çamura hidrodinamik kaviteasyon, asidik dezentegrasyon ve alkali dezentegrasyon olmak üzere 3 farklı işlem uygulanmıştır:

**Hidrodinamik Kaviteasyon:** Hidrodinamik kaviteasyon denemesi 20 L hacminde 3 mm çaplı orifis plakalı kaviteasyon cihazı ile gerçekleştirilmiştir. 15 L çamura uygulanan işlem kaviteasyon katsayısının (Cv) 0,3 değerine ayarlandığı koşullar altında 60 dakika süresince devam ettirilmiştir. Yöntemin etkinliğini değerlendirmek üzere işlem süresince 20 dakikada bir örnek alınmıştır.

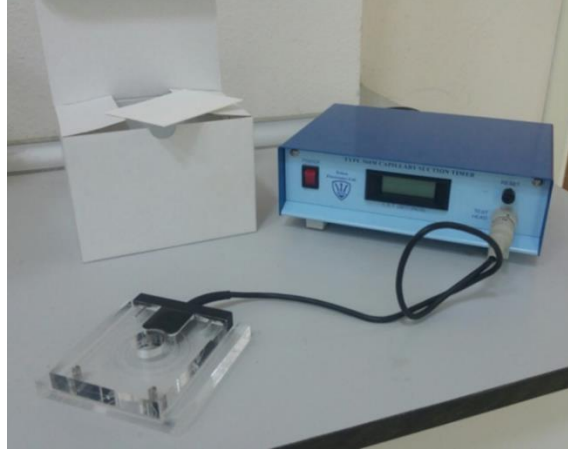
**Alkali Dezentegrasyon:** Alkali dezentegrasyon denemeleri için 500 mL'lik beherlere alınan aktif çamurun pH'ı, 4N ve 0,4 N NaOH ilavesiyle 9 ve 11'e ayarlanmıştır. Manyetik karıştırıcı ile 200 rpm'de 60 dakika karıştırılan alkali çamurlardan 20 dakikada bir örnek alınmıştır.

Asidik Dezentegrasyon: Asit ile yapılan dezentegrasyon denemelerinde ise derişik ve 0,1 N HCl ilave edilerek atık aktif çamur örneklerinin pH değeri 3 ve 5'e ayarlanmıştır. Asit eklenerek pH'ı ayarlanan ve 60 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile 200 rpmde karıştırılan asidik çamurlardan da 20 dakikada bir örnek alınmıştır.

### 2.3. Laboratuvar Analizleri

Atık aktif çamur örneklerindeki çözülmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (ÇKOİ) konsantrasyonlarının belirlenmesi için örnekler 20 dakika süresince 10000 g'de santrifüjlenmiş ve daha sonra elde edilen süpernatant mavi bantlı filtreden süzölmüştür. Filtre süzöntüsündeki ÇKOİ konsantrasyonu, standart potasyum dikromat çözeltisi kullanılmak suretiyle Standart Metodlarda (APHA, 1998) açıklandığı şekilde belirlenmiştir.

Ham ve işlem gören çamurların filtre edilebilirlik özelliklerinin belirlenmesinde Şekil 1 'de görölen kapiler emme süresi (KES) ölçüm cihazı kullanılmıştır. İşlem görmüş çamurun suyunu verme özelliklerinin irdelenmesinde santrifüjlenebilir çökebilirlik indeksi (SÇİ) parametresi de kullanılmıştır (APHA, 1998). Deneyler 3 paralelli yapılmış, sonuçlar ortalamalar üzerinden değerlendirilmiştir.

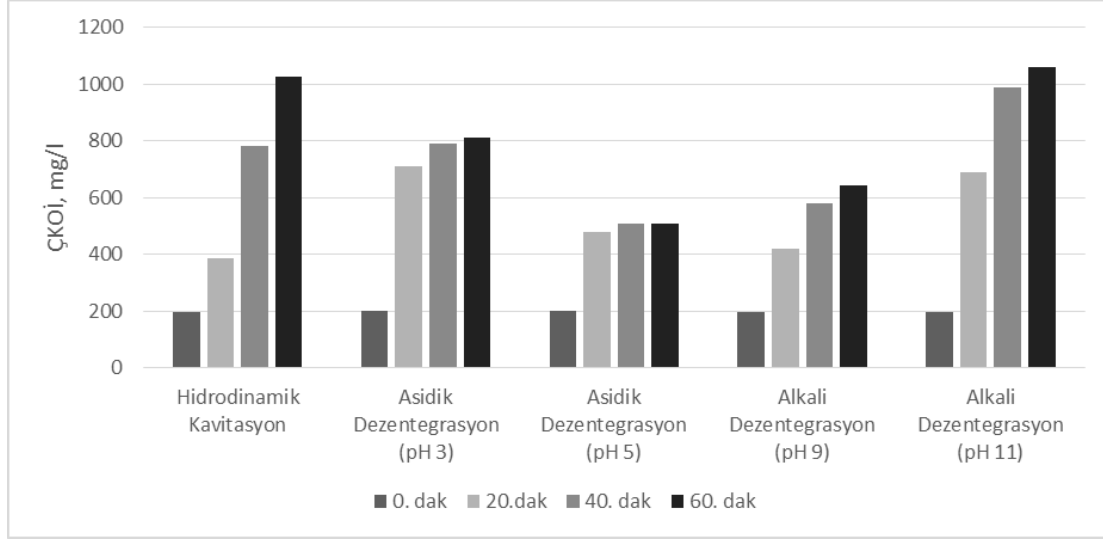


**Şekil 1:**  
*Kapiler emme süresi (KES) ölçüm cihazı*

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada uygulanan hidrodinamik kaviteasyon ile farklı pH aralıklarında uygulanan asidik ve alkali dezentegrasyon yöntemlerinin çamurun çözünebilirliği üzerindeki etkisi ÇKOİ parametresi ile değerlendirilmiş olup, sonuçlar Şekil 2'de sunulmuştur. Çamura uygulanan tüm işlemler başlangıçta 198 mg/L (Tablo 1) olan ÇKOİ değerini belirgin şekilde arttırmıştır. 60 dakikalık işlem sonunda ulaşılan ÇKOİ değerleri dikkate alındığında, çözünebilirlik açısından en etkili dezentegrasyon yönteminin pH 11 şartlarında gerçekleştirilen alkali dezentegrasyon yöntemi ile hidrodinamik kaviteasyon olduğu görölmektedir. Uygulanan bu yöntemler ÇKOİ değerini sırasıyla 1028 ve 1059 mg/L değerine çıkarmışlardır. Uygulanan diğer yöntemler çamurdaki ÇKOİ değerini 60 dakikanın sonunda maksimum ~500-800 mg/L seviyelerine çıkartabilmişlerdir. Anaerobik çamur çürütme öncesi uygulanan hidrodinamik kaviteasyon yönteminin çamur dezentegrasyon yöntemi olarak etkinliğinin değerlendirilmesi, son yıllarda üzerinde durulan bir konu olmuştur. Zielinski ve diğ. (2024) tarafından yapılan çalışmada aerobik granüler çamurun ön işlemleri için hidrodinamik kaviteasyon yöntemi kullanılmış ve yöntemin çamur yapısının mekanik olarak tahrip olmasına ve organik bileşiklerin çözünebilirliğünün önemli ölçüde

artmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Uygulanan işlem anaerobik çürütme kinetiği ile veriminde de iyileşme sağlamıştır. Hidrodinamik kavitasyon yöntemi ile işlem görmüş çamurlardaki çözünmüş KOİ konsantrasyonu yaklaşık 6 kat artmış ve metan üretimi kontrole göre yaklaşık %20'lik bir artış göstermiştir. Benzer bir çalışmada atık aktif çamurun dezentegrasyonu için yeni bir döner tipte hidrodinamik kavitasyon jeneratörü kullanımı irdelenmiş ve kavite edilen atık aktif çamurdaki ÇKOİ değerinin uygulanan işlemin etkisiyle 45 mg/L'den 602 mg/L'ye çıktığı belirlenmiştir. Uygulanan hidrodinamik kavitasyon etkisiyle çözünürlüğü artan çamurdan biyogaz üretimi de yaklaşık %13 oranında artmıştır (Petkovsek ve diğ., 2015).

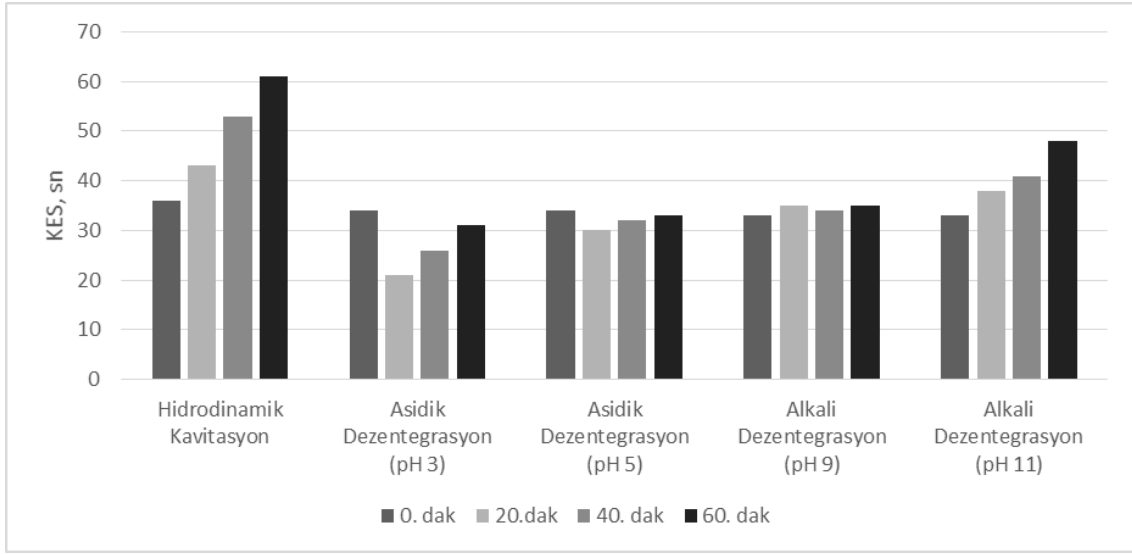


Şekil 2:

Farklı yöntemlerle dezentegre edilen atık aktif çamurun çözünabilir KOİ (ÇKOİ) değerlerinde meydana gelen değişimler

Çeşitli alkali maddelerin ilavesiyle gerçekleştirilen alkali dezentegrasyon yönteminin de çamurun çözünürlüğünü önemli ölçüde artırma potansiyeli bulunmaktadır. Yürütülen çalışmada uygulanan alkali dezentegrasyonu sonuçları ÇKOİ değerlerinin pH 11'de pH 9'a göre daha fazla arttığını göstermiştir. Yani çamura uygulanan NaOH dozu arttıkça çamurun parçalanması daha fazla olmuştur. Uygulanan baz dozunun artmasıyla çamur parçalanmasının sürekli olarak arttığı diğer çalışmalarda da vurgulanmıştır (Li ve diğ., 2008; Şahinkaya ve Sevimli, 2013). de Souza ve diğ. (2021) tarafından yürütülen çalışmada HCl ve NaOH kullanılarak atık aktif çamurun pH değerleri 2, 10, 11 ve 12'ye ayarlanmış ve çamurun çözünürlüğündeki değişim irdelenmiştir. Çalışma kapsamında uygulanan yöntemlerle çamur flok matrisindeki bileşiklerin çözünabilir fraksiyonlara salındığı ve en yüksek çözünürlüğün pH 12 şartlarında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Çamurun suyunu verme özellikleri ile önemli bilgiler sunan KES parametresinin uygulanan işlemlere bağlı gösterdiği değişim ise Şekil 3'te verilmiştir. Hidrodinamik kavitasyon yöntemi ile işlem gören çamurlarda KES değeri başlangıçta 36 sn iken işlem süresince kademeli bir artış göstermiş ve 60 dakikanın sonunda 61 sn değerine ulaşmıştır. pH 3 ve pH 5 şartlarında uygulanan asidik dezentegrasyon ile pH 9 şartlarında uygulanan alkali dezentegrasyon KES değerlerinde hafif salınımlara yol açmış, ancak belirgin bir değişim meydana getirmemiştir. Bu yöntemlerin uygulandığı çamurlarda 60 dakikanın sonundaki KES değerleri 30-35 sn seviyesinde olup, çalışmada ölçülen kontrol değerleriyle (33-36 sn) benzer olduğu görülmektedir.



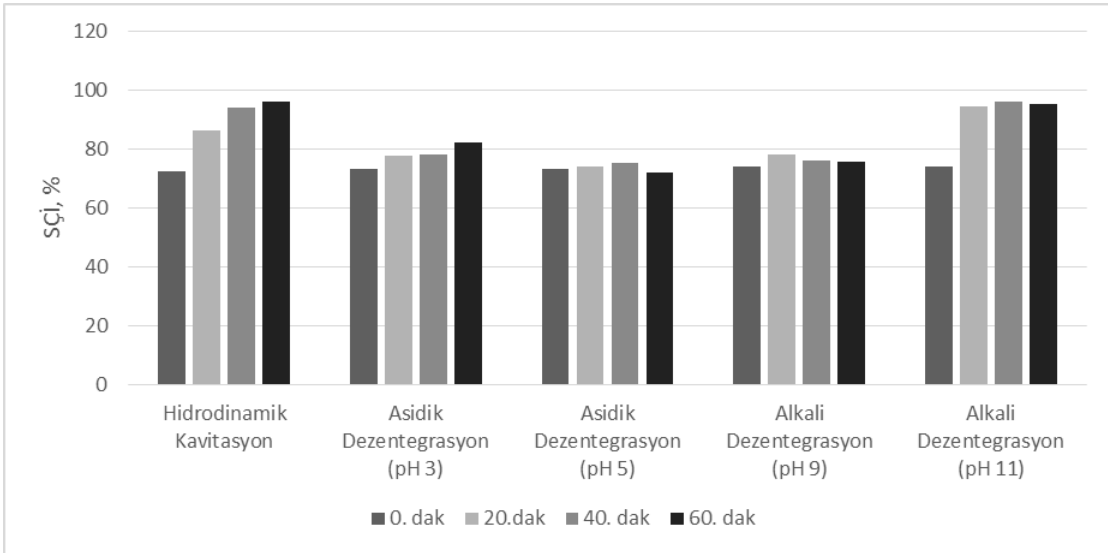
**Şekil 3.**

*Farklı yöntemlerle dezentegre edilen atık aktif çamurun kapiler emme süresi (KES) değerlerinde meydana gelen değişimler*

KES parametresi bir çamur matrisindeki suyun salınma hızının basit bir ölçüsüdür ve çamur susuzlaştırma süreçlerinin performansını ve işletimini optimize etmek için kullanılmaktadır. Suyunu hızlı bir şekilde salan çamurlar düşük KES değerlerine sahipken, KES değerlerindeki artış çamurun suyunu verme özelliklerindeki kötüleşmeyi göstermektedir (Chen ve diğ., 1996). Dolayısıyla çalışma kapsamında elde edilen KES değerleri, uygulanan hidrodinamik kavitasyon yönteminin çamurun suyunu verme özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. Benzer şekilde pH 11 şartlarında uygulanan alkali dezentegrasyonu yöntemi de çamur susuzlaştırma performansını olumsuz yönde etkilemiştir. Çamurun suyunu verme özelliklerini geliştirmek için asidifikasyon, ultrases uygulaması, mikrodalga uygulaması gibi çeşitli yöntemlerin kullanılabilirliği literatürde belirtilmiş olup, özellikle ileri oksidasyon reaktiflerinin kullanıldığı yöntemler çamur susuzlaştırma performansını artıran etkili yaklaşımlar olarak sunulmuştur (Liu ve diğ., 2016b; Cai ve diğ., 2018).

Ancak çamura uygulanan dezentegrasyon yöntemlerinin çamurun su verme özelliklerini kötüleştiğini gösteren çalışmalar da bulunmaktadır. Abdelrahman ve diğ. (2024) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada çamura uygulanan hidrodinamik kavitasyon işleminin çamurun susuzlaştırılabilirliğini önemli ölçüde bozduğu ve kontrol numunesinde 29 sn olan KES değerinin yapılan uygulamayla yaklaşık 115-138 sn seviyelerine yükseldiği sonuçlarına ulaşılmıştır. Çamura ultrasonik kavitasyon işleminin uygulandığı bir çalışmada da benzer sonuçlara vurgu yapılmıştır (Feng ve diğ., 2009). Çamurun suyunu verme yeteneğindeki bu bozulmanın muhtemel sebebinin uygulanan işlemlerin etkisiyle çamurdaki çözünebilir protein ve karbonhidrat konsantrasyonlarının artması olduğu düşünülmektedir. Zira çözünebilir protein ve karbonhidratların çamurun su tutmasını desteklediği ve çamur flok matriksinin su bağlama kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı bildirilmiştir (Feng ve diğ., 2009). Jin ve diğ. (2015) tarafından yürütülen bir diğer çalışmada ultrasonik işlem,  $K_2FeO_4$  oksidasyonu ve  $KMnO_4$  oksidasyonu olmak üzere üç farklı dezentegrasyon yönteminin uygulanmasından sonra çamurun nem dağılımları incelenmiş ve susuzlaştırma performansındaki değişiklikler değerlendirilmiştir. Uygulanan ultrasonik yöntemin, çamurdaki tanecik boyutunu küçülttüğü, bağlı suyu arttırdığı, gözenek suyunu başlangıçta azaltıp sonra tekrar arttırdığı, serbest suyu ise azalttığı ve sonuç olarak çamurun susuzlaştırılabilirliğini bozduğu sonucuna ulaşılmıştır. Diğer yandan uygulanan kimyasal dezentegrasyon yöntemlerinin serbest suyun artmasına ve gözenek suyunun azalmasına neden olduğu ve böylece çamurun suyunu verme özelliklerini iyileştirdiği tespitleri yapılmıştır.

Santrifüjlenebilir çökebilirlik indeksi (SÇİ), şartlandırılmış çamurun santrifüjleme performansını belirlemek için kullanılan bir parametredir ve çamurun santrifüjle susuzlaştırma süreçlerindeki performansının bir göstergesi olarak kullanılmaktadır (Vesilind, 1979). Düşük SÇİ değerleri iyi çamur susuzlaştırılabilirliğini ifade etmektedir (Sammer ve diğ., 1990). Çalışma kapsamında uygulanan farklı dezentegrasyon yöntemlerinin atık aktif çamurun SÇİ değerleri üzerindeki etkisi Şekil 4'te görülmektedir. Hidrokinamik olarak kavite edilen çamurlardaki SÇİ değerleri incelendiğinde, %72 olarak belirlenen kontrol değerinin, 60 dakikalık uygulamanın ardından %96 seviyesine çıktığı tespit edilmiştir. pH 3 şartlarında gerçekleşen asidik dezentegrasyonla işlem gören çamurlarda ise SÇİ değerlerinde hafif bir yükselme trendi belirlenmiş olup, ulaşılan maksimum değer %82 olmuştur. Diğer yandan pH 5 şartlarında gerçekleşen asidik dezentegrasyonla işlem gören çamurlardaki SÇİ değerleri hafif dalgalanmalar göstermekle birlikte, belirgin bir değişim gerçekleşmemiştir. Benzer şekilde pH 9 şartlarında alkali ilavesiyle gerçekleştirilen yöntem de SÇİ değerleri üzerinde büyük bir değişim yaratmamış, işlem görmüş çamurlardaki SÇİ değerleri %76-78 olarak belirlenmiştir. Çalışmada belirlenen SÇİ parametrelerindeki değişim değerlendirildiğinde, hidrokinamik kaviteasyon yöntemi ile pH 11 şartlarında gerçekleştirilen alkali dezentegrasyon yöntemlerinin SÇİ değerlerini arttırdığı, diğer bir ifade ile çamurun santrifüjle susuzlaştırma performansını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. SÇİ parametresinde meydana gelen değişim ile KES parametresinde meydana gelen değişimin genel olarak benzer oluşu da dikkati çekmektedir.



**Şekil 4.**

*Farklı yöntemlerle dezentegre edilen atık aktif çamurun santrifüjlenebilir çökebilirlik indeksi (SÇİ) değerlerinde meydana gelen değişimler*

#### 4. SONUÇ

Çalışmada çamura uygulanan tüm dezentegrasyon yöntemleri (hidrokinamik kaviteasyon, asidik ve alkali dezentegrasyon) atık aktif çamurun çözünübilirliğini olumlu yönde etkilemiş ve çamurdaki ÇKOİ konsantrasyonunu önemli derecede arttırmıştır. Kontrol çamurunda 198 mg/L olarak belirlenen ÇKOİ değeri, dezentegrasyon işlemlerinin etkisiyle 60 dakikalık işlem süresinin sonunda 508 ila 1059 mg/L seviyelerine çıkmıştır. Uygulanan yöntemler içerisinde çamurun çözünübilirliğini en fazla arttıran yöntemlerin hidrokinamik kaviteasyon ve alkali dezentegrasyon (pH 11) olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan çamurun çözünübilirliğini en fazla arttıran bu yöntemlerin çamurun KES ve SÇİ değerlerini de arttırdığı yani çamurun su verme performansını olumsuz yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. pH 3 ve pH 5 şartlarında gerçekleştirilen asidik

dezentegrasyon ile pH 9 şartlarında gerçekleştirilen alkali dezentegrasyon yöntemleri, KES ve SÇİ değerlerinde önemli bir değişime yol açmamış, dolayısıyla çamurun suyunu verme performansını etkilememiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Bu çalışmanın yazarları olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını onaylarız.

## YAZAR KATKISI

Bu çalışmada F. Olcay TOPAÇ literatür taraması, deneysel çalışma sürecinin sürdürülmesi ve sonuçların incelenmesi başlıklarında, Melike YALILI KILIÇ literatür taraması ve çalışmanın yürütülmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

## KAYNAKLAR

1. Abdelrahman, A.M., Tebyani, S., Talabazar, F.R., Tabar, S.A., Berenji, N.R., Aghdam, A.S., Koyuncu, I., Kosar, A., Guven, H., Ersahin, M.E., Ghorbani, M. ve Ozgun, H. (2024) The flow pattern effects of hydrodynamic cavitation on waste activated sludge digestibility, *Chemosphere*, 357, 141949. doi:10.1016/j.chemosphere.2024.141949
2. APHA, AWWA, WEF, (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., American Public Health Association, Baltimore.
3. Becerra, G., Flor, Y., Acosta, E. J., ve Grant Allen, D. (2010) Alkaline extraction of wastewater activated sludge biosolids, *Bioresource Technology*, 101(18), 6972-6980. doi:10.1016/j.biortech.2010.04.021
4. Cai, M., Hu, J., Lian, G., Xiao, R., Song, Z., Jin, M., Dong, C., Wang, Q., Luo, D., Wei, Z. (2018) Synergetic pretreatment of waste activated sludge by hydrodynamic cavitation combined with Fenton reaction for enhanced dewatering, *Ultrasonics – Sonochemistry*, 42, 609-618. doi:10.1016/j.ultsonch.2017.11.046.
5. Cao, B., Zhang, T., Zhang, W. ve Wang, D. (2021) Enhanced technology based for sewage sludge deep dewatering: A critical review, *Water Research*, 189, 116650. doi:10.1016/j.watres.2020.116650.
6. Chen, G.W., Lin, W.W. ve Lee, D.J. (1996) Capillary suction time (CST) as a measure of sludge dewaterability, *Water Science and Technology*, 34(3-4), 443-448. doi:10.1016/0273-1223(96)00610-5.
7. Chen, N., Tao, S., Xiao, K., Liang, S. Yang, J. ve Zhang, L. (2020) A one-step acidification strategy for sewage sludge dewatering with oxalic acid, *Chemosphere*, 238, 124598. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.124598
8. de Sousa, T.A., do Monte, F.P., do Nascimento Silva, J.V., Silva Lopes, W., Leite, V.D., van Lier, J.B. ve de Sousa, J.T. (2021) Alkaline and acid solubilisation of waste activated sludge, *Water Science and Technology*, 83(12), 2980-2996. doi:10.2166/wst.2021.179
9. Doğan, C. ve Şen, Ü. (2017) Hidrodinamik kavitasyon kullanılarak arıtma çamurlarından siloksan giderilmesi, *VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, 1-3 Kasım 2017- Antalya.
10. Feng, X., Deng, J., Lei, H., Bai, T., Fan, Q. ve Li, Z. (2009). Dewaterability of waste activated sludge with ultrasound conditioning, *Bioresource Technology*, 100(3), 1074-1081. doi:10.1016/j.biortech.2008.07.055



11. Ferrer, I., Passos, F., Romero, E., V'azquez, F. ve Font, X. (2024) Optimising sewage sludge anaerobic digestion for resource recovery in wastewater treatment plants, *Renewable Energy*, 224, 120123. doi:10.1016/j.renene.2024.120123.
12. He, D.-Q., Zhang, Y.-J., He, C.-S. ve Yu, H.-Q. (2017) Changing profiles of bound water content and distribution in the activated sludge treatment by NaCl addition and pH modification, *Chemosphere*, 186, 702-708. doi:10.1016/j.chemosphere.2017.08.045
13. Hu, J., Li, Z., Zhang, A., Mao, S., Jenkinson, I.R. ve Tao, W. (2020) Using a strong chemical oxidant, potassium ferrate ( $K_2FeO_4$ ), in waste activated sludge treatment: A review, *Environmental Research*, 188, 109764. doi:10.1016/j.envres.2020.109764
14. Jin, L., Zhang, G. ve Zheng, X. (2015) Effects of different sludge disintegration methods on sludge moisture distribution and dewatering performance, *Journal of Environmental Sciences*, 28, 22-28. doi:10.1016/j.jes.2014.06.040
15. Kavacık, B. ve Dölgen, D. (2023) Isıl işlem ile modifiye edilmiş arıtma çamuru kullanılarak sabit yataklı kolonda arsenik ve antimon giderimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(1), 629-638. doi:10.17341/gazimmfd.1020632
16. Li, H., Jin, Y., Mahar, R.B., Wang, Z. ve Nie, Y. (2008) Effects and model of alkaline waste activated sludge treatment, *Bioresource Technology*, 99, 5140-5144. doi:10.1016/j.biortech.2007.09.019
17. Li, X., Chen, L., Ji, Y., Li, M., Dong, B., Qian, G., Zhou, J. ve Dai, X. (2020) Effects of chemical pretreatments on microplastic extraction in sewage sludge and their physicochemical characteristics, *Water Research*, 171, 115379. doi:10.1016/j.watres.2019.115379
18. Liu, J., Yang, Q., Wang, D., Li, X., Zhong, Y., Li, X., Deng, Y., Wang, L., Yi, K. ve Zeng, G. (2016a) Enhanced dewaterability of waste activated sludge by Fe(II)-activated peroxymonosulfate oxidation, *Bioresource Technology*, 206, 134-140. doi:10.1016/j.biortech.2016.01.088
19. Liu, Y., Wang, L., Ma, J., Zhao, X., Huang, Z., Mahadevan, G.D. ve Qi, J. (2016b) Improvement of settleability and dewaterability of sludge by newly prepared alkaline ferrate solution, *Chemical Engineering Journal*, 287, 11-18. doi:10.1016/j.cej.2015.11.037
20. Liew, C.S., Raksasat, R., Rawindran, H., Worapon Kiatkittipong, W., Lima, J.W., Leong, W.H., Lam, M.K., Mohamad, M., Cheng, Y.W. ve Chong, C.C. (2022) Hydrolysis kinetics for solubilizing waste activated sludge at low temperature thermal treatment derived from multivariate non-linear model, *Desalination and Water Treatment*, 199, 99-106. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.133478
21. Mancuso, G., Langone, M., Andreottola, G. ve Bruni, L. (2019) Effects of hydrodynamic cavitation, low-level thermal and low-level alkaline pre-treatments on sludge solubilisation, *Ultrasonic Sonochemistry*, 59, 104750. doi:10.1016/j.ultsonch.2019.104750
22. Nazif, S., N., Mehrdadi, N., Zare, S. ve Mosavari, S. (2016) Improvement and prediction of OSA system performance in sludge reduction through integration with thermal and mechanical treatment, *Water Science and Technology*, 74(9), 2087-2096. doi:10.2166/wst.2016.385
23. Niu, M., Zhang, W., Wang, D., Chen, Y. ve Chen, R. (2013) Correlation of physicochemical properties and sludge dewaterability under chemical conditioning using inorganic coagulants, *Bioresource Technology*, 144, 337-343. doi:10.1016/j.biortech.2013.06.126
24. Petkovšek, M., Mlakar, M., Levstek, M., Stražar, M., Širok, B. ve Dular, M. (2015) A novel rotation generator of hydrodynamic cavitation for waste-activated sludge disintegration, *Ultrasonics Sonochemistry*, 26, 408-414. doi:10.1016/j.ultsonch.2015.01.006
25. Rao, B., Tu, H., Jia, H., Ding, Z., Xu, P., Zhang, Y., Lu, X., Hu, L., Yao, R., Ren, W. ve Qin, X. (2024) The cooperative effect of mechanical dewatering and thermal drying for activated sludge deep reduction, *Process Safety and Environmental Protection*, 185, 9-20. doi:10.1016/j.psep.2024.02.053

26. Rashvanlou, R.B., Pasalari, H., Moserzadeh, A.A., Farzadkia, M. (2022) A combined ultrasonic and chemical conditioning process for upgrading the sludge dewaterability, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(7), 1613-1626. doi:10.1080/03067319.2020.1739668
27. Sammer, O., Ghobrial, F., Al-Musalnia, S. ve Hamoda, M.F. (1990) Wastewater sludge characteristics in relation to potential dewatering technologies - a case study, *Journal of Environmental Science and Health Part A : Environmental Science and Engineering and Toxicology*,(4), 367-379. doi:10.1080/10934529009375564
28. Skripsts, E., Klaukans, E. ve Mezule, L. (2024) Organic mass and protein extraction from secondary sewage sludge via multi-step physical alkali- and acid-based treatment, *Frontiers in Chemical Engineering*, 6, 1346736. doi: 10.3389/fceng.2024.1346736.
29. Şahinkaya, S. ve Sevimli, M.F. (2013) Mathematical modelling of alkaline sludge disintegration, *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 46-57.
30. Topaç, F.O., Caliskan Eleren, S. ve Yalılı Kilic, M. (2024) Sustainable Innovations in Sludge Dewatering for Enhanced Waste Management Efficiency, *International Studies in Engineering*, Serüven Yayınevi, 103-129. ISBN: 978-625-6644-80-9.
31. Vesilind, P.A. (1979) Treatment and disposal of wastewater sludge (Revised addition). Michigan: Ann Arbor Science Publishers Inc.
32. Wolski, P. (2020) The effect of ultrasonic disintegration on sewage sludge conditioning, *Desalination and Water Treatment*, 199, 99-106. doi: 10.5004/dwt.2020.26333
33. Xia, T., Zhang, X., Chen, D., Gao, Z., Ji, Y., Xia, J. ve Wang, L. (2023) Effects of ceramsite derived from sewage sludge combined with the O<sub>3</sub>-FeCl<sub>3</sub>/PAM process on the dewatering of waste-activated sludge and investigation of dewatering mechanisms, *Water Science and Technology*, 88(2), 367-380. doi: 10.2166/wst.2023.224
34. Xu, Y., Hu, F., Wang, F., Qu, Y., Xu, L. ve Liu, Q. 2021. Improvement of phosphorus release from sludge by combined electrochemical-EDTA treatment, *Water Science and Technology*, 83(8), 1824-1833. doi:10.2166/wst.2021.107
35. Yang, X., Fan, D., Gu, W., Liu, J., Shi, L., Zhang, Z., Zhou, L. ve Ji, G. (2021) Aerobic and anaerobic biodegradability of organophosphates in activated sludge derived from kitchen garbage biomass and agricultural residues, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 649049. doi: 10.3389/fbioe.2021.649049
36. Yu, H., Yang, Y., Wu, X., Yuan, W., Wang, H., Deng, H., Sun, L. ve Li, R. (2022) Phosphorus migration and transformation in activated sludge by ultrasonic treatment, *Sustainability*, 14(18), 11224. doi:10.3390/su141811224
37. Zieliński, M., Dębowski, M., Kazimierowicz, J., Nowicka, A. ve Dudek, M. (2024) Application of hydrodynamic cavitation in the disintegration of aerobic granular sludge-evaluation of pretreatment time on biomass properties, anaerobic digestion efficiency and energy balance. *Energies*, 17, 335. doi:10.3390/en17020335