



# Kahramanmaraş Sutcu Imam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 08.08.2018  
Kabul Tarihi : 13.06.2019

Received Date : 08.08.2018  
Accepted Date : 13.06.2019

### ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE MİKRO KİRLETİCİLERİN ARITILABİLİRLİĞİ

### TREATMENTS OF MICRO POLLUTANTS IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Şeyma AKKURT<sup>1,\*</sup>, Merve OĞUZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Adıyaman Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye  
<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Şeyma AKKURT, sakkurt@adiyaman.edu.tr

#### ÖZET

Sanayileşme ve hızlı nüfus artışıyla birlikte; kimyasalların hayatımızın her alanında kullanımı giderek artmaktadır. Bunun sonucu olarak, su ortamlarında ve doğada mikro kirletici konsantrasyonlarında bir artış görülmektedir. Mikro kirleticiler; farmasötikler, kişisel bakım ürünleri (PPCP), steroid hormonlar, endüstriyel kimyasallar, pestisitler, poliaromatik hidrokarbonlar ve son zamanlarda görülen diğer bileşiklerden oluşmaktadır. Su ortamlarında bu kirleticiler genellikle birkaç ng /L ile µg/ L arasında değişen çok düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Mikro kirleticilerin birçoğu kararlı yapıda olup biyolojik arıtmaya karşı dirençlidir. Bu nedenle klasik atıksu arıtma tesislerinde arıtılamayıp sürekli olarak alıcı ortamlara deşarj edilmektedirler.

Mikro kirleticilerin giderimin de klasik yöntemlerin yetersiz olduğu göz önünde bulundurulduğunda daha iyi giderim verimleri için koagülasyon – flokülasyon, aktif karbon adsorpsiyonu (toz aktif karbon ve granül aktif karbon), ileri oksidasyon prosesleri (İOP), membran prosesleri ve membran biyoreaktörü içeren diğer alternatif arıtma yöntemleri uygulanabilir. Yapılan bu derlemede, mikro kirleticilerin su ortamlarındaki varlığına, çeşitli arıtma yöntemlerine ve arıtma verimlerine yer verilmiştir. Bu şekilde mikro kirleticinin türüne göre uygun arıtım alternatifleri sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Atıksu, mikro kirleticiler, arıtma yöntemleri.

#### ABSTRACT

With industrialization and rapid population growth, the use of chemicals in every aspect of our lives is increasing. As a result, there is an increase in micro-pollutant concentrations in water environments and nature. Micro pollutants consist of pharmaceutical, personal care products (PPCP), steroid hormones, industrial chemicals, pesticides, polyaromatic hydrocarbons and other recently seen compounds. In water environments, these pollutants are usually in very low concentrations ranging from a few ng /l to µg/ l. Many micro pollutants are stable and resistant to biological treatment. For this reason, they cannot be treated in conventional wastewater treatment plants and are continuously discharged to receiving environments.

Considering that the conventional methods are insufficient for removing the micropollutants other alternative treatment methods including coagulation–flocculation, activated carbon adsorption (powdered activated carbon and granular activated carbon), advanced oxidation processes (AOPs), membrane processes and membrane bioreactor can be applied for better removal. Studies on this subject and the results obtained are presented.

**Keywords:** Wastewater, micro pollutant, treatment methods.

## GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler ve yaşam standardının artmasıyla birlikte suya olan ihtiyaçta her geçen gün artmaktadır. 20 yy.'dan beri dünyada ve ülkemizde küresel ısınma nedeniyle su kaynakları giderek azalmaktadır. Yeryüzündeki tatlı su kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle su kaynakların verimli bir şekilde kullanılması gereklidir.

Su kaynaklarının verimli olarak kullanması için, az su tüketen teknolojiler tercih edilmeli ve oluşan atıksuların arıtılıp tekrar kullanılması gibi uygulamalara önem verilmelidir. Fakat atıksuların içinde birçok makro ve mikro kirleticiler bulunmaktadır. US EPA mikro kirleticileri, yasal statüsü olmayan, çevre ve insan sağlığı üzerine olan etkileri tam olarak anlaşılabilen yeni kimyasallar olarak tanımlamaktadır (Yaşar ve ark., 2013).

Son yıllarda insan hayatının kalitesini arttırmak ve hastalıkları tedavi etmek için kişisel bakım ürünleri ve ilaçlar daha fazla kullanılmaktadır (Qin ve ark., 2015). İlaçlar sadece insanlar için değil veteriner maksatlı olarak da kullanılmaktadır. Örneğin; ABD'de 3000'den fazla ilacın kullanılması için lisans verilmiştir (Quin ve ark., 2015). Geliştirilen ve üretilen birçok ilacın, artan kullanımı nedeniyle üretimi de doğru orantılı olarak artmaktadır. Bir çalışmada, OECD (Ekonomik İşbirliği Teşkilatı) üyesi ülkelerde 2000–2013 yılları arasında anti-hipertansif, kolesterol düşürücü, anti-diyabetik ve anti-depresan ilaçların günlük dozajında iki kat artış olduğu tespit edilmiştir. İlaçların bileşenlerinin büyük bir kısmı vücut tarafından emilemediği için kanalizasyona karışarak atıksu arıtma tesislerine iletilmektedir. Konvansiyonel atıksu arıtma tesisleri azot, fosfor gibi nütrientlerin giderimi için tasarlanmış olup, mikro kirleticileri arıtmak için projelendirilmemiştir. Bu nedenle, bu kirleticiler arıtılmadan yüzey sularına oradan da yeraltı sularına karışabilmekte, içme sularına kadar ulaşabilmekte ve sedimanlar da birikimleri de gerçekleşebilmektedir (Tiware ve ark., 2017; Üstün Odabaşı ve ark. 2018). Tablo 1'de en çok kullanılan kimyasallar ve olumsuz etkilerine yer verilmiştir (Özdemir, 2018; Üstün Odabaşı ve ark. 2018).

Yapılan deşarjlar sonucunda alıcı su ortamlarında mikro kirleticilerin konsantrasyonlarında sürekli devam eden bu artışı azaltmak, su kalitesini arttırmak ve olası ekolojik olumsuz etkileri önlemek için gerekli önlemler alınmalıdır. Ayrıca, arıtılmamış atıksular da bulunan patojenlerde mikro kirleticiler gibi yüzey-yeraltı suyu kaynaklarına karışarak içme suyu kaynaklarının kalitesini düşürmektedir. Alıcı su ortamlarında mikro kirleticilerin önemli seviyelere ulaşması sonucunda, canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu kirleticiler, hala tam olarak bilinmeyen birçok hastalığa ve alıcı su ortamlarında yaşayan balıkların dişileşmelerine yol açmaktadır (Ceylan, 2018). Endüstriyel su kullanımını da bu durumu olumsuz yönde etkileyerek hem halkın sağlığını hem de çevreyi tehdit etmektedir (Besha ve ark., 2017).

**Tablo 1.** Kullanılan Kimyasallar ve Olumsuz Etkileri

Orijin/Kullanım	Sınıf	Örnek	Bağlantılı Sorunlar
<b>Endüstriyel Kimyasallar</b>	Çözücüler	Tetraklorometan	İçme suyu kirlenmesi
	Ara ürünler Petrokimyasallar	Metil-t-butileter BTEX(benzen, tolüen, ksilen)	
<b>Endüstriyel Ürünler</b>	Katkılar Yağlayıcılar Alev geciktiriciler	Ftalatlar PCP'ler (Poli klorlu bifeniller) Polibromlu difenileterler	Biyobirikme, Uzun vadeli taşınım
	Deterjanlar	Nonilfenol etoksilatlar	Endokrin aktif dönüşüm ürünü (nonilfenol)
<b>Tüketici Ürünleri</b>	İlaçlar	Antibiyotikler	Bakteriyel direnç, hedeflenmeyen etki
	Hormonlar	Etilin estradiol	Cinsiyetsiz balıklar
	Kişisel bakım ürünleri	UV filtreler	Çeşitli kısmen bilinmeyen etkiler

<b>Biyositler</b>	Pestisitler	DDT Atrazin	Toksik etki ve kalıcı metabolitler Primer üreticiler üzerine etki
	Tarımsal olmayan biyositler	Tribütülin Triklosan	Endokrin etkileri Hedef dışı etki, kalıcı yıkım ürünü (metil triklosan)
<b>Jeojenik</b>	Ağır metaller	Kurşun, kadmiyum, civa	İnsan sağlığına zararlı
<b>Doğal Kimyasallar</b>	İnorganikler	Arsenik, selenyum, flor, uranyum	İçme suyu kalitesi problemleri Cinsiyetsiz balıklar
	Tat ve koku Siyanotoksinler İnsan hormonları	Geosmin, metilisoborneol Mikrosistinler estradiol	
<b>Dezenfeksiyon/ Yükseltgenme</b>	Dezenfeksiyon yan ürünleri	Trihalometanlar, haloasetik asit, bromat	İçme suyu kalitesi, insan sağlığı problemleri

Tablo 1’de verilen kimyasallar hayatın her alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan kimyasalların neredeyse hepsi içme suyu kalitesini düşürmekte ve sucul canlılarda cinsiyet bozukluklarına neden olmaktadır. Ayrıca daha bilinmeyen birçok zararlı etkileri nedeniyle yaban hayatını ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Sucul canlılarda birikerek su ürünlerinin tüketilmesi sonucu besin zinciri ile insanlara kadar iletilerek insanların vücutlarında da birikmektedir.

Mikro kirleticiler noktasal ya da yayılı kaynaklardan yüzey sularına karışmaktadır. Yüzey su kaynaklarını en çok tarımsal akışlar kirletmektedir. Tarımsal akıştaki suda; pestisitler, herbisitler, fungusitler ve türevlerini içermektedir (Chen ve ark., 2014). Mikro kirleticiler, düşük konsantrasyonlara (birkaç ng/L ile µg/L) sahip olmaları ve çok çeşitli yapıda olmaları (toksik, mutajen, çok zor parçalanabilmeleri), yüksek çözünürlükleri ve biyoaktiviteleri nedeniyle; spesifik saptama ve analiz prosedürlerinde tespit edilmelerinde zorluklarla karşılaşmaktadır. Su ve atıksu arıtma proseslerinde ise ya hiç arıtılmadan çıkmakta ya da çok düşük verimde arıtılmaktadır (Luo ve ark., 2014; Üstün Odabaşı ve ark. 2018).

Konvansiyonel atıksu arıtma tesisleri mikro kirleticileri arıtmak için tasarlanmamaları nedeniyle deşarj sularıyla çevresel sistemlere giren mikro kirleticiler;

- Kısa süreli ve uzun süreli toksisiteye,
- Endokrin bozucu etkilere, (balıklarda cinsiyet bozuklukları gibi)
- Mikroorganizmaların antibiyotik direnci vb. olumsuz etkilere yol açmaktadır.

Atıksu arıtma tesislerinde mikro kirleticilerin giderimin de etkili olan faktörler;

- Mikro kirleticinin özelliklerine, (hidrofobiklik, biyolojik parçalanabilirlik, uçuculuk ve kararlılık)
- Atıksu arıtma tesisine özgü faktörlere (SRT (çamur yaşı), HRT (hidrolik bekletme süresi), sıcaklık ve pH gibi) bağlıdır.

Mikro kirleticiler, atıksu arıtma tesislerinde bulunan farklı arıtma proseslerine karşı farklı direnç ve kararlılık göstermektedir. Mikro kirleticiler AAT’lerde bulunan bazı arıtma proseslerinde parçalanarak metabolit veya yan ürünlere dönüşmektedir. Ama bu arıtma prosesinden sonra gelen diğer ünitelerde tekrar kısmen ya da tamamen ana bileşiğe dönüşmektedir. Bu nedenle tesiste mikro kirleticilerin ölçümü sadece giriş ve çıkış atıksularında değil; her bir procesten önce ve sonra yapılmalıdır. Böylece proseslerdeki konsantrasyon değişimlerinin gözlenmesiyle birlikte

yapılan arıtım hakkında daha doğru bilgi alınması sağlanabilir (Nas ve ark., 2017). Tablo 2’de AAT’lerde bulunan, mikro kirleticiler ve giderim verimlerine göre genel bir sınıflandırma yapılmıştır (Luo ve ark., 2014).

**Tablo 2.** Mikro kirleticiler ve arıtma verimleri

<b>Arıtma Verimi</b>	<b>Bileşikler</b>
Düşük giderim (< %40)	<i>Karbamazepine, metoprolol, diklofenak</i>
Orta derecede giderim (%40-70)	<i>trimethoprim, ketoprofen, klofibrik acit, sülfamethozole, atenolol, nonilfeno,</i>
Yüksek derece giderim (> %70)	<i>Estrone, bisfenol A, triklosan, naproksen, gemfibrozil, kafeine, ibuprofen</i>

Tablo 2’ye bakıldığında, AAT’lerde en yüksek oranda (%70); *Estrone, Bisfenol A, Triclosan, Naproxen, Gemfibrozil, Kafeine, İbuprofen* mikro kirleticilerinin giderildiği, buna karşılık ilaç etken maddelerinin içinde çok fazla bulunan *Karbamazepine ve Diklofenak* gibi kirleticilerin düşük oranda arıtıldığı görülmektedir. Bu giderim verimleri tesisin arıtma teknolojisine bağlı olarak değişmektedir.

Ülkemizde mikro kirleticilerin deşarjını sınırlayan herhangi bir yasal mevzuat veya yönetmelik yoktur. Az sayıda ülkede ve çok az sayıda kirletici için düzenlenmiş yasal mevzuatlar vardır. Yasal olarak mikro kirleticilerin deşarj sınırları belirlenirken; tek başlarına oluşturdukları etkilerinin yanı sıra bir arada bulunmaları durumunda oluşturabilecekleri sinerjik etkileri de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle daha fazla araştırma (deney, ölçüm ve gözlem) yapılarak çevresel etkileri belirlenmeli ve yasal limitler bu araştırmalar dikkate alınarak oluşturulmalıdır (Luo ve ark., 2014).

### **1.1.Farmasotikler**

Özellikle hastalıkların teşhisi ve tedavisinde yaygın olarak ilaçlar kullanılmaktadır. Bir ülkedeki veya bir bölgedeki ilaç tüketimi çevreye verilen zararın tahmin edilmesinde etkilidir. Dünya genelinde kişi başına yılda yaklaşık 15 gram farmasotik ilaç kullanıldığı tahmin edilmektedir. Sanayisi gelişmiş ülkelerde ise bu oranın daha yüksek olduğu (yaklaşık 50-150 gram) tahmin edilmektedir (Zhang ve ark., 2008).

Antibiyotikler; 50’den fazla bileşen içermektedir ve penisilinler de çok fazla kullanılan antibiyotiklerden biridir. Dünyada 2003 yılında üretilen pestisitler antibiyotik kullanımının % 60’ıdır (Wang ve ark., 2016). Hastane atıksularında tahmin edilen bazı antibiyotik konsantrasyonları ise; *β-lactam* antibiyotikleri için 20-80 µg/L, *Siprofloksasin* için 2-83 µg/L aralığındadır (Wang ve ark., 2016). Belediye atıksularında ise bu değer 50 µg/L’ye yaklaşmaktadır (Wang ve ark., 2016). Tedavi ve koruma amaçlı en önemli grup olan *Tetrasiklinler*’de atıksuya yüksek oranlarda karışan yarı ömrü yüksek antibiyotiklerdir. Tetrasiklinler; arıtma tesislerinde bulunan aktif çamura adsorplanarak, biyolojik arıtımı olumsuz yönde etkilemekte ve dirence neden olabilmektedir (Yaşar ve ark., 2013).

İlaçlar ya da metabolitleri genellikle polar moleküllere bağlanmış halde idrar ya da dışkı yoluyla vücuttan dışarı atılır. Bunlar, özellikle canlı organizmalara etkide bulunmak üzere tasarlandıkları için, biyolojik olarak etkin bileşiklerdir (Özdemir, 2018). İlaç etken maddelerinin büyük çoğunluğu tam anlamıyla metabolize edilmeden vücuttan atılır ve biyolojik olarak aktif halde alıcı su ortamlarına karışmaktadır. Vücut tarafından metabolize edilemeyen ilaçlar genellikle biyolojik olarak parçalanabilirliği en az olan ilaçlardır. Alıcı ortama giren bu ilaçlar ortamda birikirler.

Farmasotik kalıntıların;

- % 70’i evsel kullanım
- % 20’si hayvancılık
- % 5’i hastane atıkları
- % 5’i spesifik olmayan kaynaklardan oluşmaktadır (Özdemir, 2018).

Hastane atıksuları önemli miktarda farmasotikleri ve diğer mikro kirleticileri içermektedir. Hastane atıksuları kentsel atıksulara göre özellikle mikro kirleticiler yönünden daha kompleks atıksulardır. Hastanenin bulunduğu bölgeye,

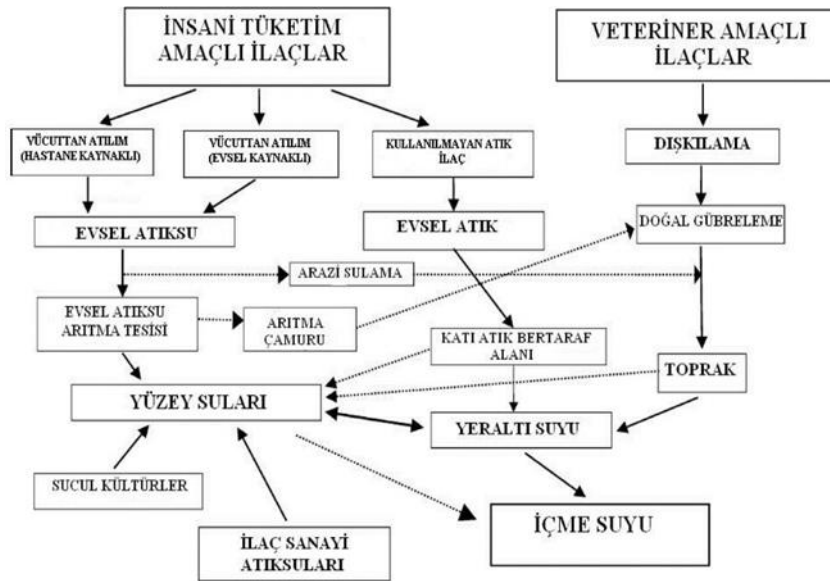
hasta sayısına, yatak sayısına, bölgenin iklimine ve suya erişilebilirliğine göre hastanelerde oluşan su miktarları değişmektedir (Yaşar ve ark., 2013).

Hastane atıksuları, patojenleri, farmasötik kalıntıları ve bunların metabolitlerini, ilaç konjugatlarını, radyoaktif elementleri ve diğer kimyasalları içermektedir. Hastane atık sularının belediye AAT' lerde (seyreltilmiş farmasötik konsantrasyonlarda bile) deşarj edilmesi organik kirleticinin biyolojik bozunma sürecini azaltmaktadır (Pauwels ve ark., 2006).

Farmasötiklerin atıksudaki konsantrasyonları mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Araştırmacıların yapmış oldukları pek çok çalışmada; kış aylarında makrolit farmasötik yani, solunum yolu enfeksiyonları ve inflamasyonunun tedavisinde kullanılan ilaç yükünün yaz aylarına göre iki kat daha fazla olduğunu tespit edilmiştir. Bunun nedeni, kış aylarında daha fazla ilaç kullanılması ve kış aylarında biyolojik aktivitenin azalması ile birlikte AAT'lerde arıtma veriminin düşük olmasıdır (Ulutaş, 2017).

İlaçların içinde bulunan etken ajanlar ilk anda küçük konsantrasyonlar şeklinde görünse de konsantre su arıtımı esnasında yüksek aktivite göstermektedir. Hastane atıksuları hiçbir ön arıtmaya tabi tutulmadan doğrudan kanalizasyona verilmektedir. Kanalizasyona gelen atıksular, AAT'lerde arıtılırken mikro kirleticiler kısmen ya da hiç arıtılmadan tesisten alıcı ortama deşarj edilmektedir (Balcı ve ark., 2010). Alıcı ortamlara deşarj edilen mikro kirleticiler nehirlerin, göllerin, denizlerin, yeraltı sularının ve içme sularının kirlenmesine sebep olmaktadır. Sadece sularda değil sedimanlarda ve arıtma çamurlarında birikmektedir (Ulutaş, 2017).

Şekil 1'de çevrede bulunan farmasötiklerin kaynakları, AAT'lerde arıtıldıktan sonra çıkış sularından yüzey ve yeraltı sularına karıştığı yollar verilmiştir (Balcı ve ark., 2010).



Şekil 1. Çevrede bulunan farmasötiklerin kaynakları

Ülkemizde, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde hastane atıksuları da evsel atıksular olarak kabul edilmektedir. Fakat özellikleri itibariyle çok çeşitli makro ve mikro kirleticileri içeren hastane atıksularının ayrı toplanıp arıtımının ayrı yapılması ya da bir arıtmadan geçmesi gereklidir. Hastanelerde oluşan atıksuların bir ön arıtmadan geçirilerek kanalizasyona verilmesi de bir diğer alternatiftir.

FDA (Gıda ve İlaç İdaresi) sularda antibiyotik ve antiseptiklerin etkilerini, yalnızca insan üzerine etkileriyle değil, ilaca dirençli bakterilerin gelişme olasılığı bakımından da araştırmaya başlamıştır. Çünkü antibiyotiklere dirençli organizmaların çevresel sistemlerdeki sayısı giderek artmaktadır. Bu durum mikrobiyal ekosistemlere ek bir tehlike oluşturmaktadır. Su kirliliği üzerine yapılan çalışmalarda hali hazırda toksik ya da kanserojen oldukları iyi bilinen bileşikler üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak reçeteli ilaçlar, teşhis kitleri, parfümler, güneş korunma ürünleri ve diğer

birçok bileşiği içeren kişisel bakım ürünlerinden gelen sessiz tehlikenin de gözden kaçırılmaması gereklidir (Özdemir, 2018).

Yapılmış olan birçok kısa süreli toksisite çalışmasında, ilaç moleküllerinin suda yaşayan organizmalar üzerinde düşük konsantrasyonda bulunmaları nedeniyle akut toksik etki göstermediğini, ancak sürekli salınım ve sudaki biyota maruz kalmanın uzun süreli (kronik) etkilere sahip olduğunu bildirmişlerdir (Tiwari ve ark., 2017).

Huerta ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, farmasötiklerin atıksudaki miktarını tespit etmek için balıklarda biriken mikro kirletici konsantrasyonları analiz edilerek belirlenmiştir. Çalışmada sucul çevredeki kirliliğinin belirlenmesinde etkili türlerden biri olan balıkların, su ortamında bulunan kirleticilerin biriktirmesi ve suda bulunan kirleticileri arıtma kabiliyetlerinin olması nedeniyle tercih edilmiştir. ABD’de, yapılmış olan çalışmada; AAT’lerin çıkış sularının karıştığı, 25 nehir sahasından alınan yabancı balıklarda bulunan farmasötik bileşiklerin miktarı incelenmiştir (Huerta ve ark., 2018). Çalışma, ABD’de EPA’nın 2008-2009 yılları arasında Ulusal Nehirler ve Akarsular değerlendirmesinde incelenen kentsel nehir kümesi oluşturularak belirlenmiştir. ABD ve Avrupa’daki önceki çalışmalardan elde edilen bulgularla uyumlu olarak; balık filetolarında genellikle 10 ng/g’ın altındaki konsantrasyonlarda ölçülmüştür. Balıklarda en sık görülen bileşikler; Venlafaksin (% 58), Karbamazepin (% 27), ve metaboliti 2-hidroksi karbamazepin (% 42) olduğu belirlenmiştir. Bu ilaç grubu; doğal su ortamlarında olduğu kadar, AAT’lerde konvansiyonel arıtma sırasında yüksek oranda bulunmaktadır ve bozulmaya karşı oldukça dirençlidir. Örneklerin %20’ sinde astımı tedavi etmek için kullanılan Salbutamol ve diüretik hidroklorotiyazid bileşiklerine sıklıkla rastlanmıştır. Sekiz balık türünde çevresel konsantrasyonlarda kronik maruziyete bağlı 6 farmasötik familyasının meydana geldiği saptanmıştır. Kent sistemlerinde 13 farmasotiğin incelendiği balık filetolarında 10 ng/g’ın altında ölçülmeleri nedeniyle organizmalar için potansiyel risk teşkil etmediği sonucuna varılmıştır. İlaç grubu içinde en yaygın olarak bulunan bileşenler; Venlafaksin ve Karbamazepine (ve onların metabolitleri) ile psikoaktif ilaçlar olduğu tespit edilmiştir (Huerta ve ark., 2018).

Konya’da yapılmış olan bir tez çalışmasında, 8 büyük hastanenin (devlet ve özel) kanalizasyona deşarj noktasından, Konya Kentsel AAT giriş ve çıkış noktalarından kış döneminde alınan atıksu örneklerinde anti-enflamatuar bileşiklerin (Diclofenac, İbuprofen, Naproxen, Ketoprofen, Mefenamic acid) konsantrasyonları tespit edilerek bu bileşiklerin giderim oranları belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, hastane atıksularında Naproxen 30,213 µg/L ile en yüksek seviyede tespit edilen bileşik olurken ikinci sırada 8,863 µg/L ile İbuprofen bileşiği takip etmiştir. Bu bileşiklerin Çevresel risk değerlendirme sonucuna göre balık test organizması için su ortamında orta risk ( $0,1 \leq RQ \leq 1$ ) oluşturduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre, kentsel atıksudaki anti-enflamatuar yüküne hastanelerdeki noktasal kaynak deşarjların katkısının evsel atıksulara kıyasla daha az miktarda katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak çalışmada, hastane atıksularının ayrı bertaraf edilmesi yerine arıtma tesisine bu kirleticileri giderecek prosesler entegre edilmesinin daha uygun olacağı ifade edilmiştir (Ulutaş, 2017).

Bir diğer farmasötik kirlilik kaynağı ise, son kullanma tarihi geçmiş ilaçlardır. Bu ilaçların bertarafı oldukça önemlidir (Breton ve ark., 2003). İngiltere’de yapılan bir araştırma sonucuna göre; insanların üçte ikisinin kullanılmayan ilaçları evsel atık olarak imha ettiği, geri kalan kısmının da ilaçları ya eczacıya geri götürdüğü (%22) ya da onları lavabo ve tualete döktükleri (%12) tespit edilmiştir (Ulutaş, 2017). Bilinçsiz bir şekilde son kullanma tarihi geçmiş ilaçların geliş güzel atılmasının önüne geçmek için yasal düzenlemeler yapılmalı ve halk bu konuda bilinçlendirilmelidir.

Farmasötiklerin, sucul ortamlara girişini önlemek için, ilaçlar bertaraf edilmeden önce uygun şekilde toplanmalıdır. İlaç atıklarının toplanması için; görevlendirilen bazı eczaneler ya da aile sağlık merkezlerinde atık ilaç konteynırları kurularak ilaçlar toplanıp, konteynırlardan lisanslı toplama firmaları tarafından alınarak bertaraf etme tesislerine ulaştırılmalıdır. Ancak binaların içerisinde; iç ortam sıcaklığında plastik ya da kartondan yapılmış konteynırlarda toplanan ilaçlar, belli bir süre sonra uygun bekletme koşullarının sağlanamaması ve belirli periyotlarda toplanmaması gibi nedenlerle problem daha da büyüebilmektedir. Çoğu zaman toplanan atık ilaçlar birkaç kat poşete konularak evsel atık konteynırlarına bırakılmaktadır. Atık ilaçların toplanması hakkında gerekli şartlar Tehlikeli Atıkların Kontrolü yönetmeliğinin altıncı maddesinde belirtilmiştir. İlaç atıklarının diğer tür (evsel, kağıt, karton vb.) atıklardan ayrı olarak, risksiz bir şekilde özel koku, sızdırmazlık, çevre kirliliği, görüntü kirliliği, hayvanların atığa erişiminin engellenmesi, tahliyesinin daha kolay olması gibi özelliklere sahip konteynırlarda tek başına toplanarak yakma tesislerine ulaştırılmalıdır. (Ceylan ve ark., 2018).

## 1.2. Kişisel Bakım Ürünleri (PCP)

Kişisel bakım ürünleri (PPCP), insani tüketim amaçlı ilaçlar ve veteriner amaçlı ilaçların reçetesiz-reçeteye satılan ilaçları ve kişisel bakım amaçlı aktif ve inert maddeleri içeren geniş bir bileşik grubunu temsil etmektedir. PPCP örnekleri; analjezikler, lipit düzenleyiciler, sentetik hormonlar, steroidler, kokular, şampuanlar, güneş koruyucu kremler ve kozmetik ürünleri içermektedir. PPCP'ler direk olarak ya da biyolojik olarak değişmiş formları şeklinde kanalizasyona verilerek AAT'lere gönderilmektedir. PPCP'ler AAT'lere ulaştığında;

- CO<sub>2</sub> ve suya dönüşüm,
- Tesisteki çamurda birikme/tutunma,
- Alıcı suya hiç bozunmamış olarak veya bozunma sonucu oluşan yan ürün şeklinde salınmaktadır (Jiang ve ark.,2013).

Kişisel bakım ürünlerinin yılda üretimi kesin olmamakla birlikte yaklaşık olarak  $2 \times 10^7$  tondan daha fazladır (Wang ve ark., 2016). Bu üretim, PPCP'lerin hastalıkların önlenmesi veya iyileştirilmesi, su ürünleri yetiştiriciliği ve hayvancılık gibi ekonomik gelişmelerin sürdürülmesinde yüksek talepler nedeniyle artmaktadır. Artan talep PPCP'lerin çevredeki kaderini etkilemiştir. Bu durumun nedeni ise; PPCP'lerin yaygın olarak kullanılması ve teknolojiye gelişmelerdir. Bu konuda yapılmış çalışmalarda, PPCP'lerin atıksudaki konsantrasyonları ile PPCP'lerin üretim ve kullanım oranları arasında önemli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bir çalışmada, Kore'de PPCP'lerin yıllık üretim miktarları en yüksekte en düşük olana doğru sırasıyla; Asetaminofen, Karbamazepin, Simetidin, Diltiazem, Sülfametoksazol ve Trimetoprimin; oluşum konsantrasyonlarının atıksuda da benzer oranlarda bulduklarını tespit etmişlerdir (Choi ve ark., 2008).

İngiltere Galler'de yapılmış olan bir çalışmada iki farklı atık su arıtma teknolojisi kullanan AAT'lerde 55 ilaç, kişisel bakım ürünü, endokrin bozucu ve yasadışı uyuşturucu madde (PPCP)'nin durumunu belirlemek için 5 aylık bir izleme programı yürütülmüştür. AAT'lerin birinde aktif çamur ile arıtım yapılırken diğerinde damlatma filtre yatakları kullanılmaktadır. AAT çıkış suyunun, alıcı su ortam kalitesi üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir. Ham atıksuda bulunan PPCP'lerin, üretim miktarının PPCP üretim/tüketim oranıyla doğrudan ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Aktif çamur sistemi ile yapılan arıtma sonunda % 85'lik oranda giderim yapılırken; damlatmalı filtrenin kullanıldığı tesiste % 70'lik arıtma verimi tespit edilmiştir. Fakat polar olmayan PPCP bileşiklerinin tam olarak parçalanmadığı (mineralize edilemeyen) ifade edilmiştir. Yağışın yoğun olduğu zamanlarda ham atıksuyun konsantrasyonunun buna bağlı olarak seyreltiğini ifade etmişlerdir. Yaz aylarında mikro kirletici konsantrasyonlarının daha az olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu durumun nedeni olarak; sıcaklığın artmasıyla birlikte biyolojik aktivitenin arttığı ve yaz aylarında yağış alan bölgelerde seyrelmenin daha fazla olmasının bir sonucu olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak; sadece atıksuda değil atık çamur içinde gerekli analizler yapılarak PPCP konsantrasyonlarının belirlenmesi gerektiği, PPCP bileşiklerinin hangilerinin çamurda biriktiğinin tespit edilmesi ve daha kapsamlı yapılacak çalışmalarla belirlenen sonuçların doğrulanması gerektiği ifade edilmiştir (Kasprzyk ve ark., 2009).

PPCP'leri içeren arıtılmış ya da arıtılmamış atıksu ile sulama yoluyla toprakta da birikebilmektedir. PPCP'ler en çok AAT çıkış sularının deşarjı ile çevreyi kirletmektedir ve sürekli kalıcı organik kirleticiler olarak kabul edilmektedir. PPCP'ler konvansiyonel AAT'ler de arıtılmamaları nedeniyle alıcı su ortamlarına (yeraltı ve yüzey sularına) karışmaktadır (Wang ve ark., 2016).

## 1.3. Ftalatlar

Ftalatlar, ya da ftalat esterler, ftalik asit esterleridir ve genellikle esnekliklerini artırmak için plastiklere eklenen kanserojen bir maddedir. Sert plastik olan polivinilkloriti esnekliğe çevirmede kullanılmaktadır. Ayrıca erkeklerde kısırlığa neden olmaktadır. Bu özelliği nedeni ile prezervatiflerde kullanılmaktadır. Ancak hem kullanan, hem partneri için risk taşırlar.

En yaygın şekilde kullanılan ftalatlar aşağıda sıralanmıştır.

- DEHP (di(2-ethylhexyl)phthalate),

- DBP (dibutyl phthalate),
- BBP (butyl benzyl phthalate),
- DiNP ((di(iso-nonyl)phthalate)
- DiDP ((di(iso-decyl)phthalate)

DEHP içlerinde en yaygın kullanılan ftalattır ve çevreden alınan örneklerde en çok bu ftalat ile karşılaşmaktadır. ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) DEHP'yi “insanlar için olası kanserojenler”; Avrupa Birliği ise “öncelikli güvenlik gerektiren ölümcül maddeler” arasında sınıflandırmaktadır.

Belki de en önemlisi bebeklerin ve çocukların oyuncaklarında pek çok ftalat türünün kullanılmasıdır. Bebeklerde ileriki yaşlarda kanser ve kısırlık riski olduğu ispatlanmıştır. Bu nedenle 1999 yılından itibaren bebeklerin oyuncaklarında kullanımı yasaklanmıştır. 2009 yılından itibaren Kaliforniya’da kullanımına sınır getirmiştir.

Ayrıca; kişisel bakım ürünlerinde, boyalarda (film ya da parlaklık vermek için), endüstriyel plastiklerde, özel tıbbi aletler ve malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır.

En tehlikeli 2 ftalata (DEHP ve DBP) maruziyet; gıdalar yolu ile olmaktadır. Bebeklerin diş kaşıcıları ve oyuncaklarında da ftalat bulunmaktadır. Genital bozukluklara, infertiliteye ve birçok organda tahrişe neden olmaktadır. Ftalatlar; kan ve anne sütü dahil olmak üzere insan dokusunda ve metabolit olarak idrarda saptanmıştır (URL 1). Ftalatların yaygın olarak kullanılması sonucunda yerüstü ve yaraltı su kaynaklarının kirlenmesine neden olan önemli mikro kirleticiler olup kullanımı azaltılmalı ve atıksulardan giderimi üzerine araştırmalar yapılmalıdır.

#### **1.4.Mikro Kirleticilerle İlgili Faktörler**

Oktanöl/su dağılım katsayısı (DOW); su çözünürlüğü, toprak/sediment adsorpsiyon etkinliği ve su ortamı için biyokonsantrasyon faktörü gibi birçok parametrenin çevresel değerlendirilmesinde ve tahmininde kullanılmaktadır.

Oktanöl/su dağılım katsayısı (DOW), bir kimyasalın iki fazdaki konsantrasyon oranı olarak tanımlanır. Oktanöl/su dağılım katsayısı, bir organik kimyasalın;

- Lipid ya da yağ içerisine dağılım,
- Toprak veya sediment gibi partiküle tutunma,
- Biyokütle ya da çamura tutunma,
- Çeşitli çevre ortamlarına dağılım eğilimini gösterir.

n-oktanöl/su dağılım katsayısı;

$$DOW = \frac{\text{n-oktanöl içerişindeki konsantrasyon}}{\text{su içerişindeki konsantrasyon}} \quad \text{LogDOW} = \log_{10}(DOW) \quad (1)$$

Oktanöl/su dağılım katsayısı (DOW), aynı zamanda sudaki biyokonsantrasyon potansiyelinin ve mikroorganizmaların tahmininde, toprak, sediment, biyokütle ve çamurun sorpsiyon oranının belirlenmesinde kullanılır. Oktanöl/su partitasyon katsayısı (KOW) (Hansch 1995);

$$KOW = DOW(1 + 10(\text{abs}(\text{pH} - \text{pKa}))) \quad (2) \quad \text{LogKOW} = \text{Log}_{10}(KOW) \quad (3)$$

Log KOW değeri, birçok ekotoksikoloji modelinin değerlendirilmesinde kullanılır.

Mikro kirleticiler maddelerin katılar tarafından adsorbe edilmesi, büyük ölçüde kirleticinin hidrofobikliğine bağlıdır. Katılarda mikro kirleticilerin emilimini tahmin etmek için Oktanöl-su ayırma katsayısı (Kow) sıklıkla kullanılır. Rogers (1996), Oktanöl- su ayırma katsayısı (Kow) ile ilgili bir kuram yayınlamıştır. Kurama göre,  $\log Kow < 2.5$ , düşük sorpsiyon potansiyelini, 2.5



<logKow <4 orta sorpsiyon potansiyelini ve logKow> 4 yüksek sorpsiyonu göstermektedir (Kılıç, 2015).

Mikro kirletici maddelerin biyolojik olarak bozunabilirliği hücreler tarafından bu mikro parçacıkların alınmasıdır. Bir bileşiğin biyo-bozunabilirliği,

- Kısa yan zincirlere sahip doğrusal bileşikler,
- Doymamış alifatik bileşikler ve
- Elektron başına sahip bileşiklere bağlıdır.

Ancak, AAT'lerde artılamayan mikro kirleticilerin çevreye verdiği zararı azaltmak ve arıtmak için; mikro kirleticileri gideren arıtma proseslerinin zorunlu olarak var olan arıtma tesislerine entegre edilmesi sağlanmalıdır (Luo ve ark., 2014).

## 2.Su Ortamlarında Bulunan Mikro Kirleticiler

### 2.1.Yüzey Sularında Bulunan Mikro Kirleticiler

Mikro kirleticiler yüzey sularına birçok şekilde girebilmektedir. Fakat yüzey sularına en çok, AAT'lerin çıkış sularının deşarj edilmesi sonucu karışmaktadır. Su ortamında mikro kirleticiler biyolojik parçalanma, doğrudan ya da dolaylı fotoliz, sedimentte birikme ve suda seyrelme şeklinde değişimlere uğramaktadır (Pal ve ark., 2010). Yağışlı mevsimlerde suda seyrelmenin fazla olması nedeniyle sudaki mikro kirletici konsantrasyonları daha az seviyelerde iken, yaz aylarında, yağışın az olması nedeniyle seyrelme azalır ve kış aylarına göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmektedir (Luo ve ark., 2014).

Yüzey sularında bulunan mikro kirleticilerin konsantrasyonları bulunduğu yere göre farklılık göstermektedir. Ülkelerin ve şehirlerin gelişmişlik seviyelerine bağlı olarak kullanılan ilaç çeşitliliği ve miktarı artmaktadır. Özellikle yaşlı nüfusun fazla olduğu bölgelerde ilaç kullanımına bağlı olarak mikro kirleticilerin kanalizasyondaki konsantrasyonları daha fazladır. Ayrıca bir yerin iklimi nedeniyle bazı hastalıkların yaygın olarak görülmesine bağlı olarak kullanılan ilaçların içeriğine göre yüzey sularında daha fazla buldukları tespit edilmiştir (Luo ve ark., 2014).

Al Rafi ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, Costa Rica, ABD ve Tayvan'da bulunan doğal su kaynaklarındaki mikro kirleticiler ve konsantrasyonları kıyaslanmıştır. Costa Rica'da hastane atıksuları nedeniyle *Ibuprofen*, *Ketoprofen*, *Gemfibrozil* ve *Kafein* (sırasıyla 36.8, 9.8, 17.0 ve 1121.4 µg/L) mikro kirleticilerinin konsantrasyonlarının yüksek olduğu ve endişe verici boyutlara ulaştığını tespit edilmiştir. ABD ve Tayvan'da ise, *Kafein* konsantrasyonu diğer kirleticilere göre daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu ve Costa Rica'dan farklı olarak *Kafein* konsantrasyonu tahmin edilen değerlerin çok altında tespit edilmiştir. Genellikle, yoğun nüfuslu bölgelerin doğal su kaynaklarında görülen bu kirleticiler, bu bölgelerde bahsedilen mikro kirleticileri içeren ilaçların ve kimyasalların, kitlesel kullanımı nedeniyle ortaya çıkmış olabileceği belirtilmiştir (Al-Rifai ve ark., 2011).

Örneğin, Çin'in en büyük şehirlerinden biri olan Guangzhou'nun yüzey suyundaki *Nonilfenol*, *Bisfenol A* ve *Triklosan* konsantrasyonları oldukça yüksek bulunmuştur. Çin'de bulunan nehirdeki *Nonilfenol* konsantrasyonu Yunan nehrine göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. *Nonilfenol* konsantrasyonlarının bu iki ülkede de tahmin edilen değerlerden fazla bulunmasının, nüfusun yaşlanmasına bağlı olarak ilaç kullanımının artması ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir (Al-Rifai ve ark., 2011).

Pal ve ark. (2010) yapmış oldukları çalışmada, Japonya'da kanalizasyon sızıntısı olduğu düşünülen 37 nehirde, 13 ilaç ve kişisel bakım ürününün konsantrasyonları araştırılmıştır. *Crotamiton*, *Karbamazepin*, *Ibuprofen* ve *Mefenamik asit* bileşenlerinin nehirdeki akı ile havzadaki popülasyon arasında pozitif korelasyon gösterdiğini ileri sürmüşlerdir. Nüfus arttıkça ilaç ve kişisel bakım ürünlerinin kullanımının artması sonucu nehirlere daha fazla oranda karıştığı ifade edilmiştir (Pal ve ark., 2010).

## 2.2. Yeraltı Suyunda Bulunan Mikro Kirleticiler

Yüzey sularının aksine yeraltı sularında mikro kirleticiler daha az konsantrasyonlar da bulunmaktadır. Yeraltı suyunun mikro kirletici kontaminasyonu temel olarak; depolama sahası sızıntı suları, yeraltı-yüzey suyu etkileşimi, tarım arazilerindeki kirlenmiş suların sızması, fosseptiklerin ve kanalizasyon sistemleri sızmasından kaynaklanmaktadır. Mikro kirleticilerin fizikokimyasal özellikleri bileşiklerin yeraltı suyuna sızmasında etkilidir. Oktanol su ayırma katsayısı  $K_{ow} < 1.5$ 'e sahip bileşiklerin (örn, trimetoprim ve TCEP) çözünmüş fazda kalma eğiliminde oldukları ve yeraltı sularında bulunma olasılıklarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Seçilmiş beş ülke için yapılmış olan bir çalışmada, yeraltı suyunda mikro kirleticilerin büyük çoğunluğunun 100 ng/L'den daha az konsantrasyonlarda olduğu tespit edilmiştir. Mikro kirleticilerin tahmin edilen konsantrasyonları ile oluşum konsantrasyonlarının karşılaştırılması sonucu bileşiklerin çoğu çevre için önemli tehlike potansiyeli içermeyecek seviyelerde olup bununla birlikte, ABD'da arazi uygulama sahasında, yeraltı sularında tahmin edilen konsantrasyon değerlerinden yüksek konsantrasyonlarda (2 veya 3 kat daha fazla) steroid hormonları bulunmuştur. Tahmin edilen mikro kirletici konsantrasyonlarından daha fazla bulunmasının nedeni olarak, atıksuların toprağın bir kısmına uygulanmasının bir sonucu olduğunu ileri sürmüşlerdir. Çalışmada, yüksek düzey steroid hormonlarının olumsuz etkilerini belirtilmemekle birlikte doğrudan veya dolaylı olarak içilebilir suyun yeniden kullanımı için yeraltı suyu kullanıldığında potansiyel bir tehlike kaynağı olabileceği sonucuna varılmıştır (Luo ve ark., 2014).

## 3. Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikro Kirleticilerin Arıtılabilirlikleri

AAT'lere gelen atıksuda bulunan temel kirletici parametrelerin (BOİ5, KOİ, AKM, N ve P) dışında suda ve toprakta zor parçalanabilen mikro kirleticiler ulaştığında; çözünürlük, uçuculuk, adsorplanabilirlik, biyoparçalanabilirlik, polarite ve stabilite özelliklerini etkileyen bileşiklerde bulunmaktadır (Ceylan, 2018). Ayrıca mikro kirleticilerin AAT'lerde; birincil, ikincil ve üçüncül arıtmaları yapılmaktadır. Diğer arıtım yöntemlerine göre daha maliyetli olan üçüncül arıtım genellikle daha yüksek kalitede su elde etmek için kullanılmaktadır. Üçüncül arıtma sistemleriyle mikro kirleticilerin arıtılması sonucunda hem doğanın hem de halk sağlığının korunması sağlanabilir (Luo et al., 2014). Mikro kirleticilerin AAT'lerdeki durumunu iç ve dış faktörler etkilemektedir. İç faktörler; mikro kirleticilerin hidrofobiklik, biyo-bozunabilirlik ve uçuculuğudur. Genel olarak, polar ve uçucu olmayan bileşiklerin atıksu arıtma proseslerinden kaçma olasılığı daha yüksektir. Dış etkenler ise, AAT'lere göre değişiklik göstermektedir.

Birincil arıtmada amaç, katı maddelerin giderilmesi ve bu şekilde proseste yer alan mekanik teçhizatın tıkanmaya karşı korunmasıdır. Bir çalışmada, birincil arıtmada ön çökeltme tankında endokrin bozuculardan olan *Nonilfenol monoeksholat* %13 ve *Bisfenol A* ise %43'lük giderim verimi elde edilmiştir. Birincil arıtmada havalandırılmış kum haznesinin kullanılması, Bisfenol A ve Nonilfenol gibi fenolik bileşiklerin önemli ölçüde artmasına neden olabileceği ifade edilmiştir. Parçalanmış maddelere bağlanan bileşikler havalandırma işlemi nedeniyle tekrar suya karışması sonucunda artmasına neden olabileceği ifade edilmiştir (Stasinakis ve ark., 2013). Bir çalışmada, birincil arıtımın *İbuprofen*, *Naproxen*, *Sulfamethokzal* ve *Estron* mikro kirleticilerinin giderimi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir (Luo ve ark., 2014).

İkincil arıtmada; biyolojik bozunma, kimyasal, fiziksel arıtım ve katıda (çamurda) tutunma prosesleri gerçekleştirilmektedir. Biyolojik arıtım sonunda, mineraller ve tam olarak parçalanmamış maddelerin yan ürünleri oluşmaktadır. Bir çalışmada, *BTRs*; benzothiazoles, *BTHs*; perflorlanmış bileşikler, *PFCs*; steroid olmayan endokrin bozucuların ham atıksu da ve ikincil arıtmadan çıkan atıksudaki konsantrasyonları araştırılmıştır. Ham atıksu ve kanalizasyon çamuru içindeki en yüksek konsantrasyonlar sırasıyla BTR ve NP için belirlenirken, PFC perflorinli bileşikler ise diğerlerine göre daha düşük konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Susuzlaştırılmış çamurda ise ortalama konsantrasyonlar 0,8 ng/g (*perflorik asit*) ve 3895 ng/g (*Nonilfenol*) aralığında değiştiği ifade edilmiştir.

Çalışmada incelenen tesis, birincil çökeltmenin olduğu ve biyolojik azot ve fosforun giderildiği aktif çamur sisteminden oluşmaktadır. 27 bileşiğin 9'unun arıtım verimi  $> \% 70$  iken diğer kirleticiler atıksu da ya daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiş ya da daha az oranda arıtılmıştır. Tesiste yapılan en iyi arıtım, biyolojik parçalanmanın olduğu havalandırma tankında görülürken (BTR %58); tüm öncelikli kirleticilerin ise ikincil çamurda biriktiği tespit edilmiştir. Hedef bileşiklerin sadece % 33'ü, birincil ve ikincil atık su arıtımında % 70'ten daha yüksek bir verimde arıtılmıştır (Stasinakis ve ark., 2013). Fakat çamurda mikro kirleticilerin birikmesi mikro kirleticilerin sıvı fazdan katı faza geçmiş olduklarını göstermektedir. Bu durumda oluşan çamurun arıtılması için arıtım prosesleri ile mikro kirleticilerin giderimi yapılmalıdır.

### 3.1. Mikro Kirleticilerin Giderim Yöntemleri ve Yapılmış Olan Çalışmalar

Mikro kirleticilerin, atıksulardan giderilmesinde genel olarak kullanılan yaklaşımlar aşağıda sıralanmıştır (Dereci, 2010).

- Mevcut arıtma tesisleri en iyi şekilde optimize edilerek kullanımı,
- Mevcut arıtma tesisleri ile yeni teknolojilerin birlikte kullanımı,
- Kaynakta ayırma metodu,
- Kaynakta ölçüm metotlarıdır.

Tıbbi ilaçların sucul ortamlarda ve atıksu arıtma tesisi çıkış sularında eser miktarlarda tespit edilmesi, sucul ortamlardaki canlılar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için AAT dizaynlarına yeni yaklaşımların getirilmesine yol açmıştır. Geleneksel AAT'ler organik madde giderimi üzerine tasarlanmış olmaları nedeniyle mikro kirleticilerin arıtımında etkili değildir. Tıbbi ilaçların yapısı, klasik atıksu arıtma tesislerine gelen organik maddelerden çok farklıdır. Kendilerine özel yapıları olan tıbbi ilaçların, organik yüke etkileri çok azdır (Dereci, 2010).

Bu kirleticilerin giderimin de mevcut arıtma yöntemlerinin yetersiz olduğu dikkate alınrsa, koagülasyon-flokülasyon, aktif karbon, ileri oksidasyon prosesleri ve membran teknolojileri gibi alternatif arıtma yöntemlerinin kullanılması gereklidir. Bu arıtma yöntemleri kullanılarak mikro kirleticilerin giderimin de en etkili olan ikili ya da tekli arıtma yöntemi belirlenebilir (Oğuz ve Akkurt., 2018). Alt başlıklarda alternatif arıtma yöntemleri ile su ortamlarından mikro kirleticilerin giderim verimleri kıyaslanmıştır.

#### 3.1.1. Koagülasyon-Flokülasyon

Fizikokimyasal arıtma proseslerinin başlıcalarından olan koagülasyon-flokülasyon ve flotasyonun uygulama alanları; kanalizasyon sistemlerine deşarj öncesi endüstriyel atıksuların ön arıtımı, kentsel atıksuların ön ve üçüncül arıtımı ve içme suyu arıtma tesisleridir. Genel olarak koagülasyon- flokülasyon prosesinin çoğu mikro kirleticilerin giderimi için etkili değildir (Nas ve ark., 2017). Mikro kirleticiler bu proseslerle sadece sıvı fazdan katı faza geçiş yapmaktadır.

Suarez ve ark. (2009) yapmış oldukları çalışmada, hastane atıksuyundan 13 adet PPCP'nin giderimine yönelik koagülasyon-flokülasyon ve flotasyon proseslerinin uygulandığı bir çalışma yapmıştır. Ön arıtım süresince %92 oranında toplam askıda katı madde giderimi sağlanırken, misk kokuları da kesikli koagülasyon-flokülasyon prosesi süresince yüksek derecede elimine edilmiştir. *Diklofenak*, *Naproxen* ve *Ibuprofen* gibi farmasotiklerin maksimum giderim verimleri sırasıyla %46, %42 ve %23 olup, diğer PPCP'lerin fizikokimyasal arıtmadan etkilenmediği görülmüştür. Koagülasyon-flokülasyon ve flotasyon kombinasyonu ile ham atıksuyun arıtımı tüm prosesin verimliliğini geliştirmiştir. Çalışmanın sonucunda koagülasyon-flokülasyon prosesinin, hastane atıksuyu karakteristiklerini kentsel atıksuya benzetmek için uygun bir ön arıtma seçeneği olabileceği ifade edilmiştir. Tablo 3' te bazı mikro kirleticilere ait arıtma verimleri verilmiştir (Suarez ve ark., 2009).

**Tablo 3.** Bazı mikro kirleticilerin koagülasyon-flokülasyon prosesinde giderimi

Koagulant	Doz ve pH	Atıksudaki bileşenler	Arıtma Verimleri (%)
FeCl <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	25,50 ppm and 7	<i>Ibuprofen</i>	12.0 ± 4.8
FeCl <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	25,50 ppm and 7	<i>Diklofenak</i>	21.6 ± 19.4
FeCl <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	25,50 ppm and 7	<i>Naproxen</i>	31.8 ± 10.2
FeCl <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	25,50 ppm and 7	<i>Carbamazepine</i>	6.3 ± 15.9
FeCl <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	25,50 ppm and 7	<i>Sulfamethoxazole</i>	6.0 ± 9.5
FeCl <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	25,50 ppm and 7	<i>Tonalide</i>	83.4 ± 14.3
FeCl <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	25,50 ppm and 7	<i>Galaxolide</i>	79.2 ± 9.9

Tablo 3 incelendiğinde koagülasyon-flokülasyon prosesinin, *Tonalide* ve *Galaxolide* mikro kirleticilerini yüksek verimde giderirken; diğer mikro kirleticileri çok düşük oranda giderdiği hatta neredeyse hiç gidermediği görülmektedir. Sadece birkaç mikro kirleticinin giderimin de etkili bir yöntem iken; diğer kirleticileri düşük verimde

arıtılması nedeniyle tek başına yeterli değildir. Başka arıtma yöntemleri ile birleştirilerek kullanılması ile arıtma verimi artırılabilir.

### 3.1.2. Aktif Karbon

Geniş iç gözenek yapısı, büyük kristal forma sahip olan aktif karbonlar; insan sağlığına zararsız, kullanışlı ürünler olup, oldukça geniş iç yüzey alanına sahiptir.

Sahip oldukları gözenekleri vasıtasıyla, çözülmekteki molekül ve iyonları iç yüzeylerine doğru çekerek kirleticileri adsorbe ederler. Genellikle, içme suyunda tat ve koku giderimin de kullanılırlar. Hem toz aktif karbon (PAC) hem de granüler aktif karbon (GAC) adsorpsiyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan adsorbanın özelliğine bağlı olarak toz ve granüler aktif karbon ile kirleticilerin giderim verimleri değişmektedir.

Koagülasyon- flokülasyon prosesi ile kıyaslandığında aktif karbon mikro kirletici giderimin de daha etkilidir (Nas ve ark., 2017).

Kovala ve ark. (2013), hastane atıksularının ön arıtımında toz aktif karbon, ozonlama ve UV kullanımının arıtma verimi üzerine etkisini araştırmışlardır. Giderim verimlerinin % 90'ın üzerinde bulunmuştur. Tablo 4'te bazı mikro kirleticilerin aktif karbon adsorpsiyonu ile arıtma verimleri verilmiştir (Kovala ve ark., 2013; Grover ve ark., 2011).

**Tablo 4.** Bazı Mikro Kirleticilerin Adsorpsiyon Prosesi İle Arıtma Verimleri

Adsorbent	Dozaj	Bileşik	Arıtma Verimi (%)
PAC	8, 23, 43 mg/l	Diklofenak	96, 98, 99
PAC	8, 23, 43 mg/l	Karbamazepine	98, 99, 100
PAC	8, 23, 43 mg/l	Propranolol	>91, >94, >94
PAC	8, 23, 43 mg/l	Sülfamethokzol	2, 33, 62
GAC	Tam ölçek	Diklofenak	>98
GAC	Tam ölçek	Karbamazepine	23
GAC	Tam ölçek	Propranolol	17

Tablo 4 incelendiğinde; *Diklofenak*, *Karbamazepine* ve *Propranolol* mikro kirleticilerinin toz aktif karbon ile granüler aktif karbona göre daha iyi verimde arıtıldıkları görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen arıtma verimlerine göre; granüler aktif karbon ve toz aktif karbonun her ikisinin de bazı mikro kirleticilerin giderimin de etkili yöntemler olarak kullanılabilmesi sonucuna varılabilir.

### 3.1.3. Ozonlama

İlaç kalıntılarının içme sularından giderimin de yaygın olarak kullanılan ozonlama prosesinde; hızlı ozon tüketiminin olması, buna bağlı olarak ilaç kalıntılarının oksitlenmesinin tam olarak gerçekleşmemesi ve bazı durumlarda ozonlama ile kanserojen bromat iyonlarının zararlı yan ürün olan bromit iyonlarına dönüşmesi gibi olumsuz özellikleri vardır (Yu ve ark., 2013).

Hastane atıksularında ise, ozonlama ile birlikte toz aktif karbon ilavesi de pek çok farmasotiğin atıksudan gideriminde etkili olmasına rağmen, iyotlu röntgen kontrast maddelerinin giderimin de iyi sonuç vermemektedir. Hastanelerde enfeksiyon etkeni olarak bilinen bazı bakterilerin ozon gazı ve/veya negatif iyona duyarlılıkları ve dezenfeksiyon yöntemlerinin kullanımının değerlendirilmesine ilişkin yapılan bir çalışmada, tüm bakteri türlerinin ozon gazına son derece duyarlı olduğu ve kısa maruziyet sürelerinde üremelerinin inhibe olduğu belirlenmiştir. Ozonlama nispeten ucuz bir tekniktir. Fakat oluşan yan ürünler yeterli karakterize edilememektedir. Bu nedenle, ozonlanmış AAT çıkış sularında yan ürünlerin hakimiyeti araştırılmalıdır (Yaşar ve ark., 2013). Tablo 5' te sadece ozonlama ve ileri oksidasyon prosesi ile entegre edilmiş ozonlama yöntemlerine ait giderim verimleri verilmiştir (Sui ve ark., 2010; Gerrity ve ark., 2011).

**Tablo 5.** Bazı Bileşiklerin Ozonlama ve İleri Oksidasyon Prosesleri İle Arıtma Verimleri

Doz	Bileşik	Arıtma Verimi (%)
O <sub>3</sub> (5 mg/l)	Karbamazepine	>90
O <sub>3</sub> (5 mg/l)	Diklofenak	>90

O <sub>3</sub> (5 mg/l)	<i>Metoprolol</i>	80-90
O <sub>3</sub> (5 mg/l)	<i>Bezafibrat</i>	0-50
O <sub>3</sub> (5 mg/l) + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (3,5 mg/l)	<i>Karbamazepine</i>	>99
O <sub>3</sub> (5 mg/l) + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (3,5 mg/l)	<i>Diklofenak</i>	>99
O <sub>3</sub> (5 mg/l) + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (3,5 mg/l)	<i>Sülfamethokzol</i>	98
O <sub>3</sub> (5 mg/l) + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (3,5 mg/l)	<i>Triklosan</i>	>99
O <sub>3</sub> (5 mg/l) + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (3,5 mg/l)	<i>Bisfenol A</i>	>78

Tablo 5 incelendiğinde; *Karbamazepine*, *Diklofenak* ve *Triklosan* bileşiklerinin % 90'ın üstünde arıtma verimleriyle giderildikleri görülmektedir. Ozonlama, ileri oksidasyon prosesi ile birlikte kullanıldığında arıtma veriminin % 98 gibi yüksek oranda olup kirleticilerin neredeyse tamamen giderildiği tespit edilmiştir. Fakat, *Bezafibrat* ve *Bisfenol A* daha düşük verimde arıtılmıştır. Diğer mikro kirleticilerinde yüksek oranda arıtılabilmesi için başka arıtma prosesleri ile entegre edilerek giderimi sağlanabilir.

*Diklofenak* ilaç kalıntısının UV ve UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yöntemleri ile gideriminin karşılaştırıldığı bir çalışmada, UV prosesi ile *Diklofenak*'ın %90 verim ile gerçekleşirken, UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi ile giderim verimi ise %100 olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında her iki prosesin de *Diklofenak*'ı iyi oranda giderdiği sonucuna varılmıştır. Hidrojen peroksit ilavesi ile OH<sup>-</sup> sayısının artmasına neden olarak daha fazla sayıda *Diklofenak*'a etki ederek parçalanmanın hızını artırmaktadır. Bu nedenle *Diklofenak* gideriminin H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> varlığında daha fazla olduğu ifade edilmiştir (Üstün Odabaşı ve ark., 2018).

### 3.1.4. Membran Filtrasyon

Partikül maddelerin, kolloidlerin, büyük moleküllerin, iyonların, askıda katı maddelerin ve çözünmüş maddelerin ayırımını yapmak için kullanılan bir teknolojidir (Arı, 2009).

Membran işlemlerinin arıtma verimliliği büyük ölçüde membran işleminin türüne, membranın özelliklerine, membran gözeneklerinin tıkanmasına, çalışma koşullarına ve seçilen mikro kirleticilerin özelliklerine bağlıdır. Mikrofiltrasyon (MF) ve ultrafiltrasyon (UF) bulanıklığı ortadan kaldırmak için oldukça etkili yöntemlerdir.

Jerman ve ark. (2009), UF işlemi sırasında *İbuprofen* ve *Östradiol* durumunu belirlemek ve organik maddelerin filtrenin tıkanması üzerine olan etkisini tespit etmeye çalışmışlardır. Doğal organik madde olmadan hidrofilik UF membranı, *İbuprofeni* çok düşük miktarda, *Östradiolü* ise % 80'den daha az oranda gidermiştir. Hidrofobik UF membranında ise *Östradiol* % 80'e kadar yüksek oranda giderilirken; *İbuprofeni* ise % 25'e kadar gidermiştir. Hidrofilik membranın hidrofobik UF membranına göre çok daha az oranda mikro kirleticileri giderdiği tespit edilmiştir.

Garcia ve ark. (2013), evsel atıksuyu tekrar kullanabilmek için atıksudaki mikro kirleticilerin gideriminin de MF'ye ters ozmoz (RO) entegre edilerek arıtımı incelenmiştir. MF ile *Bis (2-ethylhexyl) ftalatı* % 50'den fazla oranda gidermişlerdir. MF'dan sonra RO sistemi ile arıtım yapıldıktan sonra arıtma verimi % 65-90 aralığında yüksek verimde (*Nonilfenol* ve *İbuprofen* hariç) mikro kirleticilerin giderildiğini ileri sürmüşlerdir. Bu nedenle tek başına MF mikro kirleticilerin gideriminin de RO ile birleştirildikten sonra arıtım verimine (MF+RO % 90) göre daha az etkili olduğu tespit edilmiştir (Garcia ve ark., 2013). Bu verilere bakılarak RO ile MF ve UF entegre edilmesiyle mikro kirleticilerin daha yüksek oranda giderilebileceği sonucuna varılabilir.

Başka bir çalışmada, Kayseri Organize Sanayi Bölgesi AAT atıksularının, pilot ölçekteki membran biyoreaktör (MBR) ve ters ozmoz (RO) sistemi ile mikro kirleticilerin arıtılabilirliği değerlendirilmiştir. Mikro kirletici gideriminin sağlanması için ilk adım olarak MBR'nin AAT ön çökeltim tankı çıkışından beslenerek arıtım yapılmış, ikinci adımda ise MBR çıkışından beslenen RO işletilmiştir. MBR'nin işletim süresi boyunca ortalama temel kirlilik parametresi olan KOİ'de % 91 giderim verimi sağlanmıştır. MBR çıkış suyuyla işletilen ters ozmoz sisteminde ortalama %98.2 ± 0,5 iletkenlik giderimi sağlanmıştır. 67'si öncelikli kirletici olan 83 mikro kirleticinin analizi yapılmıştır. Mikro kirleticilerden, 67 öncelikli kirleticinin 46'sı tespit sınırının altında olduğu görülmüştür (Özcan, 2017).

Yapılan çalışmalarda nanofiltrasyon ve ters ozmoz sistemlerinin ilaç kalıntılarının ve mikro kirleticilerin gideriminin de etkili olduğu görülmüştür. Bu yöntemlerin kullanımını azaltan en önemli dezavantajı, membranların biyolojik

olarak tıkanması ve filtrede tutulan kısmın bertaraf sorunu ana problem olarak karşımıza çıkmaktadır (Yu ve ark., 2013; Ben Abdelmelek ve ark.,2011).

### 3.1.5. Membran Biyoreaktör

Membran biyoreaktör prosesi, biyolojik aktif çamur sistemi ile membran filtrelerin (UF ve MF) birleştirilmesi sonucu oluşmaktadır. Membran biyoreaktörlerin birçok avantajı vardır. Bunlardan bazıları; yüksek oranda mikrobiyal arıtımı, kontrol edilebilir çamur yaşı ve hidrolik bekletme süreleri, yüksek kalitede çıkış suyu eldesi, reaktörde yüksek biyokütle içeriği, daha az çamur tıkanma oranı, daha düşük çamur üretimi ve daha az alan ihtiyacı olarak sıralanabilir (Luo ve ark., 2014).

MBR ile yapılmış olan bir çalışmada ham atıksudan; *Bisfenol A*, *Estradiol*, *Östron* ve *İbuprofen* neredeyse tamamen (yaklaşık % 100) giderilmiştir. Diğer mikro kirleticiler ise % 90 oranında ham atıksudan uzaklaştırılmıştır. Fakat; *Diklofenak*, *Karbamazepine*, *Diazem* gibi bazı mikro kirleticiler ise ( % 24-68) tamamen giderilememiştir (Trinh ve ark., 2012).

### 3.2. Arıtılmış Atıksuların Sulama Suyu Olarak Kullanılabilirliği

Kurak ve yarı kurak iklime sahip birçok ülkede, arıtılmış atıksular sulama suyu olarak kullanılmaktadır. ABD, Almanya, Çin ve İrlanda gibi ülkelerde arıtılmış atıksular sulama suyu olarak yeniden kullanılmaktadır. Fakat sulama suları; kişisel bakım ürünlerinin kalıntılarını, farmasötikleri ve organik kirleticileri içermektedir. Arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak kullanılması sonucunda; toprakta, toprakta yaşayan canlılarda ve yetiştirilen ürünlerde bu kirleticiler birikmektedir. Bu nedenle kişisel bakım ürünleri, farmasötikler ve organik kirleticiler açısından bu sulara dikkat edilmeli ve konsantrasyonları tespit edilerek sulama suyu için uygun kriterlerde ise kullanılmalıdır. Atıksudaki PPCP'lerin yaklaşık % 80'i AAT'lerinde arıtılmadan; alıcı ortama deşarj edilmekte ya da sulama suyu olarak kullanılmaktadır. AAT'lerde kullanılan teknolojilerle PPCP'lerin biyolojik sistem üzerinde zararsız hale getirilip getirilemediği açık değildir. Ekin sulama sistemlerinde arıtılmış atıksuların sulama (içinde PPCP'leri içeren kimyasalların olduğu arıtılmış atıksu) suyu olarak kullanımı hektar başına 1.2 g/ha-121,3g/ha arasında değişmektedir. PPCP'ler toprakta iyi bir şekilde adsorbe edildikten sonra toprağın üst kısmında 0-30 cm'de kalırken yüksek akıcı özellikteki kimyasallar yeraltı suyuna ve yüzey sularına karışmaktadır. Böylece, içme suyunun kalitesini de doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Yapılmış olan birçok çalışmada, antibiyotikler, anti-enflamatuarlar ve anti-septiklerin tarım yapılan toprakta iz miktarda yani kg toprak başına nano gram ya da kg toprak başına gram seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Arıtılmış atıksularla toprağın sulandığı bir çalışmada, kuru toprakta *Karbamazepine* 549 µg/ kg kuru toprak iken, antibiyotiklerde bulunan *Triklosan* 16,7 µg/ kg kuru toprak olarak bulunmuştur. Toprakta mikro kirleticiler düşük konsantrasyonlarda bulunuyor olsalar bile besin zinciri ile insanlara kadar aktarılmaktadır. Ayrıca tarımsal alanlardaki akışla birlikte yüzey suyuna ve yeraltı suyuna geçerek içme suyuna da karışmaktadır (Qin ve ark., 2015).

Farmasötik kalıntıları içeren atıksuların arazilerde sulama amaçlı kullanılması sonucunda, kalıntıların yeraltı suyuna karışarak kirlenmesine neden olmaktadır (Balci, 2010). Bir çalışmada, araştırmacılar atıksu ile sulanan topraklardan aldıkları toprak numunelerinde farmasötik kalıntılar tespit etmişlerdir (Kinney ve ark., 2006). *Karbamazepin* ve *Eritromisin* gibi bazı farmasötikler toprakta altı aydan daha uzun sürelerde dirençli olarak kalabilmektedir (Balci, 2010). Ayrıca AAT'lerde farmasötiklerin gideriminde katı çamur üzerinde adsorbsiyon ile birikme işlemi uygulanmaktadır. Bu durumda sucul çevreye ve yeraltı sularına arıtma çamuru uygulamalarıyla veya toprak erozyonu ile farmasötiklerin girmesine yol açmaktadır (Ulutaş, 2017).

PPCP'ler sadece toprakta birikmekle kalmaz, ekinlerin büyümesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bazı PPCP'ler ekinlerde birikerek insan sağlığını da (endokrin sistemini) tehdit etmektedir. Son yıllarda ABD, Avrupa Birliği ve diğer ülkelerin yer aldığı PPCP'lerin çevresel olumsuz etkilerini içeren bir klavuz yayımlanmıştır. Klavuzda PPCP'ler için limit değerler varken; PPCP'lerin akışı, dağılımı ve uzaklaştırılması konusunda verilen bilgiler yetersizdir. Toprakta bulunan PPCP'leri uzaklaştırmak için hidroliz, fotoliz, sorpsiyon, mineralizasyon ve biyodegradasyon gibi yöntemlerle kısa sürede giderilebilmektedir.

Topraktaki mikrobiyal aktivite; PPCP'nin kimyasal yapısına ve toprak özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Sterilizasyon işlemi mikro kirleticilerin yarılanma ömrünü uzatarak biyolojik parçalanmayı azaltmaktadır (Xu ve ark., 2009).

Artırılmış atıksular ile sulanan toprakta PPCP'lerin akıbeti ve taşınımı toprakta biyolojik olarak emilimine ve parçalanabilirliğine bağlıdır. Bu iki proseste kumlu topraklarda bulunan PPCP miktarı ile ilgili tahmine göre emilim % 27-98 etkili iken, parçalanabilirlik % 0-70 oranda PPCP birikiminden sorumludur. Kirleticilerin yarılanma ömürleri ve bozunma sabitleri (k) de buldukları toprakta ya da suda ne kadar süreyle kalacağını etkilemektedir (Qin ve ark., 2015). Bisfenol A, alkilfenoller, alkilfenol etoksilatlar, ftalatlar, alev geciktiriciler ve sentetik misk bileşikleri gibi çoklu PPCP'ler, düşük konsantrasyonlardan ng/L'den binlerce ng/L'ye kadar değişen konsantrasyonlarda yağmur suyu örneklerinde tespit edilmiştir (Qin ve ark., 2015). Bu durum ise daha önce atmosferde buharlaşan kirleticilerin, atmosferik birikme yoluyla tarım arazilerine ve yüzey sularına karışabileceğini göstermektedir. Birçok ilacın düşük uçuculuğa sahip olması nedeniyle atmosferik ortama yayılımı oldukça sınırlıdır (Liu ve ark., 2013). Çok sayıda PPCP ve özellikle hidrofobik kimyasallar artırılmış su ile sulanan topraklarda yetişen bitkilerde tespit edilmiştir. Tarım alanlarına salınan orta derecede hidrofobik PPCP'lerin, bitkilere alınma ve dağılıma olasılıklarının yüksek olduğu düşünülmektedir (Qin ve ark., 2015).

Bir çalışmada, sera deneyinde üç farklı ilacın (Karbamazepin, Difenhidramin ve Fluoksetin) ve iki farklı kişisel bakım ürününün (Triklosan ve Triklokarbon) soya fasulyesi tarafından alımını araştırmışlardır. Karbamazepin, Trikloran ve Triklokarbonun soya fasulyesinin köklerinde biriktiği ve daha sonra fasulyeye ve yapraklarına geçtiği görülmüştür. Fakat Difenhidramin ve Fluoksetin birikiminin ve iletiminin sınırlı olduğu tespit edilmiştir (Qin ve ark., 2015).

Carter ve diğerlerinin yapmış oldukları çalışmada, nispeten gerçekçi maruziyet konsantrasyonlarında turp (*Raphanus sativus*) ve çavdar otu (*Lolium perenne*) kullanarak toprak-bitki sisteminde 7 farklı PPCP'nin iletimini ve alımını araştırmışlardır. Deney sonucunda, test toprağında geniş iyonizasyona (>% 99) sahip Diklofenak'ın toprakta ve gözenek suyunda yüksek oranda olduğu tespit edilirken, bitkilerde daha az dağıldığı tespit edilmiştir.

Nötral Karbamazepin (düşük logKow değeri) ile karşılaştırıldığında, çavdarın içinde Diklofenak, Fluoksetin ve Propranololun (>% 99) 600 katına kadar daha az alımı olmuştur. Köklerdeki nötr PPCP'lerin alımı ile pozitif ilişkili iken, köklerden yapraklara iletim ile negatif ilişkili bulunmuştur (Wu ve ark., 2013).

Arıtma tesislerinde tam olarak arıtılmayan farmasötikler ve PPCP'ler toprakta ve suda birikerek temiz su kaynaklarını tehdit etmekle kalmayıp topraktan bitkiye, bitkiden hayvanlara ve insanlara kadar döngü halinde sürekli olarak aktarılmaktadır. Bu nedenle özellikle artırılmış olan atıksuların sulama suyu olarak kullanımı bu kirleticilerin toprakta birikmesinde oldukça etkilidir. Fakat ülkemizde AAT Teknik Usuller Tebliği Ek 7'de Artırılmış Atıksuların sulama suyu olarak kullanılabilmesi için bazı standartlar bulunmaktadır. Bu sınır değerler; tuzluluk, ağır metallerin ve borun konsantrasyonu, iletkenlik, SAR değeri gibi parametreler için belirlenmiştir. Mikro kirleticilerle ilgili artırılmış atıksuların sulama suyu olarak kullanımında herhangi bir yasal sınır bulunmamaktadır. Bakanlıklar ve yetkili kuruluşlar tarafından bir an önce sulama sularındaki mikro kirleticilerin konsantrasyonları ile ilgili sınır değerler belirlenmeli ve en kısa zamanda uygulamaya geçilmelidir.

### 3.3. Mikro Kirleticilerin İnsan Sağlığı Üzerine Olumsuz Etkileri ve Riskleri

Kişisel bakım ürünleri ve poli aromatik hidrokarbonlar gibi mikro kirleticiler; suda, toprakta, sedimentte ve kumlu topraklarda bulunmaları nedeniyle insan sağlığını tehdit etmektedir. Fakat birden fazla kimyasal sınıf için eş zamanlı sağlık riski değerlendirmesi ile ilgili sınırlı sayıda bilgi bulunmaktadır (Biljana ve ark., 2018).

Biljana ve ark. (2018), USEPA çerçevesinde yüzey sularında ölçülen birkaç mikro kirletici grubunun insan sağlığı açısından risk değerlendirilmesini yaptıkları çalışmada; Sırbistan'ın Tuna, Tisza, Begej Nehirlerinden, Krivaja, Tuna-Tisza-Tuna sulama kanalı ve iki göl olmak üzere toplam 18 noktadan örnekler alınmıştır. Mikro kirleticilerin ekolojik risk değerlendirmesi balıklar, algler ve *Daphnia magna* gibi ekosistemin üç farklı temsili trofik seviyesinden canlılar için değerlendirilmiştir. Tahmin EMA yönergesine göre yapılmış ve ölçülen konsantrasyon değerleri (MEC) ile ön görülen etkilenmeyen konsantrasyon (PNEC) oranları RQ'da hesaplanmıştır. RQ değeri eğer çevresel riski düşünülen değerden daha yüksek ise RQ > 1 ise risk yok demektir. Birçok çalışma RQ değerine göre yapılmıştır.

Ama insanlar kontamine mikro kirleticilere; kirleticilerin yutulması, solunması, taşınımı ve deriden temas yoluyla da maruz kalabilmektedir. Yüzey suları ile temas genellikle mesleki ve rekreasyon faaliyetleri yoluyla deriden temasla suyun alımı şeklinde gerçekleşebilmektedir. Sırbistan’da yaz aylarında yüzey suları (nehirler, göller ve kanallar), özellikle balıkçılık ve eğlence aktiviteleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle insanların vücuduna mikro kirleticiler bu şekillerde de girebilmektedir. Çalışmanın yapıldığı, Tuna ve kollarında bulunan konsantrasyonlar, gelişmekte olan ülkelerdeki diğer nehirler ile karşılaştırıldığında, kalıcı organik bileşikler, farmasötikler ve kişisel bakım ürünlerinin daha düşük konsantrasyonlarda olduğu bulunmuştur. Arıtılmamış atık suların nehir suyu sistemlerine boşaltılmasının bir sonucu olarak; *Kafein* gibi atıksu arıtımı sırasında biyolojik olarak parçalanabilen bazı bileşikler, Tuna ve kollarındaki konsantrasyonları daha önce belirlenen değerlere göre yüksek konsantrasyonlarda olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada araştırılan nehir sularında aynı kimyasal bileşikler için daha önce yayınlanmış verilere kıyasla, sayısallaştırılmış farmasötik konsantrasyonlarda bir artış gözlemlenmiştir. Çalışmada ekolojik risk için elde edilen sonuçlar, nicel hale getirilmiş mikro kirletici maddelerin kümülatif etkisinin oluşturduğu bazı örnekleme noktalarında yaşayan organizmalar için önemli bir risk taşıdığını göstermiştir. Tahmin edilen insan sağlığı riski (kanserojen olmayan risk), eğlence aktiviteleri sırasında iki ana yoldan (deriden temas ve suyun yutulması) çok az veya hiç olumsuz bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır (Biljana ve ark., 2018).

Kosma ve ark. (2014), Yunanistan’da bulunan 8 AAT atıksularında 18 kişisel bakım ürünü ve farmasötiklerin konsantrasyonlarını incelenmişlerdir. Çalışmada numune alınan AAT’ler konvansiyonel aktif çamur sisteminde çalışmaktadır ve yılda 4 kere tesislerin her birinden numuneler alınarak ölçümler yapılmıştır. Ölçümler kütle spektroskopisi ve sıvı spektroskopisi ile yapılmıştır. Sonuçlar birbiri ile kıyaslanarak, elde edilen sonuçların tutarlı olduğunun ve birbirini doğruladığı tespit edilmiştir. Tüm atıksu numunelerinde hedef bileşiklerin kapsamlı izleme çalışmaları sonucunda; *Parasetamol*, *Kafein*, *Trimetoprim*, *Sülfametoksazol*, *Karbamazepin*, *Diklofenak* ve *Salisilik asit* baskın bileşikler iken *Tolfenamik asit*, *Fenofibrat* ve *Simvastatin* daha düşük konsantrasyonlarda oldukları belirlenmiştir. İncelenen AAT’lerin çoğunun bu kirleticileri etkili bir şekilde gideremediği sonucuna varılmıştır. Çalışmada son olarak çevresel risk değerlendirmesi katsayısı RQ yapılmıştır. Değerlendirmeye göre suçlu çevre için olası tehlikenin olduğu tespit edilmiştir. Çevresel riske en fazla katkısı olan mikro kirleticinin Triklosan olduğu ve Avrupa yasal izleme ve önceliklendirme ile ele alınması gerektiği ifade edilmiştir (Kosma ve ark., 2014).

Mikro kirleticilerin ekolojik ve insan sağlığı açısından, risk değerlendirmelerinin yapıldığı çalışmalarda neden olabileceği olumsuz etkiler tam olarak bilinmemektedir. Mikro kirleticilerin, içme suyu kaynaklarına karışması sonucu vücuda girmesi, besin zinciri yoluyla zamanla canlılarda ve insan metabolizmasında birikimi nedeniyle su ve toprak ortamlarında varlığının hangi oranda ve konsantrasyonda olduklarının tespit edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu birikim sürekli olarak artmaktadır. Bu nedenle öncelikli olarak mikro kirleticilerin doğaya salımları ez aza indirilmeli yani kaynaktan kullanımları kontrol edilmelidir.

#### 4. SONUÇLAR

AAT çıkış sularından kaynaklanan mikro kirleticiler ilgili izleme ve kontrol çalışmaları halen ülkemizde yapılmamaktadır. Bu konu ile ilgili literatürde sınırlı sayıda çalışma olup, bu çalışmalar da az bir bileşik grubu ile gerçekleştirilmektedir. Mevcut olan veriler ise genellikle konsantrasyonların ölçümünden ziyade tahminlere dayanmaktadır.

Son yıllarda gelişmiş ülkelerde, kişisel bakım ürünlerinin tüketimi ve üretimi giderek artmaktadır. Kişisel bakım ürünlerinin üretimine bağlı olarak tüketimlerinin de o ülkelerde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. *PPCP*’lerin üretimleri için belirli kotalar getirilerek üretimi azaltılmalıdır. Bu şekilde üretime bağlı olarak artan üretim/tüketim oranında azalma sağlanmalıdır. Bu konuda yapılmış olan çalışmalarda, kullanılan kişisel bakım ürünleri kadar çevreye zararlı yan ürünlerin ve mikro kirleticilerin oluştuğu tespit edilmiştir. AAT’lerde mikro kirleticiler yan ürünlere ve metabolitlere dönüşerek zararlı olan etkilerini devam ettirmektedir.

Mevcut AAT’lerde; mikro kirleticilerin farklı özellikleri (hidrofobiklik, biyo-bozunabilirlik ve düşük konsantrasyonlarda olmaları) göz önüne alındığında, giderimleri genellikle eksik ve değişken olup, bazı sık görülen bileşikler için % 18.8-91.1 aralığında değişmektedir. Doğadaki mikro kirletici miktarını azaltmak için öncelikle, kaynaktan kullanımları kontrol edilmelidir. Farmasötik bileşiklerin kaynaktan kontrol edilebilmesi için; reçetesiz ilaç satılması önlenmeli, bilinçsiz ilaç tüketiminin önüne geçilerek veteriner amaçlı ilaçların, antibiyotiklerin kontrollü bir şekilde satılması ve kullanılması sağlanmalıdır. Bunun gerçekleştirilebilmesi için halk bu konuda bilgilendirilmelidir. Yeşil kimyaya geçilerek kimyasal maddelerin çevreye vereceği zararın önüne geçilmelidir.



Tarımsal alanlarda ise pestisit kullanımı kontrol altına alınmalı ve biyolojik olarak parçalanabilir pestisitler tercih edilmelidir.

Ülkemizde hastane atıksularının genellikle kentsel atık sularla aynı kirletici niteliğe sahip olduğu düşünülmekte ve dolayısıyla içerdikleri maddelerin (yoğun farmasötikler ve çeşitli laboratuvar atıkları) potansiyel olarak zararlı olmasına dikkat edilmeksizin aynı AAT’de birlikte arıtılmaktadır.

Hastane atıksularının miktarı ve karakteristiği; hastanelerin kapasitesine, yatak sayısına, acilde ve yatan hasta sayısına göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle büyük şehirlerde hastane atıksuyunun miktarı ve konsantrasyonu diğer illere göre daha fazladır. Bu nedenle, özellikle hasta kapasitesinin fazla olduğu hastanelerde atıksu karakteristiğine göre, ön arıtım ya da ayrı arıtım yapılarak ile kanalizasyon sistemine verilmesi ile AAT’lerde arıtma veriminin artması sağlanabilir.

Hastane atıksularında en çok bulunan mikro kirleticilerden biri olan antibiyotikler, biyolojik parçalanmaya karşı dirençli olup bakteriler üzerinde güçlü toksisiteye sahiptir. Antibiyotiklerin giderimi için, atıksularda en yüksek konsantrasyonda olan antibiyotik ilaçlar belirlenmeli ve uygun arıtım prosesleri uygulanarak daha etkili arıtım yapılmalıdır.

Hastane atıksularının farmasötik atıklar bakımından arıtma tesisine olan katkıları incelendiğinde evsel atıksuların yüke katkısının çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre hastane atıksularının ayrı işlemlerden geçirilip AAT’ye ulaşması yerine mevcut AAT’lere farmasötik bileşiklerin ve mikro kirleticilerin arıtımında etkili olan prosesler eklenerek bu bileşiklerin daha yüksek oranda giderimlerinin sağlanması için iyi bir çözüm yolu olacaktır.

Mikro kirleticilerin giderimi için mevcut tesisler, mikro kirleticilerin toksisitesini azaltmaya yönelik olarak güncellenmeli veya yeniden tasarlanmalıdır. Ayrıca, Atıksu arıtma tesislerinde (AAT’lerinde) mikro kirleticilerin izlenilebilmesi için gerekli altyapı tesislere entegre edilmelidir. Tesise giren ve arıtılmış atıksuda bulunan mikro kirletici konsantrasyonları bu şekilde tespit edilebilir. Maliyetli olsalar bile ekolojik çevrenin ve canlı hayatının korunması için en kısa sürede entegrasyonun uygulanması gereklidir (Eggen ve ark., 2014). Maliyetlerinin yanı sıra, zararlı yan ürünlerin ve konsantrasyon kalıntılarının oluşması gibi dezavantajlarının olması nedeniyle; elektrokimyasal proseslerin, ileri oksidasyon proseslerinin ve membran proseslerinin arıtımda kullanılabilirliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Luo ve ark., 2014). Bu işlem yeterli olmasa da önemli bir önlemdir. Mikro kirleticilerin azaltılması ve giderimi için çok yönlü bir strateji gereklidir. Strateji geliştirirken AAT’lerinin dikkate alınması gerektiği açıktır (Eggen ve ark., 2014).

Tercih edilecek arıtma yöntemi, çok sayıda mikro kirleticiyi aynı anda gideren prosesler arasından seçilmelidir. Bu sorunun önüne geçmek için, yeni teknolojiler geliştirilerek birden fazla arıtma yöntemi bir araya getirilmesi ile daha etkili bir arıtım yapılabilir.

Alınabilecek önlemlerin tamamı alındıktan sonra en son çare olarak; AAT çıkış sularının son bir daha arıtma işlemine tabi tutulup alıcı ortama deşarj edildiği boru sonu arıtım yapılmalıdır.

Mikro kirleticiler için deşarj limit değerleri sadece öncelikli kirleticiler için değil; tüm hepsi için belirlenerek yaban hayatı, doğa ve insan sağlığı korunmalıdır. Yasal olarak mikro kirleticilerin deşarj sınırları belirlenirken; tek başlarına oluşturdukları etkilerinin yanı sıra sinerjik etkileri de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle daha fazla araştırma (deney, ölçüm ve gözlem) yapılarak çevresel etkileri belirlenmeli ve yasal limitler bu araştırmalar dikkate alınarak oluşturulmalıdır (Luo ve ark., 2014).

## 5. KAYNAKLAR

Al-Rifai, J. H., Khabbaz, H., Schäfer, A. I. (2011). Removal of pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds in a water recycling process using reverse osmosis systems. *Separation and Purification Technology*, 77(1), 60–67.

Balci, B. (2010). Farmasötik Bileşiklerin Sucul Ortamda Bulunuşu ve Etkileri, *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(2), 13–19.

- Besha, A. T., Gebreyohannes, A. Y., Tufa, R. A., Bekele, D. N., Curcio, E., Giorno, L. (2017). Removal of emerging micropollutants by activated sludge process and membrane bioreactors and the effects of micropollutants on membrane fouling: *Journal of Environmental Chemical Engineering*, A review.
- Biljana, D. Š., Kadokami, K., Anti, I. (2018). Survey on the micro-pollutants presence in surface water system of northern Serbia and environmental and health risk assessment. *Environmental Research*, 166(May), 130–140.
- Breton, R., Boxall, A. (2003). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: Regulatory drivers and research needs. *In QSAR and Combinatorial Science*, 22, 399–409.
- Chen, L., Wei, G., Zhong, Y., Wang, G., Shen, Z. (2014). Targeting priority management areas for multiple pollutants from non- point sources. *Journal of Hazardous Materials*, 280, 244–251.
- Choi, K., Kim, Y., Park, J., Park, C. K., Kim, M. Y., Kim, H. S., Kim, P. (2008). Seasonal variations of several pharmaceutical residues in surface water and sewage treatment plants of Han River, Korea. *Science of the Total Environment*, 405(1–3), 120–128.
- Dereci, E. S. (2010). Ranitidin ve Naproksen'in Koagülasyon Yöntemleri ile Giderim Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
- Eggen, R. I. L., Hollender, J., Joss, A., Schärer, M., Stamm, C. (2014). Reducing the discharge of micropollutants in the aquatic environment: The benefits of upgrading wastewater treatment plants. *Environmental Science and Technology*, 48(14), 7683–7689.
- Escher, B. I., Baumgartner, R., Koller, M., Treyer, K., Lienert, J., Mc Ardell, C. S. (2011). Environmental toxicology and risk assessment of pharmaceuticals from hospital wastewater. *Water Research*, 45(1), 75–92.
- Gerrity D, Gamage S, Holady JC, Mawhinney DB, Quinones O, Trenholm RA. (2011). Pilotscale evaluation of ozone and biological activated carbon for trace organic contaminant mitigation and disinfection. *Water Research*, 45:2155-2165.
- Grover DP, Zhou JL, Frickers PE, aReadman JW. (2011). Improved removal of estrogenic and pharmaceutical compounds in sewage effluent by full scale granular activated carbon: Impact on receiving river water. *Journal of Hazardous Materials*, 185, 1005-1011.
- Huerta, B., Rodriguez-Mozaz, S., Lazorchak, J., Barcelo, D., Batt, A., Wathen, J., Stahl, L. (2018). Presence of pharmaceuticals in fish collected from urban rivers in the U.S. EPA 2008–2009 National Rivers and Streams Assessment. *Science of The Total Environment*, 634, 542–549.
- Jiang, J. Q., Zhou, Z., Sharma, V. K. (2013). Occurrence, transportation, monitoring and treatment of emerging micro-pollutants in waste water - A review from global views. *Microchemical Journal*, 110, 292–300.
- Kasprzyk-Hordern, B., Dinsdale, R. M., Guwy, A. J. (2009). The removal of pharmaceuticals, personal care products, endocrine disruptors and illicit drugs during wastewater treatment and its impact on the quality of receiving waters. *Water Research*, 43(2), 363–380.
- Kılıç, H. (2015). Hastane Atıksularında Antibiyotikler ve Kentsel Atıksulara Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, Türkiye.
- Kinney, C. A., Furlong, E. T., Werner, S. L., Cahill, J. D. (2006). Presence and Distribution of Wastewater-Derived Pharmaceuticals in Soil Irrigated With Reclaimed Water. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25(2), 317.
- Kosma, C. I., Lambropoulou, D. A., Albanis, T. A. (2014). Investigation of PPCPs in wastewater treatment plants in Greece: Occurrence, removal and environmental risk assessment. *Science of the Total Environment*, 466–467, 421–438.

- Liu, J. L., Wong, M. H. (2013). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs): A review on environmental contamination in China. *Environment International*, 59, 208–224.
- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., Wang, X. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 473–474, 619–641.
- Nas, B., Dolu, T., Ateş, H., Argun, M. E., Yel, E. (2017). Treatment Alternatives for Micropollutant Removal in Wastewater. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 5(2), 133-143.
- Oğuz, M., Akkurt Ş. (2018). Mikro Kirleticileri Giderme Yöntemleri, *Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi*, 117 (Nisan), 46-49.
- Önen Acar Ö. (2018). Evsel Nitelikli Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Tarımsal Sulamada Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye.
- Özcan, Ö. (2017). Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Atıksularında Mikro Kirleticilerin Pilot Ölçekli Membran Biyoreaktör ve Ters Ozmoz Sistemleri ile Arıtılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye.
- Özdemir, G. (2018). Mikro kirleticiler. 2. *Uluslararası Mesleki ve Çevresel Hastalıklar Kongresi*, Antalya, Türkiye, 04-08 Mart.
- Pal, A., Gin, K. Y. H., Lin, A. Y. C., Reinhard, M. (2010). Impacts of emerging organic contaminants on freshwater resources: Review of recent occurrences, sources, fate and effects. *Science of the Total Environment*, 408(24), 6062–6069.
- Pauwels, B., Verstraete, W. (2006). The treatment of hospital wastewater: An appraisal. *Journal of Water and Health*, 4(4), 405–416.
- Qin, Q., Chen, X., Zhuang, J. (2015). The fate and impact of pharmaceuticals and personal care products in agricultural soils irrigated with reclaimed water. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(13), 1379–1408.
- Stasinakis, A. S., Thomaidis, N. S., Arvaniti, O. S., Asimakopoulos, A. G., Samaras, V. G., Ajibola, A., Lekkas, T. D. (2013). Contribution of primary and secondary treatment on the removal of benzothiazoles, benzotriazoles, endocrine disruptors, pharmaceuticals and perfluorinated compounds in a sewage treatment plant. *Science of the Total Environment*, 463–464, 1067–1075.
- Suarez, S., Lema, J.M., Omil, F. (2009). Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation–flocculation and flotation. *Bioresource Technology*, 100, 2138-2146.
- Sui Q, Huang J, Deng S, Yu G, Fan Q. (2010). Occurrence and removal of pharmaceuticals, caffeine and DEET in wastewater treatment plants of Beijing, China. *Water Research*, 44:417-426.
- Tiwari, B., Sellamuthu, B., Ouarda, Y., Drogui, P., Tyagi, R. D., Buelna, G. (2017). Review on fate and mechanism of removal of pharmaceutical pollutants from wastewater using biological approach. *Bioresource Technology*, 224, 1–12.
- Trinh, T, Van den Akker B, Stuetz RM, Coleman HM, Le-Clech P, Khan, SJ. (2012). Removal of trace organic chemical contaminants by a membrane bioreactor. *Water Science Technology*, 66, 1856-1863.
- Ulutaş, G. (2017). Kentsel Atıksudaki Anti-Enflamatuar Yüküne Hastane Atıksularının Katkısı. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, Türkiye.
- Üstün Odabaşı, S., Maryam, B., Büyükgüngör, H. (2018). *Diklofenak İlaç Kalıntısının UV ve UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Yöntemleri ile Gideriminin Karşılaştırılması*, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(3):272-279.

Wang, J., & Wang, S. (2016). Removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) from wastewater: A review. *Journal of Environmental Management*, 182, 620–640.

Wu, X., Ernst, F., Conkle, J. L., & Gan, J. (2013). Comparative uptake and translocation of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) by common vegetables. *Environment International*, 60, 15–22.

Xu, J., Wu, L., & Chang, A. C. (2009). Degradation and adsorption of selected pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in agricultural soils. *Chemosphere*, 77(10), 1299–1305.


Yaşar, A., Can Doğan, E., Arslan, A. (2013). Hastane Atıksularında Makro ve Mikro Kirleticiler ve Arıtma Seçenekleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29(2), 144–158.


Yu H., Nie E., Xu J., Yan S., Cooper J.W., Song W. (2013). Degradation of Diclofenac by Advanced Oxidation and Reduction Processes: Kinetic Studies, Degradation Pathways and Toxicity Assessments, *Water Research*, 47, 1909-1918.

Zhang, Y., Geißen, S. U., & Gal, C. (2008). Carbamazepine and diclofenac: Removal in wastewater treatment plants and occurrence in water bodies. *Chemosphere*, 73(8), 1151–1161.

Ftalatların tanımlanması (2019), <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ftalat> Erişim 15.03.2019

## ORCID

Şeyma AKKURT  <http://orcid.org/0000-0002-0135-1975>

Merve OĞUZ  <http://orcid.org/0000-0002-8388-1477>