



## Variations of dissolved nitrogen and phosphorus levels in disintegration of active sludge using hydrodynamic cavitation

Efsun Dindar\*<sup>ID</sup>, Fatma Olcay Topaç Şagban<sup>ID</sup>, Canan Etyam<sup>ID</sup>

Uludağ University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Bursa, 16120, Türkiye

### Highlights:

- Orifice-based hydrodynamic cavitation is an efficient method for sludge disintegration.
- The most effective sludge disintegration was occurred in case of the cavitation number of 0.2
- The increase in dissolved total nitrogen and phosphorus is an indication of disintegration efficiency.

### Keywords:

- waste activated sludge,
- sludge disintegration,
- hydrodynamic cavitation,
- orifice plate,
- nitrogen,
- phosphorus

### Article Info:

Received: 10.02.2017

Accepted: 29.05.2017

### DOI:

10.17341/gazimmfd.416416

### Acknowledgement:

This work was supported by TUBİTAK (Project number: 114Y523)

### Correspondence:

Author: Dr. Efsun DİNDAR  
e-mail: efsun@uludag.edu.tr  
phone: +90 224 294 0919

### Graphical/Tabular Abstract

Cavitation can also be combined with conventional biological sludge treatment to increase treatment efficiency. In hydrodynamic cavitation, large fluctuating pressures cause preexisting microscopic bubble nuclei in the liquid to grow explosively and collapse violently. As the bubbles collapse, the interiors reach very high pressures and temperatures. Under such extreme conditions, water molecules dissociate into OH<sup>•</sup> and H<sup>•</sup> radicals. These OH<sup>•</sup> radicals then diffuse into the bulk liquid medium where they react with organic pollutants and oxidize/mineralize them. Hydrodynamic cavitation of activated sludge results in the destruction of extracellular polymeric substances, bacteria dispersion, and bacterial cell destruction, producing an increased dissolved organic matter concentration in the liquid part of the activated sludge. Hydrodynamic cavitation has the possible to become energy efficient technique. It can diminish recently necessary use of expensive chemical reagents for advanced treatment process.

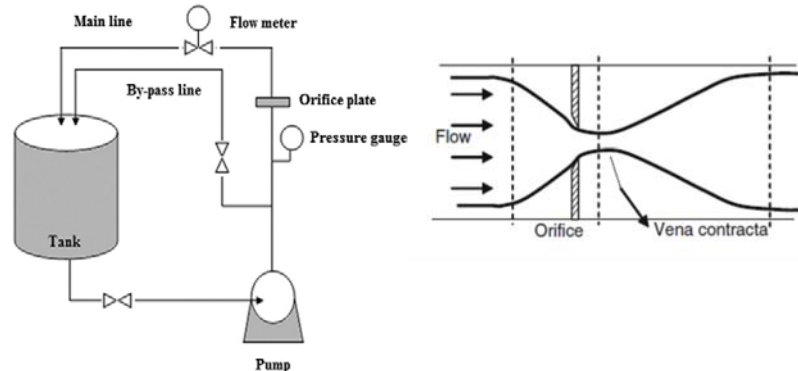


Figure A. Schematic diagrams of hydrodynamic cavitation system

**Purpose:** In this study, waste-activated sludge that originated from a food processing facility was disintegrated mechanically on the laboratory scale using an orifice-based hydrodynamic cavitator. To determine optimum operation conditions for sludge disintegration, orifice plates with varying vent hole diameters (3, 4, and 5 mm) were used, and the cavitation setup was operated at three different cavitation numbers (0.2, 0.5 and 0.8).

**Theory and Methods:** The formation, growth, and subsequent collapse of cavitation bubbles in a liquid release high amounts of energy, causing physical and chemical effects. The physical effects include the production of shear forces and shock waves, whereas the chemical effects result in the generation of radicals. Hydrodynamic cavitation helps in the disintegration of biomass aggregates and makes it more suitable for subsequent bacterial decomposition.

**Results:** The maximum soluble total kjeldahl nitrogen (STKN) value at the end of 150 minutes of cavitation was observed in trials with orifice diameters of 3 and 4 mm and with cavitation number ( $C_v$ ) of 0.2. However, when the initial levels of STKN were considered, more marked increase was occurred in case of the cavitation number of 0.2 and orifice diameter of 3 mm. The results showed that 47% of TKN and 50% of TP, were solubilized after a cavitation period of 150 minutes.

**Conclusion:** According to the increases in STKN and STP, orifice-based hydrodynamic cavitation appeared to be an efficient method for sludge disintegration.



## Hidrodinamik kavitasyon ile dezentegre edilen aktif çamurlardaki çözülmüş azot ve fosfor seviyelerinde meydana gelen değişimler

Efsun Dindar\*<sup>ORCID</sup>, Fatma Olcay Topaç Şagban<sup>ORCID</sup>, Canan Etyam<sup>ORCID</sup>

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, 16120, Türkiye

### Ö N E Ç I K A N L A R

- Orifis plakalı hidrodinamik kavitasyon yöntemi etkili bir çamur dezentegrasyon yöntemidir
- Kavitasyon sayısının 0,2'ye ayarlandığı şartlarda en etkin çamur dezentegrasyonu sağlanmıştır
- Çözülmüş toplam azot ve fosforun artışı dezentegrasyon verimliliğinin bir göstergesidir

### Makale Bilgileri

Geliş: 10.02.2017

Kabul: 29.05.2017

### DOI:

10.17341/gazimmfd.416416

### Anahtar Kelimeler:

Atık aktif çamur,  
çamur dezentegrasyonu,  
hidrodinamik kavitasyon,  
orifis plakası,  
azot,  
fosfor

### ÖZET

Bu çalışmada, bir gıda işleme fabrikasındaki atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan atık aktif çamur, orifis bazlı bir hidrodinamik kavitasyon cihazı ile laboratuvar ölçeğinde mekanik olarak dezentegre edilmiştir. Çamur dezentegrasyonu için optimum işletme şartlarının belirlenmesi amacıyla farklı delik çaplarına (3, 4, ve 5 mm) sahip orifis plakaları kullanılmış ve kavitasyon sistemi üç farklı kavitasyon sayısını (0,2, 0,5 ve 0,8) sağlayacak şekilde işletilmiştir. Kavitasyonun sonundaki en yüksek çözülmüş toplam kjeldahl azotu (ÇTKN) değerleri, 3 ve 4 mm'lik orifis plakalarının kullanıldığı ve kavitasyon sayısının 0,2'ye ayarlandığı şartlarda tespit edilmiştir. Ancak başlangıç ÇTKN değerleri göz önüne alındığında 3 mm'lik orifis plakasının kullanıldığı ve kavitasyon sayısının ( $C_v$ ) 0,2'ye ayarlandığı durumda meydana gelen artışın daha belirgin olduğu görülmüştür. Uygulanan hidrodinamik kavitasyon yöntemi çözülmüş toplam fosfor (ÇTP) içeriklerinde de artışa neden olmuştur. Özellikle kavitasyonun ilk 90 dakikasında belirgin artışlar meydana gelmiştir. Çalışma sonuçları, 150 dakikalık kavitasyonun ardından çamurdaki toplam azot ve toplam fosforun, sırasıyla %47'sinin ve %50'sinin çözülmüş formlara dönüştüğünü göstermektedir. Çözülmüş azot ve fosfor konsantrasyonlarında meydana gelen bu artışa göre, orifis plakalı hidrodinamik kavitasyon yöntemi etkili bir çamur dezentegrasyonu sağlayabilmektedir.

## Variations of dissolved nitrogen and phosphorus levels in disintegration of active sludge using hydrodynamic cavitation

### H I G H L I G H T S

- Orifice-based hydrodynamic cavitation is an efficient method for sludge disintegration.
- The most effective sludge disintegration was occurred in case of the cavitation number of 0.2
- The increase in dissolved total nitrogen and phosphorus is an indication of disintegration efficiency

### Article Info

Received: 10.02.2017

Accepted: 29.05.2017

### DOI:

10.17341/gazimmfd.416416

### Keywords:

Waste activated sludge,  
sludge disintegration,  
hydrodynamic cavitation,  
orifice plate,  
nitrogen,  
phosphorus

### ABSTRACT

In the present study, waste activated sludge (WAS) that originated from a food processing facility was disintegrated mechanically on a laboratory scale using an orifice-based hydrodynamic cavitator. To determine optimum operation conditions for sludge disintegration, orifice plates with varying vent hole diameters (3, 4, and 5 mm) were used, and the cavitation setup was operated at three different cavitation numbers (0.2, 0.5 and 0.8). The maximum soluble total kjeldahl nitrogen (STKN) value at the end of 150 minutes of cavitation was observed in trials with orifice diameters of 3 and 4 mm and with cavitation number ( $C_v$ ) of 0.2. However, when the initial levels of STKN were considered, more marked increase was occurred in case of the cavitation number of 0.2 and orifice diameter of 3 mm. The applied hydrodynamic cavitation method also caused an increase in soluble total phosphorus (STP) contents. Especially, the increment occurred in the first 90 minutes of cavitation was more pronounced. The results showed that 47% of TKN and 50% of TP, were solubilized after a cavitation period of 150 minutes. According to the increases in STKN and STP, orifice-based hydrodynamic cavitation appeared to be an efficient method for sludge disintegration.

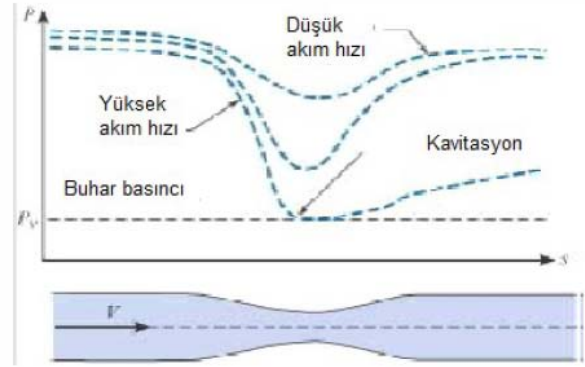
\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: efsun@uludag.edu.tr / Tel: +90 224 294 0919

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Su ve atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi sırasında veya sonrasında bir yan ürün olarak oluşan arıtma çamurlarının, bozunma ve kokuşma eğiliminde olması, çamurun sadece küçük bir kısmının katı madde, büyük bir kısmının ise sudan oluşması, bu yüzden büyük hacimler işgal etmesi ve de içerisinde patojen mikroorganizmalar bulunması sebebi ile, uygun işlemlerden geçirilerek çevreye zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla uygulanan yöntemlerden olan çamur stabilizasyonu patojenlerin azaltılması, koku giderimi ve kokuşmanın önlenmesi amacıyla gerçekleştirilir. Arıtma çamurlarına uygulanan mekanik dezentegrasyon yöntemlerinden olan kavitasyon yönteminin etkinliğinin araştırılması son yıllarda üzerinde çalışılan bir konu olmuştur [1, 2]. Çamur dezentegrasyonu çoğunlukla anaerobik çamur çürütmenin verimini artırmak, sistemin çamur miktarını azaltmak ve organik madde içeriğini düşürmek gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Diğer taraftan biyolojik besin maddesi gideriminin başarısındaki en önemli faktör olan uygun karbon kaynağının temini için de bir alternatif olabilmektedir. Dezentegrasyona uğramış çamur, anoksik tanka geri devir ettirildiğinde, çamurdaki dezentegrasyon etkisiyle çözünmüş olan organik bileşikler sistemin denitrifikasyon kapasitesini arttırabilmektedir [3, 4]. Böylece, metanol gibi karbon kaynaklarını eklemek yerine dezentegre olmuş çamurun karbon kaynağı olarak kullanılması yeni bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Bu uygulama ile ilave edilen karbon kaynağı maliyetleri düşmekte ve uzaklaştırılması gereken çamur miktarı da azalmaktadır [5]. Uygulanan dezentegrasyon yöntemleri ile biyolojik besin maddesi gideriminin gerçekleştiği sisteme girecek uygun organik maddenin artırılması sağlanabilmekte, bu sırada diğer besin maddeleri de ortama salınmakta ve sisteme verilmektedir. Böylece önemli ölçüde kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), azot ve fosfor bileşenleri çözültüye salınmaktadır [6]. Kunz vd. [7] tarafından yapılan çalışmada, 3,1 mg NO<sub>3</sub>-N/gUAKM sa olan denitrifikasyon hızının, çamura uygulanan dezentegrasyon sonrası 5 mg NO<sub>3</sub>-N/gUAKM sa değerine ulaşabildiği ortaya konulmuştur.

Çamur dezentegrasyonu kapsamında yapılmış çalışmaların özellikle ultrasonik kavitasyon üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Diğer taraftan ultrasonik kavitasyon olayıyla benzer etkilere sebep olan ve daha ekonomik bir proses olarak anılan hidrodinamik kavitasyon son derece reaktif serbest radikallerin açığa çıkması, yüksek sıcaklığa sahip bölgeler oluşturmaya ve sıvı sirkülasyonuna dayalı türbülans oluşturmaya nedeniyle oksidasyon işlemleri için etkili bir yöntem olarak görülmektedir. Bu özelliklerden dolayı yöntem, uzun zaman alan birçok reaksiyonu daha kısa sürede (çoğu zaman saniyeler içerisinde) ve yüksek verimle başarabilmektedir. Bu yönüyle hidrodinamik kavitasyon atıkların arıtılmasında son zamanlarda dikkati çeken bir ileri oksidasyon prosesi olarak göze çarpmaktadır [8]. Kavitasyon sıvı içerisinde meydana gelen partiküler bir olaydır. Sıvı,

zaman içinde ve mesafe boyunca basınç alanında değişimlere maruz kaldığında, baloncukların oluşmasına neden olur. Bu baloncuklar hem sıvıdan gelen buharla hem de sıvıdaki çözünmüş gazlarla dolar ve sonra şiddetli sıkışma ile içeriye doğru patlar. Hidrodinamik kavitasyon, bir orifis, vana ya da ventüri gibi dar bir geçitten sıvının geçmesi ile oluşturulmaktadır [9]. Hidrodinamik kavitasyon ile kavitasyon oluşumu Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Hidrodinamik kavitasyon oluşumu (Hydrodynamic cavitation formation)

Sıvı dar yapılardan geçerken akış alanındaki daralmaya bağlı olarak hızı süreklilik denklemi uyarınca artmakta ve Bernoulli denklemine göre basınç düşmektedir. Düşük akış hızlarında sıvının basıncı buhar basıncının üzerinde kalmaktadır. Akış hızı yüksek olduğunda ise basınç sıvının buhar basıncına düşebilmekte ve bunun sonucu olarak sıvı kaynamaya başlamaktadır. Bu noktada kabarcıklar oluşmakta ve kavitasyon olayı gerçekleşmektedir. Daralma bölgesinden geçen sıvı jet genişledikçe, basınç geri kazanılmakta ve bu durum oluşan kavitasyon baloncuklarının çökmesi ile sonuçlanmaktadır [10]. Machnicka vd. [11], tarafından yürütülen bir çalışmada hidrodinamik kavitasyon koşulları altında aktif çamur hücrelerinin parçalandığı, hücredeki depo halinde bulunan organik maddeler ve enzimlerin sıvı içerisine salındığı ve dolayısıyla hidrolitik parçalanma ürünleri ve KOİ'nin arttığı ifade edilmiştir. Hidrodinamik kavitasyon ve anaerobik çürütmenin birlikte uygulandığı çalışmada fermantasyon prosesine %30 oranında dezentegre çamur ilave edilmesiyle biyogaz üretiminin %131 oranında arttığı sonucu bulunmuştur. Grübel ve Machnicka [12], tarafından yürütülen bir çalışmada tam ölçekli bir atıksu arıtma tesisinden alınan köpük hidrodinamik kavitasyonla dezentegre edilmiş ve belli oranlarda atık aktif çamurla karıştırılarak anaerobik olarak çürütülmüştür. Elde edilen sonuçlar hidrodinamik olarak kavite edilerek anaerobik reaktöre alınan köpüğün anaerobik çamur çürütme hızını ve biyogaz üretimini pozitif yönde etkilediğini göstermiştir. Lee ve Han [13], tarafından yayımlanan bir çalışmada çamur miktarında azalma sağlamak ve oluşan metan miktarını arttırmak için atık aktif çamur anaerobik çürütme öncesinde hidrodinamik kavitasyonla dezentegre edilmiştir. Çalışmada

ultrasonik kavitasyonla benzer prensiplere sahip olan yöntemin enerji verimliliğinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı dezentegrasyon derecesini sağlamak üzere hidrodinamik kavitasyonun ultrasonik uygulamaya kıyasla üç kat daha az enerji harcadığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar uygulanan hidrodinamik kavitasyon yöntemiyle daha yüksek dezentegrasyon derecelerine ulaşıldığını ve metan üretiminin arttığını da göstermiştir. Mekanik dezentegrasyon yöntemlerinden hidrodinamik kavitasyonun anaerobik çamur çürütme öncesi uygulamalarıyla ilişkili sınırlı sayıda araştırma, atıksu arıtımı alanında yaygın şekilde kullanılan söz konusu yöntemin çamur dezentegrasyonu alanındaki kullanılabilir potansiyeline dikkat çekmektedir.

Çözünmüş KOI parametresi, dezentegrasyon verimliliğinin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılmakla beraber hücre dezentegrasyonu sonucu meydana gelen çözünmüş toplam azot ve fosforun artışı da dezentegrasyon verimliliğinin bir göstergesi olarak kullanılabilir. Yürütülen çalışmada, orifis plakalı hidrodinamik kavitasyon ile dezentegre edilen atık aktif çamurdaki çözünebilir azot ve fosfor parametrelerindeki kavitasyon zamanına bağlı değişimler izlenmiştir. Bu parametrelerdeki artış baz alınarak dezentegrasyon verimliliğinin daha yüksek olduğu optimum işletme şartları (kavitasyon sayısı ve orifis çapı) tanımlanmıştır.

## 2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

### 2.1. Materyal (Material)

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

### 2.2. Çalışmada Kullanılan Hidrodinamik Kavitasyon Sistemi (Hydrodynamic Cavitation System)

Arıtma çamurlarının hidrodinamik kavitasyon denemeleri orifis plakalı kavitasyon cihazı ile yürütülmüştür. Kullanılan sistem 20 lt hacminde paslanmaz çelikten yapılmış bir reaktör, 1,5 kw motor gücüne sahip dikey milli santrifüj pompa ve kavitasyonun gerçekleştiği orifis kısmından oluşmaktadır (Şekil 2). Pompanın deşarj kısmına bağlı olan boru ana hat ve bypass hattı olmak üzere dallanmaktadır. Ana hat üzerine takılan farklı delik çaplarına sahip orifis plakaları farklı yoğunluklarda ve özelliklerde kavitasyon oluşumunu mümkün kılmıştır.

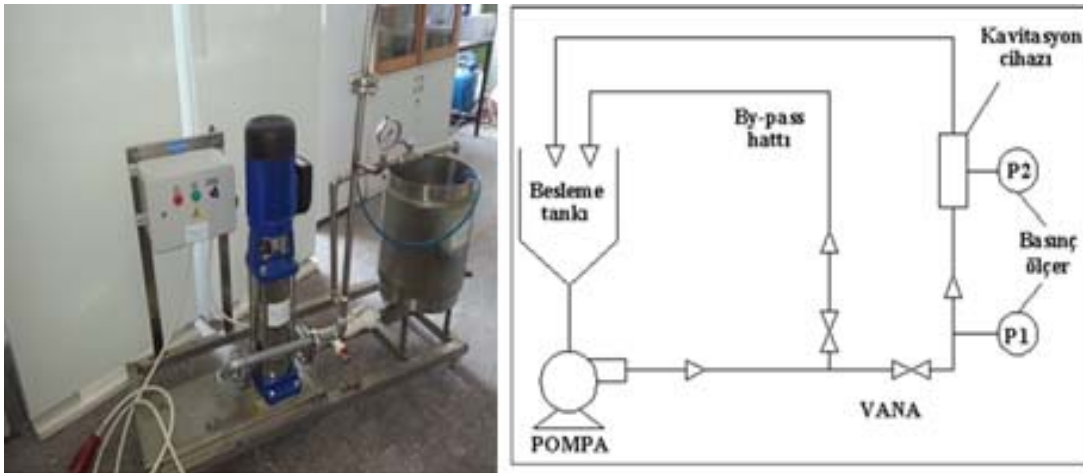
**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan atık aktif çamurun özellikleri

(Characteristics of WAS used in experiments)

Parametre	Değer
TKOİ (mg/L)	13200
ÇKOİ (mg/L)	280
pH	7,50
TKN (mg/L)	724
ÇTKN (mg/L)	52
TP (mg/L)	416
ÇTP (mg/L)	74,6

### 2.3. Çalışma Kapsamında Yürütülen Denemeler (Experimental Study)

Çalışmada bu yöntemde en iyi performansın alındığı orifis plakası delik çapı ile kavitasyon sayısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bir orifis plakası, hatta boru flanşları arasına yerleştirilerek akış hızının artmasına ve basıncın azalmasına neden olur. Orifis plakalarının kullanıldığı hidrodinamik kavitasyon sistemlerinde delik çaplarının genellikle 5 mm'den küçük olduğu literatürden bilinmektedir [14, 15].



**Şekil 2.** Çalışmada kullanılan hidrodinamik kavitasyon sistemi (Hydrodynamic cavitation system used in operation)

Çalışma kapsamında denenecek orifis plakalarındaki delik çapları literatürle uyumlu olarak 3, 4 ve 5 mm olarak seçilmiştir.

Kavitasyon sayısı,  $C_v$  olarak bilinen boyutsuz bir sayıdır ve kavitasyon yoğunluğu ile debi şartlarını ilişkilendirmek için kullanılmaktadır. Kavitasyon sayısı aşağıdaki denklemle (Eş.1) hesaplanabilir [9].

$$Eş. 1 \quad C_v = P_2 - P_v / \frac{1}{2} \rho V_{th}^2$$

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 kavitasyon  $C_v < 1$  olduğunda oluşmaktadır [16]. Buradan yola çıkarak denenecek her bir orifis plakası için anahat üzerindeki vanayı açıp kapamak suretiyle orifisten geçen sıvının hızı değiştirilerek kavitasyon sayısı 0,2, 0,5 ve 0,8'e ayarlanmıştır. Özetle çalışma kapsamında 3 farklı delik çapına sahip orifis plakalarının kullanıldığı ve 3 farklı kavitasyon sayısının sağlandığı akış hızı şartlarında çamur kavitasyon denemeleri yürütülmüştür.

#### 2.4. Kavitasyon Süresince İzlenen Kimyasal Parametreler (Chemical Analyses)

Farklı şartlarda kavite edilen çamurlardan kavitasyonun 0., 30., 60., 90., 120. ve 150. dakikalarında örnekler alınmış ve tüm örneklerde çözünmüş toplam azot ile çözünmüş toplam fosfor (P) parametreleri belirlenmiştir. Çözünmüş toplam fosfor, çözünmüş toplam Kjeldahl azotu tayinleri Standart Metodlarda belirtildiği şekilde yapılmıştır [17]. Çözünmüş TKN tayini için örnekler santrifüjlenerek (10000 x g, 4°C, 20 dak.), süpernatant mavi bantlı filtreden süzülür, elde edilen süzük Kjeldahl yöntemi ile yakılmış ve çözünmüş toplam azot içeriği destilasyon yöntemi ile Velp marka azot tayin cihazı ile belirlenmiştir. Çözünmüş toplam P ölçümünde çamurdan elde edilen süzöğe yaş yakma uygulandıktan sonra askorbik asit yöntemi kullanılarak spektrofotometrik ölçüm (Hach lange Dr 5000) yapılmıştır.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

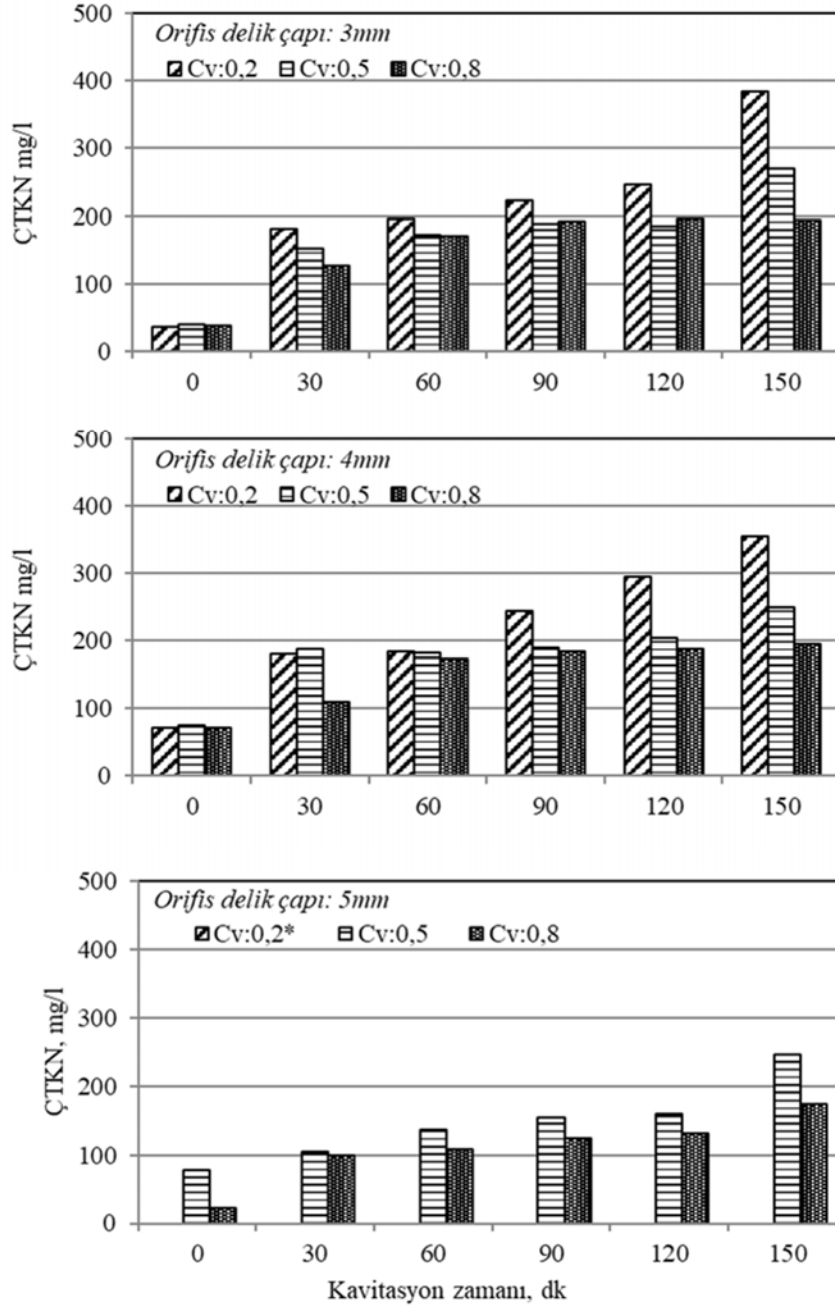
Proteinler organizmaların temel bileşeni olup yüksek ve sabit azot içeriği ile ayırt edilmektedirler. Proteinlerdeki azot, amino grupları veya peptik bağlarla bağlı olarak bulunmaktadır. Bu nedenle, çamurdaki azotun sulu fazda salınması yani ÇTKN parametresinin artış göstermesi hidrodinamik kavitasyonun parçalanma verimliliğini değerlendirmek için faydalı bir yaklaşım olarak kabul edilebilmektedir [18]. Farklı orifis çapı ve kavitasyon sayısı şartlarında çözünmüş TKN'nin kavitasyon süresine bağlı olarak gösterdiği değişim Şekil 3'de görülmektedir. Çalışma kapsamında her bir orifis plakası için anahat üzerindeki vanayı açıp-kapamak suretiyle orifisten geçen sıvının hızının değiştirilmesi ve kavitasyon sayısının 0,2, 0,5 ve 0,8'e ayarlanması öngörülmüştür. Ancak 5 mm orifis plakası ile yapılan çalışmalarda kavitasyon sayısını 0,2'ye ayarlamak mümkün olmamıştır. Zira anahat üzerindeki vana tamamen

kapatıldığında orifisten geçen çamur maksimum hızına ulaşmakta, bu maksimum hızdaki kavitasyon sayısı 0,2'den büyük olmaktadır. Bu sebeple 5 mm'lik orifis plakaları kullanıldığında, kavitasyon sayılarının 0,5 ve 0,8 olarak ayarlandığı şartlarda denemeler yapılabilmıştır.

Şekil 3'teki veriler incelendiğinde, 3 mm'lik orifis çapına ait kavitasyon çalışmalarında çözünmüş toplam kjeldahl azotunun zamana bağlı olarak arttığı görülmektedir. En yüksek ÇTKN değeri kavitasyon sayısının 0,2'ye ayarlandığı şartlarda belirlenir, en düşük ÇTKN değeri kavitasyon sayısı 0,8 olduğunda tespit edilmiştir. Bu durum kavitasyon sayısı arttıkça, kavitasyonun etkinliğinin azaldığını göstermektedir. Başlangıçta kavite edilmemiş çamurun ÇTKN değeri 52 mg/l olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Kavitasyon sonrasındaki değerlere bakıldığında, uygulanan dezentegrasyon yönteminin çamurdaki toplam azotu çözünebilir formlara dönüştürdüğü açıkça görülmektedir. Benzer durum 4 mm'lik orifis delik çapı ile yapılan kavitasyon çalışmasında da gözlenmiştir. Ancak 3 mm'lik orifis çapının kullanıldığı deneme ile kıyaslandığında, 150 dk'lık kavitasyon sonrasında ulaşılan ÇTKN değerlerinin tüm kavitasyon sayıları için daha düşük olduğu görülmektedir. Orifis delik çapı 5 mm ile yapılan kavitasyon çalışmalarında 0,2 kavitasyon sayısı için değer elde edilememiştir. 0,5 ve 0,8 olarak ayarlanan kavitasyon sayısı şartlarında ÇTKN konsantrasyonu zamana bağlı artış göstermiş ulaşılan ÇTKN değerleri kavitasyon sayısının 0,5 olduğu şartlarda daha yüksek bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar 3, 4 ve 5 mm'lik orifis plakalarıyla gerçekleştirilen hidrodinamik kavitasyonun etkin bir çamur dezentegrasyonu sağlayabildiğini göstermektedir. Çalışma kapsamında test edilen kavitasyon sayıları şartlarında kavitasyon balonlarının oluşması büyümesi ve çökmesi şeklinde gerçekleşen etkin bir kavitasyon olayının gerçekleştiği izlenimi edinilmiştir. Kavitasyona bağlı olarak ortaya çıkan çeşitli fiziksel ve kimyasal etkiler çamur biyokütlesindeki hücre duvarlarının yıkımını ve sıvı fazdaki extra- ve intrasellüler materyallerin çözünmesini sağlamaktadır [18].

Kavitasyonun sonundaki en yüksek ÇTKN değerleri, 3 ve 4 mm'lik orifis plakalarının kullanıldığı ve kavitasyon sayısının 0,2'ye ayarlandığı şartlarda tespit edilmiştir. Ancak başlangıç çözünmüş toplam kjeldahl azot değerleri göz önüne alındığında 3 mm'lik orifis plakasının kullanıldığı ve kavitasyon sayısının 0,2'ye ayarlandığı durumda meydana gelen artışın daha belirgin olduğu görülmüştür. Tablo 1'de görüldüğü gibi atık aktif çamurun toplam ve çözünmüş toplam kjeldahl azotu içeriği sırasıyla 724 mg/l ve 52 mg/l'dir. Yapılan denemelerde 150 dakikalık kavitasyonun sonunda ulaşılan maksimum ÇTKN değeri 370 mg/l olup, hidrodinamik kavitasyon ile çamur katı fazındaki azotun yaklaşık %50'sinin çözünür forma dönüştüğü anlaşılmaktadır. Biyolojik arıtma sistemindeki mikroorganizmalar sadece çözünür formdaki substratları parçalayabildiğinden, bu sonuçlar oldukça önem arz etmektedir [19]. Gröbel vd. [12], tarafından yapılan bir çalışmada hidrodinamik kavitasyonun çamurdaki organik ve inorganik madde salınımlarına olan etkisi irdelenmiştir.

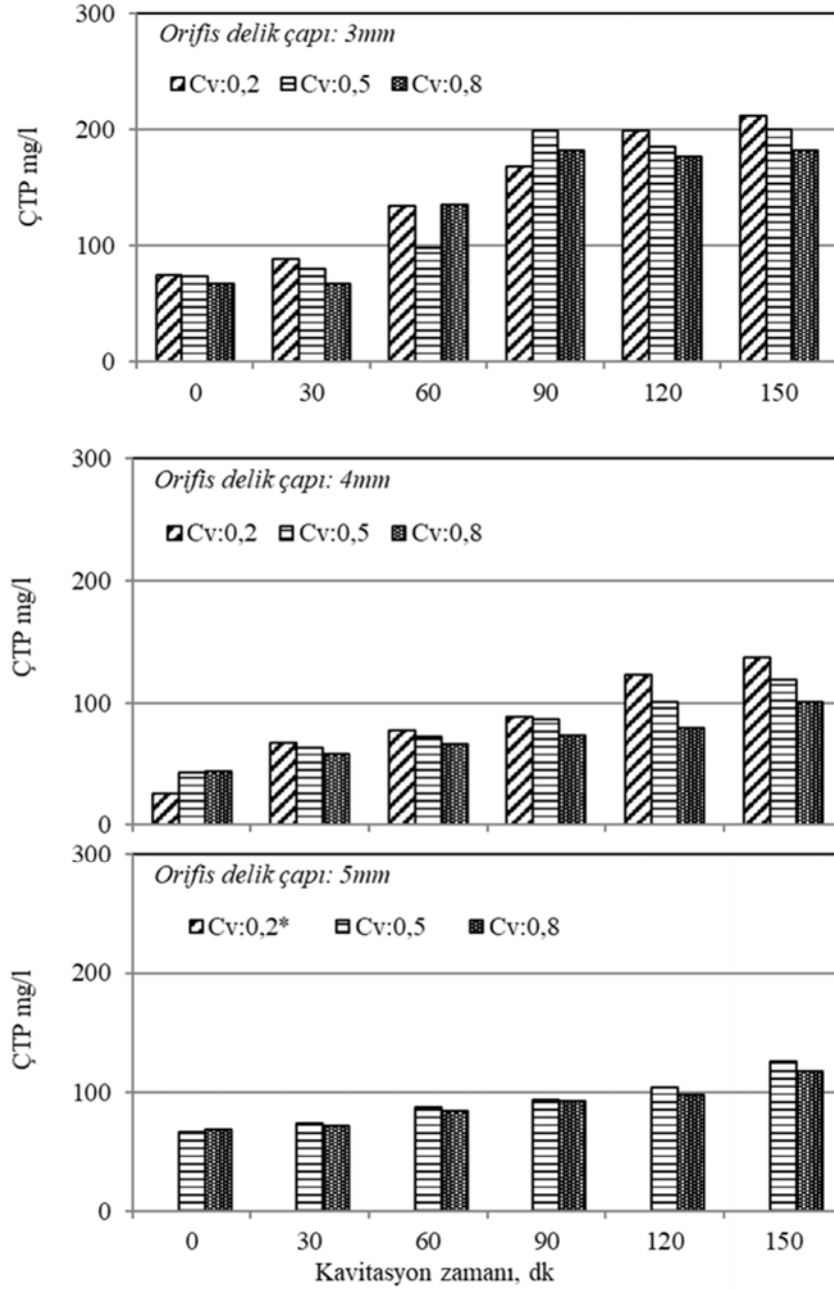




**Şekil 3.** Farklı delik çapı ve kavitasyon sayılarıyla yürütülen denemelerde kavite edilen atık aktif çamurdaki çözünmüş toplam kjeldahl azotunun (mg/l) zamana bağlı değişimi (\*sonuç elde edilememiştir)  
(Variation of dissolved total kjeldahl nitrogen (mg/l) in cavitated waste activated sludge with different pore diameters and cavitation numbers)  
(\* Result could not be obtained.)

Çalışmada atık aktif çamur sıvısında yaklaşık 8 mg/l seviyesinde bulunan protein konsantrasyonunun, 30 dakikalık bir kavitasyonun ardından 81 mg/l'ye çıktığını göstermiştir. Yapılan diğer bir çalışmada, hidrodinamik kavitasyon ile E.coli parçalanması araştırılmış ve çözünebilir protein konsantrasyonunda belirgin bir artış tespit edilmiştir [20]. Protein konsantrasyonundaki artışa dikkat çeken bu çalışmalar, proteinlerin %16 ila 19 arasında azot içerdiği göz önüne alındığında, dolaylı olarak ÇTKN'nin de arttığını

göstermektedir. Farklı orifis çapı ve kavitasyon sayısı şartlarında çözünmüş TP'un kavitasyon süresine bağlı olarak gösterdiği değişim Şekil 4'de verilmiştir. Atık aktif çamur örneğindeki ÇTP değerleri numunenin alındığı zamana göre 25 ila 75 mg/l arasında değişmektedir. Uygulanan hidrodinamik kavitasyon yöntemi ÇTP içeriklerinde de artışa neden olmuştur. Özellikle kavitasyonun ilk 90 dakikasında meydana gelen artışlar daha belirgin olup, 90 dakikadan sonra ÇTP değerleri hafif artış eğilimi



**Şekil 4.** Farklı delik çapı ve kavitasyon sayılarıyla yürütülen denemelerde kavite edilen çamurdaki çözünmüş toplam fosfor değerlerinin (mg/l) zamana bağlı değişimi

(Variation of dissolved total phosphorus (mg/l) in cavitated waste activated sludge with different pore diameters and cavitation numbers)

göstermiştir. Kavitasyonun sonundaki en yüksek çözünmüş toplam fosfor değeri, 3 mm'lik orifis plakasının kullanıldığı ve kavitasyon sayısının 0,2'ye ayarlandığı şartlarda tespit edilmiştir. 150. dakika sonunda ulaşılan değerler değişen çalışma şartlarına bağlı olarak 100 ila 212 mg/l arasında değişmektedir. Benzer şekilde, Zubrowska-Sudol ve Justyna Walczak [21] yoğunlaştırılmış aktif çamuru hidrodinamik kavitasyonla dezentegre ettikleri çalışmalarında organik madde salınımının yanısıra çamurun sıvı fazındaki toplam azot ve toplam fosforun da önemli artış gösterdiğini ifade etmişlerdir. Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan

biyolojik çamur flokları kompleks yapıda agregalardır. Flok, kolloidal materyal, mikroorganizmalar, hücre dışı polimerik bileşenler-polisakkaritler, proteinler, humik maddeler-, inorganik partiküller, katyonlar ve büyük miktarda su içermektedir [22, 23]. Cloete and Oosthuizen [24], hücre dışı polimerik bileşiklerin yapısını inceledikleri çalışmalarında bu maddelerin %27 ila %30 oranında fosfor içerdiklerini belirlemişlerdir. Aktif çamur floklarının dezentegre olmasıyla hücre dışı polimerik bileşikler mekanik olarak parçalanmakta, bakteriler disperse olmakta ve aynı zamanda bakteri hücreleri kısmen ya da tamamen parçalanmakta ve

böylece çamurda önemli bir fosfor salınımı gerçekleşmektedir. Sonuçların değerlendirilmesi neticesinde, maksimum dezentegrasyonun 3mm delik çaplı orifis plakasının kullanıldığı ve kavitasyon sayısının 0,2 olarak ayarlandığı şartlarda gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Çözünmüş KOI konsantrasyonlarının belirtilen çalışma şartlarında en yüksek değerlere ulaştığı göz önüne alındığında [25] çözünmüş toplam azot ve fosforun da dezentegrasyon verimliliğinin bir göstergesi olarak değerlendirilebileceği görülmüştür.

Vichare vd. [26] yaptığı çalışmada düşük kavitasyon sayılarındaki potasyum iyodür bozunması sonucu daha yüksek miktarlarda iyotun açığa çıktığını belirtmiştir. Saharan vd.[27], göre atıksu arıtımı uygulamalarında optimum kavitasyon katsayısı 0,15 ile 0,25 arasında değişmektedir. Kuldeep vd. [28], en iyi kavitasyon aktivitesi için kavitasyon katsayısının 0,1 ile 0,2 arasında olması gerektiğini belirtmişlerdir. Optimum delik çapı ise hedef kirletici için gerekli olan kavitasyon yoğunluğuna göre değişmektedir [15]. Bu çalışmada çamurun çözünebilirliği delik çapı büyüdükçe azalmıştır. Genel olarak incelenen parametreler itibarıyla en iyi dezentegrasyon sonuçları 3 mm delik çaplı orifis plakası ile elde edilmiştir. Çalışma sonuçları, 150 dakikalık kavitasyonun ardından çamurdaki toplam azot ve toplam fosforun, sırasıyla %47'sinin ve %50'sinin çözünmüş formlara dönüştüğünü göstermektedir. Çözünmüş azot ve fosfor konsantrasyonlarında meydana gelen bu artışa göre, orifis plakalı hidrodinamik kavitasyon yöntemi etkili bir çamur dezentegrasyonu sağlayabilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Orifis plakalı hidrodinamik kavitasyon sistemi, atık aktif çamurun dezentegrasyonu için uygun bir yöntemdir. Hidrodinamik kavitasyon sisteminde kullanılan orifis plakasındaki delik çapı ve akış şartlarını karakterize eden kavitasyon sayısı çamur dezentegrasyon verimliliğini önemli derecede etkileyen değişkenlerdir. Yapılan çalışmalarla maksimum atık aktif çamur dezentegrasyonunun 3 mm delik çaplı orifis plakasının kullanıldığı ve kavitasyon sayısının 0,2 olarak ayarlandığı şartlarda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Uygulanan hidrodinamik kavitasyon yöntemi çözünmüş toplam fosfor (ÇTP) içeriklerinde de artışa neden olmuştur. Özellikle kavitasyonun ilk 90 dakikasında belirgin artışlar meydana gelmiştir. Çalışma sonuçları, 150 dakikalık kavitasyonun ardından çamurdaki toplam azot ve toplam fosforun, sırasıyla %47'sinin ve %50'sinin çözünmüş formlara dönüştüğünü göstermektedir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar çözünmüş toplam kjeldahl azotu ve çözünmüş toplam fosforun dezentegrasyon verimliliğinin göstergesi olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Çamura uygulanan hidrodinamik kavitasyon yöntemi anaerobik çamur çürütmede elde edilen biyogaz miktarını arttırabilecektir. Ayrıca kavitasyona bağlı çözünebilir organik madde artışı sebebiyle kolay ayrışabilir karbon kaynağının kısıtlı olduğu denitrifikasyon veya biyolojik fosfor giderimi gibi atıksu arıtma proseslerinde de kullanılarak arıtma verimine olumlu etki sağlayabilecektir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK 114Y523 numaralı proje kapsamında yürütülmüş olup, desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sivakumar M., Pandit A.B., Wastewater treatment: a novel energy efficient hydrodynamic cavitation technique. *Ultrason Sonochem.* 9, 123–131, 2002
2. Petkovseka M, Zupanc M, Dular M, Kosjek T, Heath E, Kompare B, Sirok B., Rotation generator of hydrodynamic cavitation for water treatment. *Sep Purif Technol.* 118, 415-423, 2013
3. Kunz P., Wörne D. Nachweis der biologischen Verfügbarkeit von Klarschlamm nach Desintegration mittels Ruhrwerkskugelmühle im Rahmen einer gezielten Denitrifikation. Muller, J., Dichtl, N. and Schwedes, J. (eds), Klarschlamm desintegration, Publications of the Institute of Sanitary Engineering, Technical University of Braunschweig, Germany, ISSN 0934-9731, 61, pp. 209–214, 1998.
4. Diehm B., Setzer T., Kapp H. Desintegration von Rucklaufschlamm zur Verbesserung der Denitrifikation. *Korrespondenz Abwasser (KA)*, 51(4), 396–403, 2004.
5. Müller J. Disintegration as a key-step in sewage sludge treatment, *Water Science and Technology*, 41, 8, 123–130, 2000.
6. Akpınar I. Biyolojik Besi Maddesi Gideren Atıksu Arıtma Tesisi Geri Devir Çamurunda Farklı Dezentegrasyon Uygulamalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
7. Kunz P.M., Theunert B., Wagner S. Erkenntnisse und Erfahrungen aus praktischen Anwendungen der Klarschlamm - Disintegration., *Korrespondenz Abwasser*, 43, 1289, 1996.
8. Zupanc M., Kosjek T., Petkovseka M., Dular M., Kompare B, Sirok B, Blazeka Z, Heath E. Removal of pharmaceuticals from wastewater by biological processes, hydrodynamic cavitation and UV treatment. *Ultrason Sonochem.* 20, 1104–1112, 2013.
9. Gogate P.R., Pandit A.B. Hydrodynamic Cavitation Reactors: A State of The Art Review, *Reviews in Chemical Engineering*, 17 (1), 1-85, 2001.
10. Gogate P.R., Pandit A.B., A review and assessment of hydrodynamic cavitation as a technology for the future. *Ultrason Sonochem.*, 12, 21–27, 2005.
11. Machnicka A., Grubel K., Suschka J., The Use of Hydrodynamic Disintegration as a Means To Improve Anaerobic Digestion of Activated Sludge, *Water SA*, 35 (1), 129-132, 2009.
12. Grubel K., Machnicka A., Hydrodynamic Disintegration of Foam Biomass to Upgrade of Wastewater, *Ecological Chemistry And Engineering*, 17 (2), 137-148, 2010.
13. Lee I., Han J.I. The Effects of Waste-Activated Sludge Pretreatment Using Hydrodynamic Cavitation for



- Methane Production, *Ultrason. Sonochem.*, 20 (6), 1450-1455, 2013.
14. Szulzyk-Cieplak J., Ozonek J., The Study of the Impact of Select Parameters of Hydrodynamic Cavitation System on Anthracene an Penanthrene Degrardation Rate in Cavitated Liquid Environment) Annual Set the Environment Prorotection 15, 996–1010, 2013.
  15. Chanda S.K., Disitegration of sludge using ozone-hydrodynamic cavitation, Master of Applied Science in the Faculty of Graduate Studies (Civil Engineering), The University of British Columbia, Vancouver., 2012.
  16. Gogate P.R., Pandit A.B., Engineering Design Methods For Cavitation Reactors II: Hydrodynamic Cavitation, *AIChE Journal*, 46 (8), 1641-1649, 2000.
  17. APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., American Public Health Association, Baltimore, 1998.
  18. Sagban Topac F.O., Tasdemir H.G., Alkaline Assisted Hydrodynamic Cavitation For Disintegration of Waste Activated Sludge. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25, 6, 2205-2212, 2016.
  19. Gündüz Ç., Ultrasonic disintegration of sewage sludge, Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences, 2009.
  20. Balasundarum B., Harrison, S.T.L. Disruption of brewers' yeast by hydrodynamic cavitation: Process variables and their influence on selective release. *Biotechnol Bioeng.*, 94, 303-311, 2006.
  21. Zubrowska-Sudol M, Walczak J., Effects of mechanical disintegration of activated sludge on the activity of nitrifying and denitrifying bacteria and phosphorus accumulating organisms. *Water research* 61, 200-209, 2014.
  22. Ayol A., Filibeli,A., Sır D., Kuzkaya E., Arıtma çamurlarının biyolojik dezentegrasyonu: enzimatik arıtımın çamur minimizasyonu üzerine etkileri, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Yaşam Çevre Teknoloji, İzmir, Türkiye, Ekim 24-27, 2007.
  23. Li D.H., Ganczarzyk J., Structure of activated sludge flocs, *Biotechnol Bioeng* 35, 1, 57–65, 1990.
  24. Cloete T.E., Oosthuizen D.J. The role of extracellular exopolymers in the removal of phosphorous from activated sludge. *Water Research*, 35, 3595–3598, 2001.
  25. Etyam C., Atık aktif çamurun hidrodinamik kavitasyon destekli yönetmlerle dezentegrasyonu. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
  26. Vichare N., Gogate P., Pandit A. Optimization of hydrodynamic cavitation using a model reaction, *Chemical Engineering & Technology*, 23 (8), 683-690, 2000.
  27. Saharan V.K., Rizwani M.A., Malani A.A., Pandit A.B., Effect of geometry of hydrodynamically cavitating device on degradation of orange-G. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20, 345-353, 2013.
  28. Kuldeep Carpenter, J., Saharan V.K., Study of cavity dynamics in a hydrodynamic cavitation reactor. In: Mishra GC, editor. *Energy technology & ecological concerns: a contemporary approach*. New Delhi: Gyan Bandhu Publications, 37–43, 2014.

