T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE PESTİSİTLERİN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ VE ÇEVRESEL RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hazırlayan
Hatice DUMAN

Danışman
Prof. Dr. Nuray ATEŞ

Yüksek Lisans Tezi

Haziran 2025
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE PESTİSİTLERİN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ VE ÇEVRESEL RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Hatice DUMAN

Danışman
Prof. Dr. Nuray ATEŞ

Haziran 2025
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Hatice DUMAN

İmza

“Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Pestisitlerin Önceliklendirilmesi ve Çevresel Risklerin Değerlendirilmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan	**Danışman**
Hatice DUMAN	Prof. Dr. Nuray ATEŞ
İmza	İmza

Çevre Mühendisliği ABD Başkanı

Prof.Dr. Oktay ÖZKAN

İmza

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince bana her türlü desteği ve motivasyonu sağlayan, kıymetli zamanını ayıran değerli hocam ve danışmanım Prof. Dr. Nuray ATEŞ'e saygı ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez savunmamda bulunan, görüş ve yapıcı yorumları ile çalışmama değerli katkılar sağlayan jüri üyeleri Prof. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK ve Prof. Dr. Gökhan CİVELEKOĞLU'na teşekkür ederim.

Son olarak bu süre boyunca, destekleriyle yanımda olan canım aileme, sevgili eşim Sezer DUMAN'a ve güzel kızım Deniz Ece DUMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hatice DUMAN

Haziran 2025, KAYSERİ

KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE PESTİSİTLERİN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ VE ÇEVRESEL RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hatice DUMAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2025
Danışman: Prof. Dr. Nuray ATEŞ

ÖZET

Zararlıları yok etmek için kullanılan pestisitler hedef alanından uzaklaşıp taşınmaktadır. Taşınan bu pestisitler aynı zamanda atıksu arıtma tesislerine gelmektedir. Bu çalışmada, Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi'nde ölçülmüş olan 19 pestisit türü için çevresel risk değerlendirmesi yapılmıştır. Pestisitlerin atıksudaki konsantrasyonları, giderim verimleri, oktanol su dağılım katsayısı ve tatlı su ekosisteminde olumsuz bir etkinin oluşmayacağı kirletici konsantrasyonu kullanılarak önceliklendirme puanı elde edilmiştir. Ayrıca, seyrelme hesabı ile alıcı ortamdaki konsantrasyonlar Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre değerlendirilmiştir. Her bir pestisitin arıtılmış atıksu konsantrasyonunun, en düşük $PNEC_{fw}$ değeri oranına göre risk katsayısı metodu ile çevresel riski değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, önceliklendirme yönteminde pestisitler 14-18 arasında sonuç almış olup en yüksek puanı 4,4 DDT almıştır. Yüksek konsantrasyon, düşük giderim verimi, yüksek biyobirikim potansiyeli ile düşük toksisite konsantrasyonları sebebiyle pestisitlerin nihai puanlamaları yüksek çıkmıştır. Alıcı ortamda seyrelme hesabı ile yapılan değerlendirmeye göre aldrin ve heptaklor Çevresel Kalite Standardını aşmıştır. Maksimum risk katsayılarına göre, >100 risk katsayısı ile alfa endosülfan, beta endosülfan, heptaklor, 4,4 DDE, 2,4 DDT, heptaklor-ekzo-epoksit ve paration-etil için çok yüksek çevresel risk belirlenmiştir. 10-100 arası risk katsayısı ile aldrin, 4,4 DDD 2,4 DDE, heptaklor-endo-epoksit için yüksek risk, 1-10 arası risk katsayısı ile hekzaklorobenzen, 2,4 DDD, 4,4 DDT, disülfoton, paration-metil için orta risk, diğer pestisitler için ise düşük risk belirlenmiştir. Çevresel riski yüksek olan pestisitlerin atıksu arıtma tesisindeki varlığı ve alıcı ortamdaki durumu özel olarak incelenmelidir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, Pestisit, Önceliklendirme, Çevresel Risk Değerlendirmesi

PRIORITISATION OF PESTICIDES AND ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL RISKS IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Hatice DUMAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, June 2025
Supervisor: Prof. Dr. Nuray ATEŞ

ABSTRACT

Pesticides used to eliminate pests are carried away the target area. These pesticides also end up in wastewater treatment plants. In this study, environmental risk assessment was carried out for 19 pesticides in Kayseri Wastewater Treatment Plant. Concentrations of pesticides in the wastewater, removal efficiency, Log K_{ow} and $PNEC_{fw}$ values were used to obtain a prioritization score. In addition, concentrations in the receiving environment were evaluated according to the Regulation on Surface Water Quality using dilution calculation. The environmental risk was evaluated by the risk quotient (RQ), method according to the ratio of the concentration found in the treated wastewater to the lowest $PNEC_{fw}$ value. As a result, pesticides scored between 14-18 in the prioritization method and 4,4 DDT receiving the highest score. The final scores were high due to high concentration, low removal efficiency, high bioaccumulation potential and low toxicity concentrations. According to the dilution calculation in the receiving environment, aldrin and heptachlor exceeded the EQS. According to maximum risk quotient, very high environmental risk was determined for alpha-endosulfan, beta-endosulfan, heptachlor, 4,4 DDE, 2,4 DDT, heptachlor-exo-epoxide and paration-ethyl with a RQ>100. High risk was determined for aldrin, 4,4 DDD, 2,4 DDE, heptachlor-endo-epoxide with RQ between 10-100, medium risk for hexachlorobenzene, 2,4 DDD, 4,4 DDT, disulfoton, paration-methyl with RQ between 1-10, and low risk for other pesticides. The presence of pesticides with high environmental risk in the wastewater treatment plant and their status in the receiving environment should be specifically examined.

Keywords: Wastewater, Pesticides, Prioritization, Environmental Risk Assessment

İÇİNDEKİLER

KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE PESTİSİTLERİN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ VE ÇEVRESEL RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK iii
KABUL VE ONAY iv
TEŞEKKÜR v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER viii
KISALTMALAR x
TABLOLAR LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xii
GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Pestisitlerin Oluşumu ve Sınıflandırılması 3
1.2. Pestisitlerin Kullanımı 5
1.3. Pestisitlerin Oluşturduğu Riskler 5
1.3.1. Çevresel ve Ekolojik Riskler 6
1.3.2. Sağlık Riskleri 8
1.4. Pestisitlerin Atıksu Arıtma Tesislerindeki Durumu 9
1.5. Kirleticilerin Çevresel Kalite Standartları 13
1.6. Kirleticilerin Önceliklendirilmesi 15
1.7. Kirleticilerin Çevresel Risk Değerlendirmesi 16
1.8. Pestisitlerin Özellikleri ve Arıtımı 19
1.8.1. Heptaklor 19
1.8.2. DDT 20
1.8.3. Endosülfan 21
1.8.4. Paration 22

1.8.5. Aldrin **23**
1.8.6. Disülfoton **24**
1.8.7. Hekzaklorobenzen **24**
1.8.8. Heksaklorosiklohekzan **25**
1.8.9. Pestisitlerin Su ve Atıksudan Giderimi **26**

2. BÖLÜM

MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Alanın Tanıtımı **30**
2.2. Kirleticilerin Önceliklendirilmesi **30**
2.3. Kirleticilerin Çevresel Risk Değerlendirmesi **33**

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi Atıksu Karakterizasyonu **35**
3.2. Atıksudaki Pestisitlerin Önceliklendirilmesi **36**
3.3. Pestisitlerin Alıcı Ortamda Çevresel Kalite Standartları **44**
3.4. Pestisitlerin Çevresel Risk Değerlendirmesi **46**
3.5. Pestisitlerin Önceliklendirme ve Risk Katsayılarına Göre Değerlendirilmesi . **49**

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar **51**
4.2. Öneriler **53**
KAYNAKÇA **54**
ÖZGEÇMİŞ **64**

KISALTMALAR

AAT : Atıksu Arıtma Tesisi

ÇKS : Çevresel Kalite Standardı

EPA : Çevre Koruma Ajansı

FAOSTAT : Gıda ve Tarım Örgütü İstatistikleri

İTSKAHY : İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik

KASKİ : Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü

K_{ow} : Oktanol Su Dağılım Katsayısı

LC_{50} : %50 Öldürücü Konsantrasyon

LOQ : Ölçüm Limiti

MAK-ÇKS : Maksimum Çevresel Kalite Standardı

MEC : Kirleticilerin Ölçülen Çevresel Konsantrasyonu

OSB : Organize Sanayi Bölgesi

PNEC : Tahmin Edilen Etkisiz Konsantrasyon

RQ : Risk Katsayısı

SKKY : Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

TOB : Tarım ve Orman Bakanlığı

WHO : Dünya Sağlık Örgütü

YO-ÇKS : Yıllık Ortalama Çevresel Kalite Standardı

YSKY : Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. WHO ve EPA'nın Pestisitler için Akut Toksisite Sınıfları 3
Tablo 2. Kirleticilerin Seçimine İlişkin OPBT Kriterleri ve Gerekçeleri 31
Tablo 3. Önceliklendirme OPBT Kriterleri İçin Belirlenen Puanlar 32
Tablo 4. Kayseri AAT'nde Atıksuyunda Tespit Edilen Kirletici Konsantrasyonları ve Tespit Sayısı 36
Tablo 5. Kayseri AAT'de Tespit Edilen Kirleticilerin Giderim Verimleri 37
Tablo 6. Kayseri AAT'de Ölçülen Pestisitlerin Konsantrasyon, Kalıcılık, Biyobirikim, Toksisite Değerleri 38
Tablo 7. Kirleticilerin Sonuç Puanları Tablosu 43
Tablo 8. Kirleticilerin Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Çevresel Kalite Standartlarına Göre Değerlendirilmesi 45
Tablo 9. Kirleticilerin Alıcı Ortamdaki Risk Katsayısı Sonuçları 48
Tablo 10. Pestisitlerin OPBT Puanları, Çevresel Kalite Standartları ve Risk Katsayısına Göre Sonuçları 50

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Pestisitin Uygulamalarının Kaynakları ve Taşınımı 4
Şekil 2. Pestisitlerin İnsan Sağlığına Etki Eden Maruziyet Yolları 8
Şekil 3. Atıksu Arıtma Tesisinde Kullanılan Adsorbanların Farklı Türleri 28
Şekil 4. Pestisitlerin Konsantrasyonlarına Göre Puanları 39
Şekil 5. Pestisitlerin Giderim Verimlerine Göre Puanları 40
Şekil 6. Pestisitlerin Biyobirikimlerine Göre Puanları 41
Şekil 7. Pestisitlerin Toksisitelerine Göre Puanları 41
Şekil 8. Pestisitlerin Sonuç Puanları 42

GİRİŞ

Nüfus artışına paralel olarak gıda ihtiyacı da artmakta bu durum gıda ürünlerinin verimliliğinin artırılması için ilave ihtiyaçlar doğurmaktadır. Bu doğrultuda pestisitler, tarımsal üretimde ürünlerde oluşacak zararı engellemek ve bu yolla ürün verimliliğini artırmak amacıyla uzun yıllardır kullanılmaktadır.

Tarım ürünlerinin yaklaşık olarak üçte biri üretilirken pestisitler kullanılmaktadır. Pestisitler çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadırlar. Bunlardan biri de toksisitelerine göre sınıflandırılmadır. Pestisitler, kuşlar, balıklar, faydalı böcekler ve hedef olmayan bitkilerin yanında hava, su, toprak ve mahsuller de dâhil olmak üzere diğer organizmalar için toksik olabilirler. Hedeflenen bitkilerden uzaklaşan bu kimyasallar çevre kirliliğine neden olmaktadır (Tudi vd., 2021).

Kentsel atıksu arıtma tesislerindeki pestisitlerin kaynağı tarım dışı kullanımlardır. Bu alanlar; pestisitlerin çim yönetiminde (golf sahaları, eğitim tesisleri, parklar ve mezarlıklar), endüstriyel bitki örtüsü kontrolünde (endüstriyel tesisler, elektrik tesisleri, yollar, demiryolları, boru hatları), halk sağlığında (sivrisinek kovma bölgeleri, kemirgen kontrol alanları ve su alanları) ve ticari ormancılık, bahçecilik ve bitki fidanlıkları gibi tarım dışı ürünlerde uygulanmasından kaynaklanmaktadır (Köck-Schulmeyer vd., 2013). Kirleticilerin ham atıksularda önemli ölçüde yüksek konsantrasyonlarda (diazinon için 684 ng/L'ye kadar) bulunduğunu ve ikincil, hatta üçüncül atıksu arıtımından sonra arıtılmış sularda kalıcılığını göstermektedir. Ayrıca, bu kirleticilerin atıksu arıtma tesislerinde giderim veriminin değişken olduğu, genellikle düşük veya negatif verimlerde görülmüştür. Eksi giderim, yani çıkışta daha yüksek konsantrasyonların pestisitlerin metabolitlerinin dekonjugasyonu ve/veya dönüşüm ürünleri, hidroliz ve atık su arıtımı sırasında partikül maddeden desorpsiyonu olarak açıklanmaktadır (Köck-Schulmeyer vd., 2013).

Çeşitli kimyasalların (pestisitler, ilaçlar, kişisel bakım ürünleri, steroid hormonlar, endüstriyel kimyasallar) yer aldığı mikrokirleticilerin atıksu arıtma tesislerinde giderimi konusunda verim olarak oldukça değişken yüzdeler ile karşılaşılmıştır. Seçilen mikrokirleticilerin 14 ülke/bölgede bulunan atıksu arıtma tesislerinde giderim verimliliği, %12,5 ile %100 arasında değişen oranlarda görülmüştür (Luo vd., 2014)

Ayrıca bazı kirleticilerin atıksudaki tespiti arıtma tesisleriyle ilişkilendirilmiş olup Ren Nehri bölgesinde karbendazimin yüzey sularında bulunmasının esas olarak arıtılmış evsel atıksuların deşarjından kaynaklandığını ve atıksularda tespit edilmesiyle doğrulandığını göstermektedir (Quintana vd., 2019)

İspanya'da Llobregat Nehri ve kolları üzerinde seçilen ve üç tanesinin atıksu arıtma tesisi deşarj noktasını temsil ettiği çeşitli noktalarda pestisit analizleri yapılmış ve sonuçlar kentsel sulardaki pestisitlerin nehirdeki etkisinin göz ardı edilemeyeceğini göstermektedir (Masiá vd., 2015)

Kirleticilerin varlığının tespitinin yanında oluşturacağı çevresel ve ekolojik risklerin belirlenmesi oldukça önemli olup bununla ilgili de literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ekolojik risk değerlendirmesi için Çevre Koruma Ajansı (EPA), toksisiteyi çevresel maruziyetle karşılaştırmak için deterministik bir yaklaşım kullanmakta ve bu yöntem yüksek veya düşük riskli durumları tanımlayan basit, tarama düzeyinde bir tahmin olarak tanımlanmaktadır. Risk katsayılarının hesaplanması ekolojik etki verilerine, pestisit kullanım verilerine, akıbet ve taşınma verilerine ve pestisit maruziyetinin tahminlerine dayanmaktadır. Bu yöntemde, tahmini çevresel konsantrasyon, LC_{50} (organizmaların %50'sinin öldüğü pestisit konsantrasyonu) gibi bir etki seviyesiyle karşılaştırılmaktadır (EPA, 2024a).

Buna karşın, deterministik veya risk katsayısı yöntemi tarama amaçlı yararlı olsada, çevresel riskin yalnızca bir nokta tahminini sağlar. FIFRA (Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act) Bilimsel Danışma Paneli ve FIFRA Risk Değerlendirme Yöntemleri Ekoloji Komitesi'nin (ECOFRAM) önerilerini takiben, EPA olasılıksal veya rafine ekolojik risk değerlendirmeleri yürütmek için daha gelişmiş metodolojiler geliştirmeye yönelmiştir (EPA, 2024a).

Kirleticilerin bireysel olarak risk değerlendirmesine ilişkin çalışmaları literatürle oldukça fazla çalışma ile yer almaktadır. Bunun yanı sıra, birden fazla kirleticinin birlikte risk değerlendirmesi de yapılmıştır. Birden fazla kirleticinin dikkate alındığı risk değerlendirme çalışmasında, ortamındaki pestisit karışımlarının ekolojik riskine özel dikkat gösterilmesi gerektiğini göstermiştir (Zeng vd., 2018a).

Bu çalışmada çevresel riskin değerlendirilmesi için, Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin (Kayseri AAT) giriş ve çıkış atıksuyunda 2018 yılında yapılan pestisit analizi kullanılmıştır (Ergin, 2023). Tesisin ham atıksuyunda 19 adet parametreden (aldrin, alfa-hch, alfa-endosülfan, beta-endosülfan, dieldrin gama-hch, hekzaklorobenzen, heptaklor, 2,4 DDE, 4,4 DDE, 2,4 DDD, 4,4 DDD, 2,4 DDT, 4,4 DDT, heptaklor-endo-epoksit, heptaklor-ekzo-epoksit, disülfoton, paration-etil, paration-metil) 2860 ng/L ile 10 ng/L aralığında kirletici konsantrasyonu tespit edilmiştir (Ergin, 2023).

Tezin Amacı ve Beklentiler

Bu tez çalışmasının amaçları, Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (Kayseri AAT) atıksuyunda tespit edilen 19 adet pestisit türünün;

- konsantrasyonları, arıtma verimi, pestisitlerin biyobirikimleri ve toksisiteleri üzerinden yapılan puanlama yöntemi ile önceliklendirmelerinin yapılması,
- ölçülen konsantrasyonları ve sucul ortamda etkisiz olduğu en düşük konsantrasyonları üzerinden risk katsayılarının hesaplanması,
- Ulusal mevzuat çerçevesinde çevresel kalite standartlarına göre değerlendirmesinin yapılmasıdır.

Bu kapsamda, Kayseri AAT'de tespit edilen pestisitlerin hem atıksuda hem de alıcı ortamdaki varlığı değerlendirilerek önceliklendirilmesi yapılmış ve alıcı ortamda oluşturması muhtemel çevresel riski değerlendirilmiştir. Sonucunda, üç farklı türde değerlendirme birlikte ele alınarak yüksek riskli görülen pestisit türleri özel olarak incelenmiştir.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Pestisitlerin Oluşumu ve Sınıflandırılması

Pestisitler, Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'ne göre zararlıları (böcek, kemirgen, mantar, istenmeyen yabani otlar gibi) öldürmek amacıyla kullanılan kimyasallar olarak tanımlanmaktadır (Manap vd., 2023). Pestisitler, formülasyon şekillerine, kullanıldıkları zararlı gruplarına, kullanılma tekniğine, etkilediği zararlının biyolojik dönemine, zararlılara etki yollarına (zararlı organizmaya giriş yoluna), toksik özelliklerine (etkilediği canlılarda meydana getirdiği zehirlenmeye), zararlının bulunduğu yerine ve konukçunun durumuna, fiziksel durumuna göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadırlar (Arslan, 2009).

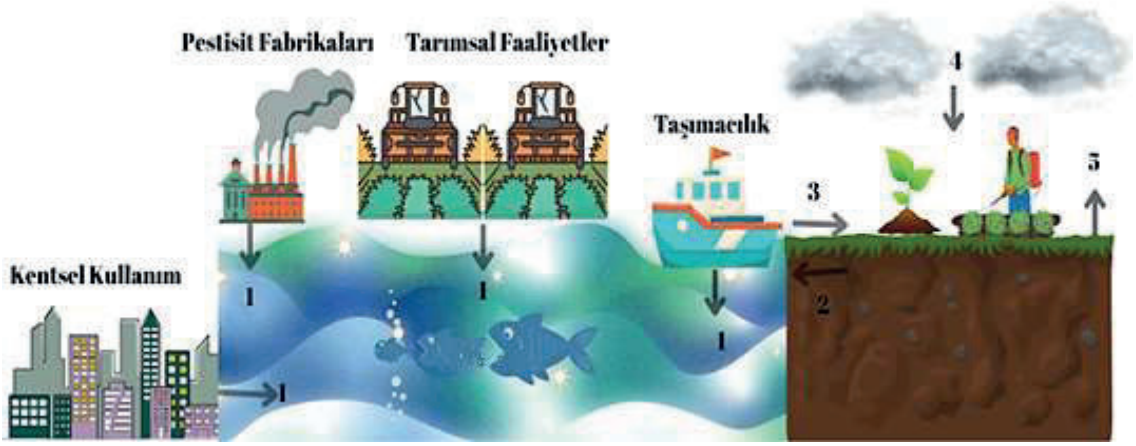
Pestisitlerin toksisite açısından sınıflandırmasında Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Çevre Koruma Ajansı (EPA) sınıflandırması aşağıdaki Tablo 1'de verilmektedir (Ramdwar vd., 2015).

Tablo 1. WHO ve EPA'nın Pestisitler için Akut Toksisite Sınıfları

Pestisitlerin Akut Toksisitesi*			
WHO Sınıflandırması		**EPA Sınıflandırması**	
Ia	Son derece tehlikeli	I	Oldukça zehirli
Ib	Çok tehlikeli	II	Orta derece zehirli
II	Orta derece tehlikeli	III	Biraz zehirli
III	Hafif tehlikeli	IV	Pratik olarak toksik değil
U	Akut tehlike arz etmeyen		

*Tek veya kısa süreli maruziyetten (24 ila 96 saat) kaynaklanan ve ciddi biyolojik hasara veya ölüme yol açan herhangi bir zehirli etki.

Pestisitler çevreye, noktasal ve noktasal olmayan kaynaklardan ulaşmaktadır. Noktasal kaynaklı pestisit kirliliği; uygunsuz depolama, yükleme ve bertaraf, kazara dökülmeler, doğru uygulanmayan pestisitler ve kentsel alanda böcek ilaçlarının kullanımı gibi sabit kaynaklardan oluşmaktadır. Noktasal kaynaklı olmayan pestisit kirliliği ise, geniş bir alandan su kütlesine taşınma ve ulaşma nedeniyle meydana gelmektedir. Bu durum, tarım alanlarında meydana gelen akış ve erozyon sonucu oluşmakta ve pestisitlerin yeraltı ve yüzey su kütlelerine kademeli olarak sızmasına neden olmaktadır (Syafrudin vd., 2021). Su kirliliğine sebep olan pestisitler ve endüstriyel organiklerin kaynağı (Şekil 1'de yer alan 1 nolu akış); tarımsal uygulamalar, kentsel kullanım, pestisit/kimyasal üretim fabrikaları ve nakliye faaliyetleridir. Pestisitin kaynakları ve taşınımları Şekil 1'de verilmiştir. Kimyasal pestisitler (Şekil 1'de yer alan 2,3,4,5 nolu akış); bitkiler tarafından emilir, kök bölgesinden suya sızar, yüzey akışı ve toprak yüzeyindeki kalıntılar atmosfere buharlaşır yağışla yeniden yüzeye döner. Deniz besin ağında kalıcı organik kirleticilerin biyolojik birikimi gerçekleşir. Ayrıca, kirlenmiş suyun arıtılmadan sulama ve evsel kullanımda yeniden kullanılması da sucul çevre üzerinde olumsuz etkilere sahiptir (AbuQamar vd., 2024).



Şekil 1. Pestisitin Uygulamalarının Kaynakları ve Taşınımı

Çiftliklerden kanalizasyon sistemlerine giren pestisitlerin büyük kısmı tarla ilaçlama makinelerinin doldurulması ve asfalt yüzeylerde yapılan temizlikten, kullanılmayan ürün kalıntılarının doğrudan bertarafından, kazara dökülmelerden ve tarım dışı kullanımlardan kaynaklanmaktadır (Münze vd., 2017). Bunun yanı sıra, pestisitlere ev, okul ve işyeri dâhil olmak üzere farklı alanlarda da maruz kalınabilmektedir. Bunun nedeni, pestisitlerin

kentsel alanlarda da her türlü haşere ve kemirgen ile mücadelede yaygın olarak kullanımlarıdır. Özet olarak, pestisitler emilim, süzülme, buharlaşma, sprey sürüklenmesi ve yüzey akışı gibi yollarla hedeflenen bölgeden diğer çevresel ortamlara geçebilmektedir (AbuQamar vd., 2024).

1.2. Pestisitlerin Kullanımı

Pestisitler farklı alanlarda sıklıkla kullanıldığı bilinmektedir. FAOSTAT (Gıda ve Tarım Örgütü İstatistikleri) tarafından sağlanan Pestisit Kullanımı Veritabanı 1990-2022 dönemleri arasında ülkeye, aktif bileşenlere ve ana pestisit kategorisine göre pestisit kullanımına ilişkin verileri göre, 2022 yılında tarımda kullanılan toplam pestisit miktarı 3,70 milyon ton aktif madde olarak gerçekleşmiştir. Bu miktar 2021 yılına göre % 4, son on yılda %13 artış göstermiş ve 1990 yılından bu yana iki katına çıkmıştır (FAO, 2024). Dünya toplam pestisit kullanım miktarının %61,1'i sırasıyla; Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Brezilya tarafından gerçekleştirilmiştir (Manap vd., 2023). Amerika'da tarımda pestisit kullanımı 2022'de bir önceki yıla göre %10 artarak 1,89 milyon olmuştur (FAO, 2024). Türkiye pestisit kullanım miktarları 2006 yılında 45.376 ton olup 2023 yılı verilerine göre bu miktar yüzde %25,9'luk artış ile 57.766 bin ton olmuştur (TOB, 2023). Kullanılan bu pestisitlerin istatistik artışlarına bağlı olarak hangi alanlara etki ettiği, çevredeki davranışları ve arıtımı konularında çalışmalar yıllar geçtikçe artmıştır.

1.3. Pestisitlerin Oluşturduğu Riskler

Pestisitlerin kullanımı hedef türlerden farklı yerlere ulaşması sebebiyle bir dizi çevresel soruna sebep olmakta ve etkileri küresel/yerel, geçici/kalıcı veya akut/kronik olabilmektedir (Zacharia, 2011). Hedef türe ulaşması için kullanılan böcek ilaçlarının %98'inden fazlası ve herbisitlerin %95'i hava su ve toprağa ulaşmaktadır (Zacharia, 2011). Pestisitler, su ortamında birikerek ekosistemin bozulmasına, birincil besin kaynağı olan organik maddelerin kirliliğine ve sudaki amonyum, nitrit, nitrat ve sülfatı artırarak ekolojik çevre ve insan sağlığını etkileyerek küresel ölçekte endişeye sebep olmaktadır (AbuQamar vd., 2024).

Pestisitlerin sağlık üzerindeki etkileri pestisitin türüne bağlı olup organofosfatlar ve karbamatlar gibi bazıları sinir sistemini etkilerken diğerleri cildi veya gözleri tahriş

edebilir. Bunun yanında pestisitler, vücuttaki hormon veya endokrin sistemi etkileyebilirken kanserojende olabilmektedir (EPA, 2024b).

Pestisit maruziyetinin, insan ve hayvanlarda bağışıklık baskılanması, hormon bozulması, zekâ geriliği, üreme bozukluğu ve kanser gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olduğuna dair kanıtlar bulunmaktadır (AbuQamar vd., 2024; Syafrudin vd., 2021).

1.3.1. Çevresel ve Ekolojik Riskler

Pestisitler toprağa, suya, diğer bitkilere ulaşıp hedef olan böcekleri veya yabani otları öldürmenin yanı sıra kuşlar, balıklar, faydalı böceklere ulaşarak toksik olabilmektedir (Zacharia, 2011). Kalıcılıkları nedeniyle yeraltı ve yüzey suyuna geçtiği; gıda ürünlerini, havayı, toprağı kirlettiği ve insanların doğrudan temasıyla da zararlı etkileri olduğu bilinmektedir (Zacharia, 2011). Genellikle böcek ilaçları en akut toksik pestisit sınıfıdır. Fakat yabancı otlar için kullanılan herbisitler hedef dışı organizmalar için de risk oluşturabilir (Aktar vd., 2009). Ayrıca, pestisitler ışık, sıcaklık, nem, oksijen ve mikroorganizmalarla ekosistem içerisinde çeşitli fiziksel ve mikrobiyolojik süreçlerle parçalanır. Kimyasal bileşimlerine bağlı olarak, tehlikeli veya toksik olmayan metabolitlere parçalanırlar (Pathak vd., 2022).

Toksik etkilerin yanında, çoğu pestisit biyolojik birikim potansiyelleri nedeniyle endişe vericidir. Bu kirleticilerin bir kısmı metabolize olmak yerine depolandığı için besin zincirinde artan konsantrasyon seviyelerine yükselir. Bu sebeple, pestisitlerin ortam koşullarındaki kararlılıklarını incelemek ve bunları gidermenin yollarını sağlamak önemlidir (Kanan vd., 2022).

Bir pestisit, ekosistemde yer alan bir türü tamamen yok edebileceği gibi baskın bir türü yok ederek diğer türün kontrolsüz çoğalmasına sebep olabilir. Örneğin, deniz su samuru (*Enhydra lutris*) deniz kestanesi yoğunluğunu sınırlamaktadır. Ekosistemde birbiriyle bağlantılı türlerden birinin yok olması büyük etkilere sebep olabilir. Kilit taşı türün pestisitler veya başka sebeplerle yok olması trofik dinamikleri ve besin ağı bağlantılılarını değiştiren dramatik etkiler yaratabilmektedir (Zacharia, J. T. 2011).

Toprak, kalıcı organik kirleticiler için önemli bir birikim yüzeyidir. Bu kirleticiler, kuru ve ıslak atmosferik birikim, depolamadan kazara sızıntı, kanalizasyon çamurunun tarım

arazilerine uygulanması ve çoğunlukla organoklorlu pestisitlerin doğrudan uygulaması yoluyla oluşurlar. Bunun sonucunda yetiştirilen bitkiler (ot, sebze, ekin vb.) tüm ekosistemlerdeki üreticileri- kirletir (Pokhrel vd., 2018). Avrupa Birliği genelinde yürütülen bir çalışmaya göre 317 tarımsal toprak örneğinde 76 pestisit kalıntısının dağılımı değerlendirilmiş ve toprakların %80'inden fazlası pestisit kalıntıları içerdiği tespit edilmiştir (Silva vd., 2019) Pestisitler uzun yıllar kalıcılıkları sebebiyle toprağı olumsuz etkilemekte, topraktaki biyoçeşitliliği azaltmakta, düşük toprak kalitesine ve toprak bitki örtüsünün azalmasına sebep olmaktadır. Toprak bitki örtüsünün azalması erozyona sebep olarak toprak verimini düşürmektedir (Zacharia, 2011).

Su ortamında pestisitin etkisi; pestisitin sudaki çözünürlüğü, uygulandığı yerden su ortamına uzaklığı, hava durumu, uygulama yöntemi, toprak türü, yetiştirilen ürün gibi faktörlere bağlıdır. Su ortamına ulaşan pestisit sucul ekosistem ve insan sağlığı için zararlı olma potansiyeline sahiptir (Zacharia, 2011). Suyun pestisitlerle kirlenmesinin yaygın olduğu bildirilmektedir (Aktar vd., 2009). Hidrofilik pestisitler (herbisitler, karbamatlar, fungisitler ve belirli organofosfatlar gibi) akış yoluyla yüzey su kütlelerine taşınır ve yeraltı suyu kaynaklarına sızabilir (Mukherjee vd., 2024). Amerika Birleşik Devletleri'nde 90'lı yılların başından ortasına kadar ülke genelinde büyük nehir havzalarında yapılan kapsamlı bir dizi çalışmaya göre tüm akarsulardan alınan su ve balık örneklerinin %90'ından fazlasında bir veya daha sıklıkla birkaç pestisit tespit edilmiştir (Tahir vd., 2021).

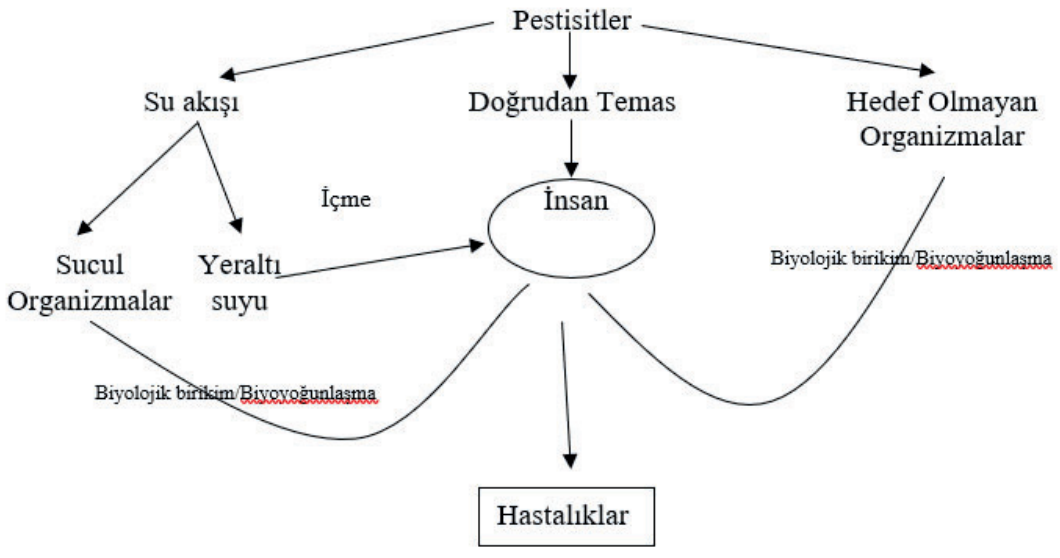
Çeşitli pestisitlerin akut miktarı balıkların ölümüne neden olurken, daha düşük miktarlarda ölümcül değişiklikler gözlemlenmiştir. Ayrıca, çeşitli pestisitlere maruz kalan birçok balık türünde, hematolojik parametrelerdeki değişiklikler, karaciğeri, böbrekleri, solungaçları, kasları, beyni ve bağırsağı etkileyen histolojik anormalliklere yol açacağı belirtilmiştir. Birçok vakada farklı pestisit kategorileri tarafından oluşturulan genotoksisite de gözlemlenmiştir (Tahir vd., 2021). Bir pestisit grubu olan neonikotinoidler, omurgasız toplulukların bileşimi ve ekolojik işlevi için en yüksek ekolojik önemi göstermiştir (Münze vd., 2017).

Pestisitler doğal tozlayıcı olan bal arı ve kelebekleri öldürebilmekte, bu durum hem bitkileri tozlaştıran türlerin yok olmasına hem de tozlaşmaya bağlı ürün kaybına da sebep olmaktadır. Ayrıca pestisitlere maruz kalan kuşlarda ölümlerin yanı sıra bazı davranış,

üreme ve sinir sistemini etkileyen bazı kronik semptomlar görülmektedir (Zacharia, 2011). Pestisitlere maruz kalan vahşi kuşlar üzerinde yapılan toksikolojik çalışmalar, maruziyetin kuşlarda endokrin, nörolojik ve immünolojik sistemleri değiştirerek üremeyi etkileyebileceğini ve bu sebepten ötürü üreyen kuşların ve yavrularının sağlık ve davranışlarını olumsuz etkileyebileceğini göstermiştir (Mohanty, 2024).

1.3.2. Sağlık Riskleri

Pestisitler kalıcı, biyobirikimli ve toksik etkileri sebebiyle insan sağlığı üzerinde akut ve uzun süreli etkilere neden olabilmekte ve farklı yollarla insanları doğrudan ya da dolayı olarak etkilemektedir (ÇİSİP, 2023). Pestisitlerle kirlenmiş yiyeceklerin insan sağlığı için oldukça zararlı etkileri bulunduğu bilinmektedir (Maksymiv, 2015). Pestisitlerle kirlenmiş alandaki yetişen sebze ve meyvelerin uzun süre tüketimi vücut organları içindeki toksin konsantrasyonunu artırarak nörotoksisite, kanser, nekroz, astım, üreme bozukluğu, kalp hastalığı, diyabet vb. gibi kronik hastalıklara neden olur (Pathak vd., 2022). Pestisitlerin insan sağlığını etkileyen farklı maruziyet yolları *Şekil 2*'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Pestisitlerin İnsan Sağlığına Etki Eden Maruziyet Yolları (Shekhar vd., 2024).

Pestisitlere maruziyet; uzun süreli, kısa süreli ve düşük ve yüksek dozlarla şeklinde görülür. İnsanlar tarafından besinler yoluyla maruziyet doğrudan tüketimin birincil kaynağı olmakta ve vücuda alınan pestisitler, kanserin yanı sıra; dermatit, solunum

problemler, endokrin bozukluklar, üreme bozuklukları, immünotoksisite, nörodavranışsal bozukluklar, astım ve konjenital defektler gibi sağlık sorununa neden olabilir (ÇİSİP, 2023; Shekhar vd., 2024). Mesleki sebeple pestisitlere maruz kalma sonucunda solunum sorunları ve nörodejeneratif hastalıkların artan sıklığı arasında ilişki bulunmuştur (Shekhar vd., 2024). Tarım işçilerinin, uzun süreli veya yüksek yoğunluklu maruziyet durumu sebebiyle uzun vadeli sağlık etkileri yaşama olasılığı daha yüksektir (Shekhar vd., 2024). Bu durum kişilerin hayat kalitesini etkilediği gibi ölümcülde olabilmektedir (ÇİSİP, 2023).

Pestisitler, yüksek dozda solunduğunda, yutulduğunda, cilt veya gözlerle temas ettiğinde akut toksisite oluşurken, uzun süreli veya tekrarlayan maruz kalma durumunda kronik toksisiteye yol açar (Ahmad vd., 2024).

Akut Etki; kısa sürede oluşan zehirlenme türü olarak tanımlanmakta olup kazara veya intihar sebepli etkiyi ifade etmektedir. Yüksek toksik etkisi olan organofosforlu pestisitlerin etkisi çok ani olup dünyada organofosforlu insektisitler nedeniyle yaklaşık olarak 200 bin ölümün gerçekleştiği tahmin edilmektedir (ÇİSİP, 2023).

Uzun Vadeli Etki; düşük dozda pestisitlere uzun süreli maruziyetin neden olduğu kronik toksisiteyi ifade etmekte olup etkisi sonra ortaya çıkabilmektedir. Ülkemizde, 2018 yılında toplam 217.323 vakadan 8.945'i (%4,12) tarım kimyasallarına maruz kalmıştır (ÇİSİP, 2023).

Pestisitin formülasyonunun toksisitesi, spesifik aktif bileşene ve toksisitesini artırabilecek veya değiştirebilecek sinerjik veya inert bileşiklerin varlığına bağlı olabilir (Ahmad vd., 2024).

1.4. Pestisitlerin Atıksu Arıtma Tesislerindeki Durumu

Pestisitlerin çevredeki varlığı, taşınımı önceki bölümlerde özetlenmiş olup pestisitlerin sudaki varlığının ana sebebi tarımsal faaliyetler olarak gösterilmektedir. Bunun yanı sıra, atıksu arıtma tesisleri de su kaynaklarındaki pestisit kirlenmesinin ana kaynağı olarak tanımlanmış, hatta bazı türlerin kaynağının sadece atıksu arıtma tesisi olduğu bulunmuştur (Münze vd., 2017; Ryu vd., 2022). Konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinin mikrokirleticilerin gideriminde yetersiz kalmasının yanı sıra çoğu mikrokirleticinin eksik

metabolize edilmesinin bir sonucu olarak, metabolitleriyle birlikte alıcı ortama karışmaktadır. Bu nedenle atıksu arıtma tesislerindeki mikrokirleticilerin izlenmesi ve kontrolü, çevredeki yüklerini ve baskılarını azaltmak için daha da önemli hale gelmiştir (Luo vd., 2014; Saleh vd., 2020).

2010'lu yılların başında pestisitlerin atıksulardaki varlığı ve giderimine ilişkin çalışmaların kısıtlı olduğu bilinmekte olup bunun sebebi pestisit kirliliğinin kentsel kaynaklı değil daha çok tarımsal kaynaklı olmasıdır. Ancak, kentsel atıksu arıtma tesislerinde pestisitlerin bulunması esas olarak bunların tarım dışı olan; çim yönetimi (golf sahaları, eğitim tesisleri, parklar ve mezarlıklar), endüstriyel bitki örtüsü kontrolü (endüstriyel tesisler, elektrik tesisleri, yollar, demiryolları, boru hatları), halk sağlığı (sivrisinek kovma bölgeleri, kemirgen kontrol alanları ve su alanları) ve ticari ormancılık, bahçecilik ve bitki fidanlıkları gibi alanlarda kullanımlarından kaynaklanmaktadır (Köck-Schulmeyer vd., 2013)

İspanya'da bulunan üç farklı AAT giriş atıksuyunda 2007-2009 yıllarında 22 pestisit türü analiz edilmiş ve bu analizler sekiz farklı dönemde gerçekleşmiştir. Toplam pestisit seviyeleri 1 μg/L'nin altında bulunmuştur. Sonuçlara göre tespit edilen en yaygın pestisitler diazinon ve diurondur. Diazinon, giriş atıksu örneklerinde en yüksek 684 ng/L konsantrasyonunda tespit edilmiştir. Çıkış suyunda ise diazinon 4160 ng/L ve simazin 1990 ng/L görülmüştür. Giriş atıksuyunda 2,59 ng/L gibi düşük bir değerde bir defa alaklor tespit edilmiştir (Köck-Schulmeyer vd., 2013).

Almanya'nın Bode Nehri havzasında yedi atıksu arıtma tesisinin 50 m yukarısından, 19 herbisit, 14 fungisit, 7 insektisit ve 5 metabolit olmak üzere 45 pestisitin ölçümü yapılmıştır. Genel olarak, araştırılan AAT'ler alıcı sulardaki pestisit sayısını ve konsantrasyonlarını artırmıştır. Hem atıksu deşarj noktalarının yukarısında hem de aşağısında imidakloprid ve tiakloprid zaman zaman bitki koruma ürünlerinde seçilen aktif maddeler için kabul edilebilir konsantrasyonların suda izin verilen pestisit seviyelerini aşmıştır. Tespit edilen bileşiklerden atrazin, diuron, izoproturon, simazin ve terbutrin Su Çerçeve Direktifi (EC 2000, EC 2013) kapsamında öncelikli maddeler olarak sınıflandırılmıştır (Münze vd., 2017). AAT'lerin mansabındaki noktalarda; asetamiprid, imidakloprid ve tiakloprid, esfenvalerat, azoksistrobin ve karbendazim ve izoproturon kirleticilerinin en yüksek toksisite değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun

sebebi, kirleticinin yüksek konsantrasyonları (esfenvalerate, imidakloprid, izoproturon ve tiakloprid; örneklerin %57'si) veya yalnızca atıksular tarafından sebep olan bir maddenin (imidakloprid; örneklerin %43'ü) bulunması nedeniyle meydana gelmiştir. Arıtılmış atıksuyun, asetamiprid ve imidakloprid için tek kaynak olduğu bulunmuştur (Münze vd., 2017).

Türkiye'de üç farklı atık su arıtma tesisinde 2017-2018 yılları arasında yıl boyunca aylık olarak atrazin, klorpirifos ve klorfenvinfos analizleri yapılmış ve tüm pestisitlerin ortalama seviyelerinin en yüksek Konya AAT'de 252,2 ng/L olduğu, en düşük ise Zincirlikuyu AAT'de 16 ng/L olduğu belirlenmiştir. Bu tesislere gelen atıksuda, klorpirifos konsantrasyonları sırasıyla 435,3 ng/L, 168,5 ng/L ve 119,2 ng/L olmuş ve klorpirifos en yüksek konsantrasyon sahip pestisit türü olarak ortaya çıkmıştır (Nas vd., 2023).

Güney Kore'deki Yeongsan Nehri Havzası'nda yer alan üç atıksu arıtma tesisinin atıksuyunda Ocak-Kasım 2021 tarihleri arasındaki altı kez olmak üzere 87 pestisitin izlenmesi yapılmış ve toplam 59 pestisit 0,852 ng/L ile 82,044 µg/L arasında konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Tüm örnekleme noktalarına göre en yüksek yıllık medyan konsantrasyonlar 635,84 ng/L ile atrazin-2-hidroksi, 305,05 ng/L ile asetoklor, 228,13 ng/L ile simazin, 177,56 ng/L ile 3-fenoksibenzoik asit ve 169,97 ng/L ile metolaklor-ESA için ölçülmüştür (Kim & Kim, 2024).

Sonuç olarak, atıksu arıtma tesislerinin atıksularının alıcı sulardaki böcek ilacı ve mantar ilacı konsantrasyonlarını önemli ölçüde artırdığı, bu nedenle atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan pestisitlerin giderilmesi gerektiği ve bunun ozonlama ve aktif karbon işlemi gibi geliştirilen stratejilerin uygulanmasıyla başarılabileceği belirlenmiştir (Münze vd., 2017)

Atıksu arıtma tesisi çıkışındaki pestisit konsantrasyonları bazen giriş suyundakinden daha yüksek olmaktadır. Bu düşük veya negatif giderim oranlarının sebebi, örnekleme, örnek koruma, yöntem sapmaları, atmosferik birikimin yanı sıra, pestisitlerin metabolitlerinin ve/veya dönüşüm ürünlerinin dekonjugasyonu, hidroliz ve atıksu arıtımı sırasında partikül maddeden desorpsiyonu olabilmektedir (Köck-Schulmeyer vd., 2013).

Pestisitlerin ve çevre için zararlı diğer kirleticilerin giderilmesinin yanında hangi proseslerle hangi verimlerle giderildiğine daire çalışmalar da alıcı ortam için oldukça önemlidir.

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtmayı içeren konvansiyonel sistemlerde kirleticilerin giderim verimliliği kirleticinin türüne ve prosese bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Genel olarak konvansiyonel sistemler ise yetersiz görülmektedir (Aksangür & Nalbur, 2018) (Ahmed vd., 2017)

İsviçre'nin Lozan kentindeki atık su arıtma tesisinde ve atıksu alıcı su kütlesi olan Cenevre Gölü'nün Vidy Körfezi'nde 58 farmasötik, endokrin bozucu, korozyon inhibitörü, biyosit ve pestisitin oluşumu ve uzaklaştırılması değerlendirilmiştir. İzlenen tüm maddeler (17α-ethinylestradiol hariç) AAT'ye giren atıksuyun 24 saatlik kompozit numunelerinde veya arıtılmış atıksuda tespit edilmiştir. Ayrıca, bileşiklerin %40'ı AAT'nin 3 km aşağısındaki gölden pompalanan ham içme suyunda da tespit edilmiştir. Kimyasal ve biyolojik arıtma proseslerini içeren bu atıksu arıtma tesisinde diazinon, irgarol ve terbutrin'in giderimi sırasıyla %13, %75, %47 olarak görülmüştür (Morasch vd. 2010).

Atrazin için biyolojik arıtmanın oldukça düşük yani %1 verim sağladığı görülmüştür. Ayrıca, atrazin için biyolojik arıtmanın düşük giderim verimi karşısında fotokimyasal ve kimyasal oksidasyon prosesleri yüksek verim sağlamıştır. En yüksek verim ise nanofiltrasyon ile sağlanmıştır (Aksangür & Nalbur, 2018).

Türkiye'de üç farklı atık su arıtma tesisinin hem sıvı hem de katı fazlarında atrazin, klorpirifos ve klorfenvinfos'un oluşumu, dağılımı, mevsimsel değişimi ve giderimi incelenmiş ve atrazin giderim verimliliği %59,8 ile %92,4 arasında bulunarak diğer iki tesisteki klorpirifos ve klorfenvinfos'un giderim verimliliklerinden daha yüksek bulunmuştur. Klorpirifos ve klorfenvinfos'un ileri biyolojik arıtmada sırasıyla %78,5 ve %53,1 verimlilikle giderilmiştir (Nas vd., 2023).

Klasik arıtma prosesleri pestisitlerin birçoğunun biyolojik parçalanma (biyodegradasyon) özelliğinin düşük olması nedeniyle yetersiz kalmakta, bu sebeple de ileri arıtma proseslerinin uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle farklı pestisit türleri için bireysel pestisitlerin değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır. Tesislere ileri arıtma

proseslerinin ilave edilerek pestisit kaynaklı kirliliğin azaltılabileceği belirlenmiştir (Aksangür & Nalbur, 2018).

Pestisitlerle birlikte ilaçlar, kişisel bakım ürünleri, endokrin bozucu bileşikler, endüstriyel kimyasalları içine alan organik mikro kirleticilerin arıtımında aktif çamur ve damlatmalı filtre gibi prosesler orta düzeyde verimlilik sağlarken, membran biyoreaktörler, biyofilm tabanlı ve hibrit sistemler gibi ileri prosesler ileri biyolojik bozunma ve emilim sağlaması nedeniyle bu kirleticilerde önemli ölçüde giderim göstermiştir (Adjei vd., 2025)

Diuronun biyolojik arıtma ile giderim verimi aerobik için %60, anoksik için %95 olarak tespit edilmiştir. Hekzaklorobekzen ve DDT için fiziksel ve biyolojik arıtma %50 verim sağlamıştır. Atrazin için biyolojik arıtma ile neredeyse hiç giderim sağlanamamış olup ileri arıtma yöntemlerinden nanofiltrasyon ile %97 giderim sağlanmıştır (Aksangür & Nalbur, 2018).

Pestisitler ve ilaçlar için biyolojik aktif karbon iyi giderim verimlilikleri göstermiştir (Ahmed vd., 2017). Bunun yanında, farklı adsorbanların (zeolit, aktif karbon, poliüretan tozu) bir kirletici üzerinde farklı oranlarda giderim sağlamıştır (Aksangür, & Nalbur, 2018).

Pestisit atıksularının arıtma tesislerinde arıtımının araştırılması kapsamında ise, kimyasal oksidasyon-aktif çamur prosesinin çoğunlukla pestisit atıksuyu arıtımı için önerilse de, üstün giderim verimliliği, arıtım kararlılığı ve ekonomik uygulanabilirlik açısından aktif çamur-aktif karbon adsorpsiyon işleminin pestisit atıksuyu arıtımı için daha uygun olduğunu göstermiştir (Ryu vd., 2022). Nihai olarak atıksu arıtma tesislerine farklı türlerde pestisit geldiği ve tesis çıkışında da bunların metobolitleriyle birlikte tespit edildiği görülmüştür.

1.5. Kirleticilerin Çevresel Kalite Standartları

2000/60/EC sayılı Su Çerçeve Direktifi'ne göre suyun belirli süre içinde **"iyi su durumu"**na ulaşmasını sağlamak amacıyla, kirleticilerin konsantrasyon düzeyinin belirlenmesi için çevresel kalite standartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Alıcı ortamda sağlanması gereken konsantrasyonları belirleyen Çevresel Kalite Standartları

(ÇKS), su sediman ve biyotayı da kapsamakta olup çevre ve insan sağlığını korumayı amaçlamaktadır.

ÇKS, su kalitesi izleme verilerinin değerlendirilmesinde dikkate alınacak limitleri belirleyip, su kaynaklarında çevresel hedeflere ulaşmak için gerekli koruma ve iyileştirme çalışmalarının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra, su kaynaklarına yapılacak deşarjlara ilişkin limitlerin belirlenmesinde altlık oluşturan ÇKS su ortamlarına yapılan kimyasal deşarjlarının kontrolünde ve planlama sürecinde havza eylem planlarında yer alacak eylemlerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi aşamasında dikkate alınmaktadır (Orhon, 2015).

AB ülkelerinin büyük çoğunluğu ve ülkemizde kirleticiler için ÇKS belirlenmiş olup bu kapsamda karşımıza iki temel terim çıkmaktadır. Bunlar "öncelikli maddeler" ve "belirli kirleticiler"dir. Bu kavramlar, 30.11.2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmi Gazate'de yayınlanarak yürürlüğe giren Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY) kapsamında;

"Öncelikli madde: Yerüstü su kütlelerinde kimyasal durumun değerlendirilmesi için sucul çevre açısından önemli risk teşkil eden madde ve madde gruplarını",

"Belirli kirletici: Su kütlesine, 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.

YSKY'ne göre 45 adet öncelikli madde ve 250 adet belirli kirletici için çevresel kalite standardı bulunmaktadır. Söz konusu kirleticilerin su kalitesi izleme sonuçlarının değerlendirilmesinde, kendi su kütlesi kategorisine (nehirler/göller, kıyı ve geçiş suları) göre 1 yıllık izleme sonuçlarının aritmetik ortalaması yıllık ortalama çevresel kalite standardı (YO-ÇKS) ile karşılaştırılmakta ve herhangi bir belirli kirletici ve/veya öncelikli maddeye ait tekil izleme verisi ise maksimum izin verilebilir çevresel kalite standardı (MAK-ÇKS) ile karşılaştırılmaktadır. Yapılan değerlendirme neticesinde, izleme verilerinin hem MAK-ÇKS hem de YO-ÇKS değerlerinden düşük olması halinde alıcı ortam ÇKS değerleri sağlanmış olmaktadır. Tekil izlemelerin MAK-ÇKS değerinden, tüm sonuçların ortalamasının ise YO-ÇKS değerinden düşük olması gerekmektedir. Bu değerlerden herhangi birinin sağlanamamış olması çevresel kalite standardının sağlanamamış olması anlamına gelmektedir.

Öncelikli maddelerde, ÇKS'lerin aşılıp aşılmamasına bağlı olarak geçti/kaldı şeklinde bir kalite durum değerlendirmesi yapılmakta ve bu doğrultuda su kalitesi "çok iyi/iyi durum" veya "orta durum" şeklinde sınıflandırılmaktadır.

1.6. Kirleticilerin Önceliklendirilmesi

Su ortamında oldukça fazla ve farklı özelliklere sahip kirletici bulunmaktadır. Bu kirleticilerin fazla olması nedeniyle, bir su ortamında yapılması planlanan izleme programında hangi kirleticilerin seçileceği veya değerlendirileceği konusunda kirleticileri önceliklendirme yöntemleri bulunmaktadır. Aynı şekilde, arıtma tesisleri için yapılması planlanan revizyonların, kirleticilerin ekolojik ve insan sağlığı etkileri açısından en yüksek potansiyele sahip olanların belirlenmesi için önceliklendirme çalışmaları yapılmıştır.

Türkiye'de tehlikeli maddelerin seçimi için yürütülen metodoloji kapsamında verilerin sınırlı olduğu 5000'den fazla madde arasından 150 tehlikeli maddeden oluşan kirleticiler listesini oluşturmak için farklı değerlendirme yöntemleri (toplam tehlike değeri, toplam etki değeri, kombine izleme tabanlı ve modelleme tabanlı öncelik belirleme) kullanılarak önceliklendirme yapılmıştır. Nihayetinde, Avrupa Birliği'nin 45 öncelikli kirleticisinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş ve tatlı sularda 195 tehlikeli maddenin izlenmesi ve kontrol edilmesi önerilmiştir (Karahan vd., 2017).

Yüzey sularında organik kirleticilerin tehlike ve maruz kalma (kirletici konsantrasyonu ve sıklığıyla ilişkili) potansiyellerine dayalı çok kriterli bir tarama yaklaşımı kapsamında 405 adet organik kirletici önceliklendirme çalışması yapılmıştır (Zhong vd., 2022). Bu kirleticiler; tehlike potansiyeli, maruz kalma potansiyeli, ekolojik ve insan sağlığı etkileri için risk katsayıları kantitatif olarak analiz edilmiştir. Kirleticilerin tehlike potansiyeli kirleticinin kalıcılığı, biyoakümülasyonu ve toksisistesi kullanılarak belirlenmiştir. Değerlendirilen 405 organik kirleticiden, 123 bileşik tehlike potansiyeli ile maruz kalma potansiyeline göre ön seçim sürecini geçmiş, 96 kirletici insan sağlığı ve ekolojik etkiler açısından potansiyel riske sahip olmuş ve nihayetinde 20 adet kirletici öncelikli olarak belirlenmiştir (Zhong vd., 2022).

Öncelikli antibiyotikleri, çevredeki yaygınlık (Pv), mevcudiyet (O), kalıcılık, biyobirikim ve toksisite (PBT) temelinde sıralamak için 105 antibiyotik üzerinde çalışılmıştır. Pv ve

O kriterleri kapsamında 105 aday antibiyotik için >15.000 konsantrasyon değeri kullanılmış ve PBT değerlerini tahmin etmek için nicel yapı-aktivite ilişkileri kullanılmıştır. Sonuçta, PvOPBT yöntemi kullanılarak toplam 26 yüksek öncelikli antibiyotik tanımlanmıştır (Huang vd., 2022).

Bunun yanı sıra, kanalizasyon sistemlerine farklı türlerde kirleticiler ulaşmakta ve nihayetinde atıksu arıtma tesislerine gelmektedir. Atıksu arıtma tesislerinde bulunan kirleticiler içinde önceliklendirme çalışmaları bulunmaktadır. Verlichi vd. (2023) ile Trias vd. (2024) yılı çalışmalarında kirleticilerin seçimi için çeşitli yöntemler uygulanmış olup bunlardan biride her bir kirletici için kriter puanına dayanarak bir sonuç skoru elde etmeye dayanmaktadır.

Buna göre, tarımsal sulama için atıksu arıtma tesisi sularının kullanılması durumunda kirleticilerin seçimi için İspanya'da atıksu arıtma tesisi sularında 148 farmasötik seçilmiştir. Bu seçim hangi farmasötik bileşiklerinin izlenmeye ve araştırılmaya değer olduğunu belirlemiştir. Bu kirleticilerin seçimi için; ikincil arıtma sonrası arıtma çıkışlarında bulunmalarına, arıtmada giderilmelerine, biyolojik birikim potansiyellerine, sucul ortamda bulunan organizmalar için toksisitelerine ve karasal çevre ve insan sağlığı için oluşturdukları risklere (ürünlerin tüketimi yoluyla) göre belirlenmiştir. Maksimum puan olan 20 puanın %60'ını (20'den 12) alan kirleticiler yüksek endişe verici olarak kabul edilmiş ve böylece daha ileri önceliklendirme adımları için seçilmiştir (Castaño-Trias vd., 2024).

Verlicchi vd. (2023) tarafından yapılan çalışma ile, kirleticilerin ilk seçimi için mevcudiyet (O), kalıcılık (P), biyolojik birikim (B) ve toksisite (T) puanına dayanmaktadır. Puanlamada seçim için 15 puan sınırı belirlenmiştir. Bu durumda puanı 20 ile 15 arasında değişen nihai OPBT puanına sahip 116 öncelikli organik kirletici belirlenmiştir.

1.7. Kirleticilerin Çevresel Risk Değerlendirmesi

Pestisitlerin de içinde yer aldığı kirleticilerin su ortamı için risk oluşturduğu birçok çalışma ile belirlenmiştir. Kirleticilerin oluşturduğu kirliliğin tanımlanması ve risklerin belirlenmesi, sucul ortam için oldukça önemlidir. Çevrede oldukça fazla çeşitlilikte olan bu kirleticiler için önceliklendirme yöntemlerinden biri de risk bazlı önceliklendirmedir.

Evrensel olarak kabul görmüş tek bir yöntem olmamakla birlikte maruziyet ve tehlike bazlı yöntemlerin yanında risk bazlı önceliklendirmenin literatürde en uygun yöntem olarak da tanımlandığı görülmüştür (H. Kim & Kim, 2024)

Risk katsayısı (RQ) yaklaşımı, suda yaşayan organizmaların güvenliğini sağlamak için tür duyarlılık dağılımı eğrilerinden üretilen toksisite verilerine dayanmakta ve kirleticinin sucul organizmada öngörülen etkisiz konsantrasyonunu (PNEC) tahmin etmektedir. Bu yaklaşım, farklı coğrafi bölgelerdeki pestisitlerin su ekosistemlerinde oluşturduğu potansiyel ekolojik riskleri değerlendirmek için nicel bir araç olarak yaygın bir şekilde kullanılmıştır (Wang vd., 2025)

Pestisitlerle ilgili riskler, sucul ortamlarda biyolojik çeşitliliğin azalmasıyla ilişkilendirilmektedir. Genellikle, su ortamlarında yapılan ilk çevresel risk değerlendirmesi, risk katsayısını kullanılarak yapılmaktadır (Kim & Kim, 2024). Bu etki, Tahmini Çevresel Konsantrasyon (PEC) olarak adlandırılan maruz kalma seviyesine ve genellikle Tahmini Etkisiz Konsantrasyon (PNEC) ile temsil edilen ekotoksikolojik etkilere bağlıdır (Şimşek Uygun & Albek, 2022).

Bu konuda yapılan bazı çalışmalar doğrultusunda, Güney Kore'de Yeongsan Nehri Havzası'ndaki üç atıksu arıtma tesisinde izlenen 87 pestisit için riske dayalı önceliklendirme yapılarak belirlenmiştir. İzleme çalışmaları sonucunda 59 adet pestisit türü 0,852 ng/L ila 82,044 µg/L arasındaki konsantrasyonlarda bulunmuş ve RQ değerinin 1'i aştığı görülen 13 pestisit türü belirlenmiştir. Bu durum orta ve yüksek riske işaret etmekte olup iki pestisit türü olan metribuzin ve atrazin ait RQ değerleri 100'ü aştığı görülmüştür. Bu yüksek ekolojik riske işaret eden durum metribuzin ve atrazinin tespit edilen yüksek konsantrasyonları ve düşük PNEC'leri ile ilişkilidir (H. Kim & Kim, 2024). Benzer şekilde, Kore yüzey suların farmasötiklerin ve kişisel bakım ürünlerinin yer aldığı ve yüzey sularında tespit edilen 120 bileşik için önceliklendirmede riske dayalı yöntem kullanılmıştır. Buna göre RQ değeri orta veya yüksek riske sahip 6 ürün belirlenmiştir (Kim vd., 2023).

Güney Portekiz'de (Alqueva havzası) yapılan risk değerlendirmesi ile 3 pestisitin (terbutilazin, klorfenvinfos ve diazinon) maksimum çevresel konsantrasyonu dikkate alınarak hesaplanan RQ değerinin 1'den büyük olduğu ve yüksek risk oluşturduğu

sonucuna varmıştır. Bu değerlendirme sonucunda, pestisit konsantrasyonlarının Avrupa Çevre Kalite Standartları'nı karşılamasına rağmen Alqueva ekosistemindeki sudaki organizmalar için yüksek bir ekotoksikolojik risk gösterdiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca elde edilen veriler, numunelerin hiçbirinin (RQ>0,1) ihmal edilebilir bir risk sağlamadığı sonucuna varmıştır (Palma vd., 2014).

Pestisitlerin su ortamındaki karışımının değerlendirildiği Güneybatı Çin'deki Qingshitan Rezervuarı'nın yüzey suyunda (rezervuarlar, göletler ve akarsular) tespit edilen 15 organoklor pestisitten 283 örneklemede %45,23'ünün RQ değerinin 1'i aştığı tespit edilmiştir. Hesaplanan tüm maksimum kümülatif oran değerleri, bireysel pestisite dayalı risk değerlendirmesinin pestisit karışımı toksisitelerinden daha yüksek olduğu ve su ortamında pestisit karışımlarının ekolojik riski için özel dikkat gösterilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır (Zeng vd., 2018).

İspanya'da üç atıksu arıtma tesisini içeren bir çevresel risk değerlendirmesi çalışmasında 270 kirletici (69 adet pestisit) izlenmiştir. Bunlardan diuron ve mecoprop (RQ_{max}=1.51 ve RQ_{max}=1.39) pestisitler açısından en yüksek riski göstermiştir. Diuron, tüm nehir havzalarının atıksu arıtma tesisi ve aşağı akış örnekleme noktalarında orta riskleri göstermiştir. İmidakloprid, (RQ_{max}= 1,38) yüksek risk göstermiş ve diğer iki atıksu arıtma tesisi ve tüm nehir havzalarından aşağı akış örnekleme noktalarında orta risk göstermiştir. Bu üç bileşiğin tarımsal kullanımına izin verilmemesi dikkat çekici olup bu yasaklı ürünlerin bulunması sadece yasa dışı bir kullanımla bağlantılı değil, geçmiş kullanımlardan sonra veya kullanımlarına hala izin verilen ülkelerden ulaşımdan sonraki çevresel kalıcılığı ile ilgili olabilir. Aynı zamanda, bu maddelerin bazılarının yasal olarak başka amaçlar için kullanılabilir olduğu ile ilişkilendirilmiştir (Heredia vd., 2024).

Türkiye'de Susurluk alt havzasında yüzey suyu ve sedimanda organoklorlu insektisitlerinde içinde olduğu bir dizi kirletici araştırılmıştır. Kurak mevsimde, alfa-hch ve beta-hch, Kocaçay Nehri'nin Marmara Denizi'ne dökülen bölgesinde, dieldrin ise nehir sedimanlarında çok yüksek tespit edilmiştir. Sediman örneklerinin daha yüksek seviyede kirletici içerdiği görülmüş, DDT ve metabolitleri ise neredeyse tüm istasyonlardan alınan sediman örneklerinde bulunmuştur. Tespit edilen tüm kirleticilerin tehlike oranı katsayısı (Hazard Quotient) 1'in üzerinde hesaplanmış ve bu da nehir sisteminde yüksek risk olduğunu göstermiştir (Filazi vd., 2023).

Türkiye'de Eskişehir ilinin kuzeyinde yer alan Borabey Göleti ve su havzasında su ve toprakta pestisit varlığı çalışılmış ve tehlike katsayısı sonuçlarına göre DDT'ler ve HCH'ler için risk katsayısı tahminleri 1'in altında hesaplanarak risk kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir (Şimşek Uygun & Albek, 2022).

1.8. Pestisitlerin Özellikleri ve Arıtımı

Pestisitlerin rastgele kullanımları sonucunda çevre ve halk sağlığı açısından tehlike oluşturduğu çalışmalarla desteklenmektedir.

Çevre için risk oluşturan pestisitler; suda çözünmesi ile nehirler, akarsular ve göller gibi su ekosistemlerine geçerken, yağda çözünen pestisitlerde yağ asitlerine bağlanarak hayvan dokularında biyolojik olarak birikme eğilimindedir. Pestisitler, birden fazla maruz kalma yoluyla insan vücuduna girebilmekte ve girdikten sonra sağlık sorunlarına neden olabilmektedirler (Datta vd., 2025). Tez çalışması kapsamında yüksek çevresel riske sahip olduğu değerlendirilen pestisitler ve bunların metabolitlerine ilişkin bilgiler bu bölümde özetlenmiştir.

1.8.1. Heptaklor

Heptaklor (CAS 76-44-8), toprakta yaşayan zararlıların ve termitlerin yok edilmesinde kullanılan pamuk zararlıları, çekirgeler, diğer ekin zararlıları ve sıtma mikrobu taşıyan sivrisineklerle mücadele etmekte de kullanılan insektisittir (WEB_4).

Kimyasal Özellikleri; Kimyasal formülü $C_{10}H_5Cl_7$, beyaz- açık kahveye değişen mumsu katı görünümlü, yanmayan, suda çözünmeyen, solunum, deri emilimi ve/veya yutma yoluyla hastalığa neden olabilen çevrede tehlike oluşturmaktadır (NCBI, 2025). Uçuculuğundan dolayı atmosferde bulunmakta ve sudaki sedimanlara kolaylıkla bağlanmaktadır. Organizmaların yağlarında biyokonsantre olup hayvanlarda heptaklorepoksite metabolize olarak hayvansal yağlarda depolanabilir (WEB_4). Bakteriler ve hayvanlar heptakloru, heptaklorepoksit haline parçalarlar ve bu ana bileşiğinden daha çok çevrede bulunma olasılığına sahiptir (ATSDR, 2007). Heptaklorepoksit, heptaklordan daha kolay suda çözünür, sudan yavaşça buharlaşır ve aynı şekilde toprağa yapışır (Reed & Koshlukova, 2014). Heptaklorepoksitin, nehir

suyunda 8 hafta boyunca değişmeden kaldığı görülmüş ve heptaklorepoksit için en az 4 yıllık bir yarı ömür hesaplanmıştır (ATSDR, 2007).

Maruz Kalma Yolları; Mısır, küçük tahıllar ve sorgumu zararlılardan korumak için toprak ve tohum işlemede (1953-1974), tarımda ve evde karıncaları, tırtılları, kurtçukları, termitleri ve diğer zararlıları kontrol etmek için de kullanılmıştır (EPA, 2000). Evlerde termitleri yok etmek için kullanıldığı durumda yıllar sonra bile mekânın havasından maruziyet oluşabilmektedir. Heptaklor üreten veya kullanan işçiler temas ve hava yoluyla maruz kalabilmektedir. Heptaklora, balık, kabuklu deniz ürünleri, süt ürünleri, et ve kümes hayvanları gibi yiyeceklerden maruz kalınabildiği gibi içme suyunda da tespit edilmektedir (EPA, 2000). EPA içme suyunda 0,0004 mg/L'den fazla heptaklor ve 0,0002 mg/L'den fazla heptaklorepoksit bulunmamasını şart koşmaktadır. Ülkemizde heptaklor ve heptaklorepoksit için içme suyu arıtma tesislerinin çıkışında 0,03 µg/L A1 sınır değeri olarak belirlenmiş olup bu değerin üzerinde arıtma tesisinde giderilmesi gerekmektedir (İTSKAHY). Heptaklor ve heptaklorepoksit Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından "insanlar için olası kanserojen" olarak sınıflandırılmaktadır (Reed & Koshlukova, 2014)

Yasal Çerçeve; İnsan ve ekolojik riskleri konusundaki endişelerden dolayı çoğu gelişmiş ülkede heptaklor kullanımı ve satışı yasaklanmıştır (Reed & Koshlukova, 2014). 1988 yılında ABD'de yasaklanmış olup hala izin verilen tek ticari kullanımı, yeraltı güç trafolarında ateş karıncası kontrolü içindir (Reed & Koshlukova, 2014). Ülkemizde ise kullanımı yasaklanan aktif maddeler listesinde yer almakta olup 1979 yılında yasaklanmıştır (TOB).

1.8.2. DDT

Dikloro-difenil-trikloroetan, DDT (CAS 50-29-3) modern sentetik böcek ilaçlarının ilki olarak 1940'lı yıllarda geliştirilmiş, organoklorlu böcek ilacıdır (EPA, 2025a.)

Kimyasal Özellikleri; Kimyasal formülü $C_{14}H_9Cl_5$, kokusuz renksiz ve katıdır (ATSDR, 2022). DDT uygulandıktan sonra toprağa, suya veya havaya karışarak uzun menzilli olarak taşınır. Bu durum, DDT'nin ve metabolitlerinin Arktik veya Antarktika bölgeleri gibi oldukça uzak bölgelere bile yayılmasıyla sonuçlanmıştır. DDT ve metabolitlerinin biyolojik olarak parçalanması yavaştır ve bu bileşikler yağlı dokularda biyolojik olarak

birikebilmekte, böylece mikroorganizmada konsantrasyonun çevreden daha yüksek konsantrasyonda olmasına sebebiyet vermektedir (ATSDR, 2022).

Diklorodifenildikloroetan (DDD) ve diklorodifenildikloroetilen (DDE), DDT'nin hem bozunma ürünleri hem de metabolitleridir. Aynı zamanda, DDD bir böcek ilacı olarak üretilerek kullanılmıştır (ATSDR, 2022). Teknik olarak kullanılan DDT'nin en önemli bileşeni 4,4 DDT olup suda çözünürlüğü çok düşük ve lipofiliktir. Bu sebeple biyolojik birikimi yüksektir. DDT'nin çevrede oluşturduğu zararda en büyük pay 4,4 DDT olmakla birlikte kullanımı sonucunda doğaya 2,4 DDT, 4,4 DDD de bulaşmaktadır (Çakıroğulları & Seçer, 2009).

Su ve nemli toprak yüzeyinde buharlaşarak atmosfere karışır, toprağa güçlü şekilde adsorbe olur, suda çok az çözünür böylece toprağın alt katmanlarına ve yeraltına sızması azdır (ATSDR, 2022). Yasaklanmasının üzerinden yıllar geçmesine rağmen yapılan çalışmalar göstermiştir ki, hâlâ DDT kalıntıları mevcuttur (Silva vd., 2019).

Maruz Kalma Yolları; DDT tarımsal ve tarımsal olmayan alanlarda geniş kullanım alanlarına sahip bir pestisit olup sıtma, tifüs, böcek kaynaklı insan hastalıklarıyla mücadelede kullanılmış ve hayvancılık üretiminde, kurumlarda, evlerde ve bahçelerde böcek kontrolünde kullanılmıştır (ATSDR, 2022). DDT, DDE, DDD ve bunların izomerlerine maruziyeti de yasaklanmasından bu yana azalmaktadır (ATSDR, 2022). DDT ve metabolitlerine maruz kalmanın baskın yolu, kullanımdan kaynaklı veya biyolojik olarak birikmiş kalıntılarını içerme potansiyeli olan gıdaların (et, balık, kümes hayvanları, süt ürünleri) tüketilmesinden kaynaklıdır. Ülkemizde toplam DDT için içme suyu arıtma tesislerinin çıkışında 0,1 µg/L A1 sınır değeri olarak belirlenmiş olup bu değerin üzerinde arıtma tesisinde giderilmesi gerekmektedir (İTSKAHY).

Yasal Çerçeve; 1972 yılında ABD'de yasaklanmıştır. Ülkemizde ise kullanımı yasaklanan aktif maddeler listesinde yer almakta olup 1985 yılında yasaklanmıştır (TOB).

1.8.3. Endosülfan

Endosülfan (CAS 959-98-8), çay, kahve, pamuk, meyve ve sebze, pirinç ve tahıl gibi birçok bitkide bulunan böcek ve akarlar için kullanılan klorlu hidrokarbon insektisit ve akarsittir (Türkyılmaz & Küçükçongar, 2021)

Kimyasal Özellikleri; Kimyasal formülü $C_9H_6Cl_6O_3S$ olup hidroliz, fotoliz ve biyodegradasyon yollarıyla doğal bozunması daha yüksek toksisiteye sahip endosülfan sülfat, endosülfan lakton, endosülfan eter, endosülfan alkol ve endosülfan diol metobolitlerinin oluşmasına neden olur (Türkyılmaz & Küçükçongar, 2021). Küresel atmosferdeki en bol pestisitlerden biri olup Kuzey kutbu gibi uzak yerlere uzun menzilli taşıma yapabilir (Weber vd., 2010).

Maruz Kalma Yolları: Endosülfanın kalıntı konsantrasyonları en yaygın olarak tarımsal faaliyete yakın bölgelerde belirlenmiştir. Genel yetişkin nüfus ve çocuklarda maruziyet beslenme yoluyla olmaktadır (ATSDR, 2015).

Yasal Çerçeve: Kalıcılığı, uzun menzilli taşınımı, biyolojik birikimi, toksisitesi gibi etkilerinden dolayı 2011 yılında Stockholm Sözleşmesi listesine eklenmiş ve 2012 yılından beri üretim ve kullanımı Dünya'da yasaklanmıştır (Türkyılmaz & Küçükçongar, 2021). Ülkemizde ise 2010 yılında kullanımı sonlandırılmıştır (TOB).

1.8.4. Paration

Paration (CAS 56-38-2) tarımda, halk sağlığında ve termit kontrolünde yaygın olarak kullanılan, çeşitli zararlıları ve hastalıkları uzaklaştıran bir böcek ilacıdır. Ayrıca termit kontrolü ve odun koruma için de kullanılmıştır (Kiran vd. 2024).

Kimyasal Özellikleri: Kimyasal formülü $C_{10}H_{14}NO_5PS$ olup çevreye salındığında, fotoliz (ışıkla reaksiyona girerek bozunma), hidroliz (suyla reaksiyona girme) ve biyodegradasyon (toprak ve sudaki parationu bozan mikroorganizmalar) yoluyla bozunurlar. Parationun balıklarda ve diğer su organizmalarında biyoakümülasyona uğraması beklenmez. Parationun topraklardaki hareketliliğinin düşük olması beklenir, bu nedenle toprak yüzeyinden yeraltı suyuna geçmesi beklenmez (ATSDR, 2017). Topraktaki yarı ömrü 1–12 haftadır ve su canlılarında nispeten az bir biyoakümülasyon potansiyeline sahiptir (Kiran vd. 2024).

Maruz Kalma Yolları: Paration hala tescilli bir böcek ilacı olarak kullanıldığında, genel nüfusun maruziyeti kontamine gıdaların yutulması ve solunması yoluyla gerçekleşmiş olabilir. En yüksek maruziyeti alma olasılığı, parationun üretimi, formülasyonu, işlenmesi ve uygulanmasıyla ilgilenenler, uygun kısıtlı giriş aralıklarından önce işlenmiş

tarlalara giren çiftlik işçileri ve paration veya paration içeren atıkların bertarafıyla ilgilenen işçilerdir (ATSDR, 2017)

Yasal Çerçeve: Paration toksisitesi nedeniyle, ürünlerin çoğunun üretimi Eylül 2000'den itibaren iptal edilmiş ve kalan son kullanım ürünlerinin üretimi ve tescili de 2006'da sona ermiştir (ATSDR, 2017). Ülkemizde, ethyl paration'un 1979'da, parathion methyl'in kullanımı ise 2011'de sonlandırılmıştır (TOB). Ayrıca, ülkemizde toplam paration ve paration metil için içme suyu arıtma tesislerinin çıkışında 0,1 µg/L A1 sınır değeri olarak belirlenmiş olup bu değerin üzerinde arıtma tesisinde giderilmesi gerekmektedir (İTSKAHY).

1.8.5. Aldrin

Aldrin (CAS 309-00-2), termitleri, çekirge, solucan gibi zararlıları öldürmek için toprağa uygulanan bir pestisit türüdür. Bitki ve hayvanlarda dieldrin'e kolaylıkla dönüştürülebildiğinden gıda ve hayvanlarda aldrin kalıntısına nadiren rastlanmaktadır (WEB_5).

Kimyasal Özellikleri: Kimyasal formülü $C_{12}H_8Cl_6$'dır. Topraktaki partiküllere sıkıca bağlanıp uçuculuğu yüksek olmasından dolayı toprakta kaybolur (WEB_5). Kalıcılığı ve hidrofobik özellikleri nedeniyle aldrin ve özellikle dönüşüm ürünleri (dieldrin) biyokonsantre olmaktadır. Dieldrin'in kalıcılığı nedeniyle çeşitli su sistemlerinde tespit edilmiştir (ATSDR, 2022b). Aldrin ve dieldrin için yüksek organik karbon bölümlenme katsayısı (Koc) değerleri, topraktan geçişin ve yeraltı suyunun kirlenmesinin minimum olacağını göstermektedir (ATSDR, 2022b).

Maruz Kalma Yolları: Aldrin insanlara toksik olmakla birlikte mesleki maruziyette karaciğer ve safra kesesi kanserlerinde önemli düzeyde artış görülmüştür. Aldrin'in kansere yol açtığına ilişkin tek kanıt hayvan deneylerine dayanmakta olup IARC tarafından insanlarda kanserojen olarak sınıflandırmamıştır (WEB_5).

Yasal Çerçeve: Ülkemizde dieldrin'in 1971'de, aldrin'in 1979'da kullanımı sonlandırılmıştır (TOB). Ayrıca, ülkemizde aldrin ve dieldrin için içme suyu arıtma tesislerinin çıkışında 0,03 µg/L A1 sınır değeri olarak belirlenmiş olup bu değerin üzerinde arıtma tesisinde giderilmesi gerekmektedir (İTSKAHY).

1.8.6. Disülfoton

Disülfoton (CAS 298-04-4), tarla ve sebze mahsullerinde zararlı haşereleri kontrol etmek için kullanılan bir böcek ilacıdır. Sıklıkla tarımda kullanılmasına rağmen, az miktarlarda ev ve bahçe bitkilerinde ve bataklıklarda sivrisinek kontrolünde kullanılmakta olup disülfoton'un kullanımı son yıllarda azalmıştır (NCBI, 2025a).

Kimyasal Özellikleri: Kimyasal formülü $C_8H_{19}O_2PS_3$'dür. Mevcut çevresel seviyelerinin artık pestisit olarak kullanılmaması nedeniyle çok düşük olması beklenmekte ve daha önce havada, bazen de kaynağından uzak yerlerde bulunmaktadır. Toprağa emilir ve parçalanması günler hatta aylar sürebilmektedir (ATSDR, 2022b).

Maruz Kalma Yolları: Kullanımı devam eden alanlardan genel nüfusun maruz kalmasına yol açıp açmadığı bilinmemekte olup ABD'de birden fazla tehlikeli atık sahasındaki topraklarda tespit edilmiştir. Bu durum, tehlikeli atık sahalarının yakınında yaşayan nüfusun disülfoton maruziyeti riski altında olabileceğini göstermektedir (ATSDR, 2022b). Disülfoton içme suyunda hiç tespit edilmemiş olup genel nüfusun içme suyu tüketiminden kaynaklanan disülfoton maruziyetinin ihmal edilebilir düzeyde olması muhtemeldir (ATSDR, 2022b).

Yasal Çerçeve: Disülfoton, 2009 yılında EPA tarafından toksisitesinden dolayı pestisit olarak kullanımı iptal edilmiş ve kalan stokların 2011'e kadar satılmasına izin verilmiştir. ABD tarımında kullanımı en son 2016'da bildirilmiştir (ATSDR, 2022b). Ülkemizde kullanımı yasaklanan bitki koruma ürünleri aktif madde listesinde bulunmamaktadır.

1.8.7. Hekzaklorobenzen

Hekzaklorobenzen (CAS 118-74-1), ilk olarak tohumları işlemeden kullanılmış, mantarlar üzerine etkili, buğday sürmesiyle mücadele için yaygın olarak kullanılmış olan HCB, ayrıca bir takım endüstriyel kimyasalların ve yanma proseslerinin yan ürünü ve pestisitlerin içinde yabancı madde olarak bulunmaktadır (WEB_6).

Kimyasal Özellikleri: Kimyasal formülü C_6Cl_6'dır (ATSDR, 2015a). Yağda yüksek oranda çözünebilir ve anne sütü ile taşınabilir (WEB_6). Hekzaklorobenzen kalıcı bir bileşiktir. Suda önemli ölçüde parçalanmaz, hidroliz reaksiyonlarına karşı dirençlidir ve fotolitik bozunmaya belirgin şekilde maruz kalmaz (ATSDR, 2015a).

Maruz Kalma Yolları: Genel nüfusun maruz kalma potansiyeli yasaklanması sebebiyle çok sınırlı görünmete olup özellikle et, kümes hayvanı ve balık gibi yüksek lipid içeriğine sahip olan kirlenmiş gıda maddelerinin yutulması yoluyla çok düşük konsantrasyonlarda maruz kalınabilir (ATSDR, 2015a).

Yasal Çerçeve: ABD'de 1984 yılına kadar (pestisit olarak son kayıtlı kullanımı) bir fungisit olarak kullanılmıştır. Az miktarda hala kimya laboratuvarlarında araştırma amaçlı kullanılabilmektedir (ATSDR, 2015a). Ülkemizde hekzaklorobenzen 1985'de kullanımı sonlandırılmıştır (TOB). Ayrıca, ülkemizde hekzaklorobenzen için içme suyu arıtma tesislerinin çıkışında 0,05 µg/L A1 sınır değeri olarak belirlenmiş olup bu değerin üzerinde arıtma tesisinde giderilmesi gerekmektedir (İTSKAHY).

1.8.8. Heksaklorosiklohekzan

Heksaklorosiklohekzan (CAS 319-84-6), sekiz izomerin karımışı olan HCH'nin en iyi çalışılmış izomeri γ-HCH (lindan)'dir (ATSDR, 2024). Lindan ise geniş spektrumlu bir insektisit olarak kullanılmaktadır (WEB_7).

Kimyasal Özellikleri: Kimyasal formülü $C_6H_6Cl_6$'dır. Soğuk bölgelerde oldukça kalıcı olup, biyolojik olarak birikme özelliğine sahiptir ve çevresel ortamlarda düşük konsantrasyonlarda bile çevre ve insanlar için yüksek derecede toksisite oluşturabilmektedir (Pelitli & Kurt 2021).

Maruz Kalma Yolları: HCH formülasyon süreci ve kullanımı sırasında çevreye geçmiş olup izomerleri kalıcıdır ve yakın zamanda havada, suda ve toprakta tespit edilmiştir. İnsan maruziyeti, kirlenmiş ortam havasından, içme suyundan veya kirli topraktan veya deri yoluyla temas ederek düşük seviyelerde HCH'ye maruz kalabilir. İçme suyu kaynaklarının önemli bir kirleticisi değildir (ATSDR, 2024).

Yasal Çerçeve: HCH izomerleri (α-, β- ve γ-) 2009 yılında kalıcı organik kirletici olarak tanımlanmış ve tüm dünyada HCH stoklarının da bertaraf edilmesi ve/veya HCH içeriklerinin geri dönülemez şekilde parçalanması zorunluluğu gerektirmiştir (Pelitli & Kurt 2021). Ülkemizde heksaklorosiklohekzan 1985'de kullanımı sonlandırılmıştır (TOB). Ayrıca, ülkemizde heksaklorosiklohekzan için içme suyu arıtma tesislerinin

çıkışında 0,1 µg/L A1 sınır değeri olarak belirlenmiş olup bu değerin üzerinde arıtma tesisinde giderilmesi gerekmektedir (İTSKAHY).

Pestisitlerin incelendiği bu bölümde bazı pestisitlerin yasaklı olduğu görülmektedir. Pestisitler, kalıcılıkları veya yasadışı kullanımları nedeniyle hala çevrede tespit edilebilmektedir (Gama vd., 2017) (Atasoy, A. 2019).

1.8.9. Pestisitlerin Su ve Atıksudan Giderimi

Pestisitler atıksu arıtma tesisine çeşitli nedenlerle gelmekte olup atıksudan giderilmesi için kapsamlı bir araştırma yapılması gerekmektedir.

Pestisitlerin sudan giderimi proses bazında değerlendirilmiş, tekil prosesler için değerlendirilmenin yanı sıra aynı zamanda kombine sistemler için de çalışmalar yapılmıştır (Saleh vd., 2020). Sudan pestisiti arıtma yönteminin uygunluğu, çoğunlukla pestisitin doğasına ve seçilen yöntemin etkinliğine bağlıdır (Rachna vd., 2024).

Pestisitlerin atıksu arıtma tesislerinde giderilmesi kapsamında bireysel pestisitlerin belirli proseslerde giderimine ilişkin literatürde oldukça fazla sonuç bulunmaktadır. Örneğin bazı pestisit türlerinin giderilmesine ait arıtma proseslerinin karşılaştırıldığı çalışmaya göre fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma türleri olan klasik prosesler pestisit gideriminde yetersiz bulunmuştur (Aksangür & Nalbur, 2018).

Bu kapsamda, ileri oksidasyon prosesleri ile entegre biyolojik arıtma yöntemleri (membran biyoreaktör-ozonlama, yapay sulak alanlar-UV vb.), biyolojik arıtmalarla membran prosesleri (örneğin, membran biyoreaktör-ters ozmoz, ardışık biyolojik reaktör-nanofiltrasyon vb.) gibi farklı arıtma yöntemi kombinasyonları, bu çeşitli kirleticilerin giderimini artırmak için geliştirilmiştir. Bu arıtma yöntemleri iyi performans göstermiş olmasının yanında, tesis yapılmadan önce ele alınması gereken iki ana kısıtlama enerji tüketimi ve yüksek maliyet olarak belirtilmiştir (Parida vd., 2021).

1990-2023 yılları arasında pestisitlerin üretimi ve uygulanmasında oluşan atıksuların arıtımı konusunda yapılan çalışmaların derlendiği güncel bir çalışma kapsamında araştırmalar 4 gruba ayrılarak araştırmaların hangi yönde ilerlediğine dair sonuçlar elde edilmiştir.

- Biyolojik Yöntemler; aktif çamur, biyofilm yöntemleri ve sulak alan arıtma sistemleri dâhil olduğu biyobozunma yöntemleri pestisit içeren atıksu için önemli bir potansiyel olmasına rağmen, kimyasal işlemlerin arıtma etkilerine ulaşması için daha uzun bir süre gerektirmektedir (Li & Du, 2025).

- İleri Oksidasyon Yöntemleri; çeşitli pestisitleri gidermede önemli bir verimlilik göstererek, gelecekteki geliştirme potansiyeline sahip teknolojiler olarak tanımlanmıştır. Sürekli olarak yenilenmekte ve iyileştirilmektedir. Ancak pratik uygulamaları yüksek enerji ihtiyacı, artan işletme maliyetleri ve ölçeklendirmenin teknik ve ekonomik zorlukları gibi zorlukları bulunmaktadır (Li & Du, 2025).

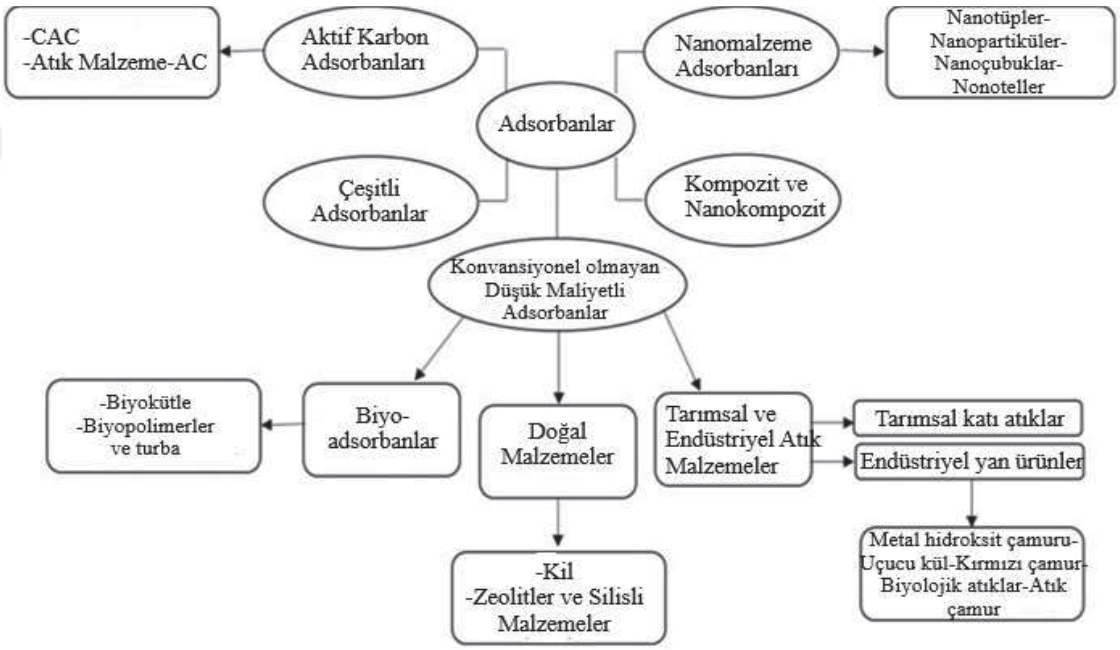
- Nanomalzemeler; benzersiz fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri (yüksek yüzey alanı, geliştirilmiş reaktif aktivite ve işlevselleştirme kolaylığı gibi) nedeniyle nanomalzemeler, adsorbanlar, katalizörler, biyolojik bozunma yardımcıları ve membran malzemeleri olarak pestisit içeren atıksularda büyük potansiyel göstermiştir. Nanomalzemelerin önemli potansiyeline rağmen, pratik uygulamalarında birkaç zorluğun olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra, nanomalzemelerin çevresel toksisitesi ve uzun vadeli etkileri henüz tam olarak anlaşılmadığından daha fazla araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır (Li & Du, 2025).

- Adsorbsiyon; maliyet etkinliği, üstün verimliliği ve çevreye zararsızlığı ile yaygın olarak tercih edilir bir yöntemdir. Alternatif arıtma yöntemlerine kıyasla, adsorpsiyon basitlik sağlar, ek kimyasal reaktiflere olan ihtiyacı ortadan kaldırır ve rejenerasyon ile adsorbanın birden çok kez kullanılmasına imkân sağlar. Adsorbanların seçimi ve çalışma koşullarının optimize edilmesiyle, yönetim maliyetlerini azaltırken aynı zamanda arıtma verimliliğini önemli ölçüde artırma imkânı sağlar. Çalışma sonucuna göre, ilerideki araştırmalar, daha verimli ve hedefli adsorpsiyon malzemeleri geliştirmeyi ve bu adsorbanların sürdürülebilirliğini ve çevre dostu olma özelliğini iyileştirmeyi hedeflemelidir (Li & Du, 2025).

Aktif karbon, biyokömür, kil mineralleri (bentonit, kil, montmorillonit, zeolit, diatomlu toprak), sentetik polimerler ve nanomalzemeler yaygın adsorbanlardır (Li & Du, 2025). Aktif karbonun adsorpsiyon süreci karmaşık olup birden fazla faktöre bağlıdır. Aktif

karbonun yapısı ve yüzey kimyası, adsorbanın kimyasal özellikleri (polarite, iyonik yapı, fonksiyonel gruplar, çözünürlük) ve adsorpsiyon çözeltisinin özellikleri (sıcaklık, pH, adsorban konsantrasyonu, diğer türlerin varlığı) gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler, adsorbsiyonun mekanizmasını, sürecinin kapsamını ve gücünü belirler (Marczewski vd.,2016).

Atıksu arıtmada kullanılan adsorbanların detaylı sınıflandırılması *Şekil 3*'de verilmiştir.



Şekil 3. Atıksu Arıtma Tesisinde Kullanılan Adsorbanların Farklı Türleri (Saleh vd., 2020)

Farklı pestisit türlerin birlikte ve iyi bir verimle sudan giderilmesi için birçok yöntemi bir arada değerlendiren kapsamlı bir çalışmaya göre aktif çamur prosesi ve adsorpsiyonun (tarımsal adsorbanlar ile) yüksek verimle farklı pestisitlerin giderilmesinde etkin olduğu sonucuna varılmıştır (Saleh vd., 2020). Ayrıca, yüksek maliyet sebebiyle muz kabukları, hurma çekirdekleri, hindistan cevizi lifleri gibi tarımsal atıklar da aktif karbon kaynağı olarak incelenmiş ve sudan pestisit giderimi için başarılı denemeler sağlamıştır (Saleh vd., 2020).

Atıksuda ortaya çıkan kirleticilerin giderilmesi için biyolojik ve kimyasal arıtma teknolojilerinin incelendiği çalışmaya göre pestisitler ve ilaçlar, biyolojik aktif karbon tarafından iyi bir giderim verimliliği göstermiştir. Kimyasal oksidasyon işlemleri

(ozonlama/H_2O_2, UV fotoliz/H_2O_2 ve foto-fenton) pestisitlerin %100'üne kadarını başarıyla giderebilmiştir. Ozonlama ve ardından biyolojik aktif karbon temelli hibrit bir sistem, pestisitlerin gideriminde oldukça verimli bulunmuştur. (Ahmed vd., 2017).

Membran biyoreaktörler ve fenton işlemi gibi teknolojiler, performansı artırmak ve kısıtları aşmak için biyolojik teknolojilerle entegre edilebilir (Rachna vd., 2024).

2013 yılında İspanya'daki atıksu arıtma tesislerinden elde edilen sonuçlar pestisitlerin gideriminde yetersiz bulunmuş olup bu başarısız pestisit giderme verimine sahip prosesler şöyledir;

- Biyolojik arıtma,
- Biyolojik arıtmayı takip eden fosfor ve azotun giderilmesi,
- Biyolojik arıtma ve ardından ileri arıtma (koagülasyon, flokülasyon, klorlama ve mikrofiltrasyon) (Saleh vd., 2020).

İleri oksidasyon yöntemleri ve membran gibi ileri arıtma teknolojileri önemli miktarda ilk yatırım gerektirirken, biyolojik arıtma ve adsorpsiyon teknolojileri işletme ve bakım maliyetleri açısından daha ekonomik seçenekler sağlayabilir (Li & Du, 2025).

Pestisitleri gidermek için en iyi yöntemi ve malzemeyi seçerken, pH, matris türü, sıcaklık, su ve toprak miktarı, yatırım maliyeti, pestisitlerin çözünürlüğü vb. gibi tüm parametreleri dikkate almak son derece önemlidir (Marican, A., & Durán-Lara, 2018)

Kayseri AAT atıksuyunda gerçekleştirilen çalışma ile ön çökeltim sonrası tespit edilen kirleticilerin membran ve adsorbsiyon giderim verimleri kapsamında, bu yöntemler ile arıtılabilirlikte yüksek giderim elde edilmiştir (Ergin, 2023). Adsorpsiyonla arıtımın tercih edilmesi durumunda Freundlich izotermi ve PİD kinetik modellerinin daha uyumlu olduğu, membran filtrasyon ile arıtımın tercih edilmesi durumunda işletme maliyetleri göz önünde bulundurularak NF270 membran filtrenin kullanılmasının optimum olacağı belirlenmiş olup yüksek debili atıksu olması sebebiyle maliyet açısından değerlendirilmesi önerilmiştir (Ergin, 2023).

2. BÖLÜM

MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Alanın Tanıtımı

Çalışma alanı olarak 2004 yılında faaliyete alınan 110.000 m^3/gün kapasiteye sahip Kayseri İleri Biyolojik Arıtma Tesisi (Kayseri AAT) seçilmiştir. Tesis prosesi uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi ile işletilmekte olup Melikgazi, Kocasinan, Talas, Hacılar ve İncesu ilçelerinde oluşan evsel nitelikli atıksuları arıtarak Kızılırmak Nehri'ne bağlanan Karasu Deresi'ne deşarj etmektedir (KASKİ).

Kayseri AAT'de mevzuat doğrultusunda Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) gereğince evsel nitelikli atıksuların alıcı ortama deşarj kriterleri kapsamında düzenli analizler (pH, BOİ, KOİ, AKM) yapılmaktadır. Bunun yanı sıra, çeşitli çalışmalarda farklı kirleticiler de atıksu arıtma tesisinde izlenmiş olup, bu tez çalışması kapsamında 2018 yılında gerçekleştirilmiş olan pestisit analizleri kullanılmıştır (Ergin, 2023).

2.2. Kirleticilerin Önceliklendirilmesi

Kirleticilerin çeşitli olduğu atıksularda, kirleticilerin önceliklendirilmesi için Verlicchi vd. (2023) tarafından yürütülen çalışmanın temel amacı, geri kazanılmış suyun yeniden kullanılması durumunda atıksularda bulunan endişe verici organik ve mikrobiyal kirleticilerin izleme programlarına yalnızca sınırlı sayıda kirleticinin dâhil edilmesi için en temsil edici kirleticilerin seçilmesidir. Bu kirleticilerin seçimi için uygulanan metodolojilerden biri de kirleticilerin dört kriterine (mevcudiyet, kalıcılık, biyolojik birikim ve toksisite) dayanmaktadır (Verlicchi vd., 2023). Bu tez kapsamında, Verlicchi vd. (2023) tarafından yapılan metodoloji ile pestisitlerin puanlaması yapılmıştır.

Önceliklendirme metodolojisinin temel adımları;

- atıksuda bulunan kirleticileri literatürde veya saha araştırmalarında bulunan konsantrasyonlarıyla birlikte içeren veri setinin oluşturulması,

- literatüre ve uzman görüşüne göre belirlenen eşik değerlerine dayalı olarak farklı kriterlere 1 (düşük çevresel etki) ile 5 (yüksek çevresel etki) arasında bir puan atamasının yapılması,

- puanların toplamı olarak elde edilen nihai puana göre kirleticilerin sıralaması ve farklı ihtiyaçlar için temsili kirleticilerin seçilmesidir. Kirleticilerin seçimi Tablo 2'de verilen kriterlere göre yapılmıştır.

Tablo 2. Kirleticilerin Seçimine İlişkin OPBT Kriterleri ve Gerekçeleri

Kriterler	**Gerekçe**
Mevcudiyet (O)	İkincil arıtma atıksuyunda kirletici konsantrasyonu ne kadar yüksekse, beklenen çevresel etkisi de o kadar yüksek olur. Ölçülen kirleticinin konsantrasyonu *C* ile verilir.
Kalıcılık (P)	Bir kirleticinin kalıcılığı, ikincil biyolojik arıtımda giderilmeye karşı direnciyle alakalıdır. Kirleticinin yüzdelik giderim verimi *R* ne kadar düşükse kalıcılığı (P) o kadar yüksektir. Kalıcılık, giderim verimliliği R'nin bir fonksiyonudur *(P*= 100-*R).*
Biyobirikim (B)	Biyobirikim, suda yaşayan organizmaların yağ dokusunda birikme potansiyelini ifade etmektedir. Bileşiğin lipofilisitesi ile ilişkilidir. Bu özellik, oktanol-su dağılım katsayısı (*K*ow) ile ifade edilebilir, yani *n*-oktanoldeki kirletici konsantrasyonu ile sudaki konsantrasyon arasındaki orandır. *K*ow ne kadar yüksekse kirletici biyobirikim potansiyeli de o kadar yüksektir.
Toksisite (T)	Toksisite, suda tahmin edilen etkisiz konsantrasyon ($PNEC_{su}$) ile ifade edilmektedir, yani herhangi bir trofik seviye ile ilgili olarak suda yaşayan organizmalar üzerinde hiçbir toksisite etkisinin ölçülmediği en düşük kirletici konsantrasyonudur. $PNEC_{su}$ ne kadar düşükse, toksisite o kadar yüksektir.

Daha sonraki aşamada, her bir kirletici için kriter değerlerine bir puan atanmıştır. Puan, sınırları 1 ve 5 aralığında olup 1 puan, beklenen düşük çevresel etkiye sahip değerlere karşılık gelirken 5 puan en yüksek çevresel etkiye işaret etmektedir. Belirli bir kirletici için hiçbir değer mevcut değilse, varsayılan puan 5 olarak dikkate alınmıştır. Bunun sebebi bilginin eksik olduğu durumlarda en kötü durum senaryosunu dikkate almak içindir. Her kriter için Tablo 3'de kriter puanları verilmiştir.

Tablo 3. Önceliklendirme OPBT Kriterleri İçin Belirlenen Puanlar (Verlicchi vd., 2023)

Kriter	**Mevcudiyet (O)**	**Kalıcılık (P)**	**Biyobirikim (B)**	**Toksisite (T)**
Belirlenen Puan	Konsantrasyon *C* (ng/L)	Giderim Verimi (%)	Log*Kow*	$PNEC_{su}$ (µg/L)
1	$C < 50$	$R > 80$	Log*Kow*<1	$PNEC_{su} > 100$
2	$50 \leq C < 100$	$60 < R \leq 80$	$1 \leq$ Log*Kow*<2	$10 < PNEC_{su} \leq 100$
3	$100 \leq C < 500$	$40 < R \leq 60$	$2 \leq$ Log*Kow*<3	$1 < PNEC_{su} \leq 10$
4	$500 \leq C < 1000$	$20 < R \leq 40$	$3 \leq$ Log*Kow*< 4,5	$0{,}1 < PNEC_{su} \leq 1$
5	$C \geq 1000$	$R \leq 20$	Log*Kow*≥4,5	$PNEC_{su} \leq 0{,}1$
	Hiçbir değer mevcut olmadığı durumda	Hiçbir değer mevcut olmadığı durumda	Hiçbir değer mevcut olmadığı durumda	Hiçbir değer mevcut olmadığı durumda değil

Veri setine dahil edilen her bir bileşik *i* için dört kriter (*j*= 1,2,3,4) puanlandığında ve her bir kriter için aynı ağırlık *w* (1'e eşit) varsayılarak, son OPBT puanı ($S_{final,\,i}$) dört kriter puanının toplamı olarak elde edilir (Denklem 1). Nihai puanı 4 ile 20 arasında dağılmakta olup, kirleticilerin aldığı son OPBT puanının azalan sırasına göre sıralanıp en yüksek S_{final} puanına sahip olanlar, seçilecek potansiyel adaylardır.

$$S_{final,i} = \sum_{j=1}^{4} S_{i,j} \qquad (1)$$

$LogK_{ow}$ değerleri için National Center for Biotechnology Information (WEB_1) ve Agency for Toxic Substances and Disease Registry (WEB_2) (3-4-9-11-13-15 nolu pestisitler için) sitelerinden yararlanılmıştır. $PNEC_{tatlısu}$ değerleri için NORMAN Ecotoxicology Veritabanı (WEB_3) kullanılmıştır. Aldrin ve Dieldrin için YSKY'de yer

alan YO-ÇKS değeri dikkate alınmıştır. Alfa-HCH için ise Doğanay (2014) çalışmasında yer alan YO-ÇKS değeri dikkate alınmıştır.

2.3. Kirleticilerin Çevresel Risk Değerlendirmesi

Kayseri AAT atıksuyunun sucul organizmalarda oluşturacağı çevresel risk, tehlike katsayısı Risk quotient-RQ yöntemi ile değerlendirilmiştir (H. Kim & Kim, 2024). Pestisitlerin bireysel olarak risk katsayıları Denklem 2'ye göre belirlenmiştir.

$$RQ = \frac{MEC}{PNEC} \quad (2)$$

MEC: Kirleticilerin ölçülen çevresel konsantrasyonu (µg/L)

PNEC: Su ekosisteminde olumsuz bir etkinin oluşmayacağı kirletici konsantrasyonu (µg/L)

Pestisitlerin bireysel değerlendirilmesinde ölçülen ortalama konsantrasyonların yanında maksimum konsantrasyonda dikkate alınabilir. Bunun sebebi, en kötü durumda oluşturacak etkinin değerlendirilmesidir. Bunun yanında, sucul ortamda birden fazla pestisitin su kirliliği oluşturması ve ilişkili ekotoksikolojik riskin tam bir görünümünü elde etmek için aynı alanda bulunan çeşitli ve farklı pestisitlerin Tehlike Katsayıları'nın toplamı olarak (HQ_T) Denklem 3'e göre hesaplanmıştır.

$$HQ_T = \sum_{i=1}^{n} HQ_i \quad (3)$$

HQ_T: Tehlike katsayılarının toplamı

HQi: Her bir pestisitin bireysel katsayısı

Böyle bir katkı modeli, belirli bir alanda farklı pestisitlerin birlikte bulunmasından kaynaklanan potansiyel ekotoksikolojik riski değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. Yalnızca burada dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Bu katkı modeli, öngörülemeyen sinerjik veya zıt etkileri dikkate almamaktadır. Tehlike katsayısı, kirleticinin aldığı puan 1'in altındaki ise o kirleticinin sıfır veya düşük riski olduğunu gösterirken, 1 ile 10 arasındaki değerleri orta düzeyde risk öngörür ve 10'un üzerindeki değerleri ise yüksek çevresel risk olduğunu göstermektedir (Barbieri vd., 2021).

RQ değerinin yüksek olması, hedef kimyasalın yüksek bir kalıntı seviyesine veya düşük öngörülen etkisiz konsantrasyon (PNEC) değeriyle ilişkili olup, tersi durumda daha düşük RQ değerlerine sahip kimyasallar suda daha hızlı ayrışabilir/dönüşebilir veya ilgili alanda daha az sıklıkta kullanılabilir (Sun vd., 2025).

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi Atıksu Karakterizasyonu

Kayseri AAT'nin ham ve arıtılmış atıksuyunda 19 adet pestisit türünün (aldrin, alfa-hch, alfa-endosülfan, beta-endosülfan, dieldrin gama-hch, hekzaklorobenzen, heptaklor, 2,4 DDE, 4,4 DDE, 2,4 DDD, 4,4 DDD, 2,4 DDT, 4,4 DDT, heptaklor-endo-epoksit, heptaklor-ekzo-epoksit, disülfoton, paration-etil, paration-metil) analizi yapılmış ve tesisin ham atıksuyunda 10 ng/L ile 2860 ng/L aralığında kirletici konsantrasyonu tespit edilmiştir. Girişte bazı dönemlerde tespit edilen parametrelerden dieldrin ve 4,4 DDD tesis çıkışında tespit edilmemiştir. Diğer 17 parametre ise en az bir defa çıkışta görülmüştür. Tespit edilen pestisitlerin minimum ve maksimum konsantrasyonları ile tespit sayıları Tablo 4'de verilmektedir.

Kayseri AAT'de aynı dönemde yapılan KOİ, Toplam-P, yağ-gres analiz sonuçlarına göre atıksu karakterizasyonunun endüstriyel nitelikli atıksuya benzediği belirlenmiştir (Ergin, 2023). Kayseri AAT atıksu karakteristiğinin endüstriyel nitelik kazanmasının sebepleri, organize sanayi bölgeleri dışında konumlanmış endüstri tesislerinin atıksularını kanalizasyon şebekesine vermeleri, yoğun yağış döneminde Kayseri OSB AAT atıksularının kanalizasyon şebekesine girişim yaptığı ve merdiven altı olarak ifade edilen galvaniz kaplama tesisleri olarak değerlendirilmiştir (Ergin, 2023). Kayseri AAT, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 21 "Evsel Nitelikli Atık Suların Alıcı Ortama Deşarj Standartları"na göre $BOİ_5$ 75 mg/L, KOİ 180 mg/L, AKM 200 mg/L ve pH 6-9 olan standartları sağlayarak alıcı ortama deşarj etmek durumundadır.

Tablo 4. Kayseri AAT'nde Atıksuyunda Tespit Edilen Kirletici Konsantrasyonları ve Tespit Sayısı

No	Parametre	CAS No	Birim	Konsantrasyon	Girişte Tespit Edilen Ölçüm Sayısı	Çıkışta Tespit Edilen Ölçüm Sayısı
1	Aldrin	309-00-2	µg/L	0,05-0,4	6	6
2	Alfa-HCH	319-84-6	µg/L	0,01-0,09	10	4
3	Alfa Endosülfan	959-98-8	µg/L	0,07-0,82	10	9
4	Beta Endosülfan	33213-65-9	µg/L	0,02-0,11	4	3
5	Dieldrin	60-57-1	µg/L	0,01-0,02	3	0
6	Gamma- HCH	58-89-9	µg/L	0,01-0,07	8	3
7	Hekzaklorobenzen	118-74-1	µg/L	0,03-0,09	10	6
8	Heptaklor	76-44-8	µg/L	0,02-0,16	6	4
9	2,4 DDE	3424-82-6	µg/L	0,06-0,45	10	8
10	4,4 DDE	72-55-9	µg/L	0,01-0,88	5	2
11	2,4 DDD	53-19-0	µg/L	0,02-0,05	5	3
12	4,4 DDD	72-54-8	µg/L	0,01-0,04	4	0
13	2,4 DDT	789-02-6	µg/L	0,01-0,06	4	2
14	4,4 DDT	50-29-3	µg/L	0,01-0,16	10	8
15	Heptaklor-endo-epoksit	28044-83-9	µg/L	0,02-1,54	4	2
16	Heptaklor-ekzo-epoksit	1024-57-3	µg/L	0,05-2,86	6	3
17	Disülfoton	298-04-4	µg/L	0,09-0,62	10	4
18	Paration-etil	56-38-2	µg/L	0,15-0,8	10	9
19	Paration-metil	298-00-0	µg/L	0,01-0,54	10	5

3.2. Atıksudaki Pestisitlerin Önceliklendirilmesi

Kayseri AAT çıkış suyunda tespit edilen pestisitler için Tablo 3'te yer alan kriterler doğrultusunda puanlama yapılarak her bir parametre için sonuç puanı elde edilmiştir. Bunun için öncelikli olarak atıksuda tespit edilen maksimum konsantrasyon değeri (mevcudiyet), giderim verimi (kalıcılık), pestisitin oktanol su dağılım katsayısı (biyobirikim), tatlı su ekosisteminde olumsuz bir etkinin oluşmayacağı kirletici konsantrasyonu (toksisite) değerleri belirlenmiştir.

Kriterler doğrultusunda, atıksuda bulunan pestisit konsantrasyonu ne kadar yüksek ise puanlaması o kadar yüksek olmuştur. Tespit konsantrasyonu 1000 ng/L ve üzerinde olması durumunda en yüksek puanı almıştır. Bunun tam tersi olarak giderim verim

yüzdesi yüksek ise daha düşük puanlamaya sahip olmuştur. Giderim verimi %20'nin altında olan ve çıkışta tespit edilen kirleticiler en yüksek puanı almıştır. Dikkate alınacak giderim verimi hesabında, çıkışta tespit edilmeyen kirletici için çıkış değeri LOQ değerinin yarısı (0,005 μg/L) olacak şekilde hesaplanmış ve en kötü senaryo durumu belirlemek için en düşük giderim verimi dikkate alınmıştır. Bunun sebebi, pestisitlerin farklı aylardaki giderim verimlerinin değişiklik göstermesidir.

Kirleticilerin ham atıksularda önemli ölçüde yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu, buna karşılık ikincil ve hatta üçüncül atıksu arıtımından sonra arıtılmış sularda kalıcılığını gösterdiği çalışma ile (Köck-Schulmeyer vd., 2013) Kayseri AAT'deki giderim verimleri kıyaslandığında aynı şekilde kirleticilerin atıksu arıtma tesislerinde gideriminin değişken olduğu belirlenmiş olup Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Kayseri AAT'de Tespit Edilen Kirleticilerin Giderim Verimleri

Kirletici		**Minimum Giderim Verimi**	**Maksimum Giderim Verimi**
1	Aldrin	30	83,3
2	Alfa-HCH	0,0	94,4
3	Alfa-Endosülfan	22,2	92,9
4	Beta-Endosülfan	50	90,9
5	Dieldrin	50	75
6	Gamma-HCH	50	100
7	Hekzaklorobenzen	66,7	94,4
8	Heptaklor	28,6	87,5
9	2,4 DDE	36,4	97,1
10	4,4 DDE	50	90,9
11	2,4 DDD	50	90
12	4,4 DDD	50	100
13	2,4 DDT	50	91,7
14	4,4 DDT	20	83,3
15	Heptaklor-endo-epoksit	66,2	75
16	Heptaklor-ekzo-epoksit	80,0	99,8
17	Disülfoton	26,7	98,2
18	Paration-etil	21,9	96,9
19	Paration-metil	50,0	90,7

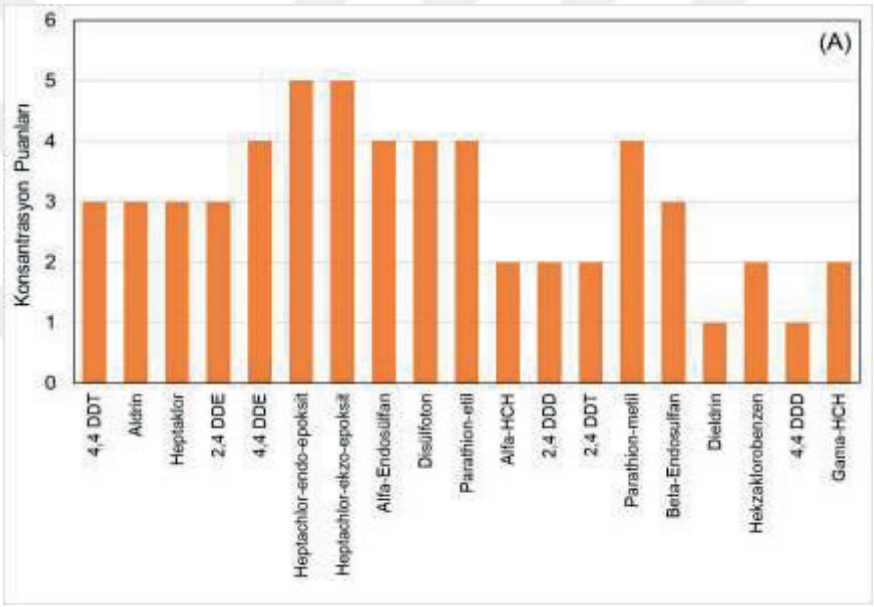
Kirleticinin oktanol su dağılım katsayısı olan $LogK_{ow}$ değeri yükseldikçe daha yüksek puan almaktadır. Bunun sebebi, biyobirikim potansiyelinin yüksek olması olup 4,5 $LogK_{ow}$ değeri olan pestisitler en yüksek puanı almıştır. Tatlı su ekosisteminde olumsuz bir etkinin oluşmayacağı kirletici konsantrasyonu olan $PNEC_{tatlısu}$ değeri düşük olan kirleticinin sudaki olumsuz etkisi yüksek olacağından ilgili kirletici daha yüksek puan almıştır. Sonuç olarak, puanlamaya esas olan bir veri tablosu elde edilerek detayları Tablo 6'da verilmiştir. Bu veri tablosunda yer alan sonuçlar, Tablo 3'deki kriterlere karşılık gelen puanlara göre bir değer almıştır.

Tablo 6. Kayseri AAT'de Ölçülen Pestisitlerin Konsantrasyon, Kalıcılık, Biyobirikim, Toksisite Değerleri

Parametre		**Mevcudiyet (O)**	**Kalıcılık (P)**	**Biobirikim (B)**	**Toksisise (T)**
		Maksimum Konsantrasyon (ng/L)	**Minimum GiderimVerimi (%)**	**LogK_{ow}***	**$PNEC_{tatlısu}$ (µg/L)****
1	Aldrin	400	30,0	6.5	0.01
2	Alfa-HCH	90	0	3.8	0.02
3	Alfa-Endosülfan	820	22,2	3.83	0.000005
4	Beta-Endosülfan	110	50,0	3.62	0.000005[1]
5	Dieldrin	20	50,0	5.4	0.02
6	Gama-HCH	70	50,0	3.72	0.02
7	Hekzaklorobenzen	90	66,7	5.73	0.0078
8	Heptaklor	160	28,6	6.1	0.00000017
9	2,4 DDE	450	36,4	6	0.00076
10	4,4 DDE	880	50,0	6.51	0.0004
11	2,4 DDD	50	50,0	6.02	0.0039
12	4,4 DDD	40	50,0	6.02	0.0005
13	2,4 DDT	60	50,0	6.79	0.000006
14	4,4 DDT	160	20,0	6.91	0.01
15	Heptaklor-endo-epoksit	1540	66,2	5.4	0.011
16	Heptaklor-ekzo-epoksit	2860	80,0	5.4	0.00000017
17	Disülfoton	620	26,7	4.02	0.082
18	Paration-etil	800	21,9	3.83	0.005
19	Paration-metil	540	50,0	2.86	0.02

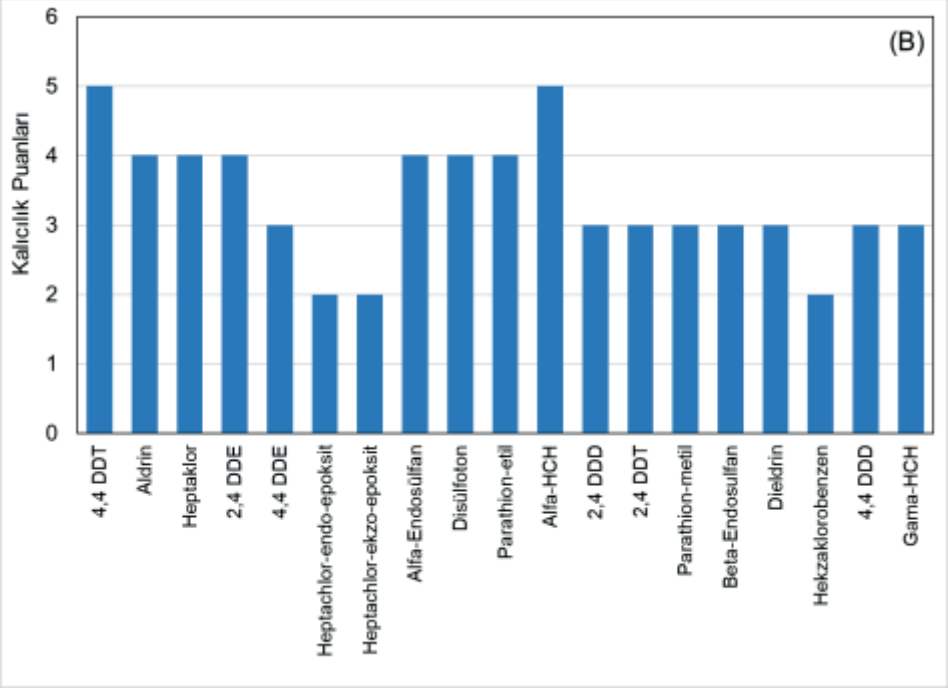
* LogKow; oktanol su dağılım katsayısı, kirleticinin hidrofobisitesi veya hidrofilisitesi için ölçü birimidir.
** En düşük $PNEC_{tatlısu}$; tatlı su ekosisteminde olumsuz bir etkinin oluşmayacağı kirletici konsantrasyonudur.
1 $PNEC_{tatlısu}$ değeri alfa endosülfan ile aynı olarak alınmıştır.

Pestisitlerin konsantrasyonlarına göre aldığı puanlar Şekil 4'de görülmektedir. Puanlamada atıksu girişinde ölçülen maksimum kirletici konsantrasyonları dikkate alınmıştır. Böylece, heptaklor-ekzo-epoksit ve heptaklor-endo-epoksit kirleticileri sırasıyla 2860 ng/L ve 1540 ng/L konsantrasyonlarda ölçülmüş, Tablo 3'deki puanlama kriterine göre 1000 ng/L üzerinde konsantrasyon sebebiyle 5 puan almıştır. Dieldrin ve 4,4 DDD kirleticileri sırasıyla 20 ng/L ve 40 ng/L konsantrasyonları ile 1 puan almıştır. Bu da, pestisit konsantrasyonunun yüksek olması kriter puanlamasında yüksek puan almasıyla sonuçlanmaktadır.



Şekil 4. Pestisitlerin Konsantrasyonlarına Göre Puanları

Farklı atıksu arıtma proseslerinde pestisitlerin farklı verimlerde giderildiği bilinmektedir (Ryu vd., 2022). Örneğin, fiziksel ve biyolojik arıtma ile DDT'nin giderim verimi %50 olarak verilmiştir (Aksangür & Nalbur, 2018). Kayseri AAT'de ölçülen pestisitlerin giderim verimliliği aylık bazda oldukça değişken olup belirlenirken puanlama yapılırken en düşük giderim verimi durumu dikkate alınarak en kötü senaryo durumunda sonuç puanı elde edilmiştir (*Şekil 5*). Bu durumda, alfa-hch'nin Mayıs ayı giriş ve çıkış suyunda aynı olduğu görülmüş ve tesiste giderilmediği için en yüksek puanı almıştır. Bunun yanı sıra, 4,4 DDT %20 giderim verimi ile en yüksek puanı almıştır. Puanlama kriterlerine göre %80'in üzerinde giderim verimi 1 puan alırken %20'nin altında düşük giderim verimi için 5 puan almıştır. Böylece düşük giderim, yüksek puan anlamına gelmektedir.

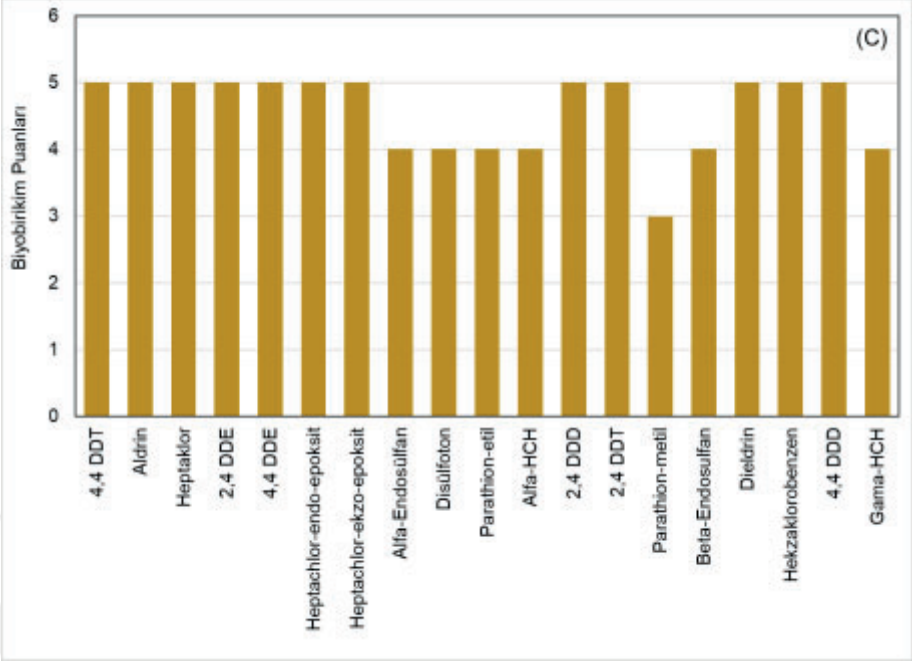


Şekil 5. Pestisitlerin Giderim Verimlerine Göre Puanları

Biyobirikim durumu için kirleticinin hidrofobisitesi veya hidrofilisitesine bağlı olarak puanlama yapılmaktadır. Burada yüksek LogK_{ow} sahip kirleticiler suda çözünürlüğü düşük, hümik topraklar gibi organik yüzeylerde tutunma eğilimi yüksek ve sucul organizmalarda biyobirikim yapma eğilimindedir (ÇŞİDB, 2020).

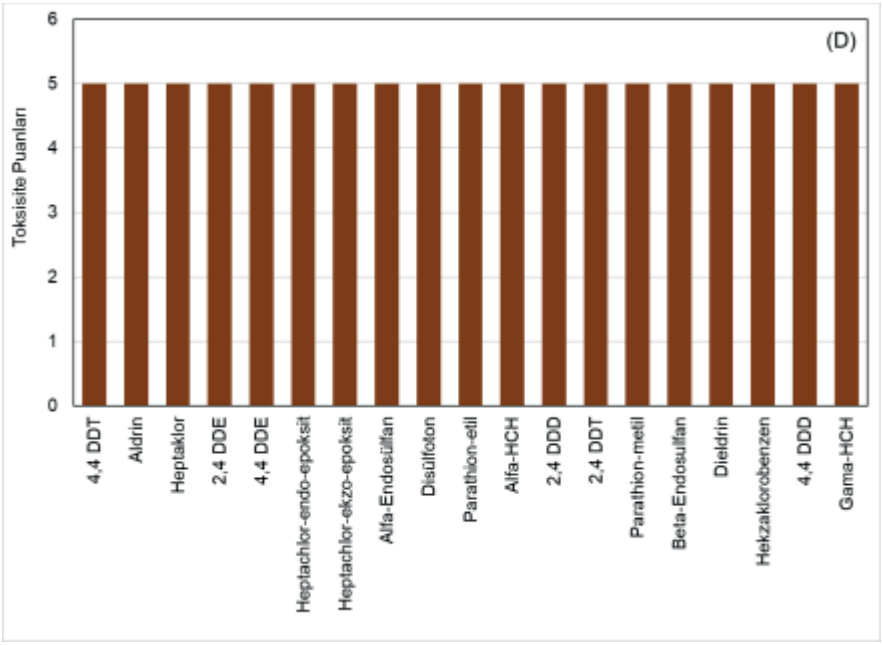
Çoğu pestisit yüksek bir oktanol/su dağılım katsayısına (log K_{ow} > 1) sahiptir. Bu durum, ekosistemde biyolojik olarak birikmelerini neden olur (Datta vd, 2025). Bu çalışmadaki 19 pestisitten 12'si log K_{ow} > 5'e sahiptir. Ayrıca, Stockholm Sözleşmesi'ne göre, log K_{ow} >5 olan kimyasallar, biyolojik olarak yüksek birikebilirliğe sahip olarak belirtilmektedir.

Kayseri AAT'de tespit edilen kirleticilerin çoğunun sucul organizmalarda birikim yapma potansiyeli yüksek olduğundan 5 puan almıştır (*Şekil 6*). Bu da, puanlama kriterlerine göre oktanol su dağılım katsayısının 4,5 ve üzerinde olduğu durumda gerçekleşmektedir. Burada görüldüğü üzere, 3 puanın altında kirletici bulunmamaktadır. Çalışmadaki bu pestisit türlerinin canlı organizmalarda birikimi muhtemel görünmektedir.



Şekil 6. Pestisitlerin Biyobirikimlerine Göre Puanları

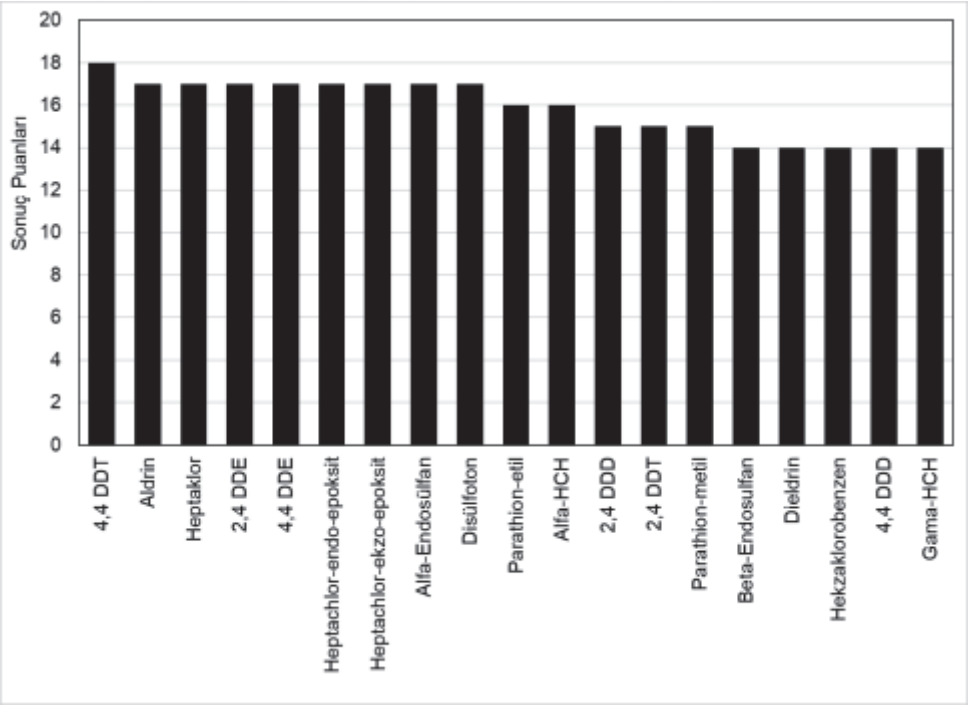
Çalışmadaki kirleticilerin tamamının $PNEC_{tatlısu}$ değerleri oldukça düşük olduğundan tüm kirleticiler en yüksek puanı almıştır (*Şekil 7*). Dolayısıyla, bu pestisitlerin tatlı su ekosisteminde olumsuz bir etkinin oluşmayacağı kirletici konsantrasyonunun Tablo 3'deki kriterlere göre kıyaslandığında oldukça düşük olduğu ve bunun sonucunda yüksek puan aldığı görülmektedir.



Şekil 7. Pestisitlerin Toksisitelerine Göre Puanları

Kayseri AAT'de izlemesi yapılan kirleticilerin, Verlicchi vd. (2023)'nin çalışmasında verilen metodoloji ve kriterlere göre puanlandırması yapılmış ve toplam puan 20 üzerinden 14-18 aralığında puan aldığı görülmüştür. 4,4 DDT en yüksek puan olan 18 puan almıştır. Bunun sebebi, 4,4 DDT'nin orta seviyede (3 puan) tespit edilen giriş konsantrasyonuna rağmen biyobirikimi, etkisiz konsantrasyonu ve atıksu arıtma tesisinde giderim veriminin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Bunun yanında, 8 pestisit türü (aldrin, heptaklor, 2,4-DDE, 4,4-DDE, heptaklor-endo-epoksit, heptaklor-ekzo-epoksit, alfa-endosülfan ve disülfoton) 17 puan almıştır. Bu pestisitlerin oldukça yüksek puan almasının, genellikle biyobirikim potansiyelleri ve toksisiteleriyle ilişkili olduğu görülmüştür (*Şekil 8*). Pestisitlerin 19 tanesinden 12'sinin hidrofobik olması dolayısıyla canlı organizmalarda birikme eğiliminin yüksek olduğu bildirilmektedir (Warne, M. S. J., & Reichelt-Brushett, A. (2023). Tüm kirleticilerin toksisitesi ise en yüksek puanı almıştır. En düşük sonuç puanına sahip gama-hch'nin 14 puan aldığı, ancak yine de toksisite açısından yüksek riske sahip olduğu belirlenmiştir (*Şekil 8*).



Şekil 8. Pestisitlerin Sonuç Puanları

Sonuç olarak, pestisitlerin tamamının sonuç puanlarının 14-18 arasında değiştiği görülmüştür (Tablo 7). Bu da en düşük olabilecek 4 puan değerinin bu çalışmada olmadığı dolayısıyla bu pestisitlerin alıcı ortamdaki etkilerinin yüksek olabileceğini göstermiştir. Literatür araştırmasından görüldüğü üzere pestisitlerin sonuç puanlarının hepsinin dikkate değer olduğu ve önem gösterilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 7. Kirleticilerin Sonuç Puanları Tablosu

Parametre		Mevcudiyet	Kalıcılık	Biyobirikim	Toksisite	Sonuç Puanı
1	4,4 DDT	3	5	5	5	18
2	Aldrin	3	4	5	5	17
3	Heptaklor	3	4	5	5	17
4	2,4 DDE	3	4	5	5	17
5	4,4 DDE	4	3	5	5	17
6	Heptachlor-endo-epoksit	5	2	5	5	17
7	Heptachlor-ekzo-epoksit	5	2	5	5	17
8	Alfa-Endosülfan	4	4	4	5	17
9	Disülfoton	4	4	4	5	17
10	Paration-etil	4	4	4	5	16
11	Alfa-HCH	2	5	4	5	16
12	2,4 DDD	2	3	5	5	15
13	2,4 DDT	2	3	5	5	15
14	Paration-metil	4	3	3	5	15
15	Beta-Endosulfan	3	3	4	5	14
16	Dieldrin	1	3	5	5	14
17	Hekzaklorobenzen	2	2	5	5	14
18	4,4 DDD	1	3	5	5	14
19	Gama-HCH	2	3	4	5	14

Verlicchi vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, Kayseri AAT'de ölçülen pestisitlerle çakışmamakla birlikte 24 farklı pestisit türü için puanlama sonuçları elde edilmiştir. Sonuç puanlarının 10-20 aralığında olduğu görülmüştür. En yüksek puan fenpropimorf'a ait bulunmuştur. Fakat bu pestisitler diğer eleme yöntemlerinden geçemediği için önceliklendirilmemiştir.

3.3. Pestisitlerin Alıcı Ortamda Çevresel Kalite Standartları

Ülkemizde, yerüstü sularının biyolojik, kimyasal, fiziko-kimyasal ve hidromorfolojik kalitelerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması hususları "Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY)"nde yer almaktadır. ÇKS, söz konusu yönetmeliğin Ek-5'inde bulunan "Tablo 4: Yerüstü Su Kaynakları için Belirli Kirleticiler ve ÇKS" ve "Tablo 5: Yerüstü Su Kaynakları için Öncelikli Maddeler ve ÇKS" ile belirlenmiş olup, atıksu arıtma tesisi çıkışında ölçülen pestisitlerin alıcı ortama deşarj olduğu noktada seyrelme hesabı yapılarak değerlendirilmiştir. Alıcı ortamda analizlerin yapılarak nihai sonucun elde edilmesi kirleticilerin alıcı ortamdaki durumunu daha net ortaya koyacaktır.

Atıksuda analizi yapılan kirleticilerden alıcı ortamda bulunan 9 kirleticinin (aldrin, dieldrin, gama-hch, hekzoklorobenzen, heptaklor, 4,4 DDE, 4,4 DDD, 4,4 DDT, paration-metil) YSKY göre ÇKS değeri bulunmaktadır. Bu değerlendirme için seyrelme hesabı yapılarak atıksuyun deşarj edildiği noktadaki konsantrasyonu tahmin edilmiştir. Bu kapsamda atıksu debisi ve Karasu Deresi'nin daha önce ölçülmüş debileri dikkate alınmıştır. Kayseri AAT'den 2015 yılı deşarj edilen su 172.800 m^3/gün olup (Çevre Durum Raporu, 2015), Molu HES Akım Gözlem İstasyonu'nda Karasu Deresi'nin debisi 469.287 m^3/gün (DSİ, 2015) olarak ölçülmüştür.

Atıksu Deşarj Debisi: 172.800 m^3/gün

Karasu Debisi: 296.747 m^3/gün

Karasu Deresi'nde kirleticilerin konsantrasyonlarının tahminlerinde, derede bu kirleticilerin bulunmadığı varsayılarak karışım noktası konsantrasyonları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Denklem 4).

$$C = \frac{(C_1 x Q_1)+(C_2 x Q_2)}{Q_1+Q_2} \quad (4)$$

C: Karışım sonrası kirletici konsantrasyonu (µg/L)

C_1: Su kaynağındaki kirletici konsantrasyonu (µg/L)

C_2:Derşarj edilen atıksuyun kirletici konsantrasyonu (µg/L)

Q_1:Su kaynağının debisi (m^3/gün)

Q_2: Deşarj edilen atıksuyun debisi (m^3/gün)

Tablo 8. Kirleticilerin Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Çevresel Kalite Standartlarına Göre Değerlendirilmesi

Kirleticiler		CAS No	YO-ÇKS Nehirler/Göller (µg/L)	MAK-ÇKS Nehirler/Göller (µg/L)	Tahmini Ortalama Çevresel Konsantrasyon[1,2] (µg/L)	Tahmini Maksimum Çevresel Konsantrasyon[2] (µg/L)
1	Aldrin	309-00-2	0,01	-	0,012	0,052
2	Alfa-HCH	319-84-6			0,003	0,004
3	Alfa-Endosülfan	959-98-8			0,055	0,140
4	Beta-Endosülfan	33213-65-9			0,002	0,004
5	Dieldrin	60-57-1	0,02	0,93	0,002	0,002
6	Gamma-HCH	58-89-9	1,4	4	0,002	0,004
7	Hekzaklorobenzen	118-74-1	-	0,05	0,004	0,007
8	Heptaklor	76-44-8	2×10^{-7}	3×10^{-4}	0,009	0,026
9	2,4 DDE	3424-82-6			0,011	0,026
10	4,4 DDE	72-55-9	0,02	0,2	0,008	0,041
11	2,4 DDD	53-19-0			0,002	0,004
12	4,4 DDD	72-54-8	0,025	0,025	0,002	0,002
13	2,4 DDT	789-02-6			0,002	0,004
14	4,4 DDT	50-29-3	0,01	0,65	0,006	0,018
15	Heptaklor-endo-epoksit	28044-83-9			0,021	0,191
16	Heptaklor-ekzo-epoksit	1024-57-3			0,005	0,022
17	Disülfoton	298-04-4			0,014	0,044
18	Paration-etil	56-38-2			0,064	0,195
19	Paration-metil	298-00-0	1,4	2,5	0,006	0,018

1) LOQ değerinden düşük tespit edilen değerler yarısı olarak alınmıştır (2009/90/EC Article 5 "Calculation of mean values")
2) Alıcı ortamda ölçüm sonucu olmadığı için seyrelme hesabı yapılmıştır.

Buna göre, Kayseri AAT'de analizi yapılan pestisit türlerinden 9 tanesinin ÇKS değeri nehir ve göller için yıllık ortalama (YO-ÇKS) ve maksimum çevresel kalite standart (MAK-ÇKS) değerleri Tablo 8'de verilmektedir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY)'ne göre aldrin, dieldrin gamma-HCH, 4,4 DDE, 4,4 DDT, 4,4 DDD, paration-metil EK-5 Tablo 4'te yer alan "Belirli Kirletici" listesinde yer almakta, hekzaklorobenzen, heptaklor ise Tablo 5'te "Öncelikli Madde" listesinde bulunmaktadır.

YSKY'ne göre heptaklor YO-ÇKS ve MAK-ÇKS'yi aşmıştır. Aldrin ise YO-ÇKS değeri mevcut olup ÇKS'yi aşmıştır. Değerlendirmelerin daha net sonuçlar vermesi için alıcı ortamdaki analizlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Ancak, heptaklorun ÇKS değeri oldukça düşük olup, analiz sonuçlarının sağlıklı değerlendirilebilmesi için gerekli ölçüm hassasiyetinin sağlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda, 2009/90/EC sayılı Kimyasal Analiz ve Su Statüsünün İzlenmesi için Teknik Özellikler Direktifi'nin 4. Maddesine göre; tayin limiti, çevresel kalite standardı değerinin %30'una eşit ya da altında olmalıdır. Eğer, söz konusu parametre için çevresel kalite standardının veya minimum performans kriterini sağlayan analiz metodunun olmaması durumunda, izleme, aşırı maliyet gerektirmeyen mevcut en iyi teknikler kullanılarak sağlamalıdır.

3.4. Pestisitlerin Çevresel Risk Değerlendirmesi

Kayseri AAT'nin arıtılmış atıksularının risk bazlı değerlendirmesi için risk katsayısı (RQ) hesabı yapılmıştır. Tehlike katsayısının, bazı çalışmalarda 1'in altında olması risk olmaması veya düşük riski gösterirken, 1 ile 10 arasındaki değerler orta düzeyde risk öngörmekte ve 10'un üzerindeki değerler ise yüksek çevresel risk olduğunu göstermektedir. Daha ayrıntılı bir sınıflandırma ile pestisit riskini değerlendirmek için kriterler aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

- Risk katsayısı> 100 için "çok yüksek risk"
- 10> Risk katsayısı> 100 için "yüksek risk"
- 1> Risk katsayısı> 10 için "orta risk"
- 0.1> Risk katsayısı> 1 için "düşük risk"
- Risk katsayısı<0,1 için "ihmal edilebilir risk"i temsil eder (H. Kim & Kim, 2024)

Kayseri AAT çıkış sularında pestisit konsantrasyonlarına bağlı olarak elde edilen sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir. Bu kirleticilerin maksimum konsantrasyonlarına göre 7 tanesinin (alfa endosülfan, beta endosülfan, heptaklor, 4,4 DDE, 2,4 DDT, heptaklor-ekzo-epoksit ve paration-etil) tehlike katsayısı 100'ün üzerinde olup, çok yüksek çevresel risk taşıdığı görülmüştür. Bunlardan 2 tanesi (alfa endosülfan, beta endosülfan) tarım ilacı, 2 tanesi (heptaklor, 2,4 DDT) böcek ilacı, 3 tanesi (4,4 DDE, heptaklor-ekzo-epoksit) ise pestisit metabolitidir. Pestisitlerden 4 tanesinin (aldrin, 2,4 DDE, 4,4 DDD, heptaklor-endo-epoksit) yüksek risk, 5 tanesinin (hekzoklorobenzen, 2,4 DDD,4,4 DDT, disülfoton ve paration-metil) orta risk, 3 tanesinin ise düşük veya ihmal edilebilir risk taşıdığı belirlenmiştir. Sırasıyla maksimum tehlike katsayısına göre en yüksek puan alan heptaklor, heptaklor-ekzo-epoksit, alfa endosülfan ve beta endosülfan PNEC değerlerinin oldukça düşük olduğu ve sucul ortam için oldukça toksik olduğu görülmüştür. Ayrıca, atıksu arıtma tesisi arıtılmış sularının Karasu Deresi'ne deşarj olduğu noktada birden fazla pestisitin su kirliliği oluşturması ve ilişkili ekotoksikolojik riskin tam bir görünümünü elde etmek için aynı alanda bulunan çeşitli ve farklı kirleticilerin Tehlike Katsayıları'nın toplamı olarak (HQ_T) Denklem 3'e göre hesaplanmıştır. Her analiz döneminde LOQ'dan yüksek olarak tespit edilen pestisitler için risk katsayısı hesaplanmış olup bunların toplamı olarak HQ_T değeri en yüksek Nisan ayında 496.474 olarak belirlenmiştir. Bu duruma en büyük katkı PNEC değerinin oldukça düşük olması sebebiyle heptaklordan gelmiştir. En düşük değer ise Mart ayında çoğu pestisitin çıkışta tespit edilmemesinden dolayı HQ_T değeri 2 olarak belirlenmiştir. Pestisitlerin sonuç tehlike katsayı puanları Tablo 9'da sunulmaktadır. Eğer uzun vadeli bir analiz programı uygulanacaksa, optimize edilmiş tehlike katsayısı hesaplaması ile sucul organizmalar açısından potansiyel riskin daha doğru bir şekilde yansıtılması mümkün olabilir. Optimize edilmiş tehlike katsayısı aşağıda verilen Denklem 5'e göre hesaplanmaktadır (H. Kim & Kim, 2024).

$$RQ_f = RQxF = \frac{MEC}{PNEC}xF \tag{5}$$

RQ_f, ortalama *RQ* değerine ve *PNEC*'i aşan *MEC* sıklığına dayanarak hesaplanmaktadır. *F*, *PNEC*'i aşan *MEC* frekansını temsil eder ve bu *PNEC*'den daha yüksek olan numune sayısının toplam numune sayısına oranına karşılık gelmektedir (H. Kim & Kim, 2024b)

Tablo 9. Kirleticilerin Alıcı Ortamdaki Risk Katsayısı Sonuçları

Kirletici		Birim	PNEC (µg/L)	Atıksu Çıkış Ortalama Konsantrasyon (µg/L)	Atıksu Çıkış Maksimum Konsantrasyon (µg/L)	Risk Katsayısı (RQ-Ortalama)	Risk Katsayısı (RQ-Maksimum)
1	Aldrin	µg/L	0,01	0,032	0,14	3,2	14
2	Alfa-HCH	µg/L	0,02	0,007	0,01	0,4	0,5
3	Alfa-Endosülfan	µg/L	0,000005	0,151	0,38	30.100	76.000
4	Beta-Endosülfan	µg/L	0,000005	0,0065	0,01	1.300	2.000
5	Dieldrin	µg/L	0,02	0,005	0,005	0,3	0,3
6	Gamma-HCH	µg/L	0,02	0,0065	0,01	0,3	0,5
7	Hekzaklorobenzen	µg/L	0,0078	0,01	0,02	1,3	2,6
8	Heptaklor	µg/L	0,00000017	0,024	0,07	146.176	411.765
9	2,4 DDE	µg/L	0,00076	0,031	0,07	41	92
10	4,4 DDE	µg/L	0,0004	0,023	0,11	58	275
11	2,4 DDD	µg/L	0,0039	0,007	0,01	1,7	2,6
12	4,4 DDD	µg/L	0,0005	0,005	0,005	10	10
13	2,4 DDT	µg/L	0,000006	0,006	0,01	1.000	1.667
14	4,4 DDT	µg/L	0,01	0,017	0,05	1,7	5
15	Heptaklor-endo-epoksit	µg/L	0,011	0,057	0,52	5,2	47
16	Heptaklor-ekzo-epoksit	µg/L	0,00000017	0,013	0,06	73.529	352.941
17	Disülfoton	µg/L	0,082	0,038	0,12	0,5	1,5
18	Paration-etil	µg/L	0,005	0,175	0,53	35	106
19	Paration-metil	µg/L	0,02	0,016	0,05	0,8	2,5

3.5. Pestisitlerin Önceliklendirme ve Risk Katsayılarına Göre Değerlendirilmesi

Kayseri AAT ham ve arıtılmış atıksuyunda yapılan pestisit analizleri, ölçüm konsantrasyonları ve pestisitlerin özellikleri açısından puanlanmış ve sonuç puanları 14-18 arasında elde edilmiştir. Ayrıca, tesis arıtılmış atıksuyunda yapılan pestisit ölçüm sonuçları ve pestisitlerin toksisite verileri kullanılarak risk katsayısı (RQ) hesabı yapılmıştır. Bunun yanı sıra alıcı ortamda bu pestisitlerin, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde belirlenen ÇKS değerlerini aşıp aşmadığı belirlenmiştir. Her bir çalışmanın sonucunda elde edilen verilerin özeti Tablo 10'da verilmiştir.

Sonuçlar özetlenecek olursa, pestisitlerin önceliklendirilmesinde kullanılan sonuç puanlarının en düşük 14 olduğu görülmüştür. Bu durum, Kayseri AAT'de analiz edilen pestisitlerin puanlarının, Castaño-Trias vd. (2024) ile Verlicchi vd. (2023) tarafından sırasıyla 12 ve 15 puan üzerini gösterge ve endişe verici kirleticiler olarak belirleyen çalışmalardaki eşik değerlerin üzerinde olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu pestisitlerin yüksek öneme sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Risk katsayısı hesaplanan ve 100 ün üzerinde olup çok yüksek ve yüksek risk teşkil eden pestisitler; alfa endosülfan, beta endosülfan, heptaklor, 4,4 DDE, 2,4 DDT, heptaklor-ekzo-epoksit ve paration-etil'dir. Aynı zamanda, heptaklor yıllık ve ortalama ÇKS'yi aşmıştır.

Tablo 10. Pestisitlerin OPBT Puanları, Çevresel Kalite Standartları ve Risk Katsayısına Göre Sonuçları

No	Parametre	YO-ÇKS Nehirler/Göller	MAK-ÇKS Nehirler/Göller	Risk Katsayısı (RQ-Ortalama)	Risk Katsayısı (RQ-Maksimum)	OPBT Puanları
1	Aldrin	Kaldı	ÇKS Değeri Yok	Orta Risk	Yüksek Risk	17
2	Alfa-HCH	ÇKS Değeri Yok	ÇKS Değeri Yok	Düşük Risk	Düşük Risk	16
3	Alfa-Endosülfan	ÇKS Değeri Yok	ÇKS Değeri Yok	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	17
4	Beta-Endosülfan	ÇKS Değeri Yok	ÇKS Değeri Yok	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	15
5	Dieldrin	Geçti	Geçti	Düşük Risk	Düşük Risk	14
6	Gama-HCH	Geçti	Geçti	Düşük Risk	Düşük Risk	14
7	Hekzaklorobenzen	ÇKS Değeri Yok	Geçti	Orta Risk	Orta Risk	14
8	Heptaklor	Kaldı	Kaldı	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	17
9	2,4 DDE	ÇKS Değeri Yok	ÇKS Değeri Yok	Yüksek Risk	Yüksek Risk	17
10	4,4 DDE	Geçti	Geçti	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	17
11	2,4 DDD	ÇKS Değeri Yok	ÇKS Değeri Yok	Orta Risk	Orta Risk	15
12	4,4 DDD	Geçti	Geçti	Yüksek Risk	Yüksek Risk	14
13	2,4 DDT	ÇKS Değeri Yok	ÇKS Değeri Yok	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	15
14	4,4 DDT	Geçti	Geçti	Orta Risk	Orta Risk	18
15	Heptaklor-endo-epoksit	ÇKS Değeri Yok	ÇKS Değeri Yok	Orta Risk	Yüksek Risk	17
16	Heptaklor-ekzo-epoksit	ÇKS Değeri Yok	ÇKS Değeri Yok	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	17
17	Disülfoton	ÇKS Değeri Yok	ÇKS Değeri Yok	Düşük Risk	Orta Risk	17
18	Paration-etil	ÇKS Değeri Yok	ÇKS Değeri Yok	Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	16
19	Paration-metil	Geçti	Geçti	Düşük Risk	Orta Risk	15

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Çevrede, sucul ortamda, toprakta bulunan ve endişeye sebep olan pestisitlerin atıksu arıtma tesisindeki oluşumunu, giderimini, sucul ekosistemdeki varlığını ve çevresel kalite standartlarının incelendiği bu çalışma kapsamında;

- Kayseri AAT'nin giriş ve çıkışında pestisitler 12 ay süresinde izlenmiş ve pestisitlerin giderim verimlerinin değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Giderim veriminin yetersiz olduğu durumlarda, pestisitlerin alıcı su ortamlarına ulaşarak sucul ekosistemlerde birikme ve toksik etki gösterme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

- Tesiste ölçülen 19 adet pestisit için (aldrin, alfa-hch, alfa-endosülfan, beta-endosülfan, dieldrin gama-hch, hekzaklorobenzen, heptaklor, 2,4 DDE, 4,4 DDE, 2,4 DDD, 4,4 DDD, 2,4 DDT, 4,4 DDT, heptaklor-endo-epoksit, heptaklor-ekzo-epoksit, disülfoton, paration-etil, paration-metil) önceliklendirme çalışması yapılmıştır. Pestisitlerin önceliklendirilmesinde; ham atıksudaki maksimum konsantrasyonları, en düşük giderim verimleri, biyobirikim potansiyelleri ve toksisiteleri dikkate alınarak puanlama yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda en düşük puan olan 4'e sahip herhangi bir pestisit tespit edilmemiş, elde edilen sonuç puanlarının 14 ile 18 arasında değiştiği ve oldukça yüksek seviyelerde olduğu belirlenmiştir.

- En yüksek puan, kalıcılığı, biyobirikim potansiyeli ve toksisitesi yüksek olan 4,4-DDT'ye ait olup, bu pestisit tüm değerlendirme kriterlerinden yüksek puan

almıştır. İncelenen tüm pestisit türlerinin, tatlı su ekosistemlerinde olumsuz etki yaratmayacağı kabul edilen eşik konsantrasyon olan PNEC değerlerinin üzerinde olduğu belirlenmiş; bu durum özellikle 4,4 DDT'nin aldığı yüksek puanla da uyumlu bulunmuştur. Biyobirikim puanları 3 ile 5 arasında değişmekte olup, pestisitlerin büyük çoğunluğunun biyobirikim yapma potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

- Kayseri AAT'nin deşarj olduğu Karasu Deresi'nde pestisitlerin konsantrasyonları atıksu ve dere debisi dikkate alınarak seyrelme hesabı yapılmış ve Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Tablo 4 ve Tablo 5'de yer alan YO-ÇKS ve MAK-ÇKS değerlerine göre incelenmiştir. Heptaklor ve aldrin hariç diğer pestisitler ÇKS değerini aşmamıştır. Alıcı ortamdaki söz konusu parametrelere ait analizlerin değerlendirilmesi önerilmektedir.

- Sucul ortamda ÇKS değerini aşmaması, alıcı ortamda herhangi bir kirliliğin gelmediği varsayılması ve seyrelmeden kaynaklı olabileceği gibi, kuraklık yaşanması ve su kaynaklarının azaldığı durumda alıcı ortamda ÇKS değerinin aşılması ile sonuçlanabileceği değerlendirilmiştir.

- Çalışma kapsamındaki pestisitler için atıksu arıtma tesisi çıkışındaki konsantrasyonları dikkate alınarak risk temelli değerlendirme yapılmıştır. Risk Katsayısı (RQ) için konsantrasyon ve PNEC değerleri kullanılmış ve 100'ü aşan değerde çok yüksek risk, 10-100 arası yüksek risk, 1-10 orta risk olarak tanımlanmıştır. Buna göre, alfa endosülfan, beta endosülfan, heptaklor, 4,4 DDE, 2,4 DDT, heptaklor-ekzo-epoksit ve paration-etil'in risk katsayısı 100'ün üzerinde olup çok yüksek çevresel risk taşıdığı görüşmüştür. Aldrin, 2,4 DDE, 4,4 DDD, heptaklor-endo-epoksit'in yüksek risk, hekzoklorobenzen, 2,4 DDD,4,4 DDT,disülfoton ve paration-metil'in orta risk, diğerlerinin ise düşük veya ihmal edilebilir risk taşıdığı belirlenmiştir. Maksimum risk katsayısı değerleri dikkate alındığında, sırasıyla en yüksek değerlerin heptaklor, heptaklor-ekzo-epoksit, alfa endosülfan, beta endosülfan için elde edildiği belirlenmiştir.

- Çok yüksek risk teşkil eden DDT, heptaklor, endosülfan, ve paration-etil çevre ve sağlık endişeleri sebebiyle ülkemizde ve Dünya'da kullanımı yasaklanmış

pestisitlerdir. Yasaklanmasına rağmen, bu pestisitlerin atıksudaki varlığı uzun yıllar çevrede kalıcılığından kaynaklanabileceği veya izinsiz kullanım sebebiyle olduğuna işaret etmektedir.

- Kayseri AAT'nde tespit edilen pestisitlerin alıcı ortam ekotoksikolojik etkilerini azaltmak veya önlemek için alıcı ortama deşarj öncesi pestisit gideriminin iyileştirilmesi gerekmektedir. Kayseri AAT'nin konvansiyonel kirleticilerin yanında, uzun havalandırmalı aktif çamur prosesine adsorpsiyon prosesinin entegre edilmesi ile farklı pestisit türlerinin gideriminde etkili olacağı değerlendirilmiştir.

4.2. Öneriler

- Kayseri AAT'de pestisit izlemelerinin daha kapsamlı ve sürekli yapılması, risk sonuçlarının değerlendirilmesinde farklı yaklaşımlar farklı sonuçlar verebileceğinden diğer çevresel risk değerlendirme yöntemleri ile karşılaştırılması,

- Bu çalışmadaki potansiyel riskin daha doğru yansıtılması için optimize edilmiş risk katsayısı hesabının da yapılması, bunun içinde izleme verilerinin sıklığının artırılarak dikkate alınması,

- Kayseri AAT'de pestisit giderimi için proses seçimi ve tesis revizyonu konusunda fayda-maliyet analizlerini de içeren detaylı bir çalışma yürütülmesi,

- Adsorpsiyon seçilmesi durumunda ise, adsorbanın türünün atıksu karakteristiğine göre belirlenmesi, sonrasında adsorbanın uzaklaştırılması konusunun da dikkatle incelenmesi,

önerilmektedir.

KAYNAKÇA

AbuQamar, S. F., El-Saadony, M. T., Alkafaas, S. S., Elsalahaty, M. I., Elkafas, S. S., Mathew, B. T., Aljasmi, A. N., Alhammadi, H. S., Salem, H. M., Abd El-Mageed, T. A., Zaghloul, R. A., Mosa, W. F. A., Ahmed, A. E., Elrys, A. S., Saad, A. M., Alsaeed, F. A., & El-Tarabily, K. A. 2024. Ecological impacts and management strategies of pesticide pollution on aquatic life and human beings. **In Marine Pollution Bulletin** (Vol. 206).

Ahmad, M. F., Ahmad, F. A., Alsayegh, A. A., Zeyaullah, M., AlShahrani, A. M., Muzammil, K., ... & Hussain, S. 2024. Pesticides impacts on human health and the environment with their mechanisms of action and possible countermeasures. **Heliyon**.

Ahmed, M. B., Zhou, J. L., Ngo, H. H., Guo, W., Thomaidis, N. S., & Xu, J. 2017. Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. **Journal of Hazardous Materials, 323**, 274–298.

Aksangür, İ., & Nalbur, B. E. (2018). Alıcı Ortamı Göl Olan Farklı Arıtım Proseslerinin Pestisit Giderim Verimliliğinin İncelenmesi. **Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7**(2): 581-589.

Aktar, W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. 2009. Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards. **Interdisciplinary Toxicology, 2**(1): 1–12.

Arslan, S. 2009. Bitkisel kaynaklı aktif karbon ile pestisit giderimi. Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Atasoy, A. 2019. Yeraltı Sularında Pestisit Kirliliğinin Pestisit Özellikleri ve Kullanım Miktarları Bakımından İrdelenmesi. **Ziraat Mühendisliği,** (368): 46-52.

ATSDR. 2007. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological Profile for Heptachlor and Heptachlor Epoxide

https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp12.pdf

ATSDR. 2015. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological Profile for Endosulfan. **https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp41.pdf**

ATSDR. 2015a. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological Profile for Hexachlorobenzene **https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp90.pdf**

ATSDR. 2017. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological Profile For Parathion. **https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp205.pdf**

ATSDR. 2022. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological Profile For DDT, DDE, and DDD. **https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp35.pdf**

ATSDR. 2022a. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological Profile For Aldrin and Dieldrin **https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp1.pdf**

ATSDR. 2022b. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological Profile For Disulfoton **https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp65.pdf**

ATSDR. (2024). Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological Profile For Hexachlorocyclohexane (HCH) **https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp43.pdf**

Barbieri, M. V., Peris, A., Postigo, C., Moya-Garcés, A., Monllor-Alcaraz, L. S., Rambla-Alegre, M., Eljarrat, E., & López de Alda, M. 2021. Evaluation of the occurrence and fate of pesticides in a typical Mediterranean delta ecosystem (Ebro River Delta) and risk assessment for aquatic organisms. **Environmental Pollution,** 274.

Castaño-Trias, M., Rodríguez-Mozaz, S., Verlicchi, P., & Buttiglieri, G. 2024b. Selection of pharmaceuticals of concern in reclaimed water for crop irrigation in the Mediterranean area. **Journal of Hazardous Materials, 466**.

Çakıroğulları, G. Ç., & Seçer, S. 2009. Organik Klorlu İnsektisit Ddt'nin Sucul Sistemlere Etkisi ve Türkiye'de Yapılan Çalışmalar. **Ziraat Mühendisliği, (353)**: 34-39.

ÇİSİP, 2023. Çevre, İklim ve Sağlık için İşbirliği Projesi, Pestisitler ve Sağlığa Etkileri Bilgi Notu, **https://www.env-health.org/wpcontent/uploads/-2023/01/Pesticides_Brief_Final.pdf**

ÇŞİDB, Çevre Durum Raporu

ÇŞİDB. 2020. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Kalıcı Organik Kirleticiler (KOK) ile Kirlenmiş Sahaların Tespiti ve İyileştirilmesi Projesi

Datta, D., Biswas, B., Lodh, A., Parida, V. K., & Goel, S. 2025. A critical review of pesticides in aquatic environment: Current trends, environmental impacts, and advances in analytical extraction techniques. **Talanta, 293,** 128094.

Doğanay, E. 2014. AB Su Çerçeve Direktifine göre ülkemiz sularının fizikokimyasal ve kimyasal parametreler açısından izlenebilmesi için kullanılabilecek analiz metotlarının değerlendirilmesi. **Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara***, Türkiye*.

DSİ. 2015. Akım Gözlem Yıllıkları **https://www.dsi.gov.tr/sayfa/detay/744**

EPA. 2025a. DDT - A Brief History and Status **https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/ddt-brief-history-and-status**

EPA. 2025. Technical Overview of Ecological Risk Assessment: Risk Characterization. **https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/technical-overview-ecological-risk-assessment-risk**

EPA. 2000. Heptachlor. **https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-09/documents/heptachlor.pdf**

EPA. 2024a **https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/technical-overview-ecological-risk-assessment-risk#:~:text=For%20most%20risk%20assessments%2C%20EPA,a%20point%20estimate%20of%20effects.**

EPA. 2024b **https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/human-health-issues-related-pesticides**

Ergin, B. 2023. Kentsel Atıksudan Adsorpsiyon ve Membran Filtrasyon Prosesleri ile Mikrokirleticilerin Giderimi. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

FAO, 2024. Pesticides use and trade 1990–2022. FAOSTAT Analytical Briefs, No. 89. Rome.

Filazi, A., Kuzukıran, Ö., Akca, G., Dikmen, B. Y., Kotiloğlu, S. Ö., Selvi, M., & Erkoç, F. 2023. Emergent Contaminants in Freshwater Ecosystem: A case study from Turkey. **Kocatepe Veterinary Journal, 16**(1), 1-15.

Gama, A. F., Cavalcante, R. M., Duaví, W. C., Silva, V. P., & Nascimento, R. F. 2017. Occurrence, distribution, and fate of pesticides in an intensive farming region in the Brazilian semi-arid tropics (Jaguaribe River, Ceará). **Journal of soils and sediments, 17**, 1160-1169.

De Heredia, I. B., González-Gaya, B., Zuloaga, O., Garrido, I., Acosta, T., Etxebarria, N., & Ruiz-Romera, E. 2024. Occurrence of emerging contaminants in three river basins impacted by wastewater treatment plant effluents: spatio-seasonal patterns and environmental risk assessment. **Science of The Total Environment, 946**, 174062.

Huang, F., Chen, L., Zhang, C., Liu, F., & Li, H. 2022. Prioritization of antibiotic contaminants in China based on decennial national screening data and their persistence, bioaccumulation and toxicity. **Science of the Total Environment, 806**.

İstskay, İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik, 06.07.2019 Resmî Gazete Sayısı: 30823

Kanan, S., Moyet, M., Obeideen, K., El-Sayed, Y., & Mohamed, A. A. 2022. Occurrence, analysis and removal of pesticides, hormones, pharmaceuticals, and other contaminants in soil and water streams for the past two decades: a review. **Research on Chemical Intermediates, 48**(9), 3633-3683.

Karahan Ozgun, O., Basak, B., Eropak, C., Abat, S., Kirim, G., Girgin, E., Hanedar, A., Gunes, E., Citil, E., Görgün, E., Gomec, C. Y., Babuna, F. G., Ovez, S., Tanik, A., Ozturk, I., Kinaci, C., Karaaslan, Y., Gucver, S. M., Siltu, E., & Orhon, A. K. 2017. Prioritization methodology of dangerous substances for water quality monitoring with scarce data. **Clean Technologies and Environmental Policy, 19**(1), 105–122.

Kaski, Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü 2023 yılı Faaliyet Raporu **https://www.kaski.gov.tr/satis-noktalari-faaliyet-raporlari**

Kim, H., & Kim, S. D. 2024. Pesticides in wastewater treatment plant effluents in the Yeongsan River Basin, Korea: Occurrence and environmental risk assessment. **Science of The Total Environment, 946**, 174388.

Kim, J. Y., Jeon, J., & Kim, S. D. 2023. Prioritization of pharmaceuticals and personal care products in the surface waters of Korea: Application of an optimized risk-based methods. **Ecotoxicology and Environmental Safety, 259**, 115024.

Kiran, P. S., Mandal, P., Jain, M., Ghosal, P. S., & Gupta, A. K. 2024. A comprehensive review on the treatment of pesticide-contaminated wastewater with special emphasis on organophosphate pesticides using constructed wetlands. **Journal of Environmental Management, 368**, 122163.

Köck-Schulmeyer, M., Villagrasa, M., López de Alda, M., Céspedes-Sánchez, R., Ventura, F., & Barceló, D. 2013. Occurrence and behavior of pesticides in wastewater treatment plants and their environmental impact. **Science of the Total Environment, 458–460**, 466–476.

Adjei, K. Y., Aliyu, A., Owhe-Ureghe, E., Oriakhi, E. A., Bakare-Abidola, T., Olaoye, J., & Adepoju, Y. O. 2025. Biological treatment of emerging organic micropollutants in wastewater: Recent advances and perspectives. **World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences, 21**(3), 488–505.

Li, Z., & Du, C. 2025. Current status and research hotspots of pesticide-containing wastewater treatment: Systematic review and bibliometric analysis. **Journal of Water Process Engineering, 69**, 106738.

Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., Liang, S., & Wang, X. C. 2014. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. **Science of The Total Environment, 473–474**, 619–641.

Maksymiv, I. 2015. Pesticides: Benefits and Hazards. **Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 2**(1), 70–76.

Marczewski, A. W., Seczkowska, M., Deryło-Marczewska, A., & Blachnio, M. 2016. Adsorption equilibrium and kinetics of selected phenoxyacid pesticides on activated carbon: effect of temperature. **Adsorption, 22**, 777-790.

Marican, A., & Durán-Lara, E. F. 2018. A review on pesticide removal through different processes. **Environmental Science and Pollution Research, 25**, 2051-2064.

Masiá, A., Campo, J., Navarro-Ortega, A., Barceló, D., & Picó, Y. 2015. Pesticide monitoring in the basin of Llobregat River (Catalonia, Spain) and comparison with historical data. **Science of The Total Environment, 503–504**, 58–68.

Mohanty, B. 2024. Pesticides exposure and compromised fitness in wild birds: Focusing on the reproductive endocrine disruption. **Pesticide Biochemistry and Physiology, 199**, 105800.

Morasch B, Bonvin F, Reiser H, Grandjean D, de Alencastro LF, Perazzolo C, Chèvre N, Kohn T. 2010. Occurrence and fate of micropollutants in the Vidy Bay of Lake Geneva, Switzerland. Part II: micropollutant removal between wastewater and raw drinking water. **Environ Toxicol Chem. Aug;29**(8):1658-68.

Mukherjee, P., Banerjee, G., Saha, N., & Mazumdar, A. 2024. Overview on the emergence of pesticide contamination and treatment methodologies. **Water, Air, & Soil Pollution, 235**(9), 587.

Münze, R., Hannemann, C., Orlinskiy, P., Gunold, R., Paschke, A., Foit, K., Becker, J., Kaske, O., Paulsson, E., Peterson, M., Jernstedt, H., Kreuger, J., Schüürmann, G., & Liess, M. 2017. Pesticides from wastewater treatment plant effluents affect invertebrate communities. **Science of the Total Environment, 599–600**, 387–399.

Nas, B., Yel, E., Argun, M. E., Dinç, S., Kara, M., Koyuncu, S., Dolu, T., & Ateş, H. 2023. Fate and removal of pesticides in solid and liquid phases of metropolitan, urban and rural-scale wastewater treatment plants. **Journal of Water Process Engineering, 53**, 103680.

NCBI. 2025. National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for CID 3589, Heptachlor. **https://pubchem.ncbi.nlm.-nih.gov/compound/Heptachlor**

NCBI. 2025a. National Center for Biotechnology Information 2025. PubChem Compound Summary for CID 3118, Disulfoton. Retrieved July 1, 2025 from **https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Disulfoton**

Orhon, A. K. 2015. Yerüstü Sularında Bulunan Tehlikeli Maddelere İlişkin Çevresel Kalite Standartlarının Geliştirilmesine Yönelik Metodoloji. Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

Palma, P., Köck-Schulmeyer, M., Alvarenga, P., Ledo, L., Barbosa, I. R., López de Alda, M., & Barceló, D. 2014. Risk assessment of pesticides detected in surface water of the Alqueva reservoir (Guadiana basin, southern of Portugal). **Science of The Total Environment, 488–489**(1), 208–219.

Papadakis, E. N., Tsaboula, A., Kotopoulou, A., Kintzikoglou, K., Vryzas, Z., & Papadopoulou-Mourkidou, E. 2015. Pesticides in the surface waters of Lake Vistonis Basin, Greece: Occurrence and environmental risk assessment. **Science of The Total Environment, 536**, 793–802.

Parida, V. K., Saidulu, D., Majumder, A., Srivastava, A., Gupta, B., & Gupta, A. K. 2021. Emerging contaminants in wastewater: A critical review on occurrence, existing legislations, risk assessment, and sustainable treatment alternatives. **Journal of Environmental Chemical Engineering, 9**(5), 105966.

Pathak, V. M., Verma, V. K., Rawat, B. S., Kaur, B., Babu, N., Sharma, A., Dewali, S., Yadav, M., Kumari, R., Singh, S., Mohapatra, A., Pandey, V., Rana, N., & Cunill, J. M. 2022. Current status of pesticide effects on environment, human health and it's eco-friendly management as bioremediation: A comprehensive review. **In Frontiers in Microbiology** (Vol. 13). Frontiers Media S.A.

Pelitli, V., & Kurt, U. 2021. Hegzaklorosiklohegzan (HCH): CaO kullanılarak mekanokimyasal parçalanma prosesinin optimizasyonu. **Politeknik Dergisi, 24**(2), 439-452.

Pokhrel, B., Gong, P., Wang, X., Chen, M., Wang, C., & Gao, S. 2018. Distribution, sources, and air–soil exchange of OCPs, PCBs and PAHs in urban soils of Nepal. **Chemosphere, 200**, 532–541.

Quintana, J., de la Cal, A., & Boleda, M. R. 2019. Monitoring the complex occurrence of pesticides in the Llobregat basin, natural and drinking waters in Barcelona metropolitan area (Catalonia, NE Spain) by a validated multi-residue online analytical method. **Science of The Total Environment, 692**, 952–965.

Ramdwar, M. N., Maharaj, R., & Siew, N. Sustaining The Environment: Farm and Beyond the Farm. **2 Sustainable Food Production**, 209.

Reed, N. R., & Koshlukova, S. 2014. Heptachlor. **Encyclopedia of Toxicology: Third Edition**, 840–844.

Ryu, H. D., Han, H., Park, J. H., & Kim, Y. S. 2022. New insights into the occurrence and removal of 36 pesticides in pesticide wastewater treatment plants in Korea. **Chemosphere, 309**, 136717.

Saleh, I. A., Zouari, N., & Al-Ghouti, M. A. 2020. Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches. **Environmental Technology & Innovation, 19**, 101026.

Shekhar, C., Khosya, R., Thakur, K., Mahajan, D., Kumar, R., Kumar, S., & Sharma, A. K. 2024. A systematic review of pesticide exposure, associated risks, and long-term human health impacts. **In Toxicology Reports** (Vol. 13). Elsevier Inc.

Silva, V., Mol, H. G. J., Zomer, P., Tienstra, M., Ritsema, C. J., & Geissen, V. 2019. Pesticide residues in European agricultural soils – A hidden reality unfolded. **Science of The Total Environment, 653,** 1532–1545.

SKKY, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği 31.12.2004 Resmî Gazete Sayısı: 25687

Şimşek Uygun, B., & Albek, E. A. 2022. Seasonal monitoring of organochlorine pesticides in water, soil, and sediment in a small pond and determining ecotoxicological risk assessment. **Environmental Quality Management, 32**(2): 295–307.

Sun, Y., Su, H., Xiong, W., & Wen, L. 2025. High-throughput determination methodology of multiple pesticide residues in surface water and its application in environmental risk assessment. **Microchemical Journal, 212**, 113519.

Syafrudin, M., Kristanti, R. A., Yuniarto, A., Hadibarata, T., Rhee, J., Al-Onazi, W. A., Algarni, T. S., Almarri, A. H., & Al-Mohaimeed, A. M. 2021. Pesticides in drinking water-a review. **In International Journal of Environmental Research and Public Health** (Vol. 18, Issue 2, pp. 1–15).

Tahir vd. 2021. Tahir, Rabia, vd. "Pesticide induced hematological, biochemical and genotoxic changes in fish: a review." **Agrobiological records 3** (2021): 41-57. Agrobiological Records, 3, 41–57.

Manap, R. Y., Günenç, E., & Doğaç, E. 2023. Pestisitler: Sınıflandırmaları, Toksikolojik etkileri ve Tespiti. **Ata-Kimya Dergisi, 3**(2), 9-23.

TOB. Tarım ve Orman Bakanlığı, Yasaklanan Bitki Koruma Ürünleri Aktif Madde Listesi. **https://www.tarimorman.gov.tr/konu/934/yasaklanan-bitki-koruma-urunleri-aktif-madde-listesi**

TOB, Tarım ve Orman Bakanlığı 2023. **https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/DB_Bitki_Koruma_Urunleri/Istatistik/Yillar_Itibariyla_BKU_Kullanim_Miktar_2006-2023.pdf**

Tudi, M., Ruan, H. D., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. 2021. Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. **In International Journal of Environmental Research and Public Health** (Vol. 18, Issue 3, pp. 1–24).

Türkyılmaz, M., & Küçükçongar, S. 2021. Endosülfan ve Metabolitlerinin Su Örneklerinde Vorteks Destekli Sıvı-Sıvı Mikro Ekstraksiyon ve Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografi Kullanılarak Analizi. **Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10**(4): 1404–1415.

Rachna, Singh, M. P., Goswami, S., & Singh, U. K. 2024. Pesticide pollution: toxicity, sources and advanced remediation approaches. **Environmental Science and Pollution Research,** 1-34.

WEB_1. National Library of Medicine web sitesi. **https://www.ncbi.nlm.nih.gov/** (24.06.2024)

WEB_2. Agency for Toxic Substances and Disease Registry web sitesi. **https://www.atsdr.cdc.gov/** (24.06.2024)

WEB_3. NORMAN Ecotoxicology Database web sitesi **https://www.norman-network.com/nds/ecotox/lowestPnecsIndex.php?checkSelect=1** (07.05.2025)

WEB_4. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın web sitesi. **https://webdosya.csb.gov.tr/db/kimyasallar/editordosya/Heptaklor.pdf** (30.04.2025)

WEB_5. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın web sitesi. **https://webdosya.csb.gov.tr/db/kimyasallar/editordosya/Aldrin(1).pdf** (30.04.2025)

WEB_6. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı web sitesi. **https://webdosya.csb.gov.tr/db/kimyasallar/editordosya/Hekzaklorabenzen(2).pdf** (25.06.2025)

WEB_7. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı web sitesi. **https://webdosya.csb.gov.tr/db/kimyasallar/editordosya/Lindan.pdf** (25.06.2025)

Verlicchi, P., Grillini, V., Lacasa, E., Archer, E., Krzeminski, P., Gomes, A. I., Vilar, V. J. P., Rodrigo, M. A., Gäbler, J., & Schäfer, L. 2023. Selection of indicator contaminants of emerging concern when reusing reclaimed water for irrigation — A proposed methodology. **Science of the Total Environment, 873**.

Wang, L., Dai, A., Dai, Y., Lu, L., Li, X., Zhao, J., & Li, K. 2025. Comprehensive ecological risk assessment method for multi-pesticide pollution in the Bohai Sea and Yellow Sea, China. **Marine Pollution Bulletin, 214**, 117781.

Warne, M. S. J., & Reichelt-Brushett, A. 2023. Pesticides and biocides. In Marine Pollution–Monitoring, Management and Mitigation (pp. 155-184). Cham: Springer Nature Switzerland.

Weber, J., Halsall, C. J., Muir, D., Teixeira, C., Small, J., Solomon, K., Hermanson, M., Hung, H., & Bidleman, T. 2010. Endosulfan, a global pesticide: A review of its fate in the environment and occurrence in the Arctic. **Science of The Total Environment, 408**(15): 2966–2984.

YSKY, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği 30.11.2012 Resmî Gazete Sayısı: 28483

Zacharia, J. T. 2011. Ecological effects of pesticides. Pesticides in the modern world-Risks and Benefits, **IntechPublisher,** 129-142.

Zeng, H., Fu, X., Liang, Y., Qin, L., & Mo, L. 2018a. Risk assessment of an organochlorine pesticide mixture in the surface waters of Qingshitan Reservoir in Southwest China. **RSC Advances, 8**(32): 17797–17805.

Zhong, M., Wang, T., Zhao, W., Huang, J., Wang, B., Blaney, L., Bu, Q., & Yu, G. 2022. Emerging Organic Contaminants in Chinese Surface Water: Identification of Priority Pollutants. **Engineering, 11**, 111–125.

Directive 2009/90/EC of 31 July 2009 laying down, pursuant to Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, technical specifications for chemical analysis and monitoring of water status

Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 on Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Hatice Duman

Uyruğu: Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği	2025
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği	2012
Lise	Sema Yazar Anadolu Lisesi, Kayseri	2006

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2013-Halen	Tarım ve Orman Bakanlığı	Tarım ve Orman Uzmanı
2012-2013	Yeşil-ÇED Çevre Teknolojileri A.Ş.	Çevre Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Duman, H., Ateş, N. (2024). Risk Prioritization of Pesticides in Wastewater A Based on Concentrations and Contaminant Properties. *The 4th Internatıonal Conference on Energy, Envıronment and Storage of Energy ICEESEN 2024, Nevşehir, Türkiye, 05-07 Eylül 2024, ss.372-376*