



**T.C.**  
**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ**

15/05/2017

<b>Proje Bilgileri</b>					
<b>Projenin Adı</b>	Atıksularda Ultrases Önişleminin Partikül Boyut Dağılımına Etkisi				
<b>Proje No</b>	NEÜBAP16F29				
<b>Başlama Tarihi</b>	21.04.2016		<b>Bitiş Tarihi</b>	21.01.2017	
<b>Destek Miktarı (TL)</b>	29,995.60	<b>Gerçekleşen Miktar (TL)</b>	29,995.60	<b>Kalan Miktar (TL)</b>	0

Yukarıda bilgileri verilen Yöneticisi olduğum Bilimsel Araştırma Projesine ilişkin Sonuç Raporu ekte verilmektedir.  
Bilgilerinizi arz ederim

**Yrd. Doç. Dr. Hakan DULKADİROĞLU**  
**Mühendislik-Mimarlık Fakültesi**  
**Çevre Mühendisliği Bölümü**

EK: Sonuç Raporu (21 sayfa)



**BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ  
SONUÇ RAPORU**

**PROJE BAŞLIĞI**

Atıksularda Ultrases Önışleminin Partikül Boyut Dağılımına Etkisi  
Effect of Ultrasound Pretreatment on Particle Size Distribution of Wastewater

**Proje No:**  
NEÜBAP16F29

**Proje Yürütücüsü:**  
Yrd. Doç. Dr. Hakan DULKADİROĞLU  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Çevre Mühendisliği Bölümü

**Araştırmacılar:**  
Yrd. Doç. Dr. Hakan DULKADİROĞLU  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Çevre Mühendisliği Bölümü

NEÜ BAP  
Nevşehir, 2017

## ÖNSÖZ

Atıksulardaki organik maddelerin biyolojik ayrışma hızı, biyolojik atıksu arıtma tesislerinin başlıca ünitesi olan, yatırım ve işletme maliyetleri tesis genelinde en büyük paya sahip olan havalandırma tanklarının büyüklüğünü belirleyen başlıca unsurdur. Biyolojik ayrışma hızı ise büyük oranda organik maddelerin partikül boyutuna bağlıdır: Partikül boyutu küçüldükçe mikroorganizmalar organik maddeleri daha hızlı bir şekilde bünyelerine alıp kullanabilir. Aksi takdirde, hücre dışı enzimler ile organik maddelerin hidroliz edilmesi ve asimile edebilecekleri boyuta indirgenmesi gerekir. Bu, zaman alan bir süreç olduğundan, havalandırma tanklarının boyutunu arttıran başlıca etmendur. Özellikle kentsel atıksularda organik maddeler büyük oranda biyolojik ayrışabilir yapıda olmasına karşın, yine büyük oranda partikül halinde bulunmaları nedeniyle yavaş ayrışabilmekte, bu durum da genellikle büyük debiler söz konusu olduğundan aktif çamur havalandırma ünitelerinin çok büyük hacimli olmasına yol açmaktadır.

Atıksularda bulunan organik maddelerin boyutlarına bağlı olarak sınıflandırılması ve miktarlarının belirlenmesi Partikül Boyut Dağılımı (PBD) analizi ile mümkün olmaktadır. Bu yöntemde atıksu gittikçe küçülen gözenek boyutuna sahip filtrelerden ardışık olarak süzülür ve her süzüntüde Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) analizi yapılarak organik madde miktarı belirlenir. Böylece herbir partikül boyutunda ne kadar organik madde bulunduğu tespit edilmiş olur ve bu bilgi aynı zamanda farklı ayrışma hızına sahip organik maddelerin miktarı hakkında da fikir verir.

Bu çalışmada, kentsel atıksulardaki çözülmüş organik madde oranının basit bir ön işlem uygulanarak artırılması, böylece kentsel atıksu arıtma tesislerinde havalandırma tank hacminin ve hava ihtiyacının azaltılması amaçlanmıştır. Ön işlem olarak ultrases ile parçalama prosesi seçilmiştir. Ultrases işleminin 2 ana fonksiyonu vardır: Kaviteasyon oluşturarak meydana getirdiği mekanik parçalama etkisi ile partikül boyutunu indirmek ve bu sırada ortaya çıkan hidroksil radikalleri ile kimyasal oksidasyonu sağlamak. Son yıllarda özellikle arıtma çamurlarının anaerobik çürütmesini hızlandırmak ve çeşitli atıksuların arıtılabilirliğini arttırmak amacıyla ultrases prosesinin ön işlem veya yardımcı işlem olarak uygulandığı çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte, özellikle atıksularda ultrases uygulamasının biyolojik arıtılabilirlik üzerine etkisini PBD ile ilişkilendirerek ortaya koyan çalışmalar çok sınırlıdır. Bu çalışma kapsamında bir kentsel atıksu örneğinin biyolojik ayrışma hızını arttırmak üzere farklı sürelerde ultrases uygulanacak ve ayrışma hızlarındaki değişimin tespiti için de dolaylı bir yöntem olarak PBD analizi kullanılacaktır.

## ÖZET

Bu çalışmanın amacı, bir ön işlem olarak ultrases uygulamasının atıksuların biyolojik arıtılabilirliği üzerine etkisini Partikül Boyut Dağılımı (PBD) değişimini tespit ederek ortaya koymaktır. Deneysel çalışmalar Nevşehir Belediyesi'ne ait kentsel atıksu arıtma tesisi biyolojik arıtma ünitesi girişinden alınan atıksu örneği üzerinde yürütülmüştür. İlk olarak ultrases işlemi uygulanmadan, konvansiyonel atıksu karakterizasyonu ile atıksuyun genel özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca ham atıksuda PBD analizi yapılmış ve partikül boyutuna bağlı olarak KOİ konsantrasyonunun dağılımı tespit edilmiştir. PBD analizinde atıksu örneği sırasıyla 1600, 450, 220, 13, 8, 5, 3 ve 2 nm gözenek çapına sahip filtrelerden ardışık olarak süzölmüş ve her süzöntüden örnek alınıp KOİ konsantrasyonu ölçölmüştür. Ultrases deneylerinde ise atıksuya 35 kHz frekansta, 0.25 W/mL spesifik güç ile 2, 4 ve 8 dk sürelerde parçalama işlemi uygulanmış ve herbir örnekte yine PBD analizi yapılmıştır. Elde edilen PBD sonuçları karşılaştırıldığında; ham atıksuda 1600 nm'den büyük partiköller toplam KOİ'nin %71'ini oluştururken, ultrases işleminin artan sürelerde uygulanması ile bu oranın gittikçe azaldığı ve %47.2'ye kadar düştüğü gözlenmiştir. Buna paralel olarak, 2 nm'nin altındaki KOİ konsantrasyonu ham atıksuda 85 mg/L iken, 8 dk ultrases uygulaması ile bu değer 142 mg/L'ye kadar yükselmiştir. Bu sonuçlar ultrases uygulaması ile çözönmüş KOİ oranının ve dolayısıyla biyolojik arıtmada hızlı ayrışabilen organik madde oranının arttırılabileceğini ortaya koymuştur.

## **ABSTRACT**

The aim of this study is to determine the effect of ultrasonication process on biological treatability of wastewaters through the changes in Particle Size Distribution (PSD). Experimental studies were carried out on the wastewater sample taken from the influent of biological treatment unit of Nevsehir Municipality wastewater treatment plant. First, the general characteristics of the wastewater were determined by conventional characterization studies without any ultrasonication process. In addition, PSD analysis was carried out on the raw wastewater and thus COD distribution depending on particle size was established. In the PSD analysis, the wastewater sample was sequentially filtered through the filters having 1600, 450, 220, 13, 8, 5, 3 ve 2 nm pore sizes and COD concentration were measured on the samples taken from each filtrate. In the ultrasonication experiments, the breaking up process was applied with 35 kHz frequency, 0.25 W/mL specific power and 2, 4 and 8 min periods, and again the PSD analyses were carried out on each ultrasonicated sample. When the results of these experiments were compared, it was observed that while the particles bigger than 1600 nm constitute 71% of total COD of raw wastewater, this ratio decreased gradually by increasing ultrasonication periods till 47.2%. Corresponding that, while the COD concentration below 2 nm in raw wastewater was 85 mg/L, this value increased till 142 mg/L by 8 min ultrasonication. These results show that, dissolved COD ratio and so readily biodegradable organic matter ratio of the wastewater could be increased by ultrasonication process.

## 1. AMAÇ VE KAPSAM

Atıksuların biyolojik arıtımında, klasik modellemede organik maddeler için Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) veya 5 günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ<sub>5</sub>) parametreleri kullanılır. Ancak spesifik olmayan, tüm organik maddelerin oksijen cinsinden ifadesi olan bu kollektif parametreler, farklı hızlarda ayrışan maddelerin oranları hakkında bir fikir vermez. Bu eksik bilgi ile de atıksu arıtma tesislerinin en verimli şekilde tasarlanması, boyutlandırılması ve işletilmesi mümkün değildir. Bu nedenle çok bileşenli KOİ yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu modelleme yaklaşımında KOİ; hızlı ayrışabilen (S<sub>S</sub>), yavaş ayrışabilen (S<sub>H</sub>) ve inert (S<sub>I</sub>) olmak üzere üç bileşene ayrılır. Bu KOİ bileşenlerinin dağılımında partikül boyutu en önemli etkenlerdendir. Çünkü organik maddeler ne kadar küçük boyutta olursa, mikroorganizmalar tarafından kullanımı da o kadar kolay ve hızlı olmaktadır. Bu bakımdan KOİ bileşenleri ile partikül boyut dağılımının (PBD) birbiriyle doğrudan bağıntılı olduğu ve PBD analizi ile KOİ bileşenleri hakkında fikir edinilebileceği söylenebilir.

Son yıllarda özellikle arıtma çamurlarının anaerobik çürütmesini hızlandırmak ve çeşitli atıksuların arıtılabilirliğini arttırmak amacıyla ultrases prosesinin önışlem veya yardımcı işlem olarak uygulandığı çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu uygulamalarda ultrases işleminin 2 ana fonksiyonu vardır: Kaviteasyon oluşturarak meydana getirdiği mekanik parçalama etkisi ile partikül boyutunu indirmek ve bu sırada ortaya çıkan hidroksil radikalleri ile kimyasal oksidasyonu sağlamaktır. Ultrases ön işleminin biyolojik ayrışmaya etkisi üzerine yapılan çalışmalar genel olarak incelendiğinde, atık veya atıksuyun ultrases uygulaması ardından aerobik veya anaerobik reaktöre beslendiği ve arıtma hızı ile verimindeki değişimin izlendiği görülmektedir. Ancak bu yöntem, standart şartları sağlamanın çok zor olduğu, bu nedenle de karşılaştırılabilir sonuçlar vermeyen ve çok uzun süren deneysel çalışmalar gerektirmektedir. Dolayısıyla bu yöntem kullanılarak, önışlemde uygulanması gereken optimum ultrases gücü ve süresinin tespit edilmesi son derece zordur. Oysa PBD analizi biyolojik ayrışabilirliği değerlendirebilmemiz için çok daha hızlı ve karşılaştırılabilir sonuçlar verebilir. Yapılan literatür araştırmalarında, özellikle atıksularda ultrases uygulamasının biyolojik arıtılabilirlik üzerine etkisini PBD ile ilişkilendirerek ortaya koyan çalışmaların çok sınırlı olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın amacı, bir ön işlem olarak ultrases uygulamasının atıksuların biyolojik arıtılabilirliği üzerine etkisini PBD değişimini tespit ederek ortaya koymaktır. Bu kapsamda, seçilecek bir atıksu örneğinde herhangi bir işlem uygulanmadan, yani ham atıksuda PBD analizi yapılarak hangi partikül boyutunda ne kadar KOİ içerdiği belirlenecektir. Daha sonra atıksuya farklı güçlerde ve farklı sürelerde ultrases uygulanarak hazırlanacak olan her bir atıksu örneğinde yine PBD analizi yapılacaktır. Elde edilen PBD sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilecek ve böylece biyolojik arıtılabilirlik açısından optimum ultrases gücü ve uygulama süresi belirlenecektir. Çalışma sonucunda ultrases ile parçalamanın biyolojik arıtılabilirlik açısından etkisi daha iyi anlaşılacak, böylece yüksek enerji gerektiren ultrases prosesi için optimum uygulama şartları mevcut yöntemlere göre daha hızlı ve güvenilir şekilde tespit etmek üzere yöntem ortaya koyulmuş olacaktır. Bu yöntem sayesinde ultrasesin biyolojik arıtılabilirliğin artırılmasında daha verimli şekilde uygulanması ve aktif çamur havalandırma sistemleri için gerekli havalandırma hacminin ve enerji ihtiyacının azaltılması hedeflenmektedir.

## 2. GİRİŞ

Kavitasyon; akustik, hidrodinamik, optik ve tanecik olmak üzere 4 yöntemle oluşturulur. Akustik kavitasyon 16 kHz – 100 MHz aralığındaki ultrases adı verilen ses dalgaları kullanılarak elde edilir. Ses dalgalarının geçişiyle oluşan kavitasyon nedeniyle meydana gelen kimyasal değişimler genellikle sonokimya olarak anılır (Gogate, 2002). Sonokimya kataliz, polimer sentezi, emülsifikasyon, temizlik ve çevre koruma alanlarında 80 yıldan uzun bir süredir geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Sangave ve Pandit, 2004). Sıvılara ultrases uygulanması, bölgesel şekilde basıncın buharlaşma basıncı altına düşmesine neden olur ve bunun sonucunda meydana gelen buharlaşma ile mikro kabarcıklar (boşluklar) ortaya çıkar; bu olaya kavitasyon adı verilir. Bu mikro kabarcıklar çok küçük zaman aralıklarında (mikrosaniye) oluşur, ses ortamında titreşir, doğrultulmuş yayınım ile çoğalır ve doğrusal olmayan bir şekilde çöker. Kabarcık titreşimi ve kabarcıkların çöküşüyle meydana gelen vakum etkisinin bir araya gelmesiyle, reaktörün milyonlarca noktasında katı tanecikleri aşındırabilecek güçte mekanik kuvvetler ortaya çıkar (Tiehm ve diğ., 1997). Aynı zamanda ultrases irradyasyonu ile hidroksil radikalleri ve hidrojen peroksit gibi oksidanlar yüksek konsantrasyonda oluşmakta ve bölgesel olarak yüksek sıcaklık ve basınç meydana gelmekte, böylece sudaki kirleticiler etkin şekilde parçalanabilmektedir. Kavitasyonun bu fiziksel ve kimyasal etkilerinin kombinasyonu, ultrasesin su ve atıksu arıtımında uygulanmasını sağlamıştır. Ancak, tam mineralizasyon için gerekli zaman ve enerji miktarı göz önüne alındığında, ultrases ile arıtım ekonomik olarak kabul edilebilir değildir. Bu nedenle tek başına uygulanması yerine, diğer konvansiyonel arıtım prosesleri ile kombine olarak kullanımı daha verimli bulunmuştur. Atıksu arıtımında ultrasesin diğer konvansiyonel oksidasyon yöntemleri ile birlikte kullanımı konusunda literatürde birçok çalışma mevcuttur (Sangave ve Pandit, 2004).

Ultrases prosesinin biyolojik arıtma çamurlarına anaerobik çürütme öncesi ön işlem olarak uygulamaları üzerine de çalışmalar yapılmıştır. Tiehm ve diğ. (1997), arıtma çamurunun anaerobik çürütülmesinde 22 saat hidrolik bekletme süresinde elde edilen %45.8 uçucu katı madde gideriminin, ultrases uygulandığında %50.3'e yükseldiğini tespit etmişlerdir. Anaerobik çürütme öncesi arıtma çamuruna ultrases uygulanması metan üretimini de arttırmaktadır. Forster ve diğ. (2000), arıtma çamurunun termofilik anaerobik çürütmeden önce ultrases prosesine tabi tutulmasının, metan verimini %15 oranında arttırdığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Wang ve diğ. (1999) de anaerobik çürütme öncesi ultrases ile ön işlemin atık çamurun çözünürleştirilmesi ve metan üretimine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda ultrases ile 30 dakikalık ön işlem uygulanması durumunda kompleks organik maddelerin biyolojik ayrışabilir bileşiklere çözünürleştiği, bu bileşiklerin önemli miktardaki uçucu yağ asidi (UYA) artışı ile kolaylıkla metana dönüştürüldüğü ve böylece metan üretiminin kontrol reaktörüne oranla %64 arttığı belirlenmiştir.

Atık çamurun ultrases ile ön işleme tabi tutulması KOİ giderim hızını da arttırmaktadır. Bunun sebebi ultrasesin ayrılmaya neden olarak çözünmüş KOİ konsantrasyonunu yükseltmesidir (Tiehm ve diğ., 1997). Chiu ve diğ. (1997) atık arıtma çamurunu alkali çözünürleştirme ile birlikte ultrases işleme tabi tuttuklarında toplam KOİ'nin %36-89 oranında çözünmüş KOİ'ye dönüştüğünü tespit etmişlerdir. Yagci ve Akpınar (2011) da benzer bir çalışmada çözünmüş KOİ'de %35.5 ve uçucu katı madde gideriminde %26 artış, partikül boyutunda ise %85 düşüş gözlemlemişlerdir.

Benzer durum amonyak azotu ve reaktif fosfor için de geçerlidir. Atık çamurdaki partiküllerin ultrases ile mekanik olarak parçalanması, yüzey alanının artmasını ve böylece hidrolitik enzimlerin daha fazla nüfuz ederek proteinleri amonyak azotuna dönüştürmesini, reaktif fosforun ise yaklaşık %10 artmasını sağladığı belirlenmiştir (McDermott, 2001). Bu durum

KOİ'de olduğu gibi, azot ve fosfor giderim hızının da artacağı anlamına gelmektedir.

Ultras ses prosesi ile ilgili çalışmalar her ne kadar arıtma çamurlarının üzerinde yoğunlaşsa da, son yıllarda atıksu arıtımında da çeşitli uygulamalar araştırılmıştır. Sangave ve Pandit (2004), KOİ konsantrasyonu 200 g/L'yi bulabilen alkol üretim tesisi atıksuyuna aerobik biyolojik arıtma öncesi ön işlem olarak ultras ses prosesini uygulamışlar ve ultras sesin atıksudaki molekülleri basit yapıya hale dönüştürerek, biyolojik ayrışabilirliğini arttırdığını belirlemişlerdir. Aynı araştırmacılar sonraki çalışmalarında ultras ses prosesini enzim ile birlikte uygulamışlardır. Çalışma sonucunda ultras ses ve enzim birlikte uygulandığında, bu proseslerin ayrı ayrı uygulanmasına göre daha verimli olduğu ve biyolojik ayrışma hızının ön işlem görmemiş atıksuya göre 4 kat arttığını tespit etmişlerdir (Sangave ve Pandit, 2006). Bir diğer çalışmada ise Sangave ve diğ. (2007) aynı atıksuya ultras ses ile birlikte farklı yöntemlerin kombinasyonlarını uygulamışlardır. Öncelikle termal ön işleme tabi tutulan atıksu anaerobik arıtmaya verilmiş, daha sonra aerobik biyolojik proses öncesi ileri oksidasyon teknikleri olarak ultras ses ve ozonlama tekniklerini denemişlerdir. Sonuçlar karşılaştırıldığında, aerobik ayrışabilirliği arttırmak amacı ile uygulanan oksidasyon tekniklerinden ozonlamanın çok daha etkili olduğu görülmüştür.

An ve diğ. (2003) tekstil boyası içeren sentetik atıksuda renk ve KOİ giderimi amacıyla ultras ses prosesini fotokatalitik parçalama ile birlikte uygulamışlar. Sonofotokatalitik teknoloji adı verdikleri hibrid bu yöntem ile elde ettikleri renk ve KOİ giderim hız sabitlerinin, bu yöntemlerin ayrı ayrı uygulanması ile elde edilen hız sabitlerinden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Şahinkaya (2013) ise tekstil atıksuyundan KOİ ve renk giderimi amacıyla elektro-fenton yöntemi ile birlikte ultras ses prosesi uygulandığında her iki parametre için giderim verimlerinin önemli oranda arttığını tespit etmiştir. Tekstil atıksularında ultras sesin farklı kombinasyonlarla uygulandığı başka çalışmalar da mevcuttur (An ve diğ., 2003; Şayan, 2006). Benzer şekilde, birçok araştırmacı çeşitli endüstriyel atıksular, evsel atıksular (Gibson ve diğ., 2009) ve sızıntı suyu (Necjaz ve diğ., 2007) gibi örnekler üzerinde ultras ses prosesini çeşitli yöntemlerle birlikte uygulamışlardır (Sponza ve Oztekin, 2013; Orescanin ve diğ., 2013; Fernandez-Cegri ve diğ., 2013; Al-Qodah ve diğ., 2014; Ayman Oz ve Uzun, 2014; Jia ve diğ., 2015; Rezaee ve diğ., 2015).

Özellikle son yıllarda gerek arıtma çamurları, gerekse çeşitli atıksular üzerinde yoğunlaşan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, ultras ses prosesinin oksidasyon veya biyolojik ayrışabilirliği arttırma amaçlı ön işlem etkilerinin giderim verimleri üzerinden araştırıldığı ve değerlendirildiği görülmektedir. Ancak prosesin daha amaca yönelik, verimli ve ekonomik uygulanmasını sağlamak üzere mekanizmasını ortaya koyan çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bir atıksuyun biyolojik ayrışabilirliği KOİ bileşenleri ile tanımlamaktadır. Hızlı ayrışan, hidroliz olan/yavaş ayrışan ve inert KOİ bileşenlerinden oluşan bu tanımlamada, organik maddelerin partikül boyutu fraksiyonların oluşmasında en önemli etkenlerdendir. Karahan ve diğ. (2007) deri endüstrisi atıksuyu üzerinde yaptıkları çalışmada partikül boyut dağılımı (PBD) ile KOİ fraksiyonları arasındaki ilişkiyi ortaya koymuşlardır. Ultras ses prosesinin tanecikleri parçalamada etkili olduğundan hareketle; Koroglu ve diğ. (2012) atık arıtma çamurlarının azot gideriminde karbon kaynağı olarak kullanılması amacı ile ultras ses uygulanmasının karbon ve azot salımına etkisini partikül boyut dağılımına bağlı KOİ fraksiyonlarını tespit ederek incelemişlerdir. Çalışma sonucunda ultras ses yoğunluğunun partikül boyut dağılımını değiştirdiğini ve çözünmüş KOİ oranını önemli seviyede arttırdığını ortaya koymuşlardır. Ancak atıksular üzerinde benzer çalışmalara rastlanmamıştır. Özellikle yavaş ayrışan organik madde oranı yüksek olan atıksularda biyolojik arıtmayı hızlandırmaya yönelik olarak ultras ses uygulamasının etkilerinin PBD'deki değişim ile ortaya konması, arıtmada yatırım ve işletme maliyetlerini düşürmeye önemli katkıda bulunacaktır.



### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmanın 3 aşamada gerçekleştirilmiştir:

1. Aşama – Karakterizasyon: Alınacak kompozit atıksu örneği konvansiyonel parametreler bazında karakterize edilmiştir. Bu kapsamda ölçülen parametreler şunlardır: pH, iletkenlik, Askıda Katı Madde (AKM), Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM), KOİ (toplam ve çözülmüş).
2. Aşama – Ultrases Uygulaması: Atıksu örneğine 0.25 W/mL spesifik ultrases gücü, 2, 4 ve 8 dakikalık süreler ile uygulanmıştır. Ultrases uygulaması için ultrasonik homojenizatör cihazı kullanılmıştır. Ham atıksu ve farklı sürelerde ultrases uygulanmış her bir atıksu örneği PBD analizine tabi tutulmuştur.
3. Aşama – Biyolojik Arıtılabilirlik Testleri: Bu aşamada ham atıksu ve belirlenen optimum ultrases uygulama şartlarında elde edilen atıksu örneğinin biyolojik ayrışma hızlarının karşılaştırılması planlanmıştır. Bunun için kentsel atıksu arıtma tesisi aktif çamur havalandırma tankından alınan biyokütle ile aşılama yapılarak laboratuvar ölçekli bir reaktör kurulmuştur. Hazırlanan reaktöre eşit miktarda ham atıksu ve ultrases uygulanmış atıksu beslenip belirli zaman aralıklarıyla tam karışımdan örnekler alınıp cam elyaf filtreden süzildükten sonra KOİ konsantrasyonları ölçülmüştür.

DeneySEL çalışmaların yapılacağı atıksu örneği Nevşehir Belediyesi Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi, biyolojik arıtma ünitesi (aktif çamur havalandırma tankı) girişinden alınmıştır. Tesis Nevşehir il merkezinden kaynaklanan kentsel nitelikli yaklaşık 20,000 m<sup>3</sup>/gün debideki atıksuları arıtmaktadır. Uzun havalandırma aktif çamur prosesinin uygulandığı tesis 2010 yılında işletmeye alınmıştır. Tesise ait görüntüler Şekil 1, 2 ve 3'te verilmiştir.

Atıksu numunesi anlık olarak alınmış ve en kısa sürede laboratuvara ulaştırıldıktan sonra deneysel çalışmalar süresince +4°C'de saklanmıştır.

Atıksuda konvansiyonel karakterizasyon kapsamında öncelikle pH, iletkenlik, toplam askıda katı madde (AKM), uçucu askıda katı madde (UAKM), toplam ve çözülmüş KOİ analizleri yapılmıştır. pH ve iletkenlik Hach Lange HQ40d taşınabilir çoklu parametre ölçer ile ölçülmüştür. Diğer analizler ise Standard Methods (APHA, 2005)'ta verilen yöntemlere uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çözülmüş KOİ analizi için örnek önce Millipore AP40 cam elyaf filtreden süzölmüş ve sonrasında KOİ ölçümü yapılmıştır.

Ultrases ön işlemleri için Bandelin Sonopuls HD2200 homojenizatör, TT 13 model titan-sonotrode ile birlikte kullanılmıştır (Şekil 4). İşlem, cam behere konulmuş 500 mL atıksu örneğine 2, 4 ve 8 dakika süreler ile 35 kHz frekansta 125 W güç uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Uygulanan spesifik güç 0.25 W/mL'dir. İşlem öncesi ve sonrasında atıksuyun sıcaklığı ölçülerek kaydedilmiştir.



Şekil 1. Atıksu arıtma tesisinin konumu



Şekil 2. Atıksu arıtma tesisinin genel görünümü



Şekil 3. Atıksu arıtma tesisinin üniteleri

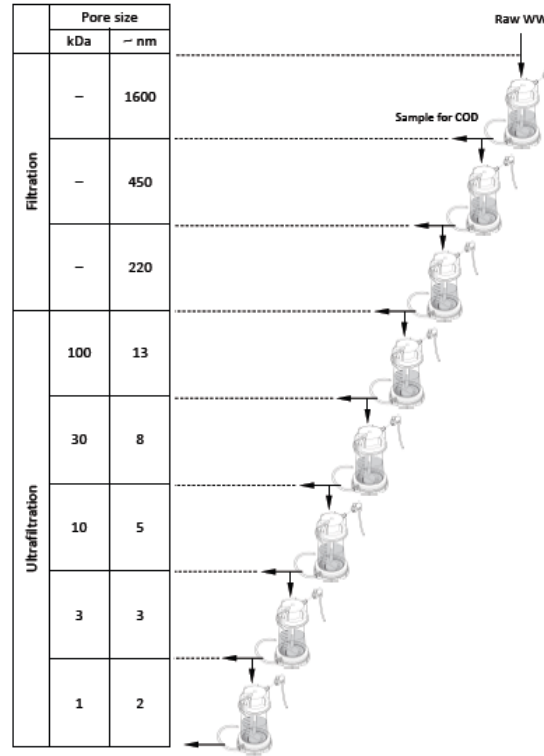


Şekil 4. Ultrases düzeneği

Partikül boyut dağılımı (PBD) analizleri önce ham atıksuda ve daha sonra farklı sürelerde ultrases uygulanmış atıksu örneklerinde gerçekleştirilmiştir. Kademeli ve ardışık filtrasyonun uygulandığı PBD analizinde kullanılan filtrelerin gözenek çapları sırasıyla şöyledir: 1200-600 nm, 450 nm, 220 nm, 13 nm (100 kDa), 8 nm (30 kDa), 5 nm (10 kDa), 3 nm (3 kDa) ve 2 nm (1 kDa). Filtrelere ait detaylı bilgi Tablo 1’de ve ardışık filtrasyonun şematik gösterimi Şekil 5’te verilmiştir.

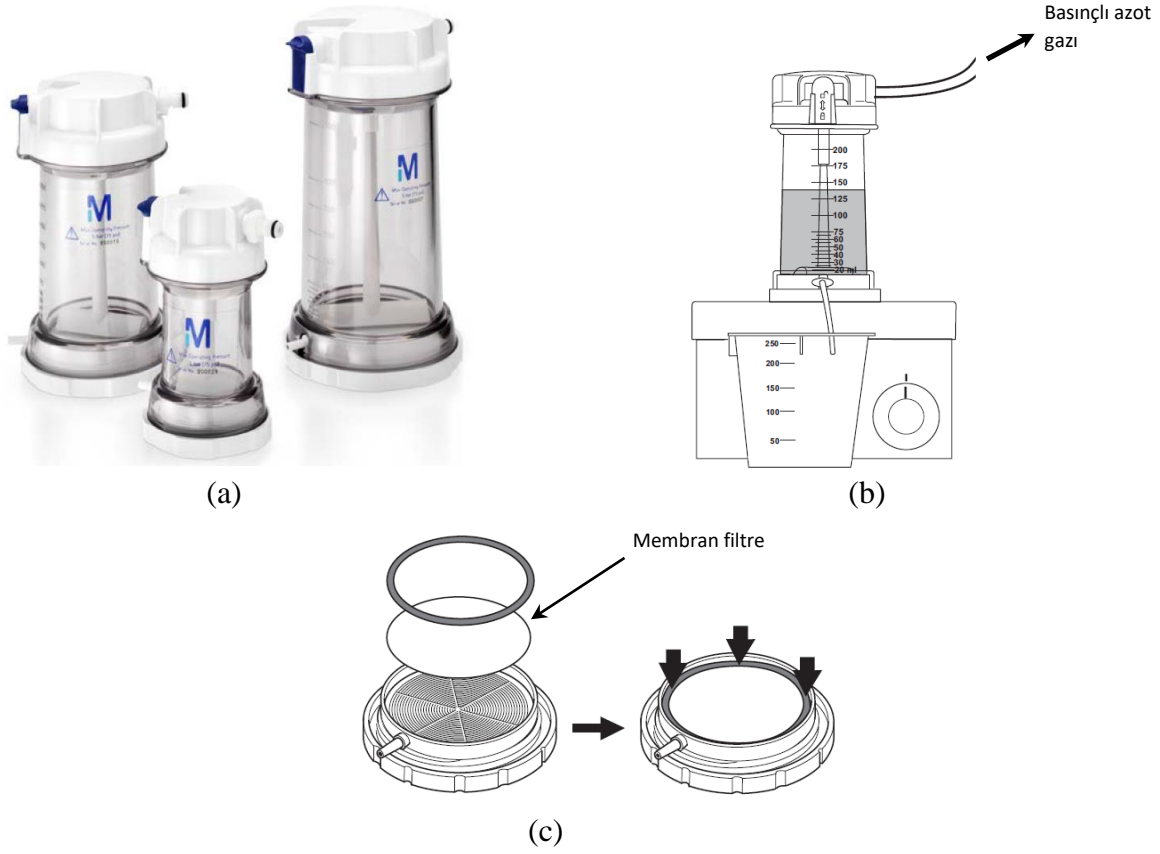
Tablo 1. PBD analizinde kullanılan filtrelerin özellikleri

Filtre Marka ve Modeli	Filtre Tipi	Gözenek Çapı	Gözenek Çapı (nm)
Millipore AP40	Cam elyaf	1.2 – 1.6 $\mu\text{m}$	1200 – 1600
Millipore Durapore® HV	Hydrophilic Polyvinylidene Fluoride (PVDF)	0.45 $\mu\text{m}$	450
Millipore Durapore® GV	Hydrophilic Polyvinylidene Fluoride (PVDF)	0.22 $\mu\text{m}$	220
Millipore Ultracell® PL-100	Regenerated Cellulose (RC)	100 kDa	13
Millipore Ultracell® PL-30	Regenerated Cellulose (RC)	30 kDa	8
Millipore Ultracell® PL-10	Regenerated Cellulose (RC)	10 kDa	5
Millipore Ultracell® PL-3	Regenerated Cellulose (RC)	3 kDa	3
Millipore Ultracell® PL-1	Regenerated Cellulose (RC)	1 kDa	2



Şekil 5. Ardışık filtrasyonun şematik gösterimi.

Ardışık filtrasyonun ilk kademesi olan cam elyaf filtreden süzme işlemi vakumlu süzme seti kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, sonraki kademelerde pozitif basınçlı ve karıştırmalı, 400 mL hacimli Millipore Amicon® Stirred Cell süzme düzeneği kullanılmıştır (Şekil 6). Pozitif basıncın sağlanmasında, inert bir gaz oluşu nedeniyle saf azot kullanılmıştır. Süzme düzeneği ve filtrelerin kullanma talimatlarına uygun olarak maksimum 5 bar'a kadar basınç uygulanmıştır.



Şekil 6. Pozitif basınçlı ve karıştırmalı süzme düzeneğine ait görüntüler: (a) Süzme hücresinin fotoğrafı, (b) Süzme düzeneğinin şematik gösterimi, (c) Hücre tabanı ve membran filtrenin yerleşiminin şematik gösterimi.

Şekil 5'te de görüldüğü gibi, atıksu örneği bir filtreden süzildikten sonra süzüntüden bir miktar KOİ analizi için ayrılmış ve kalan süzüntü bir sonraki filtreden süzülmüş, böylece toplam 8 kademedeki ardışık filtrasyon sonucunda ham atıksu hariç, 8 adet süzüntü örneği elde edilmiştir. Bu örneklerin KOİ konsantrasyonları ölçülerek, her filtrasyon kademesinde artı kalan organik madde miktarı belirlenmiştir.

Herbir filtrasyon işleminden sonra süzme düzeneğine kullanma talimatında belirtilen şekilde temizlik işlemleri uygulanmıştır. Filtrasyon sınıfında yer alan 1600, 450 ve 220 nm gözenekli filtreler tek kullanımlık iken; 100 kDa – 1 kDa aralığındaki ultrafiltrasyon sınıfında yer alan membran filtreler ise kullanma talimatında belirtildiği şekilde %70'lik etil alkol çözeltisi ile yıkanıp, %10'luk etil alkol çözeltisinde ve +4°C'de saklanmış, bir sonraki atıksu örneği için kullanılmadan önce bol saf su ile yıkandıktan sonra 0.1 N NaOH çözeltisi geçirilerek rejenere edilmiştir.

Biyolojik arıtılabilirlik deneyleri için 1 L hacimli tam karışımli doldur – boşalt tipi aktif çamur reaktörü kullanılmıştır. Nevşehir Belediyesi Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi'nin aktif çamur havalandırma tankından alınan biyokütle ile aşılama yapılmış ve yine aynı tesisin biyolojik arıtma prosesinin girişinden alınan ham atıksu ile günlük olarak beslenmiştir. Besleme, reaktör yaklaşık 1 saat çökmeye bırakıldıktan sonra üstteki duru fazın (arıtılmış atıksu) boşaltılması ve üzerine yine aynı seviyeye (1 L) kadar ham atıksu ilavesi ile yapılmıştır. Kullanılan atıksuyun KOİ konsantrasyonu ve reaktördeki biyokütle miktarı UAKM cinsinden ölçülerek F/M oranı yaklaşık 0.5 olacak şekilde beslemeler yapılmıştır. Aktif çamur bir akvaryum hava

pompası ve hava taşı kullanılarak havalandırılmıştır. Havalandırma kapasitesi yeterli oksijen seviyesini sağlamak için yeterli olmakla birlikte, reaktörde tam karışımı sağlamada yeterli olmadığından, reaktör bir manyetik karıştırıcı üzerine yerleştirilmiştir.

Arıtılabilirlik çalışmalarına, aktif çamur ortam koşullarına uyum sağlayıp denge haline geldikten sonra başlanmıştır. Önce diğer deneysel çalışmalarda kullanılan ham atıksu örneği reaktöre beslenip ilk 2 saat boyunca 15 dakikada bir, daha sonra artan aralıklarla 1 gün boyunca reaktörden örnekler alınıp cam elyaf filtreden süzölmüş ve KOİ konsantrasyonları ölçülerek giderim izlenmiştir. Sonraki aşamada ise 8 dk ultrases uygulanmış olan atıksu örneği reaktöre beslenerek aynı işlemler tekrarlanmış ve ham atıksuda alınan sonuçlar ile karşılaştırma yapılmıştır.

#### 4. SONUÇLAR (BULGULAR) VE TARTIŞMA

Tablo 2’de verilen ham atıksu konvansiyonel karakterizasyonu çalışması sonuçları değerlendirildiğinde, toplam KOİ değeri 690 mg/L ve AKM değeri 488 mg/L olan kentsel atıksu örneğinin orta kuvvette bir karaktere sahip olduğu söylenebilir (Metcalf & Eddy). Toplam katılar içerisinde organik yapıda olanların oranını UAKM/AKM ile değerlendirebiliriz ve %86 ile organik katı maddelerin toplam katılar içerisinde büyük bir çoğunluğu oluşturduğunu görmekteyiz. Benzer şekilde, partiküler haldeki organik madde miktarı da toplam KOİ içerisinde %71’lik bir orana karşılık gelmektedir. Bu durum, atıksuda organik kirliliği oluşturan maddelerin büyük oranda partiküler formda olduğunu göstermektedir. Ultrases ön işlemleri kullanılarak partiküler organik maddelerin daha küçük boyuta indirgenmesi ve/veya çözünürleştirilmesi, böylece biyolojik arıtmanın daha hızlı ve daha kısa sürede tamamlanması amaçladığından, sözkonusu örnek gibi partiküler KOİ oranı yüksek bir atıksu ile çalışılması, verimin ve sonuçların daha net ortaya konulabilmesi açısından uygun görölmüştür.

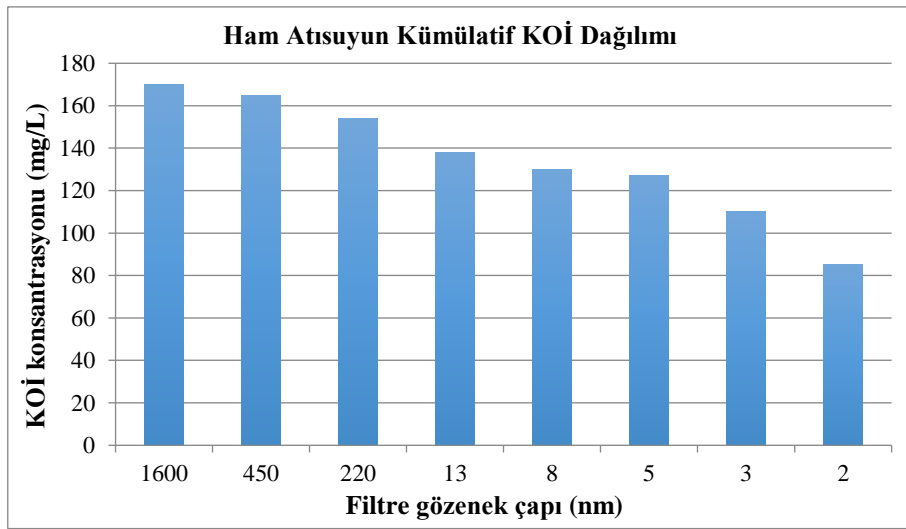
Tablo 2. Ham atıksu örneğinin konvansiyonel karakterizasyon değerleri

Parametre	Değer	Birim
pH	7.76	–
İletkenlik	1409	µS/cm
AKM	488	mg/L
UAKM	420	mg/L
UAKM/AKM	86	%
Toplam KOİ	690	mg/L
Çözünmüş KOİ (partikül boyutu <1600 nm)	200	mg/L
Çözünmüş KOİ/Toplam KOİ	29	%

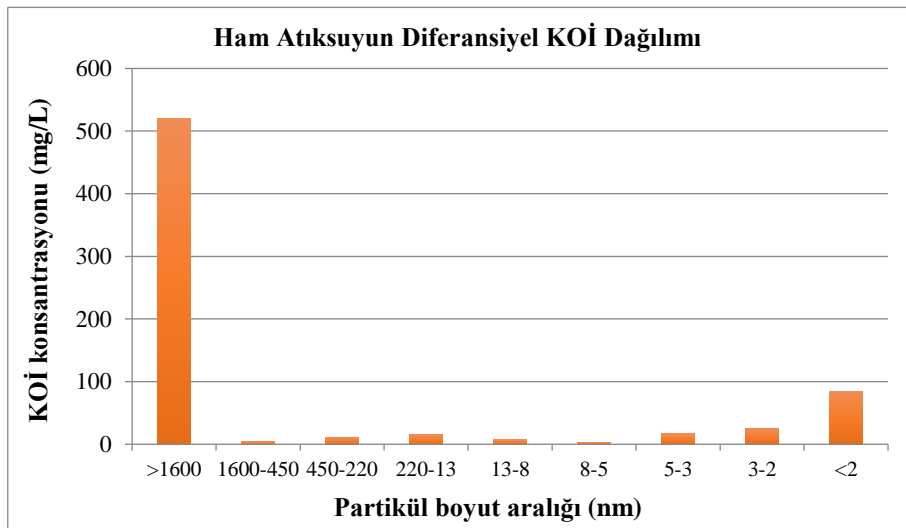
Ham atıksuyun PBD analizi sonuçları Tablo 3’te ve Şekil 7’de verilmiştir. Özellikle Şekil 7(b)’de net olarak göröldüğü gibi, ham atıksuyun içerdiği KOİ’nin %75.4 ile büyük kısmı partiküler, %12.3 oranında ise tamamen çözünmüş halde bulunmaktadır. Geriye kalan %12.3’lük KOİ ise çeşitli partikül boyutlarına dağılmış durumdadır.

Tablo 3. Ham atıksu örneğinin PBD analizi sonuçları

Filtre Tipi	Filtre Gözenek Çapı (nm)	Partikül Boyut Aralığı (nm)	KOİ Konsantrasyonu (mg/L)		Oran (%)
			Kümülatif	Diferansiyel	
<i>Filtrasyon</i>					
		>1600		520	75.4
AP40 Cam elyaf	1600	1600-450	170	5	0.7
HV	450	450-220	165	11	1.6
GV	220	220-13	154	16	2.3
<i>Ultrafiltrasyon</i>					
100 kDa	13	13-8	138	8	1.2
30 kDa	8	8-5	130	3	0.4
10 kDa	5	5-3	127	17	2.5
3 kDa	3	3-2	110	25	3.6
1 kDa	2	<2	85	85	12.3
<b>Toplam</b>			<b>690</b>	<b>690</b>	<b>100.0</b>



(a)



(b)

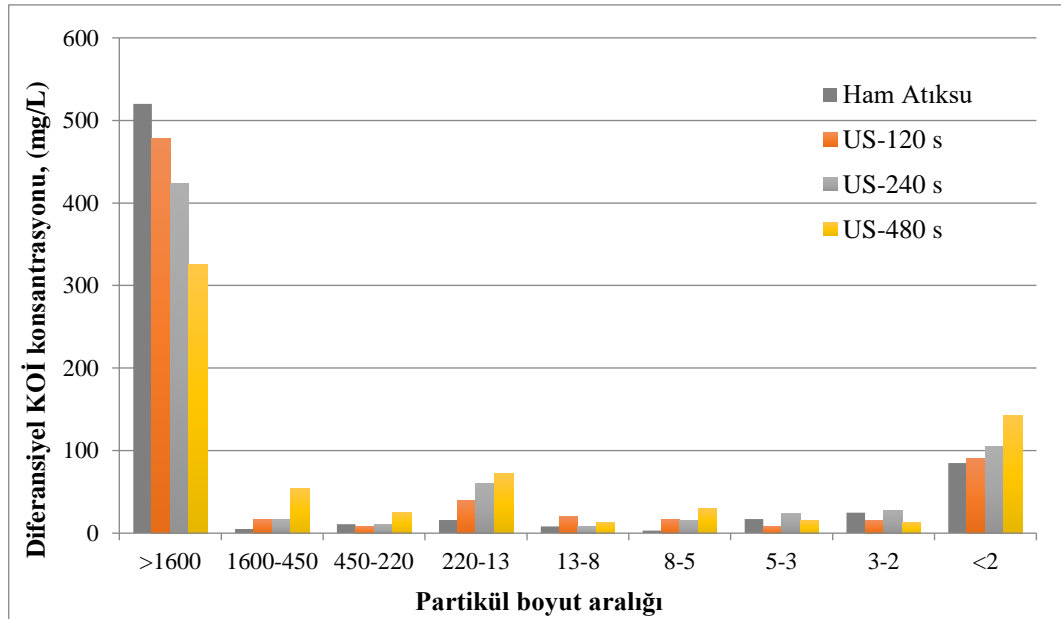
Şekil 7. Ham atıksuyun PBD sonuçları: (a) Kümülatif KOİ dağılımı, (b) Diferansiyel KOİ dağılımı

Ultras ses önişleminin amacı, 1600 nm boyutunun üzerinde olup toplam KOİ'nin %75.4'lük bölümünü oluşturan organik maddelerin parçalanarak daha küçük partikül boyutlarına indirgenmesi ve hatta çözünmüş hale getirilmesidir. Böylece mikroorganizmaların hücre dışı enzimlerle hidroliz ederek gerçekleştirecekleri ve saatlerce sürebilecek çözünürleştirme işleminin çok daha kısa bir sürede sağlanması amaçlanmıştır. Ancak uygulanması gereken süre ve güç ile ilgili olarak, daha önceki çalışmalarda benzer koşullara uygun bir veriye rastlanmamıştır. Bu nedenle ortalama düzeyde ve sabit bir güç ile farklı sürelerin uygulanmasına karar verilmiş, güç için 0.25 W/mL değeri, süre olarak da 2, 4 ve 8 dk uygun görülmüştür. Bu değerler belirlenirken, ultras ses işleminin yüksek enerji tüketimine neden olduğu göz önünde bulundurulmuş ve olabildiğince ekonomik koşullarda uygulanması amaçlanmıştır. Ancak diğer taraftan, yapılan işlemin veriminin deneysel verilerle net bir şekilde ortaya koyulması gerektiği de göz önünde bulundurulmuştur.

Ultras ses işleminin uygulanan örneklere ait PBD analizinin sonuçları Tablo 4 ve Şekil 8'de verilmiştir.

Tablo 4. Ham atıksu ve farklı sürelerde ultras ses önişlemi sonrası atıksuların PBD analizi sonuçları

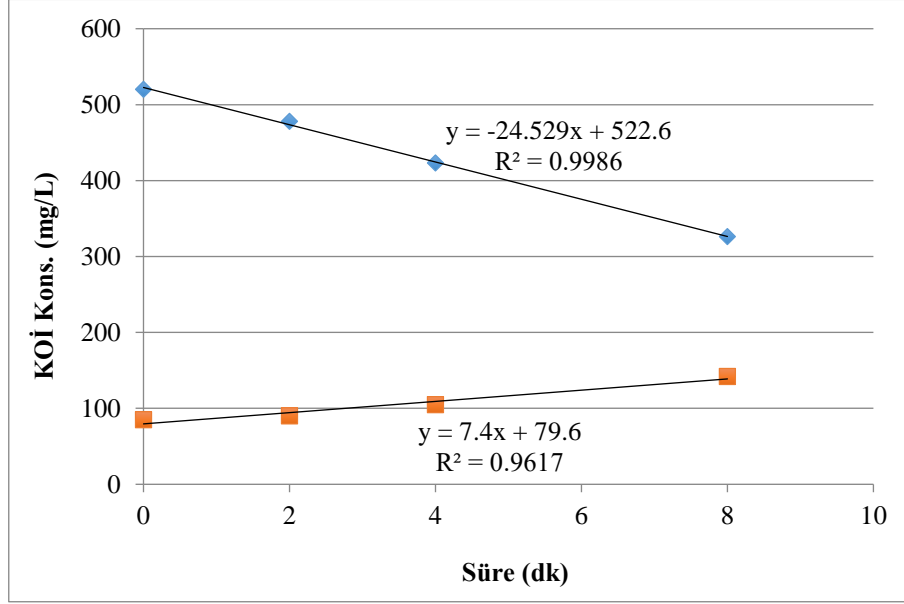
Partikül Boyut Aralığı (nm)	Ham Atıksu KOİ		2 dk Ultras ses Sonrası KOİ		4 dk Ultras ses Sonrası KOİ		8 dk Ultras ses Sonrası KOİ	
	Dif.	Oran (%)	Dif.	Oran (%)	Dif.	Oran (%)	Dif.	Oran (%)
>1600	520	75.4	478	69.3	423	61.3	326	47.2
1600-450	5	0.7	16	2.3	16	2.3	54	7.8
450-220	11	1.6	8	1.2	11	1.6	25	3.6
220-13	16	2.3	39	5.7	60	8.7	72	10.4
13-8	8	1.2	20	2.9	8	1.2	13	1.9
8-5	3	0.4	16	2.3	15	2.2	30	4.3
5-3	17	2.5	8	1.2	24	3.5	15	2.2
3-2	25	3.6	15	2.2	28	4.1	13	1.9
<2	85	12.3	90	87.0	105	84.8	142	79.4
<b>Toplam</b>	<b>690</b>	<b>100.0</b>	<b>690</b>	<b>100.0</b>	<b>690</b>	<b>100.0</b>	<b>690</b>	<b>100.0</b>



Şekil 8. Ham atıksu ve farklı sürelerde ultras ses önişlemi sonrası atıksuların KOİ dağılımı



Şekil 8’den de görüldüğü gibi, ham atıksuda büyük kısmı 1600 nm’nin üzerindeki partiküllerden oluşan organik maddeler, artan sürelerdeki ultrases uygulamaları ile orantılı bir şekilde parçalanarak daha küçük boyutlara ve çözülmüş forma dönüşmüştür. Şekil 9’da, 1600 nm üzerindeki ve 2 nm’nin altındaki partiküler KOİ konsantrasyonlarının artan sürelerdeki ultrases önişlemine bağlı olarak değişimi verilmiştir. Her iki boyuttaki değişimin de birbirine uyumlu ve doğrusal olduğu, 1. derece reaksiyon kinetiğine uydukları görülmektedir.

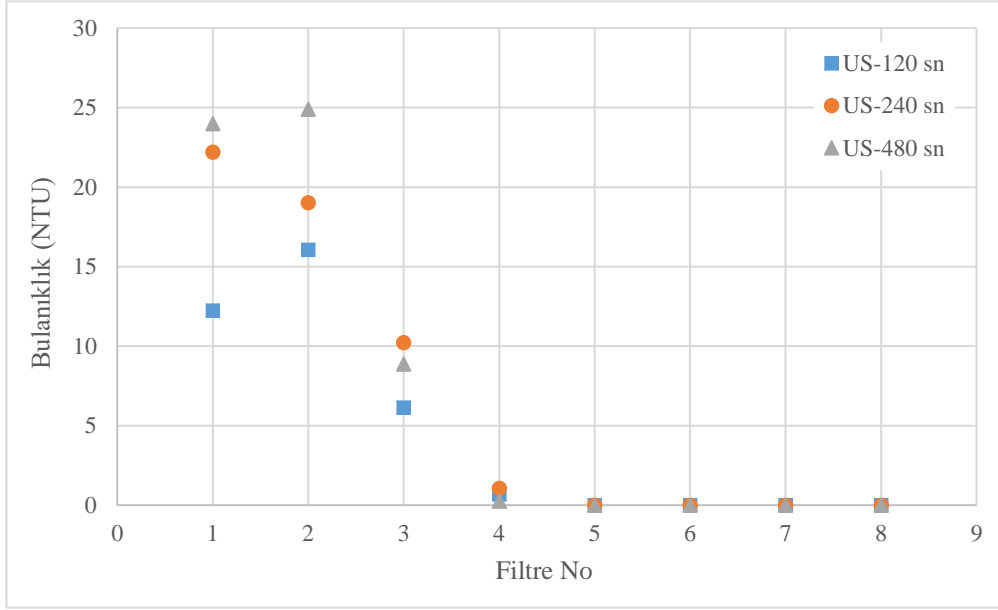


Şekil 9. 1600 nm üzerindeki ve 2 nm'nin altındaki partiküler KOİ konsantrasyonlarının artan sürelerdeki ultrases önişlemine bağlı olarak değişimi.

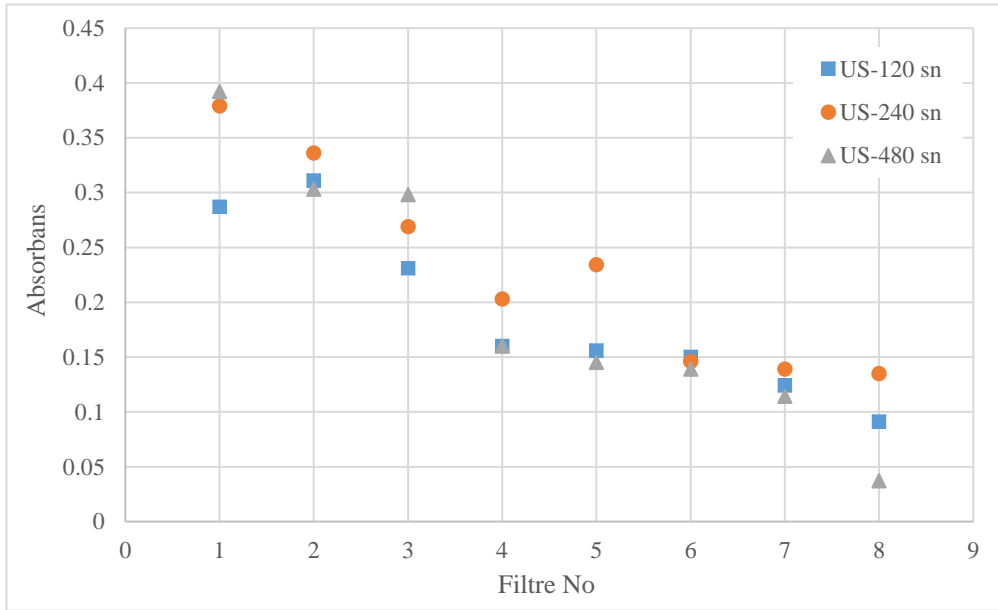
Farklı sürelerde ultrases önişlemi sonrası atıksuların bulanıklık ve renklerdeki değişimin KOİ konsantrasyonları ile paralel olması gerektiğinden hareketle, bu parametreler de ölçülmüştür. Absorbans ölçümleri için örneklerin en koyu renkli olanı seçilerek spektrofotometrede görünür bölge dalgaboyu aralığında absorbans taramasına tabi tutulmuş, maksimum absorbans değerinin okunduğu dalgaboyu 325 nm olarak belirlenmiş ve tüm örnekler aynı rengin farklı tonlarına sahip olduğundan bu dalgaboyunda okumalar yapılmıştır. Bulanıklık ve 325 nm dalgaboyunda ölçülen absorbans değerleri Tablo 5’te ve Şekil 10 ile 11’de verilen grafiklerde görülmektedir. Partikül boyutu 100 kDa’un altına indiğinde bulanıklık değerlerinin genellikle sıfıra düştüğü görülmektedir.

Tablo 5. Farklı ultrases sürelerinde partikül boyutuna bağlı bulanıklık ve absorbans değerleri.

Filtre No	Filtre Tipi	Bulanıklık (NTU)			Absorbans (@325nm)		
		US-120 sn	US-240 sn	US-480 sn	US-120 sn	US-240 sn	US-480 sn
1	1.6 µm	12.25	22.20	24.00	0.287	0.379	0.392
2	0.45 µm	16.06	19.02	24.90	0.311	0.336	0.303
3	0.22 µm	6.15	10.23	8.88	0.231	0.269	0.298
4	100 kDa	0.69	1.06	0.26	0.160	0.203	0.160
5	30 kDa	0.00	0.00	0.00	0.156	0.234	0.145
6	10 kDa	0.00	0.00	0.00	0.150	0.146	0.139
7	3 kDa	0.00	0.00	0.00	0.124	0.139	0.114
8	1 kDa	0.00	0.00	0.00	0.091	0.135	0.037



Şekil 10. Farklı sürelerde ultrases önişlemi sonrası atıksuların bulanıklık değeri



Şekil 11. Farklı sürelerde ultrases önişlemi sonrası atıksuların absorbans değeri

Daha önce de belirtildiği gibi; ultrases önişleminin amacı, partiküler organik maddelerin parçalanarak biyolojik arıtmada daha hızlı ayrıştırılmalarını sağlamaktır. PBD analizleri sonucunda, artan ultrases süreleri ile orantılı olarak organik maddelerin boyutlarının da indirildiği deneysel veriler ile ortaya koyulmuştur. Bu etkinin biyolojik arıtmada doğrudan gözlenebilmesi amacıyla biyolojik arıtılabilirlik testleri yapılmıştır. Bu testlerde önce ham atıksu aktif çamura beslenip, besleme anından itibaren belirli aralıklarla reaktör içerisinde alınacak arıtılmış atıksu örneklerinde KOİ ölçülmesi; daha sonra da aynı işlemin 8 dk ultrases uygulanmış atıksu ile tekrarlanarak sonuçların karşılaştırılması planlanmıştır. Ancak Tablo 6'da verilen KOİ değerlerinden de görülebileceği gibi, ham atıksu ile yapılan testlerde zamanla azalması beklenen KOİ konsantrasyonu düzensiz bir şekilde azalan/artan değerlerde ölçülmüş, oldukça tutarsız sonuçlar elde edilmiş ve bu verilerin herhangi bir karşılaştırmada

kullanılması uygun görülmemiştir. Dolayısıyla ultrases uygulanan atıksu ile aynı test tekrarlanmamıştır. Biyolojik arıtım hızındaki değişimin tutarlı ve güvenilir veriler ile ortaya konulabilmesi için daha uygun bir yöntemin geliştirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Tablo 6. Ham atıksuyun aktif çamura beslenmesinden itibaren KOİ'nin zamanla değişimi

Zaman (dk)	KOİ (mg/L)
15	656
30	455
45	455
60	758
75	253
115	960
145	253
1140	384

## 5. ÖNERİLER

Çalışma kapsamında kentsel atıksu örneğine 0.25 W/mL sabit güçte, 2, 4 ve 8 dk ultrases işlemi uygulanmış, ultrases önışleminin artan süreleri ile orantılı olarak 1600 nm'den büyük organik maddelerin boyutlarının küçüldüğü PBD analizleri ile tespit edilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda farklı güç ve süreler uygulanarak veriler genişletilebilir. Ayrıca ultrases önışleminin partiküler KOİ ile birlikte biyolojik arıtmada önem taşıyan azot ve fosfor gibi diğer parametrelere ve bunların arıtılabilirliğine etkisi de araştırılabilir.

Çalışmada biyolojik arıtılabilirlik testlerinden anlamlı sonuçlar alınamaması nedeniyle yöntem üzerinde değişiklikler yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, günümüzde biyolojik arıtılabilirlik testlerinin çoğunlukla respirometrik yöntemler ile yapıldığı görülmektedir. Respirometrik testler aktif çamurun, yani biyokütlenin solunum hızının ölçümüne dayanmaktadır. Bu yöntem ile besleme anından itibaren biyokütlenin oksijen tüketim hızı izlenerek ve alınan veriler matematiksel modellere uygulanarak atıksudaki kolay (veya hızlı) ve yavaş (hidroliz olan) organik maddelerin miktarı güvenilir bir şekilde hesaplanabilmektedir. Dolayısıyla respirometrik testler ile desteklenen PBD analizleri son derece anlamlı ve biyolojik arıtmaya uygulama açısından kullanışlı veriler sağlayabilmektedir. Ancak ölçümlerde respirometre olarak adlandırılan cihazın kullanıldığı ve verilerin aktif çamur modelleri ile simülasyonlarının yapıldığı yazılımların gerektiği bu yöntemler için laboratuvar ve yazılım altyapımız yetersizdir. Gerekli geliştirme ve iyileştirmeler sağlandığı takdirde, biyolojik arıtılabilirlik çalışmalarında bu güncel yöntemler ile daha sağlıklı veriler üretilebilecek, çalışma sonuçlarının üst düzey uluslararası yayınlara dönüştürülmesi mümkün olabilecektir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Al-Qodah, Z., Al-Bsoul, A., Assirey, E., Al-Shannag, M., (2014), Combined Ultrasonic Irradiation and Aerobic Biodegradation Treatment for Olive Mills Wastewaters, *Environmental Engineering and Management Journal*, 13, (8), 2109-2118.
2. An, T., Gu, H., Xiong, Y., Chen, W., Zhu, X., Sheng, G., Fu, J., (2003), Decolourization and COD removal from reactive dye-containing wastewater using sonophotocatalytic technology, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 78, 1142–1148, DOI: 10.1002/jctb.915
3. Ayman Oz, N., Uzun, A. C., (2015), Ultrasound pretreatment for enhanced biogas production from olive mill wastewater, *Ultrasonics Sonochemistry*, 22, 565–572.
4. Chiu, Y.-C., Chang, C.-N., Lin J.-G., Huang S.-J., (1997), Alkaline and ultrasonic pretreatment of sludge before anaerobic digestion, *Water Sci. Technol.*, 36 (11), 155–162.
5. Fernández-Cegrí, V., Raposo, F., Borja, R., (2013), Performance and kinetic evaluation of the semi-continuous anaerobic digestion of sunflower oil cake pretreated with ultrasound, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 48, (12), 1548-1556, DOI: 10.1080/10934529.2013.797275
6. Forster, C. F., Chacin, E., Fernandez, N., (2000) The use of Ultrasound to Enhance the Thermophilic Digestion of Waste Activated Sludge, *Environmental Technology*, 21 (3), 357-362, DOI: 10.1080/09593332108618122
7. Gibson, G. H., Hon, H., Farnood, R., Droppo, I. G., Seto, P. (2009), Effects of ultrasound on suspended particles in municipal wastewater, *Water Research*, 43, 2251-2259.
8. Gogate, P. R., (2002), Cavitation: an auxiliary technique in wastewater treatment schemes, *Advances in Environmental Research*, 6, 335-358.
9. Jia, S., Han, H., Zhuang, H., Xu, P., Hou, B., (2015), Advanced treatment of biologically pretreated coal gasification wastewater by a novel integration of catalytic ultrasound oxidation and membrane bioreactor, *Bioresource Technology*, 189, 426–429.
10. Koroglu, S., Zengin, G. E., Yagci, N., Artan, N., (2012), COD fractionation and denitrification potential of sonicated waste activated sludge liquids, *Environmental Technology*, 33, (13), 1505-1510, DOI: 10.1080/09593330.2011.650226
11. McDermott, B. L., Chalmers, A. D., Goodwin, J. A. S., (2001), Ultrasonication as a Pre-Treatment Method for the Enhancement of the Psychrophilic Anaerobic Digestion of Aquaculture Effluents, *Environmental Technology*, 22 (7), 823-830, DOI: 10.1080/095933322086180317
12. Neczaj, E., Kacprzak, M., Lach, J., Okoniewska, E., (2007), Effect of sonication on combined treatment of landfill leachate and domestic sewage in SBR reactor, *Desalination*, 204, 227–233.
13. Orescanin, V., Kollar, R., Nad, K., Lovrencic Mikelic, I., Gustek, S. F., (2013), Treatment of winery wastewater by electrochemical methods and advanced oxidation processes, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 48, 1–5

14. Rezaee, S., Zinatizadeh, A. A. L., Asadi, A., (2015), High rate CNP removal from a milk processing wastewater in a single ultrasound augmented up-flow anaerobic/aerobic/anoxic bioreactor, *Ultrasonics Sonochemistry*, 23, 289–301.
15. Sangave, P. C., Gogate, P. R., Pandit, A. B., (2007), Ultrasound and ozone assisted biological degradation of thermally pretreated and anaerobically pretreated distillery wastewater, *Chemosphere*, 68, 42–50

## **7. Ekler**

### **7.1. Mali bilanço ve açıklamaları**

Proje bütçesinden 10,266 TL (KDV dahil) tutarında ekipman ve 19,729.60 TL (KDV dahil) tutarında malzeme alımı olmak üzere toplam 29,995.60 TL'lik harcama yapılmıştır. Ekipman olarak alınan ve PBD analizlerinde kullanılan Millipore Amicon® Stirred Cell pozitif basınçlı ve karıştırılmalı filtrasyon ünitesi ile sarf malzemesi olarak alınan filtreler, çeşitli kimyasal maddeler ve cam/plastik malzemelerden artanlar Çevre Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunmaktadır.

### **7.2. Projede kullanılan donanım, cihaz, alet, vb. teçhizatın özelliği ve ileriye dönük kullanımına ilişkin açıklama**

Proje kapsamında ekipman olarak sadece Millipore Amicon® Stirred Cell pozitif basınçlı ve karıştırılmalı filtrasyon ünitesi alınmıştır. Atıksuların membran filtrelerden süzülmesi için yüksek basınç gerekmekte ve bu nedenle klasik vakumlu süzme setlerinde membran filtrasyon mümkün olmamaktadır. Söz konusu düzenek, partikül boyut dağılımı analizlerinde atıksu örneklerinin 76 mm çapında ve çeşitli gözenek büyüklüklerine sahip membran filtrelerden süzülmesinde kullanılmıştır. Aynı veya farklı atıksular üzerinde yapılabilecek sonraki çalışmalarda yine aynı düzenek, çeşitli amaçlara yönelik membran filtrasyon işlemlerinde kullanılabilir.

### **7.3. Sunumlar (bildiriler ve teknik raporlar)**

1. Dulkadiroglu, H., Cuce, H., Ozguroglu, G. (2017) Particle Size Distribution Based Characterization of Municipal Wastewater of Nevşehir. 2<sup>nd</sup> International Conference on Civil and Environmental Engineering, 8 – 10 May 2017 Nevşehir, Turkey.
2. Dulkadiroglu, H. (2017) Particle size distribution: a tool to evaluate the effect of ultrasonication on biological treatability. Sixth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE) and the SECOTOX Conference, 25 – 30 June 2017, Selanik, Yunanistan (sunulmak üzere kabul edildi).

### **7.4. Yayınlar (hakemli bilimsel dergiler) ve tezler**

Yukarıda belirtilen 2 numaralı bildirinin tam metni, SCI/Expanded tarafından taranan Desalination and Water Treatment isimli uluslararası hakemli bilimsel dergide yayınlanmak üzere değerlendirmeye sunulacaktır.

Proje kapsamında yapılan çalışmalardan 4 adet lisans bitirme tezi üretilmiştir.