

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**EVSEL VE KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE PASİF  
ÖRNEKLEYİCİLER KULLANILARAK POLİAROMATİK  
HİDROKARBONLARIN İZLENMESİ**

**Ekin ERTEPE**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZİRAN 2023**

**ANTALYA**

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**EVSEL VE KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE PASİF  
ÖRNEKLEYİCİLER KULLANILARAK POLİAROMATİK  
HİDROKARBONLARIN İZLENMESİ**

**Ekin ERTEPE**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZİRAN 2023**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL VE KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE PASİF  
ÖRNEKLEYİCİLER KULLANILARAK POLİAROMATİK  
HİDROKARBONLARIN İZLENMESİ**

**Ekin ERTEPE  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez  
T.C. Akdeniz Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi  
tarafından FYL-2020-5359 nolu proje ile desteklenmiştir**

**HAZİRAN 2023**

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL VE KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE PASİF  
ÖRNEKLEYİCİLER KULLANILARAK POLİAROMATİK  
HİDROKARBONLARIN İZLENMESİ**

**Ekin ERTEPE**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez 21/06/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ayça Ender ÜNŞAR (Danışman)  
Doç. Dr. İ. Ethem KARADİREK  
Prof. Dr. Senar AYDIN

## ÖZET

# EVSEL VE KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE PASİF ÖRNEKLEYİCİLER KULLANILARAK POLİAROMATİK HİDROKARBONLARIN İZLENMESİ

Ekin ERTEPE

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ayça Erdem ÜNŞAR

Haziran 2023 63 sayfa

Günümüzde dünya üzerinde ilaçların, zirai kimyasalların ve kozmetik ürünlerin kullanımı arttıkça mikrokirletici türleri ortaya çıkmıştır. Mikrokirleticiler kalıcı bir yapıya sahip olmakla beraber biyoakümülyasyon özelliğine de sahiptirler. Biyoakümülyasyon özellikleri canlı yaşamının her habitatında olumsuz etkiler yaratır ancak sucül canlı yaşamında bu olumsuz örneklerin daha fazla olduğu bilinmektedir. Mikrokirleticiler biyolojik arıtmaya karşı dirençli olduklarından evsel atıksu arıtma tesislerinde tamamen giderilememektedirler. Biyolojik arıtmanın ön planda olduğu evsel atıksu arıtma tesislerinde mikrokirleticilerden tam olarak arınamayan atıksularla birlikte alıcı ortamlarla buluşan bu kirleticiler önce yüzey sularında sonra yeraltı sularında son olarak içme sularında karşımıza çıkarak modern ve ekolojik hayatın sağlığını ciddi bir şekilde etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında, Antalya ilinde atıksuda seçili önemli mikrokirleticilerden olan poliaromatik hidrokarbon (PAH) türlerinin izlenmesi ve belirlenmesi amacıyla pasif örnekleme metodu kullanılmıştır. Ahtapot tipi pasif örnekleyciler Lara Evsel Atıksu Arıtma Tesisinde (LAAT) ve Hurma Atıksu Arıtma Tesisinde (HAAT) tesise atıksu girişinin olduğu kaba ızgaralara ve arıtmanın son aşaması olan klorlamadan sonraki deşarj kısmına birer adet olmak üzere yerleştirilmiştir. 2022 yılı Ağustos ve 2023 yılı Ocak ayı aralığında numune toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Örnekler toplandıktan sonra ekstraksiyona tabi tutulup GC-MS ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre 6 ay boyunca atıksudaki PAH değişimi, PAH'ların kaynağı ve arıtma proseslerinin PAH giderimindeki verimliliği gözlemlenip yorumlanmıştır. Elde edilen GC-MS analizlerine göre arıtma tesislerine gelen PAH'ların kaynağının hem petrojenik hem pirojenik karışık kaynak olduğu görülmüştür. Arıtma çıkışında zaman zaman girişe kıyasla daha yüksek konsantrasyonların olması, klasik arıtma proseslerinin mikro kirletici giderimine göre tasarlanmadığının bir göstergesidir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Atıksu, Mikrokirletici, Pasif Örnekleme, Poliaromatik Hidrokarbon (PAH)

**JÜRİ:** Doç. Dr. Ayça Ender ÜNŞAR (Danışman)

Doç. Dr. İ. Ethem KARADİREK

Prof. Dr. Senar AYDIN

## ABSTRACT

### MONITORING OF POLYAROMATIC HYDROCARBONS USING PASSIVE SAMPLERS IN DOMESTIC AND URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Ekin ERTEPE

MSc in Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ayça Erdem ÜNŞAR

June 2023; 63 Pages

As the usage of pharmaceuticals, agricultural chemicals, and cosmetic products increases worldwide today, types of micropollutants have emerged. Micropollutants have a persistent structure and possess bioaccumulation characteristics. Their bioaccumulation features create adverse effects in every habitat of living organisms, but it is known that these negative examples are more prevalent in aquatic life. Micropollutants are resistant to biological treatment, therefore they cannot be completely removed in domestic wastewater treatment plants. These pollutants, which meet receiving environments with wastewaters that cannot be fully purified from micropollutants in domestic wastewater treatment plants where biological treatment is prioritized, first appear in surface waters, then in groundwater, and finally in drinking water, seriously affecting the health of modern and ecological life. Within the scope of this study, the passive sampling method was used to monitor and identify types of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), which are selected important micropollutants in wastewater in Antalya province. Octopus-type passive samplers were placed in Lara Domestic Wastewater Treatment Plant (LDWTP) and Hurma Wastewater Treatment Plant (HWTP), one each at the coarse screens where wastewater enters the facilities and the discharge part after the final stage of treatment, chlorination. The sample collection process was conducted between November 2022 and April 2023. After the samples were collected, they were subjected to extraction and analysed with GC-MS. According to the analysis results, the change in PAH in the wastewater over 6 months, the source of pollution, and the efficiency of the treatment processes in PAH removal were observed and interpreted.

**KEYWORDS:** Micropollutant, Passive Sampling, Polyaromatic Hydrocarbon (PAH), Wastewater

**COMMITTEE:** Assoc. Prof. Dr. Ayça Ender ÜNŞAR (Supervisor)

Assoc. Prof. Dr. İ. Ethem KARADİREK

Prof. Dr. Senar AYDIN

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince çalışmalarımı destekleyen, saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Ayça ERDEM ÜNŞAR'a, ders ve tez aşamalarında bilgi ve desteğini esirgemeyen, saygıdeğer hocam Doç. Dr. İbrahim Ethem KARADİREK'e, analiz aşamasında hiç desteğini esirgemeyen ve fikirleriyle hep daha iyi olmasına büyük katkı sağlayan Prof. Dr. Senar AYDIN' bana yepyeni ufuklar açan çok saygı duyduğum Prof. Dr. Bülent TOPKAYA'ya yoğun tempolarına rağmen örneklemelerde bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen Lara Atıksu Arıtma Tesisi mühendislerinden Çevre Yük. Müh. Özgül KUL ERDOĞAN ve arıtma tesisi personeline, hem teknik açıdan hem de manevi olarak hiçbir zaman desteğini esirgemeyen Dr. Arif Nihat AKÇAL'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Hayatım boyunca eğiten, öğreten ve eğitim hayatıma yardımcı olan sevgili annem Cahide ERTEPE'ye, eğitim hayatımı her zaman destekleyen, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen sevgili babam Ali ERTEPE'ye, başarılarıyla bana ilham olan kardeşim Erencan ERTEPE'ye sonsuz şükranlarımı sunarım. Bu çalışmanın maddi desteğini sağlayan Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
AKADEMİK BEYAN.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. İlgili Ulusal ve Uluslararası Mevzuat ve Standartlar.....	3
2.1.1. Ulusal Çevre Mevzuatı.....	3
2.1.2. Uluslararası Mevzuat.....	4
2.2. Kalıcı Organik Kirleticiler.....	4
2.2.1. Poliaromatik Hidrokarbonlar.....	4
2.2.3. Literatür Özeti.....	16
Şekil 2.1. Söz konusu çalışmada kullanılan biyofilm örnekleyici ahtapot (Bedük vd., 2021).....	17
2.3. Evsel ve Endüstriyel Atıksular ve Arıtma Yöntemleri.....	18
2.3.1. Evsel Atıksular ve Özellikleri.....	18
2.3.2. Endüstriyel Atıksular ve Özellikleri.....	19
2.3.3. Atıksu Arıtımının Amacı ve Kapsamı.....	20
2.3.4. Atıksu Arıtma Yöntemleri.....	22
2.3.5. Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikro Kirletici Giderimi.....	22
2.3.5.1. Aktif Çamur Prosesi.....	23
2.3.5.2. Membran Prosesler.....	24
2.3.6. Atıksu Arıtma Tesislerinde PAH'ların Giderimi.....	24
2.4. Örnekleme.....	26
2.4.1. Aktif Örnekleme.....	26
2.4.1.1. Anlık (grab) numune alımı.....	26
2.4.1.2. Kompozit Numune Alımı.....	27
2.4.2. Pasif Örnekleme.....	28

3. MATERYAL VE METOT .....	31
3.1. Lara Atıksu Arıtma Tesisi (LAAT).....	31
3.2. Hurma Atıksu Arıtma Tesisi (HAAT).....	36
3.3 Numunelerin toplanması ve analize hazırlanması.....	40
3.3.1. Numunelerin toplanması.....	40
3.3.2 Numunelerin Tartımı .....	41
3.3.3 Nem ve katı madde içeriğinin belirlenmesi .....	42
3.3.4. Biyofilm Örneklerinden Poliaromatik Hidrokarbonlar'ın Ekstraksiyonu ...	43
3.3.5 Ekstraktın Temizlenmesi .....	44
3.3.6. Sorbent Maddenin Aktivasyonu ve Deaktivasyonu .....	45
3.3.7. Kolon Sabit Fazının Doldurulması .....	45
3.3.8. Tespit Edilen Optimum Kromatografi Şartları .....	45
3.3.8. PAH Bileşikleri İçin GC-MS Sistemine Ait Analitik Parametreler .....	49
3.3.9 Metot Geri Kazanım Veriminin Değerlendirilmesi.....	50
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	52
5. SONUÇLAR .....	57
6. KAYNAKLAR .....	59
ÖZGEÇMİŞ	

## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Atıksu Arıtma Tesisinde Pasif Örnekleyiciler Kullanılarak Poliaromatik Hidrokarbonların İzlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

21/06/2023

Ekin ERTEPE

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

- ° : Derece  
C : Selsiyus  
m<sup>3</sup> : metreküp  
mg : miligram  
L : Litre  
% : Yüzde  
pH : Potansiyel Hidrojen  
Sn : Saniye

Tezde ondalık yazım “,” ile belirtilmiştir.

### Kısaltmalar

- AB : Avrupa Birliği  
AKM : Askıda Katı Madde  
AÜ : Akdeniz Üniversitesi  
BOİ : Biyolojik Oksijen İhtiyacı  
BaP : Benzo[a]piren  
CAS NO : Kimyasal Abstrakt Servis Numaraları  
ÇH : Çevresel Hedef  
ÇKS : Çevresel Kalite Standardı  
ÇO : Çözünmüş Oksijen  
EPS : Hücre Dışı Polimerik Madde  
HAAT : Hurma Atıksı Arıtma Tesisi  
IARC : Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı  
ICP-OES : Endüktif Olarak Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometrisi

KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KOK	: Kalıcı Organik Kirleticiler
KOW	: Oktanol-Su Ayrışım Katsayısı
LAAT	: Lara Atıksu Arıtma Tesisi
LLE	: Sıvı Sıvı Ekstraksiyonu
MF	: Mikrofiltrasyon
NF	: Nanofiltrasyon
PAH	: Poliaromatik Hidrokarbon
PCDD	: Poliklorlu Dioksinler
PCDF	: Poliklorlu Dibenzofuranlar
POCIS	: Pasif Örnekleyici
SÇD	: Su Çerçeve Direktifi
SPE	: Katı Faz Ekstraksiyonu
SPMD	: Yarı Geçirgen Membran Cihazı
SVI	: Çamur Hacim İndeksi
TÇK	: Toplam Çözünmüş Karbon
TKM	: Toplam Katı Madde
TN	: Toplam Azot
TO	: Ters Ozmoz
TP	: Toplam Fosfor
UKM	: Uçucu Katı Madde
US EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
YSKY	: Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 2.1.</b> Söz konusu çalışmada kullanılan biyofilm örnekleyici ahtapot (Bedük vd., 2021) .....	17
<b>Şekil 2.2.</b> Örnekleme noktalarındaki Cr' ait analiz sonuçları (Aydın vd., 2020) .....	17
<b>Şekil 2.3.</b> Atıksu Arıtma Tesislerinde MK Giderim Mekanizmaları (SUEZ, 2014) .....	23
<b>Şekil 2.4.</b> Anlık (Grab) Numune Alımı (Anonim 2).....	27
<b>Şekil 2.5.</b> Aynı yerden farklı zamanlarda alınan numunelerin karıştırılması (Anonim 3) .....	27
<b>Şekil 2.6.</b> LAAT Deşarj Noktasında bulunan kompozit numune alma cihazı.....	28
<b>Şekil 2.7.</b> Pasif örnekleyicilerin temel çalışma prensibi .....	29
<b>Şekil 3.1.</b> Çalışma alanı yerbulduru haritası (a; Türkiye idari haritası, b; Antalya ili idari haritası, c; ASAT Antalya B.B. Su arıtma tesisi) (HGM, GoogleEarth, 2023) .....	31
<b>Şekil 3.2.</b> LAAT genel görünümü (ASAT, 2022) .....	32
<b>Şekil 3.3.</b> LAAT proses işlem özeti (ASAT, 2022).....	34
<b>Şekil 3.4.</b> Çalışma alanı yerbulduru haritası - HAAT(a; Türkiye idari haritası, b; Antalya ili idari haritası, c; ASAT Antalya B.B. Su arıtma tesisi) (HGM, GoogleEarth, 2023) .....	37
<b>Şekil 3.5.</b> HAAT genel görünümü (ASAT, 2022).....	37
<b>Şekil 3.6.</b> HAAT akış şeması (ASAT, 2022).....	39
<b>Şekil 3.7.</b> Pasif örnekleyici ahtapot ve örnekleyiciden numune alımı (a; Atıksudan çıkarılan ahtapot tipi pasif örnekleyici, b; Pasif örnekleyici üzerinde oluşan biyofilmin sıyırılması).....	40
<b>Şekil 3.8.</b> Toplanan biyofilm örneklerinin saklanması .....	40
<b>Şekil 3.9.</b> Numunelerin tartımı .....	42
<b>Şekil 3.10.</b> Numunelerin kurutulması (30 dk) .....	43
<b>Şekil 3.11.</b> Numunelerin ekstraksiyon aşamaları (a; 50 g biyofilm örneği 150 mL aseton/saf su (2:1, v/v) karışımı, b; 221 rpm hızda yatay çalkalayıcı ile 12 saat süresince çalkalanma, c; 25 g Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> eklenip birkaç dakika karıştırılarak susuzlaştırma işlemi, d; Filtre kağıdı ile süsme işlemi, e; Rotary evaporatörde 2 mL'ye konsantre edilme işlemi, f; 2mL'ye konsantre edilmiş numune) .....	44
<b>Şekil 3.12.</b> Optimum GC/MS şartlarında PAH bileşikleri standart kromatogramı (1 ng/µL).....	49

**Şekil 4.1.** Biyofilm örneklerinde tespit edilen PAH konsantrasyonu (mg/kg kuru madde) ..... 56

**Şekil 5.1.** Biyofilm örneklerinde tespit edilen PAH türlerinin konsantrasyon dağılımı (mg/kg kuru madde) ..... 58



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1.</b> PAH Moleküler tanımlama oranları .....	5
<b>Çizelge 2.2.</b> EPA tarafından öncelikli kirleticiler olarak adlandırılan kirleticiler listesi (EPA 1984) .....	7
<b>Çizelge 2.3.</b> Öncelikli 16 PAH bileşiği ve özellikleri (EPA 1984) .....	8
<b>Çizelge 2.4.</b> PAH'ların kaynakları, sınıflandırması ve çevresel/sağlık etkileri .....	13
<b>Çizelge 2.5.</b> Evsel atıksuların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri .....	18
<b>Çizelge 2.6.</b> Arıtma işlemi uygulanmamış evsel atıksuların nitelikleri .....	21
<b>Çizelge 2.7.</b> Arıtma işlemi uygulanmamış endüstriyel atıksuların nitelikleri .....	21
<b>Çizelge 3.1.</b> LAAT tasarım hesap değerleri .....	32
<b>Çizelge 3.2.</b> LAAT kirletici parametreleri .....	33
<b>Çizelge 3.3.</b> Biyofilm numune isimleri .....	41
<b>Çizelge 3.4.</b> PAH bileşikleri için tespit edilen optimum GC-MS şartları .....	46
<b>Çizelge 3.5.</b> PAH bileşikleri için optimum GC-MS şartlarında HP-5ms kolonundan çıkış süreleri .....	48
<b>Çizelge 3.6.</b> PAH bileşikleri için GC-MS sistemine ait analitik parametreler .....	49
<b>Çizelge 3.7.</b> 10 g, %5 deaktif silika jel kolonu için PAH bileşikleri için tespit edilen geri kazanım (%) değerleri, (n=4) .....	50
<b>Çizelge 3.8.</b> PAH bileşikleri metot geri kazanım (%) değerleri, (n=4) .....	51
<b>Çizelge 4.1.</b> Biyofilm numunelerinin nem ve katı madde içeriği .....	53
<b>Çizelge 4.2.</b> Biyofilm örneklerinde tespit edilen PAH konsantrasyonu (mg/kg kuru madde) .....	54
<b>Çizelge 4.3.</b> Biyofilm örneklerinde tespit edilen PAH konsantrasyonu (mg/kg kuru madde) .....	55

## 1. GİRİŞ

Dünya genelindeki çevre sorunlarının temel sebepleri olarak endüstriyelleşme ve nüfus artışı başta gelmektedir. Bu sorunların en önemlilerinden olan çevre kirliliği, insan popülasyonunun sağlığını günümüzde ve gelecekte tehdit eden bir yapıdadır. Çevre kirliliği ile ilgili alınan önlemler, toplumsal bilinç artışına rağmen yeterli düzeyde değildir. Yerel yönetimler, sorumlular ve yasa koyucular; çevre kirliliği konusunda ortak çalışmalar yaparak, standartlar belirlemelidir. Bu standartların belirlenmesini sağlayacak olan temel unsurların başında; kirletici seviyelerini ve kirletici ana kaynaklarını barındıran veritabanı gereksinimi yer almaktadır. Elde edilen veritabanı sayesinde, kirletici bilgilerini önlemler almak adına kullanılabilir. Bu unsurların gereksinimleri kaçınılmazken, ülkemizde benzeri izleme çalışmalarının yeterliliğinin tartışılır düzeyde olduğu gözlenmektedir.

Ülkemizde ve dünya genelinde kirletici izleme çalışmaları haftalık, aylık veya yıllık dönemleri içeren ve çoğunlukla grab ve/veya kompozit numune alınması şeklinde geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Söz konusu örnekleme ve izleme çalışmalarının ise mevcut ortamın (akarsu, deniz, arıtma tesisi vb.) kirlilik durumu hakkında anlık ve/veya günlük veri sunması nedeniyle uzun vadeli değerlendirme yapılmasını kısıtlamaktadır. Bu nedenle özellikle son 5-10 yıldır pasif örnekleyciler ile izleme çalışmaları öne çıkmaya başlamıştır. Pasif örneklemenin su, sediment ve biotada öncelikli maddelerin izlenmesinde önemli bir araç olduğu kanıtlanmıştır (Jones vd., 2015). Pasif örnekleme metodolojileri suda iz bırakan mikro kirleticileri belirlemek ve konsantrasyonlarını ölçmek için uygun ancak konvansiyonel yöntemlere göre maliyetli araçlardır. Pasif örnekleme yöntemleri, polar olmayan organik maddeler (örneğin PAH'lar, PCB'ler ve PBDE'ler), polar bileşikler (örneğin farmasötikler ve belirli pestisitler), iz metaller, metaloidler, radyonüklidler ve organo-metalik bileşikler (örn. TBT)'i izlemede yaygın olarak kullanılmıştır.

Kalıcı Organik Kirleticiler (KOK'lar), insan ve çevre sağlığı üzerinde zararlı etkilere yol açan, doğada uzun süre çözünemeyen, biyolojik birikime sahip bileşiklerdir. KOK'lar; hava akımı etkisiyle yüksek yayılım kabiliyetine sahiptirler. Bu sebeple, hayvan ve insan dokularında birikebilme ve önemli çevresel sağlık sorunları oluşturmaktadır. (ÇOB, 2009).

İki ya da daha fazla benzen halkasına sahip poliaromatik hidrokarbonlar (PAH), hidrofobik karakterli organik bileşiklerdir. (Zhang vd., 2006). PAH'lar, organik bileşiklerin eksik yanması sonucu meydana gelirler. Doğal oluşum mekanizmaları, orman yangınları ve/veya volkanik patlamalardan kaynaklıdır. İnsan kaynaklı oluşumları ise; endüstriyel kaynaklar, motorlu taşıtlar ve sigara tüketimi ile oluşmaktadır. PAH'lar toprakta, suda, havada ve gıda örneklerinde bulunabilirler. PAH'ların mutajenik, toksik ve kanserojeniktir. (Tsai vd., 2002).

PAH, çok çeşitli yollardan havaya, suya ve toprağa karışıp yine çeşitli yollarla başka alanlara taşınabilmektedirler. Bu kirleticilerin toksik özellikte olmaları hem taşındıkları veya oluştukları bölgelerdeki çevre sağlığı hem de halk sağlığı açısından çok büyük risk teşkil etmektedir. Ayrıca bu kirleticiler çevrede kalıcı olmaları ve canlı türlerinde biyobirikime sebep olmaları nedeniyle de önemli etkiler yaratmaktadır. 2000 yılında Avrupa Birliği (AB) tarafından yayımlanan Su Çerçeve Direktifi 'nde hazırlanan

öncelikli madde listesinin yer alması ve sonrasında listeye yeni maddeler eklenerek düzenlemeler yapılması bu konuya verilen önemin ne kadar artığının göstergesidir. Ülkemizde de 2012 tarihli Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde bu listeye yer verilmesi yapılan bu çalışmalara verilen önemi ve değeri göstermektedir.

Öncelikli kirleticiler listesinde yer alan PAH türlerinin çoğu endüstriyel kaynaklı olmakla birlikte çeşitli yollardan sulara karışarak arıtma tesislerine ulaşmaktadır. Bu kirleticilerin atıksuda kalıcı olması ve zor parçalanmaları nedeniyle arıtma tesislerinde giderim verimleri oldukça düşük olmaktadır. Bu sebeple bu kirleticilerin kaynaklarının belirlenmesi, atıksulardaki davranışlarının ve konsantrasyonlarının incelenmesi ve izlenmesi çok önemlidir. Lara AAT'ne genellikle evsel atıksu girişi olduğundan söz konusu kirleticilerin tesiste tespit edilmesi, sonuçların yorumlanması açısından önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, seçili PAH türlerinin pasif örnekleyici kullanılarak kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerindeki davranışlarını belirlemektir. Bu kapsamda Lara Evsel Atıksu Arıtma Tesisi (LAAT) ve Hurma Atıksu Arıtma Tesisi (HAAT) Kasım-Nisan ayları arasında atıksu giriş ve çıkışında örnekleme yapılarak PAH türleri belirlenmiş ve izlenmiştir. İlgili tesislerde yapılan izleme çalışması ile atıksu içerisindeki kirleticilerin konsantrasyonları ve dağılımları uzun süreli periyotta incelenmiştir. Elde edilen çıktılar hem yerel yönetim faaliyetlerine hem de ulusal ve uluslararası literatüre önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Ülkemizde atıksularda (atıksu arıtma tesislerinde) pasif örnekleyici kullanarak PAH türlerini içeren kirleticilerin izlendiği herhangi bir çalışmanın olmadığı ve dünyada ise yapılan çalışma sayısının çok sınırlı olduğu literatür araştırmasıyla tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasının başarı ile sonuçlanması hem Türkiye'de bu kapsamda yapılan ilk çalışma gerçekleşmiş olacak hem de ulusal ve uluslararası literatüre büyük ölçüde katkı sağlanacaktır.

## 2. KAYNAK TARAMASI

### 2.1. İlgili Ulusal ve Uluslararası Mevzuat ve Standartlar

PAH'lar toksik özellikte olmaları ve taşındıkları veya oluştukları bölgelerdeki çevre ve halk sağlığı açısından çok büyük risk teşkil etmektedir. Ayrıca bu kirleticiler çevrede kalıcı olmaları ve canlı türlerinde biyobirikime sebep olmaları nedeniyle de önemli etkiler yaratmaktadır. 2000 yılında yayımlanan Su Çerçeve Direktifi 'nde (2000/60/EC) hazırlanan öncelikli madde listesinin yer alması ve sonrasında listeye yeni maddeler eklenerek düzenlemeler yapılması bu konuya verilen önemin ne kadar artığının göstergesidir. Ülkemizde de 2016 tarihli Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde (T.C. Resmi Gazete, 29797) bu listeye yer verilmesi yapılan bu çalışmalara verilen önemi ve değeri göstermektedir.

#### 2.1.1. Ulusal Çevre Mevzuatı

Yer üstü sularının korunması, kaynaklarının sürdürülebilir olması ve biyolojik, kimyasal, fiziksel ve hidromorfolojik bakımdan daha iyi bir su kaynağı haline gelmesi için alınacak önlemlerin, kişi ve kurumlara düşen sorumlulukların belirlendiği mevzuat "Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği" (YSKY), 30.11.2012 tarih ve 28483 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Bu yönetmelik açık deniz harici tüm yer üstü su kaynaklarını, deniz kıyısı olan suları, akarsuların denize dökülme ağızlarını ve atıksu deşarj noktalarını kapsamaktadır. Yönetmelikte, "belirli kirletici", "çevresel hedef (ÇH)", "çevresel kalite standardı (ÇKS)" gibi sıkça karşımıza çıkacak olan önemli tanımlamalar da ilk kez yapılmıştır.

YSKY'ye göre; kapsamında olan her su kaynağının var olan özelliklerini ve kalitesini her zaman korumak ve daha iyi bir seviyeye getirmek en önemli husustur. Bu husus doğrultusunda, bu su kaynaklarına ve kıyılara doğrudan veya dolaylı etkisi olan endüstriyel faaliyetlerde ve evsel amaçla su kullanımının olduğu karasal bölgelerde hem üretimin hem tüketimin temiz olması, kontrol ve izleme mekanizmasının kurulmuş olması, çevresel faaliyetlere öncelik tanınmasına değinilmiştir.

Yönetmelik ile Ek-4'te yer alan öncelikli maddeler ve belirli kirleticiler için alıcı ortama özgü standartların T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından belirleneceği bilgisine yer verilmiştir Su Çerçeve Direktifinde, AB standartlarında belirlenen 33 izlenmesi öncelikli kirletici ve kirletici grubu, Kimyasal Abstrakt Servis Numaraları (CAS No) ve AB Numaraları ile söz konusu yönetmeliğin Ek-4 Tablo 4'ünde listelenmiştir. Öncelikli maddeler içerisinde ağır metaller, pestisitler, biyositler, PCB, PAH ve diğer grup kimyasalları yer almaktadır.

Yer üstü su kalitesinin korunmasında daha sürdürülebilir adımlar atılmasına imkan sağlayan yenilikçi yaklaşımıyla ulusal mevzuatımızda önemli bir açığı kapatmıştır. Aynı zamanda suda çok az çözüldüğü için birçok izleme çalışmasında göz ardı edilen veya tespit edilemeyen kirleticilerin izlenmesi ve araştırılması konusunda ülkemizde bir ilk olarak tanımlanabilecek çok sayıda bilimsel çalışmanın da önünü açarak bu kirleticiler hakkında daha fazla bilgiye erişmemize de olanak sağlamıştır.

## 2.1.2. Uluslararası Mevzuat

Avrupa Birliği Su Politikalarının en sonuncusu ve en kapsamlısı Su Çerçeve Direktifi (SÇD) (2000/60/EC)'dir. 2000 yılında yürürlüğe giren direktif ile su politikalarının yönetilmesi farklı bir perspektif kazanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 1995 yılında direktifin hazırlıklarına başlanmış olup bu süreç 2000 yılına kadar devam etmiştir. 22 Kasım 2000'de SÇD kabul edilerek resmi olarak yürürlüğe girmiştir. Bu kapsamda hazırlıklar başlatılmış ve 1995 ortasından 2000 yılına kadar çalışmalar sürmüştür. 22 Kasım 2000'de Su Çerçeve Direktifi kabul edilerek yürürlüğe girmiştir. Avrupa Birliği'nin su politikasının "anayasası" olarak kabul edilen Direktif, önemli yenilikler içermesinin yanı sıra 2000 yılından günümüze kadar olan su politikalarının temelini de oluşturduğu söylenebilir (KIYITEMA Projesi Final Raporu, 2014).

Su Çerçeve Direktifinin 16. Maddesinde su kirliliğinin önüne geçilmesini amaçlayan stratejilere yer verilmiştir. Bu stratejiler arasında, dikkat su kaynaklarının kimyasal kirliliğe karşı korunması ile alakalı stratejiler de yer almıştır. Bu stratejiler direktifte belirtilen kirletici maddelerin deşarjlarının engellenmesi veya azaltılması olarak belirtilmiştir. Direktife göre, öncelikli maddelerin deşarjı, emisyonları ve kayıpları azaltılmalı; öncelikli tehlikeli maddeler içinse durdurulmalı veya kademeli şekilde tamamen kullanımları engellenmelidir. Avrupa Parlamentosu ve Konseyi tarafından kabul edilen öncelikli maddeler listesi, SÇD EK-X ile verilmekte olup, söz konusu listede 20 tanesi öncelikli tehlikeli madde olmak üzere 33 öncelikli madde ve madde grubu yer almaktadır. Bu 20 öncelikli tehlikeli madde arasında çoğu endüstriyel faaliyetler sonucunda ortaya çıkan çeşitli yollarla yer üstü ve yer altı su kaynaklarına karışan ve arıtma tesislerine de ulaşan PAH türleri de vardır.

## 2.2. Kalıcı Organik Kirleticiler

### 2.2.1. Poliaromatik Hidrokarbonlar

Poliaromatik hidrokarbonlar, çeşitli organik bileşiklerin büyük bir grubudur. Bu bileşikler, yalnızca her yerde bulunan çevresel kirleticiler değil, aynı zamanda mutajenik, kanserojen ve genotoksik maddeler oldukları için onlarca yıldır endişe kaynağı olmuştur (Kim vd., 2013; Li vd., 2021). PAH'lar ağırlıklı olarak çeşitli endüstriyel ve evsel faaliyetler sırasında özellikle karbonlu maddelerin yanması olmak üzere pirolitik süreçlerin bir sonucu olarak oluşur (Dat ve Chang, 2017; Du vd., 2020; Han vd., 2022). Kömür, odun gibi katı yakıtlar, ısınma ve yemek pişirme amaçlı tarımsal artıklar, gelişmekte olan ülkelerde ve bölgelerde hala yaygın olan PAH'ların tipik evsel emisyon kaynaklarıdır (De Oliveira Galvao vd., 2018; Sun vd., 2021).

PAH'lar çeşitli kaynaklardan gelebilir, bu da asıl kaynaklarını saptamayı oldukça zorlaştırır. Literatürde oldukça faydalı olduğu kanıtlanmış olan birkaç yöntem PAH bileşiklerinin orijinlerini, potansiyel kaynaklarını belirlemede kullanılmaktadır.

Farklı kaynakların ürettiği PAH'lar profillere sahiptir. Yani, belirli bir kaynaktan gelen PAH'ların bileşenleri ve konsantrasyonları genellikle diğer kaynaklardan gelen PAH'lardan farklıdır. PAH profillerini kullanarak, örneklerin hangi kaynaklardan geldiğini belirlenebilir (Yunker vd. 2002).

Yanma prosesleri, çoğunlukla yüksek oranda 4-6 halkalı PAH'ları meydana getirirken, petrol bazlı kaynaklar genellikle 2-3 halkalı PAH'ları meydana getirir. PAH'ların kaç halkalı olduğunu anlamak için, GC-MS (Gaz Kromatografisi- Kütle Spektrometresi) gibi ileri teknolojik analiz yöntemleri kullanılır.

Kararlı izotop analizi de PAH'ların kaynaklarını belirlemede güçlü bir yöntemdir. PAH'ların karbon hidrojen izotop oranları, bu bileşiklerin olası kaynakları hakkında bilgi sağlayabilir (Zhang vd., 2012).

Farklı PAH kaynakları farklı izotop oranlarına sahip olurlar. Petrol bazlı PAH'lar ile yanma sonucu oluşan biyolojik kaynaklı PAH'lar arasındaki izotop oran farklı oldukça belirgin olmaktadır. Bu farklar, araştırmacılara, orijin kaynağın izotopik imzasını taşıdığı için ve bu farkın PAH'ların alıcı ortama nereden geldiğini saptamada yardımcı olmaktadır.

Araştırmacılar tarafından çokça kullanılan bir başka yöntem ise co-kirlilik analizidir. PAH'lar çoğunlukla, bir diğer kirlenici grubuyla beraber bulunurlar. Bu co-kirlilik paternleri PAH'ların orijin kaynağının belirlenmesine yardımcı olabilmektedir. Yanma prosesleri sonucunda çoğunlukla, PAH'lar ile sülfat bileşikleri ve ağır metaller ile karşılaşırız. Petrol bazlı kaynaklarda ise PAH'lar ile alifatik hidrokarbonları görmekteyiz. (Wang vd., 2009).

Bu analizler PAH'ların orijinlerini belirlerken bir dizi veriyi beraber kullanmayı gerektirmektedir. Özellikle atıksu arıtma tesisi gibi kirlilik yükünün fazla ve çeşitli olduğu bölgelerde birden çok PAH kaynağı olabilir. Bu gibi durumlarda yukarıda açıklanan yöntemlerin hepsi bir arada kullanılmalıdır.

2002 yılında Yunker ve diğer araştırmacı arkadaşları tarafından Fraser Nehri havzasında PAH'lar üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada araştırmacılar PAH kaynaklarını belirlemede PAH oranlarını kullanmışlardır. Belirli PAH oranlarının belirli kaynakları gösterdiği bu çalışmada bulunmuştur. Literatürdeki birkaç çalışma sonucu elde edilen PAH moleküler tanımlama oranları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** PAH Moleküler tanımlama oranları.

Oran	Değer:	Kaynak	Referans
Phe/Ant	<10	Pirolitik	Baumard vd. 1998
	>10	Petrojenik	
F1 / (F1+ Pyr)	<0.4	Petrojenik	Doong vd, 2004
	0.4-0.5	Sıvı yakıtlar	
	>0.5	Kömür vb.	

Ant/ (Ant + Phe)	<0.1	Petrojenik	Yunker vd., 2002
	>0.1	Pirolitik	
BaA/(BaA + Chr)	>0.35	Pirolitik	Yunker vd., 2002
	<0.2	Petrojenik	
Chr/BaA	<1	Pirolitik	Doong ve Lin, 2004
	>1	Petrojenik	
Inp/ (Inp + BghiP)	<0.2	Petrojenik	Yunker vd., 2002

Yukarıdaki çizelgede; Phe: Fenantren, Ant: Antrasen, Fl: Floren, Pyr: Piren, BaA: Benzo(a)antrasen, Chr: Krisen, Inp: Indenol(1,2,3-cd)piren, BghiP: Benzo(g,h,i)piren olarak kısaltmaları verilmiştir.

PAH'lar, doğrusal, açısız veya küme düzenlemelerinde erimiş benzen halkalarından oluşan önemli bir tehlikeli organik kirleticiler sınıfını temsil eder. Her yerde bulunan çevresel kirleticilerdir ve bu nedenle havada, toprakta ve suda bulunurlar. Hem doğal hem de antropojenik kaynaklardan çevreye salınırlar ve ana kaynaklar arasında fosil yakıtların eksik yanması, petrokimyasal kreaking süreçleri, plastiklerin, boyaların, yağlama yağlarının ve diğer ürünlerin bozunması ve kömür ve katranın atılması ve yakılması yer alır (King vd. 2004). Çevredeki varlıklarıyla ilgili en büyük endişe, insan ve diğer canlı organizmalarda ciddi sağlık risklerine yol açan kanserojen ve mutajenik özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Bofetta vd. 1997). Bu sağlık riskleri, bağışıklık sistemi, böbrekler, karaciğer ve akciğerlerdeki arızaları içerebilir; sürekli maruz kalma ciltle ilgili bazı hastalıklara da neden olabilir (Abdel-Shafy vd., 2016).

PAH'ların çevresel matrislerde belirlenmesi, düşük konsantrasyon seviyeleri ve matrislerin karmaşıklığı nedeniyle oldukça zordur. Gerekli seçiciliği ve analiz hassasiyetini elde etmek için, seçilen PAH'ların analitik miktarını belirlemeden önce ekstraksiyon ve zenginleştirme yöntemlerini geliştirmek gereklidir. PAH'ların ekstraksiyonu için geleneksel yöntemler, sıvı-sıvı ekstraksiyonu (LLE) ve katı faz ekstraksiyonu (SPE) içerir. Her iki klasik Yöntemin de bazı ciddi dezavantajları vardır. Örneğin, LLE sıkıcıdır, zaman alıcıdır ve yalnızca pahalı olmakla kalmayıp aynı zamanda doğası gereği toksik olan ve diğer birçok çevresel soruna neden olan büyük hacimlerde organik çözücüler gerektirir. Öte yandan, SPE ayrıca yüksek hacimlerde toksik çözücüler tüketir (Sarafraz-Yazdi ve Amiri, 2010). Bu nedenle, numune hazırlama alanındaki araştırmalar, minimum miktarda tehlikeli solventi etkin bir şekilde kullanabilen ve ekstraksiyonları kısa sürede istenen hassasiyet ve doğrulukla gerçekleştirebilen minyatür ekstraksiyon yöntemlerinin geliştirilmesine doğru ilerlemektedir. Bu bağlamda, bazı bilinen yöntemler arasında katı faz mikroekstraksiyon (Arthur ve Pawliszyn, 1990), dispersif sıvı-sıvı ekstraksiyon (Rezaee vd. 2006), dispersif mikro katı faz ekstraksiyon

(Tsai vd., 2009) ve bunların modifiye edilmiş biçimlerinin birçoğu (Sajid ve Plotka-Wasyka, 2018) yer alır.

Doğada karışım halinde bulunan PAH bileşikleri; uzun yarılanma sürelerine sahip olduğundan dolayı uzun süreler kalıcı olma özelliğine sahiptir. Kalıcı oldukları süre boyunca mantarlar ve bakteriler tarafından (biyodegradasyon) veya ışık aracılığıyla (fotodegradasyon) parçalanabilirler. Lipofilik/hidrofobik özellik taşıdıklarından dolayı, organik çözücülerde kısa sürede çözünürler. Molekül ağırlıkların azalma oldukça, su içerisindeki çözünürlüklerinin artış özelliği, toksik etkisinde de artış olmasına sebep verir (Wenzl, 2006). Canlılar üzerinde sağlık problemlerine sebep veren; mutajenik, toksik ve kanserojen etkilerinin olduğu gözlemlenmektedir (Baird, 2005; Janoszka, 2004; Marston, 2001; US EPA, 2002; Yoon vd., 2007).

PAH bileşiklerinin fizikokimyasal özelliklerine göre su ortamındaki davranışı değişebilmektedir. Su ortamına girdikten sonra, su kolonundaki partiküllere yapışarak dip tabakaya çökerek yer alan PAH bileşikleri, sudaki çözünürlüklerinin çok düşük olması nedeniyle genel olarak taban bölgesinde çökelim halinde yer almaktadır. Bu yüzden; su ölçümlerinde PAH konsantrasyonları, sediman ölçümleri değerlerine göre çok daha düşüktür.

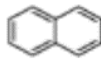
Amerika Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı'nın (US EPA) belirlediği, insan ve deniz canlılarına etkisi olan toksik/mutajenik etkileriyle, öncelikli kirleticiler listesi Çizelge 2.2.'de gösterilmektedir. Bu listede 16 adet bileşik yer almaktadır. İzleme analizlerinde, bileşiklerin konsantrasyonları kontrol edilmektedir. Bu 16 PAH bileşiği Çizelge 2.3'te yer almaktadır (US EPA, 1984).

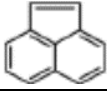

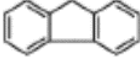

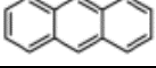
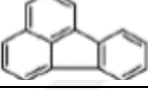
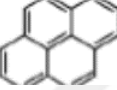
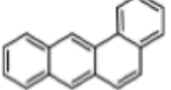
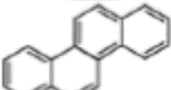
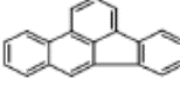
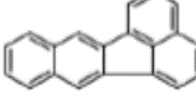
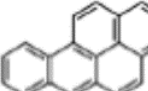

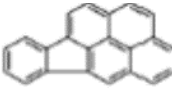
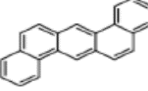
**Çizelge 2.2.** EPA tarafından öncelikli kirleticiler olarak adlandırılan kirleticiler listesi (EPA 1984)

No.	Kirletici Adı	No.	Kirletici Adı	No.	Kirletici Adı
1	Asenaften	43	Metilen klorür	85	Trichloroethylene
2	Akrolein	44	Metil klorür	86	Vinil klorür
3	Akilonitril	45	Metil bromür	87	Aldrin
4	Benzen	46	Bromofom	88	Dieldrin
5	Benzidin	47	Diklorobromometan	89	klordan
6	Karbon tetraklorür	48	Klorodibromometan	90	4,4-DDT
7	Klorobenzen	49	Hekzaklorobütadien	91	4,4-DDE
8	1,2,4-triklorobenzen	50	Hekzaklorosiklopentadien	92	4,4-DDD
9	Hekzaklorobenzen	51	İzoforon	93	alfa-endosülfan
10	1,2-dikloroetan	52	Naftalin	94	Beta-endosulfan
11	1,1,1-trikloreotan	53	Nitrobenzen	95	endosülfan sülfat
12	Hekzakloroetan	54	2-nitrofenol	96	Endrin
13	1,1-dikloroetan	55	4-nitrofenol	97	Endrin aldehit
14	1,1,2-trikloreotan	56	2,4-dinitrofenol	98	Heptaklor
15	1,1,2,2-tetrakloroetan	57	4,6-dinitro-o-kresol	99	Heptaklor epoksit
16	Kloroetan	58	N-nitrosodimetilamin	100	Alfa-BHC

17	Bis(2-kloroetil) eter	59	N-nitrosodifenilamin	101	Beta-BHC
18	2-kloroetil vinil eterler	60	N-nitrosodi-n-propilamin	102	Gama-BHC
19	2-kloronaftalin	61	Pentaklorofenol	103	Delta-BHC
20	2,4,6-triklorofenol	62	Fenol	104	PCB-1242 (Arochlor 1242)
21	Paraklorometa kresol	63	Bis(2-etilheksil) ftalat	105	PCB-1254 (Arochlor 1254)
22	Kloroform	64	Butil benzil ftalat	106	PCB-1221 (Arochlor 1221)
23	2-klorofenol	65	Di-N-Bütil Ftalat	107	PCB-1232 (Arochlor 1232)
24	1,2-diklorobenzen	66	Di-n-oktil ftalat	108	PCB-1248 (Arochlor 1248)
25	1,3-diklorobenzen	67	Dietil ftalat	109	PCB-1260 (Arochlor 1260)
26	1,4-diklorobenzen	68	Dimetil ftalat	110	PCB-1016 (Arochlor 1016)
27	3,3-diklorobenzidin	69	Benzo(a) antrasen	111	Toksafen
28	1,1-dikloroetilen	70	Benzo(a) piren	112	Antimon
29	1,2-trans-dikloroetilen	71	Benzo(b) floranten	113	Arsenik
30	2,4-diklorofenol	72	Benzo(k) floranten	114	Asbest
31	1,2-dikloropropan	73	Krizen	115	Berilyum
32	1,3-dikloropropilen	74	Asenafetilen	116	Kadmiyum
33	2,4-dimetilfenol	75	Antrasen	117	Krom
34	2,4-dinitrotoluen	76	Benzo(ghi) perilen	118	Bakır
35	2,6-dinitrotoluen	77	floren	119	Siyanür, Toplam
36	1,2-difenilhidrazin	78	fenantren	120	Kurşun
37	Etilbenzen	79	Dibenzo(h) antrasen	121	Cıva
38	Floranten	80	Indeno (1,2,3-cd) pyrene	122	Nikel
39	4-klorofenil fenil eter	81	piren	123	Selenyum
40	4-bromofenil fenil eter	82	tetrakloretilen	124	Gümüş
41	Bis(2-kloroizopropil) eter	83	toluen	125	Talyum
42	Bis(2-kloroetoksi) metan	84	2,3,7,8-TCDD	126	Çinko

**Çizelge 2.3.** Öncelikli 16 PAH bileşiği ve özellikleri (EPA 1984)

Bileşik	Molekül Yapısı	Kimyasal Formülü	Molekül Ağırlığı (g/mol)	log K <sub>ow</sub> *
Naftalin		C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128,2	3,37

Asenaftilen		$C_{12}H_8$	152,2	4,00
Asenaften		$C_{12}H_8$	154,2	3,92
Floren		$C_{13}H_{10}$	166,2	4,18
Fenantren		$C_{14}H_{10}$	178,2	4,57
Antrasen		$C_{14}H_{10}$	178,2	4,54
Floranten		$C_{16}H_{10}$	202,3	5,22
Piren		$C_{16}H_{12}$	202,1	5,18
Benzo(a)antrasen		$C_{16}H_{12}$	228,3	5,91
Krisen		$C_{18}H_{12}$	228,3	5,86
Benzo(b)floranten		$C_{20}H_{12}$	252,3	5,80
Benzo(k)floranten		$C_{20}H_{12}$	252,3	6,00
Benzo(a)piren		$C_{20}H_{12}$	252,3	6,04
Benzo(g,h,i)perilen		$C_{22}H_{12}$	276,4	6,50
İndeno(1,2,3-cd)piren		$C_{22}H_{12}$	276,3	6,58
Dibenzo(a,h)antrasen		$C_{22}H_{14}$	278,3	6,75

\* $K_{ow}$ : Oktanol-Su ayrışım Katsayısı

Kow (oktanol-su ayrışım katsayısı), bileşikte oktanol ve sudaki çözünürlüklerinin oranını ifade eden katsayıdır. Katsayı, bileşiğin sudaki çözünürlüğü ve canlılardaki biyokonsantrasyon etkenleriyle temel bağlantıdadır. Biyokonsantrasyon, suda çözülmüş durumda olan bileşiğin, canlı dokularında biriktirilmesiyle oluşmuşlardır. Kow artışı, bileşiğin canlı dokularında birikme oranıyla doğru orantılıdır.

İnsanlar üzerinde kanserojen etkisi laboratuvar çalışmalarıyla tespit edilmiş 7 PAH bileşiği bulunmaktadır (US EPA, 1993). Bu bileşikler;

benzo(a)antrasen,

benzo(b)floranten,

benzo(k)floranten,

benzo(a)piren, krisen,

dibenzo(a,h)antrasen,

indeno(1,2,3-cd)piren'dir.

Bu 6 PAH bileşikte kanserojen etkisi en yüksek olanı benzo(a)piren'dir. Benzo(a)piren risk değerlendirme hesaplamalarında PAH bileşikleri için referans alınır.

PAH'lar insan sağlığı üzerinde çeşitli olumsuz etkilere sahiptirler. Bazı PAH türleri, insanlarda kansere yol açabilmektedir. Benzo(a)piren gibi bazı PAH'lar Amerika Birleşik Devletleri Çevre Korum Ajansı ve Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından insanlarda kanserojen olarak sınıflandırılmıştır.

PAH'ların kanser ile olan alakası, ilk olarak 1775'te Londra'da St. Bartholomew's Hospital'da cerrah olarak çalışan Dr. Percivall Pott'un baca temizleme işçilerinin derilerindeki isten dolayı testis kanserine yakalandıklarını tespit etmesi ile karşımıza çıkmaktadır. Bu gözlem kanserin çevresel faktörlerle de oluştuğunun ilk kanıtı olmuştur. Sonrasında yaklaşık 100 yıl sonra Volkmann ve Bell Almanya ve İskoçya'da parafin endüstrisinde çalışan insanlarda testis derisi kanserini tespit ederek Pott'un yaptığı gözlemi doğrulamışlardır (Luch vd., 2005). Laboratuvar hayvanları ve insanlar üzerinde yapılan araştırmalarda yağ, katran, is, duman gibi kimyasalların özellikle benzo(a)pireni içeren zengin PAH kaynakları olduğu tespit edilmiştir (Douben, 2003).

BaP ve diğer PAH'ların kanserojen etkileri, genellikle canlıların DNA'sı ile etkileşimleri ve DNA'da mutasyonlara sebep olmaları sonucunda meydana gelir. PAH'lar insan hücrelerinde, DNA hasarına ve genetik değişikliklere sebep olan reaktif oksijen türlerinin oluşumunu tetikleyebilir. Bu hasar ve değişiklikler, kanser dahil olmak üzere çeşitli sağlık sorunlarına yol açmaktadır. PAH'lar, insanların solunum ve kardiyovasküler sistemlerinde de olumsuz etkilere neden olabilir. Örneğin, birçok çalışma, PAH'ların solunum hastalıkları riskini arttırdığını göstermiştir. Benzer şekilde, PAH'ların kalp hastalıkları ve inme riskini arttırabileceği de kanıtlanmıştır (Naegeli vd., 2005)

PAH'ların ayrıca immünolojik, nörolojik ve gelişimsel etkilere de sahip

olabilirler. Çocukların, PAH'ların etkilerine yetişkinlerden daha duyarlı olabileceği gösterilmiştir. Örneğin, prenatal PAH maruziyeti, çocuklarda gelişimsel gecikmelere, astıma ve nörolojik etkilere sebep olabilir. Benzer şekilde, PAH maruziyeti immün sistemi baskılayabilir ve enfeksiyonlara daha hassas bir hale getirebilir. PAH'ların deri üzerinde de olumsuz etkileri olabilir. PAH'ların ciltle direkt teması, cilt tahrişlerine, enfeksiyonlarına ve hatta cilt kanserine yol açabilir (ATSDR, 1995).

Amerika Birleşik Devletleri Sağlık ve İnsan Hizmetleri Bölümü (The Department of Health and Human Services, DHHS) hayvanlar için benz[a]antrasen, benzo[a]piren, benzo[b]floranten, benzo[j]floranten, benzo[k]floranten, dibenzo[a,h]antrasen ve indol [1,2,3-c,d]piren'ni kanserojen olarak nitelmiştir. Uluslararası Kanser Araştırma Merkezi (The International Agency for Research on Cancer, IARC), insanlar için benzo[a]antrasen ve benzo[a]piren'ni muhtemel kanserojenler, benzo[b]floranten, benzo[j]floranten, benzo[k]floranten, ve indol [1,2,3-c,d]piren'ni düşük olasılıkla kansere neden olma ihtimali olan bileşikler olarak sınıflandırmıştır. Antrasen, benzo[g,h,i]perilen, benzo[e]piren, krisen, floranten, floren, fenantren ve piren'i ise insanlar için kanserojen olarak nitelenmemiştir. EPA ise benzo[a]antrasen, benzo[a]piren, benzo[b]floranten, benzo[k]floranten, krisen, dibenzo[a,h]antrasen ve indol [1,2,3-c,d]piren'ni insanlar için muhtemel kanser yapma ihtimali olan bileşikler arasında göstermiştir. Asenaftelen, antrasen, benzo[g,h,i]perilen, floranten, floren, fenantren ve piren'ni ise kanserojen bileşikler sınıfına sokmamıştır. Asenaften ise DHHS, IARC ve EPA tarafından kanserojen etki konusunda bir sınıflandırmaya tabi tutulmamıştır (ATSDR, 1995).

İnsanların PAH'lara kompleks karışım olarak ve bunun yanı sıra tümörlere, kansere sebep olan diğer kimyasallara (nitrozamin, katran ruhu gibi) bir arada maruz kalma ihtimallerinden dolayı PAH'ların tek başına insanlar üzerindeki kanserojen etkilerini değerlendirmek oldukça zordur. Tüm bu sınırlamalara rağmen benzo[a]piren, krisen, benzo[a]antrasen, benzo[b]floranten ve dibenzo[a,h]antrasen gibi PAH karışımlarının insanlarda kansere sebep olduğu rapor edilmiştir (ATSDR, 1995).

PAH'ların toksik ve kanserojen etkileri, onları önemli bir çevre ve halk sağlığı sorunu haline getirir. PAH'ların çevresel yayılımını ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini en aza indirebilmek için, çevresel emisyon düzenlemeleri ve kontrol mekanizmaları gereklidir. PAH'ların tehlike sınıflandırmaları, kaynakları ve çevresel/sağlık etkiler Çizelge 2.4.'de özetlenmektedir.

PAH'ların atıksu arıtma tesislerinde giderilmesi genellikle biyolojik arıtma ve ileri arıtma aşamalarında gerçekleşir. Eğer arıtma tesisleri ileri arıtma teknolojilerini, aktif karbon filtreleri, ozonlama veya gelişmiş oksidasyon prosesleri gibi yöntemleri barındırıyorsa, PAH'lar bu aşamada büyük ölçüde giderilir. Ayrıca belirli mikroorganizmalar ve mantarlar, biyolojik arıtma sürecinde bazı PAH'ları parçalayabilir.

PAH'ların, tamamen giderilmesi, atıksu arıtma sürecinin bir parçası olamayabilir, çünkü daha yüksek maliyetler ve enerji tüketimi gerektirir. Ancak, atıksu arıtma tesislerinin çoğu, bu tür potansiyel olarak zararlı maddelerin konsantrasyonlarını belirli bir seviyenin altında tutmayı hedeflemektedir.

PAH'ların çevresel maruziyeti genellikle hava, su ve gıda yoluyla olmaktadır.

Yanma süreçleri ve fosil yakıtların kullanımı sonucunda hava yoluyla PAH'ların yayılması özellikle endüstriyel bölgelerde ve büyük şehirlerde önemli bir sağlık sorununa dönüşmektedir.

PAH bileşiklerinin oranları ve profilleri üzerine yapılan pek çok çalışma vardır. Bu çalışmalarda genellikle, belirli bir çevresel matris (örneğin; hava, su, toprak veya sediman) içindeki PAH'ların kaynaklarını ve kaderini belirlemeye yardımcı olmak için PAH oranları ve profillerini kullanır.



**Çizelge 2.4.** PAH'ların kaynakları, sınıflandırması ve çevresel/sağlık etkileri

No	PAH	PAH Kaynakları	Sınıflandırma	Çevresel ve Sağlık Etkileri	Kaynak
1	Antrasen	Motorlu taşıtlar, Tahıl işleme	Toksik	Göz tahrişi, mide bulantısı, cilt hassaslaştırıcı, ishal, kusma ve kafa karışıklığı. Doğada toksik	(ATSDR, 2009), (FSAI, 2006), US EPA, 2008
2	Naftalin	Odun dumanı, Bitkisel kaynaklar	Toksik	Toksik, Bozulmuş kırmızı kan hücresi, Cilt tahriş edici maddeler, göz tahrişi, kusma, ishal, mide bulantısı, kalp kusurları, konfüzyon ve çocukluk çağı astımı	(ATSDR, 2009), (FSAI, 2006)
3	Krisen	Balık ve kabuklu deniz canlıları	Toksik	Toksik, sarılık katarakt., Kanserojen, böbrek ve karaciğer hasarı	(Luch, 2005; ATSDR, 2009) (FSAI, 2006), IARC 2010
4	Piren	Karbonhidratlar	Toksik	Zehirli, göz tahrişi	IARC 2010
5	Benzo(a)piren	Çikolatalar	Muhtemel kanserojen	Kanserojen, mutajenik, göz tahrişi, cilt tahriş edici maddeler, doğum kusurları, lösemi, çocukluk çağı astımı, mide bulantısı, toksik, kusma, kalp	(Luch, 2005); Cross vd., 2010; ATSDR, 2009), (Igwe vd., 2011), US EPA 2010

				kusurları, vücut ağırlığı karışıklığını azaltır.	
6	Asenaftilen	Deniz ürünleri	Toksik	Göz tahrişi, Doğası gereği toksiktir.	(ATSDR, 2010), (FSAI, 2006), USEPA 2010
7	Asenaften	İlaç atıkları	Toksik	İshal ve baş ağrısı	International Agency for research on cancer (IARC) 2010
8	Floren	Kanalizasyon atıkları	Toksik	Tahriş, karışıklık	IARC 2010
9	Fenantren	Endüstriyel atıklar, pestisitler	Toksik	Alerji, mide bulantısı, kusma.	IARC 2020
10	Benzo(a)antrasen	Hindistan cevizi, kakao	Toksik	Kanserojen, çocukluk çağı astımı, Toksik, cilt tahrişleri, kalp kusurları.	(Luch, 2005)
11	Benzo(k)florante n	Sigara dumanı	Muhtemel kanserojen	Böbrek ve Karaciğer hasarı, Toksik	(Luch, 2005, ASTDR 2010)
12	Benzo(g,h,i)perilen	Kreozot atıkları	Muhtemel kanserojen	Göğüs tümörleri, akciğerler, Toksik.	(ATSDR, 2010)

13	Benzo(b)florante n	Kreozot atıkları	Muhtemel kanserojen	Kanserojen, Doğası gereği toksiktir.	(US EPA, 2008, Luch, 2005)
14	Benzo(k)florante n	Odun yanması	Muhtemel kanserojen	Tümörler ve akciğerler Kanser, Kanserojen, Doğası gereği toksik	(Cross vd., 2010)
15	Dibenzo(a,h)antr asen	Endüstriyel atıklar	Muhtemel kanserojen	Katarakt, kanserojen, toksik, sarılık katarakt, böbrek ve karaciğer hasarı	(ATSDR, 2009)
16	İndeno(1,2,3- cd)piren	Katranlı atık veya malzemeler	Muhtemel kanserojen	Sıçan toksik, böbrek ve karaciğer hasarı için kanserojen, artmış meme tümörleri.	(ATSDR, 2009)

### 2.2.3. Literatür Özeti

2006 yılında, L. Augulyte ve V. Jurjoniene tarafından yapılan bir çalışmada iki belediye atıksu arıtma tesisinin giriş ve çıkışındaki PAH ve PCB'lerin çözünmüş konsantrasyonları izlenmiştir. Arıtma tesislerinden bir tanesi İsveç'te bulunan Umea şehrine ait bir diğeri de Litvanya'da bulunan Siauliai şehrine aittir. Her iki tesis de aktif çamur prosesine sahiptir. Çalışmada örnekleyici olarak yarı geçirgen membran cihazlar (SPMD) kullanılmıştır.

Umea atıksu arıtma tesisi arıtılmış suyunu Umealven nehrine deşarj etmektedir. Bu arıtma tesisi kapalı bir mekanda olduğu için arıtma prosesleri sıcaklık kontrollü koşullar altında gerçekleşmektedir. Çalışma sırasında tesise günde yaklaşık 30000m<sup>3</sup> atıksu gelmektedir. 2001 yılında yapılan resmi bir analize göre BOİ7 arıtılma oranı %86 olarak ölçülmüştür. Bu oran iyi bir arıtma verimini gösterir.

Baltık Denizi Çevre Koruma Komisyonu'na göre, Siauliai arıtma tesisinden çıkan su Litvanya'nın en kirli nehirlerinden biri olan Kulpe Nehrine deşarj edildiği için burası öncelikli nokta olarak belirlenmiştir. Çalışma sırasında tesise günde yaklaşık 20000m<sup>3</sup> atıksu gelmektedir. 2001 yılında yapılan resmi bir analize göre BOİ7 arıtılma oranı %72 olarak ölçülmüştür.

2001 yılının Ekim ve Kasım aylarında her iki arıtma tesisinin giriş ve çıkışından çiftler numune alınmıştır. Alınan numunelerin ortalama sıcaklıkları 13-15 °C olarak kaydedilmiştir.

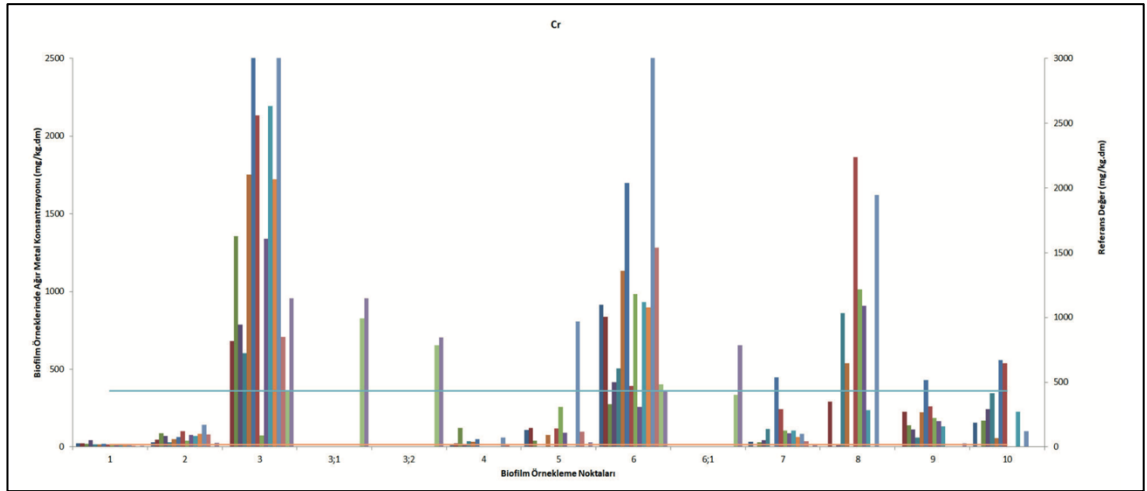
Her iki örnekleme bölgesinden de alınan numunelerde 24 ayrı PAH incelenmiştir. Bu 24 PAH'ın 16'sı EPA'nın listelediği öncelikli kirleticiler arasındadır. Analiz sonuçları incelendiğinde, her iki arıtma tesisinden arıtılıp deşarj edilen atıksudaki PAH konsantrasyonlarının atıksu arıtma tesislerine gelen atıksudaki PAH konsantrasyonlarından daha fazla olduğu görülmüştür. PAH konsantrasyonlarındaki artış, geleneksel atıksu arıtma proseslerinin bu kirlilik grubu için tasarlanmadığını ve tesislerden çıkan atık suların alıcı ortamlara bu kirlilik yükünü getirdiği görülmüştür.

Ülkemizde ahtapot tipi pasif örnekleyiciler ile biyofilm tipi numune almanın ilk uygulaması Konya'da gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın amacı kanalizasyona endüstriyel faaliyetler kaynaklı kaçak deşarjların izlenebilmesidir. Belirlenen noktalardan hem pasif örnekleyiciler ile biyofilm numunesi alınmış hem de atıksu numuneleri alınmıştır. Ahtapot tipi pasif örnekleyiciler 4 hafta süre ile bekletilmiş daha sonrasında özel sıyırıcı aparatlar ile sıyırılmıştır. Alınan numunelerde, kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), nikel (Ni), çinko (Zn), civa (Hg) parametreleri izlenmiştir. Çalışma öncelikle örnekleyicilerin yer seçimi ve yerleştirilmesi ile başlamıştır. Ahtapot tipi pasif örnekleyiciler endüstriyel faaliyetlerin olduğu 9 noktaya ve evsel yerleşim yerlerinin olduğu 1 noktaya yerleştirilmiştir. Bu noktaları belirlerken araştırmacılar, suyun akış yönünü ve endüstri tesislerinin konumunu göz önüne almışlardır. Yüksek atıksu deşarjı yaptığı bilinen endüstri tesislerinin kanalizasyona deşarj yaptığı 2 noktaya da 2 set daha ahtapot tipi örnekleyici konarak çalışmanın ilk aşaması tamamlanmıştır.



**Şekil 2.1.** Söz konusu çalışmada kullanılan biyofilm örnekleyici ahtapot (Bedük vd., 2021)

9 endüstriyel ve 1 evsel noktadan toplamda 113 numune alınmıştır. Araştırmacılar biyofilm numunelerini mikrodalga özütleme tekniği ile analize hazırlamışlar, atıksu numunelerini de gerekli ön işlemlerden geçirerek ICP-OES (Optima 2100 DV) kullanarak analiz etmişlerdir. Çalışmanın yapıldığı Konya için hem endüstriyel hem de evsel değerler için referans değerler belirlenmiştir. Belirlenen referans değerler literatürdeki benzer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçların literatürdeki değerlerden çok daha yüksek olması, araştırmacılar tarafından kanalizasyon sistemine yüksek kirlilik yükü olarak yorumlanmıştır.



**Şekil 2.2.** Örneklemelerdeki Cr' ait analiz sonuçları (Aydın vd., 2020)

3 numaralı noktadan alınan numunenin analizinde Cr, Ni ve Zn konsantrasyonunun yüksek olduğu görülmüştür. Hangi tesisin bu deşarjı yaptığını tespit etmek için, 3.1 numaralı noktadan alınan numuneler analiz edilmiş ve deşarj kaynağı bulunmuştur. Bu çalışma Konya şehrinde uygulanmış ve iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ahtapot pasif örnekleyiciler, hem atıksu arıtma tesislerinde hem de sanayi bölgelerinde,

kaçak kirlilik yüklerinin tespiti ve önlenmesinde basit, ucuz ve ek altyapı yatırımı gerektirmeyen bir metot olarak değerlendirilmiştir.

### 2.3. Evsel ve Endüstriyel Atıksular ve Arıtma Yöntemleri

#### 2.3.1. Evsel Atıksular ve Özellikleri

Atıksuların arıtılmasında istenen kaliteye ise uygun şekilde tasarlanmış arıtma teknolojileri ile ulaşılmaktadır. 09/08/1983 tarih ve 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun Kirletme Yasağı başlıklı 8. maddesinde; "Her türlü atık ve artığı, çevreye zarar verecek şekilde, ilgili yönetmeliklerde belirlenen standartlara ve yöntemlere aykırı olarak doğrudan ve dolaylı biçimde alıcı ortama vermek, depolamak, taşımak, uzaklaştırmak ve benzeri faaliyetlerde bulunmak yasaktır. Kirlenme ihtimalinin bulunduğu durumlarda ilgililer kirlenmeyi önlemekle; kirlenmenin meydana geldiği hallerde kirleten, kirlenmeyi durdurmak, kirlenmenin etkilerini gidermek veya azaltmak için gerekli tedbirleri almakla yükümlüdürler." ifadesi bulunmaktadır.

Hizmet sektörleri (Hastane, Okul, otel vb.) kaynaklı oluşan atıklar, evsel nitelikli atıksulardır. Evsel atıksular, Arıtma yöntemleri ve teknolojileri kullanılarak arıtılarak, arıtma kalitesi durumuna ve ihtiyaç türüne göre çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır.

Evsel nitelikli atıksuların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin her biri kendi içinde incelenmiştir ve atıksuyun içindeki maddelerin etkinliği ve özellikleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin farklılıkları atıksuyun içinde bulunan farklı malzemelerin etkenlerinden oluşmaktadır ve Çizelge 2.5.'te gösterilmektedir.

**Çizelge 2.1.** Evsel atıksuların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri

		Özellik	Açıklama
		Evsel Atıksu Özellik Türü	Fiziksel
Koku	Kirletici maddeler: Petrol atıkları, çözücü maddeler ve yağlar		
Sıcaklık	Hava sıcaklığına göre; kış mevsiminde yüksek, yaz mevsiminde düşük dereceler.		
Renk	Atık niteliğine göre renk değişimi		
Evsel Atıksu Özellik Türü	Kimyasal	Biyolojik oksijen ihtiyacı	Organik madde giderimi esnasında oluşan mikroorganizmaların kullandığı çözülmüş O <sub>2</sub>
		Kimyasal oksijen ihtiyacı	Organik madde göstergesi. KOİ oranı BOİ oranından daha yüksektir.

	pH	H <sup>+</sup> iyonu yoğunlaşması; Yüksek H <sup>+</sup> asidik, Yüksek OH <sup>-</sup> bazik özellik durumu. Genel derece: 6-8
	Klorür	İnsan idrarı ve yumuşatıcı malzemeler
	Azot	Mikroorganizma besleyicisi
	Fosfor	Mikroorganizma besleyicisi, Ötrifikasyon başlangıcı
	Kükürt	Yaygın halde ve çoğunlukla sülfata dönüşümlü
	Gazlar	Azot, oksijen, karbondioksit, amonyak ve metan gibi gazlar
Biyolojik	Virüs, bakteri, alg, protozoa gibi mikroorganizmalar insanlar için hastalık kaynağıdır.	

### 2.3.2. Endüstriyel Atıksular ve Özellikleri

Endüstriyel nitelikli atıksuyun karakterizasyonu ve alıcı ortama deşarj standartlarına göre atıksudaki kirleticilerin uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu kirleticiler şu şekilde sıralanabilir:

- Çözünmüş organik maddeler
- Ağır metaller
- Eser organikler
- Askıda katı maddeler
- Renk/bulanıklık
- Azot-fosfor
- Refrakter maddeler (biyolojik ayrışmaya dirençli)
- Yağlar
- Uçucu organikler

Toksik özellikte olmayan atıksular birincil ve ikincil arıtma sistemlerinde arıtılabilmektedir. Toksik atıksular sadece ön arıtmadan geçirildikten sonra bu sistemlere verilmektedir. Birincil arıtmada atıksu biyolojik arıtma proseslerine uygun hale getirilmektedir. Büyük hacimli katı parçacıklar ızgaralar yardımıyla tutulur ve kum ayrılır. Dengeleme, atıksuyun debi ve konsantrasyonundaki zamana bağlı değişimleri dengeler. Gerektiğinde dengeleme tankından sonra atıksuyun pH'ı nötralize edilir. Yağ, gres ve askıda katılar, yüzdürme, çöktürme ve filtrasyon ile giderilir. İkincil arıtma, BOI olarak 50-1000 mg/l aralığındaki çözünmüş organik bileşiklerin biyolojik parçalanmasıdır. Bu işlem aerobik proses olup genellikle açık/havalandırılan havuzlarda veya lagünlerde yapılır. Organik içerik yükünün fazla olduğu atıksularda, atıksu anaerobik reaktörlerde ön arıtmadan geçirilir. Biyolojik arıtmadan sonra mikroorganizma ve diğer askıda katıdan oluşan çamur çöktürülür. Bu çamurun belirli bir kısmı prosese geri döndürülür, fazla çamur uzaklaştırılır.

Birçok arıtma sistemi, birincil ve ikincil arıtmayı içermekte olup aynı zamanda mikroorganizma için toksik olan maddeleri de giderebilmekteydi. Ancak günümüzde alıcı ortam canlıları üzerinde toksik etkisi olan öncelikli kirletici ve kalıntıları arıtılabilmek önem kazandığından bunun için ya yeni sistemler tasarlanmalı veya eski kurulu sistemlere uygun yeni üniteler eklenerek mevcut sistemin kapasitesi artırılmalıdır.

Üçüncül arıtma prosesleri, bazı özel bileşenlerin giderilmesi için biyolojik arıtmadan sonra sisteme eklenir. Örneğin filtrasyon, askıda ve koloidal katıların gideriminde; granüler aktif karbon organiklerin adsorpsiyonunda, kimyasal oksidasyon da gene organiklerin gideriminde kullanılırlar. Üçüncül arıtma sistemleri büyük hacimlerdeki atıksuları arıtmak durumunda olduklarından dolayı oldukça pahalıdırlar. Kirleticiye özel olmadıkları için bazı durumlarda verimsiz de olabilmektedirler. Örneğin; diklorofenol, ozonlama veya granüle aktif karbon ile giderilebilir, ancak bu prosesler aynı zamanda diğer birçok organikleri de giderecektir.

Pestisit, ağır metal gibi kirleticiler biyolojik arıtmayı engellemektedir. Bu özellikteki atıksular sisteme verilmeden kaynağında arıtılmalıdır. Biyolojik olarak parçalanmayan özel maddeleri içeren daha düşük hacimli atıksuları arıtmak seyrelmiş ancak büyük hacimli atıksuları arıtmaktan hem daha kolay hem de daha ekonomiktir. Kaynakta arıtım için kullanılan prosesler çöktürme, aktif karbon adsorpsiyonu, kimyasal oksidasyon, hava veya buharlı sıyırma, iyon değiştirme, ters osmoz, elektro diyaliz ve ıslak hava oksidasyonudur.

Mevcut arıtma sistemlerinin kapasitelerini arttırmak ve verimlerini yükseltmek için proseste bazı değişikliklerin yapılması, pratikte sık uygulanan bir durumdur. Bunun bir örneği mikroorganizmaların parçalayamayacağı organikleri adsorbe etmek için biyolojik arıtma sistemine toz aktif karbon ilave edilmesidir. Diğer bir örnek ise, biyolojik arıtmadan sonra atıksudaki fosfor ve kalıntı askıda katıların koagülasyonla giderimidir.

Atıksu arıtma proseslerinin veya proses kombinasyonlarının seçimi aşağıdaki kriterlere bağlıdır;

- Atıksu karakteri: Bu, kirleticinin askıda, koloidal veya çözünmüş, biyolojik parçalanabilen gibi hangi formda olduğunu ve toksisitesini kapsamalıdır.
- Çıkış suyu kalitesi: Çıkış suyunun zehirlilik (bioassay) deney sonuçları gibi ileriye yönelik istenebilecek deşarj kısıtlamalarına da planlamada yer verilmelidir.
- Herhangi atıksu arıtma problemi için mevcut yer ve maliyet: İstenen arıtma verimine çoğu zaman bir veya daha fazla arıtım kombinasyonu sayesinde ulaşılmaktadır. Proses tasarımına geçilmeden önce en ekonomik seçimi yapmak için detaylı bir fizibilite çalışması yapılmalıdır.

### 2.3.3. Atıksu Arıtımının Amacı ve Kapsamı

Atıksu arıtımı, çeşitli kullanımlar sonucu oluşan atıksuların deşarj edildikleri alıcı ortamın fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirmek için uygulanan fiziksel kimyasal ve biyolojik proseslerin birini ya da birkaçını

kapsamaktadır. Atıksu içindeki kirleticilerin uzaklaştırılması amacı ile atıksu karakterine göre birincil, ikincil ve ileri arıtma yöntemleri kullanılır. Birincil arıtma, atıksudaki yüzen ve çökebilen katı maddelerin uzaklaştırılması işlemlerini kapsayan fiziksel arıtma ünitelerini içerir. İkincil arıtma organik, maddelerin gideriminde kullanılan biyolojik ve veya kimyasal arıtma ünitelerini içerir. İleri arıtma bu işlemlere ilaveten ikincil arıtmada giderilmeyen kirleticilerin uzaklaştırılmasında kullanılan prosesleri kapsar.

**Çizelge 2.2.** Arıtma işlemi uygulanmamış evsel atıksuların nitelikleri

Atıksudaki Madde	Mevcut Değeri (g/kişi-gün)
BOİ	45-54
KOI	1.6-1.9xBOİ <sub>5</sub>
Organik Karbon	0.6-1.0xBOİ <sub>5</sub>
Katı Madde	170-220
Askıda Katı Madde	70-145
Alkalimle (CaCO <sub>3</sub> )	20-30
Klor idler	4-S
Azot (N)	6-12
Nitrat	~0,5xN
Fosfor (P)	0.6-4.5
Potasyum Oksit (K <sub>2</sub> O)	2-6

**Çizelge 2.3.** Arıtma işlemi uygulanmamış endüstriyel atıksuların nitelikleri

Proses	BOİ	KOI	AKM	Azot	Fosfor	TÇK
Çöktürme %	10-30		59-90	-	-	-
Yüzdürme %	10-50		70-95	-	-	-
Aktif çamur mg/l	<25		<20	4	4	-
Havalandırılmalı lagün mg/l	<50		>50	-	-	-
Anaerobik lagün mg/l	>100		<100	-	-	-
Derin kuyu Ç. Sistemi	Atığın hepsi	-	-	-	-	-
Karbon adsorpsiyonu mg/l	<2	<10	<1	-	-	-
Denitrifikasyon mg/l	<10	-	-	<5	-	-
Kimyasal çöktürme mg/l	-	-	<10	-	<1	-
İyon değişimi mg/l	-	-	<1	5	5	5

### 2.3.4. Atıksu Arıtma Yöntemleri

Evsel ve endüstriyel atık suların arıtılmasında kullanılan atıksu arıtma yöntemleri fiziksel yöntem, biyolojik yöntem ve kimyasal yöntem olmak üzere üç ayrı proste gerçekleşir. Atık suların tekrar kullanılabilmesi ve doğal ortamlarda tahribata yol açmayacak niteliklerde deşarj edilebilmesini sağlayan bu proses grupları, suyun niteliğine göre ayrı ayrı veya hep beraber kullanılabilir.

Bahsi geçen arıtma yöntemlerinden ilki fiziksel arıtma yöntemidir. Bu yöntem, evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuların her ikisinin arıtımında kullanılmaktadır. Atıksuyun içerisinde bulunan, hacimce ve partikül olarak büyük katı maddelerin arıtılmak istenen sudan ayrıştırılmasını amaçlar. Fiziksel arıtma prosesi, kaba ve ince ızgaralar, kum tutucular, çökeltme tankları ve filtrasyon havuzlarından meydana gelmektedir. Fiziksel arıtım ile katı maddeler parça büyüklüklerine göre aşamalı şekilde atıksudan ayrıştırılır.

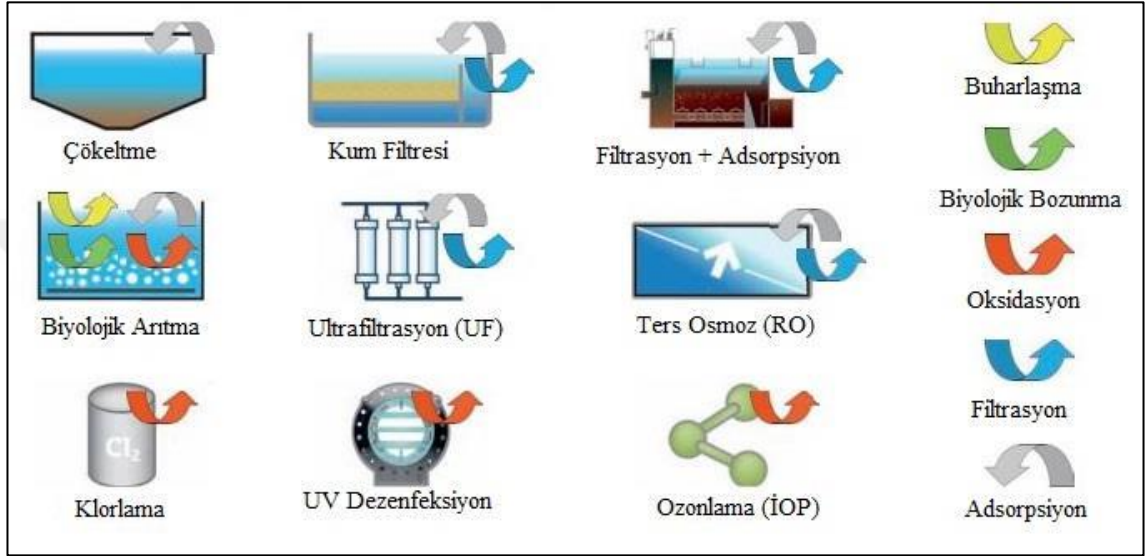
Arıtma yöntemlerinden ikinci olan proses de biyolojik arıtma yöntemidir. Biyolojik arıtma prosesleriyle, atıksu içerisindeki çözünmüş halde bulunan organik kirleticilerin bakteriyolojik aksiyonlar ile atıksudan uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. Bu yöntem çoğunlukla evsel atıksuların arıtımında kullanılır. Biyolojik arıtma yöntemleri, filtreler, aktif çamur, stabilizasyon havuzları, aerobik ve anaerobik sistemlerden meydana gelmektedir.

Atıksu arıtma yöntemlerinin sonucusu kimyasal proseslerdir. Kimyasal arıtma yöntemleri çoğunlukla endüstriyel atıksularda ve içme suyu arıtımında kullanılır. Atıksu içerisinde çözünmüş halde veya askıda kalan, fiziksel arıtma yöntemleriyle çöktürülüp atıksudan uzaklaştırılmayan kirleticilerin çökeltilerek atıksudan ayrıştırılması kimyasal arıtma yöntemleriyle yapılmaktadır. Atıksular çöktürme havuzundan sonra çeşitli kimyasalların eklenmesiyle karıştırma ünitesine gelir. Bu kimyasalların su içerisindeki kirleticiler ile reaksiyona girmesi beklenir. Bu kimyasallar sayesinde kirleticileri çözünlüklüleri daha düşük bileşiklere dönüşürler ve askıda katı maddeler de yumak haline gelerek çökülürler (Anonim 1).

### 2.3.5. Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikro Kirletici Giderimi

Arıtma tesislerinde gerektiği gibi giderilemeyen mikro kirleticiler (MK) alıcı ortamlara deşarj edildiklerinde alıcı ortamın kirlilik yükünü arttırmaktadır. Alıcı ortamın yüzey suları veya yüzey sularıyla bağlantılı olduğu durumlarda, içme suyu kaynağı olarak kullanılan yüzey sularının mikro kirletici yükünün artması insan sağlığı için büyük endişe kaynağıdır. Dünya çapında yapılan birçok araştırmada arıtılmış ve içme suyu olarak kullanılan sularda dahi düşük konsantrasyonlarda farmasötikler, biyositler, kişisel bakım ürünleri ve plastik katkı maddeleri gibi atıksu kökenli birçok MK tespit edilmiştir (Benner vd., 2013).

Mikro kirleticilere karşı tek başına kesin bir arıtım olanağı sunan bir arıtma prosesi henüz günümüzde mevcut değildir. Bu kirleticilerin sulardaki konsantrasyonlarını mümkün olduğunca azaltmak için birçok farklı arıtma prosenin beraber kullanılması gerekmektedir (Drewes ve Khan, 2011). Örneğin; UV fotolizi genellikle organik bileşiklerin giderimi için etkili bir arıtma seçeneği değilken, UV fotolizinin H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile kombinasyonu mikro kirleticiler için yüksek giderim verimliliği sağlamaktadır (Rosenfeldt ve Linden, 2004). Atıksu arıtma tesislerindeki farklı proseslerin mikro kirleticiler için giderim mekanizmaları Şekil 2.1. de verilmiştir.



Şekil 2.3. Atıksu Arıtma Tesislerinde MK Giderim Mekanizmaları (SUEZ, 2014)

### 2.3.5.1. Aktif Çamur Prosesi

Genellikle evsel atıksu arıtma tesislerinde kullanılan aktif çamur prosesi, ek bir ön arıtma, nütrientlerin giderimi için kullanılan amonyum ve nitrojenli biyolojik kirleticileri oksitleyen mikroorganizmalardan meydana gelir. Aktif çamur prosesi, ham atıksuyun havalandırma havuzlarında aerobik bakteriler ile karşılaşmasıyla başlamaktadır (Eckenfelder ve Cleary, 2013). Ham atıksuyun havalandırma havuzundaki bekleme süresi, çöktürme havuzunda sıvı ve katı fazın ayrışmasından önce verimli bir şekilde arıtılmasını sağlayacak şekilde ayarlanır (Metcalf, 2003). Çökmüş haldeki aktif çamur, havalandırma havuzundaki optimum mikroorganizma konsantrasyonunu sağlayabilmek adına tekrar havalandırma havuzuna geri devir hattıyla aktarılır (Eckenfelder ve Cleary, 2013).

Aktif çamur prosesinde ayrışma 3 ana yöntem ile meydana gelir. Bunlar; biyolojik bozulma, havalandırma ve sorbsiyon. Sulu çözeltideki organik PAH'lar nispeten belirli bir pH değerinde iyonik formda olacağından ve  $\log K_{ow}^*$  pH'a bağımlı olduğundan  $\log K_{ow}^*$  değerleri; çözülmüş haldeki PAH'ların sorbsiyon yöntemi sayesinde gideriminde göz önüne alınması gereken en önemli parametre olmalıdır. 2007 yılında Wells tarafından ve 2010 yılında Tadkaew tarafından yapılan çalışmalarda pH'ın  $\log K_{ow}^*$  doğrudan etkilediğini göstermiştir.

### 2.3.5.2. Membran Prosesler

Düşük molekül ağırlıklı organik kirleticilerin giderim veriminin yüksek olmasından, çıkış suyu kalitesinin yüksek olmasından ve diğer arıtım sistemleriyle entegre olabilme yeteneklerinden dolayı membran prosesler tercih edilmektedir (Kim vd., 2008; Lee vd., 2008). Membranın karakteristik özellikleri, prosesin tipi, giderilmek istenen mikro kirleticilerin özellikleri ve işletme şartları gibi sebepler, membran prosesler ile mikro kirletici verimini etkilemektedir (Schäfer vd., 2011). Membran proseslerin arasında mikro kirletici gideriminde en yüksek verime sahip olanlar; nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmoz (TO) sistemleri, verimin en düşük olduğu sistemler ise ultrafiltrasyon (UF) ve mikrofiltrasyon (MF) sistemleridir. Hangi membran prosesinin seçildiğine göre mikro kirletici giderim verimleri %10 ile %95 arasında değişmektedir (Kim vd., 2007).

2011 yılında Yangali-Quintanilla vd.'nin yaptıkları çalışmada izlenmesi ve takip edilmesi önemli olan mikro kirleticilerden endokrin bozucu kirleticiler üzerinde nanofiltrasyon ve ters ozmoz proseslerinin giderim verimleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda nanofiltrasyon sisteminin ters ozmoz sisteminin giderim verimine oldukça yakındır. Her bir membran prosesinde asıl giderim mekanizması filtrasyon ve adsorpsiyondur.

### 2.3.6. Atıksu Arıtma Tesislerinde PAH'ların Giderimi

Atıksulardan PAH'ların uzaklaştırılması adına birçok farklı proses bişletilmektedir. Özellikle adsorban özellikleri yüksek olan çeşitli karbon malzemeler PAH gideriminde kullanılır (Ania vd., 2007; Yuan vd., 2010; Gutiérrez vd., 2018; Huang vd., 2018). Aynı zamanda çeşitli enzimler, kimyasal oksidasyon prosesleri, mikroorganizmalar ve fotoliz PAH gideriminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Pah bileşiklerinin halka sayısı arttıkça suda çözünebilme özellikleri de azalmaktadır (Masih vd., 2010). PAH'lar son derece lipofilik bir yapıdadır bu sayede organik çözücüler ile çözünebilirler. Öte yandan PAH'lar ışığa karşı oldukça duyarlıdırlar ve ısıya, korozyona ve iletkenliğe karşı da dirençlidirler (Akyüz ve Çabuk, 2010).

2008 yılında Gasperi vd. (2008) Fransanın Paris şehrinde, 105 km<sup>2</sup> alanda ve 2,5 milyon kişiye hizmet veren birleşik sistem kanalizasyon hattında 66 mikro kirleticiyi hem yağışlı hem de kurak mevsimlerde izleme çalışması yapmıştır. Çalışma 1 yıl sürmüş ve süre boyunca toplamda 10 örnekleme yapılmıştır. Çalışmanın neticesinde, B(a)P ve B(b)F ölçüm limitlerine yakın veya daha az olduğu deklare edilmiştir. İzlenen PAH bileşikleri arasında yüzdesel olarak en fazla olan Flouranten, toplam PAH bileşiklerinin %39'u olarak analiz edilmiştir. Havanın kurak olduğu zaman alınan örnekler ile yağışlı zamanlarda alınan örnekler kıyaslandığı zaman, yağışlı dönemlerde PAH'ların konsantrasyonunun daha fazla olduğu görülmüştür. Bu yağmurun ve rüzgarın PAH'ları daha fazla kanalizasyon sistemine taşıdığını göstermektedir.

Özellikle membran proseslerde, PAH'ların polariteleri, hidrofobik özellikleri molekül ağırlıkları giderim verimini etkilemektedir (Albergamo vd., 2019). PAH'ların molekül ağırlıkları 500 Daltondan düşük olması sebebi ile çözünürlükleri de düşüktür

(Zhang vd., 2013; Liu vd., 2017; Ren ve ad., 2018). Nanofiltrasyon ve ters ozmoz membranların, PAH'ların sulardan giderimi konusunda en etkin prosesler olduğu bilinmektedir.

Literatürdeki başka bir çalışmada mikro kirleticilerden PAH'lardan naftalin, metoksitetralin ve piren'in nanofiltrasyon yöntemi ile giderimi incelenmiştir. Nanofiltrasyon membranlarındaki PAH adsorpsiyon verimliliğini görebilmek için, zeta açısı, temas açısı fotoelektron spektroskopisi ve membranın geçirgenliği ile gözenek boyutlarının ölçümleri yapılmıştır. Çalışmanın neticesinde adsorpsiyonun, nanofiltrasyon prosesinin ana mekanizması olduğu ve bu mekanizmanın membranların tıkanmasında önemli bir rolü olmadığı çıkmıştır.

Atıksularda PAH gideriminde adsorpsiyonun verimini pH, partikül boyutu, tuzluluk, sıcaklık ve tuzluluk gibi parametreler belirler. Adsorban maddelerden aktif karbonun verimi %100, modifiye kilin %99 ve son olarak biyolojik kömürün %98'dir. Koşullar ve parametreler doğru seçildiğinde atıksudan PAH giderimi %100'e ulaşabilmektedir (Lamichhane vd., 2016).

2018 yılında Sun vd.'nin yaptığı araştırmada, Çin'in kuzeyinde bulunan ve 650.000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteye sahip Harbin Atıksu Arıtma Tesisinin ham atıksuyunda, arıtma çamurunda ve arıtma tesisinin etrafındaki atmosferik emisyonlarda PAH'ların varlığı, konsantrasyon değişimleri çalışılmıştır. Çalışmaya konu olan atıksu arıtma tesisine gelen atıksuyun %20'si endüstriyel %80'i de evsel kaynaklıdır. Yapılan analizlerde ham atıksuyun toplam PAH konsantrasyonu 4080 ng/L, arıtma çamurunda 8200 ng /g ve tesisin çıkışından alınan arıtılmış atıksu numunesinde 864 ng/L olarak ölçülmüştür. Arıtma tesisinin bulunduğu Harbin'de mevsimsel olarak değişen kömür tüketimine göre bu sonuçlar da değişmektedir. Mevsimsel olarak en yüksek konsantrasyon yaz aylarında olurken konsantrasyonun en yüksek olduğu ikinci mevsim kış aylarıdır. Yazları yoğun yağışların yaşandığı Harbin şehrinde bu yüksek konsantrasyonun yağışlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Kış aylarında ise ısınma amaçlı kömür tüketiminin fazla olmasından dolayı PAH konsantrasyonu yüksektir. Tesisin PAH giderimi konusundaki verimi yaklaşık olarak %85 civarındadır. Giderilen bu PAH'ların %20'si arıtma çamuruna adsorbe olurken, %65'lik büyük kısmının atmosfere uçtuğu ve biyolojik olarak bozunduğu tahmin edilmektedir. Ham atıksuda bulunan PAH'ların %15'i hiç giderilemeden alıcı ortama deşarj ediliyor. Bu çalışma 4-6 halkalı ağır molekül PAH'ların daha az giderildiğini, hafif olan PAH'ların daha fazla giderildiğini gösteriyor. Havalandırma havuzlarının üzerinden alınan atmosferik numuneler ile, tesis etrafındaki havadan alınan numuneler karşılaştırıldığında havuzların üzerindeki PAH konsantrasyonunun belirgin bir şekilde fazla olması bu düşüncüyü desteklemektedir (Sun vd., 2018)

Log Kow 5 olan bileşiklerin atıksu arıtma tesislerindeki giderim verimleri, adsorpsiyon özelliklerinden dolayı %60 ile %65 arasında değişmesi beklenirken, log Kow değerleri 3,6 ile 5 arasında olan bir bileşik için bu mekanizma nedeniyle daha düşük uzaklaştırmaların %15-50 olması beklenir (Manoli ve Samara 2008).

Genel bir deyişle molekül ağırlığı az olan PAH'lar atıksu arıtma tesislerinde hem aerobik hem anaerobik ünitelerde giderilmektedir. Aerobik ünitelerde uçuculuk

özellikleri öne çıkarken, anaerobik ünitelerde adsorpsiyon ile giderimleri sağlanır. Büyük molekül ağırlığa sahip PAH'larda ise giderim anaerobik ünitelerde adsorpsiyon ile olmaktadır (Qiao vd., 2014).

## 2.4. Örneklemeye

İçme suyu ve atıksu arıtma tesislerinde her gün numune alma işlemi yapılmaktadır. Numune alma ilgili yönetmelik standartlarındaki bir kalitede ürüne sahip olup olunmadığının incelenmesinin ve her türlü düzenleyici faaliyetin en önemli ve ilk basamağıdır. Numunenin, numune alınan ortamın tüm özelliklerini içermesi ve laboratuvar ortamında analiz edilene kadar özelliklerinin bozulmaması gerekmektedir. Bu amaçla geçmişten günümüze geleneksel numune alma yöntemleri geliştirilmiştir. Her bir yöntem takip edilmek istenen su kaynağına uygun olarak seçilmelidir.

### 2.4.1. Aktif Örneklemeye

Atıksu ve içme suyu arıtma tesislerinde arıtmanın prosesini belirlemede, prosesin verimini olabildiğince arttırmada ve deşarj suyunun kalitesini ve mevzuatta belirlenmiş deşarj standartlarını sağlamak için sürekli numune alınmaktadır.

Atıksu ve içme suyu arıtımında genelde iki geleneksel numune alma yöntemi kullanılır. Bu yöntemler anlık (grab) olarak elle alınan numuneler ve belli periyotlarda belli bir noktadan alınıp karıştırılan kompozit numunelerdir. Numune alma yöntemi seçilirken arıtma tesisinin türü, kapasitesi, debisi, karakterizasyonu ve analiz edilip izlenmek istenen kirletici yükü göz önünde bulundurulur. Aşağıda her iki numune alma yönteminin prensibi açıklanmıştır.

#### 2.4.1.1. Anlık (grab) numune alımı

Anlık numuneler belirli bir zamanda bir kere alınan numunelerdir. Yöntem kolay olduğu için saha ve laboratuvar çalışmalarında en çok kullanılan numune alma yöntemidir. Örneğin; bir beher veya tüp yardımıyla numune alınabilmektedir.

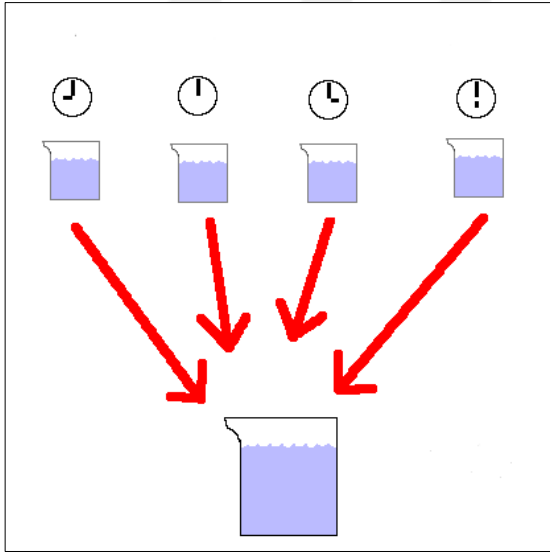
Bu numune alma yöntemi, alınan bir numunenin, suyun özelliklerinin belirli bir nokta ve zamandaki anlık görüntüsünü alır, bu nedenle tüm akışı ve suyun karakterizasyonunu tam olarak temsil etmeyebilir. Genellikle debisi düşük ve çalışan personel açısından iş gücü düşük atıksu arıtma tesislerinde bu yöntemle numune alınmaktadır.



Şekil 2.4. Anlık (Grab) Numune Alımı (Anonim 2)

#### 2.4.1.2. Kompozit Numune Alımı

Bütünleşmiş numune alımı olarak da adlandırılan kompozit numune alma yöntemi aynı su kaynağından periyodik olarak alınan birden fazla numunenin karışımından elde edilir. Kompozit numune alma, su kaynağının sahip olduğu kimyasal, biyolojik ve fiziksel özelliklerini, anlık (grab) numune alma yöntemine göre daha iyi yansıtan bir numune almaya yarayan yöntemdir.



Şekil 2.5. Aynı yerden farklı zamanlarda alınan numunelerin karıştırılması (Anonim 3)

Anlık numuneler gibi, kompozit numunelerin de avantajları ve dezavantajları vardır. En önemli avantajlarından biri su kaynağının özelliklerinin zamanla değişimini görmeye olanak sağlamasıdır. Bu da atıksuyun ve arıtma proseslerinin alıcı ortama olan etkisini değerlendirmede yardımcı olur.

Kompozit numuneler genellikle otomatik numune alma cihazları kullanılarak alınır. Bunlar, analiz gerekliliklerine, arıtma tesisinin büyüklüğüne ve izin gerekliliklerine bağlı olarak her 8, 12 veya 24 saatte bir numune alacak şekilde ayarlanabilir.

Otomatik numune alma cihazlarının fonksiyonu, numuneleri periyodik olarak numune şişesine veya şişelerine almasıdır. Bu sayede örnek almada yapılabilecek hatalar önlenir.

Çoğu parametre için 24 saatlik kompozit numune standart kabul edilir ve ‘Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’ndeki değerlerle karşılaştırılır.



**Şekil 2.6.** LAAT Deşarj Noktasında bulunan kompozit numune alma cihazı

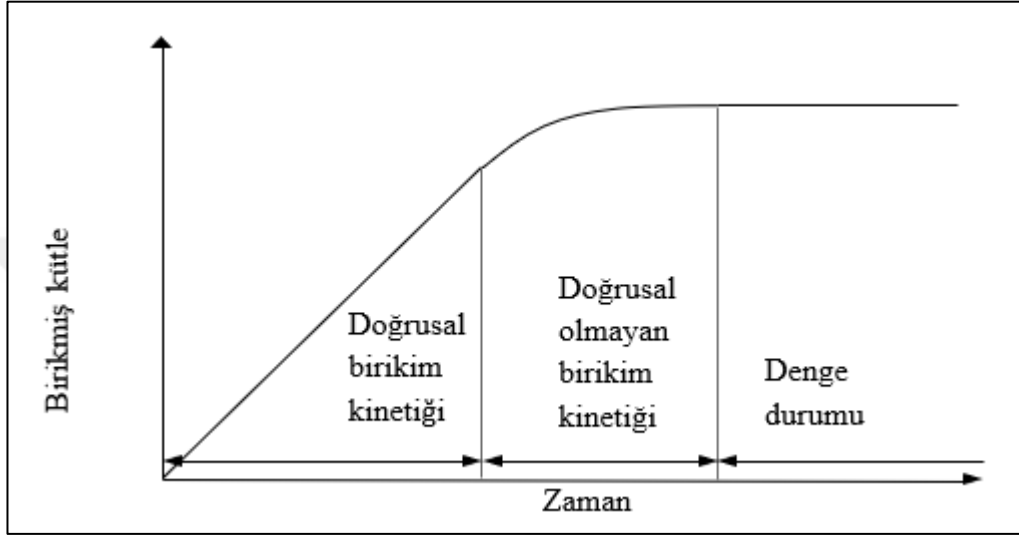
#### 2.4.2. Pasif Örnekleme

Mekanik bir yöntem veya araç kullanmaya gerek olmadan numune almaya yarayan örnekleycilere pasif örnekleyci olarak adlandırılırlar. Pasif örnekleme yöntemi, numune alınıp izlenmek istenen ortama (su, hava veya toprak) araştırmacı tarafından, izlenecek kirlilik yüküne göre belirlenen bir zaman aralığı boyunca konumlandırılır. Ortamdaki kirlilik yükü ile seçilen örnekleycinin denge noktasında buluşması beklenir. (Şekil 3.15)

Geleneksel örnekleme yaklaşımları, hedef matriksin bir bölümünün toplanmasından oluşmaktadır. Su ve atıksu numunesi almak için faydalanan geleneksel yöntemler, saatlik ve günlük bazda numune alınmasını sağlamaktadır. Ancak, bu yöntemler daha uzun süreli izleme işlemleri için kullanışlı değildir (MacLeod vd., 2007). Numune heterojenlik durumu, temsiliyetin olmaması, kontaminasyon veya analit kayıpları bu örnekleme türünde oluşabilecek hatalara yol açacak unsurlardır (Madrid & Zayas, 2007).

İyi bir numune, alındığı su kaynağının tüm özelliklerini bünyesinde barındıran numunedir. Mikro kirleticilerin birçoğunun sudaki çözünürlüğü düşük olduğundan su içerisinde düşük konsantrasyonlarda karşımıza çıkar. Bu sebepten dolayı geleneksel numune alma yöntemleriyle alınan numuneler her zaman araştırılan suyun tümünü temsil edemez. Pasif örnekleyciler planlanmış bir zaman periyodunda suda az çözünen

mikrokirleticileri biyofilm yaşam formu şeklinde biriktirebildikleri için bu kirleticilerin belirlenmesinde ve izlenmesinde önemli araçlardır. Aktif örnekleme yöntemlerinden özellikle kompozit numune alma cihazlarına göre çok daha ucuz ve teknik bir altyapıya ihtiyaç duymazlar. Tekrar edilebilen bir izleme metodu olduğu için canlı organizmalardaki metabolik faaliyetlerin olumsuz sonuçlarından etkilenme ihtimalleri düşüktür. Bu örnekleme yöntemiyle kimyasal, fiziksel ve biyolojik kirleticilerin yanı sıra AB Su Çerçeve Direktifinin Öncelikli Kirletici Listesinde belirlenmiş, aralarında PAH olduğu organik kirleticinin takibi mümkündür.



**Şekil 2.7.** Pasif örnekleycilerin temel çalışma prensibi

Su içerisindeki organik bileşikler, pestisitler, farmasötikler, alev geciktiriciler, ağır metaller vb. örnekleme adına farklı pasif örnekleyciler üretilmiştir. Yarı geçirgen membran cihazı (SPMD), Chemcatcher, Polar Organik Kimyasal Bütünleştirici Örnekleyci (POCIS) ve seramik dozimetrelere pasif örneklemede kullanılabilir cihazlara örneklerdir (Greenwood, Mills & Vrana, 2007; Alvarez vd., 2007).

Bu tez çalışmasında kullanılan ahtapot biyofilm örnekleyciler yukarıda bahsi geçen örnekleycilerden daha ekonomiktir. Diğer ticari olarak temin edilebilen örnekleycilere göre en önemli avantajı ise kullanımından önce bir yatırım yapılmasına gerek olmamasıdır.

Ahtapotun suyla bir süre temas etmesi çok önemlidir. Belirli bir süre boyunca suyla temas eden yüzeylerde mikroorganizmalar üreyerek bu yüzeylerde kolonize olabilmektedirler.

Mikroorganizmalar, Su ile temas halde olan tüm yüzeylerde kolonize olabilir. Mikroorganizmalar; filmler, granüller veya çamur gibi agregalarda yaşamaktadır. Bu yaşam formu "biyofilm" olarak tanımlanmaktadır. Biyofilmler, yapılarına göre kirletici maddeleri barındırabilir, büyümesi hızlı ve kolay numune almayı sağlamaktadır. Bu mikrobiyal topluluklardan, kirleticiler üzerinde bir birikim biyo-izleyicisi olarak fayda sağlanmaktadır.

Biyofilm oluşumu, hücre dışı polimerik maddelerden (EPS) meydana gelen matris yardımıyla olmaktadır. Biyofilmlerdeki mikroorganizmalar, çevrelerini kaplayan ve ürettikleri hidratlı EPS matrisinde yaşamaktadırlar.

EPS, polisakkaritler, proteinler, nükleik asitler ve lipidlerden meydana gelmektedir. Biyofilmlerin mekanik stabilitesini sağlayıp, yüzeye yapışmasına yardımcı olurlar. Biyofilm hücrelerini bağlayan ve belirli süreliğine hareketsiz hale getiren yapışkan, üç boyutlu bir polimer ağı oluşturmaktadırlar.

EPS'deki sorpsiyon bölgeleri katyonik gruplardır:

- $\text{NH}_4^+$ , proteinler, amino şekerler);
- Anyonik gruplar ( $-\text{COO}^-$ ,  $\text{HPO}_4^-$ ,  $\text{SH}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , üronik asitler, proteinler, hümikler);
- Polar gruplar (hidrojen bağı ( $-\text{OH}$ ) grupları, polisakaritler, hümik asitler);
- Polar olmayan gruplar (aromatik amino asitler, polifenoller).
- Metal bağlama mekanizmaları iyon değişimi, kompleksleşme ve çökelmedir ve organik bağlanma mekanizmaları genelde hidrofobik etkileşimlerdir. (Flemming & Wingender, 2010; Flemming, 2011).

Pasif biyofilm örnekleyici ahtapot, yeterli düzeyde biyofilm geliştirmek adına yaklaşık bir metre uzunluğunda olan, 8-10 kol yapısında polietilen bir malzemedir (Şekil 3.7). Ahtapot halatı, kanalizasyon sistemi üzerinde yer alan kontrol bacalarına asılmaktadır. Ahtapot üzerinde oluşabilen biyofilmin sıyırılması için özel aparat kullanılır. Biyofilm örnekleri kaplara aktarılır. Ve analiz için  $4^\circ\text{C}$ 'de saklanmaktadır.

Biyofilm oluşumu, ahtapot üzerinde birkaç hafta süresinde gerçekleşebilmektedir. Düşük oranlı organik madde barındıran sulardaysa daha uzun sürelerde olabilir. Ahtapotlar genel olarak 4 haftalık periyodlar sonucunda, özel sıyırıcı aparat yardımıyla sıyırılmaktadır. Biyofilm örnekleri; mikrodalga özütleme tekniği kullanılarak hazırlandıktan sonra, ICP-OES (Optima 2100 DV) aracılığıyla analiz işlemleri yapılmıştır.

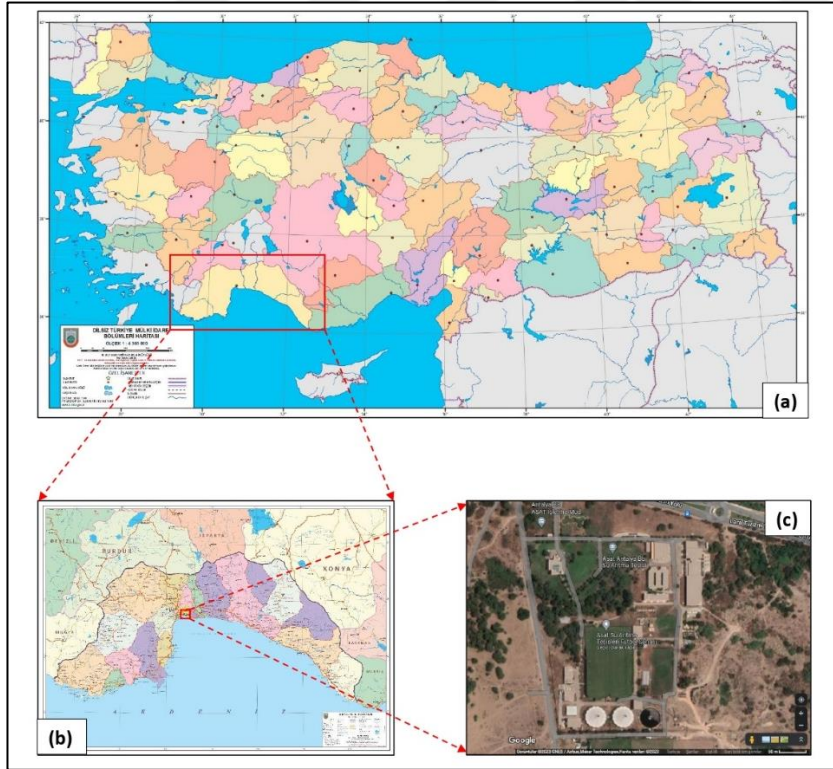
### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Lara Atıksu Arıtma Tesisi (LAAT)

LAAT, şehir merkezine 17 km mesafede ve Lara Plajının 250 m kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 3.1). Nihai kapasitede dört kademedan oluşacak şekilde planlanmış olan atıksu arıtma tesisinin 31.250 m<sup>3</sup>/gün olarak birinci kademesi projelendirilmiştir. 2015 yılında yapılan kapasite artırma ve rehabilitasyon çalışmaları ile 62.500 m<sup>3</sup>/gün kapasiteye ulaşmıştır ve mevcut durumda 2. kademe işletilmektedir.

Tasarım prosesinin opsiyonel olması ve tasarım hesaplarının emniyetli tarafta kalarak yapılmasıyla tesiste ortalama 75.000 m<sup>3</sup>/gün atıksu arıtılmasını gerçekleştirilmektedir. 2015 yılında yapılan kapasite artırımı ve rehabilitasyon çalışmalarıyla 3. son çökeltim havuzu inşa edilmiştir ve diğer ünitelerde ekipman revizyonları gerçekleştirilmiştir.

2022 yılı Nisan ayında 4. son çökeltim havuz inşası başlatılmıştır. Ekipman ve donanımların yenilenmesiyle tesis kapasitesinin 100.000 m<sup>3</sup>/gün'e çıkması planlanmaktadır. Tesise bağlı olan 2 adet terfi pompa istasyonu bulunmaktadır. Diğer kanalizasyon hatları ve deşarj işlemi, cazibeli akış ile gerçekleştirilmektedir. İleri biyolojik arıtma işlemi uygulanan atıksu derin deniz deşarjı ile alıcı ortama verilmektedir. Şekil 3.2'de LAAT'nin genel görünümü yer almaktadır.



**Şekil 3.1.** Çalışma alanı yerbuldurular haritası (a; Türkiye idari haritası, b; Antalya ili idari haritası, c; ASAT Antalya B.B. Su arıtma tesisi) (HGM, GoogleEarth, 2023)



**Şekil 3.2.** LAAT genel görünümü (ASAT, 2022)

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi LAAT’nde tüm üniteler, üstü kapalı olarak inşası gerçekleştirilmiştir. Arıtma tesisi 180 dönüm arazi üzerine inşa edilmiştir. Tesis; 80 dönüm yeşil alana ve havalandırma havuzlarının üstünde yer alan 12 dönüm olimpik ölçülere sahip çim futbol sahasına sahiptir (ASAT, 2022).

LAAT’nin tasarım kriterleri adına kullanılan hesaplamalarda; C, N ve P gideren bir tesis için, biyolojik ünitelerin ve çöktürme havuzunun tasarımını içeren tasarım rehberi yapılmıştır. Rehberde öncelikle ATV-DVWK-A 131E Kriterleri, A<sup>2</sup>O prosesinin tasarımı için kullanıma alınmıştır. ATV-DVWK-A 131E Kriterleri dışında, hesaplamalarda farklı kaynak içeriklerinden de fayda sağlanmıştır. LAAT ile ilgili temel tasarım kriterleri Çizelge 3.1.’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** LAAT tasarım hesap değerleri

<b>Eşdeğer nüfus (E.N)</b>	835.000
<b>Ortalama Debi (<math>Q_{ort}</math>-m<sup>3</sup>/gün)</b>	125.000
<b>Ortalama Debi (<math>Q_{min}</math>-m<sup>3</sup>/gün)</b>	18.750
<b>Pik Debi (<math>Q_{pik}</math>-m<sup>3</sup>/saat)</b>	2.344
<b>Atıksu sıcaklık (°C)</b>	17-30

LAAT’nin tasarım hesap değerlerini belirlemede; kanalizasyon şebekeleri ve atıksu debisi, atıksu karakteri, kirletici tür ve yükleri, alıcı ortam şartları, meteorolojik ve sosyo-ekonomik şartlar araştırma konuları olmuştur. Bölgede turizm ve yerleşim alanı durumu değerlendirilmiştir ve bu duruma bağlı olarak atıksu debisinde gerçekleşebilecek değişimler göz önünde bulundurulmuştur.

Tesise 2.000 mm ve 1.600 mm çaplarına sahip iki ana hattan atıksu girişi gerçekleşmektedir. 1.600 mm çaplı hat, oteller bölgesi olarak bilinen Kundu Turizm Merkezi ve şehir merkezi yerleşim yerlerinin bir kısmını kapsayan hattır. Otel bağlantı hatlarıyla birlikte, bölgede tarımsal alanların var olması ve düzensiz yağış rejimi

sebebiyle infiltrasyonun gerçekleşmesi, atıksu kirletici konsantrasyonlarını seyreltmektedir. Gerçekleşen bu durum, tesis için olumlu olarak görülebilir, ancak giriş atıksu debisinin artması tesis kapasitesini zorlanmasına sebep vermektedir.

2.000 mm çapında şehir hattıysa merkezi yerleşim yerlerini kapsadığından dolayı, evsel atıksu karakteri sebebiyle kirletici konsantrasyonu barındıran yapıdadır. Çizelge 3.2’de LAAT’nin kirletici parametreleri ve 2019-2020 yıllarında elde edilen ortalama kirletici konsantrasyonları yer almaktadır.

**Çizelge 3.2.** LAAT kirletici parametreleri

Tasarım Parametreleri (mg/L)		Gerçekleşen Konsantrasyonlar (2019-2020) (mg/L)	
BOİ <sub>5</sub>	400	BOİ <sub>5</sub>	436
KOİ	700	KOİ	900
AKM	500	AKM	466
TKN	60	TN (TKN, NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> )	56
NH <sub>4</sub> -N	36		
N <sub>org</sub>	24		
TP	12	TP	8

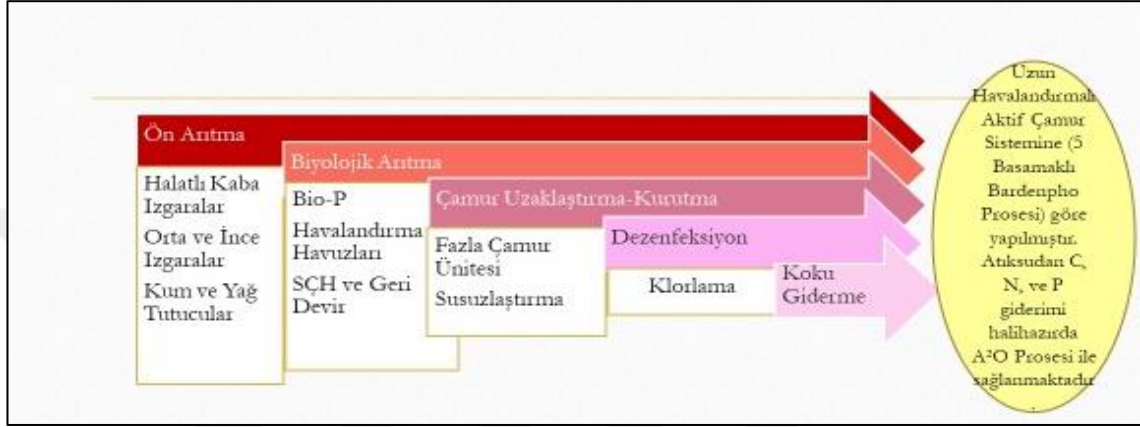
Çizelge 3.2.’de görüldüğü üzere tasarım parametrelerine göre KOİ konsantrasyonunda %28, BOİ<sub>5</sub> konsantrasyonunda % 9 artış meydana gelmiştir. 2019 yılında ortaya çıkan Covid-19 pandemisinin 2020 yılında da devam etmesi, tüketim ve kullanım alışkanlıklarının değişmesi, kirlilik derecesini belirleyen en önemli parametreler olan KOİ ve BOİ konsantrasyonlarında da artış olmasına sebep vermiştir.

Tesise giren atıksu TN konsantrasyonu da (2018 ortalama TN giriş konsantrasyonu: 42 mg/L’dir) diğer kirleticiler gibi pandemi dolayısıyla artış göstermiştir. Ancak tasarım değerini aşmadığı gözlenmiştir. Pandemi nedeniyle temizlik ve hijyen ürünlerinin fazlaca kullanılması, pandemi öncesi yıllarda elde edilen fosfor konsantrasyonunun (2018 ortalama TP giriş konsantrasyonu: 5,6 mg/L’dir) üstüne çıkmasına sebep vermiştir, ancak tasarım değerini aşmadığı gözlenmiştir.

LAAT, 5 Basamaklı Bardenpho Prosesine göre tasarımı gerçekleştirilmiştir ve uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemi ile işletilen bir tesistir. 5 Basamaklı Bardenpho Prosesi baz alınarak tasarlanmış olan aktif çamur sistemi, halihazırda A<sup>2</sup>O proses tipi ile çalıştırılmaktadır.

Bu proses tipinde, anaerobik tankta fosfor salınımı ile başlayan, anoksik bölümde denitrifikasyon, oksik kısımda nitrifikasyon ile TN-TP giderimi gerçekleşerek işlem yapılmaktadır. Her bir havuzun iki kanalı olması ve kanallardan birinin anoksik diğerinin oksik olması TN-TP gideriminin 5 basamakta gerçekleşmesine olanak sağlayan bir unsurdur. Oksik kısımdan geri döndürülen NO<sub>2</sub> ve NO<sub>3</sub> bileşiklerindeki kimyasal bağlı oksijen ile nütrient giderim verimi artırılmaktadır ve Oksik kısım için ÇO ihtiyacı en elverişli seviyede tutulmaktadır.

LAAT 6 ana üniteden meydana gelmektedir. Bu ünitelerden 1.'si Ön Arıtma Ünitesi'dir ve halatlı kaba ızgaralar, giriş terfi pompa istasyonu, ince ızgaralar ve havalandırmalı kum ve yağ tutucu havuzlarını barındırmaktadır. 2. ünite ise, Bio-P havuzları, havalandırma havuzları, son çökeltme havuzları ile geri devir-fazla çamur pompa istasyonunu kapsayan 'Biyolojik Arıtma Ünitesi'nden meydana gelmektedir. 3. ünite biyolojik arıtma sisteminden uzak tutulan çamur depolama kısmı olan 'Fazla Çamur Tankı', 4. ünite çamur susuzlaştırma, 5. ünite Deşarj Pompa İstasyonu ve 6. ünite Koku Giderme Sistemleri' olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.3'te LAAT'nin proses akış şemasının Scada sisteminden alınan görüntüsü yer almaktadır.



**Şekil 3.3.** LAAT proses işlem özeti (ASAT, 2022)

Atıksu arıtma tesislerinin işletme esasları, amacına uygun bir şekilde planlanmıştır. İşletme genel şartları ve ünite bazında kontrol programları üretilmiştir. Tesislerde; proje raporu, tasarıma esas bilgiler, proses akış şeması ve proses raporu gibi tesise ait bilgilendirme belgelerine ulaşılabilmektedir.

Her üniteye bulunan birim ve ekipmanların ilgili kontrol parametreleriyle minimum ve maksimum değerler tespit edilmiştir. Tesis kontrol sistemlerinin tipi (elle, otomatik), akış şemaları, kullanılacak ekipmanların şematik görünüşleri belirlenmiştir. Tesiste bulunan tüm ekipmanların kullanım prosedürlerin ve kalibrasyon belgelerin standartlara ve iş güvenliğine uygun bir biçimde takibi gerçekleştirilmektedir.

Tesislerde, yerinde ve merkezi olarak izlenmesi gereken fiziksel parametreler ve mekanik ekipmanlar; giriş atıksu debisi ve su seviyesi, koku ünitesi ekipmanları, pompalar, penstoklar, enerji hatları, kimyasal tank seviyeleri, mekanik ekipmanların çalışma durumları ve çıkış debisi olarak tanımlanmaktadır. İşletme takip ve kontrolünde bu parametrelerin işletme üzerindeki etki durumu incelenmiştir.

İşletme takip ve kontrol işlemlerinde, öncelikli olarak tesis giriş toplam atıksu debisi,  $Q_{ort}$  ve  $Q_{max}$  dikkate alınması gerekmektedir. Izgaralardan geçen atıksuyun hızı, atıksuda bulunan kaba atık malzemelerin tutulması, ekipman kontrolü ve verimliliği için önemli bir durumdur. Havalandırmalı kum ve yağ tutucu havuzlardaysa; tesise gelen kum miktarı, kumun ızgara kanalları ve kum tutucu havuzlarda ne kadar tutulabildiği, ekipmanların verimliliği takip ve kontrol edilmesi gereken durumlar olarak gözlemlenmektedir. Kum ve yağ tutucu havuzlarının çalışması, biyolojik arıtmaya alınan

atıksu özelliklerini doğrudan etkileyen bir durumdur. Bu sebeple; kum ve yağ tutucu havuzların hidrolik yükü, atıksu hızı, kum pompalarının kapasiteleri, kum ve yağ kompaktörlerinin verimi de özellikle takip gerektiren unsurlardandır.

Bio-P havuzu selektör tankta, aktif çamur-atıksu karışımı sağlanmaktadır. Ve anaerobik ortamda fosfor reaksiyonları başlamaktadır. Havuzda debi, kirletici konsantrasyon ve yükleri, pH, sıcaklık, aktif çamur geri devri, bekleme süresi takip edilmesi gereken önemli parametreler arasındadır. 1-1,5 saat bekleme süresi ile devam eden süreçte, organik madde ve filamentli bakteri oluşumu için yeteri kadar  $BO_5$  konsantrasyonu önemli faktörlerden biridir. Laboratuvarında uygulanan respirometrik metoda göre  $BO_5$  konsantrasyonu, minimum 43,5 mL numune hacmi ve 50 çarpan faktörü ile maksimum 2.000 mg/L olması gerekmektedir. Bio-P havuzu aktif çamur-atıksu karışımı, organik yükü ve biyokimyasal olarak parçalanabilirliği yüksek olduğundan analiz metoduna uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı, ham atıksudaki  $BO_5$  konsantrasyonu takibi yapılmaktadır.

Havalandırma havuzlarında; debi dağılımı, sıcaklık, giriş yükleri, köpük oluşumu ile oksijen transfer sağlayıcı ve mikser gibi mekanik ekipman takip işlemleri gerçekleştirilmektedir. Sisteme giren AKM,  $BO_5$ ,  $KO_5$ , TKN,  $N_{org}$ ,  $NH_4-N$ ,  $NO_3-N$ , TP konsantrasyonları ile ÇO ve pH değerlerinin devamlılıkla takibi yapılmaktadır. Havalandırma havuzlarının oksik ve anoksik bölümlerine yerleştirilen ÇO ölçerler ve havuz giriş-çıkışlarında bulunan pH metreler anlık olarak yerinde ve scada üzerinden takibi gerçekleştirilmektedir.

İmhoff analizleri laboratuvarında günlük olarak yapılmaktadır. Ayrıca havalandırma ünitesinde bulunan ekipmanlarla yerinde de gerçekleştirilebilmektedir. Havuzların gerekli denitrifikasyon kapasiteleri  $BO_5/TKN$  ve  $KO_5/TN$  ile tespit edilmektedir. Geri devir oranı ile geri devirden gelen çamurun katı madde oranı, havalandırma havuzu katı madde oranının da takibi yapılmaktadır. Sistemde takip edilen parametreler ile SVI, çamur üretimi ve çamur yaşı, nitrifikasyon ve denitrifikasyon kapasite ve hızı hesapları yapılmaktadır. Havalandırma havuzlarında mikroorganizma faaliyetlerinin sağlıklı sürdürülmesi ve çıkış suyu kalitesi için, aktif çamur flok yapısı ve mikroorganizma tür belirlenmeleri yapılmalıdır. Özellikle çamurun çökelebilmeye kabiliyetinin göstergesi olan imhoff deneyinde gözlenen dağıntık flok yapısı ve çıkış suyunda görülen iplikli yapılar olduğu durumlarda proses laboratuvarında mikroskopik incelemede canlılık ve tür belirlenmesi gerçekleştirilmektedir. Yapılan raporlamada bulunan mikroorganizma türüne göre ÇO konsantrasyonu, çamur yaşı ve F/M oranı takibi yapılmaktadır.

2021 yılına kadar havalandırma havuzlarından sonra çöktürme için kullanılacak kimyasal olarak  $FeCl_3$  olarak belirlenmiştir. Bu kimyasal bio-P yükü, toplam çamur miktar ve hacmi, kimyasalın yoğunluğu, dozlanacak miktar hesapları ve maliyeti dikkate alınarak tespit edilmiştir. Ardından gerek arıtılmış atıksu TP konsantrasyonunun standartlara uyması, gerek ise kimyasal maliyetinin yüksek olması ve alıcı ortama etkileri düşünülüp kullanılmamasına karar verilmiştir. Son çökeltme havuzlarına gelen atıksu debisinin havuzlara eşit dağıtılması durumu önemlidir. Geri devir oranı, SVI kontrolü ve savak yükleri de kontrolü sağlanan parametreler olarak yer alır. Çökeltme havuz hacim ve sayılarının sisteme uyumu, köpük sıyrıcı verimliliği, savak tipi gibi fiziksel etkenler tasarım esnasından tespit edilen unsurlardır. Seçilen bu unsurların yanında, çamurun

yoğunluğu ve çökeltme kabiliyeti, katı yükleme hızı, yüzey yükü de çıkış suyu kalitesi adına takibi yapılan parametreler arasındadır.

Çamur susuzlaştırma ünitesine giren çamurun, katı madde yüzdesi, çamur debisi, kuru madde yükü takibi yapılmaktadır. Susuzlaştırılan çamurda ise katı madde yükü, çalışan dekantör sayısı ve süresi, polimer dozlama oranı, polimer tüketimi ve konsantrasyonu takibi gerçekleştirilmektedir. Uzaklaştırılmak üzere olan çamur kalitesinin ve ünite işletme veriminin takibi için; çamur keki kuruluk ve süzöntü suyu AKM analiz işlemleri yapılmaktadır. Sisteme giren çamur için de AKM, TKM, UKM analizleri yapılmaktadır. Analiz sonuçları ile kullanılan su miktarı hesaba alınarak polimer gideri hesaplanmaktadır. Oluşan çamurun organik madde içeriği yüksek olduğundan dolayı, kurum tarafından belirlenen zamanlarda belirli testlerden geçen katyonik özellikte polimer çalıştırılmaktadır.

### **3.2. Hurma Atıksu Arıtma Tesisi (HAAT)**

Hurma AAT, Antalya-Kemer karayolunun 16. km'sinde, Tünektepe yolunda kıyıda 2600 m uzaklıkta kurulmuştur. Antalya Su ve Atıksu İdaresi (ASAT) Genel Müdürlüğü tarafından 30 Eylül 1996 tarihinde ön arıtma tesisinin temeli atılmış ve 17 Şubat 1999 yılında inşası tamamlanmıştır. Tesisin üç kademeli inşa edilmesi kararlaştırılmış olup ilk kademede ön arıtma proseslerinde organik maddelerin giderimi sağlanamadığından denize deşarj edilen arıtılmış suyun alıcı ortamda kirlilik yaratmaması adına biyolojik prosesleri içeren ünitelerin de yapılması gerekmiştir. İlk kademesi 250.000 kişiye hizmet verebilecek halde planlanmış ve 17 Nisan 2001'de temel atılmış, yapıma başlanmıştır. 29 Aralık 2001'de yapım süreci tamamlanan tesis çalışmaya başlamıştır. Diğer kademenin temeli 12.07.2004'te tarihinde atılıp kapasite arttırımı tamamlandıktan sonra 2005 yılı Ocak ayında çalışmaya başlamıştır. İki kademenin tamamlanmasıyla tesisin hizmet kapasitesi 500.000 kişiye ulaşmıştır. 2011 yılının Nisan ayında son kademenin de tamamlanmasının ardından 210.000 m<sup>3</sup>/gün atıksu arıtma kapasine ulaşarak 1.400.000 nüfusa hizmet vermektedir. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te tesisin yerleşim yeri ve planı verilmiştir.



Hurma tesisinde, atıksudan karbon, fosfor ve azotun gideriminde Bardenpho Prosesi kullanılmaktadır. Tesiste arıtma verimi %98 olarak ölçülmüştür. Arıtılan su 5073 metre uzunluğunda 1600 mm çapındaki polietilen derin deniz deşarj hattı ile denizin 50 metre derinliğine deşarj edilmektedir.

Tesise, farklı uzunluk ve çaptaki hatlarla gelen atıksu ilk önce ön arıtma ünitesine gelerek, atıksuyun içerisinde işletmeyi engelleyecek büyük boyutlu materyallerin giderilmesini sağlar. Bu materyallerin uzaklaştırılması atıksuyu ızgaradan geçirmeyle başlayarak sonrasında kumun ve yağın uzaklaştırılmasıyla devam etmektedir. Bu sürecin doğru işletilmesi için ön arıtma ünitesinde 3 kaba ızgara, 4 pompa, 3 ince ızgara, 4 tane kum ve yağ tutucu, havalandırma sistemleri vardır. Fiziksel ön arıtma işleminden geçen su kendi cazibesıyla biyolojik arıtma prosesine gönderilir.

Fiziksel ön arıtmadan çıkan atıksu terfi merkezine gelir. Terfi merkezindeki pompalar yardımıyla atıksu anaerobik reaktöre transfer edilmektedir. Tesiste bulunan biyo-fosfor tankı anaerobik olarak işletilmektedir. Hiç hava verilmeden bu tankın içerisinde yaklaşık 1,5 saat bekletilen atıksuda anaerobik şartlar meydana gelir ve mikroorganizmalar fosforu bünyelerinden dışarıya atarlar. Hurma atıksu arıtma tesisinde, biyolojik fosfor gideriminin yanında gereken durumlarda havalandırma havuzu çıkış toplama yapısında günlük ortalama 750 L FeCl<sub>3</sub> ilavesi yapıldığı belirtilmiştir (Doğan, 2010).

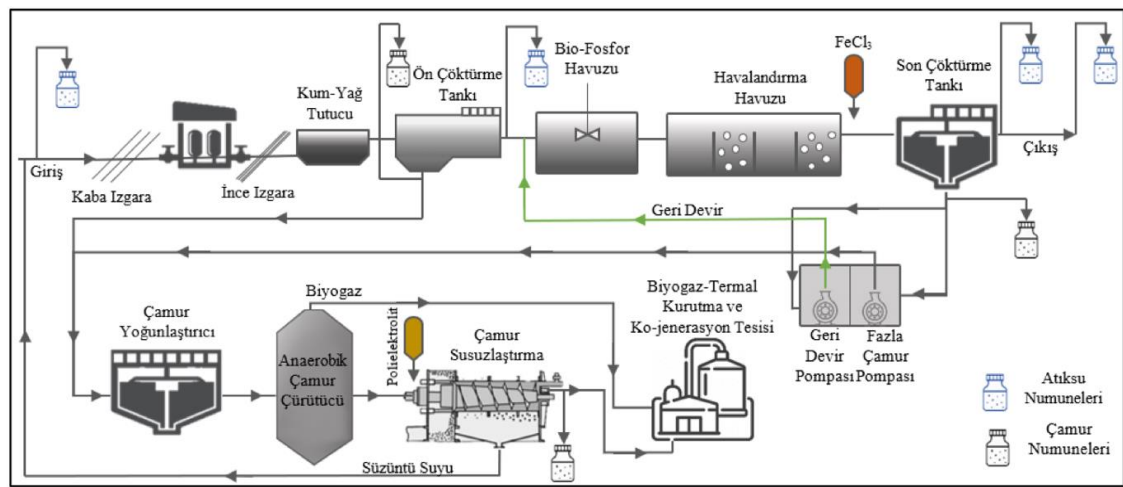
Biyolojik fosfor havuzundan çıkan atıksu havalandırma havuzlarına gönderilir. Bardenpho prosesinde denitrifikasyonun gerçekleşebilmesi için karbon kaynağı olarak hem atıksudaki karbon hem de solunum hidrolizi sonucunda ürün olarak meydana gelen karbon kullanılır. Karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon için havalandırma havuzunda sırasıyla anoksik-oksik-anoksik-oksik ayrı bölümleri kullanılır. Atıksu öncelikle birinci anoksik reaktörüne girerek denitrifikasyon gerçekleşir. Bu reaktöre aynı zamanda karbon oksidasyonu-nitrifikasyon reaktörü çıkış suyu da geri döndürülerek verilir. Geri döndürülen suyu denitrifiye etmek için atıksudaki karbon kullanılmaktadır. Amonyum ilk anoksik ortamda hiçbir değişime uğramaz ve direkt olarak ilk oksik tanka ulaşır. Atıksu bu tanktan nitrifiye olarak çıkar ve ikinci anoksik ortama gönderilir. İkinci anoksik ortamda denitrifikasyon mikroorganizmaların içsel solunumlarından sonra oluşan karbon ile olmaktadır. İkinci oksik ortam daha küçük olduğu için, oluşan azot gazının gideriminde kullanılır. Çamurdan ayrılan amonyağın denitrifikasyonu ise ikinci anoksik ortamda meydana gelir.

Havalandırma havuzundan sonra aktif çamur-su karışımı son çöktürme tankına aktarılır ve burada çöken çamur geri devir oranına göre bir kısmı pompa ile çekilir. Çöktürme havuzunun yüzeyinde birikmiş haldeki köpük, yüzey sıyırıcılar ile toplanıp pompa istasyonuna gönderilir.

Çöktürme havuzlarından alınan çamur, karıştırma ve yoğunlaştırma tanklarına gönderilir sonrasında havalandırılarak çamur stabil halde tutulur. Yoğunlaşmış ve stabil haldeki çamur (%4-5 katı madde) 30 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli 6 pompa ile anaerobik çamur çürütme tanklarına gönderilir.

Çürütme prosesi anaerobik ve mezofilik koşulları sağlamalıdır. Bu mezofilik üç tür bakteri grubu (asit bakterileri, metan bakterileri, fermantasyon bakterileri) sayesinde çamurun çürütme işlemi yapılabilir. Bu 20 ila 45°C de oksijensiz ortamda organik maddenin bozunmaya uğramalarıyla gerçekleştirilir. Çürütme sonunda; nispeten kokusuz, susuzlaşabilir, sağlık açısından zararsız ve düşük hacimli çamur elde edilmiş olunur.

Çürütme tanklarından çıkan %3 yoğunluğundaki çamur karıştırma ünitesine aktarılır ve susuzlaştırma için dekantörlere gönderilir. %3 katı madde yoğunluğundaki çamura, polielektrolit çözeltisi ilave edilir ve 60 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli dekantörlerde %25 katı madde içeriğinde olacak halde susuzlaştırılır. Elde edilen çamur keki Arıtma Çamuru Termal Kurutma ve Ko-jenerasyon tesisine gönderilir.



Şekil 3.6. HAAT akış şeması (ASAT, 2022)

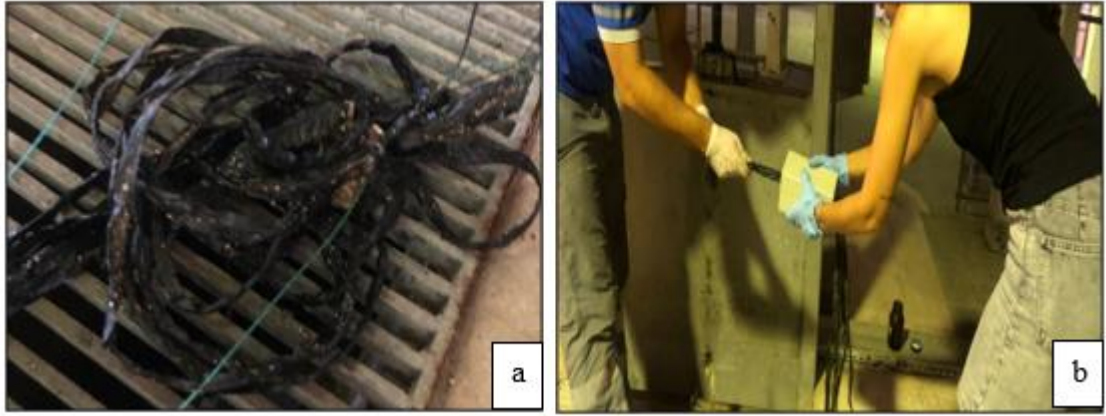
Atıksu arıtma tesisinin verimli olarak çalışmasını sağlamak, mevcut elemanların yeterliliğini değerlendirmek ve ham atıksuyun karakteristiğini anlayabilmek için analizlerin sık aralıklarla yapıp incelenmesi gerekmektedir. Bu incelemeler laboratuvar analizleriyle gerçekleştirilmektedir. Tesiste imhoff, akm, azot, fosfor, KOİ, BOİ ve pH analizleri yapılmaktadır.

- AKM,
- BOİ,
- KOİ,
- tN,
- tP,
- pH olarak sıralanabilir.

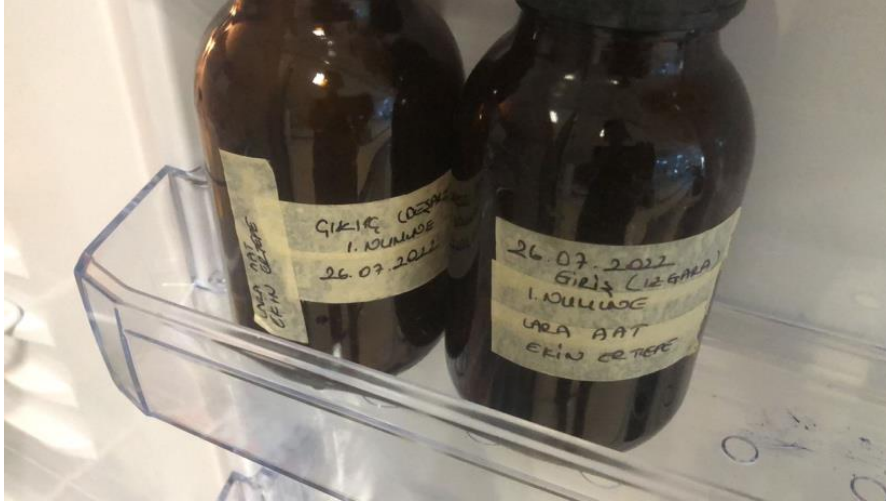
### 3.3 Numunelerin toplanması ve analize hazırlanması

#### 3.3.1. Numunelerin toplanması

Yaklaşık 2 metre uzunluğunda bir misinaya bağlı olan ahtapot tipi örnekleyiciler sudan dışarı çıkarılarak sıyırma aparatıyla sıyırılıp aparatın içerisinde biriktirilmiştir. Çalışmada kullanılan ahtapot tipi pasif örnekleyici ve biyofilm sıyırılması Şekil 3.7.'de gösterilmektedir. Sıyırma aparatında biriktirilen numuneler koyu renk ağzı kapaklı cam kavanozlara konulup etiketlemesi yapılmıştır. Analiz aşamasına kadar 4 °C'de saklanmıştır. (Şekil 3.8.)



Şekil 3.7. Pasif örnekleyici ahtapot ve örnekleyiciden numune alımı (a; Atıksudan çıkarılan ahtapot tipi pasif örnekleyici, b; Pasif örnekleyici üzerinde oluşan biyofilmin sıyırılması)



Şekil 3.8. Toplanan biyofilm örneklerinin saklanması

Her iki atıksu arıtma tesisinden toplam 21 adet numune toplanmıştır. Bu numunelerin 6 tanesinin kabı taşıma sırasında kırıldığı için araştırmaya dahil edilememiştir. Kalan 15 numunenin 3 tanesinin 50 gram altında bir ağırlığa sahip olduğu tespit edilmiştir. Analiz için ciddi bir handikap olmadığından bu numuneler de araştırmaya dahil edilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Biyofilm numune isimleri

Numune No	Numune İsmi
1	10-12-22 LAAT Giriş
2	10-12-22 LAAT Çıkış
3	31-12-22 HAAT Giriş
4	31-12-22 HAAT Çıkış
5	11-03-23 HAAT Giriş
6	11-03-23 HAAT Çıkış
7	18-03-23 HAAT Giriş
8	18-03-23 HAAT Çıkış
9	01-04-23 HAAT Giriş
10	01-04-23 HAAT Çıkış
11	31-12-22 LAAT Giriş
12	31-12-22 LAAT Çıkış
13	17-12-22 HAAT Giriş
14	12-12-22 HAAT Giriş
15	12-11-22 HAAT Giriş

### 3.3.2 Numunelerin Tartımı

Analize uygun olan 15 numunenin tarım işlemleri sırayla gerçekleştirilmiştir. Bu 15 numunenin 3 tanesi 50 gramdan daha hafif olduğu görülmüş yine de ekstrakte edilerek analize dahil edilmiştir.



**Şekil 3.9.** Numunelerin tartımı

### 3.3.3 Nem ve katı madde içeriğinin belirlenmesi

Biyofilm örneğinin %nem ve katı madde miktarını belirlemek için, kuru ve boş porselen kroze  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tartıma getirilmesi için etüvde bekletildikten sonra oda sıcaklığında desikatör de soğutulmuş, hassas terazide tartılarak ağırlığı belirlenmiştir. 1 g numune porselen kroze konularak 1 saat süresince  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'deki etüvde kurutulduktan sonra soğutulmuş ve ağırlığı belirlenmiştir. Kurutma işlemi 30 dakika için tekrarlanmış ve kuru kütle ağırlıkları arasındaki fark 2 mg'dan küçük olana kadar bu işleme devam edilmiştir. Numunenin katı madde miktarı ve %nem muhtevası aşağıda verilen Eşitlik (1) ve Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanmıştır (EN 14735, 2002).

$$MD = MB - ME$$

$$MW = MM - ME$$

$$DR = 100 \times (MD / MW) \quad \text{Eşitlik (1)}$$

$$c \quad \text{Eşitlik (2)}$$

Burada:

$ME$  : 1 sa süresince  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta etüvde bekletilen boş kroze ağırlığı, mg

$MM$  : Numune + kroze ağırlığı, mg

$MB$  : 1 sa süresince  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta bekletilen numune + kroze ağırlığı, mg

$MW$  : Numune ağırlığı, mg

*MD* : Kuru numune ağırlığı, mg

*DR* : Kuru kütle, mg

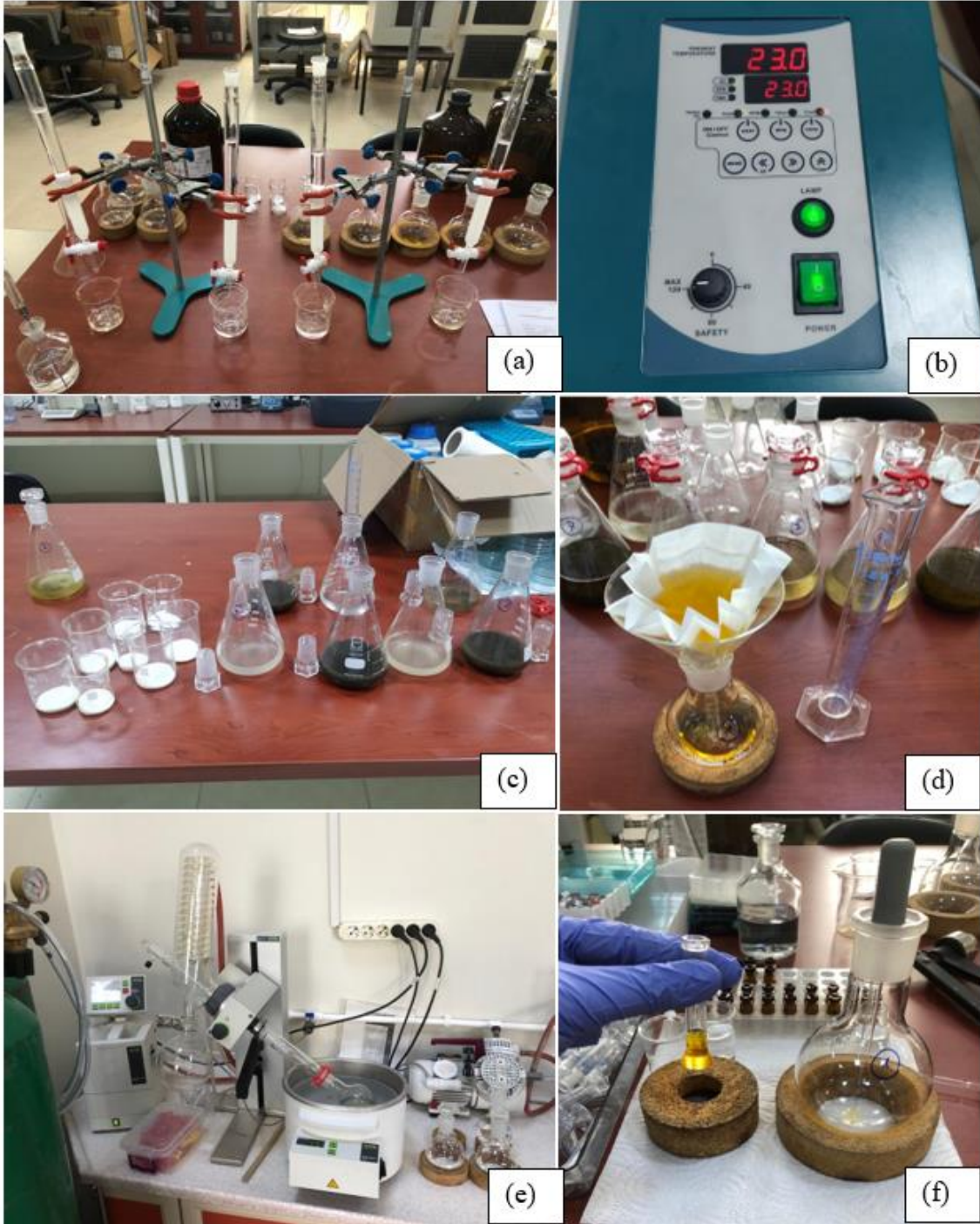
*MC* : % nem içeriği



Şekil 3.10. Numunelerin kurutulması (30 dk)

### 3.3.4. Biyofilm Örneklerinden Poliaromatik Hidrokarbonlar'ın Ekstraksiyonu

Biyofilm örneklerinde Poliaromatik hidrokarbonlar'ın (Acenaphthene, Acenaphthylene, Anthracene, Benz[a]anthracene, Benzo[a]pyrene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[g,h,i]perylene, Benzo[k]fluoranthene, Chrysene, Dibenz[a,h]anthracene, Fluoranthene, Fluorene, Indeno[1,2,3-cd]pyrene, Naphthalene, Phenanthrene, Pyrene) miktarlarının belirlenebilmesi için örnekler DFG (German Research Association) S19 multi-metoduna göre ekstrakte edilmiştir. Erlen içerisinde konulan 50 g biyofilm örneği 150 mL aseton/saf su (2:1, v/v) karışımı ile karanlık ortamda 221 rpm hızda yatay çalkalayıcı ile 12 saat süresince çalkalanmıştır. Konulacak saf su miktarı çamur örneğinin su içeriği göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Çalkalama işleminde sonra üzerine 15 g NaCl ve 100 mL sikloheksan eklenerek çalkalama işlemi aynı şartlar altında 1 saat daha gerçekleştirildikten sonra üst fazdan alınan yaklaşık 120 mL içerisine 25 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> eklenip birkaç dakika karıştırılarak susuzlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Filtre kağıdından süzülen 100 mL ekstrakt rotary evaporatörde 2 mL'ye konsantre edildikten sonra ekstraktın temizleme işlemleri gerçekleştirilmiştir (Their ve Zeumer, 1987; Aydın ve Tor, 2002; Özcan S, 2011).



**Şekil 3.11.** Numuların ekstraksiyon aşamaları (a; 50 g biyofilm örneği 150 mL aseton/saf su (2:1, v/v) karışımı, b; 221 rpm hızda yatay çalkalayıcı ile 12 saat süresince çalkalanma, c; 25 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  eklenip birkaç dakika karıştırılarak susuzlaştırma işlemi, d; Filtre kağıdı ile süsme işlemi, e; Rotary evaporatörde 2 mL'ye konsantre edilme işlemi, f; 2mL'ye konsantre edilmiş numune)

### 3.3.5 Ekstraktın Temizlenmesi

Elde edilen biyofilm ekstraktının temizleme işlemi standart kolon kromatografi tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu metoda göre kolon gerekli miktarda adsorban ile

doldurulup analizlenecek örnek kolona verildikten sonra analitlerin elusyonu kolon üzerinde girişim yapan analitlerin ayrılması için uygun bir solvent ya da solventlerle gerçekleştirilmekte ve eluat konsantrite edilerek analizi gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma da US EPA Metot 3630C - Silica Gel Cleanup esas alınarak çamur ekstraktının temizlemesi gerçekleştirilmiştir. Silika jel ya da silisik asit, zayıf asidik özellikte silikadan oluşturulan bir adsorbandır. Sodyum silikat ve sülfürik asitten üretilir. Silika jel farklı polaritedeki girişim yapan bileşiklerden analitlerin ayrılması için kolon kromatografi de kullanılmaktadır. Silika jel temizleme metodu PAH, derivatize fenol bileşikleri, OCP ve PCB içeren numune ekstraktının kolon temizlemesinde kullanıldığı gibi OCP ve PCB bileşiklerinin en iyi şekilde ayrılmasını da sağlamaktadır (US EPA, 1996).

### 3.3.6. Sorbent Maddenin Aktivasyonu ve Deaktivasyonu

PAH bileşikleri için kullanılacak silika jel adsorbanının kullanımdan önce aktive edilmesi gerekmektedir. Adsorban madde kroze içerisine sığ bir şekilde yerleştirilip, üzeri hafifçe alüminyum folyo ile örtüldükten sonra 210 °C'de 4 saat boyunca aktive edilmiştir. Aktif silika jel desikatörde soğutulduktan sonra kullanımı süresince ağzı kapalı erlen Mayer içerisinde desikatörde saklanmıştır. Kullanılan sorbentin deaktivasyon işlemi sorbent üzerine gerekli miktarda saf su ilave edildikten sonra homojen bir şekilde deaktivasyonu için 2 saat yatay çalkalayıcıda 221 rpm hızda çalkalandırılmış ve kullanımdan önce dengeye gelmesi için en az 12 saat süresince bekletilmiştir. Deaktivasyonu tamamlanan sorbent madde erlenmayerde ağzı kapalı bir şekilde muhafaza edilmiş ve kullanımdan önce taze olarak hazırlanarak kullanılmıştır.

### 3.3.7. Kolon Sabit Fazının Doldurulması

Kolon sabit fazı ıslak doldurma tekniğine göre hazırlanmıştır. 1,5 cm çapında ve 14,5 cm uzunluğundaki cam kolon adsorban ile paketlenmeden önce tabanına yerleştirilen cam yünü 50 mL elusyon solventini takiben 50 mL aseton ile yıkanarak temizlenmiştir. n-hekzan içerisinde süspansiyon haline getirilen sorbent madde içerisinde 1 mL n-hekzan bulunan kolona hava kabarcığı oluşmayacak şekilde doldurulmuştur. Doldurma işlemi tamamlandıktan sonra 50 mL n-hekzan kolondan geçirilerek kolon şartlandırılmış ve kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Çamur ekstraktlarının temizlenmesi için kolon 10 g %5 deaktif silica ve 2 g NaSO<sub>4</sub> içeren kolona verilmiş ve bileşiklerin elüsyonu 70 mL n-hekzanı takiben 100 mL n-hekzan/etilasetat (1/1, v/v) karışımı ile gerçekleştirilmiştir. İlk fraksiyon yani 70 mL n-hekzan ile kolona verilen bazı PAH bileşiklerinin elüsyonu gerçekleştirilirken, ikinci fraksiyon yani 100 mL n-hekzan/etilasetat (1/1, v/v) karışımı ile kolonda kalan diğer PAH bileşiklerinin elüsyon işlemleri tamamlanmıştır. Aynı ayrı flakslarda toplanan fraksiyonlar rotary evaporatör ve azot gazı kullanılarak konsantrite edilmiş ve GC-MS sistemi ile analizleri gerçekleştirilmiştir.

### 3.3.8. Tespit Edilen Optimum Kromatografi Şartları

PAH bileşiklerinin kalitatif ve kantitatif analizleri GC-MS sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Kolon olarak GC-MS sisteminde 250 µm iç çapında, 0,25 µm film kalınlığında, 30 m uzunluğunda HP-5ms kapiler kolon kullanılmıştır. GC-MS sisteminde taşıyıcı gaz olarak helyum gazı kullanılmıştır.

**Çizelge 3.4.** PAH bileşikleri için tespit edilen optimum GC-MS şartları

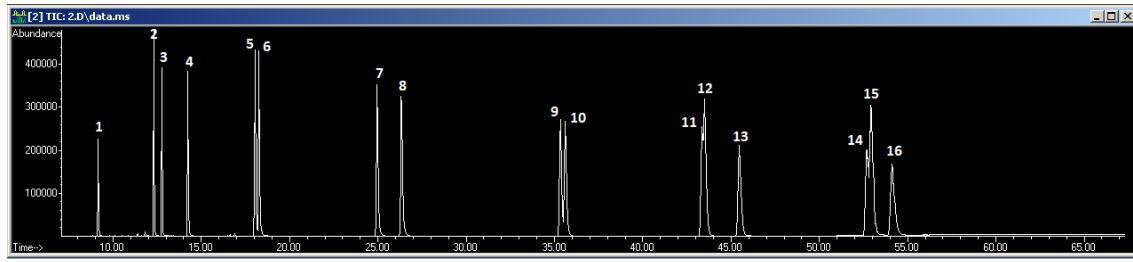
<b>GC</b>	<b>Agilent Technologies 6890 N</b>		
Inlet	HP PTV		
Mode	Splitless		
Pressure	17.69 psi		
Purge flow	30.6 mL/dak		
Purge time	1 dak		
Total flow	35.4 mL/dak		
Gas saver	On		
Saver flow	20 mL/dak		
Saver time	2 dak		
Gas type	Helyum		
<b>Inlet</b>			
Inlet ramp	<sup>0</sup> C/sec.	Next <sup>0</sup> C	Hold min
Initial		80	0
Ramp 1	12	350	2
Ramp 2	3.33	80	0
<b>Inlet liner</b>	Direct connect, deactivated, 4-mm id, Agilent part number G1544-80700		
<b>Oven</b>			
Oven ramp	<sup>0</sup> C/min	Next <sup>0</sup> C	Hold min
Initial		60	4
Ramp 1	15	160	0
Ramp 2	3	300	10
Total run time	67.33 dak		
Equilibration time	1.0 dak		

Oven max temp.	325 °C		
<b>Column</b>	Agilent Tech. HP-5MS %5 phenyl methyl siloxane, part number 19091S-433		
Length	30 m		
Diameter	250 µm		
Film thickness	0.25 µm		
<b>Mode</b>	Constant flow		
Flow	1.9 mL/dak		
Initial pressure	17.7 psi		
<b>Inlet</b>	Front		
Outlet	MSD		
Outlet pressure	Vacuum		
<b>GC Injector</b>			
Injection volume	1 µL		
Syringe size	10 µL		
Plunger speed	Fast		
<b>MSD</b>	Agilent Technologies 5973 inert		
Solvent delay	5 dak		
EM voltage	1058.8 V		
Low mass	50 amu		
High mass	550 amu		
Threshold	0		
Sampling	2		
Tune file	Atune.u		
Acquisition mode	SIM		
MS Quad	150 C maximum 200 °C		

MS Source	270 C maximum 280 °C
-----------	----------------------

**Çizelge 3.5.** PAH bileşikleri için optimum GC-MS şartlarında HP-5ms kolonundan çıkış süreleri

Pik no	Bileşik adı	Kolondan çıkış süresi, dak	Ion (m/z değeri)
1	Naftalin	9.162	128, 129, 127
2	Asenaftilen	12.313	152, 153, 151
3	Asenaftin	12.773	153, 154, 152
4	Flüoren	14.250	166, 165, 167
5	Phenanthrene	18.060	178, 176, 179
6	Antrasen	19.359	178, 179, 176
7	Floranten	24.935	202, 203, 200
8	Piren	26.320	202, 203, 200
9	Benzo[a]antrasen	35.328	228, 226, 229
10	Krisen	35.606	228, 226, 229
11	Benzo[b]floranten	43.372	252, 253, 250
12	Benzo[k]floranten	43.510	252, 253, 250
13	Benzo[a]piren	45.456	252, 253, 250
14	Indeno[1,2,3-c,d]piren	52.686	276, 277, 274
15	Dibenzo[a,h]antrasen	52.925	278, 279, 276
16	Benzo[g,h,i]perilen	54.107	276, 277, 138



Şekil 3.12. Optimum GC/MS şartlarında PAH bileşikleri standart kromatogramı (1 ng/µL)

### 3.3.8. PAH Bileşikleri İçin GC-MS Sistemine Ait Analitik Parametreler

Çizelge 3.7.'de PAH bileşikleri için GC-MS sistemi ile elde edilen LOD, LOQ, doğrusal cevap aralığı,  $R^2$  ve tekrarlanabilirliğine ait sonuçlar görülmektedir. LOD ve LOQ değerleri 0.1 ng/µL konsantrasyonundaki standart çözeltinin optimum GC şartlarındaki enjeksiyonu sonucunda elde edilen her bileşiğe ait S/N oranı değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. PAH bileşiklerinin MS dedektöründe tekrarlanabilirlik değerleri 0.1 ng/µL konsantrasyonundaki standart çözeltinin 5 enjeksiyonu sonucunda elde edilen MS cevaplarının %RSD değerleri alınarak hesaplanmıştır. Bileşikler için metodun kabul edilebilirliği bu değerlerin %20'den küçük olmasıyla sağlanabilir.

Çizelge 3.6. PAH bileşikleri için GC-MS sistemine ait analitik parametreler

Bileşik adı	LOD	LOQ	Doğrusal cevap aralığı	$R^2$	RSD
	pg/µL	pg/µL	ng/µL		%
Naftalin	0.02	0.07	0.001-10	1.0000	2.80
Asetnaftilen	0.24	0.80	0.001-10	1.0000	1.98
Asetnaften	1.31	4.36	0.001-10	1.0000	2.10
Flüoren	0.34	1.13	0.001-10	1.0000	1.78
Fenantrin	1.06	3.53	0.001-10	1.0000	1.80
Antrasen	2.24	7.46	0.001-10	1.0000	2.00
Florentan	0.90	3.00	0.001-10	1.0000	1.98
Piren	0.18	0.60	0.001-10	1.0000	2.50
Benzo[a]antrasen	0.30	1.00	0.001-10	1.0000	2.20
Krisen	2.30	7.67	0.001-10	1.0000	1.89
Benzo[b]florentan	0.80	2.67	0.001-10	0.9999	0.98

Benzo[k]florentan	1.86	6.20	0.001-10	0.9999	1.25
Benzo[a]piren	0.85	2.83	0.001-10	0.9998	1.24
Indeno[1,2,3-c, d]piren	0.38	1.27	0.001-10	0.9998	0.80
Dibenzo[a,h]antrasen	0.56	1.87	0.001-10	0.9998	2.50
Benzo[g,h,i]perilen	1.78	5.93	0.001-10	0.9999	1.80

### 3.3.9 Metot Geri Kazanım Veriminin Değerlendirilmesi

Biyofilm örneklerinin ekstraksiyonundan sonra elde edilen arıtma çamuru ekstraktının temizlenmesi standart kolon kromatografi tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla temizleme aşamasında kullanılan metodun bileşiklerin kayıpları üzerine etkisini tespit etmek amacıyla geri kazanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.7. ve Çizelge 3.9.'da 10 g, %5 deaktif silika jel kolonu için PAH bileşiklerinin Fraksiyon-1 70 mL n-hekzan, Fraksiyon-2 100 mL n-hekzan/etilasetat (1:1, v/v) elüentlerinde tespit edilen geri kazanım (%) değerleri görülmektedir.

**Çizelge 3.7.** 10 g, %5 deaktif silika jel kolonu için PAH bileşikleri için tespit edilen geri kazanım (%) değerleri, (n=4)

Bileşik adı	Geri kazanım (%)
Naftalin	96 ± 3
Asetnaftilen	94 ± 2
Asetnaften	96 ± 2
Flüoen	94 ± 4
Fenantrin	92 ± 2
Antrasen	98 ± 2
Florentan	98 ± 4
Piren	98 ± 6
Benzo[a]antrasen	94 ± 4
Krisen	94 ± 6
Benzo[b]florentan	96 ± 2

Benzo[k]florentan	97 ± 5
Benzo[a]piren	91 ± 4
Indeno[1,2,3-c,d]piren	85 ± 3
Dibenzo[a,h]antrasen	98 ± 3
Benzo[g,h,i]perilen	92 ± 3

Çizelge 3.9.'da S19 multi-metoduna göre ekstrakte edilmiş ve 10 g %5 deaktif silika jel kolon ile temizlenmiş biyofilm ekstraktlarında tespit edilen geri kazanım değerleri görülmektedir.

**Çizelge 3.8.** PAH bileşikleri metot geri kazanım (%) değerleri, (n=4)

Bileşik adı	Geri kazanım (%)
Naftalin	86 ± 3
Asetnaftilen	84 ± 5
Asetnaften	86 ± 6
Flüoren	85 ± 5
Fenantrin	84 ± 4
Antrasen	87 ± 3
Florentan	88 ± 5
Piren	94 ± 6
Benzo[a]antrasen	93 ± 5
Krisen	92 ± 6
Benzo[b]florentan	90 ± 6
Benzo[k]florentan	99 ± 5
Benzo[a]piren	98 ± 5
Indeno[1,2,3-c,d]piren	87 ± 3
Dibenzo[a,h]antrasen	88 ± 5
Benzo[g,h,i]perilen	86 ± 3

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

PAH'ların ekosistemdeki döngüsü bu kirleticilerin buharlaşma ve suda çözünme özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Uçucu özellikteki PAH'lar havada bulunan partiküllere adsorbe olmaktadır. Rüzgar gibi hava olaylarıyla insanların yoğun yaşadığı bölgelere kadar gelirler. İnsanlar solunum yoluyla bu partiküllerle beraber PAH'ları da vücutlarına almış olurlar. Aynı zamanda içme suyu ve besinlerle de insan sağlığını tehdit eder.

PAH'ların bilinen yüksek kanserojenik, toksik ve mutejenik etkilerinden dolayı mikroorganizmaların büyümelerini engellemektedir. Aynı zamanda mikroorganizmaların sistemlerinde sebep olduğu hasar, mikroorganizmanın atıksu arıtma tesislerinde, biyolojik arıtma proseslerindeki verimini düşürmektedir.

PAH'lar hidrofobik ve lipofilik özellikte olduklarından canlı dokularda yüksek birikme oranlarına sahiptirler. Deniz suyundaki toplam PAH konsantrasyonlarının midye bünyesindeki konsantrasyonlara göre 1000 kat daha az olduğu gözlenmiştir (Telli-Karakoç, 2002). Sucul yaşamda önemli bir değer olan fitoplanktonlar üzerinde büyük deformasyonlara sebep olmaktadır. Bu deformasyonlar fitoplanktonların üremesini engellemektedir. Balıkların solungaçlarında birikerek solunum yapmalarını engellemektedir.

Sonuçlar incelendiğinde arıtma tesislerine gelen toplam PAH miktarının en yüksek olduğu 1 numaralı numune (N1)'dir. Numune 1 Aralık ayında alınmıştır. Çalışma boyunca havanın en soğuk olduğu ay olduğu için, bu durum 2-3 halkalı hafif ağırlıklı PAH'ların uçmadığı ve atıksuda daha yoğun bir şekilde çözünmüş halde olduğu şeklinde yorumlanabilir. Toplam PAH miktarının en düşük olduğu 9 numaralı numune (N9) ise tam tersi olarak izleme periyodunun en sıcak olduğu Nisan ayında alınan numunedir. Sıcaklığın artmasıyla uçucu PAH'ların atıksuda çözünmediği görülmektedir. Söz konusu değerler Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Fenantrin hariç tüm 2-3 halkalı PAH'lar petrojenik kabul edilmektedir. Fenantrin %50 pirojenik, %50 petrojenik olarak literatürde kabul edilmiştir. Farklı PAH'lar arasındaki tespit oranı, bu çalışmada söz konusu olan atıksu arıtma tesislerine gelen PAH'ların kaynaklarının tespitinde etkin bir şekilde kullanılmıştır. Phe/Ant, Flu/Flu+Pyr, InP/InP+BghiP ve BaA/BaA+Chr'nin oranları her numune için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sonuç olarak, oranların sırasıyla 0,47-0,53 (pirolitik), 0,92-0,98 (petrojenik), 0,47-0,65 (pirojenik), 0,87-ç0,95 (pirolitik), olduğu görülmüştür. Bu oranlara göre atıksu arıtma tesislerine gelen kaynakların karışık (petrojenik+pirojenik) olduğu görülmektedir. Bu da atıksu arıtma tesisine gelen kanallarda sızıntılar olduğunu gösteriyor.

4 ve 6 numaralı numuneler çıkış suyuna ait numuneler olmalarına rağmen ham atıksuya ait olan 3 ve 5 numaralı numunelerle kıyaslandığında toplam PAH'ın daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu farklılık çok da alışılmadık bir durum değildir. Birçok araştırmacı, farklı çalışma sahalarında bu sonuçlarla karşılaşmaktadır. Bu durumun birkaç nedeni olabilir. Bunlar;

- Arıtma tesislerinde kullanılan teknolojiler, PAH'ları tamamen gidermek için yeterli değildir. Özellikle yüksek molekül ağırlıklı, 4-6 halkalı PAH'lar biyolojik

proseslerde ve diğer basit arıtma proseslerinde tamamen giderilmeleri, çok zor biyodegradabl olduklarından zor olabilir. Bu nedenle bazı PAH bileşikleri arıtma prosesine girseler de çıkış suyunda hala yüksek konsantrasyonda olabilirler.

- Bazı beklenmedik durumlarda PAH'ların atıksudan uzaklaştırılması yerine, uzaklaştırılmak istenen PAH'ların yan ürünleri oluşabilmektedir. Bu durum özellikle kimyasal işlemlerde meydana gelir. Bu yan ürünlerin oluşmasıyla çıkış suyundaki konsantrasyonun artmasına sebep olabilir.
- Atıksu arıtma tesislerinin işletme sürecine bağlı olarak da bu sonuçla karşılaşılabilir. Biyolojik proseslerin verimi için çok önemli parametreler olan sıcaklık, sıcaklık, pH ve çamur yaşı optimum seviyelerde tutulmadığında PAH'ların atıksudan giderimini etkiler ve çıkış suyundaki konsantrasyonunu yükseltir.
- Atıksu arıtma tesislerinin işletilmesinden ve periyodik bakımlarında yapılan hatalar veya eksik işlemler de PAH konsantrasyonunun çıkış suyunda, arıtma tesisine gelen ham sudaki konsantrasyonundan daha yüksek izlenmesine neden olabilir. Proseslerin ekipmanlarındaki arızalar, belli periyotlarda yapılması gereken kontrollerin ve bakımların aksatılması, atıksuyun karakterizasyonuna uygun olmayan parametrelerle sistemin işletilmesi arıtmanın verimini düşürmektedir.
- Son olarak tesise gelen dış kaynaklı atıklar da çıkış suyundaki PAH konsantrasyonunu doğrudan etkilemektedir. Kontrol edilemeyen endüstriyel atıklar, aşırı ve kontrolsüz tarımsal faaliyetler, yağmur suları ve kanalizasyon sistemlerindeki takip edilemeyen sızıntılar bu dış kaynaklardandır.

**Çizelge 4.1.** Biyofilm numunelerinin nem ve katı madde içeriği

Numune No	Katı Madde (%)	Nem (%)
1	5,637058	94,36294
2	0,26669	99,73331
3	1,069047	98,93095
4	0,228202	99,7718
5	0,116067	99,88393
6	0,126484	99,87352
7	4,99126	95,00874
8	0,535597	99,4644
9	2,555501	97,4445
10	0,122507	99,87749

11	1,879773	98,12023
12	0,979499	99,0205
13	3,748515	96,25149
14	0,610887	99,38911
15	0,430293	99,56971

**Çizelge 4.2.** Biyofilm örneklerinde tespit edilen PAH konsantrasyonu (mg/kg kuru madde)

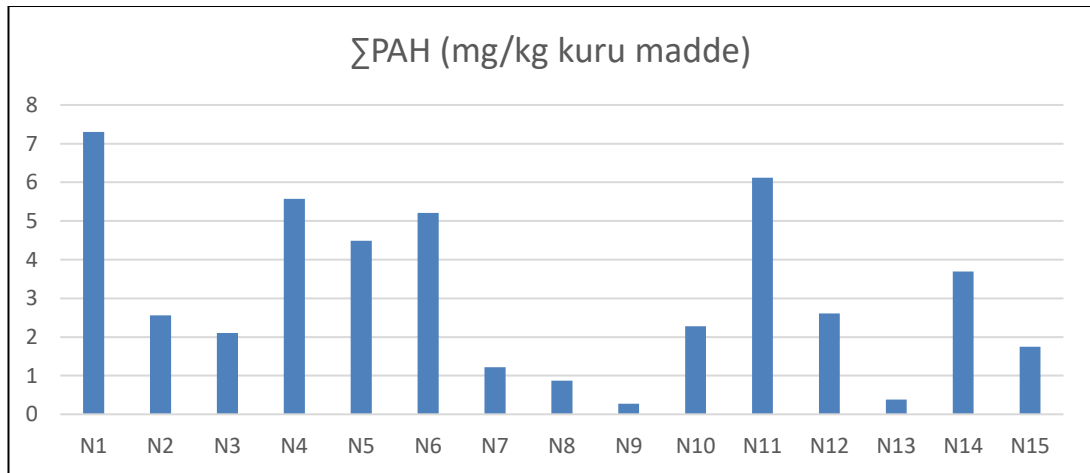
PAH	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
Naftalin	0.276	2.265	0.941	5.038	1.801	4.281	0.174	0.770
Asetnaftilen	54	96	29	39	25	34	21	07
Asetnaften	0.003	0.007	0.011	0.018	0.033	0.037	0.003	0.007
Flüoren	06	49	72	64	53	77	33	70
Fenantrin	0.006	0.004	0.011	0.000	0.020	0.023	0.004	0.002
Antrasen	52	89	65	97	95	56	62	55
Florantrin	0.030	0.000	0.070	0.052	0.162	0.116	0.010	0.006
Piren	84	75	25	59	12	60	35	53
Benzo[a]antrase	0.096	0.000	0.330	0.000	0.244	0.149	0.047	0.000
n	09	18	52	13	92	31	20	08
Krisen	0.008	0.001	0.032	0.001	0.000	0.000	0.011	0.000
Benzo[b]florantr	73	53	97	84	22	27	57	06
in	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.039	0.000	0.000
Benzo[k]florantr	05	06	16	29	88	00	02	19
in	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.041	0.000	0.000
Benzo[a]piren	03	20	14	64	15	04	07	08
Indeno[1,2,3-	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
c,d]piren	81	37	31	22	80	72	11	04
Dibenzo[a,h]ant	0.223	0.001	0.000	0.000	0.007	0.003	0.000	0.000
rasen	09	67	56	77	72	33	57	69
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
	10	40	20	35	64	73	10	14

Benzo[g,h,i]perilen	6.60083	0.17361	0.21712	0.35649	2.01424	0.40001	0.16130	0.04079
	0.01535	0.09715	0.03007	0.06408	0.10301	0.07082	0.00927	0.03252
	0.01136	0.01142	0.48299	0.03503	0.05558	0.05008	0.80337	0.01668
	0.00012	0.00078	0.00013	0.00038	0.00051	0.00081	0.00005	0.00008
	0.00572	0.00031	0.00148	0.00060	0.00039	0.00137	0.00040	0.00008
$\Sigma$ PAH	7.30325	2.56677	2.13154	5.57139	4.49389	5.21776	1.22653	0.87829

**Çizelge 4.3.** Biyofilm örneklerinde tespit edilen PAH konsantrasyonu (mg/kg kuru madde)

PAH	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15
Naftalin	0.06046	1.66830	1.51770	1.14166	0.19843	0.52293	0.53032
Asetnaftilen			0.01998				
Asetnaften	0.00095	0.01757	0.01583	0.01570	0.00394	0.00510	0.00698
Flüoren	0.00126	0.01635	0.080048	0.01473	0.00469	0.02145	0.02386
Fenantrin			0.00004				
Antrasen	0.00668	0.00043	0.02577	0.00405	0.00006	0.00109	0.00050
Florantrin	0.00001	0.00016	0.00004	0.00021	0.00007	0.00012	0.00006
Piren			0.00035				
Benzo[a]antrasen	0.00375	0.00148	0.00038	0.00138	0.07223	0.00050	0.00011
Krisen			0.00208				
Benzo[b]florantrin	0.00001	0.00022	0.00034	0.00018	0.00102	0.00162	0.00015
Benzo[k]florantrin							

Benzo[a]piren	0.0000	0.0002	4.13350	0.0004	0.0000	0.0000	0.0001
	1	7		0	3	9	3
Indeno[1,2,3-c,d]piren	0.0000	0.0003	0.11705	0.0008	0.0000	0.0001	0.0003
	4	0	0.19428	8	2	9	2
Dibenzo[a,h]antra sen	0.0003	0.0036	0.00022	0.0042	0.0188	0.0006	0.0012
	7	3	0.01689	3	0	2	0
Benzo[g,h,i]perile n	0.0000	0.0006		0.0002	0.0000	0.0003	0.0003
	2	5		8	5	4	3
	0.0477	0.2569		0.8842	0.0275	3.0668	1.0586
	8	6		1	4	1	3
	0.0077	0.2537		0.1512	0.0326	0.0429	0.1043
	3	7		7	3	6	1
	0.1431	0.0656		0.3921	0.0199	0.0329	0.0316
	4	2		7	0	0	5
	0.0000	0.0007		0.0006	0.0000	0.0002	0.0003
	2	1		7	4	9	4
	0.0000	0.0008		0.0013	0.0060	0.0020	0.0008
	9	5		9	6	1	1
$\Sigma$ PAH	0.2723	2.2872	6.12493	2.6134	0.3855	3.6990	1.7596
	1	8		0	1	2	9



**Şekil 4.1.** Biyofilm örneklerinde tespit edilen PAH konsantrasyonu (mg/kg kuru madde)

## 5. SONUÇLAR

Su kalitesinin izlenmesindeki en mühim aşama örnekleme aşamasıdır. Grab ve kompozit örnekleme gibi geleneksel numune alma yöntemleriyle su kalitesinin izlenmesi oldukça başarılıdır. Pasif örnekleyciler, bu geleneksel örnekleme yöntemlerine uzun süreli çalışmaları daha objektif, kolay ve ucuz bir yol izleyerek yapmak için iyi bir alternatif olmuşlardır. Bu çalışmada olduğu gibi örnekleme periyotları boyunca ahtapot tipi pasif örnekleycilerin üzerinde biriken biyofilmler, izlenmek istenen suyun içerisinde bulunan herhangi bir kirleticiyi göz ardı etmemizi önlemektedir. Çalışmada kullanılan ahtapot tipi pasif örnekleyciler birçok farklı çalışmada farklı kirletici gruplarını izlemek için kullanılmış ve başarılı olmuştur. Bu çalışmada da öncelikli kirleticiler listesinde bulunan 16 PAH türünü hem evsel hem endüstriyel atıksu arıtma tesisinde de başarılı bir şekilde izlenmesine olanak sağlamıştır.

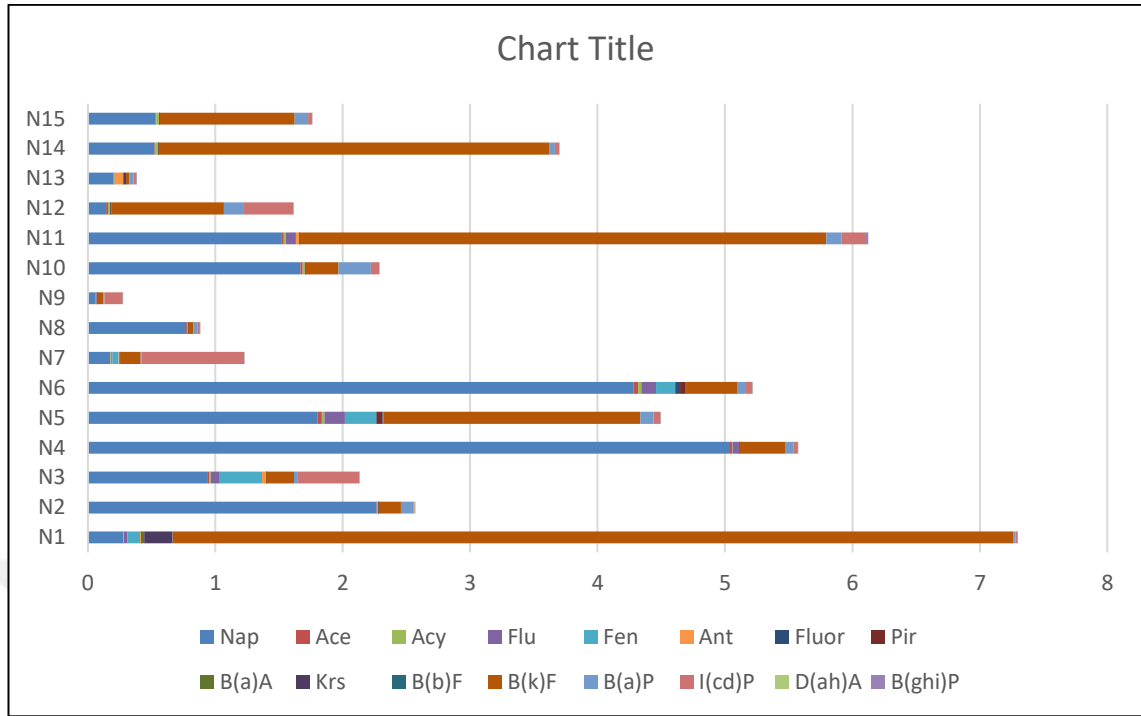
Az halkalı ve moleküler ağırlığı bakımından hafif olan PAH'ların buhar basıncı ve yüksek sıcaklık sebebiyle, havanın nispeten ısınmaya başladığı bahar aylarında konsantrasyonlarında azalma görülmektedir. Bu az halkalı PAH'ların uçucu olma özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Halka sayısı fazla ve moleküler ağırlığı fazla olan PAH'larda ise sıcaklığa ve basınca dayalı bir değişim olmasa da katı fazlar üzerindeki adsorbe olma eğilimlerini yüksek olmasından kaynaklı konsantrasyonlarında artışlar gözlemlenmiştir.

Antalya kış ve yaz aylarında sıcaklık farklarının çok keskin olmadığı ılıman bir iklime sahip olduğundan incelenen numunelerde, mevsimsel çok büyük farklılıklar tespit edilmemiştir. Her iki arıtma tesisine gelen kanalizasyon sistemi ayrık olmasına rağmen, altyapısal sorunlar sebebiyle sanayinin yoğun olduğu bölgelerden arıtma tesislerine gelen kirlilik yükünün, ıslak çökeltme mekanizmasıyla artış eğiliminde olduğu görülmektedir.

Çok halkalı ve moleküler ağırlığı fazla olan PAH'lar yanma kaynaklı prosesler sonucunda oluşmaktadır. Her iki arıtma tesisinde de % olarak çok halkalı PAH'ların fazla olduğu görülmektedir. Arıtma tesisinin bulunduğu Antalya'da rüzgarın karadan denize doğru esmesi ve çevresindeki kırsal yerleşim yerleri de göz önüne alındığı zaman hava yoluyla taşınan yanma ürünlerinin de çökeltme ile arıtma tesislerine ulaştığı söylenebilir.

Her iki arıtma tesisinden çıkan sular derin deniz deşarjıyla Akdeniz'e deşarj edilmekte, içme ve kullanma suyu olarak kullanılmamaktadır. Dolayısıyla insan sağlığına doğrudan bir etkisi yoktur. Ancak Akdeniz balıkçılık sektörü için oldukça verimli bir bölgedir. PAH gibi toksik etkileri yüksek atıkların balıklar gibi deniz canlılarında, özellikle de yağ dokularında biyoakümülyasyon özellikleri yüksektir. Bu biyoakümülyasyon sonucunda insan sağlığı da dolaylı olarak etkilenmektedir.

PAH'lar mikrobiyal bozunmalara karşı oldukça dirençlidirler. Az da olsa bazı az halkalı PAH'lar mikrobiyal parçalanmaya maruz kalırlar. Atıksu arıtma tesislerinde PAH'ların yolculuğu mikrobiyal bozunmalara ve hava koşullarına göre değişmektedir.



**Şekil 5.1.** Biyofilm örneklerinde tespit edilen PAH türlerinin konsantrasyon dağılımı (mg/kg kuru madde)

Sonuç olarak PAH kaynaklarının tespitinde ve atıksu arıtma tesislerinin mikro kirlenici yükünü izlemek ve kaynaklarını belirlemek için ahtapot tipi pasif örnekleyicilerin başarılı bir yöntem olduğu görülmektedir.

Çalışmada EPA tarafından belirlenen öncelikli kirleniciler listesindeki 16 PAH türüne de atıksu arıtma tesislerinde rastlanmıştır ve PAH'ların birbirlerine oranları kullanılarak tahmin edilmiştir. Ahtapot tipi örnekleyicilerin arıtma tesislerine atıksuyu taşıyan ana kanalların kesişim noktalarına yerleştirilmesiyle bu kaynakların daha detaylı ve tam olarak şehrin hangi bölgesinden geldiği tespit edilebilir. Böylece bu kirliliğe sebep olan aktiviteleri azaltıcı veya ortadan kaldırıcı önlemler alınabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- A. Sarafraz-Yazdi, A. Amiri, Liquid-phase microextraction, *TrAC Trends Anal. Chem.* 29 (2010) 1–14
- A.J. King, J.W. Readman, J.L. Zhou, Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in water by solid-phase microextraction–gas chromatography–mass spectrometry, *Anal. Chim. Acta* 523 (2004) 259–267
- Akyüz, M. ve Çabuk, H., 2010, Gas–particle partitioning and seasonal variation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere of Zonguldak, Turkey, *Science of the Total Environment*, 408 (22), 5550-5558.
- Albergamo, V., Blankert, B., Cornelissen, E. R., Hofs, B., Knibbe, W.-J., van der Meer, W. ve de Voogt, P., 2019, Removal of polar organic micropollutants by pilot-scale reverse osmosis drinking water treatment, *Water research*, 148, 535-545.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2001). *ToxFAQs: Polychlorinated Biphenyls*,  
ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease
- Aydın, M.E., Tor, A., Investigation on Contamination of an Old Waste Disposal Site in Konya, Turkey, *Fresenius Environmental Bulletin*, 4, 11 (2002) pp: 198-201.
- Baird, W. M., Hooven, L. A., & Mahadevan, B. (2005). Carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbon DNA adducts and mechanism of action. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 45(2 3), 106-114.
- Benner, J., Helbling, D. E., Kohler, H.-P. E., Wittebol, J., Kaiser, E., Prasse, C., Ternes, T. A., Albers, C. N., Amand, J. ve Horemans, B., 2013, Is biological treatment a viable alternative for micropollutant removal in drinking water treatment processes?, *Water research*, 47 (16), 5955-5976.
- C.L. Arthur, J. Pawliszyn, Solid phase microextraction with thermal desorption using fused silica optical fibers, *Anal. Chem.* 62 (1990) 2145–2148
- Directive 2013/39/Eu of The European Parliament and of The Council of 12 August 2013 amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy, 24.08.2013, L226/1
- Douben, P.E.T. (2003). *PAHs: An Ecotoxicological Perspective*. Introduction. 1–6. Ed: P.E.T Douben Wiley.
- Drewes, J. ve Khan, S., 2011, Water reuse for drinking water augmentation, *American Water Works Association Denver*. 16: 1-16.
- EC (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. *OJ L327*, 22.12.2000.
- EN 14735, 2021, Characterization of waste - Preparation of waste samples for ecotoxicity tests.

- F. Bedük, D. Aydın, M.E. Aydın, M. Bahadır, Müsilaj Benzeri Çevre Felaketlerini Önlemede Pasif Biofilm Örnekleyiciler Kullanarak Kirlilik Yükünün Azaltılması, DOI: 10.53478/TUBA.2021.006
- Fatone, F., Di Fabio, S., Bolzonella, D. ve Cecchi, F., 2011, Fate of aromatic hydrocarbons in Italian municipal wastewater systems: an overview of wastewater treatment using conventional activated-sludge processes (CASP) and membrane bioreactors (MBRs), *Water research*, 45 (1), 93-104.
- Gardner, M., Jones, V., Comber, S., Scrimshaw, M. D., Coello-Garcia, T., Cartmell, E., Lester, J. ve Ellor, B., 2013, Performance of UK wastewater treatment works with respect to trace contaminants, *Science of the Total Environment*, 456, 359-369.
- Gasperi, J., Garnaud, S., Rocher, V. ve Moilleron, R., 2008, Priority pollutants in wastewater and combined sewer overflow, *Science of the Total Environment*, 407 (1), 263-272.
- Gutiérrez, M. S., Duel, P., Hierro, F., Morey, J. ve Piña, M. N., 2018, A Very Highly Efficient Magnetic Nanomaterial for the Removal of PAHs from Aqueous Media, *Small*, 14 (8), 1702573.
- H.I. Abdel-Shafy, M.S.M. Mansour, A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation, *Egypt. J. Pet.* 25 (2016) 107–123
- H.Timur ve U.Altınbaş, 1997. “ Treatability studies and determination of kinetic parameters for a high-strength opium production wastewater”, *Environmental Technology*, Vol: 18, 339-344. Endüstriyel atıksu kısmının kaynakları
- Harner, T. & Biddleman, T. F. 1997. Polychlorinated naphthalenes in urban air. *Atmospheric Environment*, 31, 4009-4016.  
<http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts17.pdf>
- Huang, Y., Zhang, W., Ruan, G., Li, X., Cong, Y., Du, F. ve Li, J., 2018, Reduced Graphene Oxide-Hybridized Polymeric High-Internal Phase Emulsions for Highly Efficient Removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Water Matrix, *Langmuir*, 34 (12), 3661-3668.  
<https://www.aktifaritma.com/atik-su-aritma-yontemleri/> Erişim tarihi 31.05.2023/ 11:48 (Anonim 1)  
<https://tr.hach.com/industries/drinking-water/turbidity> Erişim tarihi 31.05.2023/ 20:12 (Anonim 2)  
[https://water.mecc.edu/courses/Env211/lesson3\\_2.htm](https://water.mecc.edu/courses/Env211/lesson3_2.htm) Erişim tarihi 31.05.2023/ 22:28 (Anonim 3)
- Janoszka, B., Warzecha, L., Blaszczyk, U., & Bodzek, D. (2004). Organic compounds formed in thermally treated high-protein food. Part I: Polycyclic aromatic hydrocarbons. *Acta Chromatographica*, 14, 115-128.

- Jaward, F. M., Farrar, N. J., Harner, T., Sweetman, A. J. & Jones, K. C. 2004. Passive air sampling of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated naphthalenes across Europe. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23, 1355-1364.
- Kim, J.-H., Park, P.-K., Lee, C.-H., Kwon, H.-H. ve Lee, S., 2008, A novel hybrid system for the removal of endocrine disrupting chemicals: nanofiltration and homogeneous catalytic oxidation, *Journal of Membrane Science*, 312 (1-2), 66-75.
- Kim, S. D., Cho, J., Kim, I. S., Vanderford, B. J. ve Snyder, S. A., 2007, Occurrence and removal of pharmaceuticals and endocrine disruptors in South Korean surface, drinking, and waste waters, *Water research*, 41 (5), 1013-1021.
- Lamichhane, S., Krishna, K. B. ve Sarukkalgige, R., 2016, Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) removal by sorption: a review, *Chemosphere*, 148, 336-353.
- Liu, Z., Sleighter, R. L., Zhong, J. ve Hatcher, P. G., 2011, The chemical changes of DOM from black waters to coastal marine waters by HPLC combined with ultrahigh resolution mass spectrometry, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92 (2), 205-216.
- M. Rezaee, Y. Assadi, M.-R. Milani Hosseini, E. Aghaee, F. Ahmadi, S. Berijani, Determination of organic compounds in water using dispersive liquid-liquid microextraction, *J. Chromatogr. A* 1116 (2006) 1–9
- M. Sajid, J. Płotka-Wasyłka, Combined extraction and microextraction techniques: recent trends and future perspectives, *TrAC Trends Anal. Chem.* 103 (2018) 74–86,
- Manoli E., Samara C. The removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the wastewater treatment process: Experimental calculations and model predictions. *Environ.Pollut.* 2008;151:477–485.
- Marston, C. P., Pereira, C., Ferguson, J., Fischer, K., Hedstrom, O., Dashwood, W. M., & Baird, W. M. (2001). Effect of a complex environmental mixture from coal tar containing polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) on the tumor initiation, PAH-DNA binding and metabolic activation of carcinogenic PAH in mouse epidermis. *Carcinogenesis*, 22(7), 1077-1086.
- Nadal, M., Agramunt, M. C., Schuhmacher, W. & Domingo, J. L. 2002. PCDD/PCDF congener profiles in soil and herbage samples collected in the vicinity of a municipal waste incinerator before and after pronounced reductions of PCDD/PCDF emissions from the facility. *Chemosphere*, 49, 153-159.
- Naegeli, H. Geacintov, N.E. (2005). *Carcinogenic Effects Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Mechanisms of Repair of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon-Induced DNA Damage.* (pp. 211–258), Ed: A. Luch. Imperial College Pres. USA.
- Oregon DEQ (Department of Environmental Quality) (2003). Fact Sheet: Sources of Polychlorinated Biphenyls,
- Özcan, S., Tor, A., Aydin, M.E., 2013, Investigation on the levels of heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons, and polychlorinated biphenyls in sewage sludge samples and ecotoxicological testing, *CLEAN-Soil, Air, Water*, 41, 4, 411-

418.

- P. Boffetta, N. Jourenkova, P. Gustavsson, Cancer risk from occupational and environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons, *Cancer Causes Control* 8 (1997) 444–472,
- Qiao, M., Qi, W., Liu, H. ve Qu, J., 2014, Occurrence, behavior and removal of typical substituted and parent polycyclic aromatic hydrocarbons in a biological wastewater treatment plant, *Water research*, 52, 11-19.
- Registry (ATSDR). (1995). Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Atlanta (GA): Department of Health and Human Services, Public Health Service, USA.
- Ren, J., Li, J., Chen, Z. ve Cheng, F., 2018, Fate and wetting potential of bio-refractory organics in membrane distillation for coke wastewater treatment, *Chemosphere*, 208, 450-459.
- Sander, R., 1999, Compilation of Henry's law constants for inorganic and organic species of potential importance in environmental chemistry, Max-Planck Institute of Chemistry, Air Chemistry Department Mainz, Germany.
- Schuhmacher, M., Jones, K. C. & Domingo, J. L. 2006. Air-vegetation transfer of PCDD/PCDFs: An assessment of field data and implications for modeling. *Environmental Pollution*, 142, 143-150.
- Sımcık, M. F., Zhang, H. X., Eisenreich, S. J. & Franz, T. P. 1997. Urban contamination of the Chicago coastal Lake Michigan atmosphere by PCBs and PAHs during AEOLOS. *Environmental Science & Technology*, 31, 2141-2147.
- Sun, S., Jia, L., Li, B., Yuan, A., Kong, L., Qi, H., Ma, W., Zhang, A. ve Wu, Y., 2018, The occurrence and fate of PAHs over multiple years in a wastewater treatment plant of Harbin, Northeast China, *Science of the Total Environment*, 624, 491-498.
- Telli-Karakoç F., Tolun L., Henkelmann B., Klimm C., Okay O., Schramm K.W., 2002. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) distributions in the Bay of Marmara sea: Izmit Bay. *Environmental Pollution* 119 (2002) 383–397.
- Their, H.P., Zeumer, H. (Editors), *Manual of Pesticide Residue Analyses*, DFG Pesticide Commission of Germany, VCH, Weinheim. 10 th ed, (1987).
- U. Altınbaş, S. Dökmeçi ve A. Barıştıran, 1995. "Treatability study of wastewater from textile industry", *Environmental Technology*, Vol: 16, 389-394.
- US EPA (1984). Method 610 -PNAs. EPA-600/4-84-063. Environmental Monitoring and Support Laboratory, Cincinnati.
- US EPA (1993). Provisional Guidance for Quantitative Risk Assessment of PAH EPA/600/R-93/089.
- US EPA (2002). Polycyclic Organic Matter. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- US EPA, Method 3630C, Silica Gel Cleanup, December, (1996).

- Vrana, B., Paschke, A., & Popp, P. (2001). Polyaromatic hydrocarbon concentrations and patterns in sediments and surface water of the Mansfeld region, Saxony-Anhalt, Germany. *Journal of Environmental Monitoring*, 3(6), 602-609.
- W.-H. Tsai, T.-C. Huang, J.-J. Huang, Y.-H. Hsue, H.-Y. Chuang, Dispersive solidphase microextraction method for sample extraction in the analysis of four tetracyclines in water and milk samples by high-performance liquid chromatography with diode-array detection, *J. Chromatogr. A* 1216 (2009) 2263–2269
- W.Wesley Eckenfelder, Jr., 1989. "Industrial Water Pollution Control", Second Edition, McGraw-Hill International Editions.
- Walker, C. H. (2008). *Organic pollutants: an ecotoxicological perspective*. CRC Press, London.
- Wenzl, T., Simon, R., Anklam, E., & Kleiner, J. (2006). Analytical methods for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in food and the environment needed for new food legislation in the European Union. *Trends in Analytical Chemistry*, 25(7), 716-725.
- Yangali-Quintanilla, V., Maeng, S. K., Fujioka, T., Kennedy, M., Li, Z. ve Amy, G., 2011, Nanofiltration vs. reverse osmosis for the removal of emerging organic contaminants in water reuse, *Desalination and Water Treatment*, 34 (1-3), 50-56.
- Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, 10.08.2016, sayı: 29797
- Yoon, E., Park, K., Lee, H., Yang, J. H., & Lee, C. (2007). Estimation of excess cancer risk on time-weighted lifetime average daily intake of PAHs from food ingestion. *Human and Ecological Risk Assessment*, 13(3), 669-680.
- Zhang, W., Wei, C., Yan, B., Feng, C., Zhao, G., Lin, C., Yuan, M., Wu, C., Ren, Y. ve Hu, Y., 2013, Identification and removal of polycyclic aromatic hydrocarbons in wastewater treatment processes from coke production plants, *Environmental Science and Pollution Research*, 20 (9), 6418-6432.

## ÖZGEÇMİŞ

### EKİN ERTEPE

#### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2018-2023	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2014-2018	İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul

#### MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Çevresel Sürdürülebilirlik Müfettişi 2023-Devam Ediyor	BUREAU VERITAS Antalya
Çevre ve İş Sağlığı Güvenliği Uzmanı 2022-2023	DAMEN SHIPYARDS ANTALYA Antalya
Çevre Mühendisi 2020-2022	SİO ÇEVRE LTD. STİ. Antalya