



**T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSİNDE
UYUŞTURUCU MADDELERİN
TESPİTİ VE GİDERİMLERİ**

Aysel POÇAN AYAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ocak - 2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Aysel POÇAN AYAZ

Tarih: 11.02.2021

ÖZET

KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSİNDE UYUŞTURUCU MADDELERİN TESPİTİ VE GİDERİMLERİ

Aysel POÇAN AYAZ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Senar AYDIN

2021, 70 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Senar AYDIN
Prof. Dr. Zeynep CEYLAN
Doç. Dr. Fatma BEDÜK

Uyuşturucular, ulusal veya uluslararası yasalarla kısıtlanmış veya yasaklanmış olan, tıbbi veya tıbbi olmayan ilaçlardır. Uyuşturucu kullanımı hakkında ve çevreye giren bu tür bileşiklerin kaynakları hakkında bilgi toplamak önemlidir. Tüketilen uyuşturucu maddeler metabolize edilerek bir kısmı vücutta emilirken bir kısmı ise metabolit olarak idrar ve dışkı yoluyla kanalizasyon şebekesine verilerek atıksu arıtma tesislerine ulaşırlar. Uyuşturucu madde tüketim konsantrasyonlarının belirlenmesinde atıksu bazı epidemiyoloji çalışması güvenilir bir yöntem haline gelmiştir. Yasa dışı uyuşturucu kullanımının halk sağlığına verdiği zararın yanında ülke ekonomisi üzerine de olumsuz bir etkisi vardır. Diğer yandan çıkış suyunda tespit edilen bazı uyuşturucu maddeler, biyolojik parçalanabilirliğinin çok düşük olması sebebi ile doğada birikme eğilimi göstermektedir. Bu durumun da öncelikli olarak akuatik canlılar ve ardından insanlar için toksik etki göstermesi olasıdır. Uyuşturucu ilaç kullanım miktarının ve atıksu arıtma tesisinde giderim verimlerinin bilinmesi insan ve çevre sağlığı açısından ve bağımlılık ile mücadelede konusunda büyük önem arz etmektedir.

Tez kapsamında; Konya ili Atıksu Arıtma Tesisinin giriş ve çıkışından kompozit atıksu örnekleri alınmıştır. Alınan örnekler ön işlemlerden geçirildikten sonra katı faz ekstraksiyon yöntemi ile ekstrakte edilmiştir. Cocaine ve metaboliti benzoylecgonine, amphetamine grubu maddeler (amphetamine, methamphetamine, MDMA), opiatlar (morphine, 6-acetylmorphine, codeine), cannabinoidler (THC-COOH, methadone, EDDP) ve iki adet psikiyatri ilacı (diazepam, lorazepam) çalışılmıştır. Kalitatif ve kantitatif analizler LC-MS/MS sistemi ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Konya ilinin uyuşturucu madde tüketimi cocaine 0.22 mg/1000 kişi/gün, amphetamine 52.1 mg/1000 kişi/gün, metamphetamine 0.17 mg/1000 kişi/gün, MDMA (ecstasy) 1.54 mg/1000 kişi/gün, heroin 6.86 mg/1000 kişi/gün, THC-COOH (esrar, marijuana) 158 mg/1000 kişi/gün olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Türkiye’de İstanbul ve Adana illerinde yapılan çalışma verileri ile kıyaslandığında kentteki uyuşturucu kullanımının (amphetamine hariç) daha düşük olduğu görülmüştür. Uyuşturucu madde tüketim miktarlarına bakıldığında hafta sonu marijuana kullanımı yüksek olurken, hafta içi ise cocaine kullanımının baskın olduğu görülmüştür. Çalışmamızda elde edilen sonuçlara göre cocaine, amphetamine, methamphetamine giderimlerinin %2 ila %100 arasında; morphine, 6-acetylmorphine, codeine, methadone, lorazepam giderimlerinin %40 ila %100 arasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca arıtma tesisi çıkış numunelerinde benzoylecgonine, MDMA ve diazepam kalıntılarına rastlanmıştır. Konvansiyonel arıtım içeren atıksu arıtma tesislerinde arıtımın yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, arıtma tesisi, epidemiyoloji, SPE-LC-MS/MS, uyuşturucu.

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION AND REMOVAL OF ILLICIT DRUGS IN URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANT

Aysel POÇAN AYAZ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY**

THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Senar AYDIN

2021, 70 Pages

Jury

Prof. Dr. Senar AYDIN

Prof. Dr. Zeynep CEYLAN

Assoc. Prof. Dr. Fatma BEDÜK

Illicit drugs are medical or non-medical medicines that are restricted or prohibited by national or international law. It is important to gather information on illicit drug use and the sources of such compounds entering the environment. Consumed illicit drugs are metabolized, some are absorbed in the body, and some of them are given to the sewage system through urine and feces as metabolites and reach the wastewater treatment plants. Wastewater-based epidemiology study has become a reliable method in determining drug consumption concentrations. Besides the damage caused by the use of illicit drugs to public health, it has also a negative impact on the national economy. On the other hand, some narcotic substances detected in the effluent, tend to accumulate in nature due to the very low biodegradability. This situation is likely to have toxic effects primarily for aquatic creatures and then for humans. Knowing the amount of drug use and the removal efficiency of the wastewater treatment plant is of great importance in terms of its effects on human and environmental health and in the fight against addiction.

Within the scope of the thesis; Composite samples were taken from the entrance and exit of Konya Province Wastewater Treatment Plant and was made pre-study. It was then extracted by the SPE method. Qualitative and quantitative analyzes were made with the LC-MS-MS system. Cocaine and its metabolite benzoylecgonine; amphetamine type substances (amphetamine, methamphetamine, MDMA), opiates (morphine, 6-acetylmorphine, codeine), cannabinoids (THC-COOH, methadone, EDDP) and two psychiatric drugs (diazepam, lorazepam) were studied. According to the results obtained, the drug consumption data of Konya province are as follows; cocaine 0.22 mg/1000 person/day, amphetamine 52.1 mg/1000 person/day, metamphetamine 0.17 mg/1000 person/day, MDMA (ecstasy) 1.54 mg/1000 person/day, heroin 6.86 mg/1000 person/day, THC-COOH (marijuana, marijuana) 158 mg/1000 person/day. According to the results obtained in Turkey, Istanbul and Adana provinces when compared with data from studies of drug use in the city (excluding amphetamine) it was found to be lower. Considering the amount of drug consumption, it was observed that marijuana use was high on the weekend, while cocaine use was dominant on weekdays. According to the results obtained in our study, cocaine, amphetamine, methamphetamine costs between 2% and 100%; morphine, 6-acetylmorphine, codeine, methadone, lorazepam were found to be between 40% and 100% removals. In addition, benzoylecgonine, MDMA and diazepam residues were found in the exit samples of the treatment plant. It has been determined that the treatment is insufficient in wastewater treatment plants containing conventional treatment.

Keywords: Illicit drugs, epidemiology, SPE-LC-MS / MS, treatment plant, wastewater.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Senar AYDIN yönetiminde hazırlanarak, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur.

Yüksek lisans hayatımda her durumda derdimizi dinleyen, yol gösterme gayretinde olan; tez yazım sürecimde ise her aşamada tecrübesi ve bilgisi ile destek olan saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Senar AYDIN'a,

Yüksek lisans öğrenciliğim boyunca birikimlerini paylaşan ve katkıda bulunan Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN, Doç. Dr. Fatma BEDÜK, Dr. Öğretim Üyesi Arzu ULVİ hocalarıma,

Beni sevgiyle yetiştiren, bu günlere gelmemi sağlayan, eğitim hayatım boyunca daima maddi manevi destek olan, sabrını ve sevgisini eksik etmeyen annem Hülya POÇAN, babam Fevzi POÇAN ve kardeşim Benginur POÇAN'a,

Her anımda yanımda olan, sevgisiyle güç veren, her daim güvenini hissettiren; bu hayattaki en büyük şansım, ömür yoldaşım kıymetli eşim Dr. Mustafa AYAZ'a sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Aysel POÇAN AYAZ
KONYA – 2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Uyuşturucu Maddelerin Tanımı Ve Sınıflandırılması	3
2.1.1. Merkezi Sinir Sistemini Yavaşlatanlar (Depresanlar)	3
2.1.2. Merkezi Sinir Sistemini Uyarılar (Stimulanlar).....	4
2.1.3. Halüsinojenler (Hayal Gösterenler).....	5
2.2. Avrupa’da Uyuşturucu Miktarları	5
2.2.1. Avrupa’da Ele Geçirilen Uyuşturucu Miktarları	6
2.2.2. Avrupa’da Seçilen Şehirlerde Atıksudaki Uyuşturucu Kalıntıları	9
2.3. Türkiye’de Yakalanan Uyuşturucu Miktarları	11
2.4. Uyuşturucu Maddelerin Ekosistemdeki Akıbeti	12
2.5. Atıksularda Uyuşturucu Madde Tespiti.....	13
2.5.1. Analiz Yöntemleri	13
2.5.2. Atıksularda Tespit Edilen Uyuşturucu Maddeler	16
2.5.3. Yüzeysel Sular ve İçme Suyu Kaynaklarında Tespit Edilen Uyuşturucu Maddeler	18
2.6. Uyuşturucu Maddelerin Toksik Etkisi	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1. Materyal	22
3.1.1. Kimyasallar ve Cihazlar	22
3.2. Yöntem	24
3.2.1. Numune Temini.....	24
3.2.2. Atıksu Örneklerinin Fiziko-Kimyasal Analizleri	27
3.2.3. Atıksu Örneklerinin Ön İşlemi ve Ekstraksiyonu.....	28
3.2.4. Validasyon Çalışması	32
3.2.5. Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografi-Kütle Spektrometresi (HPLC-MS) ve HPLC-MS/MS Analizleri.....	33
3.2.6. Toplumun Uyuşturucu Tüketim Miktarının Hesaplanması.....	34
3.2.7. Uyuşturucu Maddeler ve Metabolitleri.....	35
3.2.8. Atıksu Arıtma Tesisinde Uyuşturucu Gideriminin Hesaplanması	36
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	37

4.1. Araştırma Sonuçları.....	37
4.1.1. Atıksu Örneklerinin Fiziko-Kimyasal Analiz Sonuçları	37
4.1.2. Kentsel Atıksuda Tespit edilen Uyuşturucu Maddeler ve Tüketim Miktarları	39
4.1.3. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinde Uyuşturucu Madde Giderim Verimleri	44
4.2. TARTIşMA	45
4.2.1. Uyuşturucu Madde Tüketim Miktarları.....	45
4.2.2. Uyuşturucu Maddelerin Giderimi.....	49
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
6. KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİř	59



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μg	: Mikrogram
μL	: Mikrolitre
G	: Gram
Kg	: Kilogram
L	: Litre
m^3	: Metreküp
Mg	: Miligram
mL	: Mililitre
ng	: Nanogram
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
μS	: Mikrosiemens
m/z	: Kütle/Yük

Kısaltmalar

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AKM	: Askıda katı madde
AOP	: Oksidasyon işlemleri
BAF	: Biyoakümülayon faktörü
DM	: Dry Matter - Kuru Madde
DWTP	: Drinking Water Treatment Plant - İçme Suyu Arıtma Tesisi
EC	: Elektriksel iletkenlik
EC_{50}	: %50'sini etkileyen konsantrasyon
EMCDDA	: European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction - Avrupa Uyuşturucu ve Uyuşturucu Bağımlılığı İzleme Merkezi
EPA	: Environmental Protection Agency - Çevreyi Koruma Ajansı
GC-MS	: Gas Chromatography-Mass Spectrometer - Gaz kromatografi - kütle spektrometri
HPLC	: High Performance Liquid Chromatography - Yüksek performans sıvı kromatografi
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LC_{50}	: %50'sini öldüren konsantrasyon
LC-MS	: Liquid Chromatography-Mass Spectrometer - Sıvı Kromatografi - Kütle Spektrometri
LOD	: Limit of Detection - Tespit sınırı
LOQ	: Limit of Quantification - Ölçüm sınırı
MBR	: Membran biyoreaktörü
PAC/GAC	: Aktif karbon adsorpsiyonu
PNEC	: Öngörülen Etkisiz Konsantrasyon
PPCP	: Farmasötikler ve kişisel bakım ürünleri
RQ	: Risk Oranı
RSD	: Relatif Standart Sapma
SCORE	: Sewage Analysis Core Group Europe - Avrupa Kanalizasyon Analizi Çekirdek Grubu
SPE	: Solid Phase Extraction - Katı faz ekstraksiyon
UV	: Ultraviyole ışık
WBE	: Wastewater Based Epidemiology - Atıksu bazlı epidemiyoloji

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Uyuşturucu maddelerin sınıflandırılması	3
Çizelge 2.2. Uyuşturucu madde ve metabolitlerinin atıksuda tespit etmek için uygulanan SPE metotları	15
Çizelge 2.3. Uyuşturucu madde ve metabolitlerini atıksuda tespit etmek için uygulanan LC metotları	16
Çizelge 2.4. Atıksu arıtma tesislerinde tespit edilen bazı uyuşturucu bileşikleri konsantrasyonu	17
Çizelge 2.5. Yüzeysel sularda bazı uyuşturucu madde konsantrasyonları	18
Çizelge 3.1. Çalışmada incelenen bileşikler ve özellikleri	22
Çizelge 3.2. Uyuşturucu Bileşiklerin Tespiti İçin Kullanılan Yöntemler	30
Çizelge 3.3. Hedef bileşikler için LC-MS/MS sistemine ait analitik parametreler	34
Çizelge 3.4. Hedef bileşiklere ait analitik parametreler	34
Çizelge 3.5. Her bir bileşik için geriye dönük hesaplamada kullanılan parametreler	35
Çizelge 3.6. Uyuşturucu maddeler ve metabolitleri	36
Çizelge 4.1. Türkiye’de Uyuşturucu Madde Kullanım Miktarının Kıyaslanması	46
Çizelge 4.2. Konya ilindeki uyuşturucu madde tüketiminin diğer ülkelerde tespit edilen ortalama tüketim değerleri ile karşılaştırılması	47
Çizelge 4.3. Giderim verimleri (%)	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Ele geçirilen amphetamine miktarı (EMCDDA, 2020)	6
Şekil 2.2. Ele geçirilen methamphetamine miktarı (EMCDDA, 2020)	7
Şekil 2.3. Ele geçirilen MDMA miktarı (EMCDDA, 2020)	8
Şekil 2.4. Ele geçirilen cocaine konulan miktarı (EMCDDA, 2020)	8
Şekil 2.5. Avrupa’da seçilen şehirlerde atıksudaki cocaine kalıntıları (EMCDDA, 2020)	9
Şekil 2.6. Avrupa’da seçilen şehirlerde atıksudaki MDMA kalıntıları (EMCDDA, 2020)	10
Şekil 2.7. Avrupa’da seçilen şehirlerde atıksudaki amphetamine kalıntıları (EMCDDA, 2020)	10
Şekil 2.8. Avrupa’da seçilen şehirlerde atıksudaki methamphetamine kalıntıları (EMCDDA, 2020)	11
Şekil 2.9. Uyuşturucu maddelerin akıbeti	13
Şekil 3.1. Oasis HLB kartuşunun hazırlanmış düzeneği ve Oasis MCX kartuşları	23
Şekil 3.2. Depolanan azot gazı	24
Şekil 3.3. Sıvı kromatografi kütle spektrometre dedektörü (LC-MS) sistemi (Agilent)	24
Şekil 3.4. Konya atıksu arıtma tesisi akım şeması	25
Şekil 3.5. Konya kentsel atıksu arıtma tesisi üstten görünüşü	26
Şekil 3.6. AAT girişi örnekleme noktası	26
Şekil 3.7. AAT çıkışı örnekleme noktası	26
Şekil 3.8. Atıksu örneklerinin pH ve EC ölçümleri	27
Şekil 3.9. Atıksu örneklerinin AKM ölçümleri	27
Şekil 3.10. Atıksu örneklerinin KOİ ölçümleri	28
Şekil 3.11. Atıksu örnekleri ve ön işlemi	28
Şekil 3.12. Atıksu numunelerinin SPE işlemi	30
Şekil 3.13. LC/MS sistemi	31
Şekil 3.14. Hedef bileşiklere ait elde edilen geri kazanım değerleri (%)	31
Şekil 4.1. Atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış sularının fiziko-kimyasal analiz sonuçları (pH değeri)....	37
Şekil 4.2. Atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış sularının fiziko-kimyasal analiz sonuçları [EC (µS/cm)]	38
Şekil 4.3. Atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış sularının fiziko-kimyasal analiz sonuçları [AKM (mg/L)]	38
Şekil 4.4. Atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış sularının fiziko-kimyasal analiz sonuçları [KOİ (mg/L)]	38
Şekil 4.5. Cocaine grubu bileşiklerin giriş suyundaki konsantrasyon değerleri	39
Şekil 4.6. Cocaine grubu bileşiklerin çıkış suyundaki konsantrasyon değerleri	39
Şekil 4.7. Amphetamine grubu bileşiklerin giriş suyundaki konsantrasyon değerleri	40
Şekil 4.8. Amphetamine grubu bileşiklerin çıkış suyundaki konsantrasyon değerleri	40
Şekil 4.9. Opiatların giriş suyundaki konsantrasyon değerleri	41
Şekil 4.10. Opiatların çıkış suyundaki konsantrasyon değerleri	41
Şekil 4.11. Cannabinoidlerin giriş suyundaki konsantrasyon değerleri	42
Şekil 4.12. Cannabinoidlerin çıkış suyu konsantrasyon değerleri	42
Şekil 4.13. Psikiyatri ilaçlarının giriş suyundaki konsantrasyon değerleri	43
Şekil 4.14. Psikiyatri ilaçlarının çıkış suyu konsantrasyon değerleri	43
Şekil 4.15. Uyuşturucu Maddelerin Ortalama Giderim Verimleri	44
Şekil 4.16. Uyuşturucu maddelerin hafta içi ve hafta sonu tüketimleri (mg/gün/1000kişi)	49
Şekil 4.17. Her örnekleme noktasında bir yıllık bir süre boyunca ortalama konsantrasyon	52

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Önemi

Uyuşturucular, ulusal veya uluslararası yasalarla kısıtlanmış veya yasaklanmış olan, tıbbi veya tıbbi olmayan ilaçlardır. Yasa dışı uyuşturucu kullanımı insan sağlığı, toplum psikolojisi ve ülke ekonomisi üzerinde etkileri olan küresel bir sorundur. Bu sebeple uyuşturucu kullanımı hakkında ve çevreye dâhil olan bu tür bileşiklerin kaynakları hakkında bilgi toplamak önemlidir. Yasa dışı uyuşturucuların yaygınlığı; hane halkı araştırmaları, tüketici görüşmeleri, üretim kayıtları, tıbbi kayıtlar ve ele geçirme istatistikleriyle değerlendirilmiştir (Zuccato ve ark., 2005; Steffel ve ark., 2018). Ancak bu yöntemlerin uygulanması zaman alıcı ve pahalı olmasının yanı sıra elde edilen veriler de yeterince güvenilir değildir. Ayrıca bu veri kaynaklarının hiçbirisi büyük resmi tamamlamak için yalnız başına yeterli değildir. Bu yöntemler yaygın olarak uygulanan standart yöntemler olsa da, bunlarla sınırlı değildir. Uyuşturucuyla ilgili zararları en aza indirecek politikalar oluşturmak için yasadışı uyuşturucuların eğlence amaçlı kullanımını izlemek çok önemli olduğundan, birçok durumda ayrıntılı bir yaklaşım gereklidir (Lai ve ark., 2013). Bu bağlamda atıksular, uyuşturucu ve diğer kimyasalları kullanan toplumlarla ilgili bilgi havuzudur. Atıksu arıtma tesisleri hizmet verdiği toplumun sağlığı hakkında zengin bir bilgi kaynağıdır. Yasal ve yasa dışı kaynaklardan; suya, atıksuya ve toprağa karışan uyuşturucu maddeler ile ilgili izleme ve kontrol çalışmaları yakın yıllarda Avrupa’da başlamıştır. Ülkemizde ise 2019 yılında çalışmalara başlanmıştır. Sağlam veriler elde edebilmek için ham atıksu değerlendirme yoluyla uyuşturucu izleme daha verimli bir yoldur. Atıksu bazlı epidemiyoloji (WBE, Wastewater Based Epidemiology) sayesinde uyuşturucu bağımlılığını izlemek giderek daha pratik hale gelmiştir. Atıksu bazlı epidemiyoloji (WBE) yönteminin mekanizması; atıksu arıtma tesislerinde atıksu örneklerinin sistematik olarak toplanmasının ardından uyuşturucu ilaçların ana bileşiklerinin ve/veya metabolitlerinin konsantrasyonunun belirlenmesi ve hedef bileşiklerin tüketim oranlarını geriye doğru hesaplamak şeklindedir. Böylece insan sağlığı gerçek zamanlı olarak gözlemlenebilmektedir. WBE yöntemi geleneksel tekniklerin boşluklarını doldurabilir ve tamamlayıcı bir araç olarak kullanılabilir. Örneğin, tüm ilaç test yöntemleri arasında, sadece bu yöntem belirli bir bireye indirgmeden izleyebilir, bu da sonuçları anonim ve etik sınırlar içinde tutar (Mercan ve ark., 2019). 2010 yılında standardizasyonu sağlamak amacıyla,

uygulamanın yaygınlaştırılması ve yöntemle ilgili belirsizliklerin ortadan kaldırılmasına odaklanırken, atıksudan kaçak maddelerin tespiti amacıyla Avrupa Kanalizasyon Analizi Çekirdek Grubu (SCORE, Sewage Analysis Core Group Europe) kurulmuştur. Avrupa Uyuşturucu ve Uyuşturucu Bağımlılığı İzleme Merkezi (EMCDDA, European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction) ile birlikte SCORE grubu, her yıl artan sayıda laboratuvar ve ülke ile işbirliği içinde çalışmalar yapmaya başlamıştır (Thomas ve ark., 2012), (González- Mariño ve ark., 2020).

Su sistemi döngüsel bir biçimde devam etmektedir. Yüzeysel sular, yeraltı suları ve musluk sularında mikrokirleticiler ile karşılaşmak küresel bir sorundur. Uyuşturucu maddeler de bu mikrokirleticilerden biridir. Mikrokirleticiler su döngüsüne kanalizasyon sistemi sayesinde girmektedir. Bazı uyuşturucu maddelerin biyolojik parçalanabilirliğinin çok düşük olması sebebi ile doğada kümülatif birikme eğilimi göstermektedir. Bu durum da öncelikli olarak akuatik canlılar ve ardından insanlar için toksik etki göstermesi olasıdır (Aydın ve Ulvi, 2019). 2016 yılında açıklanan bir araştırmaya göre dünya nüfusunun yarısından fazlasında kentsel bölgeler bulunmakta ve 2030 yılına kadar üçte ikilik bir orana kadar çıkacağı öngörülmektedir (Davoli ve ark., 2019). Bu durumun sadece yaşam koşulları için değil, çevre ve insan sağlığı için de önemli sonuçları olması muhtemeldir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Uyuşturucu maddelerin kişi başına kullanım miktarının ve atıksu arıtma tesislerinde giderim verimlerinin belirlenmesi konusunda ülke bazında literatür eksiklikleri mevcuttur. Konya atıksu arıtma tesisinin giriş ve çıkış suyunda uyuşturucu maddelerin ve bunların metabolitlerinin konsantrasyonları belirlenmesi, Konya ili için uyuşturucu ilaç kullanım oranları ve kişi başına kullanım miktarının bilinmesi; buna ek olarak atıksu arıtma tesisinde giderim verimliliğinin bilinmesi insan ve çevre sağlığı açısından ve bağımlılık ile mücadelede büyük önem arz etmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Uyuşturucu Maddelerin Tanımı Ve Sınıflandırılması

Belirli dozda alındığı zaman kişinin sinir sistemi üzerinde etkide bulunan, akli, fiziki ve psikolojik dengesini bozan, fert ve toplum içerisinde iktisadi ve sosyal çöküntü meydana getiren, alışkanlık ve bağımlılık yapan; kanunların kullanılmasını, bulundurulmasını ve satışını yasakladığı narkotik ve psikotrop sözcükleri ile de tanımlanan bu maddelere uyuşturucu denir. Uyuşturucu maddeler reçete edilmeyen ilaçlar ile ulusal veya uluslararası kanunlarla üretimi, satışı ve kullanımı sınırlandırılmış psikotropik ilaçlardır. Bunlar cocaine, amphetamine grubu stimülanlar, cannabinoidler, opium bileşikler olarak sınıflandırılırlar (Postigo ve ark., 2008; Yadav ve ark., 2017). Uyuşturucu maddeler elde edildiği kaynağa göre tabii (doğal) ve sentetik olmak üzere ikiye ayrılır. İnsan vücudu üzerinde yaptıkları etkilere göre ise Çizelge 2.1’de görüldüğü üzere; depresanlar (merkezi sinir sistemini yavaşlatanlar), stimülanlar (merkezi sinir sistemini uyarılar) ve halüsinojenler (hayal gösterenler) şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 2.1. Uyuşturucu maddelerin sınıflandırılması

Merkezi Sinir Sistemini Yavaşlatanlar (Depresanlar):	
Tabii Uyuşturucular	Sentetik Uyuşturucular
Afyon	Barbitüratlar
Morphine	Trankilizanlar
Eroin	Sedatifler
Codeine	
Merkezi Sinir Sistemini Uyarılar (Stimülanlar):	
Tabii Uyuşturucular	Sentetik Uyuşturucular
Koka Yaprağı	Amfetamineler
Cocaine	
Halüsinojenler (Hayal Gösterenler):	
Tabii Uyuşturucular	Sentetik Uyuşturucular
Esrar / Likit Esrar	LSD
Marihuana	

2.1.1. Merkezi Sinir Sistemini Yavaşlatanlar (Depresanlar)

Afyon: Afyon, haşhaş kozasının çizilmesi suretiyle akan süt gibi beyaz öz sudan elde edilmektedir. Koza, afyon ve türevlerini ihtiva etmesi yanında, pasta ve çöreklerde kullanılır. Ayrıca tıbbi alanda bilhassa ağrıları dindirmekte kullanılır ve faydalı vasıfları vardır. Afyonun en önemli ve başlıca alkaloidi morphine olup, türevleri; morphine, heroin ve codeine’dir.

Morphine: Afyonun kimyasal yollardan ayrılmasından elde edilir. Morphine'nin belli başlı tesiri, ağrıları gidermesidir.

Heroin: Morphine'nin çeşitli kimyasal işlem ve süreçlerden geçmesi sonucu elde edilir. Morphine'den 4-10 kat daha güçlü bir maddedir. Yasa dışı yollardan üretilen eroinin saflık derecesi %60 civarındadır. Sokakta satılan heroin'in içerisine nişasta, tebeşir tozu, aspirin benzeri çeşitli katkı maddeleri ilave edildiğinden saflık derecesi daha düşüktür.

Barbitüratlar: Bunlar doktor tarafından hastayı sakinleştirmek veya uykuya dalmayı kolaylaştırmak amacıyla sıkça kullanılan ilaçlardır. Bir hastayı sakinleştirmek için ortalama bir tedavi dozu 15-30 miligram, uyku hali için ise 200-300 miligramdır. Ancak bir uyuşturucu bağımlısı günde 2000 miligram doza kadar çıkabilir.

Trankilizanlar: Stresin insan üzerindeki etkilerini; sıkıntı, gerginlik, anksiyete (endişe/korku) ve disfori (rahatsızlık duygusu) gibi duyguları azaltan veya ortadan kaldıran ilaçlardır.

Sedatifler: Zihinsel aktiviteyi ve uyanıklığı yatıştıran; barbitüratların aksine uyku hali yaratmayan sentetiklerdir..

2.1.2. Merkezi Sinir Sistemini Uyarımlar (Stimülanlar)

En yaygın iki uyarıcı, tütün ürünlerindeki nikotin ile kahve, çay ve bazı içeceklerde bulunan kafeindir.

Koka Bitkisi: Bu bitki nemli ve sıcak iklimleri sevdiği için Orta ve Güney Amerika ülkelerinde yetişmektedir. Kızılderililer tarafından açlık duygusunu azaltmak için yanaklarda tütün lokması şeklinde çiğnendiği bilinmektedir.

Cocaine: Koka yaprağının farklı kimyasal maddelerle işleminden geçmesi ile cocaine elde edilir.

Amphetamineler: İlaç alındıktan sonra kan dolaşımı hızlandığından bütün duygular harekete geçer. Tıbbi olarak uyku hastalığında, daha az yemek için şişmanlık durumlarında kullanılır. Sporcular tarafından doping olarak da kullanılmaktadır.

Methamphetamine: İlk kullanımdan itibaren bağımlılık yapan methamphetamine, kullanıcılarının çoğunu ölüme götüren uyuşturucu maddedir. Cocaine ve amphetamine ile kıyaslandığında üç kat daha etkilidir.

Ekstazi: Methylene-dioxy-methamphetamine (MDMA): Amphetamine türevi sentetik bir uyuşturucudur. MDMA beyinde var olan serotonin nörotransmitterlerinin salınmasını sağlayan bir serotonin ateşleyicisi ve geri alım inhibitörüdür. Antidepresan ilaçlar da aynı sınıftandır ama MDMA'nın farkı beyinde var olan serotoninin tamamının salınmasına neden olmasıdır.

Captagon: Amphetamine ve amphetamine türevlerinden elde edilmiş sentetik bir uyuşturucu türüdür. Tıbbi kullanım amacıyla; dikkat eksikliği, hiperaktivite, narkolepsi, depresyon durumlarında ve epilepsi hastalarına reçete edilmektedir. Ancak kötüye kullanım nedeniyle üretimi yasaklanmıştır.

2.1.3. Halüsinojenler (Hayal Gösterenler)

Esrar: Kenevir bitkisinin botanikteki adı Cannabis Satavia'dır. Esrar maddesi Hint kenevirinden elde edilmektedir. Esrarın etkin maddesi THC-Tetra Hydro Cannabinol'dur. Ülkemizde ekimi, lisanslı ve kontrollü olarak Tarım Bakanlığı'nın gözetiminde gerçekleştirilmekte olup, yalnızca erkek kenevir (THC içermeyen) ekimine müsaade edilmektedir.

Marihuna: Hint keneviri bitkisinin yapraklarının kurutulması ile elde edilir.

LSD (Lysergic Acid Diethylamide): 1943 yılında bir kimyacı migren tedavisi için araştırma yaparken, LSD'yi keşfetmiştir. İlk olarak çavdar küfünün içinde bulunan bir asitten imal edilmiştir. Cocaine'den 100 kat daha güçlüdür.

2.2. Avrupa'da Uyuşturucu Miktarları

Küresel yasa dışı uyuşturucu pazarının, yolsuzluğu kolaylaştıran, dünyanın belirli bölgelerinin ekonomik kalkınmasını etkileyen yüz milyarlık bir faaliyet olduğu tahmin edilmektedir (Drugs ve Addiction, 2016; Corkery ve ark., 2017) ve küresel hastalık yüküne katkıda bulunmaktadır (Degenhardt ve ark., 2013). Ekonomik olarak gelişmiş bölgelerde, yasa dışı psikoaktif madde kullanımından kaynaklanan hastalık yükü daha az gelişmiş bölgelere göre daha yüksektir buna ek olarak alkol ve tütün gibi yasal maddelere kıyasla, uyuşturucu madde kullanımı yaşamın erken dönemlerinde mortaliteyi etkilemektedir (González- Mariño ve ark., 2020).

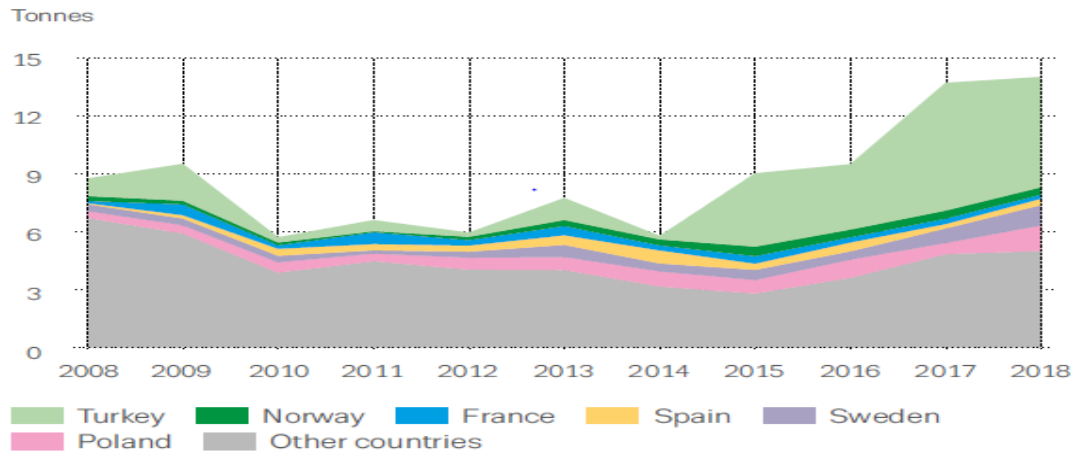
2020 yılı Avrupa Uyuşturucu Raporu, rutin izlemeye mevcut olan en güncel verilere dayanmaktadır ve 2019 yılı sonunda Avrupa'daki uyuşturucu durumunu

açıklamaktadır. O tarihten itibaren, tüm ülkeler COVID-19 pandemisinin hızlı bir şekilde yayılmasından büyük ölçüde etkilenmiştir. Pandeminin, uyuşturucu kullanımı ve uyuşturucu tedarikiyle ilişkili birçok davranış üzerinde ani bir etkisi olduğu gibi sağlık hizmetleri ve bazı kolluk kuvvetleri üzerinde de etkisi olmuştur. Pandeminin uyuşturucu kullanımı ve gelecekteki uyuşturucu sorunları üzerinde orta ve uzun vadeli olası etkileri takip edilmelidir.

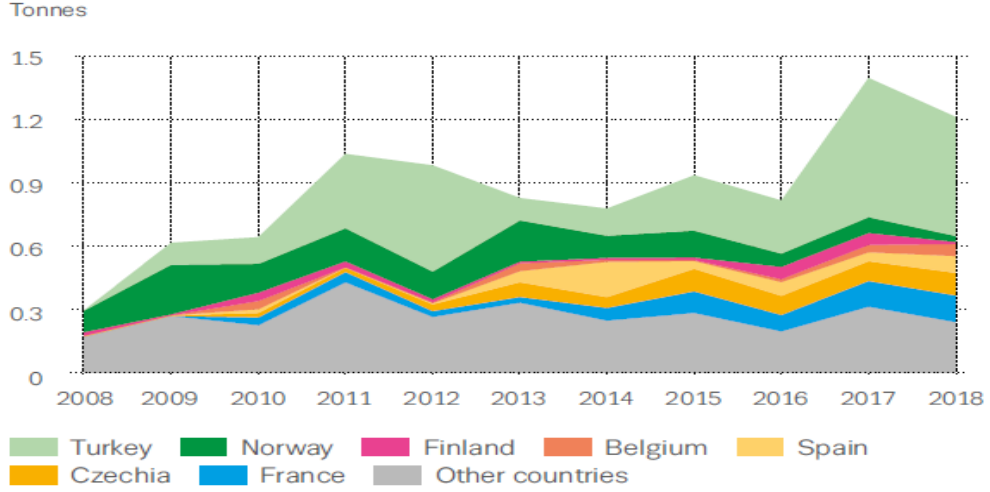
2.2.1. Avrupa’da Ele Geçirilen Uyuşturucu Miktarları

Amphetamine ve Methamphetamine: Hem methamphetamine hem de amphetamine Avrupa’da üretilmektedir. Amphetamine daha yaygın olarak bulunur, ancak ele geçirme verileri, methamphetamine erişilebilirliğinin arttığını ve ilacın daha fazla ülkede tespit edildiğini göstermektedir. Veriler, amphetamine üretiminin esas olarak Hollanda, Belçika ve Polonya’da ve daha az ölçüde Baltık Ülkeleri ve Almanya’da gerçekleştiğini göstermektedir. Bazı amphetamine’ler de Avrupa Birliği’nde, özellikle Orta Doğu’ya ihraç edilmek üzere üretilmektedir. Türkiye ve Yunanistan’da ‘Captagon’ logolu büyük miktarda amphetamine tabletleri ele geçirilmiştir (EMCDDA, 2020).

2018’de AB Üye Devletleri, 8 tona karşılık gelen 37.000 amphetamine ele geçirme vakası rapor etmiştir ve son üç yılda her geçen yıla kıyasla artışlar olduğu Şekil 2.1’de görülmektedir. Methamphetamine ele geçirme vakaları çok daha düşüktür ve 2018’de en büyük miktarları Fransa (126 kilogram) ve Çekya (106 kilogram) olmak üzere Avrupa Birliği’nde 0,62 ton olarak bildirilen 9.000 ele geçirme vakası rapor edilmiştir (Şekil 2.2) (EMCDDA, 2020).



Şekil 2.1. Ele geçirilen amphetamine miktarı (EMCDDA, 2020)

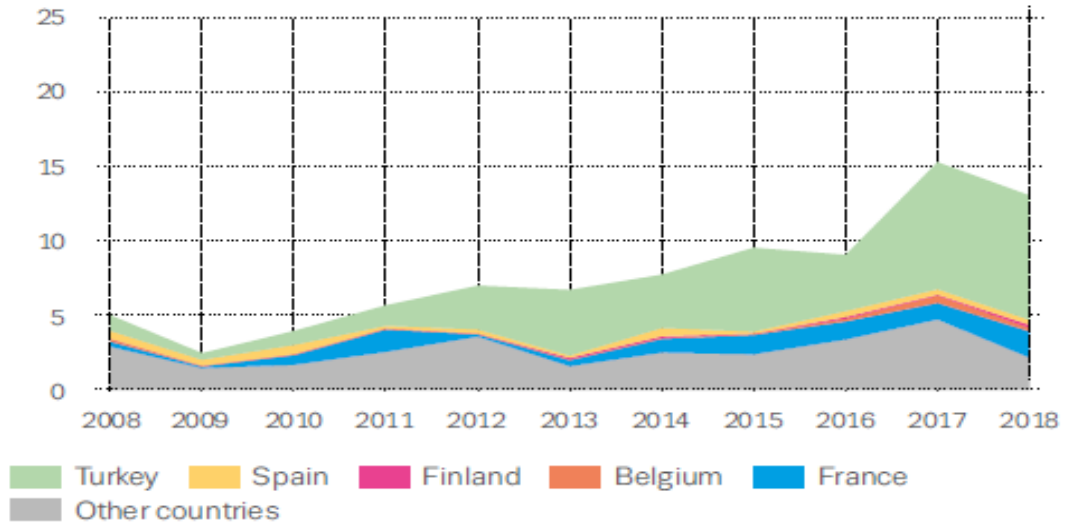


Şekil 2.2. Ele geçirilen methamphetamine miktarı (EMCDDA, 2020)

MDMA: Avrupa Birliği'nde rapor edilen MDMA ele geçirme vakalarının sayısı 2010'dan bu yana artış eğilimindedir. Avrupa Birliği'nde MDMA tozu ele geçirme vakaları 2016'da 0,3 tondan, 2018'de 2,2 tona yükselmiştir. Bu artış temel olarak Belçika, Polonya, Bulgaristan ve İspanya tarafından bildirilen ele geçirmelerden kaynaklanmaktadır, ancak Hollanda'dan gelen verilerdeki boşluklar bu alanda daha kapsamlı bir analizi engellemektedir (EMCDDA, 2020).

Ele geçirilen MDMA miktarı, ağırlığından ziyade, tablet sayısı olarak rapor edilmektedir. Türkiye'de 2017 ve 2018 yıllarında büyük miktarlarda MDMA tableti ele geçirildi ve her iki yılda 8 milyon tablet aşılırdı; Avrupa Birliği'nde ele geçirilen toplam miktar aşılmış oldu (Şekil 2.3). 2018'de Avrupa'da ele geçirilen MDMA tabletlerinin ortalama uyuşturucu içeriği tablet başına 39 ila 188 miligram MDMA arasında değişirken, ülkelerin yarısı ortalama 132 ila 181 miligram arasında bir oran bildirmiştir. 2008 ile 2017 arasında sürekli olarak veri bildiren bu ülkeler arasında, MDMA tabletlerinin ortalama ilaç içeriği dönem içinde %135 arttı (EMCDDA, 2020).

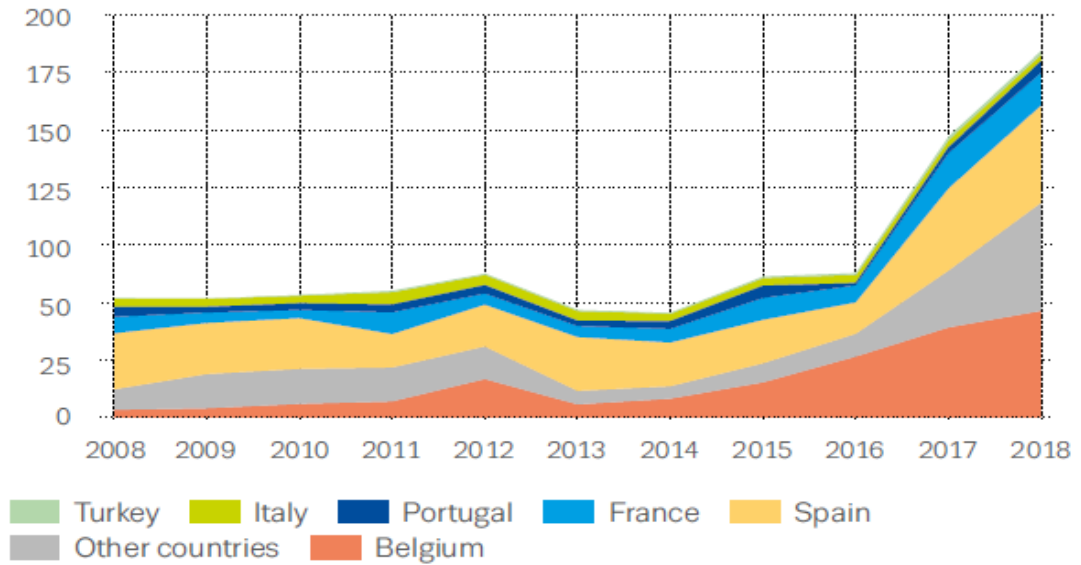
Tablets (millions)



Şekil 2.3. Ele geçirilen MDMA miktarı (EMCDDA, 2020)

Cocaine: 2018 yılında, Avrupa Birliği'nde cocaine ele geçirme sayısı ve ele geçirilen miktar 181 tonu bularak şimdiye kadar kaydedilen en yüksek seviyelere ulaştı. Ele geçirilen cocaine miktarı, 2017 yılına göre 42 tonun üzerinde artış ile bir önceki rekorunu aştı. Belçika (53 ton), İspanya (48 ton) ve Hollanda (40 ton) üçü birlikte 2018'de tahmini AB toplamının %78'ini oluşturdu. Fransa (16,3 ton), Portekiz (5,5 ton) ve İtalya'da da (3,6 ton) büyük miktarlar raporlanmıştır (Şekil 2.4) (EMCDDA, 2020).

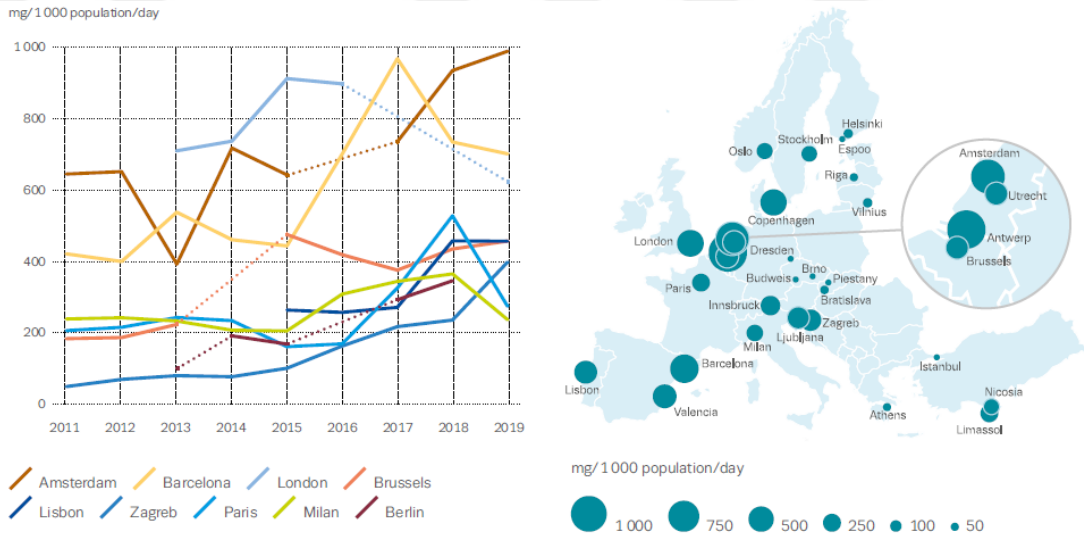
Tonnes



Şekil 2.4. Ele geçirilen cocaine konulan miktarı (EMCDDA, 2020)

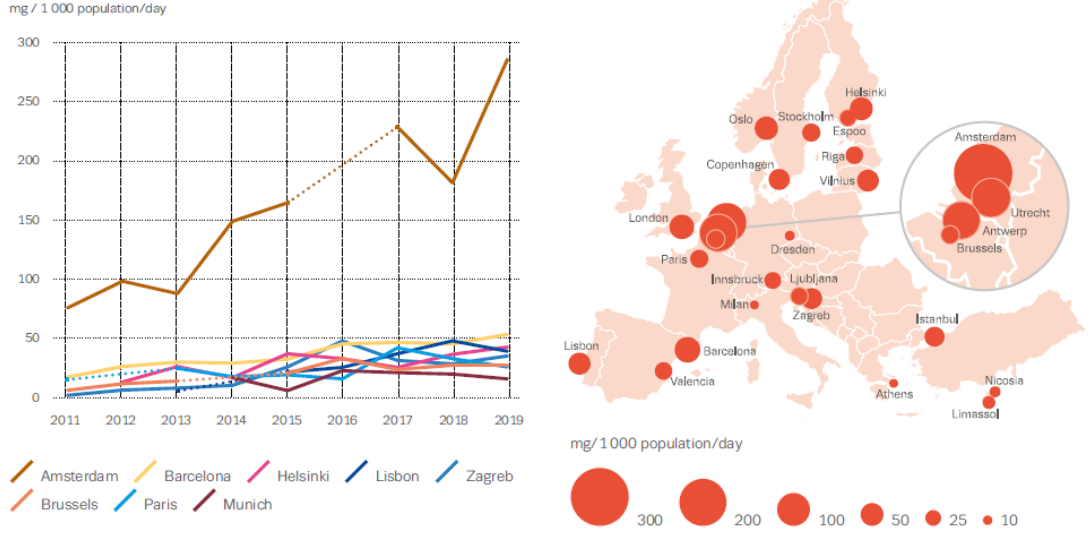
2.2.2. Avrupa’da Seçilen Şehirlerde Atıksudaki Uyuşturucu Kalıntıları

Cocaine: Atıksu bazlı epidemiyoloji çalışmaları ile nüfus anketlerinden elde edilen sonuçlar birbirlerini tamamlamasına rağmen, doğrudan karşılaştırılabilir veriler değildir. 2019’da yapılan analizlerde, Şekil 2.5’te de görüldüğü üzere, Belçika, İspanya, Hollanda ve Birleşik Krallık’taki şehirlerde en yüksek konsantrasyonlar benzoylecgonine (cocaine’nin ana metaboliti) için tespit edildi. Cocaine için en son veriler, tespit seviyeleri düşük kalmasına rağmen, Doğu Avrupa şehirlerinde daha yaygın olduğunu göstermektedir. 2018 ve 2019 verileri bulunan 45 şehirden 27’si artış, 10’u stabil seyir ve 8’i düşüş bildirdi. 2011 ila 2019 dönemini kapsayan veriler ışığında uzun vadede artan eğilimler olabileceği öngörülebilir (EMCDDA, 2020).



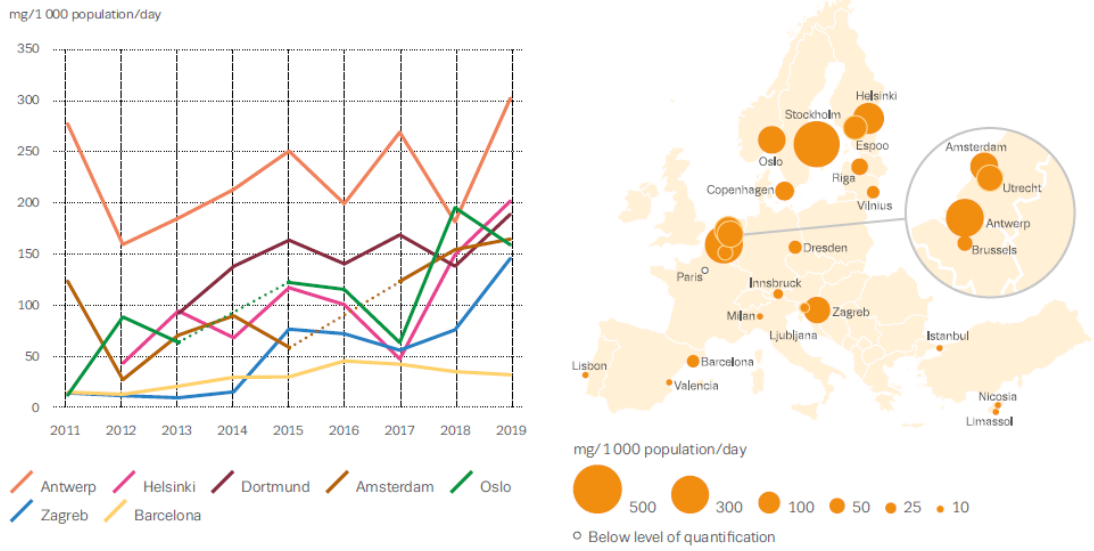
Şekil 2.5. Avrupa’da seçilen şehirlerde atıksudaki cocaine kalıntıları (EMCDDA, 2020)

MDMA: 2019 analizlerine göre atıksularda en yüksek MDMA yükleri Belçika, Almanya ve Hollanda’daki şehirlerde görülmüştür (Şekil 2.6). 2018 ve 2019 verileri olan 42 şehirden 23’ü artış, 4’ü stabil seyir ve 15’i düşüş bildirdi. Uzun vadeli eğilimlere bakıldığında, hem 2011 hem de 2019 için verilere sahip çoğu şehirde (12 şehir), atıksu MDMA yükleri 2011’e göre 2019’da daha yüksekti; İlk artışların çoğu 2011-2016 döneminde görülürken, bazı şehirlerde 2016-2019 döneminde daha fazla artış olduğu gözlenmiştir. MDMA kullanımı Avrupa’da uyuşturucu bağımlılığı tedavisine başlama nedeni olarak nadiren gösterilmektedir. Bu durum, MDMA kullanım artışının ve dolayısı ile atıksudaki konsantrasyon artışının sebeplerinden birisi olarak düşünülebilir (EMCDDA, 2020).



Şekil 2.6. Avrupa’da seçilen şehirlerde atıksudaki MDMA kalıntıları (EMCDDA, 2020)

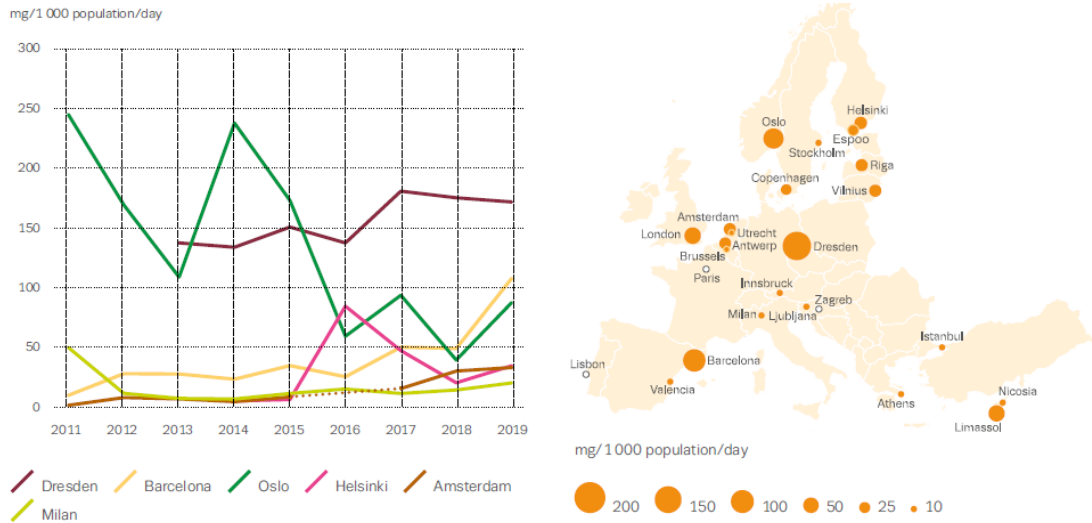
Amphetamine ve Methamphetamine: 2019 yılında gerçekleştirilen analizlere göre, atıksudaki amphetamine yüklerinin Avrupa genelinde önemli ölçüde farklılık gösterdiği ve en yüksek seviyelerin Avrupa’nın kuzey ve doğusundaki şehirlerde ölçüldüğü belirlendi (Şekil 2.7). Genel olarak, 2011’den 2019’a kadar verilere sahip 11 şehirden elde edilen sonuçlar, çoğu şehirde amphetamine’nin artan eğilimde olduğunu gösterdi (EMCDDA, 2020).



Şekil 2.7. Avrupa’da seçilen şehirlerde atıksudaki amphetamine kalıntıları (EMCDDA, 2020)

2018 ve 2019 yıllarında atıksuda methamphetamine verisi bulunan 42 şehirden 17’si artış, 16’sı stabil seyir ve 9’u düşüş bildirdi. Çekya ve Slovakya’da yoğunlaşan methamphetamine kullanımının Avrupa ülkelerinde de mevcut olduğu

Şekil 2.8’de görülmektedir (EMCDDA, 2020).



Şekil 2.8. Avrupa’da seçilen şehirlerde atıksudaki methamphetamine kalıntıları (EMCDDA, 2020)

2.3. Türkiye’de Yakalanan Uyuşturucu Miktarları

Türkiye coğrafi olarak, üretim bölgeleri ile tüketim bölgelerinin arasında olup, yasa dışı uyuşturucu ticareti açısından en önemli transit yol olarak adlandırılan “Balkan Rotası” üzerinde bulunmaktadır. Hem hedef hem de transit ülke olan Türkiye, Afganistan kaynaklı afyon ve türevleri, Avrupa kaynaklı psikotrop maddeler ve bunların üretiminde kullanılan kimyasal maddelerin trafiğinden etkilenmektedir. Uyuşturucu madde ile mücadele kapsamında T.C. İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü Narkotik Suçlarla Mücadele Daire Başkanlığı tarafından Türkiye Uyuşturucu ve Uyuşturucu Bağımlılığı İzleme Merkezi (TUBİM) kurulmuştur. TUBİM’in uyuşturucu madde ile ilgili yaptığı çalışmalar kapsamında ele geçirme verileri ve tedavi verileri her yıl raporlanmaktadır.

Cocaine: Ülkemizde 2019 yılında 3.018 cocaine ele geçirme olayı gerçekleşmiştir. Bu olaylarda 1.638 kg cocaine ele geçirilmiştir. Ele geçirilen cocaine miktarında bir önceki yıla göre %8,5 oranında artış gerçekleşmiştir ve bu miktar Cumhuriyet tarihinin rekorudur (TUBİM, 2020).

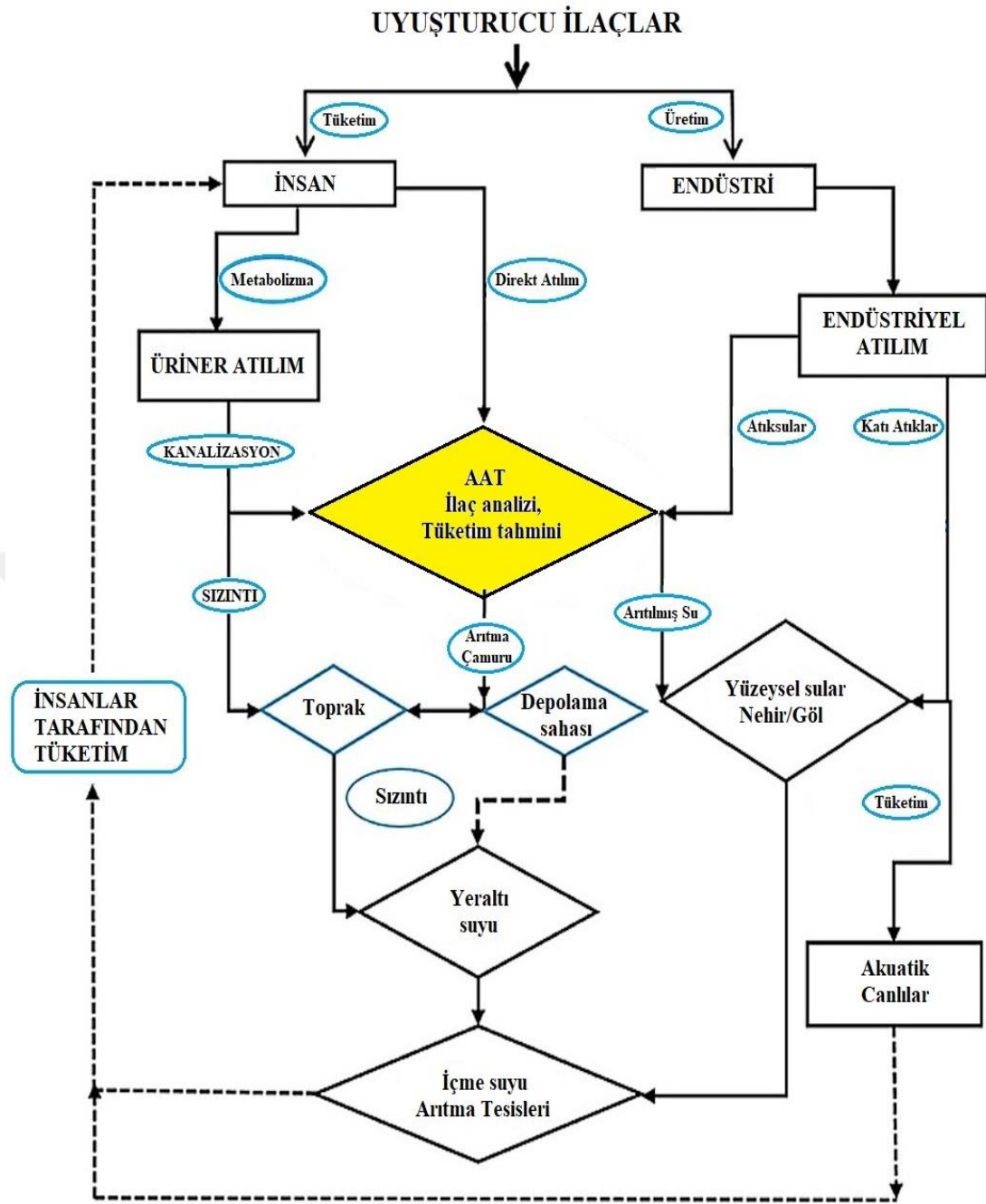
MDMA: Üretimindeki kaynak ülke Türkiye olmamasına rağmen; son yıllarda AB ülkelerinin tamamından daha fazla miktarda MDMA yakalaması gerçekleştirilmiştir. 2017 yılında tüm AB Ülkelerinde 6,6 milyon MDMA tableti yakalanırken, Türkiye tarafından aynı yıl yakalanan miktar 8,6 milyon tablettir. 2019 yılına gelindiğinde ise 8,7 milyon tablet ele geçirilmiştir (TUBİM, 2020).

Captagon: Aynı zamanda amphetamine'nin de bağı olduğu phenethylamine sentetik uyuşturucu grubunda olan ve fenetyliline içeren captagon; 1960'larda tıbbi kullanım amacıyla üretilmiş olsa da 1971 yılında üretimi ve kullanımı yasaklanmıştır. Günümüzde amphetamine içeren captagon logolu tabletler fenetyliline içermediği için sahte captagon olarak nitelendirilmektedir. 2019 yılında 11.081.667 adet captagon ele geçirilmiştir. Captagon yakalama miktarında bir önceki yıla göre %51,3 oranında düşüş olduğu görülmüştür (TUBİM, 2020).

2.4. Uyuşturucu Maddelerin Ekosistemdeki Akıbeti

Uyuşturucu tüketimi, sağlık, sosyal ve ekonomik faktörler üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak olumsuz etkileri olan küresel bir sorundur (Aydın ve ark., 2018). Yasa dışı ilaçlar ve bunların metabolitleri, ortaya çıkan kirlетici maddelerin en son grubudur. Ortamdaki konsantrasyonlarının belirlenmesi (su kütleleri, toprak, tortu, hava gibi), yasa dışı uyuşturucuların toplum düzeyindeki tüketimini tahmin etmek ve maruziyetin potansiyel etkilerini değerlendirmek için bir araçtır (Pal ve ark., 2013). Son yıllarda, atıksularda yasa dışı uyuşturucuların varlığını tespit etmek ve ölçmek için çalışmalar yapılmıştır.

Yasal olarak reçete ile verilen ilaçlar ve yasa dışı olarak kullanılan uyuşturucu maddeler metabolize edilerek bir kısmı vücutta emilirken bir kısmı ise metabolit olarak idrar ve dışkı yoluyla kanalizasyon şebekesine verilir. Yasal olmayan diğer durumlar ise toprağa gömülme, endüstri atıksuyunun doğrudan yüzey suyuna verilmesi, tuvalet ve lavabolara doğrudan atılması gibi kaçak yöntemlerle yer altı suları ve kanalizasyon şebekesine ulaşır (Pal ve ark., 2012) (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Uyuşturucu maddelerin akıbeti

2.5. Atıksularda Uyuşturucu Madde Tespiti

2.5.1. Analiz Yöntemleri

Numune alma, numunelerin korunması, analiz ve kayıt çevresel dataların kalitesini etkileyen dört temel faktördür. Herhangi bir aşamada yapılan hata yanlış verilere sebep olmaktadır. Uygunsuz numune alma başlıca hata sebepleridir. Kanalizasyon epidemiyoloji çalışmaları için, bütün günü temsil etmesi açısından 24 saatlik kompozit numuneler almak uygundur. Numuneler toplandıktan sonra

karanlıkta 4 °C’de saklanmalı ve üç gün içinde analiz edilmelidir veya analize kadar 20 °C’de saklanmalıdır (van Nuijs ve ark., 2011). Ön konsantrasyondan önce, numune genellikle askıda katı maddeleri gidermek için gözenek çapı 0.45-1.6 µm aralığında olan cam fiber filtreden filtrelenir (Postigo ve ark., 2008). Uyuşturucu maddeler ve onların metabolitleri atıksu numunelerinde ng/L seviyelerinde bulunurlar ve ön konsantrasyon basamağı enstrümantal analizleri için gereklidir. Hem gaz kromatografi (GC) hem de sıvı kromatografi (LC) uyuşturucu maddelerin tespiti için kullanılabilir. Fakat katı faz ekstraksiyonu (SPE) takiben LC-MS/MS (kütle dedektörü) analizi yaygın olarak kabul edilen bir tekniktir. SPE, LC analizinden önce su numunelerinde bulunan analitlerin ön konsantrasyonu için kullanılır (Aydın ve ark., 2018).

Bazı çalışmalarda gerçekleştirilen SPE sisteminin çalışma şartları Çizelge 2.2’de, bazı çalışmalarda LC sisteminde kullanılan kolon, taşıyıcı faz ve iyonizasyon modu Çizelge 2.3’te verilmiştir. González-Mariño (2010) tarafından yapılan çalışmada su numunelerindeki uyuşturucuların SPE, derivatizasyon ve GC-MS/MS ile analiz edilebileceği belirtilmiştir (González-Mariño ve ark., 2010). Farklı SPE sorbentleri, farklı uyuşturucu maddeler ve onların metabolitleri için kullanılabilir. Ters fazlı hidrofilik-lipofilik polimerik sorbentler (örneğin Oasis HLB ve PLRP) ve karışık mod katyon değişim sorbentler (örneğin Oasis-MCX ve Strata-XC) bazı çalışmalarda tercih edilen sorbentlerdir (Zuccato ve ark., 2008; Boleda ve ark., 2009). Yapılan bir başka çalışmada ise atıksu ve yüzey suyunda uyuşturucu maddelerin çoklu kalıntı analizlerini yapabilmek için Isolute HCX 200 mg, Oasis HLB 60 mg, Oasis MCX 60 mg, Chromabond C18ec 200 mg, Supelclean ENVI-Carb 250 mg, Isolute ENV+ 100 mg kartuşlarının geri kazanım değerleri incelenmiştir (Zuccato ve ark., 2008; Boleda ve ark., 2009). Çoklu kalıntı analizlerinde en büyük zorluklardan birisi, farklı fizikokimyasal özelliklere sahip tüm bileşikler için kabul edilebilir geri kazanım sağlayan sorbentin seçimidir. İncelenen kartuşlar arasında Oasis HLB ve Oasis MCX kartuşları bileşiklerin önemli çoğunluğunda yüksek geri kazanım sağlamıştır (Aydın ve ark., 2018).

Çizelge 2.2. Uyuşturucu madde ve metabolitlerinin atıksuda tespit etmek için uygulanan SPE metotları

Analitler	Numune hacmi (mL)	Kartuş	Şartlandırma/ Elüsyon solventi	Geri kazanım (%)	Kaynak
Amphetamine, Cocaine, Benzoyllecgonine	1000	Oasis MCX	6 mL methanol, %0,2 asetik asit içeren su/2 mL methanol, 2 mL %5 amonyak içeren methanol	70-131	(Kasprzyk-Hordern ve ark., 2008)
Amphetamine, Methamphetamine, MDA, MDMA, MDEA, Cocaine, Benzoyllecgonine	100	Oasis HLB	10 mL methanol, 10 mL su/6 mL methanol	85-101	(Huerta-Fontela ve ark., 2007)
MDMA, Cocaine, Cocoethylene, Benzoyllecgonine, Morphine, methadone, EDDP	1000	Strata-XC	12 mL methanol, 12 mL su/%5 amonyum hidroksit içeren 10 mL acetone/ethyl acetate (v/v:1/1)	4-65	(Bones ve ark., 2007)
Morphine, Codeine, Eroin, EDDP, Methadone, THC-COOH	200	Oasis HLB	5 mL methanol, 5 mL su/8 mL methanol	43-100	(Boleda ve ark., 2009)
Amphetamine, Methamphetamine, MDA, MDMA, MDEA, Cocaine, Norcocaine, cocoethylene, Benzoyllecgonine, Norbenzoyllecgonine, THC-COOH	50	Oasis MCX	6 mL methanol, 3 mL su, 3mL pH 2'de su/8 mL %2 amonyak içeren methanol	50-116	(Bijlsma ve ark., 2016)
Amphetamine, Methamphetamine, MDA, MDMA, MDEA, Cocaine, Norcocaine, Cocoethylene, Benzoyllecgonine, Norbenzoyllecgonine, Morphine, 6-acetyl morphine, Morphine-3B-D-glukronid, Methadone, EDDP, THC-COOH	500	Oasis MCX	6m L methanol, 3 mL su, 3 mL pH 2'de su/2 mL methanol, %2 amonyak içeren 2 mL methanol, %2 sodyum hidroksit içeren 2 mL methanol	51-112	(Castiglioni ve ark., 2006)
Ephedrine, Amphetamine, Methamphetamine, MDMA, Cocaine, Cocoethylene, Benzoyllecgonine, Eroin, Morphine, 6-acetyl morphine, THC, OH-THC, THC-COOH, LSD, nor-LSD, OH-LSD	5	Oasis HLB, PLRP	1 mL acetonitrile, 1mL su/ Online SPE	8-59	(Postigo ve ark., 2008)
Cocaine, Benzoyllecgonine, Ecgonine methyl ester, Amphetamine, Methamphetamine, MDMA, 6-acetylmorphine, Methadone, EDDP	500	Oasis MCX	5 mL methanol, 5 mL su/8 mL methanol	35-103	(van Nuijs ve ark., 2011)

Çizelge 2.3. Uyuşturucu madde ve metabolitlerini atıksuda tespit etmek için uygulanan LC metotları

Analitler	Kolon	Mobil faz	MS dedektör/ iyonizasyon modu	Kaynak
MDMA, Cocaine, Cocaoethylene, Benzoylecgonine, Morphine, methadone, EDDP	Phenomenex Onyx monolithic C18 (200×3 mm)	A: metanol B: 5 mM amonyum acetate içeren su	ITMS/ESI(+)	(Bones ve ark., 2007)
Cocaine, Benzoylecgonine, Ecgonine methyl ester	RP-HPLC Zorbax Extended C18 (50×2.1 mm, 3.5 µm)	A: acetonitrile B: 10 mM amonyum format içeren su: Acetonitrile (v/v:98/2)	ITMS/ESI(+)	(Gheorghe ve ark., 2008)
Benzoylecgonine, Codeine, Dihydrocodeine, oxycodone, hydrocodone, morphine, methadone	Synergi Polar-RP (150×3 mm, 4 µm)	A: acetonitrile B: 10 mM amonyum format içeren Su	QqQ/ESI(+)	(Hummel ve ark., 2006)
Morphine, Codeine, Eroin, EDDP, Methadone, THC-COOH	Acquity BEH C18 (100×2.1 mm, 1.7 µm)	A: metanol B: 50 mM amonyum format içeren su	QqQ/ESI(+)	(Boleda ve ark., 2009)
Amphetamine, Methamphetamine, MDA, MDMA, MDEA, Cocaine, Benzoylecgonine	Acquity BEH C18 (100×2.1 mm, 1.7 µm)	A: %0.1 formik asik içeren acetonitrile B: 30 mM amonyum format içeren su	QqQ/ESI(+)	(Huerta-Fontela ve ark., 2007)
Amphetamine, Cocaine, Benzoylecgonine	Acquity BEH C18 (100×2.1 mm, 1.7 µm)	A: %0.5 asetik asit içeren metanol B: Su/metanol/asetik asit (v/v/v:94.5/5/0.5)	QqQ/ESI(+)	(Kasprzyk-Hordern ve ark., 2008)
Cocaine, Benzoylecgonine, Ecgonine methyl ester, Amphetamine, Methamphetamine, MDMA, 6-acetylmorphine, Methadone, EDDP	Phenomenex Luna HILIC (150×3 mm, 5µm)	A: acetonitrile B: 5 Mm amonyum acetate içeren su	QqQ/ESI(+)	(van Nuijs ve ark., 2011)

2.5.2. Atıksularda Tespit Edilen Uyuşturucu Maddeler

Sulak ortamlarda yasa dışı uyuşturucu bileşiklerinin (ana ilaçlar ve bunların metabolitleri) prevalansı, çevre bilimcileri için oldukça önemlidir. Tüketilen uyuşturucu ürünlerinin bertarafı veya boşaltılması, esas olarak atıksuya ardından yüzeysel sulara ve toprağa kadar ulaşır. Uyuşturucu bileşikler ve metabolitleri yerel topluluktaki muhtemel uyuşturucu kullanım şekli hakkında bir gösterge sağlarken, atıksuyun alıcı su kütlelerinin kirlenme potansiyelini yansıtır. Bazı ülkelerin atıksu arıtma tesisleri giriş ve çıkış sularında yapılan çalışmalara göre bulunan uyuşturucu madde konsantrasyonları Çizelge 2.4’te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Atıksu arıtma tesislerinde tespit edilen bazı uyuşturucu bileşikler konsantrasyonu

Bileşik	Ülke	Çalışma alanı	Çalışma süresi	Konsantrasyon (ng/L)	
				Giriş suyu	Çıkış suyu
Cocaine	İtalya	Cagliari	2004	83	<dl
	İtalya	Milan	Şubat 2006	421.4	<0.99
	İsviçre	Lugano	Mart 2006	218.4	10.7
	İspanya	42 farklı AAT	Nisan 2006 – Ocak 2007	4–4700	1–100
	Belçika	41 farklı AAT	2007 - 2008	218	<dl
	İngiltere	Cilfynydd AAT	-	521	128
Benzoylcegonine	ABD	Midwestern AAT	2-8 Ekim 2017	110 ± 34.8	19.4 ± 12.6
	İtalya	İtalya	Şubat 2006	1132.1	<dl
	İngiltere	Çeşitli AAT'ler	-	992	1091
Morphine	ABD	Midwestern AAT	2-8 Ekim 2017	424 ± 120	31.5 ± 14.5
	İtalya	Milan	Şubat 2006	83.3	<3.95
	İsviçre	Lugano	Mart 2006	204.4	55.4
	İspanya	Çeşitli AAT'ler	Mart–Mayıs 2007	54.1	51
	Güney Kore	Busan 3 farklı AAT	Tem-Eyl 2017	5.4	-
	ABD	Midwestern AAT	2-8 Ekim 2017	91.5 ± 13.2	43.0 ± 39.3
Methadone	İtalya	Milan	Şubat 2006	11.6	9
	İsviçre	Lugano	Mart 2006	49.7	36.1
	İspanya	İspanya Katalonya	Nisan-Mayıs 2007	3.4 - 1531	3.4 - 732
EDDP	ABD	Midwestern AAT	2-8 Ekim 2017	36.4 ± 5.7	25.2 ± 12.6
	İtalya	Milan	Şubat 2006	19.8	22.6
	Hırvatistan	Zagreb AAT	Mart-Eylül 2009	136	124
THC-COOH	İtalya	Milan	Şubat 2006	62.7	<1.75
	İsviçre	Lugano	Mart 2006	91.2	7.2
	İspanya	İspanya AAT	Mart–May 2007	63.8	39.2
THC-OH	ABD	Midwestern AAT	2-8 Ekim 2017	718 ± 290	<LOQ
Amphetamine	İtalya	Milan	Şubat 2006	14.7	2.8
	İngiltere	Cilfynydd AAT	-	4310	201
	ABD	Midwestern AAT	2-8 Ekim 2017	337 ± 30.7	21.8 ± 18.1
Methamphetamine	İtalya	Milan	Şubat 2006	16.2	3.1
	İspanya	42 farklı AAT	Nisan 2006–Ocak 2007	3 - 277	3- 90
	Güney Kore	Busan 3 farklı AAT	Tem-Eyl 2017	37.2	-
MDMA	ABD	Midwestern AAT	2-8 Ekim 2017	700 ± 157	125 ± 32.8
	İtalya	Milan	Şubat 2006	14.2	--
	İspanya	42 farklı AAT	Nisan 2006–Ocak 2007	49	41
Diazepam	İngiltere	4 farklı AAT	-	6.4	6.7
	ABD	Midwestern AAT	2-8 Ekim 2017	<LOQ	<LOQ
Lorazepam	ABD	Midwestern AAT	2-8 Ekim 2017	4.80 ± 0.3	15.0 ± 15.2
Lorazepam	ABD	Midwestern AAT	2-8 Ekim 2017	30.4 ± 6.0	28.1 ± 11.5

Bilimsel literatürde yasa dışı uyuşturucuların ekotoksitesitesi hakkında bilgi yetersizdir. Su organizmaları üzerindeki amphetamine, cocaine ve morphine ekotoksitesitesi hakkında sadece birkaç rapor mevcuttur (Pal ve ark., 2013).

2.5.3. Yüzeysel Sular ve İçme Suyu Kaynaklarında Tespit Edilen Uyuşturucu Maddeler

Yasa dışı uyuşturucular ve metabolitler, AAT’lerde fiziko-kimyasal ve biyolojik prosesler ile konvansiyonel arıtım işlemlerine genellikle karşı koymaktadırlar. Alıcı ortamdaki su kirliliği seviyesi; kirleticilerin fiziko-kimyasal özellikleri, atıksu arıtma tesislerinde uygulanan teknoloji, arıtma tesisi deşarj suyunun seyreltilmesi, yağış, sıcaklık ve güneş ışığının seviyesi gibi pek çok koşula bağlıdır. Alıcı ortamın hassasiyetine uygun bir arıtım seçilmesi önemli bir konudur. Dünya çapında yüzeysel sular ve şebeke sularında yapılan araştırmaların sonucunda elde edilen bazı uyuşturucu madde ve psikiyatri ilaçlarının konsantrasyonları Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Yüzeysel sulara bazı uyuşturucu madde konsantrasyonları

Bileşik	Ülke	Çalışma alanı	Çalışma periyodu	Konsantrasyon (ng/L)
Amphetamine	İspanya	Llobregat nehri havzası	May 2006–Nisan 2007	20
	İngiltere	Abcercynon, Pontypridd, Trefforest nehirleri	2007–2008	4
	Kanada	Grand River havzası	10 – 24 Tem 2012	4 - 24
	ABD	Bee Creek Nehri	2-8 Ekim 2017	3.40 ± 0.8
	ABD	Clarks Nehri Yukarı Akımı	2-8 Ekim 2017	2.50 ± 0.2
Methamphetamine	ABD	Clarks Nehri Aşağı Akımı	2-8 Ekim 2017	<LOQ
	İtalya	Po nehri havzası	2006	2.1
	İspanya	Llobregat nehri havzası	Nisan 2006–Ocak 2007	1.3
	ABD	Big Blue, Wood nehirleri	2006	16.6
	Japonya	Şebeke Suyu	2008–2009	<LOQ
	Latin Amerika	Şebeke Suyu	2008–2009	<LOQ
	Kanada	Grand River havzası	10 – 24 Tem 2012	<LOQ
	ABD	Bee Creek Nehri	2-8 Ekim 2017	86.4 ± 63.3
	ABD	Clarks Nehri Yukarı Akımı	2-8 Ekim 2017	2.70 ± 0.3
	ABD	Clarks Nehri Aşağı Akımı	2-8 Ekim 2017	25.7 ± 11.5
MDMA	İtalya	11 farklı nehir	2006	0.2 – 3.6
	İspanya	Llobregat nehri havzası	2006 - 2007	14.1
	ABD	Bee Creek Nehri	2-8 Ekim 2017	6.1 ± 0.3
	ABD	Clarks Nehri Yukarı Akımı	2-8 Ekim 2017	<LOQ
	ABD	Clarks Nehri Aşağı Akımı	2-8 Ekim 2017	<LOQ
Cocaine	İtalya	11 farklı nehir veya dere	2004 - 2006	0.5 – 44
	İspanya	Llobregat nehri havzası	May 2006–Nisan 2007	23.8
	İngiltere	Abcercynon, Pontypridd, Trefforest nehirleri	2007–2008	2
	Kanada	Grand River havzası	10 – 24 Tem 2012	4 -19
	Japonya	Şebeke Suyu	2008–2009	<LOQ
	Latin Amerika	Şebeke Suyu	2008–2009	0.6
	ABD	Bee Creek Nehri	2-8 Ekim 2017	3.40 ± 0.8

	ABD	Clarks Nehri Yukarı Akımı	2-8 Ekim 2017	2.50 ± 0.2
	ABD	Clarks Nehri Aşağı Akımı	2-8 Ekim 2017	<LOQ
Benzoylcegonine	İtalya	11 farklı nehir veya dere	2004 - 2006	0.4 - 183
	İspanya	Llobregat nehri havzası	Nisan 2006–Ocak 2007	64
	Kanada	Grand River havzası	10 – 24 Tem 2012	11 - 59
	ABD	Bee Creek Nehri	2-8 Ekim 2017	14.2 ± 10.0
	ABD	Clarks Nehri Yukarı Akımı	2-8 Ekim 2017	2.40 ± 0.1
	ABD	Clarks Nehri Aşağı Akımı	2-8 Ekim 2017	6.30 ± 1.4
Morphine	İtalya	11 farklı nehir veya dere	2004 - 2006	3 - 38
	İspanya	Llobregat nehri havzası	Nisan 2006–Ocak 2007	5.5
		Grand River havzası	10 – 24 Tem 2012	
	Kanada			8 - 39
	ABD	Bee Creek Nehri	2-8 Ekim 2017	6.2 ± 1.1
	ABD	Clarks Nehri Yukarı Akımı	2-8 Ekim 2017	<LOQ
Methadone	ABD	Clarks Nehri Aşağı Akımı	2-8 Ekim 2017	<LOQ
	İtalya	11 farklı nehir veya dere	2004 - 2006	0.5 – 8.6
	ABD	Bee Creek Nehri	2-8 Ekim 2017	17.8 ± 2.3
	ABD	Clarks Nehri Yukarı Akımı	2-8 Ekim 2017	2.4 ± 0.2
THC	ABD	Clarks Nehri Aşağı Akımı	2-8 Ekim 2017	3.9 ± 0.6
	İtalya	11 farklı nehir veya dere	2004 - 2006	0.3 - 5
	İspanya	Llobregat nehri havzası	Mart –May 2007	24
THC-OH	ABD	Bee Creek Nehri	2-8 Ekim 2017	339 ± 403
	ABD	Clarks Nehri Yukarı Akımı	2-8 Ekim 2017	97.8 ± 54.8
	ABD	Clarks Nehri Aşağı Akımı	2-8 Ekim 2017	51.6 ± 20.1
Lorazepam	ABD	Bee Creek Nehri	2-8 Ekim 2017	15.8 ± 3.9
	ABD	Clarks Nehri Yukarı Akımı	2-8 Ekim 2017	<LOQ
	ABD	Clarks Nehri Aşağı Akımı	2-8 Ekim 2017	<LOQ
Diazepam	ABD	Bee Creek Nehri	2-8 Ekim 2017	6.10 ± 1.9
	ABD	Clarks Nehri Yukarı Akımı	2-8 Ekim 2017	2.60 ± 0.2
	ABD	Clarks Nehri Aşağı Akımı	2-8 Ekim 2017	3.00 ± 0.2

2.6. Uyuşturucu Maddelerin Toksik Etkisi

Atıksular akuatik ortamda önemli bir ilaç kaynağıdır ve bu nedenle biota bu kimyasalların bilinmeyen kronik etkilerine maruz kalır (Gagné ve ark., 2006). Yasa dışı ilaçlar, yüksek üretim ve tüketimleri nedeniyle sürekli olarak su ortamına atılmaktadır ve dolayısıyla atıksu kirlenici bileşenlerinin sürekli izlenmesi, çevre üzerindeki istenmeyen etkilerini en aza indirecektir (Valcárcel ve ark., 2012). Uyuşturucu maddeler; sinir sistemi üzerinde etkili olan, şiddetli farmakolojik özelliklere sahip ve üretilirken yasal farmasötikler gibi insan üzerinde yapacağı yan etki düşünülmeden tasarlanan bileşiklerdir. Örneğin, methamphetamine; norepinefrin, dopamin ve serotonin seviyelerini değiştirebilir. Coşku, neşe ve kaygı bozuklukları ve depresyona sebep olabilir. Ketamin bileşiği uyuşukluk ve halüsinasyonlara sebep olabilir (Wang ve ark., 2019). Çevresel ortamlarda indirekt olarak maruz kalınan uyuşturucu madde konsantrasyonları, direkt tüketimlerinde kullanılan dozlardan oldukça düşük olması sebebiyle akut bir etki gözlenmeyebilir.

Fakat sürekli bir maruziyet olduğu düşünüldüğünde etkileri tam olarak bilinmemektedir. Bilimsel literatürde yasa dışı uyuşturucuların ekotoksitesisi hakkında bilgi yetersizdir. Çevresel ortamlardaki uyuşturucu maddelerin toksisitesi üzerine çalışmalar son yıllarda yapılmaya başlanmıştır (Aydın ve ark., 2019).

Akuatik organizmalar üzerindeki uyuşturucu madde etkisini belirlemek için Avrupa ve Kuzey Amerika’da yaygın bulunan bir zebra midye türü olan *Dreissena Polymorpha* üzerinde cocaine ve onun metaboliti olan benzoylemethylecgonine bileşiklerinin sito-genotoksik etkisi araştırılmıştır (Binelli ve ark., 2012). Akuatik organizma laboratuvar ortamında 10µg/L, 40 ng/L ve 220 ng/L konsantrasyonlarında cocaine’ye 96 saat süresince maruz bırakılmıştır. Deney sonucunda cocaine bileşiği anlamlı ölçüde birincil DNA hasarına sebep olduğu görülmüştür. Zebra balığı (*Danio Renio*)’nın cocaine karşısında duyarlılığının araştırıldığı çalışmada ise retina ve beyin sinyallerini etkileyen bazı genlerde mutasyonun meydana geldiği görülmüştür (Darland ve Dowling, 2001). Morphine’nin tatlı su midyesi (*Elliptio Complanata*)’da oluşturduğu immünotoksik etki saptanmıştır (Gagné ve ark., 2006). Başka bir çalışmada ise planktonik bir akuatik canlı olan *Daphnia Magna* üzerine ketamin ve metaboliti olan norketaminin akut toksisitesi ve ketaminin üreme toksisitesi araştırılmıştır (Li ve ark., 2017). Ketamin ve norketaminin akut toksisiteye sebebiyet veren LC50 (organizmanın %50’sini öldüren konsantrasyon) değerlerinin sırasıyla 30.93 ve 25.35 mg/L olduğu görülmüştür. Ketaminin toplam canlı yavru sayısını %33.6-49.8 oranında azalttığı ve üreme toksisitesi oluşturduğu belirtilmiştir. Çin’de yapılan bir araştırmada ise yüzeysel sularda amfetamine, methamfetamine, ketamin bileşiklerinin risk oranı (RQ) yöntemine göre risk değerlendirmesi yapılmıştır. Balık, kabuklu ve alg için sırasıyla EC50 (%50’sini etkileyen konsantrasyon) değerlerini methamfetamine bileşiğinde 20.51 mg/L, 2.51 mg/L, 1.97mg/L, amfetamine bileşiğinde 28.8 mg/L, 2.22 mg/L, 3.80 mg/L, ketamin bileşiğinde 8.34 mg/L, 1.13mg/L, 0.72 mg/L olarak, en düşük EC50 değerleri için PNEC (Öngörülen Etkisiz Konsantrasyon) değerlerini hesaplamışlardır. Methamfetamine için 1.97×10^{-3} mg/L, amfetamine için 2.22×10^{-3} mg/L, ketamin için 7.20×10^{-3} mg/L olarak PNEC değerleri bulunmuştur. Bütün bileşikler için RQ değerleri 0-0.05 arasında hesaplanmıştır ve önemsiz çevresel risk belirlenmiştir. Çin’de yapılan bir başka araştırmada ise nehirlerde methamfetamine ve ketamin bileşiklerinin risk değerlendirmesi yapılmıştır ve ketamin bileşiğinin orta çevresel risk gösterdiği vurgulanmıştır (Wang ve ark., 2019). Çevre bir bütündür, dolayısıyla

uyuşturucu maddelerin su ortamlarında olduğu gibi toprak üzerinde de risk oluşturmaları ihtimal dâhilindedir. Güney Avustralya topraklarının potansiyel nitrifikasyon aktivitesi üzerinde methamphetamine'in önemsiz toksik etkisi görülmüştür (Scott ve ark., 2003).

2014 – 2017 yılları arasında Slovak Cumhuriyeti'nde ülke nüfusunun %20'sine karşılık gelen 5 adet AAT'nin arıtma çamurundan uyuşturucu ilaç konsantrasyonları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında AAT'lerin aerobik ve anaerobik çamur çürütücü proseslerinin çıkışlarından numune alınmıştır. Araştırılan 11 yasa dışı uyuşturucudan 4 tanesi ölçüm sınırı (LOQ) üzerinde tespit edilmiştir. Slovak atıksuyundaki baskın ilaç, Bratislava'daki atıksuda 600 ila 1.000 ng/L arasında değişen methamphetamine'dir (Mackul'ak ve ark., 2014) (Ivanová ve ark., 2018). Ancak methamphetamine'in arıtma çamuruna emilim eğilimi nispeten düşüktür, çünkü çamurdaki ortalama konsantrasyonu sadece 18 ng/g DM'dir. THC-COOH bileşiği, Bratislava DNV ve Bratislava Central'da sırasıyla 245 ng/g DM ve 213 ng/g DM konsantrasyonları ile önemli ölçüde yüksek bir emilim yeteneği sergilemiştir. Bununla birlikte, atıksudaki THC-COOH konsantrasyonları 2014-2016 yıllarında çoğu zaman ölçüm sınırı altında tespit edilmiştir (Mackul'ak ve ark., 2015) (Mackul'ak ve ark., 2016). Bu sonuçlara göre THC-COOH bileşiğinin yüksek arıtım verimliliği; THC-COOH'nin düşük biyolojik parçalanabilirliğini ya da çamur üzerinde yüksek emilim göstererek analiz sonuçlarını doğruladığını göstermektedir. Analiz sonuçlarında yer alan diğer iki bileşik olan cannabinoil (7 ng/g DM) ve MDMA (3 ng/g DM) düşük konsantrasyonlarda tespit edildi (Ivanová ve ark., 2018).

Çin'de yapılan bir çalışmada yasa dışı ilaçların varlığı araştırılmıştır ve 2019 yılında yayınlanmıştır. Çalışma kapsamında Pekin'de yer alan 4 nehrin 6 farklı noktasından yabancı balıklar yakalanmıştır. Crucian çeşidi sazan balığında yapılan analiz sonuçlarına göre hedef bileşiklerden amphetamine, MDA, codeine, eroin tespit edilmiştir. Analiz edilen su örneklerinde ise belirlenen 12 analitin tamamı tespit edilmiştir ve toplam konsantrasyonlar 1,5 ng/L ila 7,9 ng/L arasında değiştiği görülmüştür. Codeine, kas dokusunda en yüksek biyoakümülyasyon faktörünü sergilemiştir, ketamin deride birikme eğilimindedir, MDA ve eroin gastrointestinal kanalda birikme eğilimindedir. Biyoakümülyasyon faktörü (BAF), balık dokularındaki yasa dışı ilaç konsantrasyonunun (ng/kg ıslak ağırlık) yüzey suyundaki konsantrasyonlara (ng/L su) oranı olarak hesaplanmıştır (Yin ve ark., 2019).

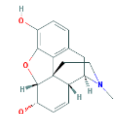
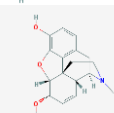
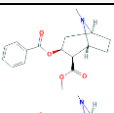
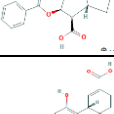
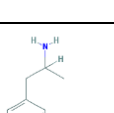
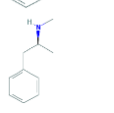
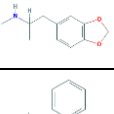
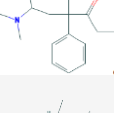
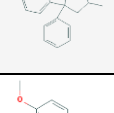
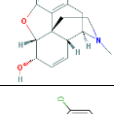
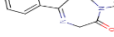
3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kimyasallar ve Cihazlar

Çalışmada analizleri yapılan uyuşturucu bileşik grupları ve bu grupların isimleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada incelenen bileşikler ve özellikleri

Araştırılacak ilaç ve metabolitleri	Atılım oranı (%)	Molekül ağırlığı (g/mol)	25°C’de çözünürlüğü (mg/L)	Log Kow	Pka	Kimyasal yapısı	
Eroin	MOR Morphine	%42 MOR	285.34	149 (20°C)	0.1	8	
	6-AM 6-Acetyl-morphine	%1.3 6-AM	327.38	-	-	-	
Cocaine	COC Cocaine	%1-9 ana form	303.36	1800 (22°C)	2.3	8.61	
	BE Benzoyl-ecgonine	%35-54 BE	289	1605	2.32	2.15	
Esrar	THC-COOH	%0.5 THC-COOH	344	-	-	-	
Amphetam ineler	AM Amphetamine	%30 ana form	135	2800	1.76	10.1	
	ME Meth-amphetamine	%43 ana form %4-7 AM	149	5x10 ⁵	2.07	9.9	
	MDMA (Ekstazi)	%26-65 ana form %1 MDA	193	5400	2.28	9.4	
Methadone	MET Methadone	%5-50 ana form	309.45	-	3.93	8.94	
	EDDP	%3-25 EDDP	277.411	-	-	-	
Codeine	CO Codeine	%70 ana form	299.37	9000 (20 °C)	1.19	8.21	
Diazepam	DZP Diazepam	%10 ana form	284.74	66	2.82	3.4	

Morphine, 6-acetylmorphine, cocaine, benzoylecgonine, 11-COOH-THC, amphetamine, methamphetamine, MDMA, methadone, EDDP, codeine; morphine-D3, 6-acetylmorphine-D3, cocaine-D3, benzoylecgonine-D8, THC-COOH-D3, amphetamine-D8, methamphetamine-D9, MDMA-D5, methadone-D9, EDDP-D3, codeine-D3 standartları Absolute Standards'tan temin edilmiştir.

Uyuşturucu bileşiklerinin konsantrasyonu ve matriks etkisini azaltmak için J.T. Baker marka 24 port vakum manifoldu içeren katı faz ekstraksiyon (solid phase extraction, SPE) sistemi tercih edilmiştir.

HPLC saflığında methanol, ethylacetate, acetonitrile, hydrochloric acid (%37), formic acid (%98), amonyum çözeltisi (%25) Merck'den temin edilmiştir. 1.2 µm gözenek çapına sahip glass fiber filtre Whatman'dan, 0.45 µm nylon membran filtre Sartorius'dan temin edilmiştir. Katı faz ekstraksiyonu için kullanılan Oasis HLB (Hydrophilic Lypophilic) (60 mg, 3 mL) ve Oasis MCX (150 mg, 6 mL) kartuşları Waters Corporation'dan temin edilmiştir (Şekil 3.1). Yüksek saflıkta azot gazı nitrojen jeneratöründen elde edilmiştir (Peak Scientific) ve tüp içerisinde kullanıma hazır bir şekilde depolanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Oasis HLB kartuşunun hazırlanmış düzeneği ve Oasis MCX kartuşları



Şekil 3.2. Depolanan azot gazı

Kantitatif analizi yapılacak uyuşturucu bileşikler için Agilent marka sıvı kromatografi kütle spektrometre dedektör (liquid chromatography/mass spectrometry, LS/MSD) (Şekil 3.3) tercih edilmiştir.



Şekil 3.3. Sıvı kromatografi kütle spektrometre dedektörü (LC-MS) sistemi (Agilent)

3.2. Yöntem

3.2.1. Numune Temini

Tez kapsamında, Konya kentsel atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkışından 24 saatlik kompozit atıksu numuneleri alınmıştır. Numuneler 2019 yılı Temmuz, Eylül ve Ekim aylarında alınmıştır.

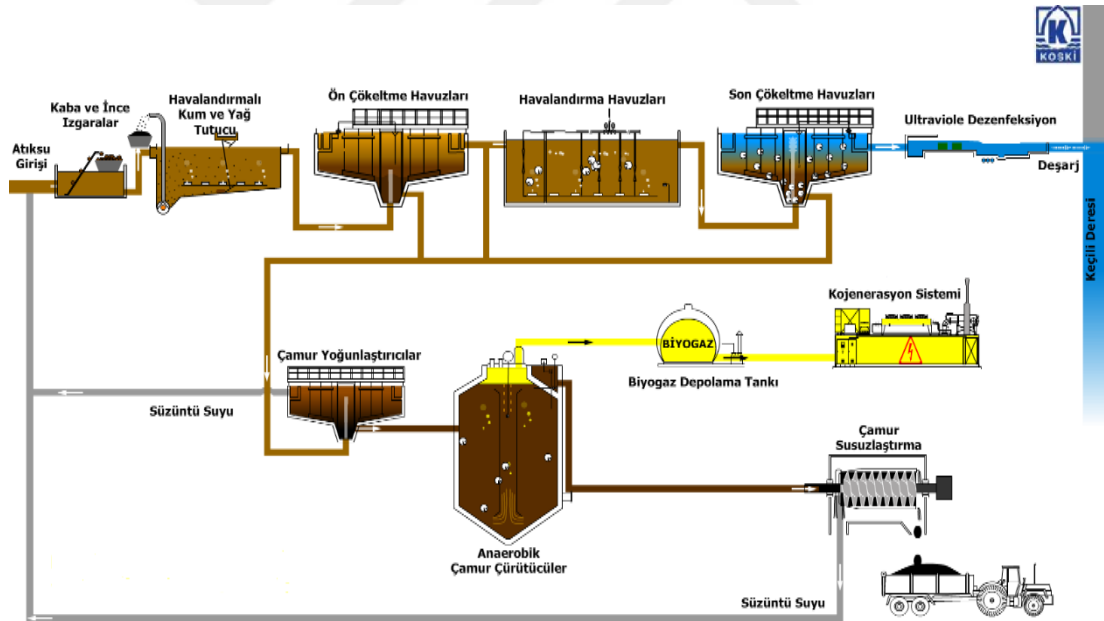
Konya Atıksu Arıtma Tesisi, yapılan fizibilite çalışması verilerine göre 200.000 m³/gün debiyi arıtabilecek şekilde ve klasik aktif çamur sistemi olarak tasarlanmıştır. Sistem, biyolojik bir arıtma olup atıksuların içerdikleri organik maddelerin aerobik bir ortamda biyokimyasal yollarla ayrışması ve kararlı son ürünlere dönüşümü esasına dayanmaktadır.

Tesis üniteleri; mekanik ön arıtma (atıksu giriş yapısı, kaba ızgara, giriş

pompa istasyonu, kaba ve ince ızgaralar, havalandırmalı kum ve yağ tutucu, ön çökeltme havuzları), biyolojik arıtma (bardenpho prosesi, son çökeltme havuzları), çamur arıtımı ve enerji kazanımı (çamur yoğunlaştırma havuzları, anaerobik çamur çürütme tankları, biyogaz depolama tankları, ısı merkezi ve enerji geri kazanım prosesi, çamur susuzlaştırma prosesi – santrifüj dekantörler) ve dezenfeksiyon (açık kanal UV dezenfeksiyon sistemi) şeklindedir. Arıtılmış atıksular Ana Tahliye Kanalı vasıtasıyla Tuz Gölü'ne deşarj edilmektedir.

Çalışmanın yürütüleceği Konya ili atıksu arıtma tesisi akım şeması Şekil 3.4'te verilmiştir. Şekil 3.5'te atıksu arıtma tesisinin üstten görünen bir fotoğrafı; Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de ise arıtma tesisi giriş ve arıtma tesisi çıkıştan kompozit atıksu örneklerinin alındığı yerlerin fotoğrafları yer almaktadır.

Konya ili için örnekleme hususunda belirsizliklere sebep olacak etkenler saptanmadı. Konya turistik bir il olmaması sebebiyle nüfus dalgalanması olmamıştır. İl merkezinin tamamına hizmet veren tek arıtma tesisi olduğundan alınan numuneler il merkezi nüfusunu temsil etmektedir.



Şekil 3.4. Konya atıksu arıtma tesisi akım şeması



Şekil 3.5. Konya kentsel atıksu arıtma tesisi üstten görünüşü



Şekil 3.6. AAT girişi örnekleme noktası



Şekil 3.7. AAT çıkışı örnekleme noktası

3.2.2. Atıksu Örneklerinin Fiziko-Kimyasal Analizleri

Atıksu örneklerinin pH ve EC ölçümleri Hach marka portatif pH ve elektriksel iletkenlik (EC) ölçüm cihazı ile (Şekil 3.8), askıda katı madde (AKM) ölçümleri ise Standart Metotlara göre (APHA, 1992) gerçekleştirilmiştir ve Şekil 3.9'da gösterilmiştir. KOİ analizleri WTW marka spektrofotometre ile hazır kitler kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.8. Atıksu örneklerinin pH ve EC ölçümleri



Şekil 3.9. Atıksu örneklerinin AKM ölçümleri



Şekil 3.10. Atıksu örneklerinin KOİ ölçümleri

3.2.3. Atıksu Örneklerinin Ön İşlemi ve Ekstraksiyonu

Atıksu örnekleri 1.2 μm gözenek çapına sahip cam fiber filtreden süzülmüştür. Ardından 0.45 μm gözenek çapına sahip nylon membran filtreden geçirilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Atıksu örnekleri ve ön işlemi

Su örneklerinin ön ekstraksiyonu SPE yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.12). Atıksu örneklerinde bulunan uyuşturucu ve metabolitlerinin tespiti için kullanılacak analitik işlem EPA Method 1694 (US EPA, 2007) baz alınmıştır ve bazı değişiklikler ile geliştirilmiştir. Ekstraksiyon metodunun şartlarını optimize etmek için Oasis HLB ve Oasis MCX kartuşları farklı şartlarda çalışılmıştır. Analizi yapılacak uyuşturucu bileşiklerinin atıksudan yüksek geri kazanım verimini belirlemek için bileşik gruplarına ait tüm bileşikleri içeren standart karışımın uygun konsantrasyonu nihai konsantrasyon 50 ng/L, 200 mL saf su içerisine spike edilmiştir. Spike çalışmaları sonucunda elde edilen numuneler SPE yöntemi ile ekstrakte edilerek geri kazanım değerleri tespit edilmiştir. Ekstraksiyon için literatürde uyuşturucu bileşiklerinin tespiti için kullanılan üç farklı yöntem denenmiştir ve birbiri ile kıyaslanmıştır (Çizelge 3.2). Bu yöntemler:

Oasis HLB kartuş (200 mg, 6 cc) 2x2.5 mL methanol, ardından 2x2.5 mL safsu ile yaklaşık 2 mL/dak akış hızında şartlandırıldıktan sonra spike bileşikleri içeren 200 mL numune yaklaşık 1 mL/dak akış hızında kartuşa yüklenmiştir. Numune ön konsantrasyonundan sonra kartuş içerisindeki fazla suyun uzaklaştırılması için 15 dakika süresince kartuştan hava geçirilmiştir. Kartuş içerisindeki bileşiklerin elüsyonu 4x2.5 mL methanol ile yaklaşık 1 mL/dak akış hızında gerçekleştirilmiştir. Ekstrakt, azot gazı altında kuruyana kadar buharlaştırılmış ve 400 µL methanol içerisinde yeniden çözülmüştür. Hedef bileşiklerin kantitatif analizleri LC/MS sistemi ile gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin pH'sını ayarlamak için 0.1 N HCl ve NaOH çözeltileri kullanılmıştır. Oasis MCX kartuş (150 mg, 6 cc) 2x3mL methanol, ardından 2x3 mL pH'sı 2 olan safsu ile yaklaşık 2 mL/dak akış hızında şartlandırıldıktan sonra spike bileşikleri içeren 200 mL numune yaklaşık 1 mL/dak akış hızında kartuşa yüklenmiştir. Numune ön konsantrasyonundan sonra kartuş içerisindeki fazla suyun uzaklaştırılması için 15 dakika süresince kartuştan hava geçirilmiştir. Kartuş içerisindeki bileşiklerin elüsyonu 2x2.5 mL methanol, 2x.5 mL %5 amonyum çözeltisi içeren methanol ile yaklaşık 1 mL/dak akış hızında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen eluatlar birleştirilerek ekstrakt azot gazı altında kuruyana kadar buharlaştırılmış ve 400 µL methanol içerisinde yeniden çözülmüştür. Hedef bileşiklerin kantitatif analizleri LC/MS sistemi ile gerçekleştirilmiştir.

Oasis HLB kartuş (200 mg, 6 cc) 2 mL ethylacetate, 2 mL methanol ve 2 mL safsu ile yaklaşık 2 mL/dak akış hızında şartlandırıldıktan sonra spike bileşikleri

içeren 200 mL numune yaklaşık 1 mL/dak akış hızında kartuşa yüklenmiştir. Numune ön konsantrasyonundan sonra kartuş içerisindeki fazla suyun uzaklaştırılması için 15 dakika süresince kartuştan hava geçirilmiştir. Kartuş içerisindeki bileşiklerin elüsyonu 2x1 mL metanol, 2x1 mL ethylacetate ile yaklaşık 1 mL/dak akış hızında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ekstraktlar birleştirildikten sonra azot gazı altında kuruyana kadar buharlaştırılmış ve 400 µL metanol içerisinde yeniden çözülmüştür. Hedef bileşiklerin kantitatif analizleri LC/MS sistemi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13).

Çizelge 3.2. Uyuşturucu Bileşiklerin Tespiti İçin Kullanılan Yöntemler

	Şartlandırma (2 mL/dak)	Numune Yükleme	Elüsyon (1 mL/dak)	Yeniden Çözme	Analiz
1.YÖNTEM Oasis HLB kartuş (200 mg, 6 cc)	2x2.5 mL metanol, 2x2.5 mL saf su	1 mL/dak	4x2.5 mL metanol	400 µL metanol	LC/MS
2. YÖNTEM Oasis MCX kartuş (150 mg, 6 cc) Numune pH ayarlaması 0.1 N HCl ve NaOH ile yapılmıştır.	2x3mL metanol, 2x3 mL saf su (pH:2)	1 mL/dak	2x2.5 mL metanol, 2x.5 mL metanol (%5'lik amonyum içeren)	400 µL metanol	LC/MS
3. YÖNTEM Oasis HLB kartuş (200 mg, 6 cc)	2 mL ethylacetate, 2 mL metanol, 2 mL saf su	1 mL/dak	2x1 mL metanol, 2x1 mL ethylacetate	400 µL metanol	LC/MS

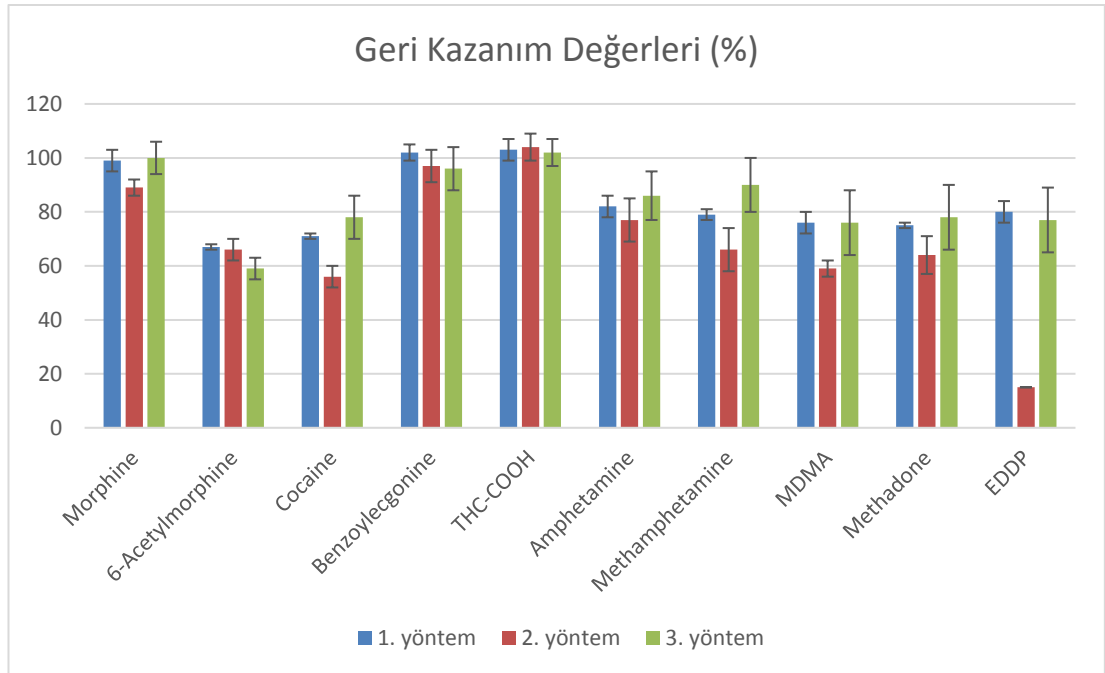


Şekil 3.12. Atıksu numunelerinin SPE işlemi



Şekil 3.13. LC/MS sistemi

Elde edilen geri kazanım verileri Şekil 3.14’te verilmiştir. Bu sonuçlara göre uyuşturucu bileşik ve metabolitleri için yüksek geri kazanım veriminin ve düşük relatif standart sapma (% RSD) değerlerinin elde edildiği 1. ekstraksiyon yöntemi atıksu numunelerinin analizi için kullanılması uygun bulunmuştur. Geri kazanım veriminin kontrolü için hedef uyuşturucu bileşiklere ait döteryum standartlar ekstraksiyondan önce atıksu içerisine spike yapılmış ve elde edilen geri kazanım verimleri dikkate alınarak miktar düzeltmesi yapılmıştır.



Şekil 3.14. Hedef bileşiklere ait elde edilen geri kazanım değerleri (%)

3.2.4. Validasyon Çalışması

Validasyon çalışması, metodun uygulanan laboratuvar şartlarında kullanılması için uygunluğunun belirlenmesi amacıyla yapılan işlemdir. Bu işlemler sayesinde metodun genel performansının yanı sıra belirsizliğin tahmininde kullanılacak her bir faktörün etkisi de ortaya çıkar.

Analizler sonucu elde edilen verilerin analitik kalitesi blank numuneler, standart bileşik geri kazanımı, LC/MS kalibrasyonu ve tune yapılması, dedeksiyon limiti (limit of detection, LOD) ve kantifikasyon limiti (limit of quantification, LOQ) değerleri, doğrusal cevap aralığı, lineerlik, doğruluk, kesinlik ve tekrarlanabilirlik gibi değerlerle ölçülebilir. Böylelikle analizler esnasında meydana gelebilecek hataların minimuma indirgenmesi ile kalite güvencesi sağlanmış ve kalite kontrolü gerçekleştirilmiş olur.

LOD değerleri analizleri yapılan bileşiklerin seyreltilmiş standart solusyonlarının enjeksiyonları sonucunda tespit edilmiştir. LC/MS sisteminde cihazın optimum çalışma şartları belirlendikten sonra enjekte edilen doğrusal cevap aralığındaki standart çözeltide her bir bileşiğe ait S/N oranları yazılım programı vasıtasıyla tespit edilmiştir. S/N oranı 3'e karşılık gelen standart çözelti konsantrasyonu, tespit sınırını (LOD); S/N oranı 10'a karşılık gelen standart çözelti konsantrasyonu, ölçüm sınırını (LOQ) tanımlamaktadır. LOD ve LOQ değerleri aşağıdaki Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$LOD = \frac{3 \times \text{standart çözelti konsantrasyonu}}{S/N \text{ oranı}} \quad \text{Eşitlik 3.1}$$

$$LOQ = \frac{10 \times \text{standart çözelti konsantrasyonu}}{S/N \text{ oranı}} \quad \text{Eşitlik 3.2}$$

Analitik yöntemin doğruluğu, yöntem ile elde edilen deneme sonuçlarının gerçek değere yakınlığıdır. Bir ölçüm yönteminin doğruluğunu tanımlamak için kesinlik ve gerçeklik terimleri kullanılır. Gerçeklik terimi, analiz sonuçları ile numunedeki gerçek analit miktarı arasındaki farkın az olması ile sağlanır. Kesinlik ise analiz sonuçlarının birbirine yakınlığı ile ifade edilir. Kesinlik cihaza ya da metoda ait bir özelliktir. Kesinliği yüksek olan yüksek olan sonuçların doğruluk değeri de yüksektir. Analizin kantitatif açıdan anlam kazanması için analizin

kesinliği bilinmelidir. Kesinlik standart sapma, bağıl standart sapma, varyans, varyasyon katsayısı, yayılma gibi değerlerle hesaplanabileceği gibi bunlardan yararlanılarak hesaplanan tekrarlanabilirlik ve uyarlık kesinlik ölçüleri ile de tespit edilebilir. Her bir analit için metodun ve analiz basamaklarının kesinliği tekrarlanan ölçüm sonuçlarının %RSD (Relatif Standart Sapma) değerleri kullanılarak belirlenmiştir. %RSD değeri için kullanılan Eşitlik 3.3 aşağıda verilmiştir.

$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 \quad \text{Eşitlik 3.3}$$

Burada; %RSD Relatif Standart Sapma, SD Standart Sapma, $\bar{X}$ Ortalama değer'dir.

3.2.5. Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografi-Kütle Spektrometresi (HPLC-MS) ve HPLC-MS/MS Analizleri

Uyuşturucu ve onların metabolitleri hedef bileşiklerin kantitatif analizlerinde Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografi-Kütle Spektrometresi sistemleri (HPLC-MS ve HPLC-MS/MS) kullanılmıştır. Analitlerin ayrışması Agilent Poroshell 120 EC-C18 (3.0x100 mm, 2.7 µm) kolon ile donatılmış Agilent 1260 HPLC sistemi ile yapılmıştır. HPLC sistemleri pozitif iyon modunda elektro sprey iyonizasyon (ESI) ile işletilmiştir. Öncelikle 1 ng/µL konsantrasyonunda hazırlanan her bileşiğe ait standart scan modda çalışılarak protonlanmış ürün iyonu [M+H]⁺ tespit ve kantifikasyon için belirlenmiştir. Bunun için kullanılan ikili taşıyıcı faz taşıyıcı faz A (%0.5 formic acid ve 2 mM amonyum format içeren su) ve taşıyıcı faz B (methanol)'den oluşmaktadır. Başlangıç taşıyıcı faz oranı %90 (A): %10 (B) olup 1 dak boyunca bu oranda tutulmuştur. Sonra taşıyıcı faz B lineer olarak 3 dak içinde %30'a, 8 dak içinde %70'e, 2 dak içinde %95'e çıkartılmış ve 2 dak bu oranda tutulmuştur. Başlangıç taşıyıcı faz şartlarına tekrar dönülerek, gelecek enjeksiyondan önce 4 dak bu şartlarda çalışma gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı faz akış hızı 0.5 mL/dak, kolon sıcaklığı 35°C ve enjeksiyon hacmi 2 µL'dir. Hedef bileşiklere ait analitik parametreler Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Hedef bileşikler için LC-MS/MS sistemine ait analitik parametreler

Bileşik ismi	Alıkonma zamanı (dak)	Precursor (m/z)	Product-1 (m/z)	Collision energy-1 (V)	Product-2 (m/z)	Collision energy-2 (V)
Morphine	3.00	286.2	165	-35	153	-45
6-Acetylmorphine	5.65	328.2	165.1	-30	211	-24
Cocaine	6.36	304.2	182.1	-16	82	-48
Benzoylecgonine	6.42	290.1	77	-60	167.8	-17
THC-COOH	10.75	345	327	-10	299	-17
Amphetamine	6.08	136.1	119	-2	91	-12
Methamphetamine	6.06	150	118.9	-9	90.9	-17
MDMA	6.01	194.1	163.1	-8	105.1	-24
Methadone	7.23	310.2	265.2	-12	105	-28
EDDP	6.84	278.2	234	-15	186	-25
Codeine	5.43	300.2	165.1	-40	128.1	-60
Diazepam	8.63	285.1	193.1	-32	154.1	-24

Çizelge 3.4. Hedef bileşiklere ait analitik parametreler

Bileşik ismi	Lineer aralık (µg/L)	R ²	LOD (ng/L)	LOQ (ng/L)	Geri kazanım (%)
Morphine	0-50	0.9998	0.0026	0.0087	99 ± 4
6-Acetylmorphine	0-50	0.9994	2.7051	9.017	67 ± 1
Cocaine	0-50	0.9989	0.0015	0.0052	71 ± 1
Benzoylecgonine	0-50	0.9977	0.0646	0.2156	102 ± 3
THC-COOH	0-50	0.9975	9.2201	30.7339	103 ± 4
Amphetamine	0-50	0.9996	0.522	1.740	82 ± 4
Methamphetamine	0-50	0.9994	0.001	0.0036	79 ± 2
MDMA	0-50	0.9999	0.0018	0.006	76 ± 4
Methadone	0-50	0.9982	0.0001	0.0004	75 ± 1
EDDP	0-50	0.9981	0.0014	0.0047	80 ± 4
Codeine	0-50	0.9996	1.2281	4.0938	90 ± 0
Diazepam	0-50	0.9984	0.0495	0.1651	95 ± 2

3.2.6. Toplumun Uyuşturucu Tüketim Miktarının Hesaplanması

Toplumun tükettiği uyuşturucu miktarları, literatür ile kıyas edilebilmesi için (mg/1000 kişi/gün) ve mg/100 kişi/gün (15-64 yaş) birimlerinde hesaplanmıştır. Çalışma alanı toplam nüfusu 1314824 kişi, 15-64 yaş arası nüfus 854635 kişidir. Konya kentsel atıksu arıtma tesisine gelen atıksu 159.800 m³/gün olarak alınmıştır. Atıksuda tespit edilen uyuşturucu konsantrasyon değerlerini günlük tahmini tüketilen konsantrasyon miktarına dönüştürmek için aşağıda verilen geriye dönük hesaplama

yöntemi Eşitlik 3.4'te kullanılmıştır. Her bir bileşik için geriye dönük hesaplamada kullanılan parametreler ise Çizelge 3.4'te yer almaktadır.

$$Uyuşturucu bileşik (mg/1000 kişi/ gün) = \frac{\text{metabolit konsantrasyonu} \left(\frac{ng}{L}\right) * \text{debi (L/gün)} * DF}{\frac{nüfus}{1000}} * \frac{1}{10^6} \left(\frac{g}{ng}\right)$$

$$DF = \frac{MA_{\text{bileşik}}}{MA_{\text{metabolit}} / \text{ortalama atılım oranı}} * 100 \quad \text{Eşitlik 3.4}$$

DF: Her bir bileşik için tayin edilen düzeltme faktörüdür.

MA: Bileşik ve metabolitleri için molekül ağırlığıdır.

Çizelge 3.5. Her bir bileşik için geriye dönük hesaplamada kullanılan parametreler

Ana bileşik	Metabolit	Metabolit olarak atılım oranı (%)	Düzeltilme Faktörü
Opiatlar	Morphine	42.5	3.04
	6-acetylmorphine	1.3	86.9
	Codeine	10	10
Cocaine	Benzoyllecgonine	45	2.33
	THC-COOH	0.6	100
Cannabinoidler	(Esrar)		
	Methadone	27.5	3.63
	EDDP	55	2.02
Amphetamine Tipi Maddeler	Amphetamine	30	3.3
	Methamphetamine	43	2.3
	MDMA	65	1.5
Diazepam	(Ecstasy)		
	Diazepam	10	10

3.2.7.Uyuşturucu Maddeler ve Metabolitleri

Yasal olarak reçete ile verilen ilacın bir kısmı vücutta emilirken bir kısmı ise idrar ve dışkı yoluyla metabolit halinde kanalizasyon şebekesine verilir. Çizelge 3.5'te uyuşturucu maddeler, bunların metabolit halleri ve vücuttan atılım oranları verilmiştir.

Çizelge 3.6. Uyuşturucu maddeler ve metabolitleri

	BİLEŞİK	ATILIM ORANI(%)
Cocaine ve Metabolitleri (COC)	COC (Cocaine)	%1-9 ana form
	BE (Benzoylecgonine)	%35-54 BE
	EME (Ecgonine methyl ester)	%32-49 EME
	THC (Tetrahydrocannabinol)	İz miktarda ana form
	THC-COOH ((±)-11-nor-9-Carboxy-Δ ⁹ -THC) OH-THC ((±)-11-Hydroxy-Δ ⁹ -THC)	%0.5 THC-COOH %52 OH-THC
Cannabinoidler (TNC) (Esrar)	AM (Amphetamine)	AM %30 ana form
	ME (Methamphetamine)	ME %43 ana form %4-7 AM
	MDMA (3,4- Methylene dioxy -N-methyl- amphetamine) (Ekstazi)	MDMA %26-65 ana form %1 MDA
	MDEA (Methylene dioxy ethyl amphetamine)	MDEA MDA (3,4-methylene DioxyAmphetamine)
	HER (Eroin)	HER (Eroin) MOR (Morphine) 6-AM (6-Acetylmorphine)
Amphetamine grubu		%19 ana form %28 MDA
		%0.1 ana form
		%42 MOR
		%1.3 6-AM
Opium bileşikler	MET (Methadone)	MET EDDP 2-Ethylidene-1,5 dimethyl-3,3 diphenylpyrrolidine)
		%0.5-50 ana form %3-25 EDDP
	CO (Codeine)	CO %70 ana form

3.2.8. Atıksu Arıtma Tesisinde Uyuşturucu Gideriminin Hesaplanması

AAT girişinden ve AAT çıkışından analiz edilen konsantrasyon değerleri baz alınarak tesisteki uyuşturucu bileşiklerinin giderim oranları Eşitlik 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Giderim oranı (\%) = \left(\frac{C_{gir} - C_{çık}}{C_{gir}} \right) * 100 \quad \text{Eşitlik 3.5}$$

C_{gir}: AAT giriş suyunda tespit edilen bileşik konsantrasyonudur.

C_{çık}: AAT çıkış suyunda tespit edilen bileşik konsantrasyonudur.

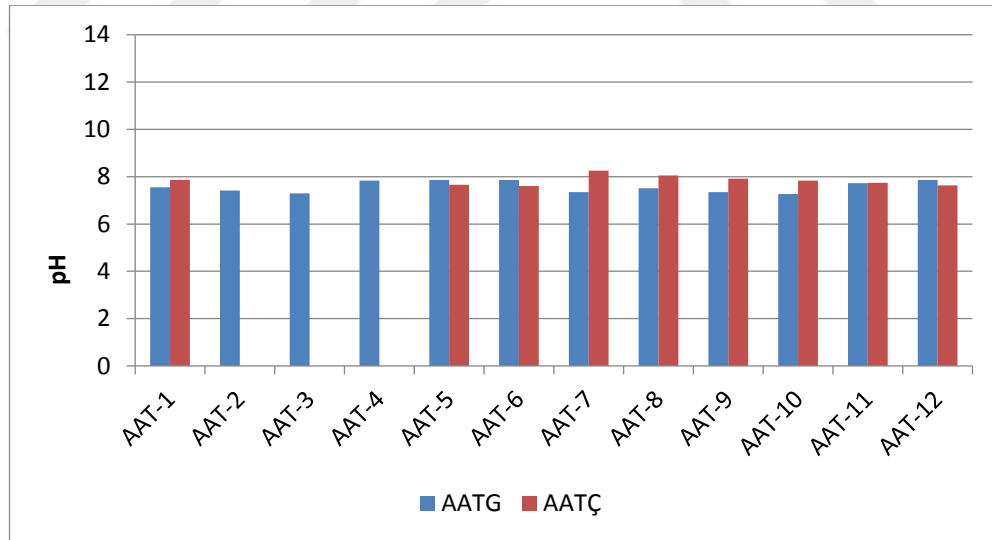
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Araştırma Sonuçları

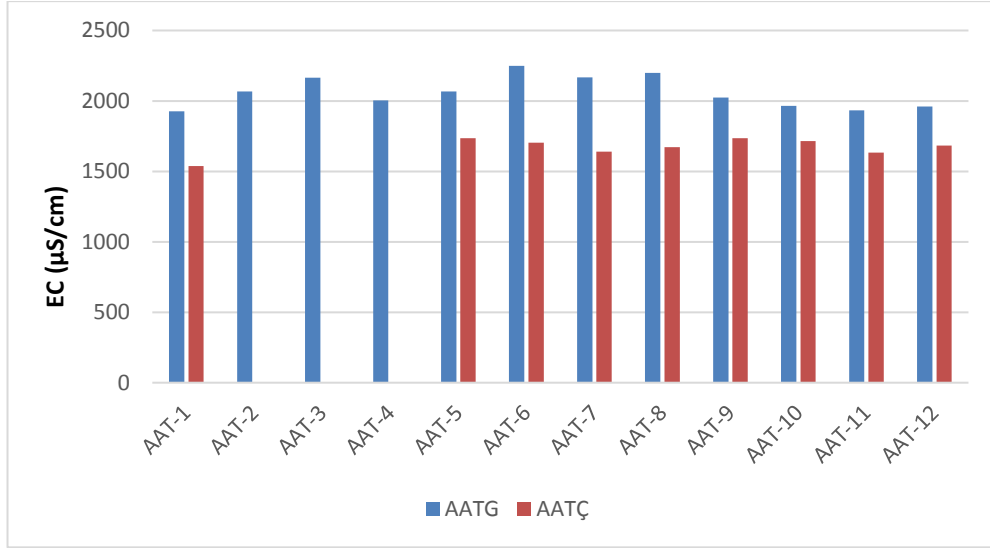
4.1.1. Atıksu Örneklerinin Fiziko-Kimyasal Analiz Sonuçları

Atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkışından alınan atıksu örneklerinin pH, EC, AKM ve KOİ analiz sonuçları Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4'te verilmiştir. Şekillere bakıldığında tesis girişi analiz sonuçlarının pH değeri 7.26-7.86, EC değeri 1926-2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, AKM değeri 160-730 mg/L, KOİ değeri 709-1536 mg/L arasında değişmiştir. Tesis çıkışında ise pH değeri 7.60-8.26, EC değeri 1534-1736 $\mu\text{S}/\text{cm}$, AKM değeri 5-33 mg/L, KOİ değeri 19-71 mg/L arasında değişmiştir.

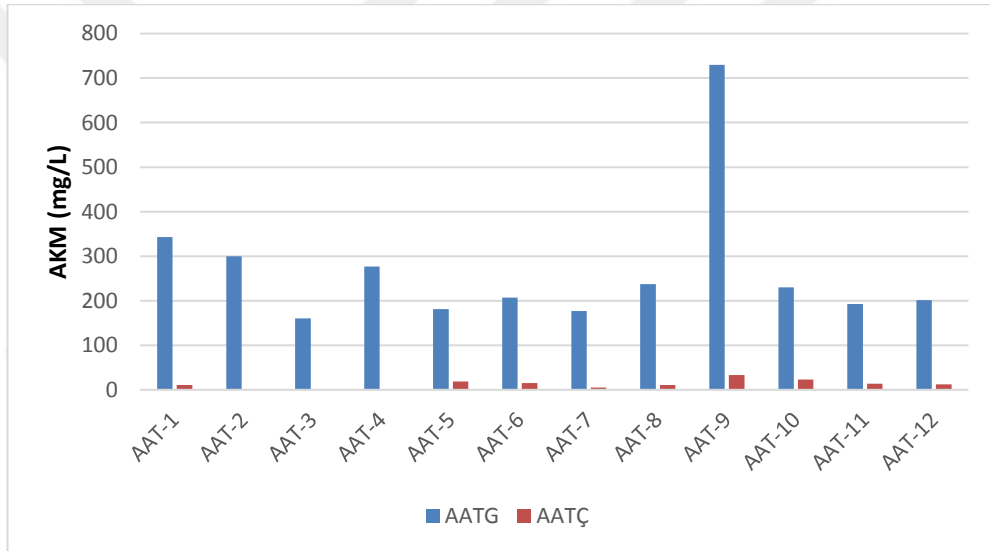
Arıtma tesisi çıkış suyu örneklerinden tespit edilen AKM değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Evsel Nitelikli Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları gereğince olması istenen konsantrasyonu (maks. 25 mg/L) sağladığı gözlenmiştir. Çıkış suyu pH değerlerine bakıldığında yönetmelik kapsamındaki pH standartlarına (pH=6-9) uygun olduğu görülmüştür. Yönetmelik kapsamında KOİ parametresi için izin verilen deşarj standartlarına (maks. 90 mg/L) bakıldığında şartların sağlandığı gözlenmiştir.



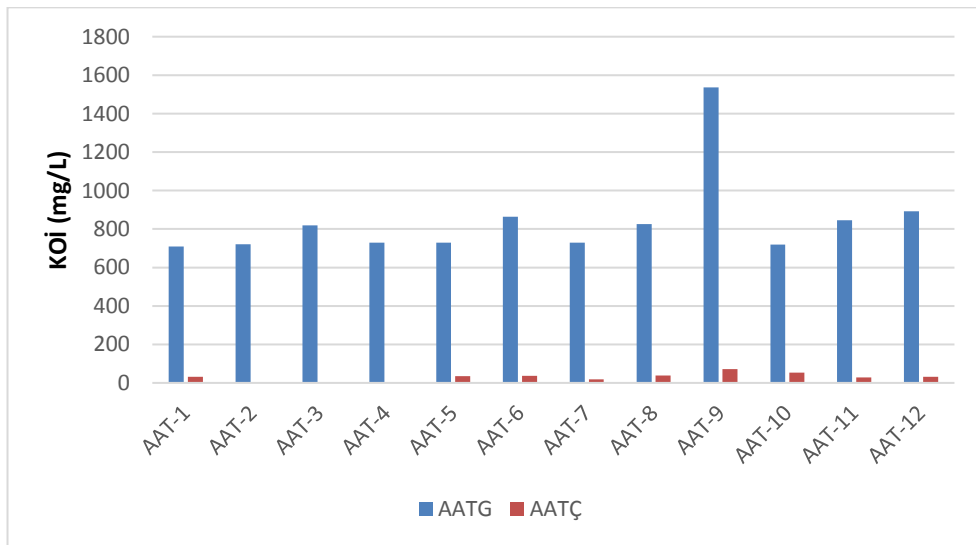
Şekil 4.1. Atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış sularının fiziko-kimyasal analiz sonuçları (pH değeri)



Şekil 4.2. Atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış sularının fiziko-kimyasal analiz sonuçları [EC (µS/cm)]



Şekil 4.3. Atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış sularının fiziko-kimyasal analiz sonuçları [AKM (mg/L)]

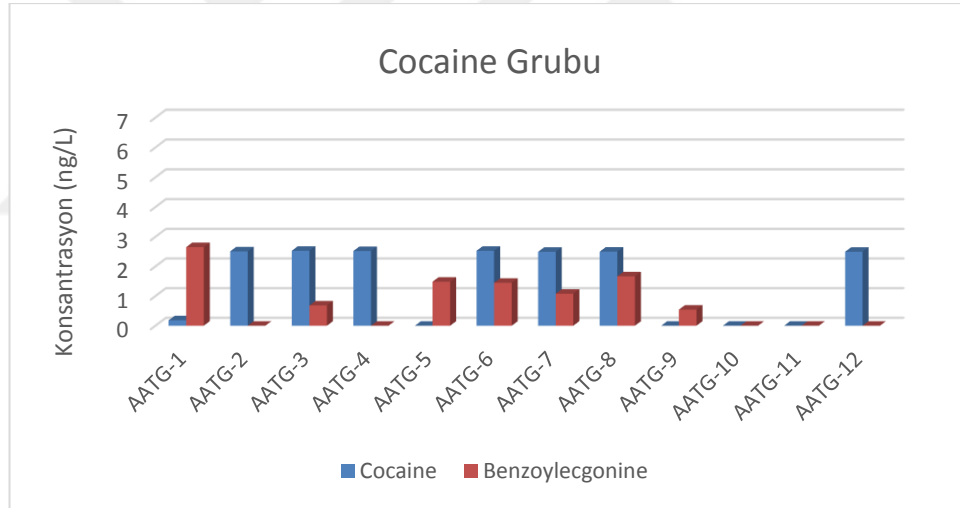


Şekil 4.4. Atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış sularının fiziko-kimyasal analiz sonuçları [KOİ (mg/L)]

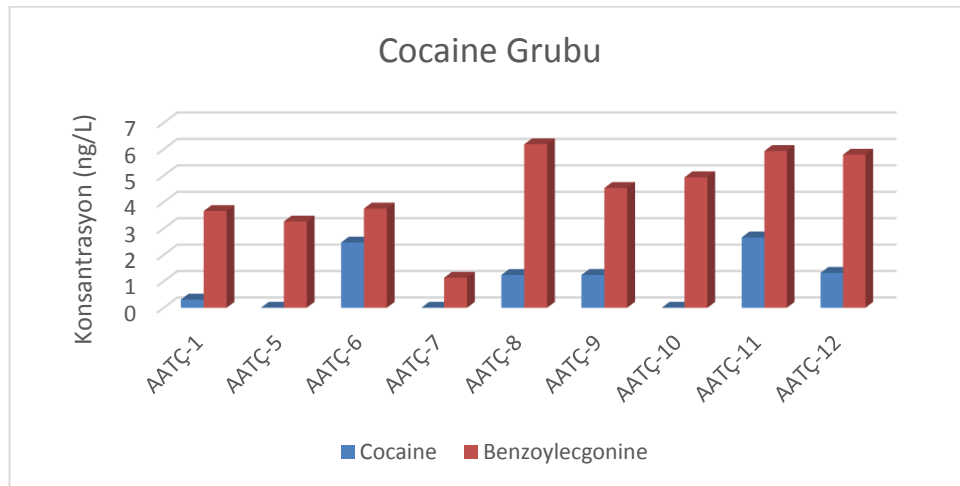
4.1.2. Kentsel Atıksuda Tespit edilen Uyuşturucu Maddeler ve Tüketim Miktarları

Konya atıksu arıtma tesisi girişinden alınan 24 saatlik kompozit atıksu numunelerinde tespit edilen uyuşturucu madde konsantrasyonları Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekile bakıldığında cocaine ana bileşiğinin ve metaboliti olan benzoylecgonine bileşiğinin AAT girişinde tespit edildiği göze çarpmaktadır. Tespit edilme aralıkları Şekil 4.5'te de görüldüğü üzere cocaine bileşiği için 0,183-2,52 ng/L, benzoylecgonine bileşiği için 0,540-2,65 ng/L'dir.

AAT çıkış suyundan alınan atıksu örneklerinde tespiti yapılan uyuşturucu madde ve metabolitlerinin konsantrasyon değerleri (ng/L) Şekil 4.16'da görülmektedir. Örneklem kaynağı arıtılmış atıksu olmasına rağmen çıkış suyunda uyuşturucu madde konsantrasyonlarının tespit edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir. Cocaine ana bileşiği ve mataboliti Benzoylecgonine AAT çıkışı maksimum değerleri sırasıyla 2,66 ng/L ve 5,93 ng/L'dir (Şekil 4.6)



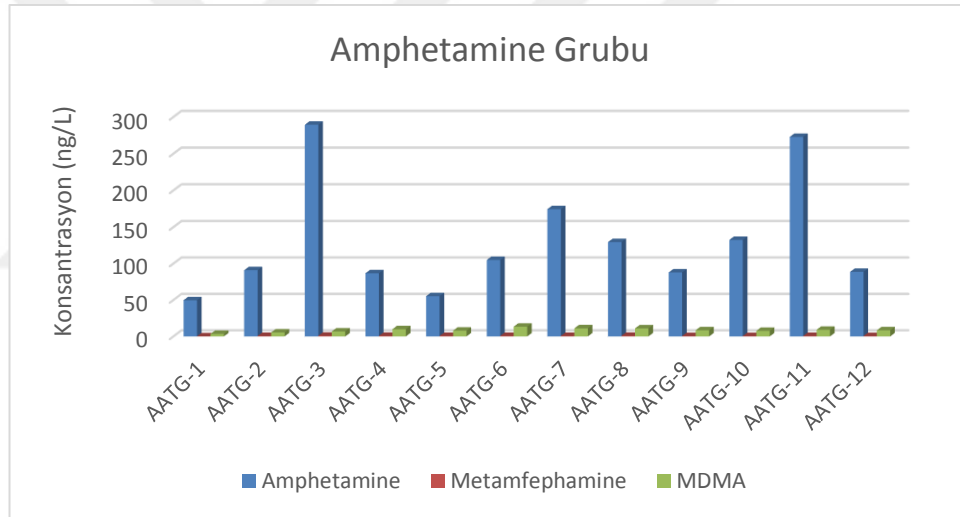
Şekil 4.5. Cocaine grubu bileşiklerin giriş suyundaki konsantrasyon değerleri



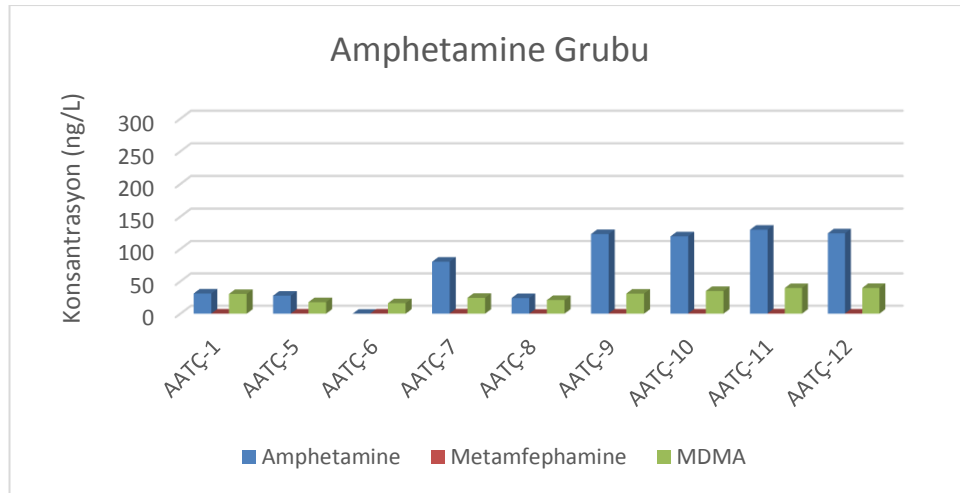
Şekil 4.6. Cocaine grubu bileşiklerin çıkış suyundaki konsantrasyon değerleri

Amphetamine grubu bileşiklerden Amphetamine, Methamphetamine, MDMA bileşikleri tespit edilmiştir. Alınan tüm atıksu numunelerinde Amphetamine, Methamphetamine, MDMA bileşikleri bulunmuştur. Şekil 4.7’de AAT giriş atıksularında Amphetamine 49,6-272,8 ng/L aralığında, Methamphetamine 0,153-0,874 ng/L aralığında, MDMA ise 3,37-13,3 ng/L aralığında tespit edilmiştir. Araştırılan Amphetamine grubu bileşiklerden ana bileşik olan Amphetamine konsantrasyonu daha baskındır.

Amphetamine ve MDMA bileşikleri daha yüksek konsantrasyonlarda olmak üzere araştırılan tüm amphetamine türü bileşiklerin neredeyse alınan tüm AAT çıkış suyu örneklerinde tespit edildiği görülmektedir. Bileşiklerin maksimum tespit konsantrasyonları Amphetamine için 129 ng/L, MDMA için 39,8 ng/L, Methamphetamine için 0,475 ng/L olarak tespit edilmiştir ve Şekil 4.8 üzerinde gösterilmiştir.



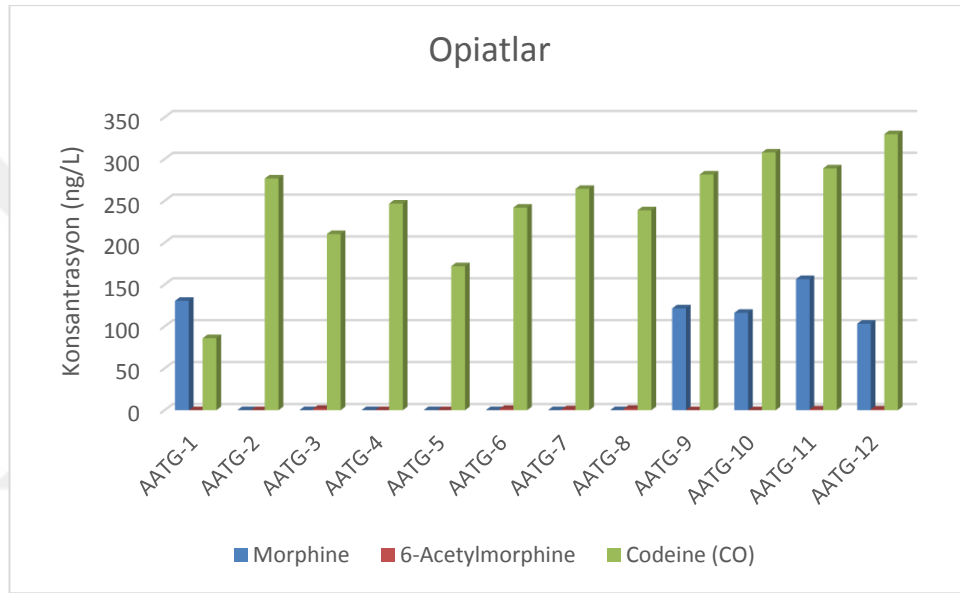
Şekil 4.7. Amphetamine grubu bileşiklerin giriş suundaki konsantrasyon değerleri



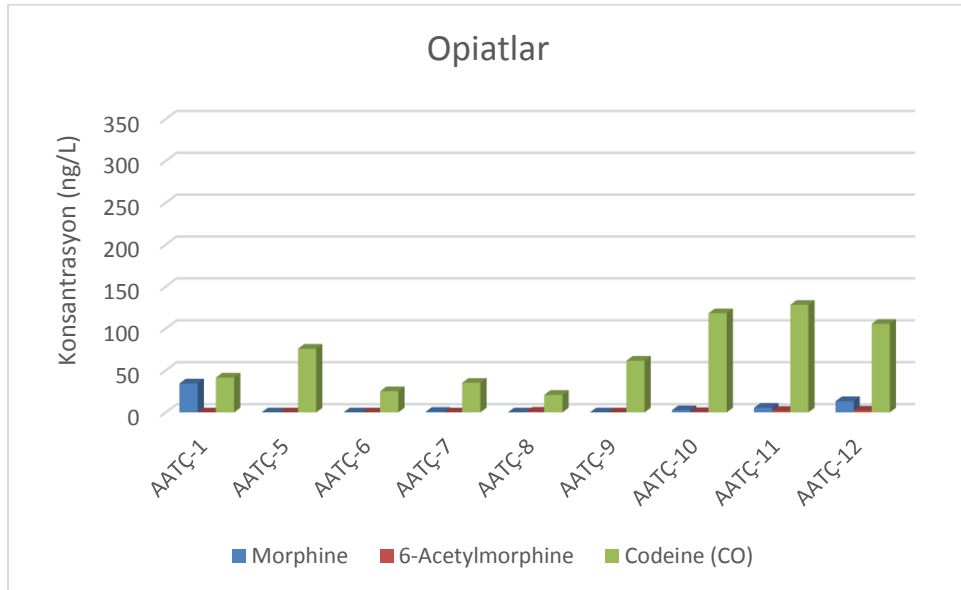
Şekil 4.8. Amphetamine grubu bileşiklerin çıkış suundaki konsantrasyon değerleri

Opiatlar grubu bileşiklerde codeine bileşiği alınan tüm atıksu örneklerinde saptanmıştır. Morphine ve 6-Acetylmorphine bileşiklerinin ise bazı atıksu örneklerinde tespit edildiği görülmüştür. Codeine konsantrasyonu 85,9-329 ng/L aralığında seyretmiştir. Buna karşın morphine maksimum 130 ng/L, 6-Acetylmorphine maksimum 1,69 ng/L konsantrasyonunda görülmüştür (Şekil 4.9).

Opiatlar grubunda Şekil 4.10'da da görüldüğü üzere codeine bileşiği tüm çıkış suyu örneklerinde tespit edilirken, diğer bileşikler codeine'ye kıyasla daha düşük konsantrasyonlarda kalmıştır. Buna göre codeine 128 ng/L, morphine 34,48 ng/L, 6-Acetylmorphine 2,16 ng/L maksimum değerlerinde tespit edilmiştir.



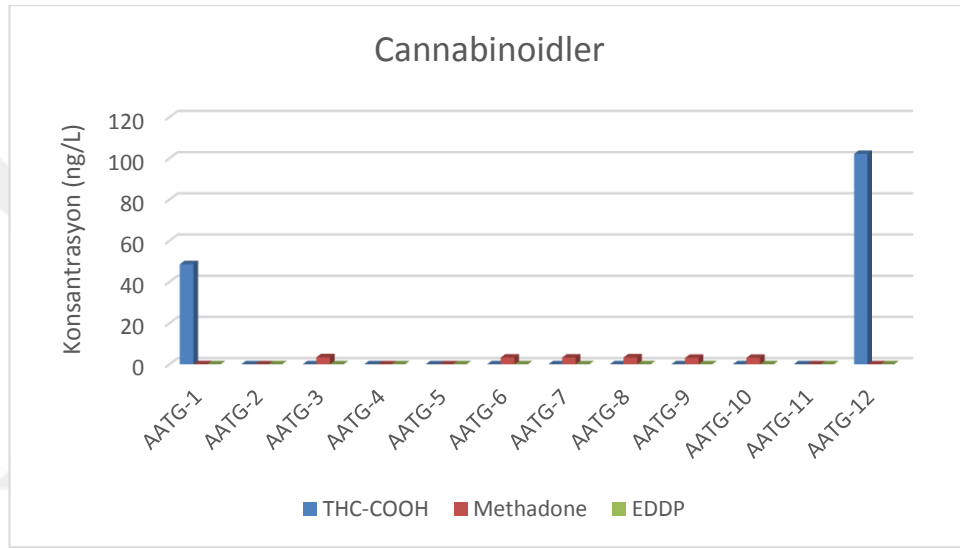
Şekil 4.9. Opiatların giriş suyundaki konsantrasyon değerleri



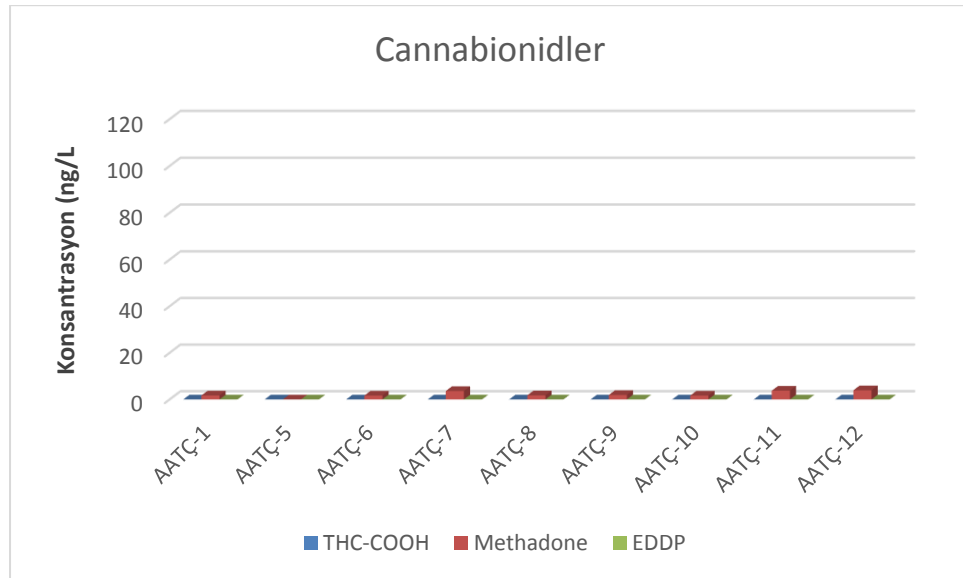
Şekil 4.10. Opiatların çıkış suyundaki konsantrasyon değerleri

Şekil 4.11’de görüldüğü üzere cannabinoid (esrar) grubunda THC-COOH konsantrasyonu 102 ng/L ile hafta sonu en yüksek değere ulaşmıştır. Methadone 0,015-3,34 ng/L aralığında tespit edilirken, metaboliti EDDP hiçbir örnekte tespit edilmemiştir.

Cannabinoid grubunda esrar ana bileşiği metabolitlerinin AAT çıkış suyu örneklerinde tespit edilmediği methadone bileşiğinin ise alınan tüm çıkış sularında tespit edildiği ve bu değerlerin maksimum 3,93 ng/L konsantrasyonlarına çıktığı görülmektedir (Şekil 4.12).



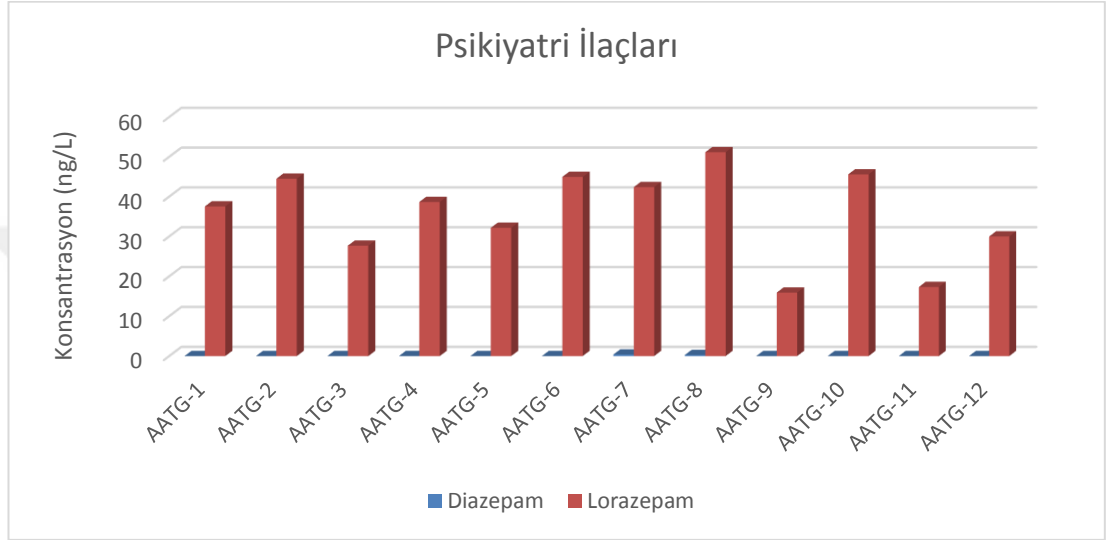
Şekil 4.11. Cannabinoidlerin giriş suundaki konsantrasyon değerleri



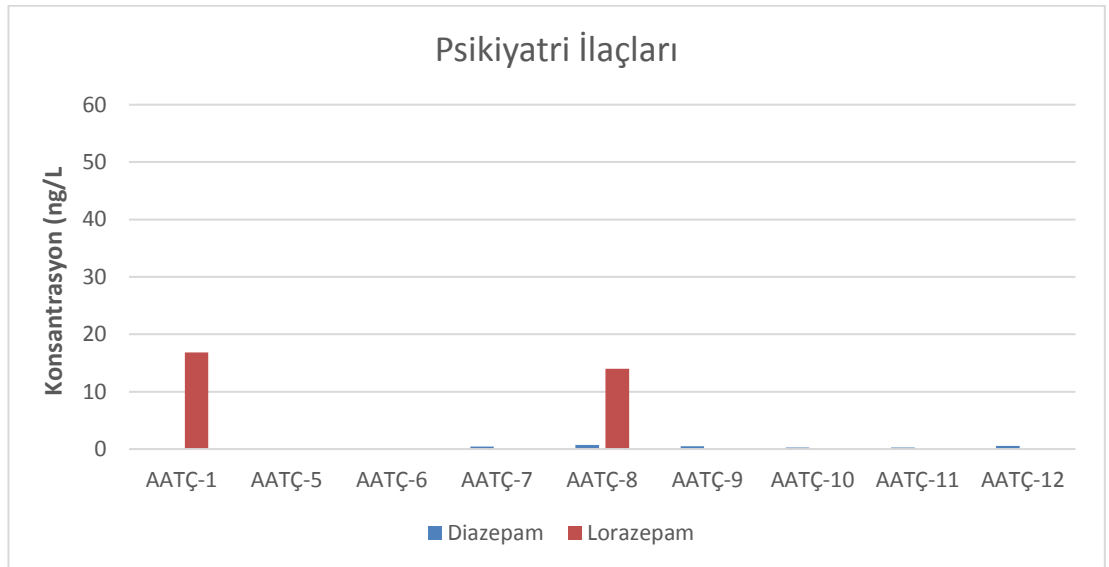
Şekil 4.12. Cannabinoidlerin çıkış suyu konsantrasyon değerleri

Uyuşturucu bileşiklere ek olarak psikiyatri ilaç gruplarından anksiyolitik kategorisinde yer alan Diazepam ve Lorazepam bileşiklerine bakılmıştır. Diazepam bileşiği sık rastlanmamakla beraber 0,380-0,269 ng/L olarak tespit edilmiştir. Buna karşın Lorazepam çok daha baskın konsantrasyonlarda görülmüştür (Şekil 4.13).

Psikiyatri ilaçları grubunda ise Lorazepam konsantrasyonunun baskın olduğu, buna karşın Diazepam bileşiğinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.14).



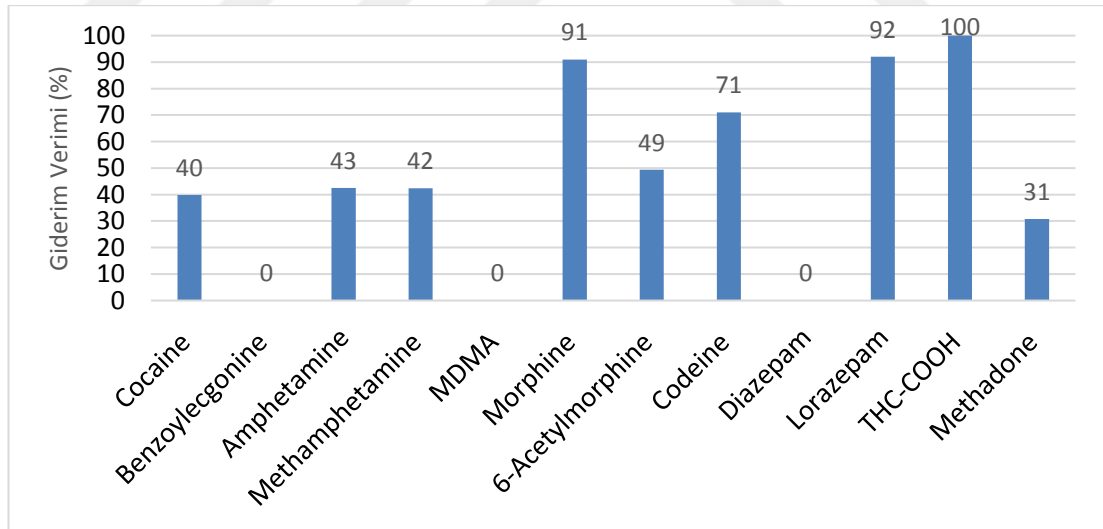
Şekil 4.13. Psikiyatri ilaçlarının giriş suyundaki konsantrasyon değerleri



Şekil 4.14. Psikiyatri ilaçlarının çıkış suyu konsantrasyon değerleri

4.1.3.Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinde Uyuşturucu Madde Giderim Verimleri

Konya atıksu arıtma tesisi aktif çamur prosesine sahip bir tesis olduğu göz önünde bulundurularak uyuşturucu madde ve metabolitlerinin giderimleri hesaplanmıştır. Cocaine bileşiğinin AAT'den alınan farklı günlerdeki atıksu çıkış sularında giderim değerinin %2 ila %100 arasında değiştiği gözlenirken benzoylecgonine bileşiğinin arıtma tesisinde hiç giderilmediği tespit edilmiştir. Amphetamine türü uyuşturuculardan, Amphetamine %10-100 aralığında, Methamphetamine %18-100 aralığında giderimi yapılırken; MDMA bileşiğinin ise arıtılmadan deşarj olduğu görülmektedir. Opiatlar grubuna bakıldığında ise morphine AAT çıkışında %74-100 aralığında, 6-Acetylmorphine %47-100 aralığında giderilirken, baskın olarak tespit edilen codeine gideriminin %52-90 arasında değiştiği belirlenmiştir. THC-COOH bileşiğinde ise tam verimle giderim olduğu tespit edilmiştir. Psikiyatri ilaçlarında ise yüksek konsantrasyonlarda tesise giriş yapan Lorazepam bileşiği %55-100 aralığında giderilirken, aynı verim Diazepam'da gözlenmemiştir. Giderim verimlerinin aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır ve Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15. Uyuşturucu Maddelerin Ortalama Giderim Verimleri

4.2. TARTIŞMA

4.2.1.Uyuşturucu Madde Tüketim Miktarları

Madde bağımlılığını izlemek, arıtım verimliliğini hesaplamak ve bunların sonucunda gerekli önlemleri almak için atıksu arıtma tesislerinden ve bölgede bulunan kanalizasyon şebekesinden alınan numunelerin analizi güvenilir bir veri kaynağıdır. Bu yenilikçi fikri ilk olarak 2001 yılında Daughton önerdi (Daughton, 2001) ardından Zuccato ve arkadaşları 2005 yılında yüzey suyundan cocaine kötüye kullanımı için yeni bir izleme aracı olarak yine bu tekniği önerdiler (Zuccato ve ark., 2005). O zamandan beri Avrupa Kanalizasyon Analizi Çekirdek Grubu (Sewage Analysis Core Group Europe, SCORE) koordinasyonu altında farklı ülkelerden önemli çalışmalar yürütülmektedir (Zuccato ve ark., 2008), (Ort ve ark., 2014), (Thomaidis ve ark., 2016). SCORE grubu 2011 yılından bu yana dünya çapında yıllık örnekleme yapmaktadır (Thomas ve ark., 2012). 2017 yılına gelindiğinde ise, 19 ülkedeki 56 şehir için başarılı bir şekilde karşılaştırılabilir veriler üretildi. Türkiye her yıl tedavi sayıları, aşırı doz ölümleri, prevalans ve bulaşıcı hastalıklar gibi temel epidemiyolojik göstergeleri EMCDDA'ya sunsa da, WBE sonuçları bugüne kadar mevcut değildi (Drugs ve Addiction, 2018).

Atıksuda uyuşturucu madde tespit çalışmalarına ülkemizde İstanbul ve Adana'da bulunan atıksu arıtma tesislerinde başlanmıştır. Adana (Seyhan, Yüreğir) (Daglioglu ve ark., 2019) ve İstanbul (Beyoğlu, Çatalca) (Mercan ve ark., 2019) AAT'lerinde yapılan çalışmaların sonuçları ile Konya'da yürütmüş olduğumuz çalışmamızın sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü üzere İstanbul (Beyoğlu) oldukça yüksek konsantrasyonlara sahiptir. Methamphetamine ve heroin bileşikleri Konya'da ve Adana'da birbirine yakın konsantrasyonlara sahiptir. Cocaine konsantrasyonu en düşük Konya'da belirlenmiştir. Amphetamine bileşiği ise İstanbul Beyoğlu sonuçlarını da geçerek Konya'da en yüksek miktara ulaşmıştır. MDMA bileşiğinin İstanbul Beyoğlu'nda en yüksek konsantrasyona ulaştığı gözlemlenmiştir. Marijuana kullanım miktarı ise en yüksek Adana'da saptanmıştır.

Çizelge 4.1. Türkiye’de Uyuşturucu Madde Kullanım Miktarının Kıyaslanması

Şehir	Tüketim birimi	Cocaine	Amphetamine	Meth- amphetamine	Ectasy (MDMA)	Heroin	Marijuana (Cannabis) (Esrar)
Konya	mg/gün/1000 kişi	0.22	52.1	0.17	1.54	6.86	158
	mg/gün/1000 kişi (15-64 yaş)	0.34	80.2	0.26	2.38	10.5	243
Adana	mg/gün/1000 kişi	14	8.7	2	87	21	2407
	mg/gün/1000 kişi (15-64 yaş)	18	13	3	130	31	3577
İstanbul (Beyoğlu)	mg/gün/1000 kişi	754	46.1	449	632	-	2242
İstanbul (Çatalca)	mg/gün/1000 kişi	15.6	8.38	195	29.3	-	207

Toplum tarafından tüketilen toplam uyuşturucu madde miktarı (mg/1000 kişi/gün); atıksu arıtma tesisi girişinde tespit edilen uyuşturucunun ve/veya metabolitinin konsantrasyonu ve atıksu debisi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama işleminin yapılabilmesi için her bir uyuşturucu bileşiğe ait metabolit bileşik, vücuttan atılım oranı, düzeltme faktörü ve ortalama günlük uyuşturucu alım dozu bilinmelidir. Yapılan hesaplamada elde edilen sonuçların literatür ile mukayese edilebilmesi için (mg/1000 kişi/gün) ve (mg/100 kişi/gün) (15-64 yaş) birimlerinde hesaplanmıştır.

Dünyada yapılan çalışmalar ile kıyaslanması açısından tespit edilen uyuşturucu madde tüketim değerleri Çizelge 4.2’te verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında Konya ili için toplum tarafından tüketilen değerlerin dünya verilerinin daha gerisinde kaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar beklenen bir durumdur. Ancak Amphetamine kullanımında dünya ortalamasını yakaladığımız görülmektedir.

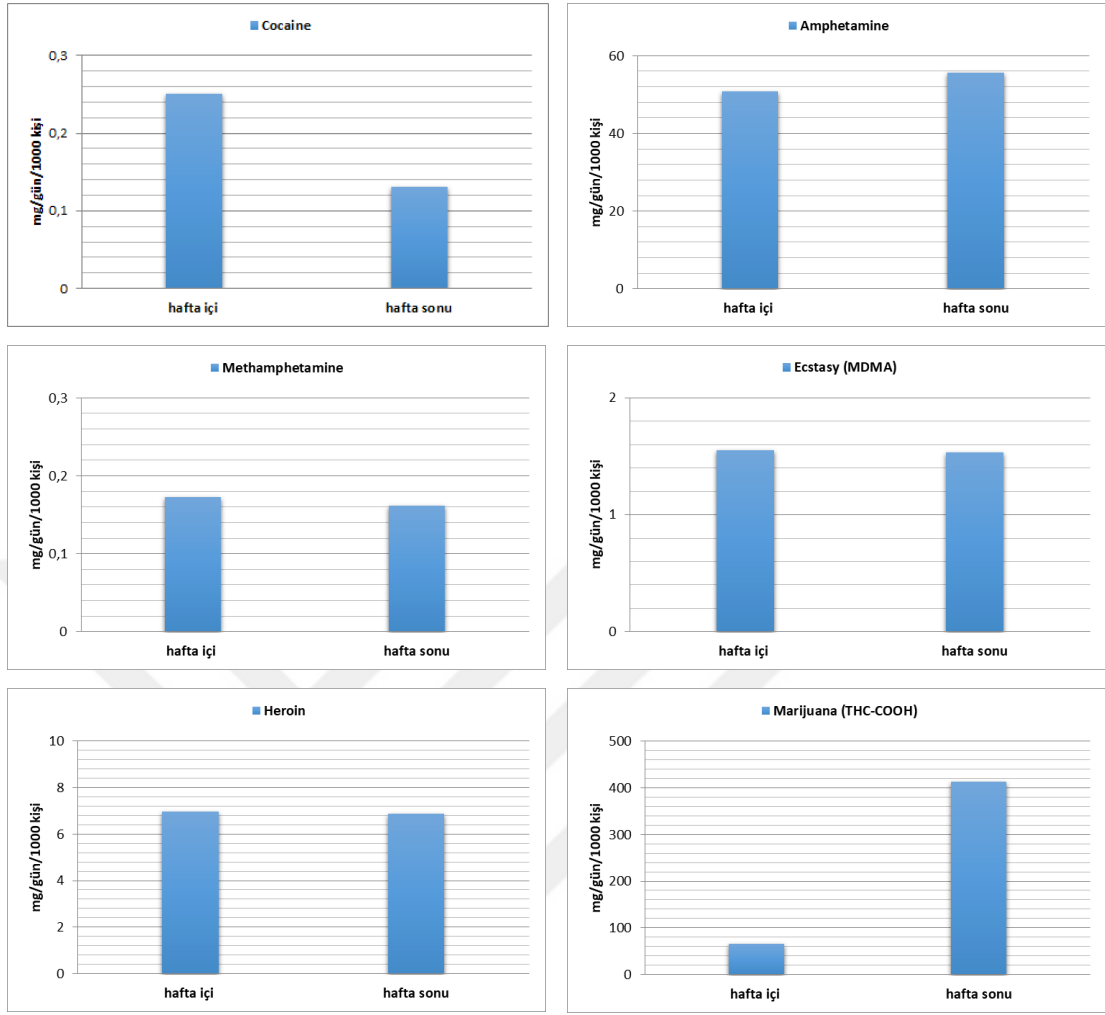
Çizelge 4.2. Konya ilindeki uyuşturucu madde tüketiminin diğer ülkelerde tespit edilen ortalama tüketim değerleri ile karşılaştırılması

Şehir/Ülke	Tüketim birimi	Cocaine	Amphetamine	Methamphetamine	Ecstasy (MDMA)	Heroin	Marijuana (Cannabis, Esrar)	Kaynak
Konya	mg/gün/1000 kişi	0,22	52.1	0,17	1,54	6,86	158	Bu çalışma
	mg/gün/1000 kişi (15-64 yaş)	0,34	80.2	0,26	2,38	10,5	243	
Helsinki/Finland	mg/gün/1000 kişi	-	29,5	8,51	20,6	-	-	(EMCDDA, 2017)
Berlin/Germany	mg/gün/1000 kişi	200	116	8,1	29,5	-	58,9	(Been ve ark., 2016)
Munich/Germany	mg/gün/1000 kişi	79,5	22,2	11	18,1	-	34,4	
Paris/France	mg/gün/1000 kişi	324	<dl	<dl	43,4	-	-	(EMCDDA, 2017)
Zurich/Switzerland	mg/gün/1000 kişi	598	25,7	21,8	55,4	-	-	(Been ve ark., 2016)
Lugano/ Switzerland	mg/gün/1000 kişi	622	-	-	10,9	100	6536	(Zuccato ve ark., 2018)
Barcelona/Spain	mg/gün/1000 kişi	965	42,3	49	48,1	-	-	(EMCDDA, 2017)
Milan/İtalya	mg/gün/1000 kişi	341	<dl	10,1	4,3	-	-	(EMCDDA, 2017)
London/UK	mg/gün/1000 kişi	210	690	5,1	79	79	7600	(Zuccato ve ark.,2018)
Bristol/UK	mg/gün/1000 kişi	755	53,8	0,9	33	-	-	(EMCDDA, 2017)
Oslo/Norway	mg/gün/1000 kişi	92,6	63,8	92,5	19,2	-	-	(EMCDDA, 2017)
Athens/Greece	mg/gün/1000 kişi	38,3	2,2	4	2,5	-	-	(EMCDDA, 2017)

2011-2017 yılları arasında 37 ülkede 120 ilde 143 atıksu arıtma tesisinden alınan numuneler ile yapılan analizlerde uyuşturucu ilaç kullanımı araştırılmıştır. Bu çalışmada amaç; (i) ham atıksudaki popülasyonla normalize edilmiş benzoylecgonine, amphetamine, methamphetamine ve MDMA kütle yüklerinin mekansal ve zamansal eğilimlerini değerlendirmek; (ii) her şehirde günlük tüketilen ortalama kombine doz sayısını tahmin ederek genel ilaç kullanımını ele almak ve (iii) bunları mevcut yaygınlık ve el koyma verileriyle karşılaştırmaktır. Güney ve Batı Avrupa’da benzoylecgonin daha yüksek yüklerde; Doğu ve Kuzey-Orta Avrupa’da ise amphetamine, MDMA ve methamphetamine daha yüksek yüklerde tespit edilmiştir. Methamphetamine Amerika Birleşik Devletleri ve Avustralya’da; benzoylecgonin ise Güney Amerika’da en yüksek konsantrasyonlarda görülmüştür. Raporlama döneminde Avrupa genelinde benzoylecgonin yükleri artmıştır, amphetamine ve methamphetamine seviyeleri dalgalanmıştır, MDMA ise aralıklı bir artış göstermiştir (González- Mariño ve ark., 2020).

Uyuşturucu maddelerin kullanımı zamansal ve mekânsal değişiklikler gösterebilmektedir. Hafa içi/hafta sonu, yaz ayları/kış ayları, festival zamanları uyuşturucu madde dalgalanmaları üzerinde etkilidir. Bu yapılan çalışmada hafta içi ve hafta sonu kullanım miktarları kıyaslanmıştır ve Şekil 4.16 üzerinden gösterilmiştir. Buna göre Morphine (eroin), MDMA (ecstasy) ve methamphetamine miktarları hafta içi ve hafta sonu arasında kayda değer farklılık olmazken; THC-COOH (marijuana) ve amphetamine tüketimlerinin hafta sonunda yükseldiği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra cocaine kullanımının ise hafta içinde bir miktar daha fazla olduğu görülmüştür.

Türkiye’de yapılmış diğer çalışmalar ile kıyaslandığında cocaine kullanımı Konya ilinde hafta içi daha yüksektir. Buna karşılık İstanbul ve Adana’da hafta sonu kullanımı daha yüksektir. Amphetamine, methamphetamine ve morphine kullanımları Türkiye genelinde hafa içi ve hafta sonu değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. MDMA bileşiği analizlerinde Yüreğir (Adana) ve Beyoğlu (İstanbul) hafta sonu kullanımında daha yüksek olduğu ancak Konya, Çatalca (İstanbul), Seyhan (Adana) sonuçlarında belirgin bir fark olmadığı saptanmıştır. THC-COOH sonuçlarına göre hafta sonu kullanımları Konya’da ve Yüreğir (Adana)’de çok daha fazla çıkmıştır (Daglioglu ve ark., 2019) (Mercan ve ark., 2019).



Şekil 4.16. Uyuşturucu maddelerin hafta içi ve hafta sonu tüketimleri (mg/gün/1000kişi)

4.2.2. Uyuşturucu Maddelerin Giderimi

Dünya çapındaki arıtılmış atıksuların büyük çoğunluğu akuatik ortamlara deşarj edildiği için, konvansiyonel atıksu arıtma proseslerinin arıtma verimliliğini anlamak önemlidir. Atıksuyun arıtılmasında kullanılan arıtma teknolojileri, dünyanın her yerinde önemli ölçüde değişiklik göstermekte olup, bireysel birim süreçlerine, sahaya özgü faktörlere, iklime, su otoritesinin tercihlerine ve uzmanlığına ve maliyete bağlı olarak farklı şekilde yapılandırılmış ve işletilmiştir. Bu nedenle, yasa dışı uyuşturucular da dâhil olmak üzere çeşitli maddelerin AAT'lerdeki giderim verimleri, kullanılan teknolojiye bağlı olarak önemli ölçüde değişecektir. Yapılan derleme çalışmalarında atıksu arıtma tesisleri aktif çamur arıtma, damlama filtreleri veya membran biyoreaktörleri gibi farklı ikincil arıtma proses konfigürasyonları kullandığı görülmektedir. Son zamanlarda yapılan birkaç

Çalışma, aktif çamur işleminin yasa dışı ilaçların damlama filtrelerinden daha etkili olduğu sonucuna varmıştır (Yadav ve ark., 2017).

Günümüzde mikro kirleticiler için mevcut deşarj standartları ve deşarj düzenlemeleri çok azdır. Sadece bazı ülkeler az sayıda mikro kirleticiye yönelik düzenlemeler yapmışlardır. Ülkeler tarafından çoğunlukla yüzey aktif maddeler, endüstriyel kimyasallar ve zirai ilaçlar hakkında düzenlemeler yapılmıştır. Bununla birlikte uyuşturucu ilaçlar vb. ilaçlar, kişisel bakım ürünleri ve steroid hormonları listede yer almamaktadır. Mikro zararlı maddelere uygulanan arıtma seçeneklerine örnek olarak koagülasyon-flokulasyon, aktif karbon adsorpsiyonu (PAC ve GAC), ozonlama ve ileri oksidasyon işlemleri (AOP), membran işlemleri ve membran biyoreaktörü (MBR) verilebilir (Nas ve ark., 2017).

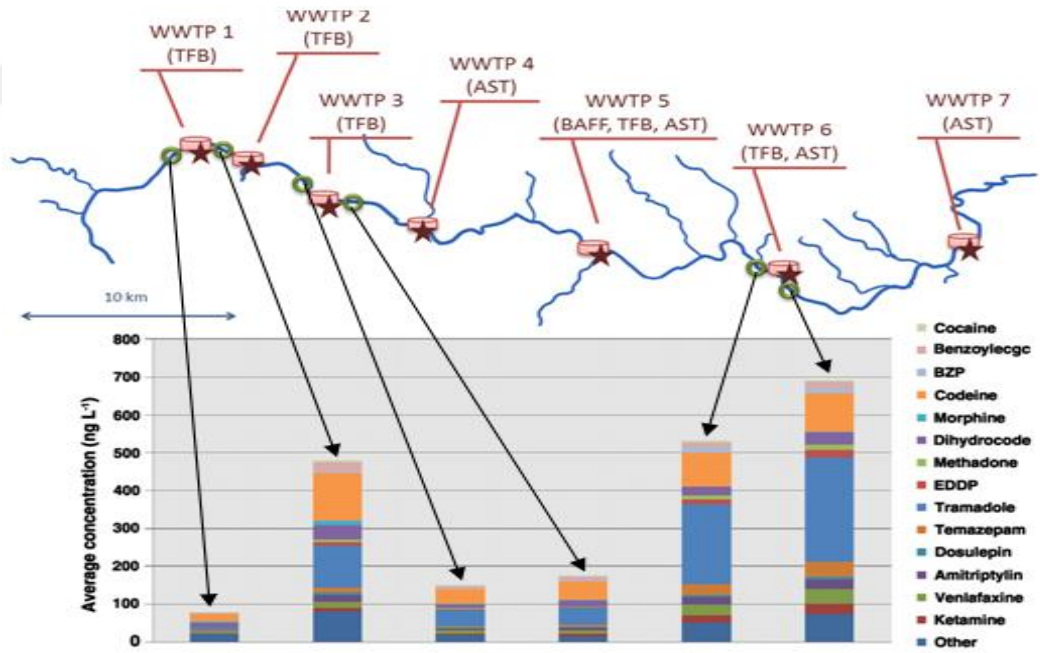
Yapılan alışmalar gösteriyor ki; uyuşturucu maddeler ve bunların metabolitlerinin çevresel konsantrasyonları düşük olsa da, MDMA, morphine, Amphetamine gibi bileşiklerin güçlü farmakolojik etkileri olmaktadır. Özellikle bazı uyuşturucu maddelerin biyolojik parçalanabilirliği düşük olduğundan doğada kümülatif birikme eğilimi göstermektedir. İlaç kalıntılarının giderilmesi zordur ve bu nedenle doğayı ve insanı etkilememeleri için stratejiler geliştirmek üzere yakından takip edilmelidir. Ayrıca giriş konsantrasyonu, alıkonma süresi, çamur yaşı, mevsimsel koşullar vb. pek çok işletme etkeni arıtma verimini etkilemektedir. Yapılan derleme ile konvansiyonel arıtma yapılan atıksularda uyuşturucu madde giderim verileri izelge 4.3'te gösterilmiştir. Ülkemizde atıksu arıtma tesislerinde uyuşturucu madde giderim verimliliğine dair yapılmış bir çalışma henüz bulunmadığı için farklı ülkelerde yapılmış çalışmalar ile kıyas yapılmıştır. Buna göre Konya atıksu arıtma tesisi Cocaine, arıtımında geride kalırken; THC-COOH gideriminde oldukça başarılı bir performans sergilemiştir. MDMA ve Methadone bileşikleri ise araştırılan tüm ülkelerde düşük verimlerde seyretmiştir.

Çizelge 4.3. Giderim verimleri (%)

Analit	Ülke	Giderim (%)	Kaynak
Cocaine	İspanya	96	Postigo ve diğ. 2010
	Hollanda	79	Bijlsma ve diğ. 2012
	İrlanda	72	(Bones ve ark., 2007)
	Amerika	82	(Skees ve ark., 2018)
	Çin	50	(Deng ve ark., 2020)
	Türkiye	40	Bu Çalışma
Benzoylecgonine	İspanya	88	Postigo ve diğ. 2010
	Hollanda	90	Bijlsma ve diğ. 2012
	İrlanda	93	Bones ve diğ. 2007
Amphetamine	İspanya	95	Postigo ve diğ. 2010
	Hollanda	100	Bijlsma ve diğ. 2012
	Çin	28	(Deng ve ark., 2020).
	Amerika	93	(Skees ve ark., 2018).
	Türkiye	43	Bu Çalışma
Methamphetamine	Hollanda	100	Bijlsma ve diğ. 201
	İtalya	33-97	Chiavola ve diğ. 2017
	Amerika	81	(Skees ve ark., 2018).
	Çin	76	(Deng ve ark., 2020).
	Türkiye	42	Bu Çalışma
MDMA	İngiltere	19	Baker ve Kasprzykhordern 201
	İspanya	36	Postigo ve diğ. 2010
	Çin	0	(Deng ve ark., 2020).
	Türkiye	0	Bu Çalışma
Methadone	İngiltere	39	Baker ve Kasprzykhordern 2013
	İspanya	37	Boleda ve diğ. 2009
	Amerika	30	(Skees ve ark., 2018).
	Türkiye	31	Bu Çalışma
EDDP	İngiltere	61	Baker ve Kasprzykhordern 2013
	Türkiye	0	Bu Çalışma
Codeine	İngiltere	81	Baker ve Kasprzykhordern 2013
	İspanya	<50	Boleda ve diğ. 2009
	Türkiye	71	Bu Çalışma
Morphine	İngiltere	89	Baker ve Kasprzykhordern 2013
	İspanya	73	Boleda ve diğ. 2009
	Amerika	53	(Skees ve ark., 2018).
	Türkiye	91	Bu Çalışma
THC-COOH	İspanya	31	Boleda ve diğ. 2009
	İspanya	48	Postigo ve diğ. 2010
	Türkiye	100	Bu Çalışma

Birleşik Krallık'ta yapılan bir araştırmada 12 ay boyunca büyük bir nehir ve bu nehre deşarj yapan 7 adet atıksu arıtma tesisinde, yasa dışı uyuşturucu ve metabolitlerinin oluşumu ve konsantrasyonları üzerinde çalışılmıştır. AAT'lerinden üçü kırsal alana hizmet veren damlatmalı filtre tesisleridir, iki tanesi kentsel bölgeye hizmet veren aktif çamur tesisidir ve iki tesis de hem aktif çamur hem de daha az oranda damlatmalı filtre sistemlerine sahiptir. Numuneler SPE, LC-MS-MS sistemi ile analiz edilmiştir. Damlatmalı filtre teknolojisi kullanan üç AAT'nin ortalama

arıtım verimleri %43, %51 ve %32; Aktif çamur kullanan AAT'lerin ortalama arıtım verimleri ise %66, %68, %62 ve %59 olarak tespit edilmiştir (Baker ve Kasprzyk-Hordern, 2013). Nehir boyunca izlenen tüm bileşiklerin kümülatif konsantrasyonunda açık bir artış görülmüştür. Bu nedenle, atıksu arıtma tesisi deşarjının su kalitesi üzerindeki etkisi ve arıtım verimliliğinin önemi ortaya çıkmaktadır. Ortalama olarak, 12 aylık periyot boyunca damlatmalı filtre teknolojisi kullanan AAT₃'ün akış yönünde günlük olarak 24.7 g'lık bir miktar taşınmıştır ve hem aktif çamur hem de daha az oranda damlatmalı filtre sistemlerine sahip AAT₆'nın aşağı akış yönünde günde 619.7 g alınmıştır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Her örnekleme noktasında bir yıllık bir süre boyunca ortalama konsantrasyon

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında Konya ili Atıksu Arıtma Tesisinin giriş ve çıkışından numuneler alınmış; bu bölgedeki popülasyonun uyuşturucu madde tüketim miktarları, arıtma tesisinin bu bileşikler giderme etkinliği ve çıkış suyu ile deşarj edilen uyuşturucu bileşiklerin konsantrasyonları belirlenmiştir.

Konya ili atıksu arıtma tesisi toplamda 742.690 kişiye hizmet veren, 159.800 m³/gün debi miktarına sahip, aktif çamur sistemi ile çalıştırılan bir tesistir. Numuneler 2019 yılı Temmuz, Eylül ve Ekim aylarında, tesis giriş ve çıkışından 24 saatlik kompozit numunesi olarak alınmıştır. Uyuşturucu bileşikler ve onların metabolitleri olan hedef bileşiklerin kalitatif ve kantitatif analizlerinde LC-MS-MS sistemi kullanılmıştır. Çalışma alanı popülasyonunun uyuşturucu madde kullanımı ve Konya atıksu arıtma tesisinin uyuşturucu bileşikler arıtma verimleri hesaplanmıştır. Tez kapsamında Cocaine ve metaboliti Benzoylecgonine, Amphetamine grubu maddeler (Amphetamine, Methamphetamine, MDMA), Opiatlar (Morphine, 6-Acetylmorphine, Codeine), Cannabinoidler (THC-COOH, Methadone, EDDP) ve iki adet psikiyatri ilacı (diazepam, lorazepam) ile çalışılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre Konya ilinde toplum tarafından tüketilen uyuşturucu madde miktarları; cocaine 0.22, amphetamine 52.1, metamphetamine 0.17, MDMA (ecstasy) 1.54, morphine (eroin) 6.86, THC-COOH (esrar, marijuana) 158 mg/1000kişi/gün olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre İstanbul ve Adana'da yapılan çalışma verileri ile kıyaslandığında daha düşük konsantrasyonların olduğu (Amphetamine hariç) görülmüştür. Uyuşturucu madde tüketim miktarlarına bakıldığında hafta sonu marijuana kullanımı yüksek olurken, hafta içi ise cocaine kullanımının fazla olduğu görülmüştür. Arıtma tesisi çıkış numunelerinde Benzoylecgonine, MDMA ve Diazepam kalıntılarına rastlanmıştır. Konvansiyonel arıtım içeren atıksu arıtma tesislerinde arıtımın yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen bilgiler ışığında devlet planlamalarına sağlık alanında, sosyal ve ekonomik alanlarda katkı sağlanması; bölgede yasa dışı uyuşturucu madde üretiminin belirlenmesine katkı sağlanması amaçlanmıştır. Atıksu bazlı uyuşturucu madde takibi çalışmalarının ülke çapında yaygınlaştırılması ile halk sağlığı, bağımlılıkla mücadele ve ulusal ekonomi açısından katkı sağlanacağı öngörülmektedir.

Bilindiđi üzere arıtma tesisi çıkış suları Tuz Gölü'ne deşarj edilmektedir. Dolayısıyla giderilemeyen bileşikler Tuz Gölü'ne deşarj olmaktadır. Tuz Gölü'nden gıda amaçlı, endüstriyel amaçlı ve pek çok amaçlarla tuz üretimi yapılmaktadır. Ayrıca Tuz Gölü koruma altında olan ekolojik bir sistemdir. Ekosistemin korunması, insan ve diğere canlı biotanın korunması için deşarj kalitesi büyük önem arz etmektedir.

Çıkış suyunda tespit edilen bazı uyuşturucu bileşikler kümülatif birikme eğiliminde olabilirler. Atıksu deşarjlarıyla ilişkili olarak, yüzeysel sulardaki ve yeraltı sularındaki içme suyu kalitesi etkilenebilir. Bu durumun akuatik canlılar ve dolaylı olarak insan sağlığı açısından toksik etki göstermesi olasıdır. Bu olası toksisitenin önüne geçmek üzere ileriye dönük su kaynaklarını koruma çalışmaları yapılabilir. Sürdürülebilir su ekosistemini korumak amacıyla uyuşturucu maddeler için uygun arıtım yöntemleri tercih edilebilir. Ayrıca uyuşturucu bileşikler ve diğere mikro kirleticilerin giderim verimliliğinin artması için atıksu arıtma tesisinin modifiye edilmesi gerekli görölmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Aydın, S., Ulvi, A. ve Aydın, M. E., 2018, Atıksularda Uyuşturucu Maddeler, *Uluslararası Su ve Çevre Kongresi*, Bursa, 357-360.
- Aydın, S., Ulvi, A., Aydın, M. E. ve Poçan, A., 2019, Uyuşturucu Maddelerin Toksisitesi. III. Uluslararası AVRASYA Multidisipliner Çalışmalar Kongresi. Selçuklu, S. B. ve Movlyanov, A., Iksad: 254-262.
- Aydın, S. P., A ve Ulvi, A., 2019, Atıksu Arıtma Tesislerinde Uyuşturucu Maddeler Ve Giderimleri, *4th International Scientific Research Congress*, Yalova, 353-360.
- Baker, D. R. ve Kasprzyk-Hordern, B., 2013, Spatial and temporal occurrence of pharmaceuticals and illicit drugs in the aqueous environment and during wastewater treatment: new developments, *Science of the Total Environment*, 454, 442-456.
- Bijlsma, L., Botero-Coy, A. M., Rincón, R. J., Peñuela, G. A. ve Hernández, F., 2016, Estimation of illicit drug use in the main cities of Colombia by means of urban wastewater analysis, *Science of the Total Environment*, 565, 984-993.
- Binelli, A., Pedriali, A., Riva, C. ve Parolini, M., 2012, Illicit drugs as new environmental pollutants: cyto-genotoxic effects of cocaine on the biological model *Dreissena polymorpha*, *Chemosphere*, 86 (9), 906-911.
- Boleda, M. R., Galceran, M. T. ve Ventura, F., 2009, Monitoring of opiates, cannabinoids and their metabolites in wastewater, surface water and finished water in Catalonia, Spain, *Water research*, 43 (4), 1126-1136.
- Bones, J., Thomas, K. V. ve Paull, B., 2007, Using environmental analytical data to estimate levels of community consumption of illicit drugs and abused pharmaceuticals, *Journal of Environmental Monitoring*, 9 (7), 701-707.
- Castiglioni, S., Zuccato, E., Crisci, E., Chiabrando, C., Fanelli, R. ve Bagnati, R., 2006, Identification and measurement of illicit drugs and their metabolites in urban wastewater by liquid chromatography– tandem mass spectrometry, *Analytical Chemistry*, 78 (24), 8421-8429.
- Corkery, J. M., Guirguis, A., Orsolini, L., Papanti, D. ve Schifano, F., 2017, Fifth international conference on novel psychoactive substances United Nations Office On Drugs and Crime (UNODC) Vienna International Centre, Vienna 23-24 October 2017.
- Daglioglu, N., Guzel, E. Y. ve Kilercioglu, S., 2019, Assessment of illicit drugs in wastewater and estimation of drugs of abuse in Adana Province, Turkey, *Forensic science international*, 294, 132-139.
- Darland, T. ve Dowling, J. E., 2001, Behavioral screening for cocaine sensitivity in mutagenized zebrafish, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98 (20), 11691-11696.
- Daughton, C. G., 2001, Emerging pollutants, and communicating the science of environmental chemistry and mass spectrometry: pharmaceuticals in the environment, *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 12 (10), 1067-1076.
- Davoli, E., Zuccato, E. ve Castiglioni, S., 2019, Illicit drugs in drinking water, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 7, 92-97.
- Degenhardt, L., Whiteford, H. A., Ferrari, A. J., Baxter, A. J., Charlson, F. J., Hall, W. D., Freedman, G., Burstein, R., Johns, N. ve Engell, R. E., 2013, Global

- burden of disease attributable to illicit drug use and dependence: findings from the Global Burden of Disease Study 2010, *The Lancet*, 382 (9904), 1564-1574.
- Deng, Y., Guo, C., Zhang, H., Yin, X., Chen, L., Wu, D. ve Xu, J., 2020, Occurrence and removal of illicit drugs in different wastewater treatment plants with different treatment techniques, *Environmental Sciences Europe*, 32 (1), 1-9.
- Drugs, E. M. C. f. ve Addiction, D., 2016, European drug report 2016: trends and developments, Office for Official Publications of the European Communities, p.
- Drugs, E. M. C. f. ve Addiction, D., 2018, European Drug Report 2018: Trends and Developments. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- EMCDDA, 2020, European Drug Report 2020: Trends and Developments.
- Gagné, F., Blaise, C., Fournier, M. ve Hansen, P., 2006, Effects of selected pharmaceutical products on phagocytic activity in *Elliptio complanata* mussels, *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 143 (2), 179-186.
- Gheorghe, A., van Nuijs, A., Pecceu, B., Bervoets, L., Jorens, P. G., Blust, R., Neels, H. ve Covaci, A., 2008, Analysis of cocaine and its principal metabolites in waste and surface water using solid-phase extraction and liquid chromatography–ion trap tandem mass spectrometry, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 391 (4), 1309-1319.
- González-Mariño, I., Quintana, J. B., Rodríguez, I. ve Cela, R., 2010, Determination of drugs of abuse in water by solid-phase extraction, derivatisation and gas chromatography–ion trap-tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*, 1217 (11), 1748-1760.
- González- Mariño, I., Baz- Lomba, J. A., Alygizakis, N. A., Andrés- Costa, M. J., Bade, R., Bannwarth, A., Barron, L. P., Been, F., Benaglia, L. ve Berset, J. D., 2020, Spatio- temporal assessment of illicit drug use at large scale: evidence from 7 years of international wastewater monitoring, *Addiction*, 115 (1), 109-120.
- Huerta-Fontela, M., Galceran, M. T. ve Ventura, F., 2007, Ultraperformance liquid chromatography– tandem mass spectrometry analysis of stimulatory drugs of abuse in wastewater and surface waters, *Analytical Chemistry*, 79 (10), 3821-3829.
- Hummel, D., Löffler, D., Fink, G. ve Ternes, T. A., 2006, Simultaneous determination of psychoactive drugs and their metabolites in aqueous matrices by liquid chromatography mass spectrometry, *Environmental science & technology*, 40 (23), 7321-7328.
- Ivanová, L., Mackuľak, T., Grabic, R., Golovko, O., Koba, O., Staňová, A. V., Szabová, P., Grenčíková, A. ve Bodík, I., 2018, Pharmaceuticals and illicit drugs—a new threat to the application of sewage sludge in agriculture, *Science of the Total Environment*, 634, 606-615.
- Kasprzyk-Hordern, B., Dinsdale, R. M. ve Guwy, A. J., 2008, Multiresidue methods for the analysis of pharmaceuticals, personal care products and illicit drugs in surface water and wastewater by solid-phase extraction and ultra performance liquid chromatography–electrospray tandem mass spectrometry, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 391 (4), 1293-1308.
- Lai, F. Y., Thai, P. K., O'Brien, J., Gartner, C., Bruno, R., Kele, B., Ort, C., Prichard, J., Kirkbride, P. ve Hall, W., 2013, Using quantitative wastewater analysis to

- measure daily usage of conventional and emerging illicit drugs at an annual music festival, *Drug and alcohol review*, 32 (6), 594-602.
- Li, S.-W., Wang, Y.-H. ve Lin, A. Y.-C., 2017, Ecotoxicological effect of ketamine: Evidence of acute, chronic and photolysis toxicity to *Daphnia magna*, *Ecotoxicology and environmental safety*, 143, 173-179.
- Mackuľak, T., Škubák, J., Grabic, R., Ryba, J., Birošová, L., Fedorova, G., Špalková, V. ve Bodík, I., 2014, National study of illicit drug use in Slovakia based on wastewater analysis, *Science of the Total Environment*, 494, 158-165.
- Mackuľak, T., Mosný, M., Škubák, J., Grabic, R. ve Birošová, L., 2015, Fate of psychoactive compounds in wastewater treatment plant and the possibility of their degradation using aquatic plants, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 39 (2), 969-973.
- Mackuľak, T., Bodík, I., Hasan, J., Grabic, R., Golovko, O., Vojs-Staňová, A., Gál, M., Naumowicz, M., Tichý, J. ve Brandeburová, P., 2016, Dominant psychoactive drugs in the Central European region: A wastewater study, *Forensic science international*, 267, 42-51.
- Mercan, S., Kuloglu, M., Tekin, T., Turkmen, Z., Dogru, A. O., Safran, A. N., Acikkol, M. ve Asicioglu, F., 2019, Wastewater-based monitoring of illicit drug consumption in Istanbul: Preliminary results from two districts, *Science of the Total Environment*, 656, 231-238.
- Nas, B., Dolu, T., Ateş, H., Argun, M. E. ve Yel, E., 2017, Treatment alternatives for micropollutant removal in wastewater.
- Ort, C., Van Nuijs, A. L., Berset, J. D., Bijlsma, L., Castiglioni, S., Covaci, A., de Voogt, P., Emke, E., Fatta-Kassinos, D. ve Griffiths, P., 2014, Spatial differences and temporal changes in illicit drug use in Europe quantified by wastewater analysis, *Addiction*, 109 (8), 1338-1352.
- Pal, R., Megharaj, M., Kirkbride, K. P. ve Naidu, R., 2012, Fate of 1-(1', 4'-cyclohexadienyl)-2-methylaminopropane (CMP) in soil: Route-specific by-product in the clandestine manufacture of methamphetamine, *Science of the Total Environment*, 416, 394-399.
- Pal, R., Megharaj, M., Kirkbride, K. P. ve Naidu, R., 2013, Illicit drugs and the environment—a review, *Science of the Total Environment*, 463, 1079-1092.
- Postigo, C., de Alda, M. J. L. ve Barceló, D., 2008, Analysis of drugs of abuse and their human metabolites in water by LC-MS2: a non-intrusive tool for drug abuse estimation at the community level, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 27 (11), 1053-1069.
- Scott, T., Janusz, A., Perkins, M., Megharaj, M., Naidu, R. ve Kirkbride, K., 2003, Effect of amphetamine precursors and by-products on soil enzymes of two urban soils, *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 70 (4), 0824-0831.
- Skees, A. J., Foppe, K. S., Loganathan, B. ve Subedi, B., 2018, Contamination profiles, mass loadings, and sewage epidemiology of neuropsychiatric and illicit drugs in wastewater and river waters from a community in the Midwestern United States, *Science of the Total Environment*, 631, 1457-1464.
- Steffel, J., Verhamme, P., Potpara, T. S., Albaladejo, P., Antz, M., Desteghe, L., Haeusler, K. G., Oldgren, J., Reinecke, H. ve Roldan-Schilling, V., 2018, The 2018 European Heart Rhythm Association Practical Guide on the use of non-vitamin K antagonist oral anticoagulants in patients with atrial fibrillation, *European heart journal*, 39 (16), 1330-1393.

- Thomaidis, N. S., Gago-Ferrero, P., Ort, C., Maragou, N. C., Alygizakis, N. A., Borova, V. L. ve Dasenaki, M. E., 2016, Reflection of socioeconomic changes in wastewater: licit and illicit drug use patterns, *Environmental science & technology*, 50 (18), 10065-10072.
- Thomas, K. V., Bijlsma, L., Castiglioni, S., Covaci, A., Emke, E., Grabic, R., Hernández, F., Karolak, S., Kasprzyk-Hordern, B. ve Lindberg, R. H., 2012, Comparing illicit drug use in 19 European cities through sewage analysis, *Science of the Total Environment*, 432, 432-439.
- TUBİM, 2020, İçişleri Bakanlığı, Emniyet Genel Müdürlüğü, NDB Türkiye Uyuşturucu ve Uyuşturucu Bağımlılığı İzleme Merkezi.
- Valcárcel, Y., Martínez, F., González-Alonso, S., Segura, Y., Catalá, M., Molina, R., Montero-Rubio, J., Mastroianni, N., De Alda, M. L. ve Postigo, C., 2012, Drugs of abuse in surface and tap waters of the Tagus River basin: heterogeneous photo-Fenton process is effective in their degradation, *Environment International*, 41, 35-43.
- van Nuijs, A. L., Castiglioni, S., Tarcomnicu, I., Postigo, C., de Alda, M. L., Neels, H., Zuccato, E., Barcelo, D. ve Covaci, A., 2011, Illicit drug consumption estimations derived from wastewater analysis: a critical review, *Science of the Total Environment*, 409 (19), 3564-3577.
- Wang, Z., Xu, Z. ve Li, X., 2019, Impacts of methamphetamine and ketamine on *C. elegans*'s physiological functions at environmentally relevant concentrations and eco-risk assessment in surface waters, *Journal of hazardous materials*, 363, 268-276.
- Yadav, M. K., Short, M. D., Aryal, R., Gerber, C., van den Akker, B. ve Saint, C. P., 2017, Occurrence of illicit drugs in water and wastewater and their removal during wastewater treatment, *Water research*, 124, 713-727.
- Yin, X., Guo, C., Teng, Y. ve Xu, J., 2019, Development and application of the analytical method for illicit drugs and metabolites in fish tissues, *Chemosphere*, 233, 532-541.
- Zuccato, E., Chiabrando, C., Castiglioni, S., Calamari, D., Bagnati, R., Schiarea, S. ve Fanelli, R., 2005, Cocaine in surface waters: a new evidence-based tool to monitor community drug abuse, *Environmental Health*, 4 (1), 14.
- Zuccato, E., Chiabrando, C., Castiglioni, S., Bagnati, R. ve Fanelli, R., 2008, Estimating community drug abuse by wastewater analysis, *Environmental health perspectives*, 116 (8), 1027-1032.