

Su Arıtımında Ultrases Uygulaması: Arıtma Yöntemlerine Farklı Bir Yaklaşım

Harika Eylül Esmer^{1*}, Güllü Kaymak², Şeyma Tartar³, Figen Esin Kayhan⁴

¹Marmara Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji
Bölümü, Göztepe, 34722 İstanbul

²Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü,
Serdivan, 54055 Sakarya

³Marmara Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji
Bölümü, Göztepe, 34722 İstanbul

⁴Marmara Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji
Bölümü, Göztepe, 34722 İstanbul

Özet

Su, organizmaların hayatta kalabilmesi için ihtiyaç duyulan etmenlerin başında gelir. İhtiyaç duyulan suyun kalitesi fiziksel, biyolojik ve kimyasal birçok parametre doğrultusunda belirlenir. Gerekli parametre özelliklerini sağlamayan suların arıtılması gerekmektedir. Su arıtımında genel olarak kullanılan yöntemlerden bazıları çözünmüş oksijenle havalandırma, havuz ve filtrelerin kaplanması, ileri oksidasyon süreçleri, ozonlama, bakır sülfat ve potasyum permanganat kullanımı, koagülasyon / yumaklaştırma, baloncuk bölünmesi, koyu çamurun darbeli berraklaştırılması, havalandırma, ozonlu yumaklaştırma ve katalitik süreçtir. Bu yöntemlere ek olarak çevreye daha az zarar veren ve maliyeti düşürmeyi hedefleyen çeşitli yöntemler araştırılmaya başlanmıştır. Son zamanlarda kullanılmaya başlanılan yenilikçi yöntemlerden biri de ultrases uygulamasıdır. Ultrasesin özelliği, dalga frekansının 20.000 Hz (20 kHz) ve üzerinde olmasıdır. Ultrasesin temel çalışma prensibi ise kaviteasyon fenomenine eşlik eden lokal yüksek sıcaklık, basınç ve serbest reaktif radikal türlerin oluşmasıdır. İkincil bir kirliliğe neden olmaması sebebiyle çevreci bir

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Harika Eylül Esmer
(e-posta: harikaeyul@gmail.com)

uygulama olarak adlandırılır. Yüksek etkinlikte bir yöntem olarak kabul görür. Ultrases, alg patlamaları, bakteriyal kontaminasyon ve atık maddelerin sularda ikincil bir kirliliğe yol açmadan arıtımı için en uygun yöntemlerden biridir. Sesin frekansı, gücü ve süresine göre sucul kirliliğe ve alg büyümesine olan etki yüzdesi değişmektedir. Etkinlik oranı aynı zamanda başka temizleyicilerle (H₂O₂, TiO₂, UV, ClO₂, O₃, Fenton süreci v.b.) birlikte kullanımında da genel olarak değişmektedir. Çalışmamızda, geliştirilme sürecinde olan ultrasesin kullanımı incelenmiş ve etkinlik değerlendirilmesi yapılmıştır. Tüm bunların sonucunda, ultrases tekniğinin sudaki alg kontrolü, bakteriyal kontaminasyon ve diğer kirlleticilerin temizliğindeki kullanımının yaygınlaştırılmasının önenebilirliği tartışılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Ultrases, Alg temizliği, Su dezenfeksiyonu, Kavitasyon, Frekans, Su kirliliği

An Application of Ultrasound for Water Treatment: A Different Approach to Treatment Methods

Abstract

It is clear that water is one of the essential substances for living system and it is necessary for human survival on the earth. The quality of water is determined by many factors such as physical, chemical or biological parameters. Water that doesn't meet the requirements should be treated. Some of the major methods used in water treatment are dissolved air flotation, covering of basins and filters, ozonation, coagulation/flocculation, copper sulphate and potassium permanganate, aeration, bubble curtains, pulsed sludge blanket clarification, ozoflotation, catalytic processes, advanced oxidation processes. In addition to these methods, new techniques that are less harmful on environment and cost effective have been studied. Use of ultrasound is one of the recently applied techniques. The main characteristics of the ultrasound is its frequency which is 20,000 Hz (20 kHz) or above. The working

principle of the ultrasound is the local high temperature, pressure and free reactive species accompanied with cavitation phenomenon. Since it doesn't cause a secondary pollution it is named to be an environmental-friendly application. It is also considered to be a highly efficient technique. It is one of the best methods used to avoid secondary water contamination caused by algal blooms, bacterial contamination and waste materials. Efficiency of this method on aquatic pollution and algal growth vary depending on the frequency, power, and applied time. Efficiency rate may vary also depending on the use of this technique along with some other agents (H₂O₂, TiO₂, UV, ClO₂, O₃, Fenton process etc.). In this study, application and efficiency of ultrasound that is in the process of development was discussed. As a result, use of ultrasound technique in aquatic algal control, bacterial contamination and removal of other pollutants were discussed.

Keywords: Ultrasound, Algae cleaning, Water disinfection, Cavitation, Frequency, Water pollution

1. GİRİŞ

Su, yaşam sistemleri için temel ve insanın yaşamını sürdürebilmesi için gerekli bir maddedir (Tansel, 2008; Ambashta ve Silanpaa, 2010; Cook ve Bakker, 2012). Suyun korunması ve belirli kalite standartlarını sağlaması önemlidir. Suyun kalitesi fiziksel, kimyasal ya da biyolojik parametreler gibi birçok faktörden belirlenir. Su kaynakları olarak göl, rezervuarlar, kanal, yer altı suyu, deniz suyu, yağmur suyu, atmosferik su üretimi örnek olarak verilebilir. Bunlar kirletici kaynağına bağlı olarak farklı kirlilikte olabilirler (Huang ve ark., 2008; Ferguson ve ark., 2009; Zhang ve ark., 2009; Ackah ve ark., 2011; Sayyed ve Wagh, 2011; Tiwari, 2011; Zhang ve ark., 2011). Dezenfeksiyon için son aşamada, genellikle klorlama, ozonlama ve ultraviyole radyasyon (UV) kullanılır (Tansel, 2008). Sularının arıtılması sürecinde yüksek maliyet, bazı kirleticilerin ortadan kaldırılmasındaki

yetersizlik, işlemden yer alan sorunlar ve toksik ikincil kirleticilerin üretilmesi gibi sorunlar kısıtlayıcı etkiye sahiptir (Gaya ve Abdullah, 2008; da Silva ve ark., 2013; Abdolali ve ark., 2014). Birçok araştırma bu kısıtlamayı ortadan kaldırmak için pek çok yeni tekniği ele almıştır (Chong ve ark., 2010; Ambashta ve Silanpaa, 2010). Su artıma sürecinde geliştirilen yenilikçi teknolojilerden biri de 20 kHz veya daha yüksek frekansa sahip dalgaların kullanıldığı ultrases (US) uygulamasıdır (Leighton, 1994). Buna 'sonikasyon' adı verilir.

Ultrases dalgalarında enerji, dalgaların yayılmaya başladığı çevredeki moleküllerin titreşmesiyle iletilir ve kavitasyon prensibine göre çalışır (Bello ve ark., 2005; Nunes ve ark., 2014). Kavitasyon, sıvıda çok kısa aralıklarla (milisaniye) meydana gelen, büyüme ve mikrobaloncukların çökmesi veya boşluk oluşturmasıyla karakterize edilen bir olaydır (Shah ve ark., 1999; Torley ve Bhesh, 2007).

'Hot spot' teorisine göre, boşlukların çökmesi sonucu büyük miktarda enerji salınır (Wu ve ark., 2013). Baloncuklar çöktüğünde basınç 500-10,000 atm ve sıcaklık 3000-5000°K olarak ölçülür (Gogate ve ark., 2003; Patil ve ark., 2007). Sonuçta; bu ekstrem koşullarda, su sıcaklık ile ayrışarak hidroksil (OH°) ve hidrojen (H°) radikallerine dönüşeceklerdir (Jiang ve ark., 2002; Merouani ve ark., 2015a). Bu radikaller su içine nüfus eder ve çözünmüş organik bileşikleri okside ederler. Hidrojen peroksit (H₂O₂), OH° ve HO₂° (hidroperoksil) radikallerinin yeniden birleşmesi sonucunda oluşturulur (Merouani ve ark., 2015b).

Ultrasesin uygulanmasıyla, suda oluşturduğu akustik kavitasyon nedeniyle çok sayıda mekanik, akustik, kimyasal ve biyolojik değişimleri meydana getirir (Laborde, 1998; Chua ve ark., 2010; Dharmarathne ve ark., 2012). Bu çalışmada, su arıtımı sürecinde kimyasal kullanmadan çevre dostu bir teknik olarak ultrases tekniğinin uygulanabilirliği ve farklı uygulama etkinlikleri değerlendirilmiştir.

1. Alg Giderimi Sürecinde Ultrasesin Kullanılması

Alglerin aşırı üremesi, suların arıtımında karşılaşılan en büyük problemlerden biridir (Baron ve ark., 2013). Algler geniş yayılım gösteren basit yapılı, tipik ototrof organizmalar olup tek hücreli-den çok hücreliye kadar çeşitli formları bulunmaktadır. Algler, bitkilerden ayrı olarak sınıflandırılan sucul organizmalardır. Alglerin büyümesini etkileyen temel faktörler ısı ve ışıktır (Sayadi ve ark., 2011; Michael ve ark., 2015). Alg türleri; genellikle yeşil algler, kırmızı algler, diatomlar, kahverengi algler ve ipliksi algler olarak sınıflandırılabilir (Bellinger ve Sigeo, 2015). Algler buldukları ortamda çok fazla üredikleri zaman, kötü tat, kötü koku ve toksin salınımı gibi bazı problemlere sebep olabilirler (Angus, 2015; Pino-Querido ve ark., 2015). Doğal sularda alglerin büyüme kontrolü ve sudan arıtılması için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar; çözülmüş oksijenle havalandırma, havuz ve filtrelerin kaplanması, ileri oksidasyon süreçleri, ozonlama, bakır sülfat ve potasyum permanganat kullanımı, koagülasyon/yumaklaştırma, baloncuk bölünmesi, koyu çamurun darbeleri berraklaştırılması, havalandırma, ozonlu yumaklaştırma ve katalitik süreç gibi çeşitli yöntemler vardır (Haarhoff ve Edzwald, 2004; Kommineni ve ark., 2009; Sukacova ve ark., 2015). EPA'nın (Environmental Protection Agency) 2009 yılında 76 kamu kuruluşunda yaptığı bir ankete göre, alg büyümesinin kontrolü için en iyi yöntem mekanik donanımla havuz temizliği, dezenfeksiyon için klorlama, kapalı rezervuarlarda algisidlerin (alg öldürücü pestisitler) eklenmesidir (Kommineni ve ark., 2009; Bishop ve ark., 2015).

Son yıllarda alg büyümesinin kontrolü için yenilikçi yöntemlerden biri de "ultrasonik saçınım" yani ultrases'dir. Ultrases, temeli kavitasyon (suyu baloncuklandırma) olayına dayanan fiziksel yollarla alglerin parçalanmasına dayanan bir metottur (Bello ve ark., 2005; Nunes ve ark., 2014). Kontrol mekanizması ilk önce alglerde serbest radikallerin üretimi, gaz veziküllerinin parçalan-

ması ve fotosentezin inhibisyonu şeklindedir (Lee ve ark., 2002). Bu temizleme yöntemi fiziksel prensiplerle iş görmesi nedeniyle kimyasal maddelerin olumsuz etkilerinden doğayı ve canlıları koruyan çevreci bir metottur.

Hao ve arkadaşlarının yaptığı bir araştırmada beş suspense örnek 5 dakika boyunca 20 kHz sese maruz bırakılmıştır. Güçler ise 0, 20, 40, 60 ve 80 W olarak uygulanmıştır. Bütün örnekler sekiz gün boyunca kültür halinde saklanmıştır. İlk uygulamanın sonucunda başlangıç biyokütlerine göre azalma sırasıyla % 43, 45, 48 ve 48 olarak bulunmuştur. Sekiz gün için de hızlı büyüme etkinliğini inhibe etmiştir. Final biyokütleri göz önünde bulundurulduğunda ise 20 W- %26, 40 W- %40, 60 W-%42 ve 80 W-%44 biyokütle azalmasına neden olmuştur (Hao ve ark., 2004). Başka bir çalışmada kullanılan ultrases uygulamasının frekans derecesi olan 42 kHz; 30, 60, 90, 120 ve 150 saniye boyunca uygulanmıştır. Algleri sırasıyla %8.55, %35,22, % 67.22, %90,67 ve %100 oranında ortadan kaldırmıştır (Mahvi ve Dehghani, 2005). Ultrases uygulaması deneyleri genellikle bir siyanobakteri türü olan *Microcystis aeruginosa* üzerinde odaklanmaktadır. Bazı çalışmalarda ultrases frekans aralığı 20 kHz ile 1,7 MHz arasıdayken öldürme oranının %90 civarında olduğu rapor edilmiştir (Tang ve ark., 2003; Hao ve ark., 2004). 2011 yılında yapılan bir araştırmada *Microcystis* türlerinin kirli sudan uzaklaştırılması için ultrases-ultraviyole ortak etkisi ve uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Sonuç birlikte uygulama sürecinin Mikrosistins-LR ve Mikrosistins-RR'deki 20kHz'lik frekansta ortadan kaldırma etkisinin ilk 20 dakikada sırasıyla %20 ve %18; 120 dakikada yaklaşık olarak %100 olduğunu göstermiştir (Qiu ve ark., 2011). Purcell ve arkadaşlarının *Aphanizomenon flos-aquae* ile yaptığı bir çalışmada 20 kHz'den başlayarak 582 kHz, 862 kHz ve 1144 kHz şeklinde artan frekans uygulamışlardır. Bu uygulama sonrası siyanobakterilerin ortadan kaldırılma oranları sırasıyla 48±5%, 72±4%, 91±3% ve 93±7% şeklinde gözlenmiştir (Purcell ve ark., 2013).

Bunların tersine bazı alg türlerinin ultrases uygulaması sonucunda artış gösterdiği rapor edilmiştir. Örneğin yine bazı *Microcystis* türleri 28 kHz'lik 20 W'lık ultrases uygulaması boyunca sayıları %67 oranında artmıştır. Benzer biçimde *Spirulina platensis* türüne 11 gün boyunca 12 dakikalık titreşimler şeklinde uygulanan 1.7 MHz frekanslı ultrases uygulamasından sonra sayılarında %60 oranında artış olduğu belirtilmiştir (Tang ve ark., 2003). Bozhi ve arkadaşları tarafından yapılan bir laboratuvar çalışmasında, *Microcystis* türlerinin ultrasonik çalışma alanından etkilenmesi incelenmiştir. Üç numunenin çözeltisi (2 g/L), 20 kHz'lik, 0, 30, 60 ve 90 W'lık farklı güçlerdeki ultrases uygulamasına 5, 10, 15 ve 20 dakikalık çeşitli sürelerle maruz bırakılmışlardır. En yüksek yok oluş 90 W+20 dakikalık uygulama sonucu ortaya çıktığı açık bir şekilde belirtilmiştir (Bozhi ve ark., 2005).

İngiltere'de yapılan bir araştırmadaysa yeşil alg, diatom ve siyanobakterilerin karışık bulunduğu 700 litrelik bir gölette 28 kHz ve 20 W'lık yüzer transdüser kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda büyüme oranları diatomlarda %60, yeşil alglerde %41 azalmıştır. Fakat bir siyanobakteri türü olan *Microcystis sp.*'de ise %67 artış gözlenmiştir (Inman, 2004). Aynı koşulları sağlandığı ikinci bir çalışmada ise, yine aynı frekans ve güç uygulanmış fakat hacim 700 L'den 250 L'ye düşürülmüştür. Bunun sonucundaysa filamentli siyanobakteri türü olan *Aphanizomenon sp.*'de %49, yeşil alg olan *Scenedesmus sp.*'de %60 azalmış büyüme oranı belirlenmiştir.

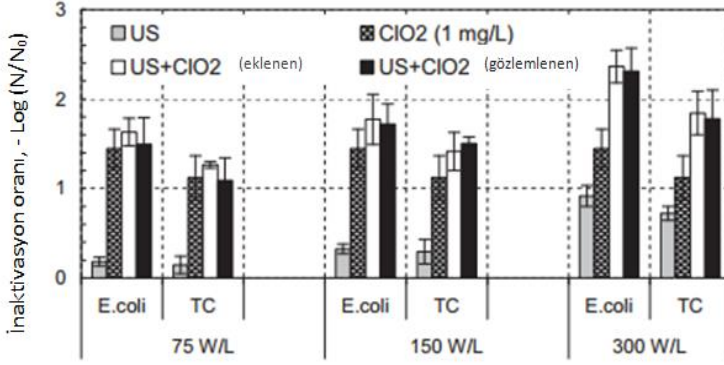
2. Su Dezenfeksiyonu Sürecinde Ultrasesin Kullanılması

Su dezenfeksiyonu uygulamalarında mikroorganizmaları yok etmek için bazı temel yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar ultraviyole, klor, hipoklorit, kloraminler, klorindioksit, brom ve ozon gibi kimyasal maddelerdir (Pozos ve ark., 2004; Shah ve ark., 2015). Bu maddelerin etki sıralamaları şu şekildedir: Ozon \geq Klor > Brom > Klorindioksit > Hipoklorit > Kloramin (Masschelein, 2002). Su arıtma endüstrisindeki gelişmeler, daha çevreci

sonuçları olan teknolojiler yardımıyla, daha az etkili kimyasalla suyu arıtma ile trihalometanlar ve haloasetik asit gibi dibromo fenollerden (DBPs) doğayı koruma eğilimindedir. Bu yüzden suların arıtımında ultrases yöntemi pek çok araştırmacı tarafından daha çevreci bir yöntem olarak kabul görmektedir (Toor ve Mohseni, 2007; Gomez-Lopez ve ark., 2009; Wu ve ark., 2013; Michael ve ark., 2015).

Ultrases uygulaması mikroorganizmaları akustik kaviteasyona bağlı olarak etkisiz hale getirebilir. İlk basamak, ultrases tarafından oluşturulan hidroksil radikallerine canlının kimyasal atakta bulunmasıdır. İkincisi basamak, yüksek basınç ve sıcaklık sonucu baloncukların çökmesinin sebep olduğu hücre ölümleridir. Üçüncü basamak ise, mikroakışın meydana getirdiği kesme kuvvetlerinin artmasıyla bakteri hücrelerinin yıkıma uğratılmasıdır. Böylece, ultrases uygulaması nedeniyle hücre membranı yırtılırken, kimyasal oksitleyiciler hücreye nüfuz edebilir ve mikroorganizma yapılarını yıkabilir (Joyce ve ark., 2003).

Ultrases yöntemi birçok çalışmada hem tek başına arıtmasıyla hem de ultraviyole, klorin veya ozon gibi su dezenfeksiyonunda kullanılan yöntemlerle birlikte ya da bunlardan önce uygulanması gibi farklı ortam koşullarında da incelenmiştir. 20 kHz ve 850 kHz'lik frekanslı *E.coli* inaktivasyonu için yapılan ön-arıtma ve simülasyon sürecinde sodyum hipokloritin etkiyi artırdığı belirlenmiştir. 850 kHz'lik ön-arıtma uygulamasının 1 dakikalık maruz bırakmada oldukça etkili olduğu ve 20 kHz'lik simülasyon uygulaması klorlama kullanılarak kısa sürede daha iyi bir arıtma sağladığı belirlenmiştir (Duckhouse ve ark., 2004). Bir başka çalışmada ultrasonik ön-arıtmanın etkisi 500 W'lık güç ve 20 kHz'lik frekansta klordioksit (ClO₂) dezenfeksiyonuna etkisi incelenmiştir. Bir biyosit olarak kullanılan klordioksit ile ultrasesin birlikte uygulamasındaki yüksek inaktivasyon farkı açık bir şekilde görülmüştür (Ayyıldız ve ark., 2011).

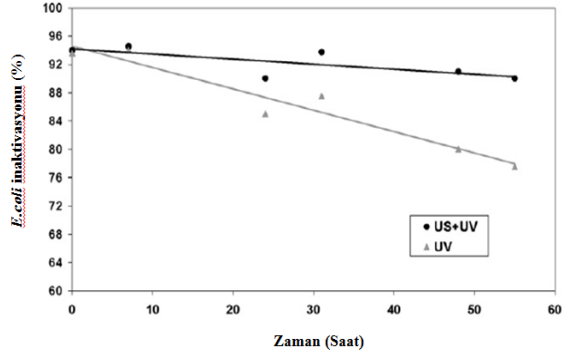


Şekil 2.1. *E.coli* ve Total Koliform (TC) üzerine Ultrases, CIO₂'nin ayrı ayrı ve birlikte etkisi (Ayyıldız ve ark., 2011)

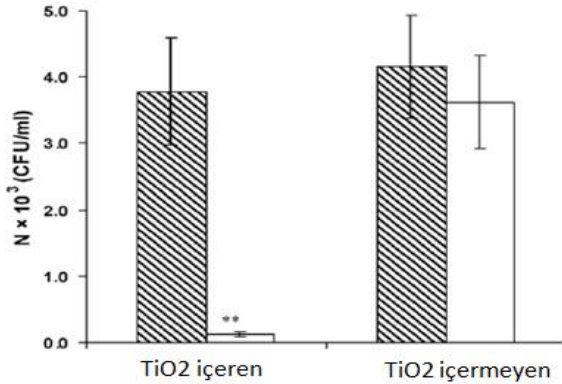
Naddeo ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada UV ve ultrases uygulamalarının su dezenfeksiyonuna olan etkilerini gözlemlemişlerdir. Su kirliliği belirteci olarak *E.coli* miktarları göz önünde bulundurmışlardır. Deney düzeneği olarak iki farklı reaktör kullanmışlardır. Reaktör 1 de 39 kHz 350 W gücünde bir ultrases cihazı, buna ek olarak da 1656 mJ/cm² dozunda UV-C uygulanmıştır. Reaktör 2'de ise yalnızca aynı dozda UV-C uygulanmıştır. Her iki uygulama hacmi de 80 L olarak belirlenmiştir. Sonucunda *E.coli* inaktivasyonu US+UV kullanımında daha fazla miktarda olmuştur. Bunun nedenlerinden biri de UV lambasının süre geçtikçe kirlenmesi olarak gösterilmiştir. Ultrases cihazının da yer aldığı UV lambası ise kavitasyon prensibiyle sürekli olarak temiz kalmıştır (Naddeo ve ark., 2009).

Yapılan bir çalışmada 36 kHz frekansta 200 W'lık güçte yürütülen *Legionella* inaktivasyonu için ultrases uygulaması 1.0 g/ml titanyum dioksit (TiO₂) olan ve hiç olmayan ortamlar ile değerlendirilmiştir. 30 dakikalık uygulama sonucunda, TiO₂'siz ortamda *Legionella* hücrelerinin sadece %18'inin inaktivasyonu gerçekleşmesine rağmen TiO₂ içeren ortamda %97'lik inaktivasyon görülmüştür. Aynı çalışmada TiO₂ ve Al₂O₃'in *Legionella* hücreleri üzerindeki dakikalık etkilerine bakılmıştır. Bunun sonucunda

Al_2O_3 'in sonokatalitik etki mekanizmasının daha güçlü olduğu belirlenmiştir (Shimizu ve ark., 2010).



Şekil 2.2. E.coli inaktivasyonunda UV ve US+UV kullanımının inaktivasyon oranına etkisi (Naddeo ve ark., 2009)



Şekil 2.3. TiO_2 in *Legionella* hücrelerine olan etkisi. (Gölgeli sütunlar uygulama öncesi; açık renkli sütunlar ise 30dk'lık ultrases uygulaması ve 1.0g/ml derişimlerde TiO_2 uygulamalarını göstermektedir) (Shimizu ve ark., 2010).

Pseudomonas fluorescens biyofilm oluşturmasıyla ilgili yapılan bir çalışmada ozon ve US'in birlikte ve ayrı ayrı olan etkileri incelenmiştir. Başlangıçta ozonun uygulanmadığı 14 günlük bir uygulama yapılmıştır. Dört haftalık deneye bakıldığında ise; ilk hafta sadece 20 kHz'lik ultrases uygulanmış olup, ozon ilave edilmemiştir. İkinci haftadan itibaren günde 3 kez 1'er dakika uygulanan ultrasesi takiben 2.2 mg/l konsantrasyonda ozon ilavesi yapılmıştır. 3. ve 4. haftalarda tüm koşullar sabitken ozon konsantrasyonu 2.8 mg/l'ye çıkarılmıştır. Sonuçta ultrases ve ozonun birlikte etkisinin tek başına olan etkisinden fazla olduğu belirlenmiştir (Bott ve Tianqing, 2004).

Tablo 2.1. 14 günlük ultrases uygulaması sonucu biyofilm kalınlığında meydana gelen değişimler (Bott ve Tianqing, 2004)

14 günlük uygulama sonucu biyofilm kalınlığı

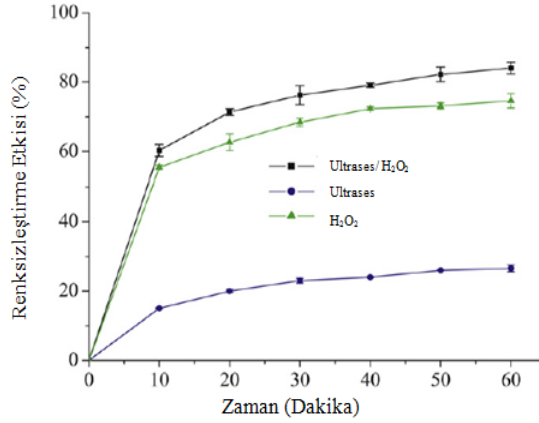
Ultrases yoğunluğu	Ortalama biyofilm kalınlığı μm			
	Uygulama Öncesi	İlk uygulama sonrası	İkinci uygulama sonrası	Üçüncü uygulama sonrası
%20	24	23	19	16

Tablo 2.2. 28 günlük ultrases ve ozon uygulaması sonucu biyofilm kalınlığında meydana gelen değişimlerin karşılaştırılması (Bott ve Tianqing, 2004)

28 günlük uygulama boyunca değişen biyofilm kalınlığı

Hafta	Farklı tüpler için biyofilm kalınlığı μm	
	Sadece ozon	Ozon+ Ultrases
2	26, 18, 17, 18	9, 8
3	43, 15, 24, 20	11, 12
4	111, 49, 60, 51	7, 5

Xie ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmalarında *Cyclocarya paliurus* (Batal.) Iljinskaja polisakkaritlerinin renk giderimi için ultrases, H₂O₂ ve birlikte kullanımlarını uygulamışlardır. Ultrases için 40 kHz ve 100 W güç belirlenmiştir. Uygulama sonucunda en düşük etkiyi ultrases tek başına gösterirken, en yüksek etkiyi ultrases+H₂O₂ birlikteliği sağlamıştır (Xie ve ark., 2011).



Şekil 2.4. Farklı renksizleştirme yöntemlerinin karşılaştırılması; Ultrases, H₂O₂ ve Ultrases, H₂O₂. (*Cyclocarya paliurus* (Batal.) Iljinskaja polisakkaritlerinin konsantrasyonu, 0.5 mg/ml; H₂O₂ , 0.623 mM; Sıcaklık 40°C; Uygulama Süresi 60 dakika) (Xie ve ark., 2011)

Su dezenfeksiyon sürecindeki, farklı ultrases uygulaması çalışmalarındaki uygulama koşulları ve önemli sonuçları Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Su dezenfeksiyonu sürecinde kullanılan çeşitli ultrases uygulamaları yapılan diğer çalışma örnekleri

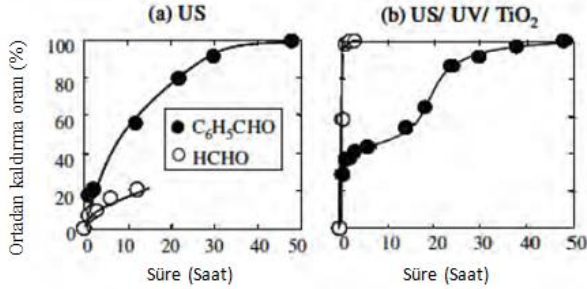
Dezenfeksiyon süreci	İnaktif Mikroorganizma	İşlem Koşulları	Uygulama Süresi (Dakika)	Giderme etkisi (%)	Kaynak
Ultrases	<i>Cryptosporidium parvum</i> oositleri	1 MHz, 4.1 W	2, 4	Sırasıyla 87.8 ve 94.02	Olvera ve ark., 2008
Ultrases	<i>E.coli</i>	24 kHz, 160W	120	92.3	Paleologou ve ark., 2007
US +25-50mg/l H ₂ O ₂	<i>E.coli</i>	24 kHz, 160W	120	99.99	Paleologou ve ark., 2007
Ultrases	<i>E.coli</i>	42 kHz, 70 W	1, 15, 30, 45, 60, 75, 90	0, 78.3, 87, 98, 99.6, 99.7, 99.8	Dehghani, 2005
Ultrases	<i>E.coli</i> XL1-Blue	27.5 kHz, 42 W/ ml	3	99	Furuta ve ark., 2004
US + 1mg/l TiO ₂	<i>E.coli</i>	39 kHz, 200 W	30	98	Dadjour ve ark., 2005
US + Elektroliz	<i>Klebsiella pneumonia</i>	40 kHz	15	100	Joyce ve ark., 2003
Ultrases	<i>Bacillus subtilis</i>	27 kHz, 300 W	60	96	Mason ve ark., 2003

3. Diğer Kirleticilerin Arıtılmasında Ultrasesin Kullanılması

Ultrasesin sudaki çeşitli kirleticilerin arıtılmasında kullanılması bazı araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Bir dönemler tarımda kullanımın yaygın olması nedeniyle sudan DDT'nin giderilmesi için Thangavadivel ve arkadaşları bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada başlangıç DDT (1,1,1-trikloro-2,2-bis (p-klorofenil) etan) konsantrasyonu 8 mg/L olan suyu düşük güç, yüksek frekans (1.6 MHz, 150 W/L) ultrases uygulamasıyla arıtmışlardır. 45 dakika süren uygulamadan sonra, konsantrasyon 1.2 mg/L'ye ve 90 dakikalık uygulamadan sonra ise 1 mg/L'ye düşmüştür (Thangavadivel ve ark., 2009).

Klorin içeren suların kanser yaptığı bilgisine ulaşıldıktan sonra birçok bilim adamı içme sularından klorlu bileşiklerin giderilmesi gerektiğini düşünmüşlerdir. Bu çalışmalardan biri de Guo ve arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Araştırmada başlangıç konsantrasyonları sırasıyla 15.79, 10.43, 3.19 ve 4.75 µg/l olan dört halometanın (CHCl₃, CCl₄, HBrCl₂ ve CHBr₂Cl) giderilmesi için 20 kHz frekans ve 500 W güçlü ultrases uygulanmış ve başlangıç konsantrasyonundan çok daha düşük seviyelerde içme suyu elde etmişlerdir. Sonuç olarak 1 saatlik ultrases uygulamasından sonra, CHCl₃'nin % 48.2'i, CCl₄'in % 64.6'sı, CHBrCl₂'in % 58.3'ü ve CHBr₂Cl'in % 54.6'sı giderilmiştir (Guo ve ark., 2006).

Bir başka çalışmada benzaldehit (C₆H₅CHO) ve formaldehit (HCHO) gibi iki aldehit bileşenin degradasyonu araştırılmıştır. Başlangıç konsantrasyonu yaklaşık olarak 8.2×10^{-4} mol/L olan bu bileşiklere uygulanan ultrases 200 kHz frekans ve 200 W güçtedir. Çalışma aynı zamanda birleşik uygulama ultrases + ultraviyole + TiO₂ şeklinde incelenmiştir. TiO₂'in konsantrasyonu 1 g/L'dir ve ultraviyole temel olarak 365 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Şekil 3.1'e göre, HCHO'nun ultrasesle ortadan kaldırılma oranının C₆H₅CHO'dan daha az olduğu oldukça açıktır (Sekiguchi ve ark., 2011).

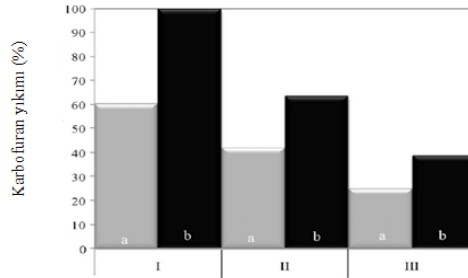


Şekil 3.1. Aldehitlerin ortadan kaldırılma koşulları (a) ve (b). (Başlangıç aldehit konsantrasyonu 8.2×10^{-4} mol/l) (Sekiguchi ve ark., 2011).

Mendez-Arriaga ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir ilaç olan, ticari ismi ibuprofen (IBP) olarak bilinen 2-[3-(2-metilpropil)fenil] propanoik asit'in degradasyonu için ultrasesi 300 kHz frekansta ve 80 W güç olarak uygulanmıştır. Başlangıç konsantrasyonu yaklaşık olarak 21 mg/L olan ve 30 dakika boyunca ultrases uygulamasına maruz bırakılan IBP'nin %98'lik kısmını yıkmayı başarmışlardır (Mendez-Arriaga ve ark., 2008). NH₄-N, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve diğer bazı kirleticilerin bulunduğu az kirlenmiş ham suda ultrases kombinasyonu araştırılmıştır ve ilk olarak zeolit, granüler aktif karbon (GAC) filtresinden geçirilmiştir. Zeolit GAC filtresinin 30 dakikalık hidrolik bekletme süresini takiben 20 kHz frekanslı sürekli ultrases uygulaması, 8 dakika uygulama 2 dakika bekletme şeklinde 30 dakika boyunca yapılmıştır. Sonuçlarda NH₄-N, KOİ'nin yok edilme oranı, renklilik ve bulanıklığı yaklaşık olarak sırasıyla %96.5, %54.24, %91 ve %88 değerleri görülmüştür. Bu değerler ultrases uygulaması olmadığı zaman olan değerlerden daha iyidir (Yang ve Peng, 2011). Sudaki 2-kloropiridinin ultraviyole lambası (254 nm, 110 W) ve ultrases uygulamasıyla yıkılması da bir başka çalışmada ele alınmıştır. Ultrases sabit 20 kHz'lik frekansta ve 250 W güçten daha yüksek çeşitli güçlerde denenmiştir. 2-kloropiridinin 30 dakikalık ultrasonik uygulamaya bırakılmasının

sonucunda yaklaşık % 90'ının yıkıldığı gösterilmiştir (Stapleton ve ark., 2005).

Asidik şartlar altında Fe^{+2} iyonunun hidrojen peroksit ile reaksiyonuna dayanan fenton prosesi ile birlikte ultrasesin birlikte kullanımını değerlendirmek için de pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan biri olan; Ying-Shih ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada fenton ve fenton+ultrases uygulamasının karbofuran'ın yıkımı üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda farklı konsantrasyonlarda yapılan tüm deneylerde fenton+ultrases uygulamasının en yüksek verimi gösterdiği belirlenmiştir (Ying-Shih ve ark., 2010).



Şekil 3.2. Ultrases/Fenton prosesinin karbofuran yıkımına olan etkisinin başlangıç konsantrasyonuna göre belirlenmesi [Fe^{2+} : 10 mg/L, H_2O_2 : 100 g/L; (a) Fenton prosesi; (b) Ultrases+ Fenton prosesi; Karbofuran konsantrasyonu I: 20 mg/L; II: 100 mg/L; III: 200 mg/L] (Ying-Shih ve ark., 2010)

4. Sonuç

Ultrases etkisinin temel amacı, kavitasyon fenomenine eşlik eden lokal yüksek sıcaklık, basınç ve serbest reaktif radikal türlerin oluşmasıdır. Sesle parçalama sistemlerinde hidroksil radikallerin miktarı yıkım etkisiyle doğrudan ilgilidir. Ultrases yönteminin uygulandığı pek çok deney maliyetinden dolayı laboratuvar orta-

mında yürütülmüştür. Fakat aslında bu teknoloji birçok açıdan algileri ortadan kaldırmada yüksek etkinlikte kabul görmektedir. Ultrases yönteminin maliyeti aynı zamanda güneş enerjisinden (UV kullanımı yoluyla) faydalanarak azaltılabilir. Güç yoğunluğu, frekans ve uygulama süresi gibi pek çok parametre sudaki ultrases uygulamasını etkileyebilir. Her bir özel ultrases uygulamasında deneysel sonuçlarda optimum güç yoğunluğu, frekans ve uygulama süresinin belirlenmesi maliyeti ve uygulamayı etkiler. Sonuç olarak, ultrases tekniğinin sudaki ve çevredeki diğer kirletici parametrelerinin temizliğinde kullanımının yaygınlaştırılması önerilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma FEN-C-YLP-121214-0389 No'lu Marmara Üniversitesi BAPKO Birimi tarafından desteklenen yüksek lisans tez projesinin bir bölümüdür.

Kaynakça

- Abdolali A., Guo W.S., Ngo H.H., Chen S.S., Nguyen N.C., Tung K.L., 2014. Typical lignocellulosic wastes and by-products for biosorption process in water and wastewater treatment: a critical review. *Bioresource technology*, 160, 57-66. doi:10.1016/j.biortech.2013.12.037.
- Ackah M., Agyemang O., Anim A.K., 2011. Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation: the case study of Teiman-Oyarifa Community, Ga East Municipality, Ghana. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 1(3-4): 186-194.
- Ambashta R.D, Sillanpaa M., 2010. Water purification using magnetic assistance: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 180: 38-49.

- Angus, T.H., 2015. Examining the Toxicity, Exposure, and Regulatory Approach to Potential Human Health Risks of the Algal Toxin Domoic Acid. Graduate Doctoral Dissertations. 201.
- Ayyıldız O., Sanik S., İleri B., 2011. Effect of ultrasonic pretreatment on chlorinedioxide disinfection efficiency. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18: 683-688.
- Baron J.S., Hall E.K., Nolan B.T., Finlay J.C., Bernhardt E.S., Harrison J.A., Chan F., Boyer E. W., 2013. The interactive effects of excess reactive nitrogen and climate change on aquatic ecosystems and water resources of the United States. *Biogeochemistry*, 114(1-3), 71-92. doi: 10.1007/s10533-012-9788-y.
- Bellinger E.G., Sigeo D.C., 2015. *Freshwater Algae: Identification, Enumeration and Use as Bioindicators*. John Wiley & Sons. 2nd edition. 1-42. ISBN: 1118917138, 9781118917138.
- Bello A.R.C., Angelis D.F., Domingos R.N., 2005. Ultrasound Efficiency in Relation to Sodium Hypochlorite and Filtration Adsorption in Microbial Elimination in a Water Treatment Plant. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48: 739-745.
- Bishop W.M., Willis B.E., Horton C.T., 2015. Affinity and Efficacy of Copper Following an Algicide Exposure: Application of the Critical Burden Concept for *Lyngbya wollei* Control in Lay Lake, AL. *Environmental Management*. Volume 55(4): 983-990.
- Bott T.R., Tianqing L., 2004. Ultrasound enhancement of biocide efficiency, *Ultrasonics and Sonochemistry*, Vol. 11, pp. 323-326.

- Bozhi M., Yifang C., Hongwei H., 2005. Influence of ultrasonic field on microcystins produce by bloom forming algae. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 41: 197-201.
- Chong M.N., Jin B., Chow C.W.K., 2010. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review. *Water Research*, 44: 2997-3027.
- Chua S.Y., Adul Latif P., Ibrahim S., 2010. Effect of ultrasonic irradiation on COD and TSS in raw rubber mill effluent. *Environment Asia*, 3(special issue): 32-35.
- Cook C., Bakker K., 2012. Water security: debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change*, 22(1), 94-102.
- da Silva A.J.C., dos Santos E.V., de Oliveira Morais C.C., Martínez-Huitle C.A., Castro S.S.L., 2013. Electrochemical treatment of fresh, brine and saline produced water generated by petrochemical industry using Ti/IrO₂-Ta₂O₅ and BDD in flow reactor. *Chemical Engineering Journal*, 233, 47-55.
- Dadjour M.F., Ogino C., Matsumura S., Shimizu N., 2005. Kinetics of disinfection of *Escherichia coli* by catalytic ultrasonic irradiation with TiO₂. *Biochemical Engineering Journal*, 25: 243-248. doi: 10.1016/j.bej.2005.04.028
- Dehghani M.H., 2005. Effectiveness of ultrasound on the destruction of *E. coli*. *American Journal of Environmental Sciences*, 1(3): 187-189.
- Dharmarathne L., Ashokkumar M., Grieser F., 2012. Reaction of ferricyanide and methyl viologen with free radicals produced by ultrasound in aqueous solutions. *The Journal of Physical Chemistry A*, 116(30), 7775-7782. doi: 10.1021/jp3037507.

- Duckhouse H., Mason T.J., Phull S.S., 2004. The effect of sonication on microbial disinfection using hypochlorite. *Ultrasonics Sonochemistry*, 11: 173-176.
- Ferguson C.M, Charles K., Deere D., 2009. Quantification of microbial sources in drinking-water catchments. *Critical Review in Environmental Science and Technology*, 39(1): 1-40.
- Furuta M., Yamaguchi M., Tsukamoto T., Yim B., Stavarache C.E., Hasiba K., Maeda Y., 2004. Inactivation of *Escherichia coli* by ultrasonic irradiation. *Ultrasonics Sonochemistry* 11: 57-60. doi: 10.1016/S1350-4177(03)00136-6
- Gaya U.I., Abdullah A.H., 2008. Heterogeneous photocatalytic degradation of organic contaminants over titanium dioxide: a review of fundamentals, progress and problems. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 9: 1-12.
- Gogate P.R., Wilhelm A.M., Pandit A.B., 2003. Some aspects of the design of sonochemical reactors. *Ultrason. Sonochem*, 10: 325-330.
- Gomez-Lopez M.D., Bayo J., Garcia-Cascales M.S., 2009. Decision support in disinfection Technologies for treated wastewater reuse. *Journal of Cleaner Production*, 17(16): 1504-1511.
- Guo Z.H., Gu C.H., Zheng Z.H., 2006. Sonodegradation of halo-methane mixtures in chlorinated drinking water. *Ultrasonics Sonochemistry*, 13: 487-492.
- Haarhoff J., Edzwald J.K., 2004. Dissolved airflotation modeling: Insights and short comings. *Journal of Water Supply Research and Technology - AQUA*, 53: 127-150.

- Hao H., Wu M., Chen Y., 2004. Cyanobacterial bloom control by ultrasonic irradiation at 20 kHz and 1.7 MHz. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 39: 1435-1446.
- Huang X., Sillanpaa M., Duo B., 2008. Water quality in Tibetan Palteau: metal contents of four selected rivers. *Environmental Pollution*, 156(2): 270-277.
- Inman D., (2004) The use of ultrasound in the treatment of algae. Master Thesis, Cranfield University.
- Jiang Y., Petrier C.H., Waite T.D., 2002. Effect of pH on the ultrasonic degradation of ionic aromatic compounds in aqueous solution. *Ultrasonics Sonochemistry*, 9: 163-68.
- Joyce E., Phull S.S., Lorimer J.P., 2003. The development and evaluation of ultrasound for the treatment of bacterial suspensions. A study of frequency, power and sonication time on cultured *Bacillus* species. *Ultrasonics Sonochemistry* 10: 315- 318.
- Kommineni S., Amante K., Karnik B., 2009. Strategies for Controlling and Mitigating Algal Growth within Water Treatment Plants. Water Research Foundation, Denver, Colorado, USA.
- Laborde J.L., 1998. Acoustic cavitation field prediction at low and high frequency ultrasounds. *Ultrason Sonochem*, 36: 581-587.
- Lee T.J., Nakano K., Matsumura M., 2002. A novel strategy for cyanobacterial bloom control by ultrasonic irradiation. *Water Science and Technology*, 46: 207-215.

- Leighton T.G., 1994. *The Acoustic Bubble*. Academic Press, San Diego, USA.
- Mahvi A.H., Dehghani M.H., 2005. Evaluation of ultrasonic technology in removal of algae from surface waters. *Pakistan Journal of Biological Science*, 8: 1457-1459.
- Mason T.J., Joyce E., Phull S.S., Lorimer J.P., 2003. Potential uses of ultrasound in the biological decontamination of water. *Ultrasonics Sonochemistry*, 10: 319-323. doi:10.1016/S1350-4177(03)00102-0
- Masschelein W.J., 2002. *Ultraviolet Light in Water and Wastewater Sanitation*. Lewispublisher, USA.
- Mendez-Arriaga F., Torres-Palma R.A., Petrier C., 2008. Ultrasonic treatment of water contaminated with ibuprofen. *Water Research*, 42: 4243-4248.
- Merouani S., Hamdaoui O., Rezgui Y., Guemini M., 2015a. Computer simulation of chemical reactions occurring in collapsing acoustical bubble: dependence of free radicals production on operational conditions. *Research on Chemical Intermediates*, 41(2), 881-897. doi: 10.1007/s11164-013-1240-y.
- Merouani S., Hamdaoui O., Rezgui Y., Guemini M., 2015b. Sensitivity of free radicals production in acoustically driven bubble to the ultrasonic frequency and nature of dissolved gases. *Ultrasonics sonochemistry*, 22, 41-50. doi:10.1016/j.ultsonch.2014.07.011.
- Michael C., del Ninno M., Gross M., Wen Z., 2015. Use of wavelength selective optical light filters for enhanced microalgal growth in different algal cultivation systems. *Bioresource*

Technology, 179: 473–482.
doi:10.1016/j.biortech.2014.12.075.

Naddeo V., Landi M., Belgiorno V., Napoli R.M.A., 2009. Wastewater disinfection by combination of ultrasound and ultraviolet irradiation, *Journal of Hazardous Materials*, 168, 925-92.

Nunes M.A., Mello P.A., Bizzi C.A., Diehl L.O., Moreira E.M., Souza W.F., Emanuela C., Gaudino E.E, Cravotto G., Flores E.M., 2014. Evaluation of nitrogen effect on ultrasound-assisted oxidative desulfurization process. *Fuel Processing Technology*,126,521-527.doi:10.1016/j.fuproc.2014.05.031.

Olvera M., Eguía A., Rodríguez O., Chong E., Pillai S.D., Ilan-govan K., 2008. Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts in water using ultrasonic treatment. *Bioresource Technology*, 99: 2046-2049. doi: 10.1016/j.biortech.2007.02.051

Paleologou A., Marakas H., Xekoukoulotakis N.P., Moya A., Vergara Y., Kalogerakis N., Gikas P., Mantzavinos D., 2007. Disinfection of water and wastewater by TiO₂ photocatalysis, sonolysis and UV-C irradiation. *Catalysis Today*, 129: 136-142. doi:10.1016/j.cattod.2007.06.059

Patil M.N., Pandit A.B., 2007. Cavitation - a novel technique for making stable nanosuspensions. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14: 519-530.

Pino-Querido A., Álvarez-Castro J.M., Guerra-Varela J., Toro M.A., Vera M., Pardo B.G., Fuentes J., Blanco J., Martínez P., 2015 Heritability estimation for okadaic acid algal toxin accumulation, mantle color and growth traits in Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*). *Aquaculture* 440: 32–39. doi:10.1016/j.aquaculture.2015.01.032.

- Pozos N., Scow K., Wuertz S., 2004. UV disinfection in a model distribution system: biofilm growth and microbial community. *Water Resources*, 38: 3083-3091.
- Purcell D., Parsons S.A., Jefferson B., 2013. The influence of ultrasound frequency and power, on the algal species *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Scenedesmus subspicatus* and *Melosira* sp., *Environmental Technology*, 34:17, 2477-2490, doi: 10.1080/09593330.2013.773355.
- Qiu Y.J., Yang F., Rong F., 2011. Degradation of Microcystins by UV in the Presence of Low Frequency and Power Ultrasonic Irradiation. *Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*, 2011 Third International Conference.
- Sayadi M.H., Ghatnekar S.D., Kavian M.F., 2011. Algae a promising alternative for biofuel. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 1(2): 112-124.
- Sayed M.R.G., Wagh G.S., 2011. An assessment of groundwater quality for agricultural use: a case study from solid waste disposal site SE of Pune, India. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 1(3-4): 195-201.
- Sekiguchi K., Sasaki C., Sakamoto K., 2011. Synergistic effects of high-frequency ultrasound on photocatalytic degradation of aldehydes and their intermediates using TiO₂ suspension in water. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18: 158-163.
- Shah A.D., Liu Z.Q., Salhi E., Hofer T., Werschund B., von Gunten U., 2015. Formation of disinfection by products during balast water treatment with ozone, chlorine, and per-

ceticacid: influence of water quality parameters. Environ. Sci.:WaterRes. Technol.1: 465-480. doi: 10.1039/C5EW00061K.

Shimizu N., Ninomiya N., Ogino C., 2010. Potential uses of titaniumdioxide in conjunction with ultrasound for improved disinfection. Biochemical Engineering Journal, 48: 416-423.

Stapleton D.R., Emery R.J., Smith C., 2005. Degradation of 2-chloropyridine in water by ultraviolet and ultrasound irradiation. International Journal of Environment and Pollution, 28: 87-98.

Sukacova K., Trtilek M., Rataja T., 2015. Phosphorus removal using a microalgal biofilm in a new biofilm photobioreactor for tertiary wastewater treatment. Water Research. 71: 55-63. doi:10.1016/j.watres.2014.12.049.

Tang J., Wu Q., Hao H., 2003. Growth inhibition of the cyanobacterium *Spirulina platensis* (arthrospira) by 1.7 MHz ultrasonic irradiation. Journal of Applied Phycology, 15: 37-43.

Tansel B., 2008. New technologies for water and wastewater treatment: A survey of recent patents. Recent Patents on Chemical Engineering, 1: 17-26.

Thangavadivel K., Megharaj M., Smart R., 2009. Application of high frequency ultrasound in the destruction of DDT in contaminated sand and water. Journal of Hazardous Materials, 168: 1380-1386.

Tiwari R.N., 2011. Assessment of groundwater quality and pollution potential of Jawa Block Rewa District, Madhya Pradesh, India. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 1(3-4): 202-212.

- Toor R., Mohseni M., 2007. UV-H₂O₂ based AOP and its integration with biological activated carbon treatment for DBP reduction in drinking water. *Chemosphere*, 66(11): 2087-2095.
- Torley P., Bhesh B., 2007. Ultrasound in food processing and preservation. In: Rahman MS (ed) *Handbook of food preservation*, 2nd edn. CRC Press, Boca Raton. 713–739.
- Wu T.Y., Guo N., Teh C.Y., Hay J.X.W., 2013. Theory and fundamentals of ultrasound. In *Advances in ultrasound technology for environmental remediation*. Springer Netherlands, 5-12. doi: 10.1007/978-94-007-5533-8-2.
- Xie J.H., Shen M.Y., Nie S.P., Li C., Xie M.Y., 2011. Decolorization of polysaccharides solution from *Cyclocarya paliurus* (Batal.) Iljinskaja using ultrasound / H₂O₂ process. *Carbohydrate Polymers*, 84: 255–261. doi:10.1016/j.carbpol.2010.11.030.
- Yang Y., Peng D., 2011. Using Combined Ultrasound and Zeolite-GAC Filtration Lab-Scale Process for Pre- Treating Micropolluted Water. *Bioinformatics and Biomedical Engineering, (iCBBE) 2011 5th International Conference*.
- Ying-Shih M., Chi-Fanga S., Jih-Gaw L., 2010. Degradation of carbofuran in aqueous solution by ultrasound and Fenton processes: Effect of system parameters and kinetic study. *Journal of Hazardous Materials* 178 320–325. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.01.081.
- Zhang G., Zhang P., Fan M., 2009. Ultrasound-enhanced coagulation for *Microcystis aeruginosa* removal. *Ultrasonics Sonochemistry*, 3: 334-338.

Zhang W.J., Jiang F.B., Ou J.F., 2011. Global pesticide consumption and pollution: with China as a focus. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 1(2): 125-144.