

DERLEME MAKALE

Mikrokirleticiler: Tanım, Mevzuat ve Ülkemizde Atıksularda ve Yerüstü Sularında Mevcudiyetleri

Serdar DOĞRUEL^{1,2}, Melike GÜREL^{1,3}, Elif PEHLIVANOĞLU-MANTAŞ^{1,4}

Yazışma yazarı:

Elif PEHLIVANOĞLU-
MANTAŞ,
elif.pehlivanoglu@itu.edu.tr

¹Istanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye.²ORCID: 0000-0003-4214-8436, ³ORCID: 0000-0002-2130-2062, ⁴ORCID: 0000-0003-1335-365X

Referans:

Dogrue, S., Gurel, M. ve Pehlivanoglu-
Mantas, E. (2022), Mikrokirleticiler: Tanım,
Mevzuat ve Ülkemizde Atıksularda ve
Yerüstü Sularında Mevcudiyetleri, Çevre,
İklim ve Sürdürülebilirlik, 23(2), 133-144,

Makale Gönderimi : 8 TEMMUZ 2022

Online Kabul : 4 AĞUSTOS 2022

Online Basım : 5 AĞUSTOS 2022

Özet Mikrokirleticiler, sularda buldukları düşük konsantrasyonlarda bile neden oldukları olumsuz etkilere bağlı olarak tanımlanmış olan ve ilaçlar, endokrin bozucu maddeler, pestisitler ve kişisel bakım ürünleri gibi çeşitli gruplardan kimyasalları içeren bir kirletici grubudur. Dünyada ve ülkemizdeki çalışmalar ve yönetmeliklerde, “yeni kirleticiler”, “tehlikeli maddeler”, “öncelikli kirleticiler”, “öncelikli maddeler” ve “belirli kirleticiler” gibi farklı isimler ile anılan mikrokirleticiler hakkındaki uluslararası çalışmalar, mikrokirleticilerin kullanım miktarına bağlı olarak atıksularda ve yerüstü sularında bulunmakta olduğunu göstermiştir. Bu makalede, ülkemizde mikrokirleticiler için gerçekleştirilmiş ölçümler derlenerek, atıksularda ve yerüstü sularındaki konsantrasyonlar detaylı bir şekilde sunulmuştur. Kullanım amacına göre atıksu gibi noktasal kaynaklardan ya da tarımsal geri dönüş suyu gibi yayılı kaynaklardan yerüstü sularına karışabilen mikrokirleticilerin kontrolü için iki faktör öne çıkmaktadır. Bunlardan ilki, bu maddelerin ölçümlerinin güvenilir bir şekilde yapılabilmesi ve gerekiyorsa kimyasal ölçümlerin, mikrokirleticilerin birarada buldukları durumda oluşturacakları etkiyi de tanımlamak amacıyla, ekotoksikolojik deneylerle desteklenmesidir. Mikrokirleticilerin kontrolü için önemli ikinci faktör ise, hem çevresel kalite hem de deşarj standartları için yönetmeliklerde doğru tanımlanmalarıdır. Mevcut durumda hem AB’de hem de AB uyum sürecinde ülkemizde yayınlanmış yönetmeliklerde, yerüstü sularının iyi kimyasal durum olarak nitelendirilmesi “öncelikli maddeler” ve “belirli kirleticiler” olarak tanımlanmış ve listelenmiş mikrokirleticilerin çevresel kalite standartlarını aşmamasına bağlıdır. Ancak, bu iki tanımlama ile listelenen mikrokirleticinin yerüstü sularına karışmasını engellemek üzere belirlenmiş bir deşarj standardı mevcut değildir. Ülkemizdeki su miktarı ve kalitesinin korunmasının yanı sıra gelecekte atıksuların tekrar kullanılması uygulamalarının artması da beklendiğinden mikrokirleticilerin giderimi ve geliştirilecek deşarj standartlarına uygunluğunun sağlanması önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel kalite standardı, deşarj, mikrokirletici, belirli kirleticiler, öncelikli maddeler

Micropollutants: Definition, Legislation, and Presence in Wastewater and Surface Waters in Türkiye

Abstract Micropollutants are defined due to their adverse effects even at low concentrations in the environment and they include different chemicals such as pharmaceuticals, endocrine disruptors, pesticides, and personal care products. Studies on micropollutants, which are referred to with different names such as "emerging pollutants", "hazardous substances", "priority pollutants", "priority substances", and "specific pollutants" indicated that depending on their use, micropollutants can be found in wastewaters and surface waters. In this article, measurements for micropollutants in Türkiye have been compiled and their concentrations in wastewater and surface waters have been presented in detail. Since the micropollutants might enter surface waters through point or non-point sources depending on their use, two factors are important for their control. The first one is to obtain reliable measurements and, if necessary, to support analytical measurements with ecotoxicological experiments. The second important factor is that micropollutants are included with correct definitions in the regulations for both environmental quality and discharge standards. In the current situation, in our regulations, good chemical status of surface waters depends on the concentrations of micropollutants defined and listed as "priority substances" and "specific pollutants". However, there is no established discharge standard to prevent the micropollutants listed with these two definitions from being discharged into surface waters. Considering the amount and quality of water in our country and that the reuse of wastewater is expected to increase in the future, it is important to treat the micropollutants and to check compliance with discharge standards to be established.

Keywords: Discharge, environmental quality standards, micropollutants, priority substances, specific pollutants

1. Giriş

Mikrokirleticiler, sularda ve atıksularda mikrogram ve daha düşük konsantrasyonlarda bulunan (Jiang ve diğ., 2013; Luo ve diğ., 2014; Sousa ve diğ., 2019; Rogowska, 2020) ancak bu konsantrasyonlarda bile insan ve çevre üzerine olumsuz etkileri olduğu belirlenmiş olan ya da olduğu düşünülen maddelerdir. Mikrokirleticilerin çevredeki miktarları, kentleşme ve endüstriyel faaliyetlerdeki artış ile sağlık hizmetlerindeki yenilikler ve iyileşmeler sebebiyle gittikçe önem kazanmaktadır (Bhatt ve diğ., 2022).

Mikrokirleticiler organik ve inorganik yapıdaki kirleticileri içerebilir. Sucul ortamlarda bulunan mikrokirleticiler genellikle insan kaynaklı kirleticiler olup insan ve hayvan sağlığı için kullanılan ilaçlar, kişisel bakım ürünleri, endüstriyel kimyasallar, çözücüler (solventler), tarım ilaçları (pestisitler), nano-malzemeler ve dezenfeksiyon yan ürünleri mikrokirleticiler arasında yer alan madde gruplarına örnek verilebilir. Bazı durumlarda, insan kaynaklı mikrokirleticileri tanımlamak için zenobiyotik kavramı da kullanılabilir. Zenobiyotik organizmaya yabancı olan madde anlamında kullanılmakta olup organizmanın tanımadığı, dolayısıyla kullanmakta ve ayrıştırmakta zorlandığı için organizmaya zararlı etki eden maddeler olarak tanımlanabilir.

Mikrokirleticilerin sucul ortamlara farklı yollarla karışmaları mümkündür (Şekil 1). Beşeri ilaçlar, kişisel bakım ürünleri ya da endüstriyel kimyasallar atıksu arıtma tesisinde yeterli arıtmaya tabii tutulamadığı için atıksu deşarjı ile yerüstü sularına karışabilirken, pestisitler ve hayvan sağlığı için kullanılan ilaçların yayılı kaynak olarak sucul ortamlara karışması mümkün olabilir. İçme suyu kaynağı olarak kullanılacak yüzeysel suya ya da yeraltı suyuna karışmış olan mikrokirleticiler su arıtma tesislerinde de yeterli kadar arıtmadan tekrar kullanıma sokulabilir. Ayrıca, su arıtma tesisinde kullanılacak dezenfeksiyon yöntemine bağlı olarak çeşitli dezenfeksiyon yan ürünlerinin ve mikrokirleticilerin dönüşüm ürünlerinin oluşumu da söz konusu olacaktır.

Mikrokirleticilerin kullanım amaçları ve sucul ortama karışma yolları incelendiğinde, en kolay sınıflandırma mikrokirleticinin ya da kimyasalın kullanım amacıdır. Bu şekilde bir sınıflandırma ile insan ve hayvan sağlığı için kullanılan çeşitli ilaçlar, farmasötikler olarak gruplanmaktadır. Ancak, bu grupta toplanan mikrokirleticiler, ana amaçları için kullanımları bitip çevresel sulara karıştıklarında farklı etkiler gösterebilmektedir. Örneğin bu grupta yer alan antibiyotikler, sucul ortamda oluşturabilecekleri antibiyotik dirençli organizmalar sebebiyle dikkat çekerken (Yang ve diğ., 2018; Ben ve diğ., 2019; Danner ve diğ., 2019), antienflamatuvar bir ilaç olan Diklofenak'ın çok farklı organizmalarda yüksek zehirlilik etkisi gösterdiği belirlenmiştir (Lonappan ve diğ., 2016; Sathishkumar ve diğ., 2020). Mikrokirleticilerin oluşturacağı zehirlilik, çevresel sularda bulunan mikro ya da nanoplastikler sebebiyle de artabilir (Yu ve diğ., 2021).

Mikrokirleticileri incelerken yararlanılan bir başka gruplama da mikrokirleticilerin etkilerine göre yapılan gruplamadır. Esas olarak farklı amaçlarla kullanımları sonucunda suya karışan maddelerin, sucul ortamda benzer etki göstermelerine göre gruplamaları yapılabilmektedir. Örneğin, endokrin bozucu maddeler (EBM'ler) olarak tanımlanan mikrokirleticiler grubu, hedef endokrin reseptörünü aktive veya deaktive eden

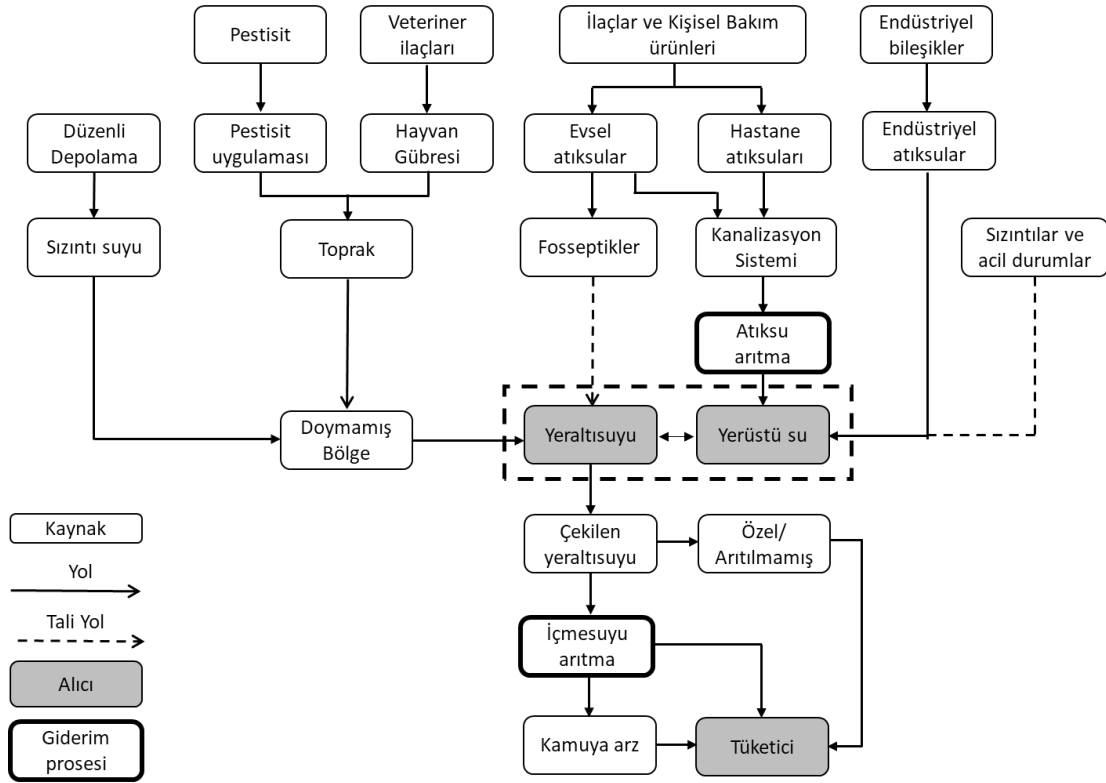
ya da hormonların sentezini engelleyen (Giulivo ve diğ., 2016; Viera ve diğ., 2020) çeşitli bileşikler kapsamaktadır (Tablo 1). Bu gruplama ile, esas olarak sucul ortamlarda antibiyotiklere dirençli gen oluşumu sebebiyle önem taşıyan antibiyotiklerin alıcı ortama verildiğinde bazı organizmalarda endokrin bozucu etkiye de sebep olabileceği görülmektedir (Song ve diğ., 2021), hangi etkinin hangi alıcı ortamda alıcı ortamın potansiyel yararlı kullanımları da göz önüne alınarak önceliklendirilmesi gerektiği ortaya konabilir.

Mikrokirleticilerin gösterdiği etkilere göre gruplanması ve incelenmesi, suda bulunan maddelerin tamamının tanımının yapılamadığı durumlarda, biyolojik/ekotoksikolojik bir deney ile su ortamında oluşturacakları etkinin belirlenmesi ve değerlendirilebilmesi açısından önemlidir.

Etkilerine göre yapılan değerlendirmeler, aynı zamanda mikrokirleticilerin su ortamında uğrayabileceği çeşitli dönüşüm prosesleri sonucunda oluşacak yeni maddelerin etkisini de görmeyi sağlayabilir. Özellikle organik mikrokirleticiler için mineralizasyona kadar gitmeyen, doğal ortamda ya da su arıtma tesisinde gerçekleşen her proses, mikrokirleticinin mevcut etkisini de değiştirebilir. Bazı prosesler ile etki azalabilirken, sabun ve diş macunlarında çokça kullanılan ve antibakteriyel bir kişisel bakım ürünü olan triklosan'ın klorlanması örneğinde olduğu gibi kimi maddeler çoğu prosesler ile daha zehirli (Chen ve Wang, 2019) ya da daha yüksek anti-östrojenik etkileri olan bir forma dönüşebilir (Li, 2021).

Geniş bir grubu kapsayan mikrokirleticiler için "yeni kirleticiler", "öncelikli maddeler" ve "belirli kirleticiler" kavramları da kullanılabilir. Yeni kirleticiler esas olarak, önemleri ve çevresel etkileri konusunda çalışmalar yapılmakta olan ancak daha herhangi bir kontrol mekanizması ile konsantrasyonlarına bir sınırlama getirilmemiş olan kirleticilerdir (NORMAN, 2022a). Bu maddelerin herhangi bir yönetmelik/standart ile kontrol edilmiyor olmasının iki sebebi olabilir. Bunlardan ilki, maddenin yeni üretilmiş bir kimyasal olması dolayısıyla sularda daha bu maddeye çok rastlanmamış olması iken, bir diğer sebep de bu kirleticiler daha önceden sularda bulunsa da ancak yeni geliştirilen ve ölçüm limiti daha düşük olan analitik yöntemlerle ölçülebilir hale gelmeye başlamış olmasıdır. Bütün mikrokirleticiler için kullanılabilen standart bir yöntem olmasa da çeşitli ön işlemler ile matris temizlenmesi ve ölçülecek maddenin konsantrasyonuna edilmesinin sonrasında LC-MS/MS ile ölçümü, hidrofilik ve uçucu olmayan maddeler için yaygın olarak kullanılmaktadır (Rosen, 2007). Mikrokirleticilerin ölçümü için kullanılan analiz yöntemlerinin validasyonu konusunda da çeşitli laboratuvarlar arası çalışmalar yürütülmüştür (NORMAN, 2022b).

Mikrokirleticilerin ölçümü açısından en son gelinen nokta, suda sadece ne olduğunu bildiğimiz maddeleri ölçtüğümüzde aslında birçok tehlikeli olabilecek mikrokirleticiyi ölçemediğimiz farkına varılmış olmasıdır (Krauss ve diğ., 2010; Rogowska, 2020). Genel olarak uygulanan "hedef madde analizi" ancak ne arandığının bilindiği durumlarda kullanılabilir ve hedeflenen maddenin konsantrasyonu ölçülebilmektedir. Son yıllarda geliştirilen diğer bir yaklaşım ise hedefsiz izleme olup, hem hassas ve pahalı ekipman (Yüksek çözünürlüklü LC-MS) hem de uzman bir kişinin kullanımını gerektirmesi sebebiyle yaygın olarak kullanılmamaktadır.



Şekil 1. Mikrokirleticilerin çevreye karışma yolları (Gavrilescu ve diğ., 2014'den çevrilmiştir).

Tablo 1. Endokrin sistemini bozan mikrokirletici örnekleri (Bojanowska-Czajka, 2021'den uyarlanmıştır).

Mikrokirletici	Kullanım amacı/Özelliği
17-β-östradiol, E2	Doğal östrojen
17-α-etinil östradiol, EE2	Sentetik östrojen
Bisfenol-A	Plastikleştirici
Paraben	Koruyucu kimyasal
PFOA	Koruyucu kaplama malzemesi
Atrazin	Pestisit
Karbamazepin	Epilepsi ilacı
Diklofenak	Antienflamatuvar ilaç
Sülfametaksazol	Antibiyotik

Ancak, deşarj edilen atıksular ya da çevresel sularda bulunabilecek mikrokirleticilerin oluşturacağı riskin değerlendirilmesinde sadece hedef maddelerin değil, suda bulunabilecek ancak ne olduğu ve konsantrasyonu bilinmeyen maddelerin varlığı da önemlidir (Rogowska, 2020). Bu sebeple, standartları belirlemek için yapılacak risk analizinde hedefli kimyasal analizin yanısıra, hedefsiz analiz ile mikrokirleticilerin bir arada bulunmasının oluşturacağı etkileri de izleyebilecek şekilde ekotoksikolojik biyodeneylemler yapılması da önemlidir (Hollender ve diğ., 2019).

Yeni kirleticilerin standartlarda henüz yer almamasının ikinci sebebi de standart oluşturmak için bu maddelerin ölçülebilmesine ilave olarak maddeler hakkında insan ya da çevre sağlığı açısından bir risk değerlendirilmesinin yapılmış olması gerekliliğidir. Yeni kirleticiler hakkında çalışmalar artıp literatüre bağlı olarak risk değerlendirmeleri yapıp kriterler oluşturulduktan sonra her ülke kendi şartlarına bağlı olarak bu maddeleri uygun görülen standartlar ile sınırlamayı tercih edebilir.

Mikrokirleticilerin standartlar ile sınırlandırılmaya başlaması

ile, kullanılacak yönetsel ve hukuksal yapıya bağlı olarak kirleticiler farklı sınıflamalarla tanımlanabilir.

Avrupa Birliği (AB)'nde ve ülkemizde kullanılan "öncelikli madde" ve "belirli kirletici" tanımları bu şekilde oluşturulmuş iki ayrı grup olarak karşımıza çıkmaktadır. AB'de yerüstü su kalitesi açısından en önemli mevzuatlardan biri olan Su Çerçeve Direktifi (SÇD)'nin amacı, yerüstü suların kalitesini çeşitli göstergeler yardımıyla belirlemek ve suların durumunu iyileştirmek üzere hedefler koymaktır (AB, 2000). SÇD'de su kütleleri için "iyi kimyasal durum" ve "iyi ekolojik durum" tanımları yapılmıştır. İyi kimyasal durum bir su kütleğinde öncelikli maddeler açısından çevresel kalite standartlarının sağlanması durumu olarak tanımlanırken, iyi ekolojik durum ise belirli kirleticilerin çevresel kalite standartını sağlayıp sağlamamasına göre belirlenmektedir.

Dolayısıyla, öncelikli maddeler yerüstü su kütlelerinde kimyasal durumun değerlendirilmesi için sucul çevre açısından önemli risk teşkil eden ve yönetmeliklerde listeler halinde verilmiş olan madde ve madde gruplarını, belirli kirletici ise su kütlelerine, kalitesini olumsuz yönde

etkileyebilecek miktarda deşarj edilen ve yerüstü su kütlesinin iyi ekolojik duruma ulaşması için çevresel kalite standardı belirlenmiş olan madde veya madde gruplarını ifade etmektedir.

Çeşitli mikrokirleticileri içeren bir başka hukuksal tanım da "tehlikeli madde"dir. Tehlikeli maddeler tanımı, su ve çevresi için önemli risk teşkil eden, zehirlilik, kalıcılık ve biyolojik birikme özelliğinde olan madde ve madde grupları için kullanılmaktadır (TMSÇNOKKY, 2010).

Ülkemizde ya da AB'de kullanılmayan ancak Amerika'daki Çevre Koruma Ajansı tarafından kullanılan ve 126 kirleticiyi içeren "Öncelikli kirleticiler- Priority Pollutants" listesi de mikrokirletici gruplarını içeren bir başka tanımlamadır. Öncelikli kirleticiler çeşitli ağır metalleri ve organik maddeleri içeren ve Temiz Su Yasası ile tanımlanmış olan bir grup zehirli bileşiktir (USEPA, 2015).

Mikrokirletici sınıfları içinde yer alan kimyasallar için özellikle eskiden daha çok kullanılan bir diğer tanımlama da "Kalıcı Organik Maddeler (Persistent Organic Pollutants- POP)"dir (Teodosiu ve diğ., 2018). Kalıcı organik maddeler esas olarak ortak özellikleri, kalıcılık, zehirlilik, biyoakümülyasyon ve farklı ortamlarda uzun mesafeler katedebilme olan, diklorodifeniltrikloroetan, poliklorlanmış bifeniller, dioksin/furan, organokurşun ve organociva gibi maddelerdir.

Ülkemizde yapılan çalışmalarda bu tanımların hemen hemen hepsi kullanılmış ya da kullanılmaktadır. Mevcut durum belirlemesinin amaçlandığı bilimsel çalışmalarda araştırmacılar ölçmek/izlemek istedikleri madde için istedikleri tanımı kullansa da standartlara uygunluğun izlenmesi amaçlandığında ülkemizdeki mevzuattan yararlanılması gerekmektedir.

2. Ulusal Mevzuat

Ülkemizde su kalitesini belirlemek ve su kirliliğini önlemek için kullanılan standartlar temelde ikiye ayrılabilir. Bunlardan daha eski ve daha çok kullanılan standart "Deşarj Standartları"dır. Deşarj standartları, noktasal kirleticiler su kütlesine (alıcı ortama) deşarj edilmeden önce kirlilik kaynağından alınan numunelerdeki kirletici konsantrasyonları ile karşılaştırma yaparak suyun/atıksuyun deşarjının uygun olup olmadığını belirlemekte kullanılmaktadır. Diğer standart ise "Çevresel Kalite Standardı" olarak tanımlanmakta olup, su kütlesinden alınan numunelerdeki kirlilik parametrelerinin ölçülen değerlerine göre su kalitesini belirlemekte kullanılmaktadır.

Deşarj standartları ile çevresel kalite standartlarının arasındaki tek fark numunenin nereden alındığı değildir; kavram olarak da deşarj standartları bir uyumsuzluk olduğunda, kirleticiyi su kütlesine deşarj eden noktasal kirlilik kaynağını cezalandırmaya, çevresel kalite standartları ise su kütlesinin mevcut durumunu değerlendirmeye yöneliktir. Zaten deşarj standartlarının uygulandığı numunelerin doğrudan deşarj eden noktasal kirlilik kaynağını temsil etmesi beklenmekte olup, bu durumu sağlamak üzere su numunelerinin herhangi bir su kütlesi ile karışmadan alınması esastır.

Ülkemiz mevzuatında, deşarj standartları, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY, 2020) ve Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'nde (KAAY, 2006) yer almakta olup, esas olarak mikrokirleticilerden ziyade Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) gibi konvansiyonel ve kolektif parametrelerin kontrolünü sağlamak üzere

kullanılmaktadır. SKKY içinde bulunan endüstriyel atıksuların su kütlesine deşarjı durumunda kullanılan deşarj standartları (deşarj sonrası su kütlesinde ng/L ve µg/L konsantrasyonlarında bulunacakları için) mikrokirletici olarak sınıflandırılacak olan çeşitli ağır metalleri ve hidrokarbonlar ve fenoller gibi bazı organik maddeleri de içermektedir. Ancak, yürürlükteki mevzuat içerisinde atıksu deşarjları, ilaç kalıntıları, hormonlar, nano-malzemeler gibi önemli mikrokirletici sınıflarında yer alan herhangi bir madde bakımından kontrol edilmemektedir.

Çevresel kalite standartları ile kalitesi belirlenen su kütlesi yerüstü ya da yeraltı suyu olabilir. Yerüstü suları için Yerüstü Su kalitesi Yönetmeliği (YSKY, 2021) yürürlükte olup yönetmelik mikrokirleticiler açısından da su kütlesinin değerlendirilmesini sağlamaktadır. AB'ye uyum çerçevesinde düzenlenmiş olan bu yönetmelikte, hem AB üye ülkelerinde aynı sayısal değerler kullanılarak değerlendirilmekte olan öncelikli maddeler hem de Türkiye'ye özel olarak belirlenmiş olan belirli kirleticiler için standartlar mevcuttur. 2000 yılında yerüstü suların iyi ekolojik ve iyi kimyasal duruma sahip olması için çıkarılan SÇD (AB, 2000) kapsamında 2008 yılında 33 öncelikli madde ya da madde grubu listelenmiş olup (AB, 2008), bu sayı 2013 (AB, 2013) yılında 45'e çıkarılmıştır. Ayrıca, AB yerüstü sularında izlenmesi gereken bir mikrokirletici listesi (Watch list) de hazırlanmış olup, 2015 yılında yayınlanan ilk liste 2018 ve 2020 yıllarında güncellenmiştir. Bu liste sabit olmayıp 4 yıl boyunca izleme çalışması yapıldıktan sonra, her iki senede bir güncellenmektedir (Gomez Cortes ve diğ., 2020).

Ülkemizde YSKY (2021), Ek 5, Tablo 5'te verilmiş olan öncelikli maddeler listesinde metaller, pestisitler, ftalatlar, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve endokrin bozucular yer almaktadır. YSKY (2021), Ek 5 Tablo 4'te listelenmiş olan belirli kirleticiler ise 250 adet olup bu maddelerin çoğunluğunu pestisitler oluşturmakta ancak diklofenak gibi ilaçlar ve doğal ve sentetik östrojenler (17-β-östradiol, E2 ve 17-α-etinil östradiol, EE2) de bulunmaktadır.

Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik (YSKBKKY, 2015), yeraltısularını "iyi (risk altında değil)", "zayıf (risk altında)" ya da "yeterli veri yok" olarak sınıflandırmaktadır. Bu yönetmelikte daha az mikrokirletici yer almaktadır. Yönetmeliğin ekinde, Temel Kirleticiler olarak biosidler ve bitki koruma ürünleri, organohalojen bileşikler ve su çevresinde bu gibi bileşikler oluşturabilecek maddeler, organofosforlu bileşikler, organotin bileşikler, kanserojen ya da biçim bozucu (mutajenik) özellikler ya da stroidojenik, tiroit, üreme ya da diğer endokrin bağlantılı faaliyetleri su çevresinde ya da su yoluyla etkileyebilecek özelliklere sahip olduğu kanıtlanmış maddeler ve preparatlar ya da türevleri ile kalıcı hidrokarbonlar ve kalıcı ve biyolojik olarak birikebilir organik toksik maddeler sıralanmıştır. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) yeraltısularının (YAS) risk altında olmasına sebep olan bu kirleticiler ve kirlilik belirtileri için eşik değerler ve YAS kalite standartlarını belirlemekle yükümlüdür. Eşik değerlerin belirlenmesinde bakılması gereken asgari parametreler arasında ise trikloroetilen ve tetrakloroetilen maddeleri yer almakta olup, bu maddeler AB'deki öncelikli kirleticiler listesinde yer almaya da "aday kirleticiler" arasındadır (ECHA, 2022).

3. Mevcut Durum

Türkiye'de öncelikli maddeler ve belirli kirleticiler için yapılan çalışmalar özellikle AB uyum sürecinde ilk olarak "Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği" olarak Kasım 2012'de

yayınlanan ve şu andaki ismi “Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği” (YSKY, 2021) olan yönetmelik ile birlikte hız kazanmıştır.

Nehir Havza Yönetim Planları (NHYP) 11 havza için tamamlanmıştır (Tablo 2) Bu havzalarda NHYP çerçevesinde öncelikli maddeler ve belirli kirleticiler ile ilgili izleme çalışmaları yapılmıştır (TOB, 2022).

Tablo 2. Ülkemizde Nehir Havzası Yönetim Planı (NHYP) tamamlanmış olan havzalar.

NHYP tamamlanmış olan havzalar	
Konya Kapalı	Küçük Menderes
Susurluk	Kuzey Ege
Meriç-Ergene	Akarçay
Büyük Menderes	Batı Akdeniz
Gediz	Yeşilirmak
Burdur	

Ülkemizde mikrokirleticilerin ölçümü ile ilgili yapılmış çalışmalar özellikle analitik ölçüm teknikleri ve gereken ekipman sebebiyle kısıtlıdır. Mikrokirleticilerin bir kısmı atıksu arıtma tesisi giriş/çıkış suyunda ve yüzeysel sularda çeşitli farmasötikler (Komesli ve diğ., 2015; Yaman ve diğ., 2017; Guzel ve diğ., 2019; Dogruel ve diğ., 2020; Emadian ve diğ., 2021; Korkmaz ve diğ., 2022a; Korkmaz ve diğ., 2022b), dezenfeksiyon yan ürünleri (Yaman ve diğ., 2017; Birtek ve diğ., 2022) endokrin bozucu maddeler (Yaman ve diğ., 2017) ya da pestisitleri (Birtek ve diğ., 2022; Canlı ve diğ., 2022) ölçerken, havza bazında yapılan çalışmalarda daha çok hukuken izlenmesi gereken öncelikli maddeler ve belirli kirleticiler arasında yer alan pestisitler ve poliaromatik hidrokarbonlar (Canlı ve diğ., 2020; Emadian ve diğ., 2021; Hanedar ve diğ., 2021; Kucuk ve diğ., 2021; Canlı ve diğ., 2022) ölçülmüştür.

Bakanlıklarca yürütülen izleme çalışmaları ve çeşitli araştırma faaliyetleri çerçevesinde kurum ve kuruluşların yaptığı çalışmalardan literatürde yayınlanmış olanlar, mikrokirletici sınıfları bazında incelenerek numunenin alındığı ortama bağlı olarak Tablo 3'te verilmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

İlaçlar arasında en çok çalışılan madde bir antiepileptik ilaç olan karbamezapin olup, bu maddeye atıksularda 95–4093 ng/L, yüzeysel sularda ise 0,1–2940 ng/L aralığında rastlanmıştır. Bir antienflamatuvar olan naproksen konsantrasyonu atıksularda daha geniş bir aralıkta ölçülmüş olup (5390–17219 ng/L) benzer şekilde antienflamatuvar bir başka ilaç olan diklofenak konsantrasyonu ise atıksularda 656–5870 ng/L, yüzeysel sularda da 18–1460 ng/L aralığında ölçülmüştür. Atıksularda, ilaçlar arasında en yüksek konsantrasyona (10369–404759 ng/L) bir uyarıcı olan kafeinde rastlanmıştır.

Diklorvos ve sipermetrin, havza bazında yapılan çalışmalarda pestisitler arasında en sık karşılaşılan maddeler olarak saptanmıştır. Bu iki pestisit havza ortamındaki maksimum konsantrasyonları, sırasıyla 18820 ve 6240 ng/L olarak tayin edilmiştir. Aynı maddeler, atıksularda ise sırasıyla 10–84 ve 0,7–74 ng/L aralıklarında ölçülmüştür. Bifenoks (488 ng/L), kinoksifen (280 ng/L) ve endrin (110 ng/L) atıksularda 100 ng/L bandını aşan üç pestisittir. Diuron (10640 ng/L), imidakloprid (8630 ng/L) ve karbendazim (6330 ng/L) diklorvos ile sipermetrinin dışında Meriç-Ergene Havzası'nda 5000 ng/L'nin üzerinde konsantrasyona sahip pestisit türleridir.

17 α -etinilöstradiol (EE2) ve 17 β -östradiol (E2), yüzeysel sularda ölçümü yapılan hormonlar içerisinde en yüksek konsantrasyona sahip olan maddeler olarak belirlenmiştir. Konsantrasyon aralığı, 17 α -etinilöstradiol (EE2) ve 17 β -östradiol (E2) için sırasıyla <10–3550 ve 31–3890 ng/L şeklinde ölçülmüştür. Yüzeysel sularda, bu iki maddeyi 48–2090 ve <48–1070 ng/L konsantrasyon aralıklarıyla östradiol ve östron (E1) hormonları izlemiştir. Atıksularda ise, östron (E1) ve progesteron (P4) için görece çok daha düşük konsantrasyonlarda (187 ve 20 ng/L) gözlenmiştir.

Literatürde yayınlanmış olan çalışmalarda atıksu ortamında endokrin bozucu maddelere rastlanmamasına karşın, yüzeysel sularda tris (2-kloroetil) fosfat ve tris(2-butoksietil) fosfat için sırasıyla 2,7–7,9 ve 1,2–31 ng/L konsantrasyon aralıkları tespit edilmiştir.

Havza bazında yürütülen çalışmalar sırasında, poliaromatik hidrokarbonlar içerisinde en çok çalışılan madde antrasen olmuştur. Antrasen yüzeysel sularda 2–851000 ng/L şeklinde geniş bir konsantrasyon aralığında yer alırken, atıksuların giriş ve çıkış akımlarında ise daha dar konsantrasyon aralıklarında (sırasıyla 1,1–14 ve 0–3,0 ng/L) ölçülmüştür. Havza ortamında 50000 ng/L'nin üzerinde konsantrasyona sahip poliaromatik hidrokarbonlar benzo(g,h,i)perilen (61430 ng/L), floranten (59400 ng/L) ve benzo(a)piren (57920 ng/L) olurken; petrol hidrokarbonları için görece çok yüksek konsantrasyonlara (52000–997000 ng/L) erişilmiştir. Naftalin ise, hem konsantrasyonun büyüklüğü hem de konsantrasyon aralığının genişliği açısından atıksularda en dikkat çekici poliaromatik hidrokarbon türü olarak tespit edilmiştir.

Ülkemizde en çok çalışılan maddelerden olan ilaçların en az 80 çeşidi dünyada da ham ve arıtılmış atıksularda, yerüstü sularında ve içme suyunda da ölçülmüştür (Jiang ve diğ., 2013). Atıksuların ham olarak ya da arıtılmaları sonrasında alıcı ortama karışmaları ile özellikle ilaçlar, kişisel bakım ürünleri ve hormonlar sulara karışabilecek olup ilaçlar için diğer iki gruba göre biraz daha yüksek olduğu ancak genel olarak konsantrasyonların 0,1-10 μ g/L arasında değiştiği görülmüştür (Şekil 2) (Luo ve diğ., 2014).

Ülkemize benzer bir şekilde, dünyada da atıksularda en çok rastlanan ilaçlar antienflamatuvarlar ve antibiyotikler olup, bu mikrokirleticilerin atıksulardaki varlığı esas olarak yaygın kullanımlarına bağlıdır (Jiang ve diğ., 2013). Ancak, farklı yapı ve fizikokimyasal özelliklere sahip ilaçların atıksu arıtma tesislerinde de farklı giderim verimlerine sahip olacakları unutulmamalıdır. Özellikle hidrofobisitelevi ve biyolojik olarak ayrıştırılabilirlikleri sebebiyle, mikrokirleticilerin atıksu arıtma tesislerindeki giderim verimleri %12,5 ile %100 arasında değişebilmektedir (Luo ve diğ., 2014). Birleşik Krallık, Kanada ve Japonya'daki çalışmalarda, ibuprofen, naproksen ve eritromisin atıksulardaki konsantrasyonları 10-100 μ g /L mertebesinde bulunmuş ve atıksuların alıcı ortamlara deşarjı sonucunda yerüstü sularındaki konsantrasyonlar da düşük μ g/L seviyelerinde gözlemlenmiştir (Jiang ve diğ., 2013). Diğer ilaç gruplarındaki mikrokirleticilere daha düşük konsantrasyonda (ng/L seviyelerinde) rastlanmış olması, farklı ilaçların farklı kullanım sıklığı ile ilişkilendirilmiştir.

Tablo 3. Ülkemizde mikrokirleticiler ile ilgili yapılan çalışmalardan örnekler.

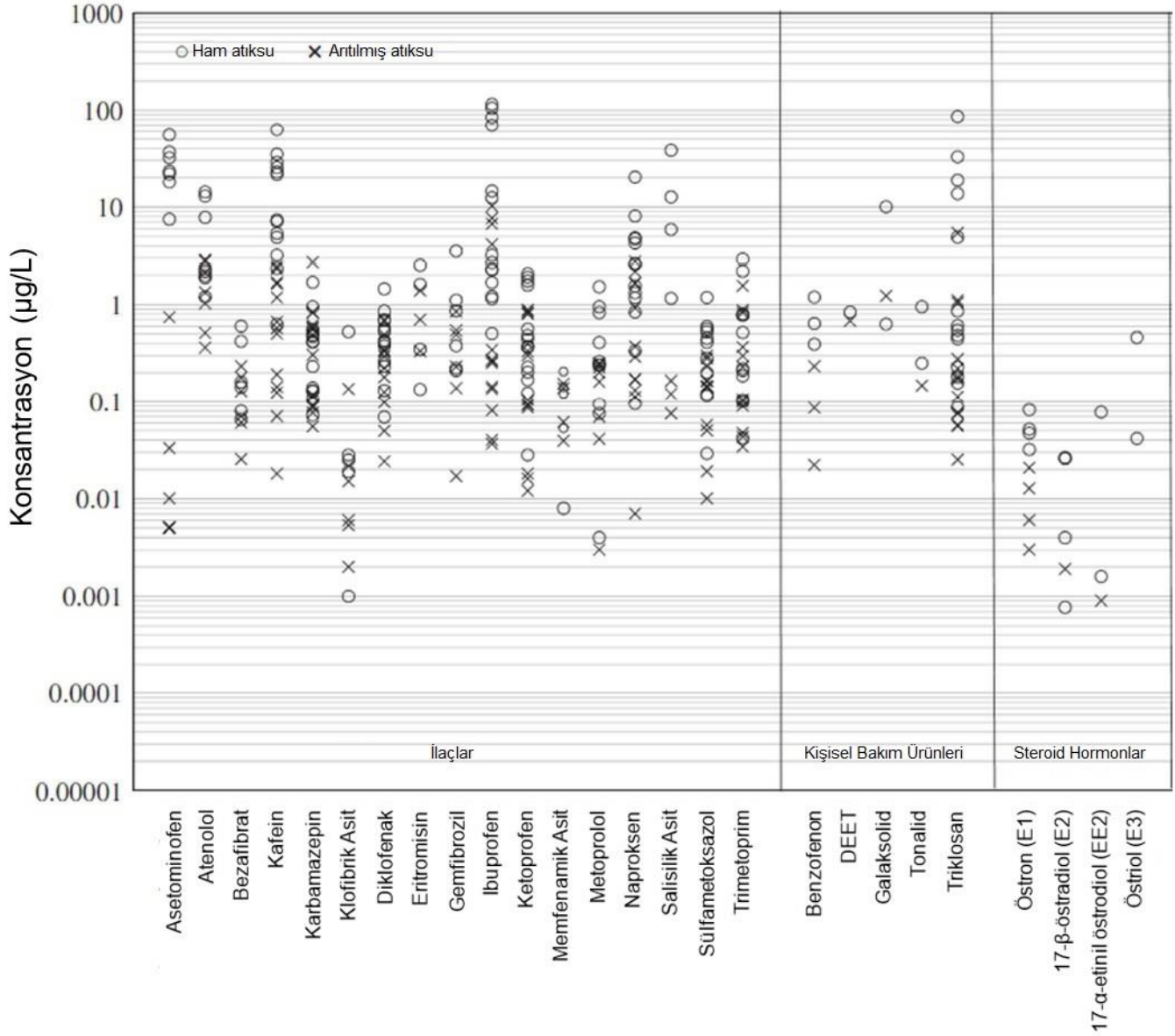
Madde Grubu	Kirletici	Konsantrasyon (ng/L)	İzleme Noktası	Havza	Kaynak
İlaçlar	Asetaminofen	G: 747; Ç: 7	Atıksu	Sakarya	Komesli ve diğ., 2015
	Asetaminofen	50–111050	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Atenolol	G: 345; Ç: 211	Atıksu	Marmara	Pehlivanoglu-Mantas ve diğ., 2017; Dogruel ve diğ., 2020
	Diazepam	374	Baraj Gölü/Akarsu	Ceyhan	Guzel ve diğ., 2019
	Diklofenak	18	Baraj Gölü/Akarsu	Ceyhan	Guzel ve diğ., 2019
	Diklofenak	G: 656–5870; Ç: 521–2291	Atıksu	Marmara	Pehlivanoglu-Mantas ve diğ., 2017; Dogruel ve diğ., 2020
	Diklofenak	<27–1460	Haliç	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022a
	Diklofenak	<28–1300	Marmara Denizi	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022b
	Diltiazem	G: 15; Ç: 8	Atıksu	Sakarya	Komesli ve diğ., 2015
	Etodolak	47	Baraj Gölü/Akarsu	Ceyhan	Guzel ve diğ., 2019
	Fenoprofen	<17–1280	Haliç	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022a
	Fenoprofen	<18–1320	Marmara Denizi	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022b
	Flukonazol	16	Baraj Gölü/Akarsu	Ceyhan	Guzel ve diğ., 2019
	Gabapentin	355	Baraj Gölü/Akarsu	Ceyhan	Guzel ve diğ., 2019
	Gemfibrozil	<54–3180	Haliç	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022a
	Gemfibrozil	<16–9710	Marmara Denizi	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022b
	İbuprofen	G: 3683–11293; Ç: 212–1941	Atıksu	Marmara	Pehlivanoglu-Mantas ve diğ., 2017; Dogruel ve diğ., 2020
	İbuprofen	<50–2460	Haliç	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022a
	İbuprofen	<15–2130	Marmara Denizi	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022b
	Kafein	4880	Baraj Gölü/Akarsu	Ceyhan	Guzel ve diğ., 2019
	Kafein	G: 10369–404759; Ç: 412–12139	Atıksu	Marmara	Pehlivanoglu-Mantas ve diğ., 2017; Dogruel ve diğ., 2020
	Karbamazepin	24	Baraj Gölü/Akarsu	Ceyhan	Guzel ve diğ., 2019
	Karbamazepin	G: 95; Ç: 75	Atıksu	Sakarya	Komesli ve diğ., 2015
	Karbamazepin	G: 406–4093; Ç: 518–2245	Atıksu	Marmara	Pehlivanoglu-Mantas ve diğ., 2017; Dogruel ve diğ., 2020
	Karbamazepin	<37–2940	Haliç	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022a
	Karbamazepin	<38–1840	Marmara Denizi	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022b
	Karbamazepin	0,1–12	Sakarya Nehri	Sakarya	Yaman ve diğ., 2017
	Ketoprofen	<112–260	Haliç	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022a
	Ketoprofen	<33–370	Marmara Denizi	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022b
	Klofibril asit	<53–2090	Haliç	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022a
Klofibril asit	<53–3820	Marmara Denizi	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022b	
Lidokain	49	Baraj Gölü/Akarsu	Ceyhan	Guzel ve diğ., 2019	
Metoprolol	44	Baraj Gölü/Akarsu	Ceyhan	Guzel ve diğ., 2019	
Naproxen	G: 5390–17219; Ç: 26–1674	Atıksu	Marmara	Pehlivanoglu-Mantas ve diğ., 2017; Dogruel ve diğ., 2020	
Naproxen	<20–270	Haliç	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022a	
Naproxen	<21–340	Marmara Denizi	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022b	
Naproxen	0–11	Sakarya Nehri	Sakarya	Yaman ve diğ., 2017	
Paraksantin	G: 703–159612; Ç: 194–836	Atıksu	Marmara	Pehlivanoglu-Mantas ve diğ., 2017; Dogruel ve diğ., 2020	
Propranolol	G: 10–188; Ç: 53–150	Atıksu	Marmara	Pehlivanoglu-Mantas ve diğ., 2017; Dogruel ve diğ., 2020	
Sülfametoksazol	G: 212–726; Ç: 43–490	Atıksu	Marmara	Pehlivanoglu-Mantas ve diğ., 2017; Dogruel ve diğ., 2020	
Sülfametoksazol	40–3270	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021	
Hormonlar	17 α -etinilöstradiol (EE2)	<10–1490	Haliç	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022a
	17 α -etinilöstradiol (EE2)	11–3550	Marmara Denizi	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022b
	17 β -östradiol (E2)	<103–710	Haliç	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022a
	17 β -östradiol (E2)	31–3890	Marmara Denizi	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022b
	Östradiol	48–2090	Marmara Denizi	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022b
	Östron (E1)	G: 187; Ç: 58	Atıksu	Sakarya	Korkmaz ve diğ., 2015
	Östron (E1)	<48–1070	Haliç	Marmara	Korkmaz ve diğ., 2022a
Progesteron (P4)	G: 20; Ç: 8	Atıksu	Sakarya	Komesli ve diğ., 2015	
Endokrin Bozucu Maddeler	Tris (2-kloroetil) fosfat	2,7–7,9	Sakarya Nehri	Sakarya	Yaman ve diğ., 2017
	Tris(2-butoksietil) fosfat	1,2–31	Sakarya Nehri	Sakarya	Yaman ve diğ., 2017
Pestisitler	Aklonifen	60–750	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Aklonifen	G: <20–21; Ç: 20–48	Atıksu	Marmara	Birtek ve diğ., 2022
	Asetaklor	4,4–31	Yüzeysel Su/Atıksu	Marmara/Sakarya	Canlı ve diğ., 2022
	Asetamiprid	1,6–312	Yüzeysel Su/Atıksu	Marmara/Sakarya	Canlı ve diğ., 2022
	Bifenil	59	Sakarya Nehri	Sakarya	Canlı ve diğ., 2020
	Bifenoks	G: 69–488; Ç: 73–381	Atıksu	Marmara	Birtek ve diğ., 2022
	Diflubenzuron	61–2432	Yeşilirmak Nehri	Yeşilirmak	Kucuk ve diğ., 2021
	Diklorvos	13–462	Yeşilirmak Nehri	Yeşilirmak	Kucuk ve diğ., 2021
	Diklorvos	0–13040	K. Menderes Havzası	K. Menderes	Hanedar ve diğ., 2021
	Diklorvos	200–18820	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Diklorvos	G: 10–84; Ç: 10–40	Atıksu	Marmara	Birtek ve diğ., 2022
	Diuron	30–10640	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
Diuron	G: <10–79; Ç: <10–60	Atıksu	Marmara	Birtek ve diğ., 2022	

G: Giriş, Ç: Çıkış

Tablo 3. Ülkemizde mikrokirlenimler ile ilgili yapılan çalışmalardan örnekler (devamı).

Madde Grubu	Kirlenici	Konsantrasyon (ng/L)	İzleme Noktası	Havza	Kaynak
Pestisitler (devamı)	Endrin	G: 6,8–110; Ç: 6,5–157	Atıksu	Marmara	Birtek ve diğ., 2022
	Etafluralin	13–3404	Yeşilirmak Nehri	Yeşilirmak	Kucuk ve diğ., 2021
	Heksakloro-sikloheksan	6–298	Yeşilirmak Nehri	Yeşilirmak	Kucuk ve diğ., 2021
	Heksakloro-benzen	1–323	Yeşilirmak Nehri	Yeşilirmak	Kucuk ve diğ., 2021
	İmidakloprid	11–2979	Yüzeysel Su/Atıksu	Marmara/Sakarya	Canlı ve diğ., 2022
	İmidakloprid	25–671	Yeşilirmak Nehri	Yeşilirmak	Kucuk ve diğ., 2021
	İmidakloprid	720–8630	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Kadusafos	80–650	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Karbendazim	3,0–773	Yüzeysel Su/Atıksu	Marmara/Sakarya	Canlı ve diğ., 2022
	Karbendazim	30–6330	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Kinoksifen	16–822	Yüzeysel Su/Atıksu	Marmara/Sakarya	Canlı ve diğ., 2022
	Kinoksifen	G: 0–280; Ç: 0–380	Atıksu	Marmara	Birtek ve diğ., 2022
	Klorfenvinfos	440	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Klorpirifos	130–1720	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Kuinalfos	40–1050	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Molinat	0,04-211,4	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Okzadiazon	390–4320	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Piperonil butoksit	26	Sakarya Nehri	Sakarya	Canlı ve diğ., 2020
	Prokloraz	1,6–772	Yüzeysel Su/Atıksu	Marmara/Sakarya	Canlı ve diğ., 2022
	Propikonazol	5,1–4155	Yüzeysel Su/Atıksu	Marmara/Sakarya	Canlı ve diğ., 2022
	Sipermetrin	31–375	Yeşilirmak Nehri	Yeşilirmak	Kucuk ve diğ., 2021
	Sipermetrin	0–50	K. Menderes Havzası	K. Menderes	Hanedar ve diğ., 2021
	Sipermetrin	6240	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Sipermetrin	G: 0,7–74; Ç: 1,7–26	Atıksu	Marmara	Birtek ve diğ., 2022
	Terbutrin	5,2–7,9	Yüzeysel Su/Atıksu	Marmara/Sakarya	Canlı ve diğ., 2022
Terbutrin	10–30	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021	
Tiyametoksam	4,3–179	Yüzeysel Su/Atıksu	Marmara/Sakarya	Canlı ve diğ., 2022	
Trifluralin	13	Sakarya Nehri	Sakarya	Canlı ve diğ., 2020	
γ-HCH	0,6	Sakarya Nehri	Sakarya	Canlı ve diğ., 2020	
Poliaromatik Hidrokarbonlar	1-metilnaftalin	109	Sakarya Nehri	Sakarya	Canlı ve diğ., 2020
	Antrasen	22	Sakarya Nehri	Sakarya	Canlı ve diğ., 2020
	Antrasen	2–40	Yeşilirmak Nehri	Yeşilirmak	Kucuk ve diğ., 2021
	Antrasen	20–42910	K. Menderes Havzası	K. Menderes	Hanedar ve diğ., 2021
	Antrasen	9140–851000	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Antrasen	G: 1,1–14; Ç: 0–3,0	Atıksu	Marmara	Birtek ve diğ., 2022
	Asenaften	216	Sakarya Nehri	Sakarya	Canlı ve diğ., 2020
	Asenaften	6–34	Yeşilirmak Nehri	Yeşilirmak	Kucuk ve diğ., 2021
	Benzo(a)piren	0–57920	K. Menderes Havzası	K. Menderes	Hanedar ve diğ., 2021
	Benzo(a)piren	30–980	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Benzo(a)piren	G: 0,3–1; Ç: 0,2–0,4	Atıksu	Marmara	Birtek ve diğ., 2022
	Benzo(b)floranten	270–4380	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Benzo(b)floranten	G: 0,1–4,7; Ç: 0,1–2,7	Atıksu	Marmara	Birtek ve diğ., 2022
	Benzo(g,h,i)perilen	16	Sakarya Nehri	Sakarya	Canlı ve diğ., 2020
	Benzo(g,h,i)perilen	890–61430	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Benzo(g,h,i)perilen	G: 1–9; Ç: 1–5	Atıksu	Marmara	Birtek ve diğ., 2022
	Benzo(k)floranten	20–3010	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Benzo(k)floranten	G: 1,5–17; Ç: 0,1–4,1	Atıksu	Marmara	Birtek ve diğ., 2022
	Dibenzo(a,h)antrasen	23	Sakarya Nehri	Sakarya	Canlı ve diğ., 2020
	Fenantren	199	Sakarya Nehri	Sakarya	Canlı ve diğ., 2020
	Fenantren	1–369	Yeşilirmak Nehri	Yeşilirmak	Kucuk ve diğ., 2021
	Floranten	1–40	Yeşilirmak Nehri	Yeşilirmak	Kucuk ve diğ., 2021
	Floranten	2–59400	K. Menderes Havzası	K. Menderes	Hanedar ve diğ., 2021
	Floranten	160–19440	Ergene Nehri	Meriç-Ergene	Emadian ve diğ., 2021
	Floranten	G: 1,4–11; Ç: 0,1–7,5	Atıksu	Marmara	Birtek ve diğ., 2022
Floren	38	Sakarya Nehri	Sakarya	Canlı ve diğ., 2020	
Floren	2–106	Yeşilirmak Nehri	Yeşilirmak	Kucuk ve diğ., 2021	
İndeno(1,2,3-cd)piren	16	Sakarya Nehri	Sakarya	Canlı ve diğ., 2020	
Krisen	30	Sakarya Nehri	Sakarya	Canlı ve diğ., 2020	
Naftalin	20–222	K. Menderes Havzası	K. Menderes	Hanedar ve diğ., 2021	
Naftalin	G: 18–1154; Ç: 2–21	Atıksu	Marmara	Birtek ve diğ., 2022	
Petrol hidrokarbonları	52000–997000	Yeşilirmak Nehri	Yeşilirmak	Kucuk ve diğ., 2021	

G: Giriş, Ç: Çıkış



Şekil 2. Ham ve artilmiş atıksularda rastlanan ilaç, kişisel bakım ürünleri ve steroid hormon konsantrasyonları (Luo ve diğ., 2017)

Ülkemizde incelenmiş diğ er bir mikrokirletici grubu olan endokrin bozucu maddeler, farklı ölkelerde de hem atıksuda hem de yüzeysel sularda ölçölmüş olup östron, 17β östradiol (E2), östriol (E3) ve 17α-etinilöstradiol (EE2) konsantrasyonları en fazla birkaç yüz ng/L seviyesinde ölçölmüştür (Jiang ve diğ., 2013; Luo ve diğ., 2014).

Son 45 sene içinde dünyada yapılmış pestisit ölçömlerinin incelenmesi ile (de Araujo ve diğ., 2022) 127 çalışmada en çok araştırılan madde olarak atrazin ortaya çıkmış ve numune alım yöntemine de bağılı olarak tekil numunelerin %43'ünde, pasif örnekleme ile alınan numunelerin ise %68'inde atrazine rastlanmıştır. Ancak, en yüksek "maksimum" ve "ortalama" konsantrasyonlar tekil numuneler için sırasıyla molinat (211,38 µg/L) ve bentazon (53 µg/L) için elde edilmiştir (de Araujo ve diğ., 2022). Burada ölkemiz için önemli olan nokta, en yüksek pestisit konsantrasyonunun ölkemizde, NHYP çalışması biten havzalardan biri olan Ergene Havzası'nda elde edilmiş (Emadian ve diğ., 2021) olmasıdır. Pasif örneklemede elde edilen en yüksek "maksimum" ve "ortalama" konsantrasyonlar ise sırasıyla oksiflorfen (16,8 µg/L) ve atrazin (4,8 µg/L) içindir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Düşük konsantrasyonlarda dahi, çevre için problem oluşturuyor olmalarına bağılı olarak mikrokirletici kimyasallar, alıcı ortamlara hem atıksu gibi noktasal kaynaklardan hem de tarımsal geri dönüş suyu gibi yayılı kaynaklardan karışmaktadır. Mikrokirleticilerin kullanım amaçları ve yararları düşünöldüğünde, hepsinden hemen vazgeçilmesi mümkün değildir. Diğ er yandan yerüstü ve yeraltı sularına karışmaları hem insan hem de çevre sağığı açısından tehlike arz edebilmektedir.

Dünyada ve ölkemizde, çeşitli gruplara ait mikrokirleticiler atıksularda ve özellikle yerüstü sularında ölçölmektedir. AB'de ve ölkemizde mikrokirleticilerin bir kısmı öncelikli maddeler ve belirli kirleticiler olarak tanımlanarak yerüstü sularında ölçölmekte ve yerüstü su kalitesinin belirlenmesinde çevresel kalite standardı olarak kullanılmaktadır. Bu maddelerin antropojenik kaynaklı olduğı ve önemli bir kısmının artilmamış atıksuların deşarjı ile çevreyi tehdit ettiğı düşünöldüğünde, mikrokirleticilerin deşarj standartlarında da yer almasının önemi açıktır. Alıcı ortamda belirli kirleticiler ve öncelikli maddeler açısından çevresel kalite standartlarının sağılanması maksadıyla

kentsel ve endüstriyel deşarjlarda izin verilebilecek limit değerlerin belirlenmesi gereklidir. Ancak mevcut durumda ülkemiz mevzuatında, organik mikrokirleticilere yönelik bir deşarj standartı bulunmayıp organik kirleticilerin deşarjı konvansiyonel parametreler olan biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) parametreleri ile kontrol edilmektedir. Diğer yandan, kolektif parametreler olan BOİ ve KOİ'nin, ismini µg/L konsantrasyonlarında bulunmasından almış olan mikrokirleticilerin kontrolünde ihtiyaca cevap veremeyeceği açıktır. Bu sebeple, mevcut yönetmeliklerdeki evsel ya da endüstriyel deşarj standartları sağlanmasa bile, arıtılmış atıksuyun geri kazanılması ve tekrar kullanılması durumunda, mikrokirleticilere maruz kalınması söz konusu olabilir.

Mikrokirleticilerin sınırlandırılabilmesi için en önemli nokta, bu maddelerin ölçümlerinin güvenilir bir şekilde yapılmasıdır. Ayrıca, çevresel sularda sadece mikrokirleticilerin değil, bu maddelerin dönüşüm ürünlerinin de bulunacak olması, belirli bir maddeye yönelik bir "hedefli ölçüm"den ziyade, "hedefsiz ölçüm"ü de gerektirebilir. Ancak hedefsiz ölçümün uzmanlık ve pahalı cihazlar gerektirmesi sebebiyle, mikrokirleticilerin ve olası transformasyon ürünlerinin etkilerinin ekotoksitesite çalışmalarıyla belirlenmesi de mümkündür. Bu aynı zamanda, çevresel sularda tekil olarak bulunmayan mikrokirleticilerin, ortaklaşa buldukları matrislerde, olası sinerjistik ya da antogonistik etkisini de ortaya koyacaktır. Ekotoksitesite çalışmaları yürütülürken dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri, farklı trofik seviyelerden canlılarla çalışılarak, mümkün olduğunca en hassas türe olacak etkinin belirlenmesidir. Böylece, insanlarda oluşacak etkiler ile ilgili olarak yapılacak olan ekstrapolasyon ile, etkilere daha hassas olabilecek birey ya da grupların (endokrin sistemini bozucu maddelerin ergenlik öncesi çocukları daha fazla etkilemesi gibi) da korunması sağlanabilir.

5. Teşekkür ve Bilgi

Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

6. Kaynaklar

- AB, (2000), Su Çerçeve Direktifi, 2000/60/EC, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32000L0060&qid=1657113402901>
- AB, (2008), Su Çerçeve Direktifi, 2008/105/EC, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:348:0084:0097:EN:PDF>
- AB, (2013), Su Çerçeve Direktifi, 2013/39/EU, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:226:0001:0017:EN:PDF>
- Ben, Y., Fu C., M. Hu, L. Liu, M.H. Wong, and C. Zheng (2019), Human health risk assessment of antibiotic resistance associated with antibiotic residues in the environment: A review; *Environmental Research*, 169, 483-493, doi:10.1016/j.envres.2018.11.040
- Bhatt, P., G. Bhandari, and M. Bilal (2022), Occurrence, toxicity impacts and mitigation of emerging micropollutants in the aquatic environments: Recent tendencies and perspectives, *J. Environ. Chem. Eng.*, 10, 107598, doi:10.1016/j.jece.2022.107598.

- Birtek, R.I., M.E. Karpuzcu, and I. Ozturk (2022), Occurrence of priority substances in urban wastewaters of Istanbul and the estimation of the associated risks in the effluents, *Environ Monit Assess*, 194, 426, doi:10.1007/s10661-022-09840-w.
- Bojanowska-Czajka, A. (2021), Application of radiation technology in removing endocrine micropollutants from waters and wastewaters - A review. *Appl. Sci.*, 11, 12032, doi:10.3390/app112412032.
- Canlı, O., K. Çetintürk, and E.E. Öktem Olgun (2020), Determination of 117 endocrine disruptors (EDCs) in water using SBSE TD-GC-MS/MS under the European Water Framework Directive, *Anal. Bioanal. Chem.*, 412, 5169-5178, doi:10.1007/s00216-020-02553-4.
- Canlı, O., E. Oktem Olgun, B. Güzel and M. Kaplan (2022), Sensitive and accurate determination of 168 micropollutants including pharmaceuticals and pesticides in surface water and wastewater samples with direct injection using jet stream ESI LC-MS/MS, *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, doi:10.1080/03067319.2022.2047184, Published online: 23 Mar 2022.
- Chen, L., and Z. Wang (2019), Effects of chlorination, ultraviolet and ozone disinfection on the biotoxicity of triclosan, *Water Supply*, 19(4), 1175-1180, doi:10.2166/ws.2018.175.
- Danner, M., A. Robertson, V. Behrends, and J. Reiss (2019), Antibiotic pollution in surface fresh waters: Occurrence and effects, *Sci. Total Environ.*, 664, 793-804, doi:10.1016/j.scitotenv.2019.01.406.
- de Araujo, E.P., E.D. Caldas, E.C. Oliveira (2022), Pesticides in surface freshwater: a critical review *Environ Monit Assess* (2022) 194: 452, doi:10.1007/s10661-022-10005-y.
- Dogruel, S., Z. Cetinkaya Atesci, E. Aydin, and E. Pehlivanoglu-Mantas (2020), Ozonation in advanced treatment of secondary municipal wastewater effluents for the removal of micropollutants, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 27 (36), 45460-45475, doi:10.1007/s11356-020-10339-5.
- ECHA, (2022), European Chemicals Agency, <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.001.062>
- Emadian, S.M., F.O. Sefiloglu, I. Akmehtmet Balcioglu, and U. Tezel (2021), Identification of core micropollutants of Ergene River and their categorization based on spatiotemporal distribution, *Sci. Total Environ.*, 758, 143656, doi:10.1016/j.scitotenv.2020.143656.
- Gavrilescu, M., K. Demnerova, J. Aamand, S. Agathoss, and F. Fava (2014), Emerging pollutants in the environment: present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation, *New Biotechnol.*, 21 (1), 147-156, doi:10.1016/j.nbt.2014.01.001
- Giulivo, M., M. Lopez de Alda, E. Capri, and D. Barceló (2016), Human exposure to endocrine disrupting compounds: Their role in reproductive systems, metabolic syndrome and breast cancer: A review,

- Environ. Res., 151, 251-264, doi:10.1016/j.envres.2016.07.011.
- Gomez Cortes, L., D. Marinov, I. Sanseverino, A. Navarro Cuenca, M. Niegowska, E. Porcel Rodriguez and T. Lettieri (2020), Selection of substances for the 3rd Watch List under the Water Framework Directive, European Commission, Joint Research Center (JRC) Technical Report, JRC121346, EUR 30297 EN, ISBN 978-92-76-19426-2.
- Gursoy-Haksevenler, B.H., E. Atasoy-Aytis, M. Dilaver, S. Yalcinkaya, N. Findik-Cinar, E. Kucuk, T. Pilevneli, A. Koc-Orhon, E. Siltu, S.M. Gücver, Y. Karaaslan, and U. Yetis (2021), A strategy for the implementation of water-quality-based discharge limits for the regulation of hazardous substances, Environ. Sci. Pollut. Res., 28, 24706-24720, doi:10.1007/s11356-020-10.
- Guzel, E.Y., F. Cevik and N. Daglioglu (2019), Determination of pharmaceutical active compounds in Ceyhan River, Turkey: Seasonal, spatial variations and environmental risk assessment, Hum. Ecol. Risk Assess., 25(8), 1980-1995, doi:10.1080/10807039.2018.1479631.
- Hanedar, A., A. Tanik, E. Girgin, E. Güneş, N. Karakaya, E. Gorgun, G. Gökdereli, B.F. Çankaya, T. Kimence, Y. Karaaslan, and B. Dikmen (2021), Utility of a source-related matrix in basin management studies: A practice on a sub-Basin in Turkey, Environ. Sci. Pollut. Res., 28, 50329-50343, doi:10.1007/s11356-021-14142-8.
- Hollender, J., B. van Bavel, V. Dulio, E. Farnen, K. Furtmann, J. Koschorreck, U. Kunkel, M. Krauss, J. Munthe, M. Schlabach, J. Slobodnik, G. Stroomberg, T. Ternes, N.S. Thomaidis, A. Togola, and V. Tornero (2019), High resolution mass spectrometry-based non-target screening can support regulatory environmental monitoring and chemicals management, Environ Sci Eur, 31, 42, doi:10.1186/s12302-019-0225-x.
- Jiang, J.-Q., Z. Zhou, and V.K. Sharma (2013), Occurrence, transportation, monitoring and treatment of emerging micro-pollutants in waste water — A review from global views, Microchem. J., 110, 292-300, doi:10.1016/j.microc.2013.04.014.
- Li, L. (2021), Toxicity evaluation and by-products identification of triclosan ozonation and chlorination, Chemosphere, 263, 128223, doi:10.1016/j.chemosphere.2020.128223
- Lonappan, L., S.K. Brar, R.K. Das, M. Verma, and R.Y. Surampalli (2016), Diclofenac and its transformation products: Environmental occurrence and toxicity - A review, Environ. Int., 96, 127-138, doi:10.1016/j.envint.2016.09.014.
- Luo, Y., W. Guo, H.H. Ngo, L.D. Nghiem, F.I. Hai, J. Zhang, S. Liang, and X.C. Wang (2014), A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment, Sci. Total Environ., 473-474, 619-641, doi:10.1016/j.scitotenv.2013.12.065.
- KAAY, (2006), Kentssel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, 8 Ocak 2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmi Gazete.
- Komesli, O.T., M. Muz, M.S. Ak, S. Bakirdere and C.F. Gokcay (2015), Occurrence, fate and removal of endocrine disrupting compounds (EDCs) in Turkish wastewater treatment plants, Chem. Eng. J., 277, 202-208, doi:10.1016/j.cej.2015.04.115.
- Korkmaz, N.E., N. Balkis Caglar and A. Aksu (2022a), Presence and distribution of selected pharmaceutical compounds in water and surface sediment of the Golden Horn Estuary, Sea of Marmara, Turkey, Reg. Stud. Mar. Sci., 51, 102221, doi:10.1016/j.rsma.2022.102221.
- Korkmaz, N.E., B. Savun-Hekimoğlu, A. Aksu, S. Burak, and N. Balkis Caglar (2022b), Occurrence, sources and environmental risk assessment of pharmaceuticals in the Sea of Marmara, Turkey, Sci. Total Environ., 819, 152996, doi:10.1016/j.scitotenv.2022.152996.
- Krauss, M., H. Singer, and J. Hollender (2010), LC-high resolution MS in environmental analysis: from target screening to the identification of unknowns, Anal Bioanal Chem, 397,943-951, doi:10.1007/s00216-010-3608-9.
- Kucuk, E., T. Pilevneli, G.O. Erguven, S. Aslan, E.Ö. Olgun, O. Canlı, K. Unlu, F.B. Dilek, U. Ipek, G. Avaz, U. Yetis (2021), Occurrence of micropollutants in the Yesilirmak River Basin, Turkey, Environ. Sci. Pollut. Res., 28, 24830-24846, doi:10.1007/s11356-021-13013-6.
- NORMAN, (2022a), NORMAN Substance Database – NORMAN SusDat, <https://www.norman-network.com/nds/susdat/> 25 Mayıs 2022 tarihinde bağlandı.
- NORMAN, (2022b), NORMAN Network of reference laboratories for monitoring of emerging environmental pollutants, <http://www.norman-network.net/?q=interlab-studies>, 25 Mayıs 2022 tarihinde bağlandı.
- Olmez-Hanci, T., S. Dogruel, A. D. Allar Emek, C. Eropak Yılmaz, S. Çınar, O. Kiraz, E. Citil, A. Koc Orhon, E. Siltu, and S. M. Gücver, O. Karahan Ozgun, A. Tanik, U. Yetis (2020), Performance of ozone and peroxide on the removal of endocrine disrupting chemicals (EDCs) coupled with cost analysis, Water Sci. Technol., 82(4), 640-650, doi:10.2166/wst.2020.339.
- Pehlivanoglu-Mantas, E., A. Yurum, S. Dogruel, E. Aydin, E. Erdim, Y. Yurum, S.C. Tuzun, S.S. Harzand, Z. Cetinkaya (2017), Evsel atıksu arıtma tesislerinde mikrokirleticilerin ve ara ürünlerinin LC-MS/MS ile ölçümü ve atıksuyun geri kazanımına yönelik arıtma teknolojilerinin belirlenmesi, TÜBİTAK 1003, Projesi, 114Y487 Sonuç Raporu.
- Rogowska, J., M. Cieszyńska-Semenowicz, W. Ratajczyk, and L. Wolska (2020), Micropollutants in treated wastewater, Ambio, 49, 487-503, doi:10.1007/s13280-019-01219-5.
- Rosen, R. (2007), Mass spectrometry for monitoring micropollutants in water, Curr. Opin. Biotechnol., 18, 246-251, doi:10.1016/j.copbio.2007.03.005.
- Sathishkumar, P., R.A.A. Meena, T. Palanisami, V. Ashokkumar, T. Palvannan, and F.L. Gu (2020),

- Occurrence, interactive effects and ecological risk of diclofenac in environmental compartments and biota - A review, *Sci. Total Environ.*, 698, 134057, doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134057.
- SKKY, (2020), Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 14 Ocak 2020 tarihli ve 31008 sayılı Resmi Gazete.
- Song, C, Q. Wu, J. Sun, R. Zhang, J. Chen, X. Wang, L. Fang, Z. Liu, X. Shan, and Y. Yin (2021), In silico evaluation of interactions between antibiotics in aquaculture and nuclear hormone receptors. *Aquacult. Environ. Interact.*, 13, 389-397, doi:10.3354/aei00414.
- Sousa, J.C.G., A.R. Ribeiro, M. O. Barbosa, C. Ribeiro, M. E. Tiritan, M.F.R. Pereira, A.M.T. Silva (2019), Monitoring of the 17 EU Watch List contaminants of emerging concern in the Ave and the Sousa Rivers, *Sci. Total Environ.*, 649, 1083-1095, doi:10.1016/j.scitotenv.2018.08.309.
- TOB, (2022), Tarım ve Orman Bakanlığı, <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Sayfalar/Detay.aspx?Sayfalid=49>.
- TMSÇNOKKY, (2010), Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği (76/464/ AB), 30/3/2010 tarihli ve 27537 sayılı Resmi Gazete.
- Teodosiu, C., G. Andreea-Florina, G. Barjoveanu, and Silvia Fiore, (2018), Emerging pollutants removal through advanced drinking water treatment: A review on processes and environmental performances assessment, *J. Cleaner Prod.*, 197, Part 1, 1210-1221, doi:10.1016/j.jclepro.2018.06.247.
- USEPA, (2015), Priority pollutant list, United States Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/priority-pollutant-list-epa.pdf> 31.5.2022 tarihinde bağlandı.
- Vieria, W.T., M. B. de Farias, M.P. Spaolozzi, M.G.C. da Silva, and M.G.A. Vieira (2020), Removal of endocrine disruptors in waters by adsorption, membrane filtration and biodegradation. A review, *Environmental Chemistry Letters*, 18, 1113-1143, doi:10.1007/s10311-020-01000-1.
- Yaman, F.B., M. Çakmakçı, E. Yüksel, İ. Özen and E. Gengeç (2017), Removal of micropollutants from Sakarya River water by ozone and membrane processes, *Environ Monit. Assess.*, 189: 438, doi:10.1007/s10661-017-6128-7.
- Yang, Y., W. Song, H. Lin, W. Wang, L. Du, and W. Xing (2018), Antibiotics and antibiotic resistance genes in global lakes: A review and meta-analysis, *Environ. Int.*, 116, 60-73, doi:10.1016/j.envint.2018.04.011.
- YSKBKKY, (2015), Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, 22.5.2015 tarihli ve 29363 sayılı Resmi Gazete.
- YSKY, (2021), Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 16 Haziran 2021 tarihli ve 31513 sayılı Resmi Gazete.
- Yu, Y., W.Y. Mo, and T. Luukkonen (2021), Adsorption behaviour and interaction of organic micropollutants with nano and microplastics – A review, *Sci. Total Environ.*, 797, 149140, doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149140.

