



İlaç Atık Sınıfı Bertaraf Uygulamaları ve Çevresel Açidan Güvenli Yönetimi

Nimet KILIÇ^{1*} 

¹Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Çevre Sağlığı Programı, Aydın, Türkiye.

* Correspondence: Nimet KILIÇ, nimet.kilic@adu.edu.tr

Özet.

Koruyucu ve tedavi edici sağlık hizmetlerinin önemli bir unsuru olan ilaçlar, insan veya hayvan organizmalarında istenilen biyolojik etkiler göstermektedir. Bilinen bu özelliklerinin yanında organizmada etkilerinin sonlanması sonucunda atılan aktif ilaç bileşenleri veya artık ihtiyaç duyulmayan ilaçların bilinçsiz şekilde salınmasıyla çevreye olan etkileri endişe verici olarak nitelendirilmiştir. İlaç atıklarının çevreye karışmasının önemli kaynaklarından biri genelde plansız yönetimi ve bertarafıdır. Hanelerde ilaç atıkları yaygın şekilde çöpe, tuvalete, lavaboya atılarak ya da yakılarak imha edilmektedir. Bu durum halk ve çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Bu yüzden güvenli ilaç atık yönetimi, çevre sağlığını korumanın önemli bir unsurudur. İlaç atıklarının insan sağlığına zarar verebilmesi ve doğrudan ya da dolaylı olarak çevreye verilmesinin risk oluşturması nedeniyle bu konunun kapsamlı şekilde incelenmesi büyük önem taşımaktadır. İlaç atık yönetiminin çevreye zarar vermeden uygun şekilde yapılabilmesi büyük oranda planlı yönetim ve organizasyonun yanı sıra atıkların çevre ve mevzuatla uyumlu yöntemlerle bertarafı hakkında eğitimin ve farkındalığın artırılmasına bağlıdır. Bu derleme makale, son kullanma tarihi geçmiş ya da ambalajı bozulmuş ilaçların çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde bertarafında kullanılan yöntemleri (yakma, otoklavlama, kapsülleme, derin gömme vb.) ve güvenli olmayan ilaç imhasının çevresel riskleri ile uygun imha yöntemleri hakkında mevcut bilgileri sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Atık yönetimi, çevre kirliliği, ilaç atıkları, ilaç atık bertarafı.

Disposal Practices and Environmentally Safe Management of Pharmaceutical Waste

Abstract.

Medicines, which are an important component of preventive and therapeutic healthcare services, exhibit desired biological effects in human or animal organisms. In addition to these known properties, the effects of drugs on organisms are considered alarming due to the disposal of active drug components or unused drugs that are discarded when their effects wear off. One of the major sources of drug waste entering the environment is generally unplanned management and disposal. In households, drug waste is commonly disposed of in the trash, flushed down the toilet, poured down the sink, or incinerated. This situation has negative impacts on public and environmental health. Therefore, safe pharmaceutical waste management is an important element in protecting environmental health. Because pharmaceutical waste can adversely affect human health and create environmental risks when released directly or indirectly into receiving environments, it is of great importance that this issue be examined comprehensively. Proper pharmaceutical waste management without harming the environment largely depends on planned management and organization, as well as increasing education and awareness about the disposal of waste using methods that are compatible with the environment and legislation. This review article aims to present current information on methods used to dispose of expired or damaged medicines in a manner that does not harm the environment or human health (incineration, autoclaving, encapsulation, deep burial, etc.) and on the environmental risks of unsafe medicine disposal and appropriate disposal methods.

Keywords: Waste management, environmental pollution, pharmaceutical waste, pharmaceutical waste disposal.

Received : 24.02.2026

Accepted : 04.05.2026

Published: 17.07.2026

Citation:

Kılıç, N. (2026). İlaç Atık Sınıfı Bertaraf Uygulamaları ve Çevresel Açidan Güvenli Yönetimi, Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni, 17, 1897016.

GİRİŞ

Küresel nüfus artışı, insan ve veteriner ilaçlarına olan talebi ve tüketimi artırarak ilaç endüstrisinin hızla gelişmesine ve buna bağlı olarak ilaçların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin artmasına yol açmaktadır. (Wang ve Hu, 2014; Deshkar ve ark., 2018). İlaçlar, farmasötik madde veya tıbbi ürün olarak bilinen insan ve veteriner hekimliğinde yaygın ve kullanımı giderek artan tehlikeli bir çevre kirleticisi olarak nitelendirilir. Çevre için endişe kaynağı olan, ilacın çevredeki kalıcılığı ve biyolojik temel fonksiyonlar üzerindeki yüksek toksisite, üreme değişiklikleri de dahil olmak üzere kritik biyolojik etkiye sahip olmalarıdır (Fent ve ark., 2006). İlaçlar veya farmasötik olarak aktif bileşikler, insan veya hayvan organizmalarında istenilen biyolojik etkiler göstermektedir. Bilinen bu özelliklerinin yanında organizmada etkilerinin sonlanması sonucunda atılan metabolitlerin veya kullanılmayan ilaçların bilinçsiz şekilde atılmasıyla çevreye olan etkileri halen araştırılmaktadır (Kümmerer, 2009).

İlaç atıkları yalnızca sağlık kurumları tarafından değil, aynı zamanda ilaç üretim fabrikaları, hayvan hastaneleri ve veteriner klinikleri, hayvan çiftlikleri, eczaneler ve hastaların kişisel ilaçlarının kaynağı evler de dahil olmak üzere çeşitli kaynaklarda oluşan bir tür sağlık atığıdır (WHO, 2014). Bu atıklar, sağlık hizmeti veren kuruluşlarda, kullanılmamış veya son kullanma tarihi geçmiş ilaçlar, kullanımdan sonra arta kalan flakonlar, şırıngalar ve intravenöz (IV) preparatlar, kemoterapi ilaç kalıntıları içeren atık malzemeler ve kirlenmiş kişisel koruyucu ekipmanları, kullanılmayan ilaç kapları, hastaların kişisel ilaçları da dahil olmak üzere çok çeşitli faaliyetler sonucunda oluşabilir (Pratyusha ve ark., 2012). Potansiyel olarak riskli ve tehlikeli kirleticiler arasında yer alan ilaç atıklarının yanlış imhası ve bertarafı, ciddi halk sağlığı sorunlarına yol açabilmekte ve çevre üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. (Blenkharn, 2006). Bu kirleticiler kimyasal olarak zaman içerisinde değişim eğiliminde olmayan (kararlı) yapıları nedeniyle çevreye girerek hem ekosisteme hem de insan ve hayvan sağlığına zarar verebilirler. Bu durum çeşitli farmasötik bileşikler için, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen ve düşük maliyetli uzaklaştırma teknolojilerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir (Samal ve ark., 2022). Bu incelemedeki bilgiler, mevcut literatürlerin ScienceDirect, Google Scholar, PubMed ve Web of Science gibi bilimsel veri tabanlarından anahtar kelimelerle kapsamlı analizi yapılarak elde edilmiştir. İngilizce dilinde yazılmış ve tam metin erişimi sağlanan yayınlar dahil edilmiştir. Uluslararası sağlık kuruluşlarından kamuya açık raporlar da kullanılmıştır. Bu derleme makale, son kullanma tarihi geçmiş ya da ambalajı bozulmuş ilaçların çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde bertarafında kullanılan yöntemler ve güvenli olmayan ilaç imhasının çevresel riskleri ile uygun imha yöntemleri hakkında mevcut bilgileri sunmaktadır.

Çevresel İlaçların Ekolojik Riskleri

Süresi dolmuş veya artık ihtiyaç duyulmayan ilaçların doğrudan çevreye atılması, tuvalet veya lavabo üzerinden uygunsuz bertarafı ile ilaç etkin maddelerin vücuttan atılması (idrar/dışkılama ve banyo) sonucu atık su arıtma tesislerinden gelen atık su ve kanalizasyon çamuru gibi çeşitli yollarla çevreye ulaşır (Ruhoy ve Daughton, 2007; Sui ve ark., 2015; Ohoro ve ark., 2019). İlaçlar ve metabolitleri, aynı zamanda üretim, tüketim ve bertaraf sırasında; atıksu arıtma tesislerinden deşarj edilen sulara, çöplük alanlardan sızma, septik sistemler ve kanalizasyon hatları ile hayvan atıkları ve gübrelerin araziye uygulanması dahil olmak üzere birçok yoldan çevreye girebilir (Holm ve ark., 1995; Ternes, 1998; Boxall ve ark., 2004; Glassmeyer ve ark., 2005; Kümmerer, 2009; Tijani ve ark., 2013). Kanalizasyon sistemlerine karışan ilaç etken maddelerinin bir kısmını geleneksel arıtma tesislerinin etkili bir şekilde giderememesi nedeniyle, içme suyu temin sistemine ulaşmaktadır. Farmasötik maddelerin taşınma yolları ve çevresel dağılımı hakkında daha iyi bir anlayış elde etmek için, atık su arıtımından gelen atık sular, hayvan çiftliklerinin yakınındaki yeraltı ve yüzey suları gibi alanların sistematik olarak taranmasıyla yerel düzeyde çabaların artırılması önemlidir (Karthikeyan ve Meyer, 2006). Çevre ortamında oluşan ilaç atıklarının kirleticisi olarak kapsamını ve önemini değerlendirmek için, ilaçların birikme türleri, miktarları ve sıklıkları hakkında veri eksikliğinin giderilmesi elzem hale gelmiştir (Ruhoy ve Daughton, 2007).

Farmasötik bileşenlerin çevresel dağılımı ve dönüşümünü değerlendirmek için çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Su ortamlarında (Mezzelani ve ark., 2018; Xiang ve ark., 2021; Kayode-Afolayan ve ark., 2022; Ortúzar ve ark., 2022) tortularda (Löffler ve Ternes, 2003; Leite ve ark., 2025), toprak ve bitkilerde (Kodešová ve ark., 2016; Gworek ve ark., 2021) içme suyu (Furlong ve ark., 2017; Muambo ve ark., 2024) dahil olmak üzere ilaç varlıkları tespit edilmiştir. İlaç aktif maddeleri tüketimin fazla olması ve nihai deşarj nedeniyle, hayvan çiftliklerinden, arıtma tesislerinden, ilaç üretim tesisleri ve sağlık hizmeti veren kuruluşlardan gelen atık sulara, evsel atık sulara ve yüzey sularında tespit edilmişlerdir (Sim ve ark., 2011; Li ve ark., 2021). Örneğin; Kaliforniya'da kamu içme suyu temini için kullanılan arıtılmamış yeraltı sularındaki ilaç dağılımını sistematik olarak

değerlendirilen bir çalışmada, düşük konsantrasyonlarda çevrede kalıcılık potansiyeli gösteren farmasötik bileşikler ve metaboliti tespit edilmiştir (Fram ve Kenneth, 2011).

İçme suyunda, yeraltı suyunda, yüzey suyunda ve atık sularda sıklıkla, NSAID'ler, analjezik, antibiyotik, antiepileptik, hormon, beta bloker ilaçlar, antiseptik, oral kontraseptif, antihipertansif ve psikoterapötik gibi farklı ilaç sınıfları ile kişisel bakım ürünleri tespit edilmiştir (Daughton ve Brooks, 2011; Santos ve ark., 2013; Ohoro ve ark., 2019). Yapılan bir çalışmada, 1000'den fazla literatürün kapsamlı incelemesiyle çevresel ilaç konsantrasyonlarına ilişkin veriler bir araya getirilip küresel bir veri tabanına aktarılmış ve 71 ülkedeki yüzey içme ve yeraltı sularında 631 farklı ilaç ve dönüşüm ürünlerinin yaygın olarak bulunduğu vurgulanmıştır. Bu ilaçlar arasında ise en etkin antibiyotikler, östrojenler ve ağrı kesiciler sayılabilir (aus der Beek ve ark., 2016).

Antimikrobiyallerin kullanımı küresel olarak her geçen gün artmaktadır (Wise, 2002). Bu durum arıtma tesislerinin atık suları, yüzey suları, tortular, dolayısıyla çevrede giderek artan antibiyotik direnci oluşmasına öncülük etmiştir (Hanna ve ark., 2018; Omufere ve ark., 2022).

İnsan ve hayvan tedavisinde sıklıkla kullanılan antibiyotikler çoğunlukla organizmada belli bir kısmı değişmeden idrar ve dışkı yoluyla atılır (Polianciuc ve ark., 2020). Hayvancılıkta büyük miktarlarda antibiyotik kullanımı, kirlenmiş hayvan gübresinin arazilere gübre olarak uygulanması ve bu alanların atık suyla sulanması yoluyla yüzey ve yeraltı sularına ulaşarak tarımsal kaynaklı kirliliğe ve antibiyotik dirençli bakterilerin çoğalmasına neden olabilir (Du ve Liu, 2012; Van Boeckel ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2015; Serwecinska, 2020).

Antibiyotik direncine ilişkin; yeterli önlem alınmaması durumunda 2050 yılında dirençli bakterilerin neden olduğu enfeksiyonlar sonucu ciddi boyutları olan kitlesel ölümlere (yaklaşık 10 milyon insanın ölümüne) ve ekonomik kayba (100 trilyon ABD dolar) yol açabileceği tahmin edilmektedir (O'Neill, 2014).

Mişik ve ark. (2014) antikanser ilaçlarının genotoksik özelliklerini araştırdığı çalışmada, bu ilaçların oldukça toksik etkiye sahip olduğu ve düşük konsantrasyonlarda bile ekosistem üzerinde olası olumsuz etkilere yol açabileceğini ifade etmektedir. Aynı zamanda bu ilaçların hastane atık sularından gelişmiş atık su arıtma stratejileriyle etkili bir şekilde uzaklaştırılmasının önemini vurgulamaktadır.

Çevresel ilaçların olumsuz ekolojik etkileri ile insan ve hayvan sağlığına yönelik riskler konusunda çalışmalar dikkate alındığında; çevrede ilaçların varlığı, kanser, sinir sistemi hasarı, üreme bozuklukları ve bağışıklık sisteminin bozulması gibi insan ve hayvan sağlığını tehdit eden olumsuz etkilere neden olmuştur (Albero ve ark., 2015). Hindistan'da büyük ekolojik sonuçlara yol açan steroid olmayan antiinflatuvar (NSAID) ilaç diklofenak ile tedavi edilen çiftlik hayvanlarıyla beslenen Gyps cinsine ait akbaların, ilaca maruziyeti sonucu visceral gut klinik belirtileriyle böbrek yetmezliğinden ölmelerinin ardından akbaba popülasyonlarında ciddi düşüşler gözlemlenmiştir (Oaks ve ark., 2004). Hayvan deneyleri sonucu elde edilen kanıtlar, sentetik hormonlar ve bazı endokrin bozucu bileşiklerin insanlarda tümör oluşumuna katkıda bulunabileceğini göstermektedir (Birnbaum ve Fenton, 2003). Başka bir çalışmada tatlı sularda oral kontraseptiflerde aktif bileşen olan etinil estradiolün vahşi balık popülasyonlarında erkeklerde feminizasyona, dişilerde değişen oogeneze ile gonadal gelişim üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu gösterilmiştir. (Kidd ve ark., 2007). Üreme siklusunun östrojenik çevre kirleticileri tarafından bozulabileceğini gösteren başka bir çalışmada da etinil estradiole maruz bırakılan yetişkin kurbağalarda üreme organı gelişimi ve doğurganlığın önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir (Gyllenhammar ve ark., 2009).

İlaç Atık Sınıfı İçin Yaygın Bertaraf Yöntemleri

Süresi dolmuş veya ihtiyaç fazlası ilaçların uygunsuz imhası tüm dünyada katlanarak artan ciddi bir sorundur (Mohammed ve ark., 2021). Özellikle, düşük ve orta gelirli ülkelerde atıkların uygun şekilde bertarafı; finansal zorluklar ve altyapı imkanlarının yetersizliği nedeniyle sektöre uğramaktadır ve halk sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Harhay ve ark., 2009). Yerleşik bir ilaç atık yönetim programı bulunmayan çoğu gelişmekte olan ülkelerde ilaç atıkları normal kanalizasyon sistemi yoluyla bertaraf edilirken, gelişmiş ülkelerde ilaç atıkları en güvenli yöntem olarak kabul gören eczaneye teslim şeklinde başarıyla uygulanmaktadır (Bataduwaarachchi ve Weeraratne, 2016). İlaç atıklarının yol açtığı çevre problemi erken dönemde atık azaltma ile önlenir (Baroka, 2025). Sağlık hizmeti veren kuruluşlar ve ilaç şirketleri kendi bünyesinde, ilaç atıklarını diğer atıklardan ayırıştırma ve üretiminden itibaren kontrolünün sağlanması, depolama ve bertaraf prosedürleri de dahil olmak üzere, uygun ilaç

atık yönetimi uygulamalarını kapsayan politikalar oluşturulmalıdır (Ionescu ve Cazan, 2024). İlaç atıkları oldukça tehlikelidir. Diğer atıklardan farklı olarak uygun şekilde bertaraf edilmesi için belirli yöntemler kullanılmaktadır. İlaç atıklarının bertarafına ilişkin yönetmelikler ülkeden ülkeye, eyalete ve hatta belediyelere göre farklılık gösterebilir. Bu yönetmelikler, ilaç atıklarının güvenli bir şekilde bertarafının çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetiminin sağlanması amacıyla yürürlüğe konulmuştur (Ingale ve ark., 2023).

Yakma

Yakma, kullanılmayan atıkların yüksek sıcaklıkta kuru oksidasyon sürecine maruz bırakıldığı, böylece atık hacminin en aza indirildiği bir bertaraf yöntemidir. Patojen mikroorganizmaları etkisizleştirir. Bu avantajının yanı sıra bazı çevresel problemleri de beraberinde getirir. Örneğin, yakma işlemi esnasında havaya dioksin, furan vb. bazı kimyasal kirleticilerin salınması gibi. Yakma sonrası arta kalan külün bertarafı da ayrıca düşünülmelidir. Bu işlem, büyük hacimli katı küle dönüştürerek orijinal hacmin %20-30'unu azaltır. Bu bertaraf yöntemi yasal mevzuat çerçevesinde yalnızca diğer alternatif yöntemlerinin işlevselliği olmadığı durumlarda, tekrar kullanımı ve depolanması mümkün olmayan ilaç atıkları için uygun olabilir. Aynı zamanda yakma tesislerinde havaya salınan kirleticilerin uygun hava emisyon kontrollerinin mevcut olmasına özen göstermek gerekir (WHO, 2025; Singh ve Prakash, 2007; Manyele ve Lyasenga, 2010; Shinde ve ark., 2020). Mevcut kaynakların kısıtlı olduğu durumlarda ilaç atıklarının çimento fabrikalarında veya çelik yüksek ısı fırınlarında (1100°C'de) yakılarak farmasötik atıkların imha edilebilmesi bir alternatif olabilir (Ravinetto ve ark., 2025). Yakma işlemine karar vermeden önce, geri alma programları veya geri dönüşüm gibi diğer bertaraf yöntemlerinin daha uygun seçenekler olacağını da unutmamak gerekir (WHO, 2025).

Otoklavlama

Bu işlem, bulaşıcı atıklar üzerindeki hastalık yapıcı organizmaları yok etmek için yüksek sıcaklık ve buhar basıncına yeterli sürede maruz bırakılmasıdır. Otoklavlanmadan önce parçalama işlemiyle küçültülmesi gerekir. Yüksek sıcaklık ve buharın etkisiyle zararsız hale gelen atıkların kentsel atıklarla birlikte depolama alanında bertaraf edilir (Lee ve ark., 2004; Pratyusha ve ark., 2012; Rajbongshi ve ark., 2016).

Mikrodalga

Atık üzerindeki mikroorganizmalar elektromanyetik alan uygulanması sonucu yok edilir. Atığın önce nemlendirilmesi ve parçalanarak ufak boyutlara getirilmesi önemlidir. Büyük metal parçalar, anatomik atıklar, hayvan atıkları ve kimyasal veya farmasötik atıklar için uygun değildir (Hossain ve ark., 2011; Mukhtar ve ark., 2018; Rajat ve ark., 2021; Liu ve ark., 2022).

Kimyasal Dezenfeksiyon

Kimyasal dezenfeksiyon, fiziksel, kimyasal yöntemlerle canlı veya cansız ortamlardan bakteri sporları hariç hastalık yapıcı mikroorganizmaların yok edilmesi işlemidir. Bu yöntem, hasta enfekte vücut sıvıları veya sağlık tesisleri kanalizasyon sistemlerinin dezenfeksiyonu için uygundur. Klor bileşikleri, amonyum tuzları ve fenol bileşikleri bu amaçla kullanılır. Etkinliği; dezenfektanın türü, kullanılma amacı, konsantrasyonu ve dezenfeksiyon süresi gibi faktörlere bağlıdır (Babu, 2016; Kiranmayi ve ark., 2019; Wang ve ark., 2020).

Derin Gömme

Derin gömme, yaklaşık 2-2,5 metre derinliğinde, su baskını veya erozyon riski taşımayan, yüzeysel su kaynaklarını kirletme riski düşük olduğu alanlarda hendek veya çukurlar kazılıp, atığın buralara doldurulması üzerinin örtülmesi işlemidir. Hendek ya da çukur, atıkla yarıya kadar doldurulmalı ve ardından yüzeyden 50 cm içeride kireçle kaplanmalı, ardından üzeri toprakla doldurulmalıdır (Hossain ve ark., 2011; Chandrappa ve Das, 2012; Kiranmayi ve ark., 2019).

Güvenli Depolama

Güvenli depolama, tehlikeli atıkları almak üzere tasarlanmış çoğu ülkede atık bertarafı için yaygın bir uygulamadır ve atıkların bir depolama alanına gömülmesini içerir. İlaç atıklarının, sitotoksik ilaçların, katı kimyasal atıklar ile yakma sonucu oluşan

küllerin bertarafı için en uygun yöntemdir. Tüm tehlikesiz ilaç atıkları da dahil olmak üzere belediye katı atıklar için uygun bir bertaraf yöntemi olarak kabul edilir (WHO, 2025). Güvenli depolamanın yapılacağı alan güvenli ve yasal mevzuatla uyumlu olmalıdır. Çöp sahaları genellikle kullanılmayan taş ocaklarında, maden boşluklarında veya ariyet çukurlarında kurulmuştur. Depo yerinin zemini sağlam ve kil veya sentetik kaplama malzemesi ile geçirimsiz olmalıdır. Aynı zamanda depo alanında oluşan sızıntı suyunun uygun şekilde toplanması ve arıtılması önemlidir. Diğer önemli husus ise çöplerin sıkışması sonucu ortamda zamanla anaerobik ortam oluşması ve mikrobiyel aktivite sonucu metan, karbondioksit gibi çöplük gazı oluşmasıdır. Bu gazlar gaz toplama boruları ile atmosfere verilmiş olur ya da bir enerji ünitesine bağlanarak enerji elde edilir (Babu, 2016).

Atık İmmobilizasyonu: Kapsülleme

Kapsülleme, ilaçların kullanımdan önce temiz ve tehlikeli veya patlayıcı madde içermediği kontrol edilen plastik veya çelik bir varil içinde katı bir blokta sabitlenmesi yöntemidir. Variller, kapasitelerinin üçte birine kadar ilaç atıklarıyla doldurulur ve kalan boşluk çimento, çimento-kireç karışımı veya bitümlü kum ile doldurulur. İstenilen kıvam düzeyine erişinceye kadar önemli miktarda su gerekebilir. Variller kapatıldıktan sonra bir çöp sahasının zeminine yerleştirilir ve belediye katı atıklarıyla üzeri örtülür (WHO, 2025; Jaseem ve ark., 2017; Bhattacharyya ve Bhowmick, 2021; Karungamye ve ark., 2022).

Atık İmmobilizasyonu: İnertizasyon

Kapsülleme yönteminin alternatifi olarak görülen inertleşme, ambalajlarından çıkarılan ilaçların toz haline getirildikten sonra su, çimento ve kireçle bir karışım oluşturularak homojen bir macun haline getirildiği bir yöntemdir. Macun, beton mikseri aracılığı ile sıvı forma dönüştürülür. Sonra bertaraf yerinde belediye katı atıklarının üzerine dökülerek katı forma dönüşür. Bu şekilde belediye katı atıklarıyla bertarafı sağlanmış olur. Yakma sistem külleri ve yüksek metal konsantrasyonlu ilaçlar inertizasyona uygundur. Diğer bertaraf yöntemlerine göre özel ekipman gerektirmemesi ve ekonomik olması sebebiyle tercih edilebilir bir yöntemdir (WHO, 2025; Jaseem ve ark., 2017; Bhattacharyya ve Bhowmick, 2021; Karungamye ve ark., 2022).

İlaç Kaynaklı Riskleri En Aza İndirmeye Yönelik Öneriler ve Yönetim Stratejileri

Hastalar tarafından kullanılmayan ilaçların imha uygulamalarına ilişkin en yaygın olarak katı tablet ve kapsüller çöpe, sıvı ilaçlar ise tuvalet veya lavaboya atılmaktadır (Tong ve ark., 2010). Bir başka uygun olmayan imha yöntemi ise kullanılmayan ilaçların diğer evsel atıklarla birlikte yakılmasıdır (Kruopienė ve Dvarionienė, 2007). Birçok ülkede standart ilaç imha protokolleri bulunmaması, bazı eczanelerin kullanılmayan ilaçları reddetmesi hastaların ilaçların uygun şekilde imha edilmesi konusunda tereddüt yaşamalarına neden olmaktadır. Hastaların ilaçlarını imha etme konusunda rehber niteliğinde resmi devlet yönergelerinin bulunması, bireylerin kullanılmayan ilaçları uygun şekilde imha etme davranışları üzerinde son derece etkilidir (Tong ve ark., 2010).

Bireyler kullanılmayan ilaçları nasıl doğru şekilde imha edeceklerini bilemediklerinde ilaç ambalajının üzerindeki imha bilgisi yönlendirici olabilir. İnsan ve veteriner ilaçlarıyla ilişkili satın alma, kullanım ve imha davranışları hakkında bilgi sağlamayı hedefleyen 421 kişiye uygulanmış bir anket çalışmasında, katılımcıların %56'sı ilaç geri alma programından haberdar olduklarını bildirmişlerdir. En yaygın imha yönteminin geri alma programları (%22) olduğu rapor edilirken, bunu çöpe atma (%19) ve tuvalete atma (%9) takip etmiştir. Katılımcıların %26'sı ise kullanılmayan ilaçları sakladığını ifade etmiştir. Yazarlar uygun imha yöntemleri konusunda farkındalığı artırmak için geri alma programlarının yaygınlaşmasını ve ilaç ambalajında uygun imha bilgisinin zorunlu kılınmasını önermektedir (Vatovec ve ark., 2021).

Geri Alma Programları

Hanelerde artan veya süresi geçmiş ilaç atıklarının uygun olmayan şekilde bertaraf edilmesi, ciddi sağlık ve çevresel riskler oluşturmaktadır. Bireylere tedavileri için verilen tüm ilaçlar kullanılmamakta; büyük miktarlar kullanılmadan kalmakta veya son kullanma tarihi geçmektedir. Artmış veya kullanılmamış ilaçların biriktirilmesi, uygun olmayan ilaç paylaşımlarına, kazara zehirlenmelere, ilaçların kötüye kullanılması gibi halk sağlığı riskleri konusunda endişelere yol açmaktadır (Ayele ve Mamu, 2018). Bu nedenle evsel atık yönetiminde çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için, yetkili makamlar tarafından verimli atık ilaç geri alma programlarının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasını zorunlu hale getirmektedir (Bungau ve ark., 2018). Reçeteli ilaç geri alma programları, bireylerin kullanılmamış/süresi geçmiş ilaçların güvenli ve uygun imha edilmesini sağlayarak

reçeteli ilaçların kötüye kullanımını sınırlandırır (Yanovitzky, 2016). Güvenli imha yöntemleri konusunda kılavuzlar hazırlanmalı ve kamuoyunu bilinçlendirmeyi amaçlayan ulusal politikalar geliştirilmelidir. (Ayele ve Mamu, 2018; Khatri ve ark., 2025). İlaçların doğru şekilde imha edilmesi konusunda hastalarla doğrudan temas halinde olan eczacı veya klinisyen tarafından verilen hasta eğitimi, uygun olmayan imha uygulamalarının neden olduğu çevresel riskleri ve halk sağlığı sonuçlarını azaltmaya yardımcı olmanın önemli bir yoludur (Law ve ark., 2015).

Bireylerin artmış veya son kullanma tarihi geçmiş ilaçlarını, toplayıp bertaraf edebilecekleri en etkili imha yöntemi merkezi bir toplama noktasına ya da ulaşımın kolay olduğu yere getirmelerine olanak sağlayan Geri alma programları ile toplanmasıdır. Bu yöntem, ilaç atıklarının çevreye karışmasını ve halk sağlığına zarar vermesini önlemeye yardımcı olurken aynı zamanda ilaçların uygun şekilde atılmasını sağlayarak başkaları tarafından suiistimal edilme riskini de azaltır. Eczaneler, erişilebilirliğin kolay olması ve bireylere ilaç temininde yetkili kişi konumunda olması nedeniyle, hastalardan istenmeyen ilaçların toplanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Eczanelerin yanı sıra yerel yönetimler başta olmak üzere hastaneler, diğer sağlık kuruluşları bireylere geri-alma programlarını sunmaktadır (Kinrys ve ark., 2016; Kadam ve ark., 2016; Ingale ve ark., 2023). Gelişmiş ülkelerde geri alma programları mevcutken, gelişmekte olan ülkelerde sıklıkla ilaç atıklarının uygun şekilde yönetimine ilişkin yeterli yasal düzenlemeler ve uygun altyapı eksiktir (AlSalman ve ark., 2025).

İlaç toplama kampanyaları, eğitim faaliyetleri, tanıtımlar, ödüller ve teşvikler hanelerden kaynaklanan ilaç atıklarının güvenilir yöntemlerle bertarafı konusunda farkındalığı artırabilir (Kusturica ve ark., 2022). İlaç imha programları, ilaç toplama kampanyaları ve etkinlikleri başarıyla sonuçlanan çalışmalara örnek olarak; Bir şirketin çalışanlarının ilaç saklama, kullanma ve imha etme yaklaşımlarını değerlendirmeyi amaçladığı anket çalışmasında, farkındalık artırma etkinlikleri kapsamında, şirkette kullanılmayan ilaçlar için geri alma kutusunun uygulamaya konulmasıyla katılımcıların neredeyse yarısının (%46.5) gönüllülük esasına göre kullanılmayan/istenmeyen ilaçlarını şirketin ilaç kutusuna getirme eğilimini artırdığı gözlenmiştir. Kamusal düzeyde teorik bilgiyle desteklenen çeşitli programlar ve farkındalık artırma etkinlikleri ilaçların doğru şekilde imha edilmesine ilişkin olumlu davranışların benimsenmesine ve sürdürülmesine yardımcı olabilir (Akici ve ark., 2018). Kuzey Karolina'daki 91 ilçede (Fleming ve ark., 2016) ve Maine'deki 11 şehirde yürütülen reçeteli ilaç geri alma etkinlikleri başarılı olmuştur (Stewart ve ark., 2015).

Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) ülkelerinde ilaç atıklarının geri kazanılması ve yönetilmesi amacıyla toplama yolları, geri alma sistemleri, finansman, yönetim programları açısından farklılık göstermekle birlikte eczanelerdeki yerinde toplama kapları en yaygın toplama sistemi olarak kullanım alanı bulmaktadır. ABD gibi bazı ülkelerde de bir günlük ilaç toplama etkinlikleri düzenlenmekte ya da posta yoluyla geri gönderme zarfları da bu amaçla adreslere gönderilmektedir. Bazı programlar sadece devlet fonları tarafından desteklenirken, bazıları ilaç şirketleri ya da gönüllü olarak eczaneler tarafından karşılanabileceği gibi genişletilmiş üretici sorumluluğu (EPR) mevzuatı tarafından yönlendirilen katkılarla finanse edilebilmektedir (OECD, 2022).

Bağışçıya veya Üreticiye İade

Muhtemel koşullarda, süresi geçen veya kullanılmamış ilaçların (örneğin, antineoplastikler gibi imha sorunu yaratan ilaçlar) güvenli bir şekilde imha edilmesi için üreticiye iade edilmesi seçeneği araştırılmalıdır. İstenmeyen, talep edilmeyen, özellikle de son kullanma tarihi geçmiş veya geçmesine yakın olan bağışların, imha edilmesi suretiyle bağışçıya iade edilmesi sağlanabilir (WHO, 2014).

Yeşil Kimya ve Sürdürülebilir İlaç Tasarımı

İlaç üretiminin çevre ve halk sağlığı açısından sorun teşkil etmesine ilişkin artan endişe ve farkındalık yeşil kimya kavramını gündeme getirmiştir. Yeşil kimya; kimyasal ürünlerin tasarımında, üretiminde ve uygulamasında bunun çevre üzerindeki etkisinin önceden planlaması yapılarak tehlikeli maddelerin kullanımının azaltılması ya da ortadan kaldırılması ilkelerini kapsar. Yeşil kimya ilkeleri, ilaçların güvenliğini, kalitesini veya etkinliğini koruyarak daha güvenli ve sürdürülebilir kimyasal süreçleri tasarlamayı amaçlar (Anastas ve Kirchhoff, 2002). Bu alanda önemli gelişmeler kaydedilmiş olsa da, ilaç endüstrisi açısından ölçeklendirme, geleneksel üretim yöntemlerinden sürdürülebilir üretim sürecine geçişe direnç, düzenleyici engeller ve üretim maliyetlerinin yüksek olması gibi nedenlerle geniş ölçüde zorluklarla karşı karşıyadır (Yadav ve ark., 2025). Ulusal ve uluslararası düzenleyici kurumlar, ilaç sentezinde yeşil kimyanın benimsenmesinde çok önemli role sahiptir ve açık, tutarlı yönergeler, mali teşvikler, standartlar aracılığıyla yeşil kimyanın mevcut üretime entegrasyonunu desteklemelidir (Ojukwu ve

ark., 2025). İlaç uygulamalarını yeşil kimya ilkeleriyle uyumlu hale getirerek, endüstriyel ölçekli farmasötik sentez için daha az toksik ve reaktif madde ile en az kirlilik oluşturan çevre dostu özelliklere sahip ilaçların tasarlanmasına özel odaklanmak gereklidir (Ahmad ve ark., 2024).

İlaç Geri Dönüşümü ve Yeniden Kullanım Programları

Kullanılmayan ilaçların geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanım programları ile, atık azaltma ve ekonomik yararın yanı sıra önemli ölçüde bertaraf/yakma işlemlerinden kaynaklanan olumsuz çevresel etkileri de en aza indirmenin bir yolu olabilir (Drummond ve ark., 2023). Uygulanabilirliği açısından toplanan/iade edilen ilaçların saklama koşulları (ısı ve nem gibi), fiziksel özellik (mühürlü, açılmamış ve kurcalanmaya karşı korumalı ambalajında olması gibi) ile ilgili kriterlerin dikkatle kontrolünün yapılarak kalite ve güvenliğinin güvence altına alınması elzemdir (Alhamad ve ark., 2020). Bununla birlikte iade edilen ilaçların yeniden kullanıma uygun olup olmadığı güvenlik ve sorumluluk açısından endişeleri de beraberinde getiren karmaşık bir konudur. Kullanılabilir durumda olan ilaçların yeniden kullanılması, bireylerin evlerindeki bilinmeyen saklama koşulları ile ilgili kalite endişeleri ve yasal kısıtlamalar nedeniyle yaygın olarak uygulanmamaktadır (Rogowska ve Zimmermann, 2022).

Evde Çevreye Duyarlı İlaç İmha Önerileri

ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA), süresi geçmiş, kullanılmayan ilaçları en güvenli imha etme yönteminin ilaç geri alma programları olduğunu vurgulamaktadır. Eğer ilaç etiketinde imha talimatı yoksa ya da ilaç geri alma seçeneği söz konusu değilse, evde ilaçları imha etme yöntemlerini ise; katı ilaçların, orijinal ambalajlarından çıkarıldıktan sonra ilacı tanınmaz hale getirmek için kedi kumu veya kahve telvesi gibi kamufle edici maddelerle karıştırılarak sızdırmaz bir poşet veya kap içerisine konulup ağzı sıkıca kapatılıp çöpe atılarak imha edilmesini önermektedir. Böylelikle çöpleri karıştıran kişilerin, çocukların eline geçmesinin ve sokak hayvanlarının maruz kalmasının önüne geçilmiş olur. Sıvı ilaçları kamufle etmek için ise, karışıma hoş olmayan bir koku ve doku kazandırmak için tuz, un, kömür gibi toz maddelerle karıştırılmalıdır. Blister ambalajlardaki ilaçlar veya ilaç şişesinin kapağı birkaç kat paketleme bandı ile sarılmalı, ardından opak bir kabın içine konulup ağzı sıkıca kapatılıp çöpe atılarak imha edilmelidir (Kadam ve ark., 2016; Khan ve ark., 2017).

Sonuç

İlaç atık yönetiminin çevreye zarar vermeden uygun şekilde yürütülebilmesi; planlı yönetim ve organizasyonun yanı sıra atıkların çevre ve mevzuatla uyumlu sürdürülebilir yöntemlerle toplanması ve bertarafı ile mümkündür. Ancak Türkiye’de evsel kaynaklı ilaç atıklarının yönetimine yönelik uygulamaların sınırlı olduğu, çoğunlukla bu atıkların belediye katı atık sistemine karıştığı veya uygun olmayan yöntemlerle uzaklaştırıldığı bilinmektedir. Buna karşılık birçok Avrupa ülkesinde yaygın olarak uygulanan eczane temelli atık ilaç geri toplama programları, çevresel risklerin azaltılmasında etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle ilaç imha davranışlarının teşvik edilmesinde eczacıların, hekimlerin ve veteriner hekimlerin aktif rol alması; toplumsal farkındalığın artırılması, ulusal ölçekte geri alma programlarının yaygınlaştırılması ve ilaç ambalajlarında uygun imha prosedürlerinin açık ve anlaşılır şekilde yer alması büyük önem taşımaktadır.

Referans

- Ahmad S, Jaiswal R, Yadav R. & Verma S. (2024). Recent advances in green chemistry approaches for pharmaceutical synthesis. *Sustainable Chemistry One World*, 4(9), 100029.
- Akici A, Aydın V & Kiroglu A. (2018). Assessment of the association between drug disposal practices and drug use and storage behaviors. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 26(1), 7-13.
- Albero B, Sánchez-Brunete C, García-Valcárcel AI, Pérez RA & Tadeo JL. (2015). Ultrasound-assisted extraction of emerging contaminants from environmental samples, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 71, 110-118.
- Alhamad H, Patel N. & Donyai P. (2020). Towards Medicines Reuse: A Narrative Review of the Different Therapeutic Classes and Dosage Forms of Medication Waste in Different Countries. *Pharmacy (Basel)*, 8(4), 230.
- AlSalman AH, AlKhamis AA, Binsaleh EM, Gadeemi AA, AlJuhar AA et al. (2025). Literature Review: Pharmaceutical Waste Disposal Practices: Global Trends and Environmental Impact. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, 23(3), 128-130.

- Anastas P T & Kirchhoff MM. (2002). Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry. *Accounts of Chemical Research*, 35(9), 686-694.
- aus der Beek T, Weber FA, Bergmann A, Hickmann S, Ebert I et al. (2016). Pharmaceuticals in the environment--Global occurrences and perspectives. *Environmental Toxicology Chemistry*, 35(4), 823-35.
- Ayele Y & Mamu M. (2018). Assessment of knowledge, attitude and practice towards disposal of unused and expired pharmaceuticals among community in Harar city, Eastern Ethiopia. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, 11(1), 27.
- Babu MA. (2016). A short review on pharmaceutical waste disposal and management. *Journal of Pharmaceutics and Nanotechnology*, 4(2), 1-7.
- Baroka IU. (2025). Pharmaceutical waste management: sources, environmental Impacts, and sustainable solutions. *Pharmacy Reports*, 5(1), 95.
- Bataduwaarachchi VR. & Weeraratne CL. (2016). Global medication waste management practices: challenges and opportunities in developing countries. *International Journal of Basic & Clinical Pharmacology*, 5(6), 2290-2294.
- Bhattacharyya S & Bhowmick A. (2021). Pharmaceutical Waste Management - A Study. *Acta Scientific Pharmaceutical Sciences*, 5(12), 63-68.
- Blenkharn JI. (2006). Medical wastes management in the south of Brazil. *Waste Management*, 26(3), 315-317.
- Birnbaum LS & Fenton SE. (2003). Cancer and developmental exposure to endocrine disruptors. *Environmental Health Perspectives*, 111(4), 389-94.
- Boxall AB, Fogg LA, Blackwell PA, Kay P, Pemberton EJ et al. (2004). Veterinary medicines in the environment. *Reviews of Environmental Contamination Toxicology*, 180, 1-91.
- Bungau S, Tit DM, Fodor K, Cioca G, Agop M et al. (2018). Aspects Regarding the Pharmaceutical Waste Management in Romania. *Sustainability*, 10(8), 2788.
- Chandrappa R & Das DB. (2012). Chapter 6: Biomedical Waste. In: *Solid Waste Management*, Springer, Berlin, Heidelberg, 147-175.
- Daughton CG & Brooks BW. (2011). Active Pharmaceutical Ingredients in Aquatic Organisms. In: Beyer, W.N. and Meador, J.P., Eds., *Environmental Contaminants in Biota: Interpreting Tissue Concentrations*, Chapter 8, 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton, 286-347.
- Deshkar AT, Gawali UP & Shirure PA. (2018). Environmental pharmacology: an emerging science. *International Journal of Basic & Clinical Pharmacology*, 7 (3), 359-362.
- Drummond I, Bains R, Dosanjh A, Ladhar S, Tang L et al. (2023) Recycling unused medications in hospitals is financially viable and good for the environment. *International Journal of Pharmacy Practice*, 31(5), 562-564.
- Du L & Liu W. (2012). Occurrence, fate, and ecotoxicity of antibiotics in agro-ecosystems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), 309-327.
- Fleming E, Proescholdbell S, Sachdeva N, Alexandridis AA, Margolis L et al. (2016). North Carolina's Operation Medicine Drop: Results From One of the Nation's Largest Drug Disposal Programs. *NC Med J.*, 77(1), 59-62.
- Fram MS & Kenneth B. (2011). Occurrence and concentrations of pharmaceutical compounds in groundwater used for public drinking-water supply in California. *Science of the Total Environment*, 409 (18), 3409-17.
- Fent K, Weston AA & Caminada D. (2006). Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquatic Toxicology*, 76(2), 122-59.
- Furlong ET, Batt AL, Glassmeyer ST, Noriega MC, Kolpin DW et al. (2017). Nationwide reconnaissance of contaminants of emerging concern in source and treated drinking waters of the United States: Pharmaceuticals. *Science of the Total Environment*, 579, 1629-1642.
- Glassmeyer ST, Furlong ET, Kolpin DW, Cahill JD, Werner SL et al. (2005). Transport of chemical and microbial contaminants from known wastewater discharges: Potential for use as indicators of human fecal contamination. *Environmental Science and Technology*, 39(14), 5157-5169.
- Gworek B, Kijeńska M, Wrzosek J & Graniewska M. (2021). Pharmaceuticals in the Soil and Plant Environment: a Review. *Water Air Soil Pollution*, 232 (4), 145.
- Gyllenhammar I, Holm L, Eklund R & Berg C. (2009). Reproductive toxicity in *Xenopus tropicalis* after developmental exposure to environmental concentrations of ethynylestradiol. *Aquatic Toxicology*, 91(2), 171-178.
- Hanna N, Sun P, Sun Q, Li X, Yang X et al. (2018). Presence of antibiotic residues in various environmental compartments of Shandong province in eastern China: Its potential for resistance development and ecological and human risk. *Environment International*, 114, 131-142.
- Harhay MO, Halpern SD, Harhay JS & Oliaro PL. (2009). Health care waste management: a neglected and growing public health problem worldwide. *Tropical Medicine & International Health*, 14(11), 1414-7.
- Holm JV, Ruegge K, Bjerg PL & Christensen TH. (1995). Occurrence and distribution of pharmaceutical organic compounds in the ground water downgradient of a landfill (Grinsted, Denmark). *Environ. Sci. Technol.*, 29(5), 1415-1420.
- Hossain MS, Santhanam A, Norulaini NA & Omar AKM. (2011). Review on: Clinical solid waste management practices and its impact on human health and environment. *Waste Management*, 31(4), 754-766.

- Ingale MH, Tayade MC, Patil YP, & Salunkhe RH. (2023). Pharmaceutical waste disposal current practices and regulations: review. *IJPQA International Journal of Pharmaceutical Quality Assurance*, 14(3), 821-824.
- Ionescu A-M & Cazan C. (2024). Pharmaceutical Waste Management: A Comprehensive Analysis of Romanian Practices and Perspectives. *Sustainability*, 16(15), 6571.
- Jaseem M, Kumar P & John RM. (2017). An overview of waste management in pharmaceutical industry, *The Pharma Innovation Journal*, 6(3), 158-161.
- Kadam A, Patil S, Patil S & Tumkur A. (2016). Pharmaceutical waste management an overview. *Indian Journal of Pharmacy Practice*, 9(1), 2-8.
- Karthikeyan KG & Meyer MT. (2006). Occurrence of antibiotics in wastewater treatment facilities in Wisconsin, USA. *Sci. Total Environ.*, 361(1-3), 196-207.
- Karungamye P, Rugaika A, Mtei K, & Machunda R. (2022). The pharmaceutical disposal practices and environmental contamination: A review in East African countries. *HydroResearch*, 5(5), 99-107.
- Kayode-Afolayan SD, Ahuekwe EF, & Nwinyi OC. (2022). Impacts of pharmaceutical effluents on aquatic ecosystems. *Scientific African*, 17, e01288.
- Khan U, Bloom RA, Nicell JA & Laurenson JP. (2017). Risks associated with the environmental release of pharmaceuticals on the U.S. Food and Drug Administration "flush list". *The Science of the Total Environment*, 609, 1023-1040.
- Khatri J, Shakya R, Shrestha R & Shrestha S. (2025). Disposal of unused and expired medications: A study of knowledge, attitudes, and practices among community pharmacy visitors. *SAGE Open Medicine*, 13, 20503121251375355.
- Kidd KA, Blanchfield PJ, Mills KH, Palace VP, Evans RE et al. (2007). Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104 (21), 8897-901.
- Kinrys G, Gold AK & Nierenberg AA. (2016). Proper drug disposal: studying a solution to household prescription and over-the-counter drug abuse. *Journal Drug Abuse*, 2(2), 1-7.
- Kiranmayi B, Arvapalli S, Sharma JVC. & Sushma V. (2019). Pharmaceutical Waste Management- A Review. *Journal of Pharma Research*, 8(10), 669-675.
- Kodešová R, Kočárek M, Klement A, Golovko O, Koba O et al. (2016). An analysis of the dissipation of pharmaceuticals under thirteen different soil conditions. *Science of the Total Environment*, 544, 369-381.
- Kusturica MP, Jevtic M & Ristovski JT. (2022). Minimizing the environmental impact of unused pharmaceuticals: Review focused on prevention. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 10777974.
- Kruopienė J & Dvarionienė J. (2007). Pharmaceutical pathways to the environment in Lithuania. *Environmental research, engineering and management*, 41(3), 33-39.
- Kümmerer K. (2009). The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use—Present knowledge and future challenges. *J. Environ. Manag.*, 90(8), 2354-2366.
- Law AV, Sakharkar P, Zargarzadeh A, Tai BW, Hess K et al. (2015). Taking stock of medication wastage: Unused medications in US households. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 11(4), 571-8.
- Lee BK, Ellenbecker MJ & Moure-Ersaso R. (2004). Alternatives for treatment and disposal cost reduction of regulated medical waste. *Waste Management*, 24(2), 143-151.
- Leite M, Freitas A, Cenáculo D, Bessa F, Pardal MA et al. (2025). Pharmaceuticals in coastal sediments: validation of a Ultra-High-Performance Liquid Chromatography coupled with Time-of-Flight Mass Spectrometry (UHPLC-TOF-MS) methodology. *Environmental Pollution*, 380, 126571.
- Li D, Chen H, Liu H, Schlenk D, Mu J et al. (2021). Anticancer drugs in the aquatic ecosystem: Environmental occurrence, ecotoxicological effect and risk assessment. *Environment International*, 153(15), 106543.
- Liu J, Li H, Liu Z, Meng X, He Y et al. (2022). Study on the process of medical waste disinfection by microwave technology. *Waste Management*, 150(23), 13-19.
- Löffler D, & Ternes TA. (2003). Determination of acidic pharmaceuticals, antibiotics and ivermectin in river sediment using liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Journal of chromatography A*, 1021(1-2), 133-144.
- Manyele SV & Lyasenga TJ. (2010). Factors affecting medical waste management in lowlevel health facilities in Tanzania. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4 (5), 304-318.
- Mezzelani M, Gorbi S. & Regoli F. (2018). Pharmaceuticals in the aquatic environments: evidence of emerged threat and future challenges for marine organisms. *Marine environmental research*, 140, 41-60.
- Mišík M, Pichler C, Rainer B, Filipic M, Nersesyan A et al. (2014). Acute toxic and genotoxic activities of widely used cytostatic drugs in higher plants: Possible impact on the environment. *Environmental Research*, 135, 196-203.
- Mohammed SA, Kahissay MH & Hailu AD. (2021). Pharmaceuticals wastage and pharmaceuticals waste management in public health facilities of Dessie town, North East Ethiopia. *PLoS One*, 16(10), e0259160.
- Muambo KE, Kim MG, Kim DH, Park S & Oh JE. (2024). Pharmaceuticals in raw and treated water from drinking water treatment plants nationwide: Insights into their sources and exposure risk assessment. *Water Research X*, 24 (2), 100256.
- Mukhtar S, Khan H, Kiani Z, Nawaz S, Zulfiqar S et al. (2018). Hospital waste management: execution in Pakistan and environmental concerns-a review. *Environmental Contaminants Reviews (ECR)*, 1(1), 13-7.

- Oaks JL, Gilbert M, Virani MZ, Watson RT, Meteyer CU et al. (2004). Diclofenac residues as the cause of vulture population decline in Pakistan. *Nature*, 427(6975), 630-3.
- Ohoro CR, Adeniji AO, Okoh AI & Okoh OO. (2019). Distribution and chemical analysis of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the environmental systems: a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (17), 3026.
- Ojukwu UC, Arthur C, Jonathan W, Ehigiegba OJ, Yussuf MD et al. (2025). Green Chemistry in Pharmaceutical Synthesis: Implications for Sustainable Public Health. *European Journal of Scientific Research and Reviews*, 3 (1), 1-18.
- Omuferen LO, Maseko B & Olowoyo JO. (2022). Occurrence of antibiotics in wastewater from hospital and convectional wastewater treatment plants and their impact on the effluent receiving rivers: current knowledge between 2010 and 2019. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(4), 306.
- O'Neill J. (2014). Antimicrobial resistance: tackling a crisis for the health and wealth of nations. The review on antimicrobial resistance, 20, 1-16.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2022). Management of pharmaceutical household waste: Limiting environmental impacts of unused or expired medicine. Paris, France: OECD Publishing. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1787/3854026c-en>. Erişim tarihi: 10.12.2025.
- Ortúzar M, Esterhuizen M, Olicón-Hernández DR, González-López J, & Aranda E. (2022). Pharmaceutical Pollution in Aquatic Environments: A Concise Review of Environmental Impacts and Bioremediation Systems. *Frontiers in Microbiology*, 13, 869332.
- Pratyusha K, Gaikwad NM, Phatakk AA & Chaudhari PD. (2012). Review on: Waste Material Management in Pharmaceutical Industry. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 16(2), 121-129.
- Polianciuc SI, Gurzau AE, Kiss B, Stefan MG & Loghin F. (2020). Antibiotics in the environment: Causes and consequences. *Medicine and Pharmacy Reports.*, 93(3), 231-240.
- Rajat Ankalgı AD, Chaudhary S & Ashawat MS. (2022). Challenges and Current Perspectives of Medical Pharmaceutical Waste Management. *Ymer digital*, 21(8), 897-919.
- Rajbongshi S, Shah YD & Sajib AU. (2016). Pharmaceutical waste management: a review. *European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*, 3(12), 192-206.
- Ravinetto R, Lates J, Jonkman L, Nangombe V, Hauner A et al. (2025). Inadequate last-mile pharmaceutical waste management is a neglected threat to environmental and public health: A call to action. *BMJ global health*, 10(7), e019544.
- Rogowska J & Zimmermann A. (2022). Household Pharmaceutical Waste Disposal as a Global Problem-A Review. *Int J Environ Res Public Health*, 19(23), 15798.
- Ruhoy IS & Daughton CG. (2007). Types and quantities of leftover drugs entering the environment via disposal to sewage—Revealed by coroner records. *Sci. Total Environ.*, 388 (1-3), 137-48.
- Samal K, Mahapatra S & Ali Md H. (2022). Pharmaceutical wastewater as Emerging Contaminants (EC): Treatment technologies, impact on environment and human health. *Energy Nexus*, 6(1), 100076.
- Santos HMLM, Gros M, Rodriguez-Mozaz S, Delerue-Matos C, Pena A et al. (2013). Contribution of hospital effluents to the load of pharmaceuticals in urban wastewaters: Identification of ecologically relevant pharmaceuticals. *Science of the Total Environment*, 461-462, 302-316.
- Serwecińska L. (2020). Antimicrobials and Antibiotic-Resistant Bacteria: A Risk to the Environment and to Public Health. *Water*, 12 (12), 3313.
- Shinde AR, Patil AP, Patil TM, Vakhariya Mr RR & Magdum Dr CS. (2020). Pharmaceutical waste management: significant for health of nature and future. *International journal*, 65(2), 68-74.
- Stewart H, Malinowski A, Ochs L, Jaramillo J, McCall K et al. (2015). Inside Maine's Medicine Cabinet: Findings From the Drug Enforcement Administration's Medication Take-Back Events. *American Journal of Public Health*, 105(1), e65-e71.
- Sim WJ, Lee JW, Lee ES, Shin SK, Hwang SR et al. (2011). Occurrence and distribution of pharmaceuticals in wastewater from households, livestock farms, hospitals, and pharmaceutical manufacturers. *Chemosphere*, 82(2), 179-86.
- Singh S, Prakash V. (2007). Toxic environmental releases from medical waste incineration: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 132 (1-3), 67-81.
- Sui Q, Cao X, Lu S, Zhao W, Qiu Z et al. (2015). Occurrence, sources and fate of pharmaceuticals and personal care products in the groundwater: A review. *Emerging Contaminants*, 1(1), 14-24.
- Ternes TA. (1998). Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water Research*, 32(11), 3245-3260.
- Tijani JO, Fatoba OO & Petrik LF. (2013). A review of pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds: Sources, effects, removal, and detections. *Water Air Soil Pollut.*, 224 (1770), 1-29.
- Tong AY, Peake BM & Braund R. (2011). Disposal practices for unused medications around the world. *Environment International*, 37(1), 292-8.
- Van Boeckel TP, Brower C, Gilbert M, Grenfell BT, Levin SA et al. (2015). Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences U S A*, 112 (18), 5649-5654.

- Vatovec C, Kolodinsky J, Callas P, Hart C & Gallagher K. (2021). Pharmaceutical pollution sources and solutions: Survey of human and veterinary medication purchasing, use, and disposal. *Journal of Environmental Management*, 285(3), 112106.
- Wang J & HuX. (2014). Ecopharmacovigilance: Currentstate, challenges and opportunities in China. *Indian Journal Pharmacology*, 46(1),13-7.
- Wang J, Shen J, Ye D, Yan X, Zhang Y et al. (2020). Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: suggestions for disinfection strategy during coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic in China. *Environmental. Pollution*, 262,114665.
- Wise R. (2002). Antimicrobial resistance: Priorities of action. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 49(4), 585-6.
- World Health Organization (WHO) (2014). Safe management of wastes from health-care activities, second edition. Erişim adresi: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241548564>. Erişim tarihi: 22.12.2025.
- World Health Organization (WHO) (2025). Safe management of pharmaceutical waste from health care facilities: global best practices. Erişim adresi: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240106710>. Erişim tarihi: 22.12.2025.
- Xiang Y, Wu H, Li L, Ren M, Qie H et al. (2021). A review of distribution and risk of pharmaceuticals and personal care products in the aquatic environment in China. *Ecotoxicol Environ Saf.*, 213,112044.
- Yadav SK, Kumar R & Kumar B. (2025). Green synthesis strategies in pharmaceutical industries for sustainable growth. *International Journal of Chemical Studies*, 13(5), 56-63.
- Yanovitzky I. (2016). The American Medicine Chest Challenge: Evaluation of a Drug Take-Back and Disposal Campaign. *Journal of Studies on Alcohol and Drugs*,77(4), 549-55.
- Zhang QQ, Ying GG, Pan CG, Liu YS & Zhao JL. (2015). Comprehensive evaluation of antibiotics emission and fate in the River Basins of China: source analysis, multimedia modeling, and linkage to bacterial resistance. *Environmental Science and Technology*, 49(11), 6772-6782.