

İçme Suyu Kaynaklarında Hidrodinamik Kavitasyon Yöntemi İle Mikrobiyal Kirlilik Giderimi

Efsun DİNDAR

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa

Sorumlu yazar e-mail (Corresponding author e-mail): efsun@uludag.edu.tr

Geliş tarihi (Received) : 27.12.2018

Kabul tarihi (Accepted): 05.03.2019

DOI : 10.21657/topraksu.544670

Öz

Bu çalışmada, içme suyu olarak kullanılan ham su, orifis bazlı bir hidrodinamik kavitasyon cihazı ile laboratuvar ölçeğinde mekanik olarak kavite edilmiştir. Hidrodinamik kavitasyon seti 25 L'lik bir tank ve 1,5 kW'lık pozitif yer değiştirme pompasında oluşan bir cihazdır. Cihazda 3 mm çapında tek delikli orifis plaka kullanılmıştır. Sistemin ana hattının çapı 19 mm olup hava girişini önlemek için deşarj borusu tanktaki sıvı seviyesinin altına yerleştirilmiştir. Hidrodinamik kavitasyon çalışması 150 dk yürütülmüş olup 0, 30, 60, 90, 120, ve 150. dk'larda tanktan numune alınmıştır. Optimum kavitasyon zamanı 5 bar basınçta 60-90 dk arasında bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, 90 dk sonunda %94-%100 (1,23 log) arasında bakteriyel giderimin gerçekleştiği görülmüştür. Çalışma verileri, hidrodinamik kavitasyonun hücre parçalayarak bakteri aktifliğini azaltmada etkili olduğunu ortaya koymuştur. İçilebilir nitelikteki suların mikrobiyal dezenfeksiyonu için hidrodinamik kavitasyon etkili bir şekilde kullanılabilir bir sistemdir.

Anahtar Kelimeler: Bakteri, dezenfeksiyon, hidrodinamik kavitasyon, içme suyu, toplam bakteri sayısı.

Microbial Removal of Drinking Water Resources by Hydrodynamic Cavitation Method

Abstract

The effect of hydrodynamic cavitation (HC) on the removal of microorganisms in potable water were investigated using a laboratory scale device. The hydrodynamic cavitation setup consisted of a 25 L tank, a positive displacement pump (1.5 kW), and a cavitation device. Single-hole orifice plates with diameters of 3 mm was used as cavitation devices. The diameter of the main line was 19 mm, and the discharge well was placed below the liquid level in the tank to avoid introducing air. Hydrodynamic cavitation experiments were run for 150 min, and the samples were collected from the tank at 0, 30, 60, 90, 120, and 150 min. The optimal cavitation time was 60-90 min with a pump pressure of 5 bar. Results showed that after 90 min of cavitation, bacterial removal percentages of 94% to 100% (log 1.23) were obtained. Experiments showed that hydrodynamic cavitation is very effective in reducing bacterial ability. Hydrodynamic cavitation can be effectively used for the microbial disinfection of potable water.

Key word: Bacteria, disinfection, hydrodynamic cavitation, potable water, total bacteria count

GİRİŞ

İçme suyu kalitesi günümüzde oldukça önemli bir konudur. Son yıllarda endüstriyel kirlilikler, tarımsal faaliyetler ve nüfus artışına bağlı

olarak çoğalan evsel atıklardan dolayı içilebilir nitelikteki suların kalitesi düşmektedir. Bu durum patojen mikroorganizmaların çoğalmasına

neden olarak sudan bulaşan ölümcül olabilen hastalıkların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Kirliliğin kontrol edilmesi veya etkili arıtma yöntemlerinin kullanılmasıyla içme suyu kalitesi iyileştirilebilmektedir.

Kimyasal, fiziksel ve biyolojik kirliliklerin giderilmesi için çeşitli arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Hastalık yapıcı mikroorganizmaların sebep olduğu biyolojik kirliliği gidermek için dezenfeksiyon işlemi yapılmaktadır. Dezenfeksiyonun amacı insan sağlığı açısından riskli olan mikroorganizmaları ortadan kaldırmaktır. Uzun yıllardır suların dezenfeksiyonunun da çeşitli kimyasal ve fiziksel yöntemler uygulanmaktadır. Klorlama, ozonlama ve ultraviyole ışığı gibi içilebilir su dezenfeksiyonu için rutin olarak çeşitli fiziksel ve kimyasal teknikler kullanılmaktadır (Haas vd., 1990; Labatiuk vd., 1992; Giese ve Darby, 2000). Ancak kimyasal dezenfeksiyon teknikleri, kanserojen yan ürünlerin oluşumu gibi dezavantajlara sahip olabilmektedir. Bu nedenle, bazı yöntemlerin dezavantajları, etkinliklerinden daha fazla olduğu için alternatif başka tekniklerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Su arıtımında yeni yöntemlerin araştırılması için hala birçok faaliyet alanı bulunmaktadır. Kaviteleme prosesi de bu alanlardan biri olarak görülmektedir. Kaviteleme, bir sıvı içinde mikro kabarcıkların oluşumu, büyümesi ve çökmesi olarak bilinmektedir (Jyoti ve Pandit, 2001). 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 kaviteleme, bir orifis, vana ya da ventüri gibi dar bir geçitten sıvının geçmesi ile oluşturulmaktadır.

Arrojo vd., (2008) yaptıkları çalışmada, *E. coli* konsantrasyonu arttıkça orifis plakasında hız sabiti orta derecede azaldığını, ventüri tipi uygulamada ise aynı kaldığını bulmuşlardır. Orifis plakalarda, dezenfeksiyonun bir kısmı OH radikali üretimi ile ilişkilidir ve bu nedenle, *E. coli* konsantrasyonu arttıkça, radikal konsantrasyonu sınırlayıcı etki göstermektedir. Diğer yandan ventüri tipi tasarımın etkilenmesinin sebebi, reaktantın sınırlayıcı olmaması dolayısıyla bakterilerin mekanik bozulmasının süreçte önemli bir rol oynaması olarak açıklanmaktadır.

Jyoti ve Pandit (2001) yaptıkları çalışma sonucunda hidrodinamik kavitelemenin içme suyu üretimi için potansiyel bir fiziki su dezenfeksiyon tekniği olduğunu bulmuşlardır. Save vd. (1994) özellikle hücre bozulmasında hidrodinamik kavitelemenin etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Balasundaram ve Harrison (2006) yaptıkları çalışmada orifis plaka kullanarak *E.coli*'nin parçalanmasını sağlayarak hücre içi proteinlerin organizmadan serbest bırakıldığını bulmuşlardır.

Hidrodinamik kaviteleme ile *E.coli* için yüksek deaktivasyon elde edildiği yapılan çalışmalarla belirlenmiştir (Arrojo vd., 2008; Mezule vd., 2009). Li vd. (2016) hidrodinamik kaviteleme prosesinin ürettiği serbest radikaller ile membran lipitleri dahil olmak üzere hücre bileşenlerin zarar gördüğünü tespit etmişlerdir. Hidrodinamik kavitelemenin dezenfeksiyon etkisi, aynı anda hareket eden mekanizmaların kombinasyonu olarak açıklanmaktadır (Mason vd., 2003).

-Mekanik etkiler: Türbülans üretimi, sıvı sirkülasyon akımları ve makaslama gerilmeleri.

-Kimyasal etkiler: Aktif serbest radikallerin oluşması.

-Isı etkileri: Lokal sıcak noktaların üretimi (çok yüksek sıcaklık ve basıncın lokal olarak durumu).

Bu bağlamda çalışmanın amacı, içme suyu amaçlı su dezenfeksiyonunda alternatif bir metot olarak hidrodinamik kaviteleme sisteminin, mikrobiyal giderim üzerine etkisini ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında, kimyasal madde ilavesi olmadan su dezenfeksiyonunda hidrodinamik kavitelemenin kullanılabilirliğini araştırılmıştır. İçme suyunda kirlilik göstergesi olarak görülen spesifik mikroorganizmalar (*Clostridium perfringens*, *Enterokok*, *Escherichia Coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, Toplam Bakteri Sayısı, Toplam Koliform) seçilerek çalışma yapılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

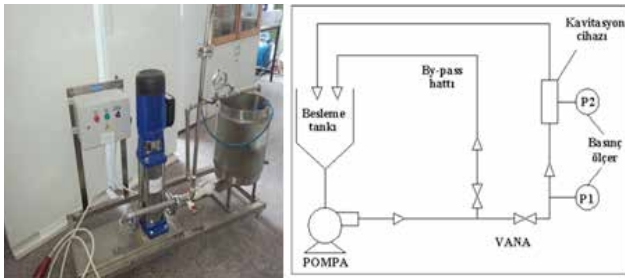
Bu çalışmada kullanılan su, Bursa'da bulunan, Bursa Büyükşehir Belediyesi, BUSKİ Genel Müdürlüğü bünyesindeki Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisi girişinden alınmıştır. Su, Doğanca Barajından Ø1600mm çapında, (3300 mt.) uzunluğunda çelik boru ile alınarak, tesise gelmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan su özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan içilebilir suyun özellikleri
Table 1. Microbial characterization of potable water used in the study

Parametre	Değer
<i>Clostridium perfringens</i> (MF) CFU/100 ml	1
<i>Enterokok</i> CFU/100 ml	1
<i>Escherichia Coli</i> (<i>E.coli</i>) CFU/100 ml	1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> CFU/100 ml	40
Toplam Bakteri Sayısı (22°C) CFU/1 ml	>200
Toplam Koliform CFU/100 ml	107

Çalışmada Kullanılan Hidrodinamik Kavite Sistemi

Aritma çamurlarının hidrodinamik kavite denemeleri orifis plakalı kavite cihazı ile yürütülmüştür. Kullanılan sistem 20 lt hacminde paslanmaz çelikten yapılmış bir reaktör, 1,5 kw motor gücüne sahip dikey milli santrifüj pompa ve kavite oluşumunu gerçekleştiren orifis kısmından oluşmaktadır (Şekil 1). 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 kavite oluşumunu mümkün kılmaktadır. Bir orifis plakası, hatta boru flanşları arasına yerleştirilerek akış hızının artmasına ve basıncın azalmasına neden olur. Orifis plakalarının kullanıldığı hidrodinamik kavite sistemlerinde delik çaplarının genellikle 5 mm'den küçük olduğu literatürden bilinmektedir (Chanda, 2012; Gogate ve Pandit, 2000). Çalışma kapsamında denenecek orifis plakasının delik çapı literatürle uyumlu olarak 3 mm olarak seçilmiştir. Sistem 5 bar basıncında çalışmıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan hidrodinamik kavite sistemi
Figure 1. Hydrodynamic cavitation system used in operation

Kaviteyon sayısının (Ks)hesabi

Kaviteyon sayısı, Cv olarak bilinen boyutsuz bir sayıdır ve kaviteyon yoğunluğu ile debi şartlarını ilişkilendirmek için kullanılmaktadır. İdeal şartlarda kaviteyon, $C_v < 1$ olduğunda

oluşmaktadır. Kaviteyon sayısı Eşitlik 1'de verilen formülle hesaplanmaktadır (Gogate ve Pandit, 2000).

$$C_v = (P_2 - P_v) / (0,5 * \rho * V_{th}^2) \quad (\text{Eş.1})$$

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

Ks hesabı için kaviteyon işlemi başlatılmadan önce kaviteyon hücreindeki çamur örneğinin 3 L'sinin boş bir kabı kaç saniyede doldurduğu tespit edilmiştir. Bulunan sonuç 17 saniyedir. Yapılan matematiksel hesaplar aşağıda sıralanmıştır:

$$-0,176 \text{ L/sn} = 1,764 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sn} = Q \text{ (Debi)}$$

$$-A = \frac{\pi}{4} d^2 \text{ (orifisin yarıçapı 1,5 mm'dir). } A = 7,065 * 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ (Alan)}$$

$$-V_{th} = Q/A \rightarrow (1,764 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sn}) / (7,065 * 10^{-6} \text{ m}^2) = 24,98 \text{ m/sn (Hız)}$$

$$-101325 \text{ (açık hava basıncı) - 3500 (suyun buhar basıncı) = 97825 bar}$$

$$-C_v = (P_2 - P_v) / (0,5 * \rho * V_{th}^2)$$

$$-C_v = (101325 - 3500) / (0,5 * 1000 * 24,98^2) = 0,31 \text{ olarak hesaplanmaktadır.}$$

Kaviteyon Süresince İzlenen Mikrobiyolojik Parametreler

Kavite edilen su numunesinden kaviteyonun 0., 30., 60., 90., 120. ve 150. dakikalarında örnekler alınmış ve tüm örneklerde Toplam Canlı Sayısı, *E.Coli*, Toplam Koliform, *Enterokok*, *Clostridium Perfringers*, *Pseudomonas aeruginosa* analizleri yapılmıştır.

Mikrobiyolojik Analizlerde Kullanılan Yöntemler

Pseudomonas aeruginosa'nın tespiti ve sayımı Membran Filtrasyon yöntemi ile TS EN ISO 16266:2006 standartına göre yapılmıştır. Membran filtre sisteminden numune suyu süzülerek seçici besiyerine (CN Agar) yerleştirilmiş ve $(36 \pm 2)^\circ\text{C}$ 'de 48 ± 4 saat sonunda oluşan koloniler sayılmıştır. Doğrulama için Asetamit testinin yapılması sonucu *Pseudomonas aeruginosa* tespiti yapılmıştır.

Toplam *Koliform* ve *E.coli* tespiti ve sayımı Membran Filtrasyon yöntemi ile TS EN ISO 9308-1 standartına göre yapılmıştır. Deney numunesi, bakterileri geçirmeyen bir membran filtreye

süzülmüş ve bu filtre kromojenik Koliform agar (CCA) üzerine yerleştirilmiştir. Bu membranlar $(36\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 'de (21 ± 3) saat inkübe edilmiştir. β -D-galactosidase pozitif koloniler (pembeden kırmızıya) muhtemel Koliform olarak sayılırlar. *Aeromonas spp* gibi oksidaz pozitif bakterilerin neden olduğu yalancı pozitif reaksiyonu ayırmak için, muhtemel koloniler negatif oksidaz (oksidaz testi) reaksiyonu ile doğrulanmıştır. β -D-galaktosidaz ve β -D-glukuronidaz pozitif koloniler (besiyerinde menekşe morundan laciverte kadar olan koloniler) *E. coli* olarak sayılmıştır. Toplam Koliform sayımı ise *E. coli* sayısı ile oksidaz negatif olan Koliform bakterilerin toplamı sonucu elde edilmiştir.

Membran Filtrasyon yöntemiyle bağırsak *Enterekoklarının* tespiti ve sayım yöntemi TS EN ISO 7899-2 standartına göre yapılmıştır. Membran filtre sisteminden (0.45 μm ve 47 mm çapında çizgili steril Membran Filtre Kağıdı) numune suyu süzülerek seçici besiyerine (Slanetz Bartley) yerleştirilmiş ve Petri plağı $(36\pm 2)^{\circ}\text{C}$ de (44 ± 4) saat inkübe edilmiştir. Tipik olarak koloninin ortasında veya etrafında, kırmızı, mor veya pembe renk oluşumu ile ortaya çıkan tüm koloniler dikkate alınarak safraeskulin-azid agarlı petri ile doğrulama testi yapılmıştır.

Dökme Plak Metoduyla Toplam Canlı tayini TS EN ISO 6222 -02/2002 standartına göre yapılmıştır. 1 ml su örneği dökme plak metoduyla Yeast – Extract seçici besiyerine aşılansak, $(22\pm 1)^{\circ}\text{C}$ de (68 ± 4) saat sonunda oluşan tüm kolonilerin sayılması sonucu oluşan Toplam canlı (Aerobik bakteri, maya ve küf) sayısı bulunmuştur.

Membran Filtrasyon Metodu ile *Clostridium Perfringens* (Sporlular dahil) Annex Council Directive 111/98/83/EC standartına göre yapılmıştır. Su numunesi, membran filtrasyon sisteminde 0,22 μm filtreden süzülerek (m-CP) agara ekim yapılarak, $44\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de anaerobik ortamda (Anaero jar) 21 ± 3 saatlik inkübasyona tabi tutulmuştur. Inkübasyon sonrası petri kabında oluşan opak sarı koloniler 20-30 saniye süresince amonyum hidroksit (NH_4OH) buharına tutulmuş ve kolonilerden pembe ya da kırmızıya dönenler *C. perfringens* olarak kabul edilmiştir.

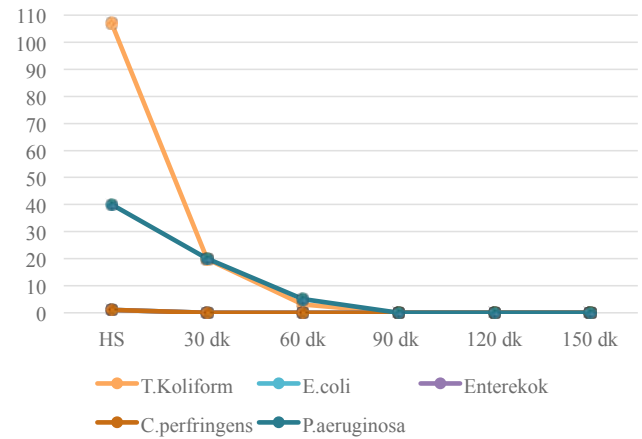
BULGULAR VE TARTIŞMA

İçilebilir nitelikteki suların mikrobiyal kalitesi sağlık açısından büyük önem taşımaktadır.

Hastalık yapıcı mikroorganizmaların giderilmesi, dezenfeksiyon etkinliğinin değerlendirilmesi açısından ele alınmaktadır.

Suların bakteriyolojik kalitesi, indikatör mikroorganizmalarca belirlenmektedir. Bu amaçla sulara başta koliform, fekal koliform ve *E. coli* olmak üzere genel canlı sayısı, Enterokok ve sülfid indirgeyen anaerob'lar aranmaktadır. Bu bakterilerin sudaki varlığı, direkt ya da dolaylı yolla bir fekal bulaşmayla birlikte patojenlerin de bulunma olasılığını ve hijyenik kalitenin yetersizliğini ifade etmektedir (Murcia vd., 2017).

Şekil 2'de seçilen mikroorganizmaların kavitasyon esnasında zamana bağlı olarak gösterdikleri değişim gösterilmektedir. Kavitasyon süresince tüm mikroorganizmaların azaldığı görülmüştür. Kavitasyonun ilk 60. dk'sında giderimin büyük ölçüde sağlandığı görülmüştür. 90. dk'nın sonunda ise tamamen giderim gerçekleşmiştir.



Şekil 2. Kavitasyon süresine bağlı olarak mikroorganizma sayılarının değişimi

Figure 2. Variation of microorganism levels during cavitation time

Enterobacteriaceae familyasında yer alan *E. coli*, insan ve sıcakkanlı hayvanların bağırsak florasında doğal olarak bulunur. Bazı türleri patojen özellik taşır. Patojen olan türler insanlarda gastroenterit ve çeşitli hastalıklara neden olur. *E. coli* enfeksiyonlarından korunmada hijyen kurallarının uygulanması oldukça önemlidir. Çalışmada, *E. coli* ham suda (HS) başlangıçta 1 CFU/100 ml olarak tespit edilmiştir. Kavitasyonun ilk 30.dk'sında *E. coli* gideriminin tamamen sağlandığı görülmüştür. Mezule vd. (2009) tarafından yapılan laboratuvar ölçekli çalışmada

3. dk da %75 giderim elde edilmiştir. Vitenko ve Gashchyn (2014) tarafından yapılan çalışmada ise en yüksek dezenfeksiyon oranı $\sigma=0,5$ kaviteasyon sayısında 14. dk da %82 olarak bulunmuştur.

Kaviteasyon sayısına göre çalışma sonuçları değerlendirildiğinde $\sigma=0,31$ kaviteasyon sayısında 30. dk sonunda %100 giderim gerçekleştiği görülmüştür.

Balasundaram ve Harrison (2006) orifis plaka kullanarak intracellular proteinlerin salınmasını sağlayarak *E. Coli* yıkımını gerçekleştirmişlerdir.

Clostridium perfringens, *Bacillaceae* familyasına ait Gram pozitif, uçları yuvarlak çubuk şeklinde sporlu, kapsüllü, anaerobik, hareketsiz bir bakteridir. *Clostridium perfringens* su analizlerinde önemli bir rol oynar. Vejetatif hücrelerle kıyaslandığında ısıya dirençli spor formunda bulunabilmesi, bu organizmaların sulardan tespiti için bir avantaj olarak kullanılır. *C.perfringens* en önemli sülfid indirgeyen *Clostridium* cinsi bakteridir ve insan ve hayvan dışısında doğal olarak bulunur. Clostridial sporlar sularda koliform bakterilerden, *E.coli*'den ve *Enterokoklardan* daha uzun yaşar ve eski fekal kirliliğin göstergesi olarak kullanılır. Sporlar her zaman kloramayla da inaktive olmaz. Yüzey suları gibi çevresel sularda, geniş bir dağılıma sahip olan *Clostridium* türlerinin pek çoğu bulunabilir. *Clostridium* türlerinin pek çoğu 44°C'de üremezken *C.perfringens*ürer. Bu nedenle 44°C'de inkübasyon, bazı numunelerde *C.perfringens*'in izole edilmesi için seçiciliği artırılabilir (Berberoğlu, 2012). Şekil 2 incelendiğinde ham suda başlangıçta 1CFU/100 ml olan sayının ilk 30 dk'da giderildiği görülmektedir.

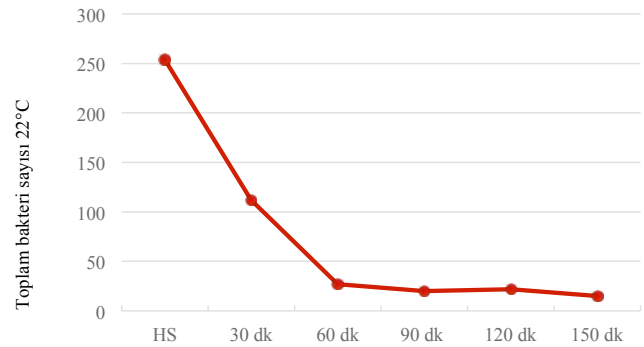
Pseudomonas aeruginosa sporsuz, polar flagellalı, hareketli, Gram negatif, genellikle kapsülsüz mikroorganizmadır. *P. aeruginosa* genellikle sistemik infeksiyonlara neden olmaktadır. Üriner sistem ile ilgili birçok hastalıktan sorumludur. Bu nedenle sularda bulunması istenemez. *P. aeruginosa* başlangıçta 40 CFU/100 ml olarak tespit edilmiş olup, ilk 60 dk sonunda % 87,5'lik bir giderim (0,90 log'luk) sağlandığı görülmüştür. 90 dk sonunda ise %100 giderim elde edilmiştir.

Dindar ve Topaç (2018), yaptıkları çalışmada atıksuyun hidrodinamik kaviteasyon sonucunda *P. aeruginosa* için en belirgin azalmanın 90. dk sonunda %79'luk bir giderim oranında gerçekleştiğini, kaviteasyon sonunda (150.dk) ise yaklaşık %98'lik bir giderim sağlandığı bulmuşlardır.

Bağırsak enterokokları Gram-pozitif, genelde zincir formu, katalaz-negatif ve kokoid-yumurta şekli arasında olabilen ve D antijenine sahip bakterilerdir. Enterokoklar insan ve hayvanların gastrointestinal sisteminde kommensal yaşayan, fırsatçı patojenlerdir ve idrar yolu enfeksiyonu, endokardit ve sepsise neden olan bakterilerdir (Poulsen vd., 2012; Shafi vd., 2017). Sularda enterokoklar ve stafilkoklar hem fekal hem de organik kontaminasyon indikatörü olarak kullanılmaktadır (Karafistan ve Çolakoğlu,2005). Ham suda 100 ml'de 1 CFU olarak tespit edilen enterokokun ilk 30 dk sonunda giderimi sağlanmıştır.

Toplam koliform bakteri sayısı, su kalitesinin en güvenilir göstergesi olarak kullanılır. Koliform bakteriler insan ve hayvan bağırsağında bulunabileceği gibi çevresel ortamda da bulunabilir ve potansiyel fekal kirliliğin göstergesi olabilirler. Fekal koliformlar ve *E.coli* ise sadece insan ve hayvan bağırsağında bulunur ve sulardaki varlıkları için yapılan testler, insan ve hayvan orijinli dışkı kirliliğin doğrulanması için gereklidir (Berberoğlu, 2012). Toplam koliform sayısı değerlendirildiğinde ham suda 107,1 CFU/100 ml bulunduğu belirlenmiştir. %82 oranında ciddi bir giderim ilk 30 dk da giderildiği görülmüştür. 60 dk sonunda ise %97 oranında (1,54 log) giderim gerçekleştiği bulunmuştur.

Şekil 3'de hidrodinamik kaviteasyon prosesi boyunca 22°C'de toplam canlı sayısının değişimi gösterilmektedir. Toplam canlı sayısı, su analizlerinde hijyen indeksi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu bakterilerin yoğunluğu, suyun hijyenik kalitesi yanı sıra patojenlerin bulunma olasılığını da değerlendirmede yardımcı olmaktadır (Alemdar, 2009).



Şekil 3. Kaviteasyon süresince toplam bakteri sayısının değişimi

Figure 3. Variation of total bacterial count during cavitation time

Ham suda toplam canlı sayısı 254 CFU/ml olarak tespit edilmiş olup, kavitasyon süresince azaldığı tespit edilmiştir. İlk 60 dk sonunda toplam canlı sayısında %89 oranında (0,90 log) ciddi bir azalma meydana geldiği görülmüştür. 90 dk dan sonra toplam canlı sayısında belirgin bir değişim olmadığı gözlenmiştir. Kavitasyonun sonunda ise %94 oranında (1,23 log) toplam canlı sayısında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Loraine vd. (2012) yaptığı çalışmada, atıksuda 45 dakikalık kavitasyon sonrası tüm bakteri miktarında %80'lik azalış olduğunu gözlemlemiştir. Hidrodinamik kavitasyonun gram-negative *E. coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* türlerinin konsantrasyonlarının azalmasında çok etkili olduğunu bulmuşlardır.

SONUÇLAR

Hidrodinamik kavitasyon, bir akış sisteminde akış kısıtlaması ile meydana gelen hızlı basınç dalgalanmalarına ve önemli akışkan kuvvetlerine neden olan bir sistemdir. Bu sayede, hidrodinamik kavitasyon mikrobik hücre hasarına yol açmaktadır. Dolayısıyla, suların dezenfeksiyonu için hidrodinamik kavitasyon etkili bir yöntem olarak kullanılabilir. Bu çalışma sonucunda 5 bar basıncında ve 0,31 kavitasyon sayısı ile çalışan bir sistemde ilk 60 dk sonunda etkili bir mikrobiyal giderim sağlandığı görülmüştür. Hidrodinamik kavitasyonda, dezenfeksiyon için herhangi bir kimyasal madde kullanılmadan dezenfeksiyonun sağlanması ekonomik ve çevre dostu bir sistem olarak daha avantajlı bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

İçme ve kullanma sularında insan sağlığı açısından bulunması istenmeyen *E.Coli*, Toplam Koliform, Enterokok, *Clostridium Perfringers*, *Pseudomonas aeruginosa* gibi mikroorganizmaların giderilmesinde etkili olduğu yapılan çalışma sonucunda ortaya konmuştur.

Son yıllarda su ve atıksu arıtımı konularında etkili ve ekonomik bir yöntem olarak ön plana çıkan hidrodinamik kavitasyon prosesinin, su dezenfeksiyon alanındaki kullanılabilir potansiyelini mikrobiyolojik düzeyde ortaya çıkarması açısından önem taşımaktadır.

TEŞEKKÜR

Bursa Büyükşehir Belediyesi, BUSKİ Genel Müdürlüğü, Dobruca İçme Suyu Arıtma Şube Müdürlüğü'ne katkılarından dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Alemdar S, Kahraman T, Ağaoğlu S, Alışarlı M (2009) Bitlis İli İçme Sularının Bazı Mikrobiyolojik ve Fizikokimyasal Özellikleri, *Ekoloji* 19, 73, 29-38.
- Arrojo S, Benito Y, Tarifa AM (2008) A Parametrical Study of Disinfection with Hydrodynamic Cavitation, *Ultrasonics Sonochem.*, 15(5) 903–908.
- Balasundaram B, Harrison STL (2006) Study of Physical and Biological Factors Involved in the Disruption of *E. coli* by Hydrodynamic Cavitation *Biotechnol. Prog.*, 22, 907-913.
- Berberoğlu U (2012) Su Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları El Kitabı, Türkiye Halk Sağlığı Kurumu, Ankara.
- Chanda SK (2012) Disintegration of sludge using ozone-hydrodynamic cavitation, Master of Applied Science in the Faculty of Graduate Studies (Civil Engineering), The University of British Columbia, Vancouver.
- Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human Consumption: Calculation of Derived Activity Concentrations.
- Dindar E, Topaç Şağban FO (2018) Uluslararası Su ve Çevre Kongresi, SUCEV2018 Bildiriler Kitabı, 1434-1442, 22-24 Mart, Bursa.
- Giese N, Darby J (2000) Sensitivity of Microorganisms to Different Wavelengths of UV Light: Implications on Modeling of Medium Pressure UV Systems, *Water Res.* 34 (16) 4007–4013.
- Gogate PR, Pandit AB (2000) Engineering Design Methods For Cavitation Reactors II: Hydrodynamic Cavitation, *AIChE Journal*, 46 (8), 1641-1649
- Haas CN, Heller B (1990) Kinetics of Inactivation of *Giardia Lambia* By Free Chlorine, *Water Res.* 27 (2) 233–238.
- Jyoti KK, Pandit AB (2001) Water Disinfection by Acoustic and Hydrodynamic Cavitation, *Biochem. Eng. J.* 7, 201–212.
- Karafistan A, Çolakoğlu FA (2005) Physical, Chemical and Microbiological Water Quality of the Manyas Lake, Turkey. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 10, 127- 143.
- Labatiuk CW, Belosevic M, Gordon FR (1992) Factors Influencing The Infectivity Of *Giardia Muris* Cysts Following Ozone Inactivation in Laboratory and Natural Waters, *Water Res.* 26 (6) 733– 743.
- Li X, et al. (2016). Gas-liquid Mass Transfer Characteristics with Microbubble Aeration – I. Standard stirred tank. *Chem Eng Technol.*, 39(5), 945–952.
- Loraine G, Chahine G, Hsiao CT, Choi JK, Aley P (2012) Disinfection of Gram-Negative and Gram-Positive Bacteria using DynaJets® Hydrodynamic Cavitating Jets, *Ultrasonics Sonochemistry*, 19 (3), 710–717.
- Mason TJ, Joyce E, Phull SS, Lorimer JP (2003) Potential Uses of Ultrasound in the Biological Decontamination of Water, *Ultrason. Sonochem.* 10, 319-323.
- Mezule L, et al. (2009) .A Simple Technique For Water Disinfection with Hydrodynamic Cavitation: Effect on Survival of *Escherichia coli*. *Desalination*; 248 (1–3), 152–9.

Murcia JJ, Avila-Martinez EG, Rojas H, Navio JA, Hidalgo MC (2017) Study of the *E.coli* elimination from urban wastewater over photocatalysts based on metallized TiO₂. Applied Catalysis B: Environmental. 200, 469-476.

Poulsen LL, Bisgaard M, Son NT, Trung NV, An HM, Dalsgaard A (2012) Enterococcus faecalis Clones in Poultry and in Humans with Urinary Tract Infections, Vietnam. Emerging Infectious Diseases Journal. 18(7), 1096-1100.

Save SS, Pandit AB, Joshi JB (1994) Use of Hydrodynamic Cavitation For Large Scale Microbial Cell Disruption, Chem. Eng. J. 55, B67.

Shafi S, Kamili AN, Shah MA, Parray JA, Bandh SA (2017). Aquatic Bacterial Diversity: Magnitude, Dynamics, and Controlling, Microbial Pathogenesis, 104, 39-47.

Szulzyk-Cieplak J, Ozonok J (2013) The Study of the Impact of Select Parameters of Hydrodynamic Cavitation System on Anthracene and Phenanthrene Degradation Rate in Cavitated Liquid Environment) Annual Set the Environment Protection 15, 996-1010.

TS EN ISO 16266 Water quality- Detection and enumeration of *Pseudomonas aeruginosa* - Method by membrane filtration.

TS EN ISO 6222 Water quality- Enumeration of culturable microorganisms- Colony count by inoculation in a nutrient agar culture medium.

TS EN ISO 7899-2 Water quality - Detection and enumeration of intestinal *Enterococci* - Part 2: Membrane filtration method.

TS EN ISO 9308-1 Water quality- Detection and enumeration of *Escherichia coli* and coliform bacteria Part-1 Membrane filtration method.

Vitenko T, Gashchyn O (2014) Mechanism and Kinetic Regularities of Inactivating Effects of Cavitation on Microorganisms, Chemistry & Chemical Technology. Vol. 8, № 4, 431-440.