
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

HASTANE ATIKSULARININ ARITIMI VE YÖNETİMİ

Muharrem Barış PEKCAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞUBAT 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Muharrem Barış PEKCAN

03/02/2022

HASTANE ATIKSULARININ ARITIMI VE YÖNETİMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Muharrem Barış PEKCAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2022

ÖZET

Son yıllarda tüm Dünyada hastane atıklarının yönetimi konusundaki çalışmalara olan ilgi artmış olmasına rağmen, hastanelerden, medikal araştırma laboratuvarlarından, sağlık ocaklarından kaynaklanan atıksuların yönetimi ve arıtımı konusunda yeterli özen gösterilememiştir. Hastanede oluşan atıksuların kompozisyonu, evsel atıksulara benzer olmasına rağmen; ilaç aktif maddeler, diyagnostik tanı amaçlı kullanılan çok sayıda farklı nitelikte kimyasallar ve dezenfektanlar ile kirlenmesinden dolayı, bünyesinde birçok kimyasal madde barındırabilmektedir. Hastane atıksularının yönetilebilirliği ile ilgili uygulamalar incelendiğinde, belirli bir standart olmadığı ve ülkelere göre değişiklik gösterdiği görülmektedir. Hastanelerden kaynaklanan atıksular evsel atıksuya benzer şekilde değerlendirilmektedir ve çoğunlukla herhangi bir ön işlem uygulamadan doğrudan kanalizasyona verilerek uzaklaştırılmaktadır. Bu tez çalışmasında dört farklı pilot sağlık kuruluşundan mevsimsel olarak alınan numuneler konvansiyonel parametreler ve ağır metaller açısından analiz edilmiştir. Analiz çalışmaları yapılan hastane atıksularının kompozisyonları Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nin Tablo 25'inde bulunan kanalizasyon ve derin deniz deşarjı limit değerleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen bu veriler doğrultusunda, Ülkemizde faaliyet gösteren hastane atıksularının karakterizasyonunun pilot ölçekte incelenmesi sağlanmış ve mevcut uygulamaların Yönetmeliklerimiz çerçevesinde değerlendirmesi yapılmıştır. Tez çalışmasının ikinci basamağında ise, hastane laboratuvar atıksularının karakterizasyonu belirlenmeye çalışılmış ve pilot ölçekli ön arıtım çalışması gerçekleştirilerek söz konusu arıtılmış atıksuların kanalizasyon deşarj standartları ile karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, hastane atıksularındaki atıksu kirletici kompozisyonları, atıksu kirliliği açısından hastane laboratuvar ve tanı merkezlerinde oluşan atıksuların kirlilik yükleri ve bu tür atıksuların ön arıtıma tabi tutulması ile hastane atıksularının kanalizasyon atıksu deşarj limitlerini sağlama kapasitesi değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu : 90319
Anahtar Kelimeler : Hastane atıksuyu, hastane atıksu arıtımı, atıksu yönetimi
Sayfa Adedi : 89
Danışman : Prof. Dr. Beril SALMAN AKIN

TREATMENT AND MANAGEMENT OF HOSPITAL WASTEWATER

(M. Sc. Thesis)

Muharrem Barış PEKCAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2022

ABSTRACT

Despite the increasing interest in studies on the management of hospital wastes all over the world in recent years, not enough attention is paid to the management and purification of wastewater originating from hospitals, medical research laboratories and health centers. Although the composition of the wastewater generated in the hospital is similar to the domestic wastewater; It can contain many chemical substances due to its contamination with active pharmaceutical substances, many chemicals and disinfectants used for diagnostic purposes. When the practices related to the manageability of hospital wastewater are examined, it is seen that there is no specific standard and it varies according to the countries. Wastewater from hospitals is treated similarly to domestic wastewater and is mostly disposed directly into sewers without any pre-treatment. In this thesis, seasonal samples taken from four different pilot health institutions were analyzed in terms of conventional parameters and heavy metals. The compositions of the hospital wastewaters for which analysis studies were conducted were compared with the sewage and deep sea discharge limit values in Table 25 of the Water Pollution Control Regulation. In line with these data obtained, the characterization of hospital wastewater operating in our country was examined on a pilot scale and the current practices were evaluated within the framework of our regulations. In the second step of the thesis study, the characterization of hospital laboratory wastewaters was tried to be determined and a pilot scale purification study was carried out to compare the treated wastewater with sewage discharge standards. In line with the results obtained, the wastewater pollutant compositions in the hospital wastewater, the pollution loads of the wastewater generated in the hospital laboratories and diagnostic centers in terms of wastewater pollution, and the capacity of the hospital wastewater to meet the sewage wastewater discharge limits by purification of such wastewater were evaluated.

Science Code : 90319

Key Words : Hospital wastewater, hospital wastewater treatment, wastewater management

Page Number : 89

Supervisor : Prof. Dr. Beril SALMAN AKIN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana yol gösteren, tez konumu öneren, bilgi birikimi ile çalışmalarımın her aşamasında fazlasıyla yardımcı olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Beril SALMAN AKIN 'a, eğitim öğrenim hayatım boyunca üzerimde emeği olan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmamın yürütülmesi ve yönlendirilmesinde bana yardımcı olan birim amirlerime ve mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Eğitim hayatımda ve bugünlere gelmemde sonsuz emek ve desteği bulunan annem Kadriye PEKCAN'a, babam Bilal PEKCAN'a ve ailemin bütün bireylerine teşekkür ederim.

Her zaman manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim Fatma PEKCAN'a sevgileriyle beni besleyen oğlum Abdullah Yusuf PEKCAN'a ve kızım Asya PEKCAN'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iiv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ iix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

SİMGELER VE KISALTMALAR xii

1. GİRİŞ 1

2. GENEL BİLGİLER 3

2.1. Hastane Atıksuları 3

2.1.1. Hastane atıksuları kaynakları 3

2.1.2. Hastane atıksuları miktarları ve içeriği 6

2.1.3. Hastane atıksuları ve kentsel atıksuların kirleticiler yönünden karşılaştırılması 10

2.2. Hastane Atıksularının Çevresel Etkileri 11

2.3. Hastane Atıksularının Yönetimi 13

2.4. Hastane Atıksularında Yasal Durum 17

3. HASTANE ATIKSULARININ ARITIMI 23

3.1. Fizikokimyasal Arıtma 25

3.2. Membran Biyoreaktörler 25

3.3. Elektrokoagülasyon 27

3.4. İleri (üçüncül) Arıtma 28

Sayfa

3.5. Ozonlama 29
3.6. Atıksuların Nötralizasyonu 30
3.7. Arıtma Teknolojilerinin Değerlendirilmesi 31
3.8. Hastanelerde Tanı/Tetkik Merkezlerinin Atıksuları 40
3.8.1. Laboratuvarlar-Analizörler 41
3.8.2. Endoskopi ünitesi 44
3.8.3. Sterilizasyon ünitesi 44
3.8.4. Ameliyathane 45
4. LİTERATÜR TARAMASI 49
5. MATERYAL VE METOT 53
5.1. Çalışma Alanı 53
5.2. Numune Alma Ve Analiz Parametreleri 54
5.3. OXI-NR BIOGUARD Laboratuvar Atıksuları Ön Arıtım Sistemi 60
6. BULGULAR ve TARTIŞMA 65
6.1. Hastane Atıksularının Kanalizasyona Deşarjı Açısından Değerlendirmesi 65
6.2. Laboratuvar Atıksuları Ön Arıtım Performans Değerlendirmesi 71
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 77
KAYNAKLAR 81
EKLER 87
EK-1. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı İzin Yazısı 88
ÖZGEÇMİŞ 89

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Evsel, kentsel ve hastane atıksuları arasındaki karşılaştırma 11

Çizelge 2.2. Ülkemizdeki hastanelerin bağlı olduğu arıtma tesislerinin sayıca arıtma ve deşarj durumu..... 16

Çizelge 2.3. Kanalizasyon deşarj standartlarının karşılaştırılması. 19

Çizelge 2.4. Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ikincil arıtıma ilişkin deşarj limitleri.. 21

Çizelge 2.5. Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ileri arıtıma ilişkin deşarj limitleri..... 21

Çizelge 3.1. Bazı bileşiklerin ozonlama ve ileri oksidasyon prosesleri ile arıtma verimleri.. 29

Çizelge 3.2. Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıksuların artırılmasında kullanılan teknolojiler ve bu teknolojilerin konvansiyonel parametreler açısından giderim verimleri 34

Çizelge 3.3. Hastanelerde kullanılan ve atıksu oluşturan analizörler/cihazlar (Ülkemizde en yaygın kullanılan cihaz modellerine göre). 46

Çizelge 5.1. Çalışma kapsamında yapılan analizler ve test metodu. 59

Çizelge 6.1. Hastane dört dönem numunelerinin analiz sonuçları ortalama karakterizasyonu SKKY Tablo 25'e göre karşılaştırması. 66

Çizelge 6.2. Hastane laboratuvar atıksuları konvasiyonel parametrelere göre karakterizasyonu ve ön arıtım verimi. 73

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Sağlık kuruluşları atıksuların kaynakları ve çıkan atıksuyun özellikleri..... 5

Şekil 2.2. Almanya'da farklı iki hastanenin su kullanımı..... 8

Şekil 2.3. Sağlık kuruluşlarında su kullanımının dağılımı..... 8

Şekil 2.4. Amerika'daki hastanelerde su kullanımı 9

Şekil 2.5. Su tüketiminin hastane birimlerine göre dağılımı 9

Şekil 2.6. Hastane atıksuyunun toplanması ve çevredeki yayılımı..... 13

Şekil 2.7. Doğal sulara gelen atıksu kaynakları..... 14

Şekil 2.8. Hastanelerin bağlı olduğu düşünülen arıtma tesislerinin sayıca durumu 15

Şekil 2.9. Alıcı ortam olarak denize deşarj eden tesislerin arıtma durumu 16

Şekil 2.10. Ülkemizdeki mevcut hastanelerin atıksularının gittiği kabul edilen arıtma tesislerinin deşarj durumu 17

Şekil 3.1. 1995-2015 yılları arasında hastane atıksularının arıtılması için yapılan araştırmaların dünya haritası 24

Şekil 3.2. Hastane laboratuvarlarında atıksuları doğrudan lavaboya giden analizörler.... 41

Şekil 3.3. Hastane laboratuvarlarında atıksuları bidon yardımıyla toplanan analizörler.. 42

Şekil 3.4. Hastane laboratuvarlarında hem yıkama sularını hem de analiz sırasında oluşan sıvı atıkları (konsantre sıvı atık) ayrı toplayabilen ve bünyesinde 2 ayrı atık toplama kabı bulunduran cihaz 42

Şekil 3.5. Mikrobiyoloji laboratuvarında kullanılan Siemens BN II nefelometre cihazı iş akış şemas..... 43

Şekil 3.6. Patoloji laboratuvarında kullanılan Becton Dickinson boyama cihazı iş akış şeması. 43

Şekil 3.7. Patoloji laboratuvarında kullanılan Leica Bond Max immünohistokimya cihazı iş akış şeması 43

Şekil 3.8. Endoskopi ünitesinde kullanılan skop yıkama cihazı iş akış şeması..... 44

Şekil 3.9. Sterilizasyon ünitesi yıkama işlemi iş akış şeması 45

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.10. Ameliyathane ünitesinde atıksu oluşumu iş akış şeması..... 45

Şekil 3.11. Hastanede birimlere göre atıksu toplama noktaları 47

Şekil 5.1. Konya şehir hastanesi genel görünümü 54

Şekil 5.2. Üniversite hastanesinden ve merkez laboratuvarından alınan atıksu numunesi 55

Şekil 5.3. Devlet hastanesinden alınan atıksu numunesi 55

Şekil 5.4. Araştırma hastanesinden alınan atıksu numunesi 56

Şekil 5.5. Konya Şehir Hastanesi merkez laboratuvarı görünümü 57

Şekil 5.6. Enfekte sıvı atık ana toplama tankı ve OXI-NR BIOGUARD cihazı görüntüsü..... 61

Şekil 5.7. Konya Şehir Hastanesi OXI-NR BIOGUARD Ön Arıtım Sistemi Proses Akım Şeması. 62

Şekil 6. 1. Konvansiyonel parametreler için üretilen dağılım ve kümelenme grafikleri.. 70

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
$CaCO_3$	Kalsiyum Karbonat
$CaSO_4$	Kalsiyum Sülfat
ClO_2	Klor Dioksittir
CO_2	Karbondioksit
H_2O_2	Hidrojen Peroksit
L	Litre
m^3	Metreküp
Ml	Mililitre
µm	Mikrometre
NaOCl	Sodyum Hipoklorit
TiO_2	Titanyum Dioksit
%	Yüzde

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
AÇP	Aktif Çamur Prosesi
AKM	Askıda Katı Madde
AH	Araştırma Hastanesi
AS	Aktif çamur
ASKİ	Ankara Su Kanalizasyon İdaresi
AYY	Atık Yönetimi Yönetmeliği
BOI	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CAS	Konvansiyonel aktif çamur
CW	Yapay sulak alan
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

Kısaltmalar	Açıklamalar
DH	Devlet Hastanesi
EPA	Çevre Koruma Ajansı
E.COLİ	Escherichia Coli
FL	Flotasyon
GAC	Granül aktif karbon
KAAY	Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği
KOI	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
İSKİ	İstanbul Su Kanalizasyon İdaresi
MBR	Membran Biyoreaktör
MBBR	Hareketli yatak biyofilm reaktörler
ML	Merkez Labaratuvar
MLSS	Mixed Liquor Suspended Solids
NF	Nanofiltrasyon
O3	Ozonlama
PAC	Toz aktif karbon
RO	Ters Osmoz
Sand Filt	Kum filtrasyonu
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
UF	Ultrafiltrasyon
UV	Ultraviyole
ÜH	Üniversite Hastanesi
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Su tüketimi ve dünya nüfus oranları hızla artmaya devam ettikçe insanlığın yüz yüze geldiği gelecekteki zorluklardan biri su kıtlığıdır. Hastanelerde tedavi ve sterilizasyon amaçlı çok sayda kimyasal kullanılmaktadır. Kimyasal maddelerin bulunduğu bu hastane atıksuları önemli derecede çevreyi olumsuz etkilemektedir. Hastane atıksularının içeriği, patojenler, bakteriler, virüsler, ilaçlar vb. oluşmaktadır. Hastane atıksularının da diğer atık sular gibi alıcı sulara verilmeden önce arıtılması gereklidir. Atıksu arıtımında hedefler, kirlilik kontrolü yapmak, bulaşıcı ve kronik hastalıkları önlemek, çevreyi korumak ve suyu yeniden kullanmaktır. Hastane atıksuyu doğru şekilde arıtılırsa yeniden kullanılabilir (Dehghani, Seresht ve Hashemi, 2013).

Hastane atıksuları genel olarak birleşik kanalizasyon veya sıhhi depolama sahasında taşınmakta ve atıksu arıtma tesisinde arıtılmaktadır. Hastane atıksuları, metal oksitler, çeşitli birimlerden gelen tehlikeli sıvı atıkları, farmasötikler, radyoaktif atıklar, bakteriler, virüsler ve kan içerirler. Uygun şekilde arıtılmazsa, insan yaşamı ve çevre için tehdit oluşturabilir.

Çevre bilim insanları atıksuların arıtılmasında uygun yöntemler geliştirmek için çalışmalar yapmaktadırlar. Bu çalışmaların amacı, insan sağlığını ve alıcı su havzalarını korumaktır. Atıksuların arıtılması için birçok yöntemler mevcuttur.

Bu yöntemler; iyon değişimi, adsorpsiyon, koagülasyon-flokülasyon, kimyasal oksidasyon, ters ozmoz, filtrasyon, ultrafiltrasyon vb. dir. Bunlar pahalı yöntemler olduğundan dolayı, çevre bilim insanları, arıtma proseslerin de pahalı sistemler yerine alternatif, etkili ve ucuz sistemler tercih etmektedirler (Qehremanli, 2019)

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Hastane Atıksuları

2.1.1. Hastane atıksuları kaynakları

Sağlık kuruluşlarında oluşan atıksuların kaynaklarını, insani faaliyetler ve hastanenin vermiş olduğu hizmete bağlı olarak laboratuvar ve tıbbı birimler oluşturmaktadır. Oluşan atıksuların genel içeriğine bakıldığında, dezenfektan-deterjan, dışkı, ilaç kalıntıları, ağır metal, organik parçacıklar (dışkı, kıl, tüy vb, gıda, kusmuk, kağıt, lifler), çözünebilir organik maddeler (üre, proteinler, ilaç), inorganik parçacıklar (kum, metal parçacıklar), çözünebilir inorganik malzeme (amonyak, siyanür, hidrojen sülfit, tiyosülfatlar) ve diğer maddeleri içermekle beraber, kompozisyonu oluşum kaynağına bağlıdır. Hastanelerde oluşum yerlerine göre atıksuların genel özellikleri aşağıda özetlenmiştir (Chartier ve diğerleri, 2014).

Genel tıbbı alanlar: Genel itibariyle evsel atıksu karakerizasyonu göstermekle birlikte, bazı servislerdeki (onkoloji, enfeksiyon hastalıkları) hastalardan kaynaklanan antibiyotik ve vb. maddeleri içerebilen idrar atıkları da bu kısımda yer almaktadır. Ayrıca bu atıksu içerisinde yüksek miktarda dezenfektanlar da bulunabilmektedir.

Mutfaklar: Bu birimde oluşan atıksular, genellikle gıda artıkları, gıda işleme atıkları ile birlikte yüksek konsantrasyonlarda dezenfektanlar ve deterjan içermektedir. Ayrıca bu atıksular, nişasta, yağ-gres gibi yüksek organik içeriğe sahip olduğundan atıksu yönetimi sırasında bir takım problem yaratma potansiyeline sahiptir.

Çamaşırhaneler: Gri suların en çok üretildiği bölüm olup, bu birimde oluşan atıksuların çoğunlukla yüksek sıcaklığa, yüksek pH değerine ve yüksek miktarda fosfat içeriğine sahip olabilmektedir.

Yoğun bakım ve ameliyathane üniteleri: Yüksek miktarda ilaç ve dezenfektanlar içermektedir. Ayrıca, vücut sıvılarının bertarafı ve bazı makine-ekipmanların yıkanması sebebiyle bu ünitelerde oluşan atıksular yüksek organik içeriğe sahip olabilmektedir.

Laboratuvarlar: Hastane atıksularındaki kimyasalların büyük bir bölümünü, laboratuvarlarda oluşan atıksular oluşturmaktadır. Bu atıksuların içeriğine bakıldığında, halojenli ve organik çözücüler, histoloji ve hematolojilerden gelen renklendiriciler (gram boyama), siyanürler (hematoloji), formaldehit ve ksilenler (patoloji) gibi kimyasal maddeleri içermektedir. Ayrıca, bu atıksularda, kan, idrar ve diğer vücut sıvıları da bulunabilmektedir.

Patoloji Laboratuvarı: Bu laboratuvarlarda yapılan iş genel olarak kan ve diğer vücut sıvılarını içerir. Rutin şekilde kullanılan kimyasallar ise glikoz, albümin, kalsiyum ve klor gibi maddelerdir. Laboratuvarda bulunan cihazların büyük bölümü otomatik olarak çalıştırıldığı için çok düşük miktarlarda numune ve kimyasal reaktifler kullanılmaktadır.

Hematoloji Laboratuvarı: Bu laboratuvarda bulunan hücre sıralama ve sayma aletleri için siyanür içeren hücre çözücü solüsyonlar kullanılmaktadır. Bu çözücü solüsyonlar analiz sırasında tuzlu suyla seyrelmekte olup çok küçük miktarlarda harcanmaktadır. Kromik asit solüsyonları ise cam malzemeyi temizlemek için kullanılan başka bir kimyasal maddedir. Bouin çözeltisi formaldehit içeren kemik iliği yıkama çözeltisi olup aynı zamanda koruyucu olarak da kullanılmaktadır. Kloroform ve metilen klorür gaz kromotografisi tarafından analiz edilecek olan kan ve ürin numunelerini ekstrate etmek için kullanılan başka bir kimyasaldır. Bunların yanı sıra Ksilen slayt temizleme ve ekstraksiyon amaçlı kullanılmaktadır.

Histopatoloji Laboratuvarı: Bu laboratuvarda örnek hazırlamak için koruyucu ve sabitleştirici olarak kullanılan glutaraldehit, formaldehit, alkoller, ksilen ve diğer çözücüler gibi tehlikeli maddeler kullanılmaktadır.

Mikrobiyoloji Laboratuvarı: Bu laboratuvarda kullanılan kimyasalların büyük bölümü slayt hazırlamak için kullanılmaktadır. Boyaların birçoğu ağır metal veya diğer tehlikeli kimyasallar içerir. Bu tür kimyasalları içeren boyaların yanı sıra hemotoksilin gibi birkaç boya ise cıva ihtiva etmektedir.

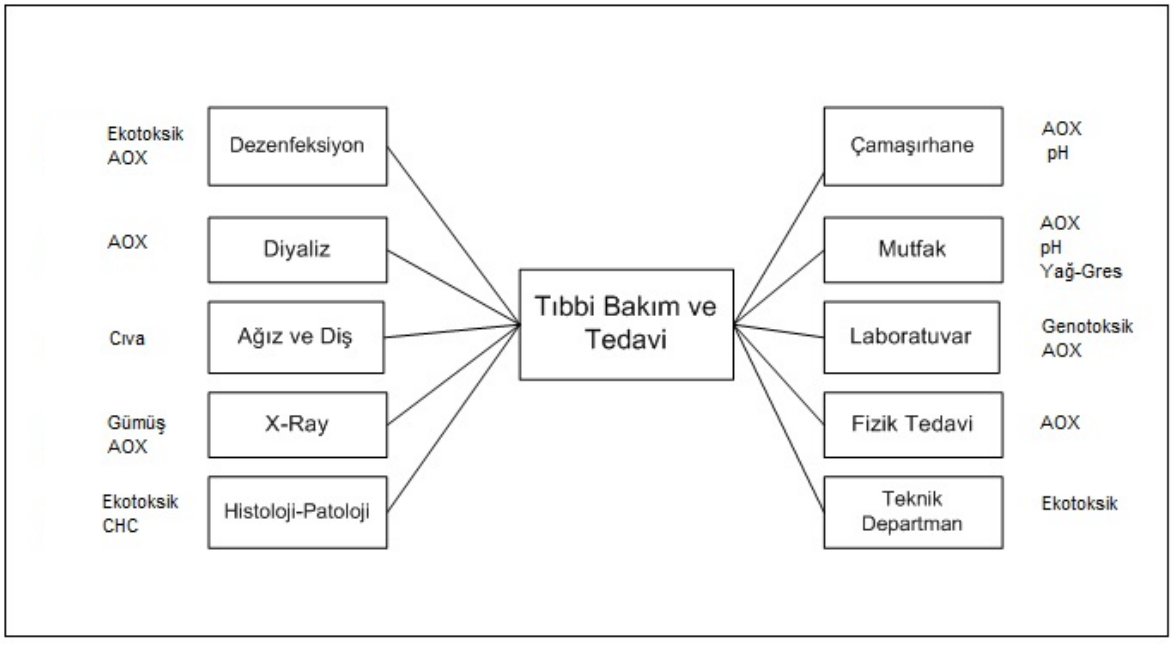
İmmün Tanı Laboratuvarı: Cıva, bakır ve sülfat gibi ağır metal içeren birçok slayt hazırlama çözeltisi bu laboratuvarda kullanılmaktadır.

Radyoloji: Bu bölümünden oluşan atıksular, genellikle gümüş gibi çeşitli kimyasal maddeler içermektedir. Birçok ülkede bu atıksuların kirliliğinin, dijital röntgen teknolojisi kullanımının artması nedeniyle azaldığı görülmektedir. Ayrıca, bu merkezde, MR çekimlerinde radyo aktif olmayan gadolinyum, tomografi çekimlerinde ise teknesyum (Tc-99) bazlı kontrast maddeler kullanılmaktadır.

Diş üniteleri: Bu ünitede oluşan atıksular, diş dolgu yapımı sırasında amalgam dolgu kullanılması sebebiyle cıva içermektedir. Bununla birlikte, son yıllarda amalgam dolgu uygulamalarının azaldığı bilinmektedir.

Merkezi sterilizasyon ünitesi: Bu ünitelerde oluşan atıksular, aldehit esaslı dezenfektan çözücülerinin ana kaynağını oluşturmaktadır. Temizleme ve sterilizasyon makinelerinden gelen atıksular, atıksudaki kimyasal kirliliğin artmasına neden olabilmektedir.

Yapılan bir çalışmada, hastane atıksu kaynakları dezenfeksiyon, diyaliz, ağız ve diş sağlığı, X-Ray görüntüleme, Histoloji/patoloji laboratuvarı, fizik tedavi, diğer laboratuvarlar ve teknik bölüm olarak belirtilmiştir (Şekil 2.1.). (ÇŞB, 2018)



Şekil 2.1. Sağlık kuruluşları atıksuların kaynakları ve çıkan atıksuyun özellikleri (ÇŞB, 2018)

2.1.2. Hastane atıksuları miktarları ve içeriği

Hastanelerde gerçekleştirilen faaliyetlere bağlı olarak önemli miktarda su tüketimi meydana gelmektedir. Oluşan atıksu miktarı yatak sayısı, hastanenin yaşı, hastanede mevcut genel servisler (çamaşırhane, yemekhane, havalandırma gibi), mevcut birimlerin sayısı ve tipi, iklim, kültürel ve coğrafik şartlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Verlicchi, Galletti, Petrovic ve Barcelo, 2010).

Sağlık kuruluşları su tüketiminin yoğun olduğu kuruluşlardır. Bu kuruluşlarda oluşan atıksu miktarı, sağlık kuruluşunun verdiği hizmete, yatak kapasitesine, su kaynaklarının erişilebilirliğine, iklime, yerel su kullanım uygulamalarına göre değişiklik göstermekte birlikte 400-1200 L/yatak.gün arasında olduğu görülmektedir. Bu kuruluşlarda oluşan atıksuları, iki ana başlık altında sınıflandırmak mümkündür. Mutfak, çamaşırhane, tuvaletler gibi genel hizmetlerin oluşturduğu atıksular evsel atıksu olarak, hastanenin vermiş olduğu hizmet doğrultusunda laboratuvar ve tıbbı birimlerin oluşturduğu atıksular ise sağlık kuruluşlarına özgü spesifik atıksular olarak nitelendirilebilir (Mauer, 2011).

Günlük akış hızına paralel olarak sabah 08:00-16:00’ da su tüketimi artarken, gece 01:00-08:00’ de su tüketimi azalmaktadır. Yatak sayısı, hastane yaşı, suya erişebilirlik, mevcut yapıdaki mutfak, çamaşırhane, havalandırma gibi genel hizmetler, hasta koğuşu veya ünite sayısı ve tipi, çevre korumasında kurum yönetim politikaları, iklim, kültürel ve coğrafi faktörlere bağlı olarak da atıksu miktarı değişmektedir. Hastane atıksuları laboratuvarlar, araştırma birimleri, ameliyathaneler, hastaların ilaç kullanımları ve poliklinikler gibi pek çok kaynaktan gelen ve geniş konsantrasyon aralığında bulunan makro ve mikro kirleticileri içermektedir (Verlicchi ve diğerleri, 2010).

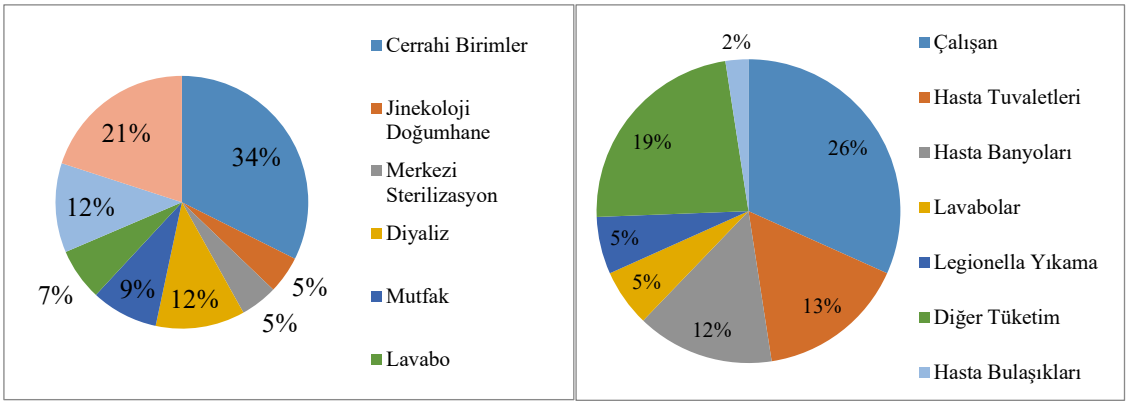
Hastaneler 200-1200 L/yatak.gün arasında değişen su tüketimlerine sahiptir (Boillot ve diğerleri, 2008, Verlicchi ve diğerleri, 2010). Amerika’da yatak başına günlük ortalama su tüketimi 968 L olarak gerçekleşmektedir. Fransa’da üniversite hastanelerinde günlük ortalama su tüketimi 750 L dir. Gelişmekte olan ülkelerde ise bu değer 500 L civarındadır. Bu yüksek miktarlardaki tüketim yüksek miktarda atıksu oluşumuna sebep olmaktadır (Emmanuel, Perrodin, Keck, Blanchard ve Vermande, 2005).

Sağlık kuruluşlarında oluşan atıksu miktarını belirlemenin en iyi yolu, bu kuruluşlardaki su tüketim miktarının ölçülmesidir. Gelişmiş ülkelerde, ikincil ve üçüncül düzeydeki hastanelerde atıksu üretimi, genel olarak her yatan hastanın su tüketimleri dikkate alınarak belirlenmektedir. Buna göre, günlük olarak küçük ölçekli bir hastane 300-500 litre/yatan hasta-gün, büyük ölçekli hastane 400-700 litre/ yatan hasta-gün ve üniversite hastanesi için ise 500–>900 litre/yatan hasta-gün olduğu vurgulanmıştır. Birinci basamak sağlık kuruluşlarında oluşan atıksu miktarı ise, yatan ve ayakta hasta sayılarının toplamı dikkate alınarak belirlenmektedir. Ayrıca, sağlık merkezlerindeki minimum su kullanımı 40-60 litre/yatak hasta-gün, 5 litre/ayakta hasta-gün ve 100 litre/cerrahi işlem olarak tespit edilmiştir. Su kaynaklarının yönetimindeki eksiklikler atıksu oluşumuna yol açarken, su tasarruf uygulamaları atıksu oluşumunu önemli derecede minimize etmektedir (WHO, 2014).

Hastanelerin su kullanımı ile ilgili Boillot ve diğerleri (2008) tarafından yapılan çalışmada, yatak başına günlük 400-1200 litre su kullanıldığı tespit edilmiştir. Almanya'da hastanelerde harcanan su miktarı 2011 de yapılan başka bir çalışmaya göre günlük yatak başına 130-1200 L arasında bulunmuştur. Bu aralık oldukça geniş olmakla beraber yatak sayısı ile su tüketimi arasında doğrudan bir ilişki olduğu belirtilmiştir. Ortalama olarak, günde yatak başına 300-600 litre veya günde hasta başına 300-1000 litre aralığı kabul edilir. Hastanelerde kişi başı ortalama günlük su kullanımı, konutlara göre ortalama 3 kat daha fazladır. Yapılan bir çalışmada, su tüketimi ve atıksu oluşum miktarları tahmin edilmeye ve hastanelerdeki su kullanımları farklı metotlar kullanılarak hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada yapılan kabullerde ise yatan hasta için günlük su kullanım miktarı ortalama 300 L/yatak.gün, Ayakta hasta için: 5-10 L/gün, Çalışan Personel için: 10-20 L/gün olarak alınmıştır (ÇŞB, 2018).

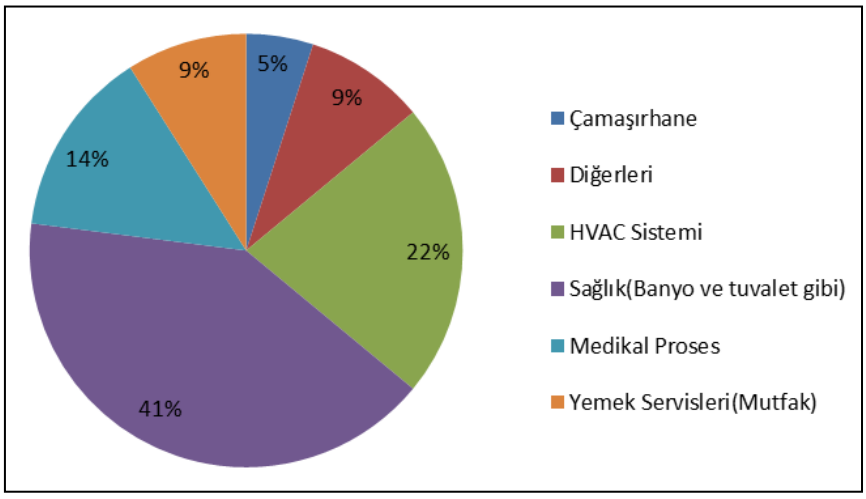
Hastanedeki su kullanım miktarları birimlerle eşleştirilmiş ve teknik alanda (yaklaşık%25-35), çamaşırhane (yaklaşık%10-15), mutfak (%5-10) ve cerrahi işlemler için oran %34 olarak belirlenmiştir (Mauer, 2011). Yapılan bir proje içeriğinde sağdaki su kullanımı daha az olan bir hastanede su tüketiminin dağılımı, Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Şekil 2.2. incelendiğinde, iki farklı hastanenin birimlere göre su tüketimleri yer almaktadır. Soldaki grafik, cerrahi işlemlerin yapıldığı ve daha kapsamlı bir hastaneye ait su kullanımının dağılımını göstermektedir. Tedavi ile ilgili alanlarda su tüketiminin yok denecek kadar az olduğu belirlenmiş ve sadece tipik sağlık (örneğin; Sterilizasyon İşlemleri veya

Laboratuvar Analizleri) işleri için gereken su ihtiyacının hastanede kullanılan suyun çok az bir kısmını oluşturduğu belirtilmiştir (ÇŞB, 2018).



Şekil 2.2. Almanya'da farklı iki hastanenin su kullanımı (ÇŞB, 2018)

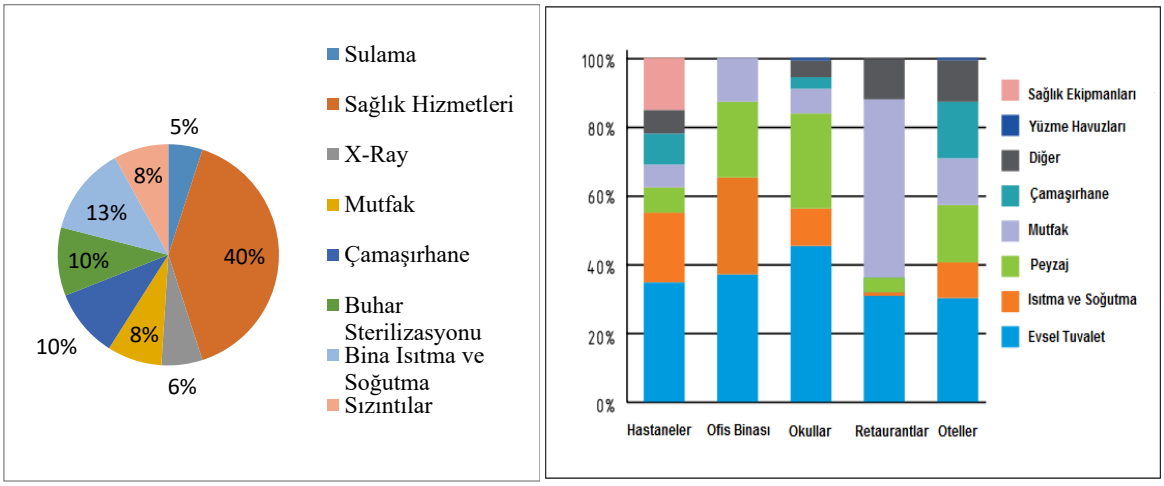
(ÇŞB, 2018) Projesinde yer alan başka bir çalışmada, sağlık kuruluşlarında su kullanımının dağılımı incelendiğinde, toplam su kullanımının %55'nin banyo-tuvalet, çamaşırhane ve mutfakta kullanıldığı, havalandırma ve iklimlendirme amaçlı su kullanımının toplam su kullanımı içinde önemli bir pay tuttuğu (%22), medikal proseslerde kullanılan su miktarının ise toplam su kullanımının %14'ü civarında olduğu Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Sağlık kuruluşlarında su kullanımının dağılımı (ÇŞB, 2018).

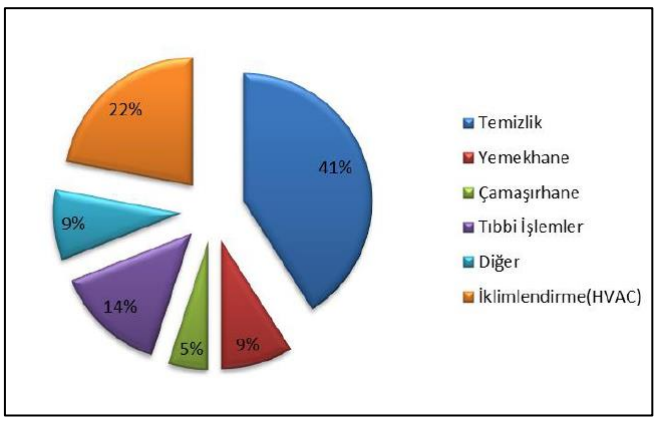
A.B.D. Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından yapılmış bir başka çalışmada, A.B.D.'deki hastanelerdeki su tüketimi değerlendirilmiş ve toplam su tüketiminin %40'ı sağlık hizmetleri için kullanılırken, iklimlendirme (%15), çamaşır (%10) , mutfak alanı (%8) ve

sulamada ise (%5) oranında su kullanımı olduğu bildirilmiştir (EPA, 2012) (Şekil 2.4. a). Amerika'daki kamu binaları ile hastanelerdeki su kullanımı dağılımının karşılaştırılmasının yapıldığı çalışmada (Şekil 2.4. b), incelenen hastane, ofis binası, okul, restoran ve otellerdeki evsel nitelikli su kullanım oranı birbirine yakın bulunmuştur. Bina içinde, diğer önemli su tüketim alanları, çamaşırhane, mutfak ve iklimlendirme olmuştur.



Şekil 2.4. Amerika'daki hastanelerde su kullanımı (EPA, 2012)
a) Hastane birimlere göre su dağılımı
b) Hastanelerdeki su kullanımı dağılımının diğer kurum ve kuruluşlardaki su kullanımı dağılımı ile karşılaştırılması.

Şekil 2.5.'de A.B.D.'nin Massachusetts eyaletindeki, 7 (1 merkezde büyük hastane, 1 uzun süreli bakım evi, 4 kasaba hastanesi ve 1 kırsal alan hastanesi) hastanede yapılan çalışma sonucunda elde edilen verilere göre hastane birimlerindeki su tüketim oranları gösterilmiştir. Çalışmada incelenen hastanelerin yatak kapasitesi 138-550 yatak aralığında değişmektedir ve yıllık hasta kabulü 5".100-11.600 aralığındadır (MWRA 2021).



Şekil 2.5. Su tüketiminin hastane birimlerine göre dağılımı (MWRA 2021)

$BOİ_5$, KOİ, azot ve fosfor bileşikleri gibi makro kirleticilerden daha küçük miktardaki mikro kirleticiler, atıksu arıtma tesislerinde çözünürlük, uçuculuk, adsorplanabilirlik, biyoparçalanabilirlik, polarite ve stabilite gibi özellikleri etkileyen geniş spektrumda bileşikler içermektedirler (Verlicchi ve diğerleri, 2010).

İçme, yüzey ve yeraltı sularında artan şekilde tespit edilen farmasotikler, konvansiyonel arıtma tesislerinde yeterince giderilemediklerinden atıksu arıtma tesisi çıkış sularında da bulunmaktadırlar (Pauwels ve Verstraete, 2006, Escher ve diğerleri, 2011). Bu maddelerin çıkış sularındaki konsantrasyonları ng/L ile µg/L arasında değişebilir (Verlicchi ve diğerleri, 2010). Yapılan çalışmalar sonucunda, ilaç atıklarının sadece atıksularda değil sedimentlerde ve arıtma çamurlarında da biriktiği görülmüştür. Buna ilave olarak antibiyotikler ve dezenfektanlar atıksu arıtma proseslerini ve yüzeysel sulardaki mikrobiyal ekolojiyi yok edebilmektedir (Kümmerer, 2001, Gültekin, Gür ve Özcan 2004)

Hastane atıksuları genel itibariyle, hastane laboratuvarlarından gelebilecek ani deşarjların dikkate alınmaması durumunda, orta kuvvetli evsel atıksularına benzer niteliktedir. Hastane atıksularının bir diğer önemli özelliği ise gerek laboratuvarlarda kullanılan kimyasallar ve gerekse hastane içerisinde sıkça yapılmakta olan temizlik ve sterilizasyon işlemleri sonucunda kanalizasyona verilen dezenfektanların çokluğudur. Hastane atıksuları bünyesinde bulundurduğu zehirli kimyasal maddeler açısından da oldukça önemlidir. Özellikle hastane laboratuvarlarında yapılan tahliller, araştırmalar ve bulgular sırasında atık oluşturan kan, vücut atıkları, ilaçlar, kimyasallar, tıbbi cihaz atıkları, radyoaktif maddeler ve kitler, aletlerin sterilizasyonu ve dezenfeksiyonunda kullanılan dezenfektanlar ve laboratuvar atıksularında bulunan metal ve ağır metal iyonları çevre için en önemli kirletici unsurlar arasında yer almaktadır. Kirleticilerin büyük çoğunluğu arıtma sistemlerindeki biyolojik aktiviteyi rahatlıkla inhibe edebilecek kabiliyete sahip olduğu için hastane atıksularında sözü edilen bu kirletici miktarlarının bilinmesi gerekmektedir (Altın, Değirmenci ve Altın, 1999).

2.1.3. Hastane atıksuları ve kentsel atıksuların kirleticiler yönünden karşılaştırılması

Hastane atıksuları üzerine yapılan çalışmalardan, bu atıksuların genellikle evsel nitelikte olduğu ve $BOİ_5$, KOİ, AKM, TOK gibi parametreler ile karakterize edildiği görülmektedir.

Emmanuel ve diğerleri (2004) tarafından yapılan deneysel çalışmalardan, kentsel ve hastane atıksularındaki makro kirleticilere ait ortalama değerler Çizelge 2.1' de verilmiştir.

Hastane atıksularını anlamak için derinlemesine bir karakterizasyon çalışması gerekmektedir (Boillot ve diğerleri, 2008). Bu atıksuların spesifik kirletici yükü ve mikro kirletici miktarı kentsel atıksulara göre daha yüksektir. Ayrıca bu atıksular bir dizi arıtma sistemi ile ayrı arıtılmalıdır. En etkin arıtma yöntemini belirlemek için daha ileri çalışmalar gerekmektedir (Verlicchi ve diğerleri, 2010).

Çizelge 2.1. Evsel, kentsel ve hastane atıksuları arasındaki karşılaştırma (Verlicchi ve diğerleri, 2010).

Parametre	Birim	Evsel ve Hastane Atıksuyu Yaklaşık Aralıkları (EPA,1989b)	Evsel ve Hastane Atıksuyu Yaklaşık Aralıkları (Metcalf and Eddy, 1991)	Hastane Atıksuyunun Fizikokimyasal Karakterizasyonu (Emmanuel ve diğerleri., 2004)	Hastane Atıksuyu Ortalama Konsantrasyonu (Verlicchi ve diğerleri, 2010)	Kentsel Atıksu Ortalama Kons. (Verlicchi diğerleri, 2010)
pH	-	-	-	8,4±0.3	8	7.5
Klorür	mg/L	-	30-100	185±90.4	200	50
AKM	mg/L	60-200	100-350	225±64	160	60
KOI	mg/L	150-800	250-1000	638±435	500	170
TOK	mg/L	50-300	80-290	218±78	-	-
BOI_5	mg/L	-	110-400	-	200	90
KOI/TOK	-	-	-	3.43±0.92	-	-
Redoks Potansiyeli	mV	-	-	-	890	100
TKN	mg/L	-	-	-	33	45
Toplam Fosfor	mg/L	-	-	-	4	7
Yağ ve Gres	mg/L	-	-	-	25	75
Toplam Yüzey Aktif Madde	mg/L	-	-	-	4.5	5
E.Coli	Adet/100 mL	-	-	-	10^4	10^5
Fekal Koliform	Adet/100 mL	-	-	-	10^5	10^7
Toplam Koliform	Adet/100 mL	-	-	-	10^6	10^8

2.2. Hastane Atıksularının Çevresel Etkileri

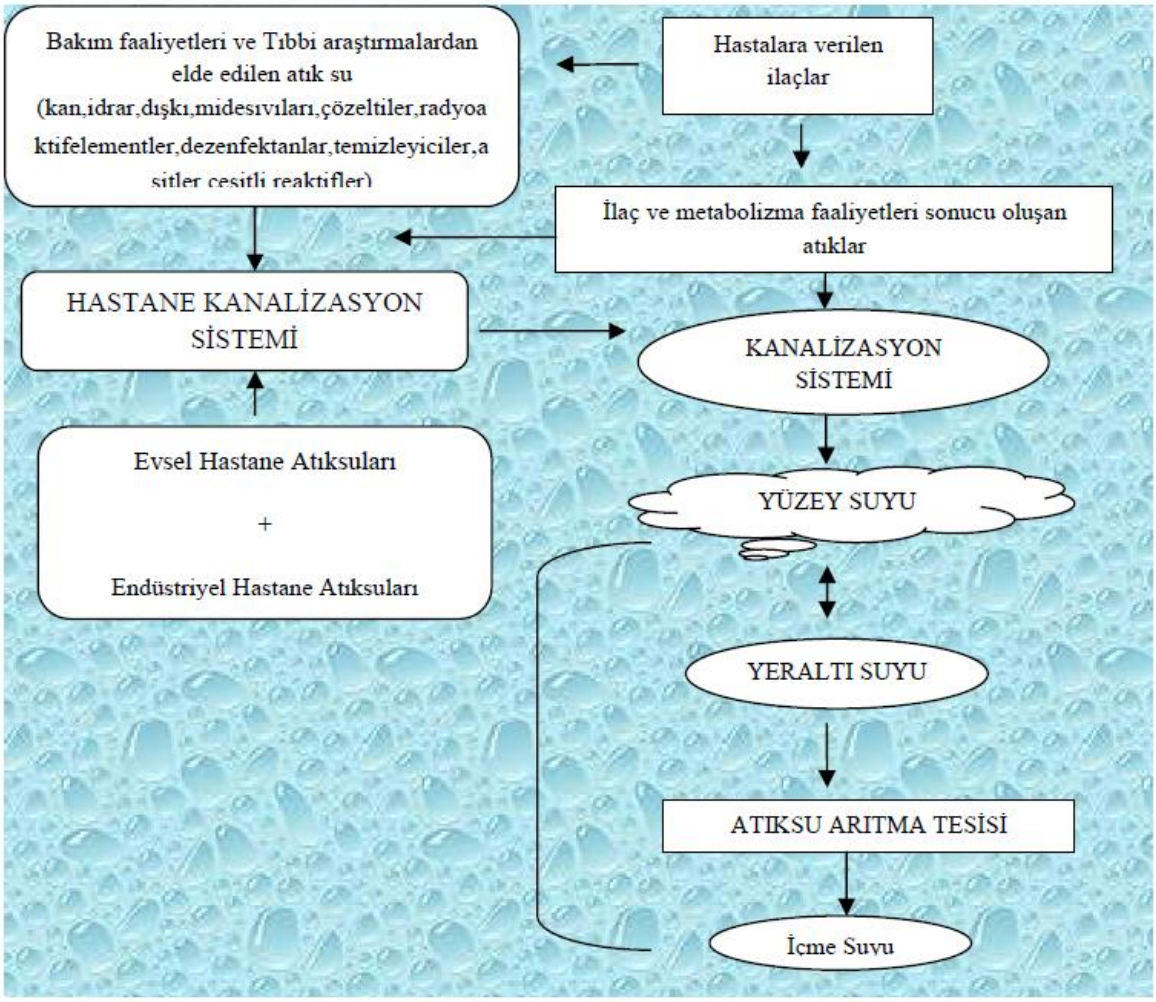
Hastane atıksuyu, doğal sucul ekosistemler, kirlilik, çevre ve insan için önemli bir sağlık sorunudur. Dezenfektanlar, ilaç radyonüklidler ve solventler, tıbbi amaçlar ve araştırma hastanelerinde yaygın olarak kullanılırlar. Sanayileşmiş ülkelerde kullanım sonrası, bu maddelerin bazıları, hastane atıkları ile birleşip, belediye kanalizasyon şebekesine ulaşmaktadır. Bazı gelişmekte olan ülkelerde, hastane atıksuları genellikle difüzyon kuyuları ile donatılmış septik tanklarla deşarj edilmektedir. Hastane faaliyetlerden

kaynaklanan kimyasal bileşiklerin doğal ortama deşarjı, su kaynaklarında kirlilik ve insan sağlığı için risklere yol açabilir (Emmanuel, Pierre ve Perrodin, 2009).

Hastane atıksularında patojenik mikroorganizmalar, radyoaktif elementler, kimyasal etkileri olan toksik maddeler, ilaç atıkları yüklü miktarda bulunur. Hastane kökenli kirleticilerde anti tümör ilaçlar, antibiyotikler gibi bazı maddelerin AOX gibi organohalojen bileşikleri herhangi bir bozulma olmadan çoğunlukla atıksu arıtma tesislerini terk eder. Atıksu arıtma tesisinden bırakılan bu kimyasallar biyolojik dengeyi bozarak doğal çevrenin kirlenmesine neden olur. Bu durumda bu maddelerle karşı karşıya kalan canlı türlerinin üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır (Emmanuel, Perrodin, Keck, Blanchard ve Vermande, 2002). Çevresel kirlenmeyi önlemek için hastane atıksuları arıtılmalıdır (Berto ve diğerleri, 2009).

Hastane atıksuları birçok kimyasal bileşiklerin kaynağını temsil eder. Çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sebep olabilirler. Son yıllarda gözlenen kanser vakalarındaki artışa, atıksularda bulunan bazı genotoksik maddelerin neden olduğu söylenebilir. Atıksuların kontrolü, enfeksiyon ve çevresel kontrol programları düzenli bir şekilde hastaneler tarafından yapılmalıdır (Jolibois ve Guerbet, 2006).

Şekil 2.6.'da hastane atıksuyunun toplanması ve çevredeki yayılımı diyagram olarak verilmiştir. Evsel hastane atıksuları ve endüstriyel hastane atıksuları kanalizasyon sistemine verilir. Ayrıca hastalara verilen ilaçlar, bakım faaliyetleri ve tıbbi araştırmalardan elde edilen atıksular (kan, idrar, dışkı, mide sıvıları, çözeltiler, radyoaktif elementler, dezenfektanlar, temizleyiciler, asitler, çeşitli reaktifler) hastane kanalizasyon sistemine verilmektedir. Kanalizasyona verilen atıksular yüzey suyuna oradan yeraltı sularına kadar ulaşır. Ayrıca yüzey ve yeraltı sularından içme suyu arıtma tesisine ulaşan bu tür kirleticiler arıtma tesislerinin arıtma kapasitesine etki ederek kirlilik yükü oluştururlar. Arıtılmadan sistemi terk eden ve içme sularına ulaşan bu tür kirleticiler halk sağlığı açısından önemli riskler oluşturmaktadır (Emmanuel ve diğerleri, 2002).



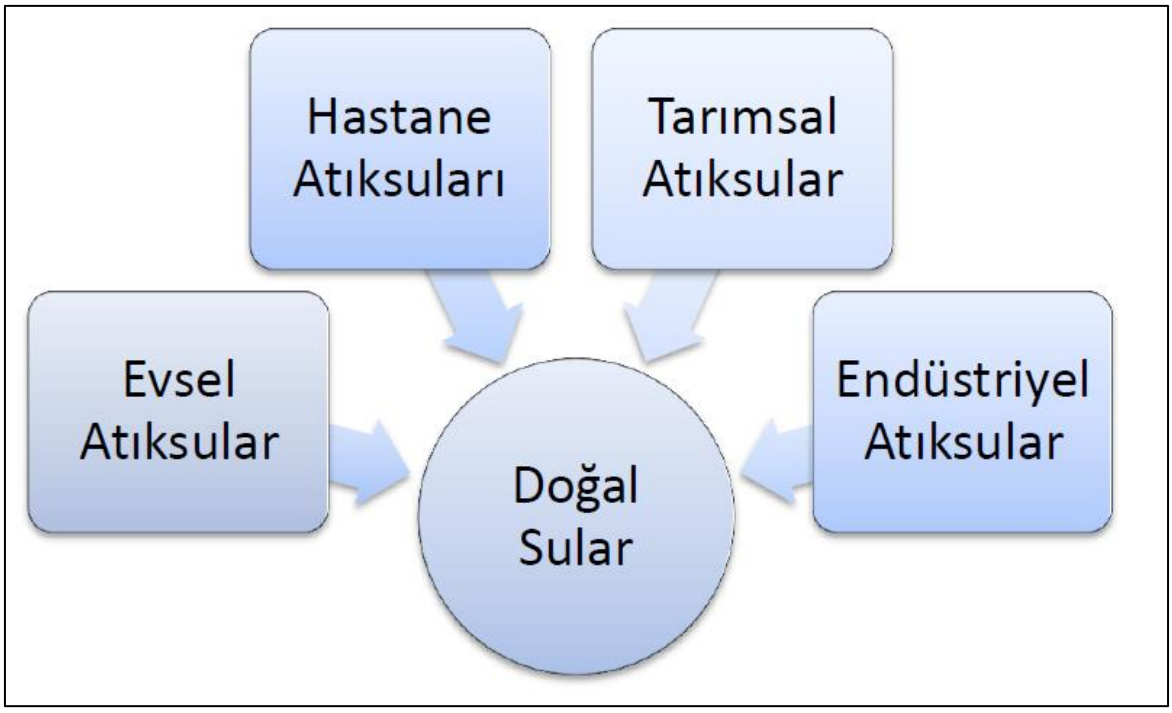
Şekil 2.6. Hastane atıksuyunun toplanması ve çevredeki yayılımı (Emmanuel ve diğerleri, 2002).

2.3. Hastane Atıksularının Yönetimi

Son yıllarda nüfusun artması ve buna bağlı olarak hasta sayısının artması ile daha çok hastane atıksuyu oluşmaktadır. Bu sebeple hastanelerde tedavi edilen hasta sayısının artması, buna bağlı olarak atıksuların artması ve ilaç endüstrisinde araştırmaların artış eğiliminde olması ortaya çıkan tıbbi kaynaklı bu kirliliğin kontrol edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Şekil 2.7.'de doğal sulara ulaşan ve kirlilik oluşumuna neden olan kaynaklar gösterilmiştir. Önceki yıllarda hastaneler farklı bir kaynak olarak değil evsel atıksu grubu içerisinde değerlendirilmekteydi. Ancak son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar artık hastanelerin de bir endüstri gibi farklı kirlilik kaynaklarına sahip atıksu kaynağı olarak kabul görmesi

gerektiğini vurgulamaktadır. Mevcut sistemlerde hastane atıksuyu ayrı toplanamadığı ve herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan evsel atıksularla karıştırıldığı için içeriğindeki özel kirleticiler alıcı ortamlara ulaşmaktadır. Bu durum ekosistemi olumsuz yönde etkilemektedir (Marcos, 2014).

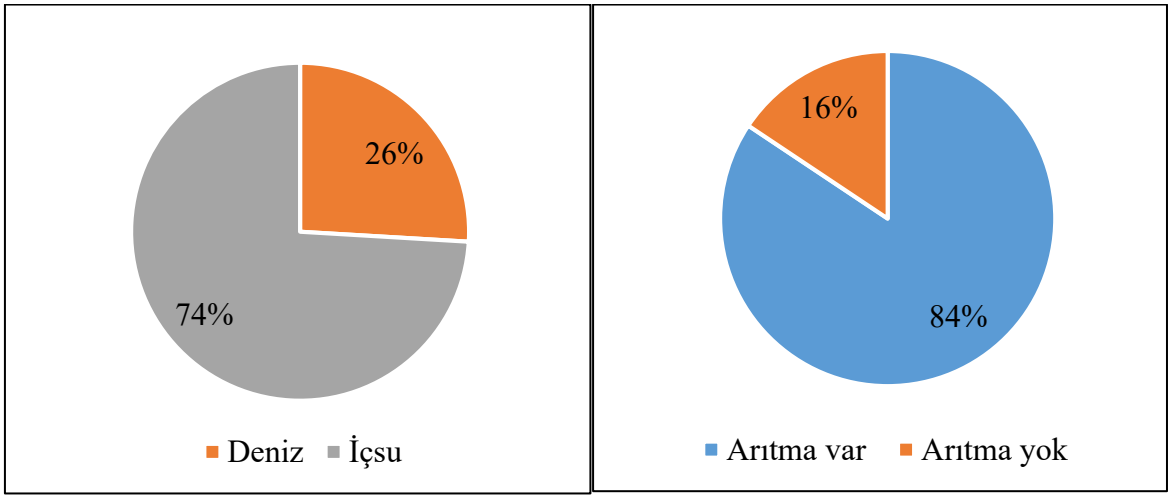


Şekil 2.7. Doğal sulara gelen atıksu kaynakları (Marcos, 2014)

Ülkemizde sağlık kuruluşlarının %99' u oluşan tıbbi sıvı atıklarını herhangi bir işleme tabi tutmadan kanalizasyona vermektedirler. Mevcut durumda hastanelerce sıvı atıklar için uygulamalar şunlardır; büyük tanklarda çamaşır suyu içerisinde bekletme, küçük miktarlar için yapılan klor tableti ilave edilmesi ve sadece nötralizasyon işleminin uygulanmasıdır (Top, 2016).

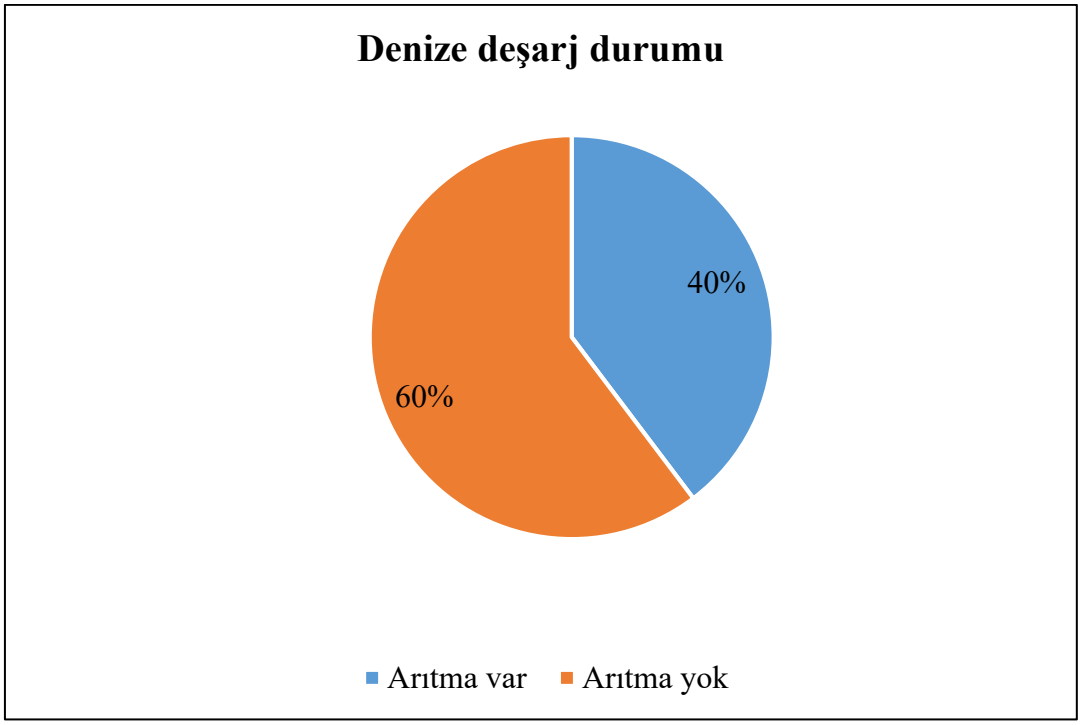
Ülkemizdeki mevcut hastaneler, çoğunlukla şehir merkezlerinde yer almaktadır. Bu yüzden hastane atıksularının büyük bir kısmı kanalizasyon sistemi ile taşınıp, kanalizasyon sistemi sonunda arıtma tesisi var ise arıtıldıktan sonra, denize veya iç suya deşarj edilmektedir. Ülkemizdeki 1500 hastanenin bağlı bulunduğu arıtma tesislerinin ne kadarının atıksularını denize, ne kadarının iç suya deşarj ettiği tahmin edilmiştir. Öncelikli olarak ülkemiz genelindeki arıtma tesisleri bilgileri ile hastane bilgileri CBS ortamına aktarılmış, ardından, hastanenin CBS ortamında kendisine en yakın arıtma tesisi tespit

edilerek, hastanenin atıksularının bu arıtma tesisine verdiği kabulü yapılmıştır. Buna göre, ülkemizdeki hastanelerin bağlı olduğu düşünülen arıtma tesislerinin Şekil 2.8'de görüldüğü üzere sayıca yaklaşık %26'sı atıksularını denize, %74'ü iç suya (göl, dere, ırmak, nehir vb.) deşarj etmektedir. Alıcı ortamın iç su olduğu arıtma tesislerinin tamamında en az ikincil seviyede arıtma olduğu görülmektedir. Bir başka ifadeyle, 1500 hastanenin sayıca yaklaşık %84'ünün atıksuları arıtıldıktan sonra deşarj edildiği Şekil 2.8'de verilmiştir. Debi olarak da %84'e karşılık gelmektedir (ÇŞB, 2018).



Şekil 2.8. Hastanelerin bağlı olduğu düşünülen arıtma tesislerinin sayıca durumu (ÇŞB, 2018).
a) arıtma tesisi deşarj yeri b) arıtma durumu

Hastane atıksularının deşarj edildiği arıtma tesislerinde, alıcı ortam olarak denize deşarj eden tesislerin sayıca %40'ının en az ikincil seviyede arıtma yaptığı (toplamın %10'u), yaklaşık %60'nın (toplamın %16'sı) ise ya doğrudan derin deniz deşarjı (3 adet) ya da fiziksel ön arıtma yaparak derin deniz deşarjı yaptığı Şekil 2.9'da görülmektedir. Bir başka ifadeyle, hastanelerin sayıca yaklaşık %16'sının en az ikincil arıtmaya tabi tutulmadan derin deniz deşarjı ile alıcı ortama ulaştığı tahmin edilmektedir. Debi olarak da toplam hastane atıksuyunun %16'sına karşılık gelmektedir (ÇŞB, 2018).



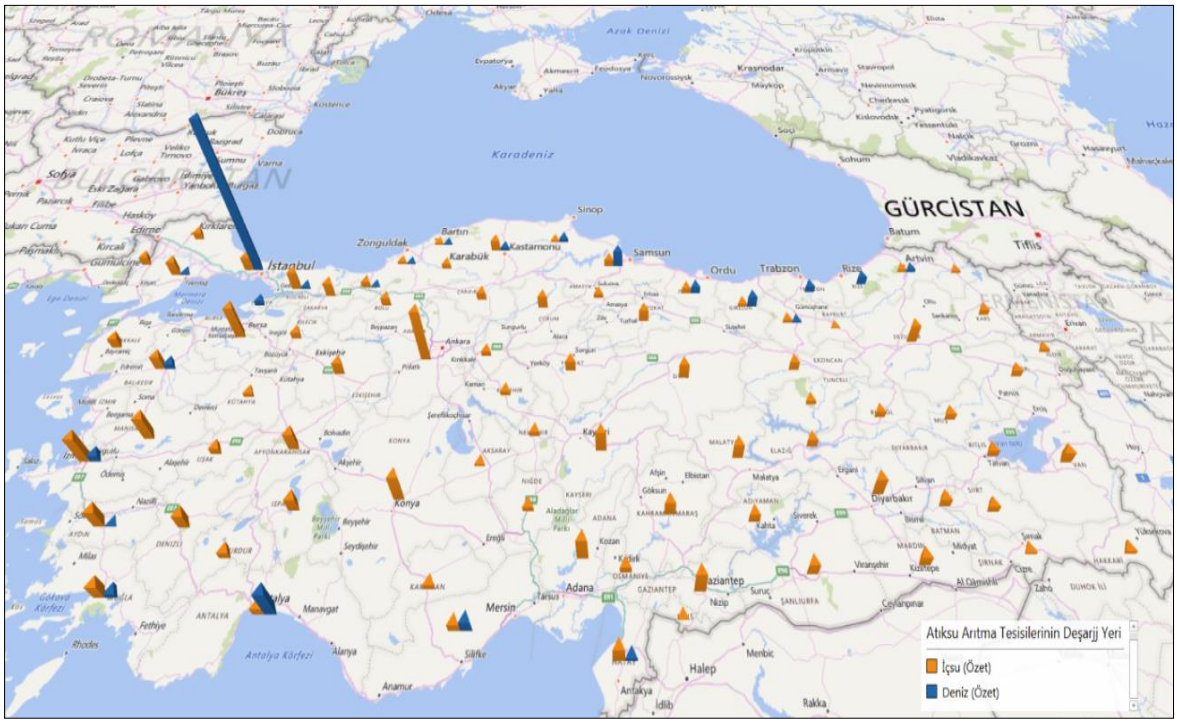
Şekil 2.9. Alıcı ortam olarak denize deşarj eden tesislerin arıtma durumu (ÇŞB, 2018)

Hastanelerin bağlı olduğu düşünülen arıtma tesislerine ait bilgiler, Çizelge 2.2.'de sunulmuştur (ÇŞB, 2018).

Çizelge 2.2. Ülkemizdeki hastanelerin bağlı olduğu arıtma tesislerinin sayıca arıtma ve deşarj durumu (ÇŞB, 2018)

Arıtma durumu	Deşarj Durumu		Genel Toplam
	Deniz	İçsu	
Arıtma var	10,30%	74,06%	84,36%
Biyolojik Arıtma	0,23%	31,43%	31,65%
Biyolojik Arıtma + Derin Deniz Deşarjı	1,95%	-	1,95%
Doğal Arıtma (Yapay Sulak Alan)	-	4,89%	4,89%
Elektroflokülasyon	0,08%	-	33,61%
İleri Biyolojik Arıtma	0,83%	32,78%	6,99%
İleri Biyolojik Arıtma + Derin Deniz Deşarjı	6,99%	-	0,30%
Kimyasal Arıtma + Biyolojik Arıtma	-	0,30%	0,15%
Modüler Biyolojik Arıtma	-	0,15%	1,35%
Paket Biyolojik Arıtma	-	1,35%	3,38%
Stabilizasyon Havuzu	0,23%	3,16%	0,08%
Arıtma yok	15,64%	-	15,64%
Derin Deniz Deşarjı	0,23%	-	0,23%
Fiziksel Arıtma + Derin Deniz Deşarjı	15,41%	-	15,41%
Genel Toplam	25,94%	74,06%	100,00%

Atıksuları alıcı ortam olarak denize ulaşan hastaneler, deniz kenarında bulunan İstanbul, İzmir, Muğla, Antalya, Samsun, Ordu, Giresun, Trabzon ve Rize gibi illerde yer almaktadır (Şekil 2.10.) (ÇŞB, 2018).



Şekil 2.10. Ülkemizdeki mevcut hastanelerin atıksularının gittiği kabul edilen arıtma tesislerinin deşarj durumu (ÇŞB, 2018)

2.4. Hastane Atıksularında Yasal Durum

Faaliyet ve üretimleri nedeniyle atıksuların oluşumuna yol açan konutlar, ticari binalar, endüstri kuruluşları, maden ocakları, cevher yıkama ve zenginleştirme tesisleri, kentsel bölgeler, tarımsal alanlar, sanayi bölgeleri, tamirhaneler, atölyeler, hastaneler ve benzeri kurum, kuruluş ve işletmeler ve alanlar atıksu kaynakları olarak tanımlanmaktadır.

Bunlardan;

a) Her atıksu havzasında, atıksu debisi veya herhangi bir kirlilik parametresi itibariyle (kg/gün) veya başka uygun bir birim cinsinden ifade edilen kirletici yükü o havzada kanalizasyon sisteminin taşıdığı toplam debi ve kirletici yükünün % 1 inden fazla olan veya endüstriyel atıksularda günlük debisi 50 m^3 den daha fazla olan veya tehlikeli ve zararlı atıklar içeren endüstriyel atıksu kaynakları önemli kirletici atıksu kaynaklarını,

b) Atıksu debisi 50 m^3/gün den daha düşük olan ve içerdiği herhangi bir kirlilik parametresinin türü ve miktarı itibariyle önemli kirletici kaynak özelliğini taşımayan atıksu kaynakları ise küçük atıksu kaynaklarını tanımlamaktadır.

Arıtılmış olsun olmasın, atıksuların doğrudan veya dolaylı olarak alıcı ortama (sulamadan dönen drenaj sularının kıyıdan veya uygun mühendislik yapıları kullanılarak toprağa sızdırılması hariç) veya sistemli bir şekilde yeraltına boşaltılmasını deşarj olarak tanımlanmaktadır.

Yaygın olarak yerleşim bölgelerinden ve çoğunlukla evsel faaliyetler ile insanların günlük yaşam faaliyetlerinin yer aldığı okul, hastane, otel gibi hizmet sektörlerinden kaynaklanan atıksularını evsel atıksu olarak tanımlamaktadır (SKKY, 2004).

Hastane atıksularının alıcı ortama deşarjında SKKY'e göre sektör belirlemesi yapılmamıştır. Dolayısıyla alıcı ortam deşarj standartları bulunmamaktadır. Hastane atıksularının kanalizasyon şebekesine deşarjında ise; SKKY gereğince ilgili atıksu alt yapı yönetiminin belirlediği deşarj standartlarına göre kanalizasyona deşarj etmektedir. Aşağıdaki Çizelge 2.3.'te yer aldığı üzere Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği kanalizasyona deşarj standartları, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Su Ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Genel Müdürlüğü ve kanalizasyona deşarj standartları ve Ankara Büyükşehir Belediyesi Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi (ASKİ) Genel Müdürlüğü kanalizasyona deşarj standartları standartlarının karşılaştırılması yer almaktadır.

Evsel Nitelikli Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları incelendiğinde Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'nin "Kentsel Atıksu Arıtımı" başlıklı 3. bölümünde yer alan "EK IV'de yer alan Tablo 1'deki alıcı ortama deşarj kriterlerini sağlayacak şekilde tasarlanır." hükmü gereğince aşağıda yer alan Çizelge 2.4. belirtilen alıcı ortam deşarj standartlarına göre tasarlanır. Atıksu arıtma tesisinin deşarj edeceği alanın Hassas alanda yer alması durumunda "Ötrofikasyona maruz hassas alanlara yapılan boşaltımlarda, ilave olarak EK IV'de yer alan Tablo 2'de gösterilen şartlara da tabi olarak yapılır." hükmü gereğince ilave Çizelge 2.5. belirtilen alıcı ortam deşarj standartlarına göre tasarlanır.

Çizelge 2.3. Kanalizasyon deşarj standartlarının karşılaştırılması.

	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY) Tablo 25		T.C. İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Su Ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Genel Müdürlüğü Atıksuların Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliği		T.C. Ankara Büyükşehir Belediyesi Ankara Su Ve Kanalizasyon İdaresi (ASKİ) Genel Müdürlüğü Atıksuların Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliği
Parametre	Kanalızasyon Sıstemlerı Tam Arıtma Ile Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesıslerında	Kanalızasyon Sıstemlerı Derın Denız Deşarjı Ile Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesıslerında	Kanalizasyon Sistemleri Tam Arıtma İle Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesislerinde	Kanalizasyon Sistemleri Ön Arıtma + Derin Deniz Deşarjı İle Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesislerinde	Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Standartları
Sıcaklık (˚C)	40	40	50	50	40
pH	6.5-10.0	6.0-10.0	6-12	6-12	6.5-10.0
Askıda katı madde (mg/L)	500	350	500	350	400
Yağ ve gres (mg/L)	250	50	150	50	200
Katran ve petrol kökenli yağlar (mg/L)	50	10	-	-	50
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	4000	600	1000	600	1000
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı ($BOİ_5$) (mg/L)	-	400	-	-	500
Sülfat ($SO_4^{=}$) (mg/L)	1700	1700	1700	1700	1000
Toplam sülfür (S) (mg/L)	2	2	2	2	2
Fenol (mg/L)	20	10	10	10	10
Serbest klor (mg/L)	5	5	-	-	5
Toplam azot (N) (mg/L)	- (a)	40	-	-	60
Toplam fosfor (P) (mg/L)	- (a)	10	-	10	20
Arsenik (As) (mg/L)	3	10	3	10	3
Toplam siyanür (Toplam CN^-) (mg/L)	10	10	10	10	10
Toplam kurşun (Pb) (mg/L)	3	3	3	3	3
Toplam kadmiyum (Cd) (mg/L)	2	2	2	2	2
Toplam krom (Cr) (mg/L)	5	5	5	5	5
Toplam civa (Hg) (mg/L)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Toplam bakır (Cu) (mg/L)	2	2	5	5	2
Toplam nikel (Ni) (mg/L)	5	5	5	5	5
Toplam çinko (Zn) (mg/L)	10	10	10	10	5
Toplam kalay (Sn) (mg/L)	5	5	-	-	5

Çizelge 2.3. (devam) Kanalizasyon deşarj standartlarının karşılaştırılması.

Toplam gümüş (Ag) (mg/L)	5	5	-	-	5
Cl^- (Klorür) (mg/L)	10000	-	15000	-	5000
Florür (F) (mg/L)	-	-	-	-	50
Deterjan (mg/L)	-	-	-	-	5
Krom +6 (Cr+6) (mg/L)	-	-	-	-	1
Alüminyum (Al) (mg/L)	-	-	-	-	2
Toplam demir (Fe) (mg/L)	-	-	-	-	5
Antimon (Sb) (mg/L)	-	-	-	-	3
Bor (B) (mg/L)	-	-	-	-	3
Metilen mavisi ile reaksiyon veren yüzey aktif maddeleri(MBAS) (mg/L)	Biyolojik olarak parçalanması Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır.				

SKKY: a) Bu parametrelere atıksu değerlendirilmesinde bakılmayacaktır.

b) Bünyesinde %2'den fazla inert KOİ içeren ve toplam KOİ değeri 5000 mg/L den fazla olan uvvetli organik atıksular için KOİ yerine $BOİ_5$ değeri esas alınır.

Çizelge 2.4. Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ikincil arıtıma ilişkin deşarj limitleri (KAAY, 2006)

Parametreler	Konsantrasyon (mg/l)	Minimum arıtma verimi (%)	Referans ölçüm metodu
Nitrifikasyonsuz Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (20^oC'de $BOİ_5$)	25 40 Madde 8 (c)	70-90 40 Madde 8 (c)	Homojen, filtre edilmemiş, çökeltilmemiş ham örnek. Tamamen karanlık ortamda $20^oC \pm 1^oC$'de beş günlük inkübasyondan önce ve sonra çözünmüş oksijenin ölçülmesi. Bir nitrifikasyon inhibitörünün ilavesi
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	125	75	Homojen, filtre edilmemiş, çökeltilmemiş ham örnek. potasyum dikromat yöntemi.
Toplam askıda katı madde (TAKM)	35 35 Madde 8 (c) (10000 E.N.'den fazla) 60 Madde 8 (c) (2000-10000E.N.)	90[2] 90 Madde 8 (c) (10000 E.N.'den fazla) 70 Madde 8 (c) (2000-10000 E.N.)	-Temsili örneğin 0,45 µm membran ile filtrasyonu. 105 ºC'de kurutulması ve tartılması. - Temsili örneğin santrifüj edilmesi (ortalama 2800- 3200 g.lık ivme ile en az beş dakika kadar),105 ºC'de kurutulması ve tartılması.

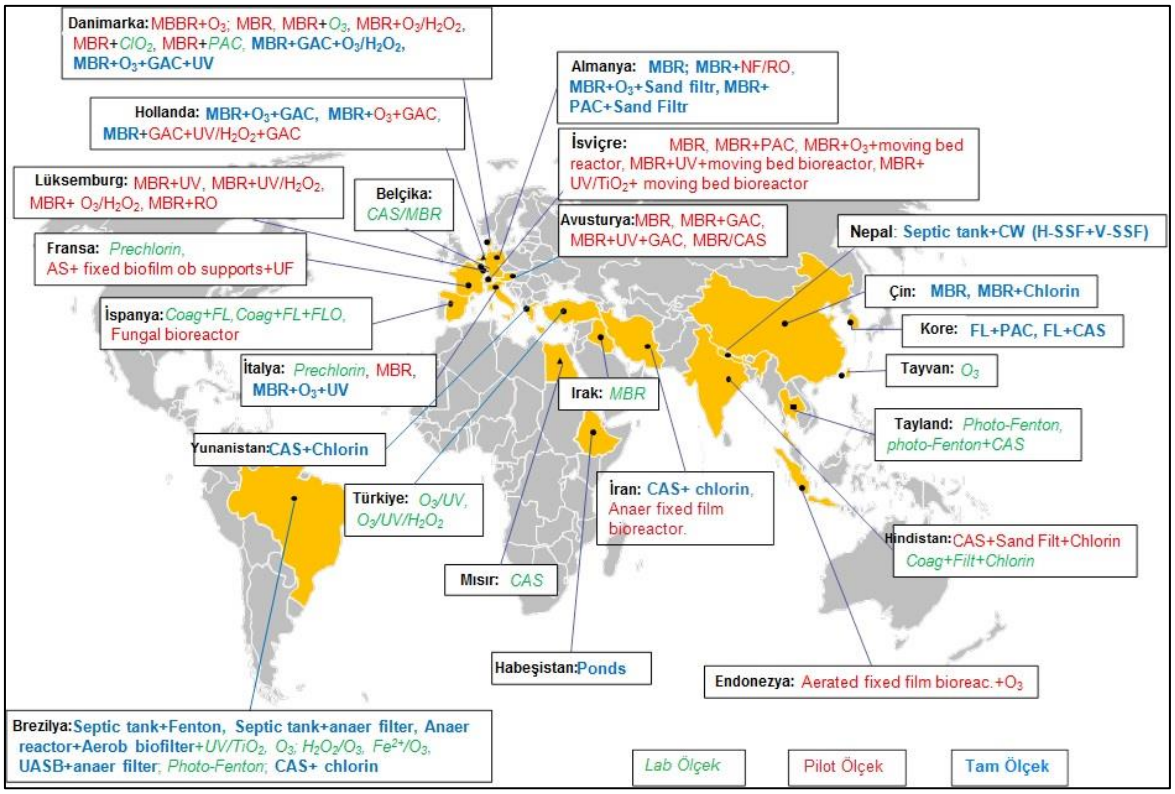
Çizelge 2.5. Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ileri arıtıma ilişkin deşarj limitleri (KAAY, 2006)

Parametreler	Konsantrasyon	Minimum arıtma verimi (%)	Referans Ölçüm Metodu
Toplam fosfor	2 mg/l P (10000-100000 E.N.) 1 mg/l P (100 000 E.N.'den fazla)	80	Moleküler absorpsiyon spektrofotometre
Toplam azot [1]	15 mg/l N (10000-100000 E.N.) 10 mg/l N (100 000 E.N.'den fazla)[2]	70-80	Moleküler absorpsiyon spektrofotometre

3. HASTANE ATIKSULARININ ARITIMI

Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıksularının arıtılmasında genel olarak uygulanan iki yaklaşım vardır. Bunlardan birincisi yerinde arıtma, ikincisi ise merkezi arıtmadır. Merkezi arıtma yönteminde, kuruluşta oluşan atıksular toplanarak sonu merkezi atıksu arıtma tesisinde sonlanan bir kanalizasyon sistemine deşarj edilmektedir. Merkezi olmayan, yani yerinde arıtma sistemlerinde ise atıksular kanalizasyona veya alıcı ortama deşarj edilmeden önce bir arıtma işlemine tabi tutulmaktadır. Hastane atıksuları KOİ, BOİ, AKM gibi temel su kalite parametreleri açısından kentsel atıksulara benzerlik gösterdiğinden dünyanın birçok ülkesinde genel olarak uygulanan yöntem kanalizasyona deşarj olmuştur. Hastane atıksularının arıtılmasında kullanılan arıtma teknolojileri; kimyasal çöktürme, koagulasyon-flokulasyon, yüzdürme, iyon değiştirme, elektrokimyasal arıtma, adsorpsiyon gibi arıtma tekniklerini içeren fiziko-kimyasal arıtma (birincil arıtma); aktif çamur, membran biyoreaktör, aerobik biyofilm reaktörler, anaerobik sistemler, sulak alanlar, stabilizasyon havuzları gibi biyolojik arıtma sistemlerini içeren biyolojik arıtma(ikincil arıtma); ozon, ultraviyole, hidrojen peroksit veya bu arıtma teknolojilerinin kombinasyonunu içeren ileri (üçüncül) arıtma olarak sıralanabilir.

Dünya genelinde hastane atıksuları ile yapılmış çalışmalar oldukça yaygındır. Verlicchi, Al Aukidy ve Zambello (2015) yaptığı değerlendirmede hastane atıksularının arıtılması için 1995-2015 yılları arasında dünya genelinde yapılan deneysel araştırmalar incelenmiştir (Şekil 3.1.) (Verlicchi ve diğerleri, 2015). Araştırma kapsamında tek başına aktif çamur prosesinin hastane atıksularının arıtılması çalışmalarında oldukça kısıtlı olduğu, fakat aktif çamur prosesi (AÇP) ve membran proseslerin bir kombinasyonu olan MBR'ların özellikle Avrupa genelinde yapılan çalışmalarda kullanıldığı dikkat çekmektedir. Ayrıca AÇP ile işletilen arıtma tesislerinin sonuna veya başına farklı ileri arıtma teknolojilerinin eklenip deneysel çalışmaların yürütüldüğü gözlenmektedir. Dünya haritasında, Türkiye'ye bakıldığında 2015 yılında uluslararası literatüre geçmiş yalnızca bir araştırma göze çarparken, 2018 yılına gelindiğinde bu çalışmaların sayısının ülkemizde de arttığı tespit edilmiştir (Verlicchi ve diğerleri, 2015).



Şekil 3.1. 1995-2015 yılları arasında hastane atıksularının arıtılması için yapılan araştırmaların dünya haritası (Verlicchi ve diğerleri, 2015).

Hastane atıksularının bünyesinde barındırabileceği kirleticiler değerlendirildiğinde, bu atıksuların doğrudan sucul ve karasal ekosisteme deşarjının mümkün olamayacağı, arıtma ile sonlanmış kentsel kanalizasyon sistemlerine deşarj edilmesinde arıtma tesisinin performansını olumsuz yönde etkileyebileceği ve özellikle mikro kirletici konumunda olan maddelerin klasik arıtma teknikleriyle arıtılabilirliğinin güç olduğu anlaşılmaktadır. Bundan dolayı günümüzde hastane atıksularının arıtımında yeni teknolojilerin kullanılmasına ihtiyaç duyulmuştur.

Bu yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir:

• Koagülasyon-flokülasyon, adsorpsiyon gibi fizikokimyasal yöntemler,
• Membran biyolojik reaktör sistemler,
• Ters osmoz,
• Nanofiltrasyon ,
• Ozonlama ve ileri oksidasyon prosesleridir (Qehremanlı, 2019).

3.1. Fizikokimyasal Arıtma

Fizikokimyasal arıtma fiziksel ve kimyasal arıtmanın birlikte yapıldığı arıtma sistemleridir. Kimyasal çöktürme, koagulasyon-flokulasyon, yüzdürme, iyon değiştirme, elektrokimyasal arıtma, adsorpsiyon gibi arıtma teknikleri en yaygın kullanılan fizikokimyasal proseslerdir (Kurniawan, Chan, Lo ve Babel, 2006).

Fizikokimyasal arıtma proseslerinin başlıcalarından olan koagülasyon-flokülasyon ve flotasyonun uygulama alanları; kanalizasyon sistemlerine deşarj öncesi endüstriyel atıksuların ön arıtımı, kentsel atıksuların ön ve üçüncül arıtımı ve içme suyu arıtma tesisleridir. Genel olarak koagülasyon- flokülayon prosesinin çoğu mikro kirleticilerin giderimi için etkili değildir (Nas, Dolu, Ateş, Argun ve Yel, 2017). Mikro kirleticiler bu proseslerle sadece sıvı fazdan katı faza geçiş yapmaktadır.

Suarez, Lema ve Omil (2009) yapmış oldukları çalışmada, hastane atıksuyundan 13 adet PPCP'nin giderimine yönelik koagülasyon-flokülasyon ve flotasyon proseslerinin uygulandığı bir çalışma yapmıştır. Ön arıtım süresince %92 oranında toplam askıda katı madde giderimi sağlanırken, misk kokuları da kesikli koagülasyon-flokülasyon prosesi süresince yüksek derecede elimine edilmiştir.

Hastane atıksularında koagulasyonflokulasyon ve yüzdürme ile ilgili yapılmış çalışmaya çok sayıda rastlanmamaktadır. Fizikokimyasal arıtmada öne çıkan arıtma proseslerinden birisi koagulasyon flokulasyon ve çöktürme işlemi gerçekleştirilen bir çalışmada, ham hastane atıksularına belli miktarlarda koagulant eklenmesi ile %70 üzerinde KOİ giderimleri gerçekleşmiştir. Bu işlemlerin ardından yapılan dezenfeksiyon işlemleri ile sadece mikroorganizmalar değil aynı zamanda KOİ konsantrasyonunda da azalma sağlanmıştır (Gautam, Kumar ve Sabumon, 2007 ; Verlicchi ve diğerleri, 2015).

3.2. Membran Biyoreaktörler

Membran biyoreaktörler (MBR), membran ve aktif çamur sisteminin kombinasyonu ile oluşturulur. Membran biyoreaktör konfigürasyonunda, atıksu havalandırma bölümünde biyolojik olarak parçalanabilen organik maddeler ve indirgenmiş azot bileşikleri okside edilerek arıtılır. Biyolojik arıtmadan sonra, çöktürme havuzu yerine ultrafiltrasyon veya

mikrofiltrasyon membranları kullanılarak ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Biyolojik olarak ayrışabilen maddeler uzaklaştırılabildiği gibi ayırma işlemini yapan ultrafiltrasyon veya mikrofiltrasyon membranları ile bazı mineraller de yüksek oranda giderilmektedir. Bununla beraber, oluşan konsantre akımın uzaklaştırılması problem teşkil etmektedir. Son yıllarda nanofiltrasyon ve ters osmoz membranlar kullanılarak membran biyoreaktör konfigürasyonları oluşturulmaktadır.

Aktif çamur sistemi ve membranın birleştirilmesi ile ortaya çıkan membran biyoreaktörler (MBR) oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. MBR sistemlerinden elde edilen çıkış suyu kalitesi klasik aktif çamur sistemleri ile elde edilememektedir. MBR'ler yüksek MLSS konsantrasyonlarına sahip olduklarından dolayı klasik aktif çamur sistemlerine göre daha küçük hacimde, daha yüksek organik yüklemeleri arıtabilmektedir. Son çöktürme tankı yerine membran kullanıldığından dolayı çöktürme problemi sınırlayıcı olmaktan çıkmaktadır ve çamur yaşı hidrolik bekleme zamanından bağımsız olarak ayarlanabilmektedir (Jinsong, Chuan, Jiti ve Fane 2006).

Membran biyoreaktör prosesi, biyolojik aktif çamur sistemi ile membran filtrelerin (UF ve MF) birleştirilmesi sonucu oluşmaktadır. Membran biyoreaktörlerin birçok avantajı vardır. Bunlardan bazıları; yüksek oranda mikrobiyal arıtımı, kontrol edilebilir çamur yaşı ve hidrolik bekletme süreleri, yüksek kalitede çıkış suyu eldesi, reaktörde yüksek biyokütle içeriği, daha az çamur tıkanma oranı, daha düşük çamur üretimi ve daha az alan ihtiyacı olarak sıralanabilir (Luo ve diğerleri, 2014).

MBR ile yapılmış olan bir çalışmada ham atıksudan; Bisfenol A, Estradiol, Östron ve İbuprofen neredeyse tamamen (yaklaşık % 100) giderilmiştir. Diğer mikro kirleticiler ise % 90 oranında ham atıksudan uzaklaştırılmıştır. Fakat; Diklofenak, Karbamazepine, Diazem gibi bazı mikro kirleticiler ise (% 24-68) tamamen giderilememiştir (Trinh ve diğerleri, 2012).

Atıksularının arıtılması uygulamaları için membran biyoreaktör sistemleri 4 grupta sınıflandırılabilir (Visvanathan, Ben Aim ve Parameshwaran, 2000).

1. Ekstraktif membran biyoreaktörler
   Batık membran biyoreaktörler
   Harici membran biyoreaktörler
2. Düşük - kabarcıklı havalandırmalı membran biyoreaktörler
3. Geri dönüşüm membran biyoreaktörleri
4. Membran ayırma reaktörleri

3.3. Elektrokoagülasyon

Elektrokoagülasyon prosesi ile atıksu arıtımı son yüzyılda çoğunlukla sınırlı başarı ve popülariteyle uygulanmıştır. Bununla birlikte, son yıllarda elektriksel güç tüketimi azaldıkça ve işlevselliği arttıkça kullanımı artmıştır (Moreno-Casillas ve diğerleri, 2007). Elektrokoagülasyon prosesinin su ve atıksulardan organik ve inorganik kirleticileri, patojenleri, hidrokarbonları, yağları, kolloidal maddeleri gidermede etkili olduğu görülmektedir.

Elektrokoagülasyon prosesi, bir elektrolit içine daldırılan metal elektrotlar ve bu elektrotlara uygulanan elektrik akımının yer aldığı bir elektrokimyasal reaktörden oluşur. Genellikle bir doğru akım güç kaynağına bağlı olan bir anot ve bir katottan oluşan basit bir hücredir. Elektrokoagülasyonda alüminyum ve/veya demir anot olarak kullanılır. Anot ve katotlarda oluşan hidroliz reaksiyonları tarafından alüminyum veya demir hidroksit flokları ortaya çıkar. Bu şekilde üretilen floklar hızla çökerek veya flotasyonla yüzeyde toplanarak atıksulardaki kirleticilerin giderimine neden olurlar. Elektrokoagülasyonda anot olarak çözünen alüminyum ya da demir elektrotların kullanılması durumunda bu elektrotlar çözünmeye uğrayarak çözeltiye Al^{3+} ve Fe^{2+} , Fe^{3+} iyonları vermekte, bu iyonlar da sudaki hidroksil iyonları ile birleşerek çok az miktarda çözünen $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_2$ ve $Fe(OH)_3$ gibi metal hidroksitlerini oluşturmaktadırlar. Elektrokoagülasyon sırasında oluşan metal hidroksit partiküllerinin adsorbsiyon yetenekleri çok yüksektir. Bu arada elektrokoagülasyon yüksek ilk yatırım maliyeti, diğer arıtma teknolojilerine göre yaygın kullanımını engellemiştir. Bu ilgi elektrokoagülasyonun birçok su ve atıksu için basit ve verimli bir arıtma metodu oluşundandır (Chen, 2004; Mollah, Schennach, Parga ve Cocke, 2001).

Elektrokimyasal arıtım tekniklerinin kullanımının getireceği yararlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir; çevresel uyumluluk, çok yönlü çalışabilme olanağı, enerji etkinliği, güvenlik, seçicilik, gelişen teknolojik otomasyona uyumluluk ve maliyet etkinliği sayılabilir. Bunlara ilaveten, elektrokoagülasyon prosesinin, kontrolünün kolay olması, reaksiyonların hızlı

gerçekleşmesi, daha küçük sistemlere uygulanabilir olması gibi avantajları da sayılabilir. Geleneksel arıtma yöntemlerinin yaptıkları fiziksel ve kimyasal prosesler elektrokoagülasyon prosesi tarafından tek başına karşılanabilmektedir (Yılmaz, 2009).

Elektrokoagülasyon prosesinde, atıksudan kontrollü olarak elektrik akımı geçirilmesi ile anodun elektrokimyasal olarak çözünmesi ve suyun katotta parçalanması sağlanır. Katotta hidrojen gazı çıkışı ile az da olsa flotasyon gerçekleşir. Anodun çözünmesiyle oluşan metal iyonları, katotta oluşan OH- iyonları ile reaksiyona girerek çözünmeyen ve ortamda askıda, kolloidal ya da çözünmüş halde bulunan kirleticiler koagülasyon, adsorbsiyon, çöktürme ve flotasyon mekanizmaları ile giderilir. Harici güç kaynağı, elektrotlar ve bağlantı kabloları elektrokoagülasyon ünitesinin temel bileşenleridir. Elektrokimyasal çözünme meydana gelmesi yani elektrot yarı reaksiyonlarının oluşabilmesi için elektrotlar arasında gerilim sağlanmalıdır (Aygün, 2012).

3.4. İleri (üçüncül) Arıtma

İleri arıtma, atıksu arıtma prosesinin son aşamasında alıcı ortama deşarj yapmadan önce çıkış suyuna cilalama işlemi olarak da ifade edilebilir. Bir arıtma sisteminde birden fazla üçüncül arıtma uygulanabilmektedir. Eğer son arıtma adımı olarak çıkış sularının dezenfeksiyonu gerekli ise, askıda katıların ve organik maddelerin dezenfeksiyon öncesi giderilmesi gerekebilir. Bu işlem kum filtrasyonu, lagünler, yapay sulak alanlar gibi sistemlerle sağlanabilir (Emmanuel ve diğerleri 2014). Organik maddelerin giderilmeden dezenfeksiyon yapılması alıcı ortamda klorlu yan ürünlerin oluşmasına sebep olabilir.

Hastane atıksularında dezenfeksiyon veya ileri arıtma amacıyla farklı arıtma teknolojilerinin kombinasyonları araştırılmıştır. Bu kombinasyonlar başlıca konvansiyonel/MBR arıtma+O3/UV, konvansiyonel/MBR arıtma+O3/UV/H2O2, konvansiyonel/MBR arıtma + aktif karbon+UV gibi uygulamaları kapsamaktadır. Hastanelerden kaynaklanan atıksular eğer içme suyu kaynağına veya rekreasyon amaçlı kullanılan bir su kütlesine deşarj edilecekse dezenfeksiyon işlemi uygulanması gereklidir. Dezenfeksiyon amacıyla genellikle klorlu bileşikler kullanılmaktadır. Atıksuda dezenfeksiyonun verimi ise genellikle arıtılan suyun kalitesine bağlıdır. Bunların yanında kısa temas süresi, düşük doz ve yüksek organik içerik dezenfeksiyon kalitesini

düşürebilmektedir. Dezenfeksiyon işleminde yaygın kullanılan kimyasallar sodyum hipoklorit (NaOCl) ve klor dioksittir (ClO_2) (Emmanuel ve diğerleri, 2014).

3.5. Ozonlama

İlaç kalıntılarının içme sularından giderimin de yaygın olarak kullanılan ozonlama prosesinde; hızlı ozon tüketiminin olması, buna bağlı olarak ilaç kalıntılarının oksitlenmesinin tam olarak gerçekleşmemesi ve bazı durumlarda ozonlama ile kanserojen bromat iyonlarının zararlı yan ürün olan bromit iyonlarına dönüşmesi gibi olumsuz özellikleri vardır (Yu ve diğerleri, 2013).

Hastane atıksularında ise, ozonlama ile birlikte toz aktif karbon ilavesi de pek çok farmasotiğin atıksudan gideriminde etkili olmasına rağmen, iyotlu röntgen kontrast maddelerinin giderimin de iyi sonuç vermemektedir. Hastanelerde enfeksiyon etkeni olarak bilinen bazı bakterilerin ozon gazı ve/veya negatif iyona duyarlılıkları ve dezenfeksiyon yöntemlerinin kullanımının değerlendirilmesine ilişkin yapılan bir çalışmada, tüm bakteri türlerinin ozon gazına son derece duyarlı olduğu ve kısa maruziyet sürelerinde üremelerinin inhibe olduğu belirlenmiştir. Ozonlama nispeten ucuz bir tekniktir. Fakat oluşan yan ürünler yeterli karakterize edilememektedir. Bu nedenle, ozonlanmış AAT çıkış sularında yan ürünlerin hakimiyeti araştırılmalıdır (Yaşar, Can Doğan ve Arslan, 2013). Çizelge 3.1.' de sadece ozonlama ve ileri oksidasyon prosesi ile entegre edilmiş ozonlama yöntemlerine ait giderim verimleri verilmiştir (Sui, Huang, Deng ve Fan 2010; Gerrity ve diğerleri, 2011).

Çizelge 3.1.Bazı bileşiklerin ozonlama ve ileri oksidasyon prosesleri ile arıtma verimleri (Sui ve ark.,2010; Gerrity ve diğerleri, 2011).

Doz	Birleşik	Arıtma Verimi (%)
O_3 (5 mg/l)	Karbamazepine	>90
O_3 (5 mg/l)	Diklofenak	>90
O_3 (5 mg/l)	Metoprolol	80-90
O_3 (5 mg/l)	Bezafibrat	0-50
O_3 (5 mg/l) + H_2O_2 (3,5 mg/l)	Karbamazepine	>99
O_3 (5 mg/l) + H_2O_2 (3,5 mg/l)	Diklofenak	>99
O_3 (5 mg/l) + H_2O_2 (3,5 mg/l)	Sülfamethokzol	98
O_3 (5 mg/l) + H_2O_2 (3,5 mg/l)	Triklosan	>99
O_3 (5 mg/l) + H_2O_2 (3,5 mg/l)	Bisfenol A	>78

Çizelge 3.1. incelendiğinde; Karbamazepine, Diklofenak ve Triklosan bileşiklerinin % 90'ın üstünde arıtma verimleriyle giderildikleri görülmektedir. Ozonlama, ileri oksidasyon prosesi ile birlikte kullanıldığında arıtma veriminin % 98 gibi yüksek oranda olup kirleticilerin neredeyse tamamen giderildiği tespit edilmiştir. Bezafibrat ve Bisfenol A ise daha düşük verimde arıtılmıştır. Diğer mikro kirleticilerinde yüksek oranda arıtılabilmesi için başka arıtma prosesleri ile entegre edilerek giderimi sağlanabilir.

3.6. Atıksuların Nötralizasyonu

Nötralizasyon, su ve atıksuların pH değerinin ayarlanması işlemidir. Suların pH değerinin ayarlanması çeşitli amaçlarla istenebilir. Bunlar arasında atıksuyun alıcı ortama veya kanalizasyona deşarjından önce deşarj standartlarını sağlamak üzere pH değerinin nötr civarına getirilmesi, arıtma tesislerinde arıtmaya girişten önce pH ayarlanması ve kimyasal çöktürme için uygun pH değerini sağlamak üzere ayar yapılması sayılabilir. Endüstriyel atıksuların çoğu alıcı ortama veya arıtma tesisine verilmeden önce nötralize edilmelerini gerektiren asidik veya alkali maddeleri içerirler. Nötralizasyon aşırı asidite veya alkalinitenin giderilmesi için kullanılan bir süreçtir. Nötralizasyon uygulaması kimyasal arıtmadan önce, biyolojik arıtmadan önce veya alıcı su ortamlarına deşarjdan önce yapılabilmektedir (Büyükgüngör, 2008).

Asidik veya bazik atıksuların çevreye vereceği olumsuz etkileri minimize etmek için nötralize etmek gereklidir. Asidik/bazik atıksuyun nötralizasyon kontrolünde, pH önemli parametrelerden biridir. Nötralizasyon işleminin başarılı olması için pH kontrol edilir ve izlenir. Nötralizasyonun giriş ve çıkışında mutlaka pH kontrolü ve ölçümü yapılır. Böylece kanalizasyon sistemi ve arıtma tesislerine korozif asidik ve bazik atıkların verilmesi önlenir (Öztürk, 2018).

Nötralizasyon işleminin yer alabileceği dört grup proses bulunmaktadır.

1) Doygunluk derişimlerinde çok az süspanse veya çözünmüş katı madde içeren proseslerdir. Bu tipe örnek olarak hidroklorik asit, nitrik asit veya asetik asit kullanarak yapılan nötralizasyon verilebilir. Bu prosesler basit bir pH ayarlamadan ibarettir.

2) Süspanse katı maddelerin olmadığı ancak nötralize edilmiş karışımda kalsiyum sülfat gibi çözünmüş katı maddelerin mevcut olduğu proseslerdir. Bu tipe örnek olarak asidik maden drenajlarında bulunan $CaSO_4$'ın kireç ilavesi ile çöktürülmesi verilebilir.
3) Nötralizasyonu takiben metalik olmayan reaksiyon ürünlerinin çökeldiği proseslerdir. Bu durum kalsiyum esaslı alkalilerin nötralizasyonu sırasında düşük çözünürlüğe sahip son ürünlerin oluşması sonucu ortaya çıkar. Bu prosesler katı madde ayrılması ve çamur alınmasını da gerektirir. Kireç ile arıtılmış suyun nötralizasyonunda CO_2 kullanılarak $CaCO_3$ halinde kirecin fazlası çöktürülür.
4) Nötralizasyonla birlikte metalik iyonlar gibi çözünmüş safsızlıkların çökeltildiği proseslerdir. Bu prosesler kimyasal çökeltme ve nötralizasyonu birlikte içerir (Büyükgüngör, 2008).

3.7. Arıtma Teknolojilerinin Değerlendirilmesi

Literatür çalışmalarında sağlık kuruluşlarından (çoğunlukla hastaneler) kaynaklanan atıksuların arıtılmasında kullanılan teknolojiler ve bu teknolojilerin konvansiyonel parametreler açısından arıtma verimleri Çizelge 3. 2.'de verilmiştir. Kentsel atıksularda olduğu gibi hastane atıksularında da en yaygın izlenen başlıca parametreler KOİ, BOİ, AKM, toplam azot, toplam fosfor, toplam koliform ve fekal koliform şeklindedir. Uygulanan arıtma türü değerlendirildiğinde ise biyolojik arıtma teknolojilerinin ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Farklı çalışmalarda aktif çamur prosesi ile KOİ giderim verimleri prosesteki işletim parametrelerine bağlı olarak %46-%97 arasında değişiklik göstermiştir. Aktif çamur sistemlerinde izlenen diğer parametreler ise toplam ve fekal koliformlardır ve yapılan çalışmalarda ortalama giderim verimi her iki parametre için de %99 seviyelerindedir.

Son yıllarda ise üzerinde en çok çalışma yapılan arıtma teknolojilerinden birisi de aktif çamur ve membran proseslerinin bir kombinasyonu olan membran biyoreaktörlerdir (MBR). Birçok atıksu türünde çıkış sularında konvansiyonel parametreler açısından yüksek giderim verimleri sağlanan MBR sistemlerinde, hastane atıksuları için yapılan arıtılabilirlik çalışmalarında ortalama KOİ giderim verimi %89 olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra MBR sistemlerinin yüksek fiziksel dezenfeksiyon sağlaması Escherichia Coli giderim verimlerinin %99 seviyelerinde olmasını sağlamıştır. Ayrıca yapılan çalışamalarda amonyum azotu gideriminde MBR ile ortalama %92 giderim verimi

sağlanmıştır. Bu sebeplerle, son yıllarda hastane atıksularında konvansiyonel parametrelerin giderim verimlerinde yüksek performans sağlayan MBR teknolojisi ile ilaç aktif maddeleri, mikrokirleticiler ve diğer kimyasallar için yapılan arıtılabilirlik çalışmalarının sayısında artış gözlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda, seçilen bazı spesifik kirleticilerin giderim verimlerinin artırılması için klasik biyolojik arıtma teknolojilerinin önüne veya ardına farklı oksidasyon prosesleri (O3, UV, H_2O_2, TiO_2 vb.) ve bu oksidasyon proseslerinin farklı kombinasyonları (O3/UV, TiO_2/UV/O3 vb.) uygulanmıştır. Uygulanan oksidasyon prosesleri ile bazı konvansiyonel parametrelerin yanı sıra hedeflenen kirleticiler için de genellikle yüksek giderim verimlerine rastlanmıştır. Bu prosesler genellikle biyolojik, kimyasal ve ileri arıtma teknolojileri sonrası çıkış sularına uygulanmıştır. Fakat bazı çalışmalarda biyolojik ayrışabilirliği artırmak için ön arıtma olarak da kullanımı vardır (Kajitvichyanukul ve Suntronvipart, 2006; Arslan, Veli ve Bingöl, (2014)). Konvansiyonel parametreler açısından KOİ giderim verimleri dikkate alındığında fenton prosesi %77-%91 arasında, ozonlama (O3) %26-%52 arasında, O3/TiO2 %28-%52 arasında, UV/O3/TiO2 ise %30-%47 arasında değişim göstermiştir. Giderim verimleri dikkate alındığında oksidasyon proseslerinin tek başına KOİ giderim verimleri üzerinde etkisi çok yüksek seviyelerde değildir. Toplam ve fekal koliform giderim verimlerinde ise oksidasyon proseslerinin giderim verimleri %99 seviyelerindedir. Bu sebeple bu tip oksidasyon proseslerinin mikrobiyolojik parametreler ve mikrokirleticilerin giderimi için önemi daha fazla olmaktadır. Fakat aktif çamur+oksidasyon prosesleri birlikte kullanıldığında konvansiyonel parametrelerin giderim verimleri %90 seviyelerine çıkmaktadır. Machado ve diğerlerinin (2007) yaptıkları çalışmada O3, TiO2, O3/TiO2, UV/O3, UV/TiO2, UV/O3/TiO2 prosesleri anaerobik arıtma çıkış suyu için farklı parametreler açısından değerlendirilmiştir. Bu çalışmada farklı ileri oksidasyon prosesleri ve kombinasyonlarının arıtma verimine etkisi belirlenmiştir.

Örnek olarak: O3 ve O3/TiO2 proseslerinde KOİ giderim verimi %52, UV/O3/TiO2 kombinasyonunun KOİ giderim verimi %47 olarak tespit edilmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi oksidasyon proseslerinin ve farklı oksidasyon proses kombinasyonlarının KOİ giderim verimlerine etkisi düşük ve değişken seviyelerde olmaktadır. Benzer durum mikrobiyolojik parametreler hariç diğer konvansiyonel parametreler için de gözlenmiştir. Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıksuların artırılmasında kullanılan teknolojiler ve bu

teknolojilerin konvansiyonel parametreler açısından giderim verimleri Çizelge 3. 2.'de verilmiştir(ÇŞB, 2018). Hastane atıksularında yapılan arıtılabilirlik çalışmaları göz önüne alındığında konvansiyonel parametrelerin giderim verimleri ile ilgili aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- ✓ Aynı arıtma proseslerinde, hastane atıksularındaki ve evsel atıksulardaki konvansiyonel parametrelerin giderim verimleri benzerlik göstermiştir.
- ✓ Hastane atıksuları arıtılabilirlik çalışmalarında en fazla izlenen başlıca konvansiyonel parametreler KOİ, BOİ, AKM, toplam azot, toplam fosfor, amonyum azotu, toplam koliform ve fekal koliform şeklindedir.
- ✓ Arıtılabilirlik çalışmalarında en yaygın kullanılan arıtma prosesleri aktif çamur ve MBR gibi biyolojik arıtma teknolojilerdir.
- ✓ İleri oksidasyon prosesleri hastane atıksularında genellikle ikincil arıtma (ör: biyolojik arıtma) sonrası dezenfeksiyon amacı ile kullanılmıştır. Tek başına ileri oksidasyon prosesleri mikrobiyolojik parametreler hariç diğer konvansiyonel parametrelerin gideriminde yetersiz kalmıştır.

Çizelge 3.2. Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıksuların artırılmasında kullanılan teknolojiler ve bu teknolojilerin konvansiyonel parametreler açısından giderim verimleri

Parametre	Uygulanan Arıtma Türü	Uygulanan Arıtma Prosesi	Arıtma Verimi (%)	Kaynak
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	Fiziko-Kimyasal Arıtma	Elektrokoagulasyon	87	Dehghani vd., 2013
		Koagulasyon+Hızlı filtrasyon+Dezenfeksiyon	93	Gautam vd., 2007
	Biyolojik Arıtma	Aktif Çamur	46	Berto vd., 2009
		Aktif Çamur	88	Pauwels vd., 2006
		Aktif Çamur	97	Chonova vd., 2016
		Aktif Çamur	94	Kosma vd., 2010
		Aktif Çamur	91	Abd El-Gawad and Aly, 2011
		Aktif Çamur	94	Kosma vd., 2010
		MBR	80	Liu vd., 2010
		MBR	88	Mousaab vd., 2015
		MBR	95	Kootenaei ve Rad, 2013
		MBR	81	Wen vd., 2004
		MBR	90	Venditti vd., 2011
		MBR	94	Verlicchi vd., 2010
		MBR	95	Beier vd., 2012
		Anoksik/Anaerobik MBR	90	Al Hashimia vd., 2013
		Biyolojik oksidasyon (aerobik+anaerobik)	91	Azar vd., 2010
		Entegre sabit film yataklı anaerobik-aerobik reaktör	95	Rezaee vd., 2005
		Fakültatif ve olgunlaştırma havuzları	87	Beyene ve Redaie, 2011
	İleri Oksidasyon	Fenton	91	Berto vd., 2009
		Fenton	77	Kajitvichyanukul ve Suntronvipart, 2006
		O31	52	Machado vd., 2007
		O3/TiO2	28	Kist vd., 2008
		O3/TiO2	52	Machado vd., 2007
		O3/UV	30	Kist vd., 2008
		O3/UV (hastane ham atıksuyu)	47	Arslan vd., 2014
		O3	26	Chiang vd., 2003
		Peroxone (O3+H2O2)	70	Vasconcelos vd., 2009
		TiO2	45	Machado vd., 2007
		TiO2/UV	20	Kist vd., 2008
		UV/O3	40	Machado vd., 2007
		UV/O3/TiO2	47	Machado vd., 2007
		UV/TiO2	5	Machado vd., 2007
		UV/TiO2/O3	30	Kist vd., 2008
	Hibrid Arıtma	Fenton+Aktif Çamur	95	Kajitvichyanukul ve Suntronvipart, 2006

Çizelge 3.2. (devam) Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıksuların artırılmasında kullanılan teknolojiler ve bu teknolojilerin konvansiyonel parametreler açısından giderim verimleri

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)	Biyolojik Arıtma	Aktif Çamur	95	Kosma vd., 2010
		Aktif Çamur	52	Berto vd., 2009
		Aktif Çamur	85	Abd El-Gawad ve Aly, 2011
		MBR	90	Liu vd., 2010
		MBR	98	Venditti vd., 2011
		MBR	99	Wen vd., 2004
		MBR	95	Verlicchi vd., 2010
		Anoksik/Anaerobik MBR	98	Al Hashimia vd., 2013
		Biyolojik oksidasyon (aerobik+anaerobik)	91	Azar vd., 2010
		Entegre sabit film yataklı anaerobik-aerobik reaktör	88	Rezaee vd., 2005
		Fakültatif ve olgunlaştırma havuzları	94	Beyene ve Redaie, 2011
		Havalandırmalı sabit film biyofiltre	92	Prayitno vd., 2014
	İleri Oksidasyon	Fenton	91	Berto vd., 2009
		Fenton	61	Kajitvichyanukul ve Suntronvipart, 2006
		O3	78	Prayitno vd., 2014
		O3/TiO2	40	Kist vd., 2008
		O3/UV	42	Kist vd., 2008
		TiO2/UV	69	Kist vd., 2008
		UV/TiO2/O3	75	Kist vd., 2008
	Hibrid Arıtma	Fenton+Aktif Çamur	98	Kajitvichyanukul ve Suntronvipart, 2006
Askıda Katı Madde (AKM)	Fiziko-Kimyasal Arıtma	Koagulasyon-Flotasyon	92	Suarez vd., 2009
	Biyolojik Arıtma	Aktif Çamur	90	Berto vd., 2009
		Aktif Çamur	99	Chonova vd., 2016
		Aktif Çamur	69	Kosma vd., 2010
		MBR	100	Mousaab vd., 2015
		MBR	99	Verlicchi vd., 2010
		Fakültatif ve olgunlaştırma havuzları	87	Beyene ve Redaie, 2011
	İleri Oksidasyon	Fenton	60	Kajitvichyanukul ve Suntronvipart, 2006
	Hibrid Arıtma	Fenton+Aktif Çamur	69	Kajitvichyanukul ve Suntronvipart, 2006
Toplam Katı Madde	Biyolojik Arıtma	Aktif Çamur	67	Berto vd., 2009
Uçucu Katı Madde	Biyolojik Arıtma	MBR	97	Mousaab vd., 2015

Çizelge 3.2. (devam) Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıksuların artırılmasında kullanılan teknolojiler ve bu teknolojilerin konvansiyonel parametreler açısından giderim verimleri

Toplam Çözünmüş Katılar	Biyolojik Arıtma	Fakültatif ve olgunlaştırma havuzları	32	Beyene ve Redaie, 2011
Toplam Fosfor	Biyolojik Arıtma	Aktif Çamur	62	Berto vd., 2009
		MBR	68	Kootenaei ve Rad, 2013
		MBR	17	Venditti vd., 2011
		MBR	80	Verlicchi vd., 2010
		MBR	28	Beier vd., 2012
		Anoksik/Anaerobik MBR	83	Al Hashimia vd., 2013
	İleri Oksidasyon	UV/O3/TiO2	11	Machado vd., 2007
Toplam Azot	Biyolojik Arıtma	Aktif Çamur	42	Berto vd., 2009
		MBR	91	Mousaab vd., 2015
		MBR	70	Venditti vd., 2011
		Anoksik/Anaerobik MBR	93	Al Hashimia vd., 2013
		Fakültatif ve olgunlaştırma havuzları	55	Beyene ve Redaie, 2011
Amonyum	Biyolojik Arıtma	Aktif Çamur	99	Pauwels vd., 2006
		Aktif Çamur	99	Chonova vd., 2016
		MBR	84	Wen vd., 2004
		Anoksik/Anaerobik MBR	100	Al Hashimia vd., 2013
		Entegre sabit film yataklı anaerobik-aerobik reaktör	96	Rezaee vd., 2005
	Oksidasyon	Fenton	85	Kajitvichyanukul ve Suntronvipart, 2006
		O3	73	Machado vd., 2007
		O3/TiO2	32	Kist vd., 2008
		O3/TiO2	74	Machado vd., 2007
		O3/UV	30	Kist vd., 2008
		TiO2	70	Machado vd., 2007
		TiO2/UV	43	Kist vd., 2008
		UV	77	Machado vd., 2007
		UV/O3	76	Machado vd., 2007
		UV/O3/TiO2	85	Machado vd., 2007
		UV/TiO2	15	Machado vd., 2007
		UV/TiO2/O3	49	Kist vd., 2008
	Hibrid Arıtma	Fenton+Aktif Çamur	83	Kajitvichyanukul ve Suntronvipart, 2006
Amonyum Azotu	Biyolojik Arıtma	MBR	86	Kootenaei ve Rad, 2013
		MBR	93	Wen vd., 2004
		MBR	90	Venditti vd., 2011
		MBR	92	Verlicchi vd., 2010
		MBR	97	Beier vd., 2012

Çizelge 3.2. (devam) Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıksuların artırılmasında kullanılan teknolojiler ve bu teknolojilerin konvansiyonel parametreler açısından giderim verimleri

		Entegre sabit film yataklı anaerobik-aerobik reaktör	86	Rezaee vd., 2005
Nitrat Azotu	Biyolojik Arıtma	MBR	87	Kootenaei ve Rad, 2013
	İleri Oksidasyon	Fenton	30	Kajitvichyanukul ve Suntronvipart, 2006
	Hibrid Arıtma	Fenton+Aktif Çamur	60	Kajitvichyanukul ve Suntronvipart, 2006
Sülfür	Biyolojik Arıtma	Fakültatif ve olgunlaştırma havuzları	88	Beyene ve Redaie, 2011
Fenol	Biyolojik Arıtma	Havalandırmalı Sabit Film Biyofiltre	63	Prayitno vd., 2014
	İleri Oksidasyon	O3	95	Prayitno vd., 2014
Kurşun	Biyolojik Arıtma	Havalandırmalı Sabit Film Biyofiltre	60	Prayitno vd., 2014
	İleri Oksidasyon	O3	100	Prayitno vd., 2014
Adsorblanabilen Organik Halojen (AOX)	Biyolojik Arıtma	MBR	10	Beier vd., 2012
Toplam Organik Karbon (TOC)	Biyolojik Arıtma	MBR	93	Beier vd., 2012
Organik Madde ve Aromatikler	İleri Oksidasyon	O3	40	Wilde vd., 2014
		Fe+2/O3	75	Wilde vd., 2014
Toplam Koliform	Biyolojik Arıtma	Aktif Çamur	99	Berto vd., 2009
		Aktif Çamur	99	Abd El-Gawad ve Aly, 2011
		Anoksik/Anaerobik MBR	98	Al Hashimia vd., 2013
		Biyolojik oksidasyon (aerobik+anaerobik)	91	Azar vd., 2010
		Entegre sabit film yataklı anaerobik-aerobik reaktör	90	Rezaee vd., 2005
		Fakültatif ve olgunlaştırma havuzları	100	Beyene ve Redaie, 2011
	İleri Oksidasyon	Fenton	100	Berto vd., 2009
		O3	100	Machado vd., 2007
		O3/TiO2	100	Machado vd., 2007
		O3	99	Chiang vd., 2003
		TiO2	100	Machado vd., 2007
		UV	99	Machado vd., 2007
		UV/O3	98	Machado vd., 2007
		UV/O3/TiO2	100	Machado vd., 2007

Çizelge 3.2. (devam) Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıksuların artırılmasında kullanılan teknolojiler ve bu teknolojilerin konvansiyonel parametreler açısından giderim verimleri

		UV/TiO2	100	Machado vd., 2007
Fekal Koliform	Biyolojik Arıtma	Aktif Çamur	99	Abd El-Gawad ve Aly, 2011
		Fakültatif ve olgunlaştırma havuzları	99	Beyene ve Redaie, 2011
		Havalandırmalı Sabit Film Biyofiltre	85	Prayitno vd., 2014
	İleri Oksidasyon	O3	100	Prayitno vd., 2014
		O3/TiO2	99	Kist vd., 2008
		O3/UV	100	Kist vd., 2008
		TiO2/UV	100	Kist vd., 2008
		UV/TiO2/O3	100	Kist vd., 2008
Escherichia Coli	Biyolojik Arıtma	MBR	98	Wen vd., 2004
		MBR	99	Verlicchi vd., 2010
		MBR	99	Beier vd., 2012
		Entegre sabit film yataklı anaerobik-aerobik reaktör	99	Rezaee vd., 2005

MBR: Membran Biyoreaktör O3: Ozonlama H2O2: Hidrojen Peroksit TiO2: Titanyum Dioksit UV: Ultraviyole

Günümüzde, mikrokirleticilerin, tıbbi ilaçların, kimyasal maddelerin atıksudan konvansiyonel sistemlerle tamamen giderilememesi, alıcı ortamda ve çevrede başta toksik etki olmak üzere çok çeşitli olumsuz etkiler yaratması konusu ön plana çıkmıştır. Bu sebeple son yıllarda özellikle hastane atıksularında tıbbi ilaçların ve etken maddelerin giderimi üzerine farklı arıtma teknolojileri üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Yapılan çalışmalarda hastane atıksularında tıbbi ilaçların giderim verimleri farklı arıtma teknolojileri ile sağlanabilmektedir. Bu konuda dikkat çekilen nokta spesifik kirletici veya bileşenlerin gideriminde her teknolojinin potansiyel giderim verimi farklılık gösterebilmektedir. Günümüz teknolojilerinde yaygın olarak söz konusu maddelerin ikincil arıtma yani biyolojik arıtma teknolojileri ve ardından ileri oksidasyon prosesleri kullanılarak bertaraf edilmeye çalışıldığı (ÇŞB, 2018).

Son yıllarda farklı atıksular ve içme sularının arıtılması amacıyla Ultrafiltrasyon (UF), Nanofiltrasyon (NF) ve Ters Osmoz (RO) gibi membran prosesleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle atıksulardan ilaç etken maddeleri, metabolitler, endokrin bozucu maddeler ve hormonların gideriminde membran prosesler önemli bir rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalar bu prosesler arasında bu tip maddelerin gideriminde en yaygın kullanılan teknolojinin NF olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle membran

proseslerin diğer teknolojilerle kullanımı ile arıtma performansında artışlar gözlenmiştir (Nasirabadi, Saljoughi ve Mousavi 2016). Bunun yanı sıra NF ve RO teknolojileri belirlenen hedef kirleticilerde önemli derecede ve yakın seviyelerde giderim verimleri sağlamıştır (Snyder ve diğerleri, 2007). Yapılan çalışmalarda UF membranlar ise NF ve RO'a göre farklı giderim verimleri sağlamıştır. Birçok çalışmada RO membranlar mikrokirletici gideriminde %80 üzerinde verim sağlamıştır (Nasirabadi ve diğerleri 2016). Yine, hastane atıksularından kaynaklanabilecek kirleticilerin gideriminde basınçlı membran proseslerin, özellikle UF, NF ve RO teknoljilerinin ilaç etken maddeleri üzerindeki giderimlerinin yüksek olduğu göze çarpmıştır.

Hastane atıksularında mikrokirleticilerin gideriminde en etkili arıtma tipinin farklı teknolojileri içeren hibrid arıtma teknolojileri olduğu göze çarpmaktadır. Özellikle konvansiyonel arıtma teknolojilerinin arkasına eklenen ileri oksidasyon veya membran proses teknolojilerinin kirleticilerin giderim verimlerini artırdığı gözlenmiştir. Örnek olarak ibuprofen kirleticisinin aktif çamur giderim verimi farklı çalışmalarda %85-%93 arasında değişirken, aktif çamur+ozonlama prosesinde %99 seviyelerine çıkmıştır. Yapılan bir çalışmada aktif çamurda carbamazepine giderim verimi %13 iken (Al Qarni, Collier, O'Keeffe ve Akunna, 2016), aktif çamur+ozonlama yapılan bir çalışmada %99 olarak gözlenmiştir (Igos ve diğerleri, 2012). Fakat çalışmalarda bazı ileri oksidasyon proseslerinin kirleticinin giderim veriminde etkili olmadığı da görülmüştür.

Hastane atıksularında yapılan arıtılabilirlik çalışmaları göz önüne alındığında mikrokirletici/ilaç etken madde parametrelerin giderim verimleri ile ilgili aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- ✓ Literatürde farklı kirleticiler için farklı arıtma teknolojileri ile çalışmalar yapılmıştır. Bir arıtma teknolojisinin kirleticiler üzerindeki giderim verimi kirletici türü ve arıtma teknolojisinin işletim şartlarına göre farklılık göstermiştir.
- ✓ Genel olarak mikrokirleticilerin birçoğunda tek başına konvansiyonel arıtma teknoljilerinin giderim verimleri yüksek seviyelerde değildir. Fakat çoğunluğu biyolojik arıtma olan teknolojilerin sonuna ileri oksidasyon gibi teknolojiler eklendiğinde çoğunlukla giderim verimlerinin yükseldiği görülmüştür.

- ✓ Özellikle son yıllarda kullanımı yaygınlaşan membran prosesler ile hastane atıksularının arıtılması konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmalarda NF ve RO membranların giderim verimlerinin yüksek seviyelerde olduğu belirtilmiştir.

3.8. Hastanelerde Tanı/Tetkik Merkezlerinin Atıksuları

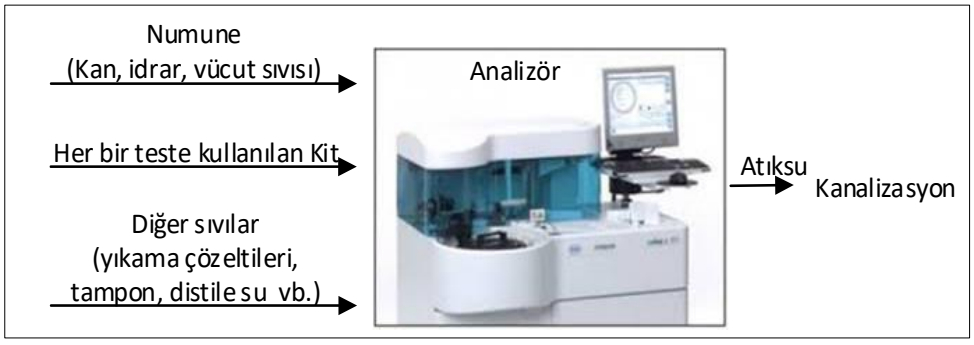
Sağlık kuruluşlarında, analiz/tetkik yapılırken birçok analizör ve çeşitli cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazlarda, yapılan analiz türüne göre değişen özellikte ve çok sayıda kitler ve cihaz yıkama çözeltileri kullanılmaktadır. Kullanılan kitler, genellikle birden fazla kimyasal içeren karışımlardır. Sağlık kuruluşları laboratuvarlarında, kitlerin dışında manüel olarak gerçekleştirilen analizlerde de farklı miktar ve özelliklerde çok sayıda kimyasallar ve çözeltiler kullanılmaktadır. Sağlık kuruluşlarında laboratuvarlar dışında da, verilen hizmete bağlı olarak kimyasal kullanılan bölümler bulunmaktadır, örn. patoloji örneğinin saklanması için formaldehit, endoskopi cihazının ve ameliyathanede kullanılan özel aletlerin dezenfeksiyonu için ortafitalaldehit, glutaraldehit gibi kimyasallar da kullanılmaktadır. Sağlık kuruluşlarında tüm bu kullanımlar sonucunda, çok farklı özelliklerde ve çeşitlilikte kimyasal içeren sıvı atık ve atıksular oluşmaktadır. Sağlık kuruluşlarında, tanı ve tetkik amaçlı kullanılan analizörlerde oluşan sıvı atıklar, üstünde en fazla tartışılan atıklar arasındadır. Bu atıklar, Atık Yönetimi Yönetmeliği (2015)'nde ve AB Atık Çerçeve Direktifinde, (M) kodu ile şüpheli tehlikeli atıklar olarak adlandırılmıştır. Ancak, analizörlerdeki test yelpazesinin çok geniş olması, parametre sayısının değişken olması, test parametrelerinde günlük değişimlere bağlı atıksu karakterizasyonunda olası dalgalanmalar, temsil edici örneklemenin nasıl yapılabileceğine dair bilgi ve yöntem bulunmaması gibi sebeplerle, bu atıkların deneysel olarak karakterize edilmesini zorlaştırmaktadır. Geçmiş yıllarda TÜBİTAK MAM ÇTÜE laboratuvarlarında, analizörlerin sıvı atıklarında gerçekleştirilen EK 3/B analiz sonuçları arasında, benzer işi yapan analizörlerin atık özellikleri arasında dahi belirgin bir uyum olmaması, bu durumu doğrulamaktadır (ÇŞB, 2018).

Sağlık kuruluşlarının tanı/tetkik birimlerinde farklı marka ve modelde çeşitli analizör kullanılmaktadır. Bu analizörlerde, kit, cihaz yıkama sıvıları ile birlikte yüksek miktarda deiyonize su kullanılmakta, sonucunda yüksek miktarda atıksu oluşmaktadır. Bunun yanı sıra, sağlık kuruluşlarında, birçok kimyasal madde ve Ziehl Fuksin, Mayer Hematoksilen, Basic fuksin, hematoksilen, masson trichrome ve orange g gibi boyalar kullanılmaktadır.

Mevcut durumda pilot sağlık kuruluşları, tehlikeli olan bazı sıvı atıklar ile analizör sıvı atıkları/atıksuları ayrı toplanarak, 16 05 06 veya 18 01 06 kod ile bertaraf firmalarına litresi 2 ila 3 TL ücret ödenerek bertaraf edilmeye çalışılmaktadır. Genel olarak hastanelerde atıksu oluşumuna neden olan proseslere ilişkin iş akış şemaları ve söz konusu cihazlara ait açıklamalar aşağıda verilmiştir. Bu kapsamda laboratuvarlarda atıksu oluşturan her bir analizöre ait bilgiler, kullanılan kit bilgisini içerecek şekilde oluşturulmuştur. (ÇŞB, 2018).

3.8.1. Laboratuvarlar-Analizörler

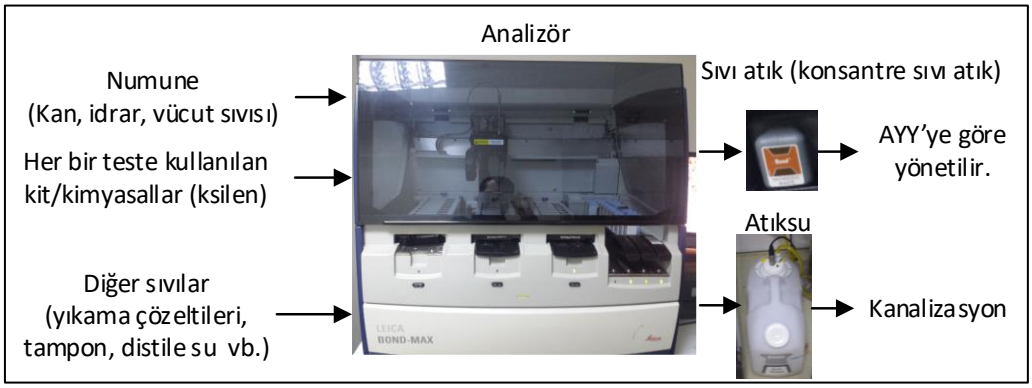
Laboratuvarlarda kullanılan bazı analizörler, analizör türüne ve analiz çeşidine bağlı olarak atıksu oluşturmaktadır. Oluşan atıksuların içeriğini, numune türü (kan, vücut sıvısı ve idrar), kit, yıkama solüsyonu ve deiyonize su oluşturmaktadır. Kullanılan analizörler, atıksu oluşumuna göre 3 grup altında değerlendirilebilir. Test menüsü çok geniş olan ve rutin analizleri çalışan özellikle biyokimya analizörleri, deiyonize su cihazına bağlı olup, büyük hacimlerde yıkama suyu kullanıldığından yüksek miktarda atıksu oluşturmaktadır ve oluşan atıksular direk kanalizasyon giderine bağlıdır (Şekil 3.2.). Bir grup analizörde ise yıkama suyu ve çözeltileri, kit atıkları ve örnek karışık olarak, cihaz yanında muhafaza edilen bidonlarda toplanmakta ve bidonlar doldukça lavabodan dökülerek kanalizasyona aktarımı sağlanmaktadır (Şekil 3.3.) (ÇŞB, 2018). Son olarak, konsantre kitin ve yıkama çözeltilerinin ayrı bidonlarda toplanabildiği ve 2 ayrı atık toplama kabı bulunduran cihazlar bulunmaktadır. Bu cihazlarda oluşan atıklardan, yıkama suyu ve çözeltilerinin olduğu bidon, doldukça lavabodan dökülerek kanalizasyona aktarımı sağlanmaktadır. Konsantre olarak kit atıklarının toplandığı atık bidonu ise, sıvı atık olarak, Atık Yönetimi Yönetmeliği esasları doğrultusunda hazırlanan, Atık Yönetim Planı'na göre yönetilmektedir (Şekil 3.4.).



Şekil 3.2. Hastane laboratuvarlarında atıksuları doğrudan lavaboya giden analizörler

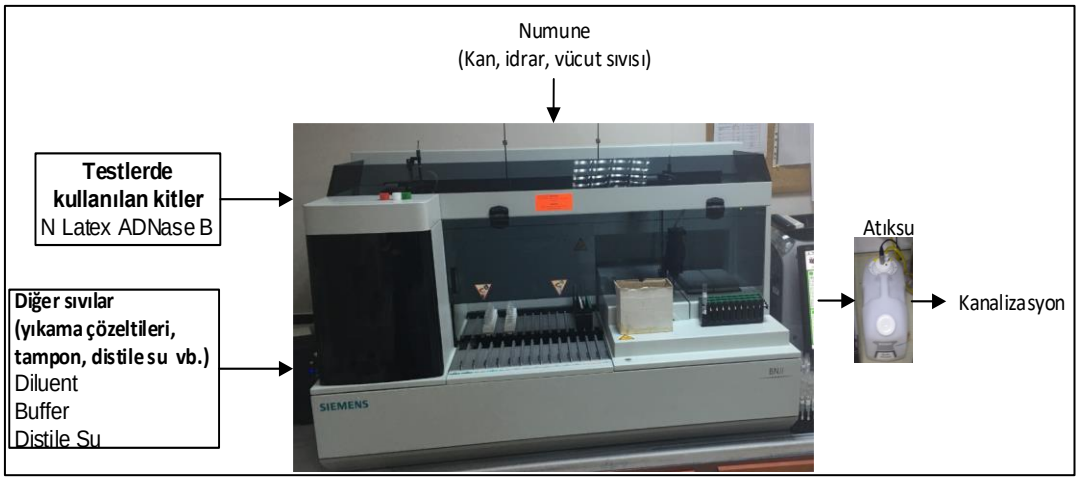


Şekil 3.3. Hastane laboratuvarlarında atıksuları bidon yardımıyla toplanan analizörler

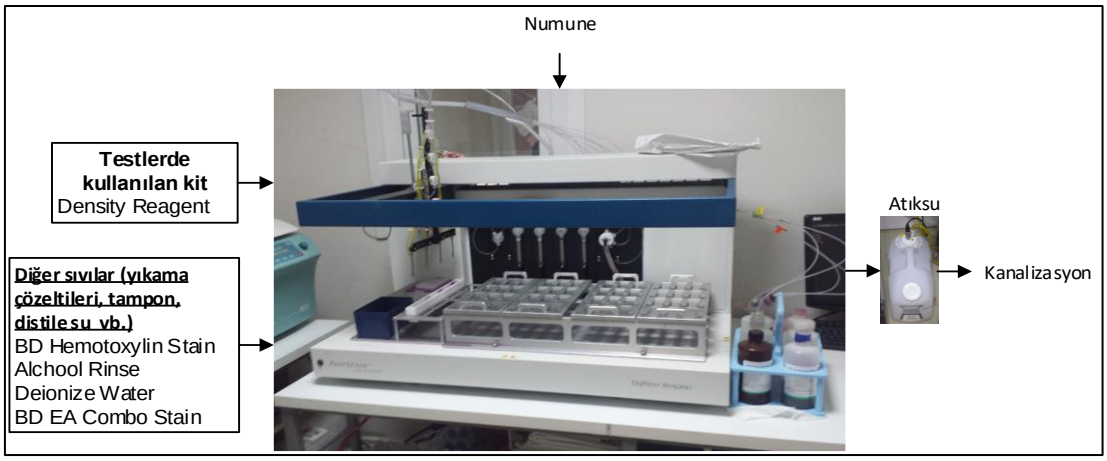


Şekil 3.4. Hastane laboratuvarlarında hem yıkama sularını hem de analiz sırasında oluşan sıvı atıkları (konsantre sıvı atık) ayrı toplayabilen ve bünyesinde 2 ayrı atık toplama kabı bulunduran cihaz

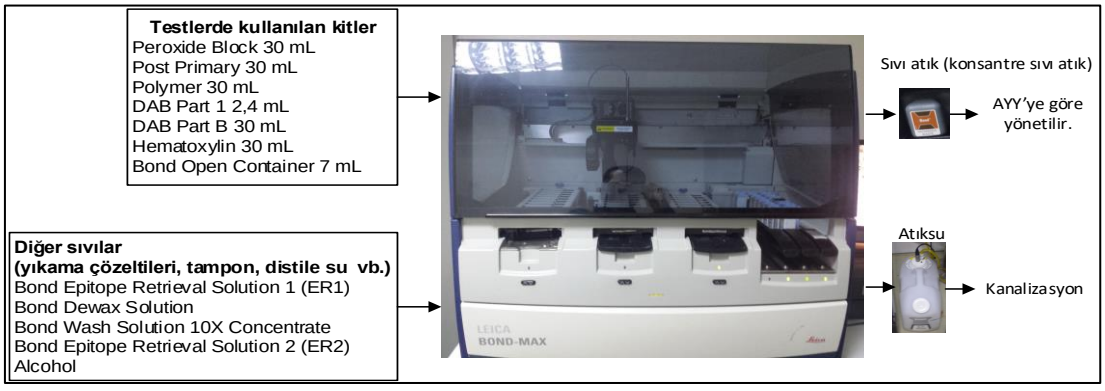
Mikrobiyoloji laboratuvarlarında kullanılan nefelometre cihazının (Siemens BN II) atıksuları, cihaz yanında muhafaza edilen bidon yardımıyla toplanmaktadır ve bidon dolunca lavabo aracılığıyla hastanenin atıksu hattına ulaşmaktadır (Şekil 3.5.). Yine patoloji laboratuvarında yaygın olarak boyama cihazı (Becton Dickinson) (Şekil 3.6.) ve imunohistokimya cihazı (Leica Bond-Max) kullanılmaktadır (Şekil 3.7.). Genel olarak Becton Dickinson boyama cihazının oluşturduğu atıksular, cihaz yanında muhafaza edilen bidon yardımıyla toplanıp, lavabodan kanalizasyona aktarımına gönderilmektedir. Diğer taraftan, Leica Bond-Max immunohistokimya cihazında, konsantre sıvı atıklar ile yıkama çözeltileri içeren seyreltik atıklar ayrı kapta toplamaktadır. Konsantre sıvı atıklar, Atık Yönetimi Yönetmeliği esasları doğrultusunda hazırlanan, Atık Yönetim Planı'na göre yönetilmelidir. Bununla birlikte, bu cihazda oluşan yıkama çözeltileri içeren seyreltik atıklar, cihaz yanında muhafaza edilen bidonda ayrı toplanıp, ardından lavabo aracılığıyla kanalizasyona verilmektedir (ÇŞB, 2018).



Şekil 3.5. Mikrobiyoloji laboratuvarında kullanılan Siemens BN II nefelometre cihazı iş akış şeması



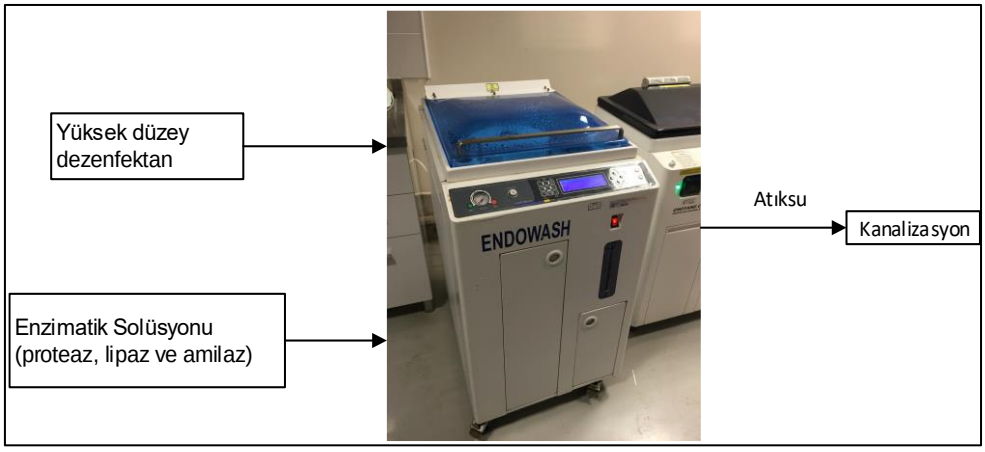
Şekil 3.6. Patoloji laboratuvarında kullanılan Becton Dickinson boyama cihazı iş akış Şeması



Şekil 3.7. Patoloji laboratuvarında kullanılan Leica Bond Max immünohistokimya cihazı iş akış şeması

3.8.2. Endoskopi ünitesi

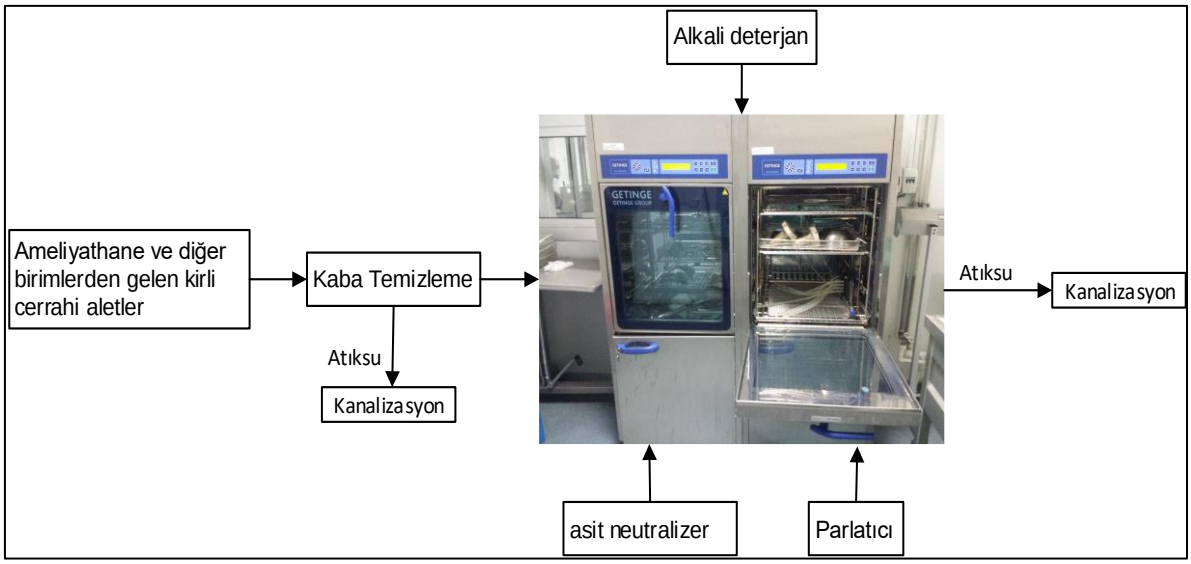
Hastane endoskopi ünitesinde, gastroskopi, sigmoidoskopi ve kolonoskopi olmak üzere üç işlem gerçekleştirilir. Bu işlemler sırasında kullanılan malzemeler, her bir işlem sonunda temizlenerek, bir sonraki hasta için hazır hale getirilmesi sağlanır. Endoskopide kullanılan malzemelerin hasar vermeden dezenfeksiyon kurallarına uygun şekilde temizlenmesi gerektiğinden bu ünitede cihazdan (skop yıkama makinası) (Şekil 3.8.) kaynaklı atıksu oluşumu mevcuttur. Bu ünitede 2 adet yıkama cihazı bulunmaktadır. Bu cihazların atıksuları, doğrudan hastane atıksu şebekesinden kanalizasyona verilmektedir (ÇŞB,2018).



Şekil 3.8. Endoskopi ünitesinde kullanılan skop yıkama cihazı iş akış şeması

3.8.3. Sterilizasyon ünitesi

Hastanenin ameliyathane ve diğer birimlerinde kullanılan ve dekontamine olmuş malzemeler, sterilizasyon ünitesinde temizlenir. Diğer birimlerden paketlenmiş olarak getirilen kirli malzemeler, sterilizasyon ünitesinde kaba temizlenme işleminden sonra sterilizasyon cihazına konularak temizlenmesi sağlanır. Her yıkama işleminde, yaklaşık 80 litre atıksu oluşmaktadır. Hastanenin yoğunluğuna bağlı olarak yıkama cihazları, günde 4-5 sefer faaliyet gösterebilmektedir. Bu cihazların atıksu hatları, doğrudan hastane atıksu şebekesinden bağlıdır. Sterilizasyon ünitesi yıkama işlemi iş akış şeması Şekil 3.9.'da gösterilmiştir (ÇŞB, 2018).



Şekil 3.9. Sterilizasyon ünitesi yıkama işlemi iş akış şeması

3.8.4. Ameliyathane

Ameliyathane ünitesinde atıksu oluşumu iş akış şeması Şekil 3.10.'de gösterilmektedir.



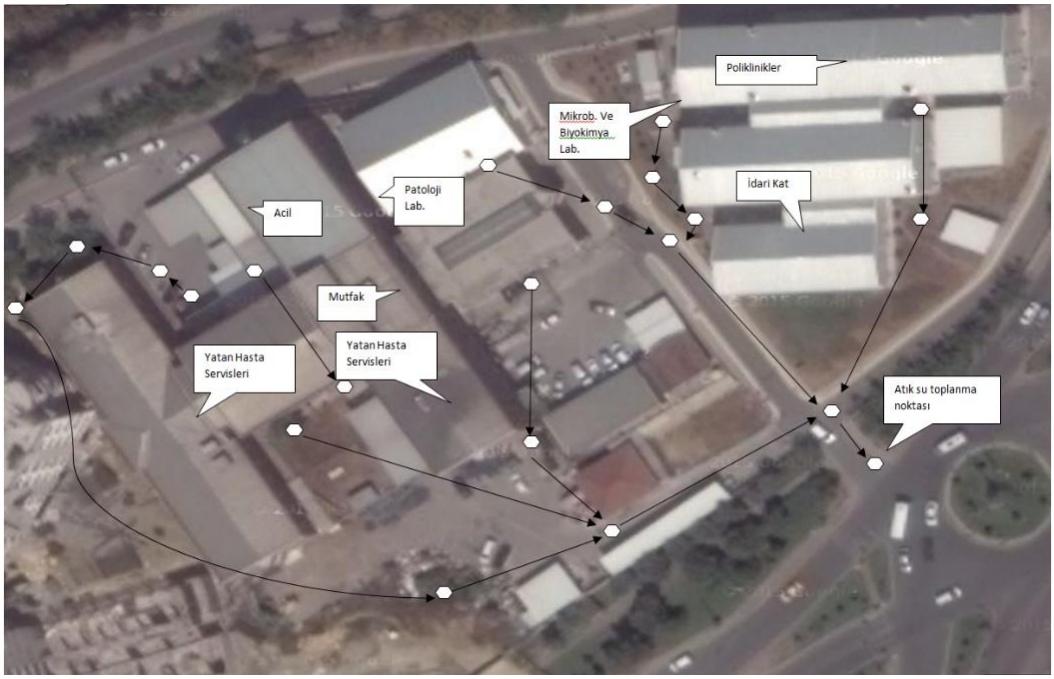
Şekil 3.10. Ameliyathane ünitesinde atıksu oluşumu iş akış şeması

Hastanede kullanılan ve atıksu oluşturan analizörlere/cihazlara ait bilgiler, Çizelge 3.3.'te gösterilmiştir (ÇŞB, 2018).

Çizelge 3.3. Hastanelerde kullanılan ve atıksu oluşturan analizörler/cihazlar (Ülkemizde en yaygın kullanılan cihaz modellerine göre) (ÇŞB, 2018).

Kullanıldığı Birim	Cihazın Adı	Marka	Model	Oluşan yaklaşık atıksu miktarı, m^3/yıl
Biyokimya	Biyokimya Analizörü	Abbott	Architect C16000	52
Biyokimya	Biyokimya Analizörü	Abbott	Architect C8000	50
Biyokimya	Kan Sayım Cihazı	BT Products	Pro2401 plus	24
Biyokimya	Hormon Analizörü	Siemens	Advia Centaur XP	8
Biyokimya	Hormon Analizörü	Abbott	Architect i1000sr	1,8
Biyokimya	Hormon Analizörü	Abbott	Architect i2000sr	1,8
Biyokimya	İdrar cihazı	İris	IQ 200	2,6
Biyokimya	Koagülometre Cihazı	Stago	Compact MAX	0,4
Mikrobiyoloji	Nefelometre	Siemens	BN II	2,5
Patoloji	Boyama cihazı	Becton Dickinson	Prepstaın Slide Processor	0,2
Patoloji	İmmunohistokimya cihazı	Leica	Bond-Max	0,2
Endoskopi	Skop yıkama makinası (2 adet)	-	-	-
Sterilizasyon	Sterilizasyon cihazı (2 adet)	Getinge	-	192

Ülkemizde hastanelerin genelinde oluşan atıksuların toplandığı atıksu sistemine göre, poliklinikler, biyokimya ve mikrobiyoloji laboratuvarında oluşan atıksular aynı hat üzerinde toplanmaktadır. İdari binada oluşan atıksular ayrı bir rogarla toplanmaktadır. Yatan hasta ve ameliyathanelerde oluşan atıksular aynı rogar hattına verilerek toplanmaktadır. Daha sonra tüm atıksular, ana atıksu toplama rogarından şehir kanalizasyon hattına verilmektedir (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Hastanede birimlere göre atıksu toplama noktaları

4. LİTERATÜR TARAMASI

Ülkemizde konu ile ilgili en kapsamlı ve güncel çalışma, TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü tarafından 2015 yılında başlanan ve 2018 yılında tamamlanan "Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıksuların Arıtımı ve Bertarafı Projesi" ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı koordinasyonunda yapılmıştır. Proje kapsamında Ülkemizde faaliyet gösteren sağlık kuruluşlarından kaynaklanan farklı nitelik ve miktarlardaki atıksuların karakterizasyonunun incelenmesi, ayrı toplanacak sıvı atıkların belirlenmesi ve maliyet analizleri gerçekleştirilerek, ülkemiz koşullarına uygun sıvı atık ve atıksu yönetimi stratejisinin geliştirilirmiştir. Proje kapsamında seçilen dört pilot sağlık kuruluşunda kullanılan tüm kimyasallar (laboratuvar kimyasalları, analizörlerde kullanılan tüm kit içerikleri ve dezenfektanlar) değerlendirilmiş, tehlikeli sıvı atıklar ve ekolojik risk oluşturabilecek kimyasallar belirlenmiş, sıvı atığın/atıksuyun oluşum şekilleri dikkate alınarak, ayrı toplanması önerilen sıvı atıklar belirlenmiştir. Bununla birlikte, söz konusu sıvı atık/atıksuların ayrı toplama ve yerinde arıtma seçeneklerinin fayda/maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında pilot sağlık kuruluşlarının atıksu karakterizasyonunun, konvansiyonel parametreler açısından genel olarak orta-kuvvetli seviyede evsel atıksu karakterine sahip olduğu belirlenmiştir. Yine incelenen hastanelerdeki evsel atıksuların ağır metal konsantrasyonlarının kanalizasyona deşarj limitlerinin oldukça altında olduğu tespit edilmiştir (ÇŞB, 2018).

Tüfekçi (2012), tarafından yapılan çalışmada, Ankara'daki bir hastanenin biyokimya ve mikrobiyoloji laboratuvar atıksularınının kanalizasyon deşarjı öncesinde bir ön arıtım prosesi (nötralizasyon+dezenfeksiyon+filtrasyon) ile arıtılabilirliği değerlendirilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında söz konusu ön arıtım prosesinin ağır metal giderim kapasitesi de incelenmiştir. Sisteme eklenen aktif karbon filtresi ile laboratuvar atıksularındaki ağır metal düzeylerinin kanalizasyon deşarj limit değerlerine uygun hale geldiği görülmüştür. Bu çalışma sonucunda; sağlık kuruluşlarının laboratuvarlarından kaynaklanan sıvı tıbbi atıkların kanalizasyona verilmeden önce basit bir ön arıtıma (nötralizasyon+dezenfeksiyon+filtrasyon) tabi tutularak deşarj limitlerinin sağlanabildiği görülmüştür.

Top (2016) tarafından yapılan araştırmada, hastane atıksularının karakterizasyonunun belirlenmesi ve farklı arıtım metotları ile bu atıksuların arıtılabilirliliğinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu kapsamda çalışmalar iki ana başlık altında yürütülmüştür. Birinci aşamada kapsamlı bir karakterizasyon çalışması için hastane atıksuyunun fizokimyasal, mikrobiyolojik ve ekotoksikolojik özellikleri incelenmiştir. İkinci aşamada ise hastane atıksularının arıtılabilirlilik çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Hastane atıksuları toksik özellik gösteren ve özel kirleticiler içeren bir atıksu kaynağı olup arıtılması gerektiği sonucuna varılmıştır. MBR'lerin tek başına hastane atıksuyundaki mikrokirleticilerin giderimi için yeterli olmadığı ve ilave yöntemlere ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Ancak tam ölçekli uygulamaları için fizibilite çalışmalarının yapılması gerektiği belirlenmiştir.

Başka bir çalışmada, hastane atıksularının su ortamındaki etkileri araştırılmıştır. Literatür çalışmaları sonucunda hastane atıksularında patojenik mikroorganizmalara, radyoaktif elementlere, kimyasal etkileri olan toksik maddelere, ilaç atıklarına yüklü miktarda rastlanmış ve bu bileşiklerin bozulmadan atıksu arıtma tesislerini terk ettiği belirlenmiştir.Bu çalışmayla kanalizasyon sistemlerinde tespit edilen biyolojik, fizikokimyasal, ekotoksikolojik değerler ve bunların çevreye olan etkileri değerlendirilmeye çalışılmıştır (Emmanuel ve diğerleri, 2002).

Uslu (2019) tarafından yapılan çalışmada, hastane atıksularının membran distilasyon biyoreaktör kullanılarak arıtımı performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, hastane atıksuyu termofilik membran distilasyon biyoreaktörde arıtılarak makro ve mikro kirleticilerin giderim verimleri incelenmiştir. Membran distilasyon biyoreaktör ile mikrokirleticilerin reaktörde kalma süreleri artarken, termofilik şartlarla mikroorganizmaların performansının yükseldiği tespit edilmiştir. Böylece mikrokirleticilerin hem parçalanma hızı hem de giderim verimleri arttırılmıştır.

Hastane laboratuvar atıksularındaki patojen mikroorganizmaların tür ve miktarlarının belirlenmesi ve organizmaların dezenfeksiyon nötralizasyon sistemlerindeki giderim kapasitelerinin belirlenmesi yapılan çalışmada, bir ön arıtım sistemi kullanılmıştır. Pilot ölçekli bu çalışmada, Ankara'da bulunan Keçiören Eğitim ve Araştırma Hastanesi laboratuvarında kurulu Tıbbi Atık Nötralizasyon ve Dezenfeksiyon Sisteminde 5 aylık bir periyotta giriş ve çıkış suyundaki patojen mikroorganizma düzeylerine bakılmıştır. Bu analizler sonucunda bazı örneklerin giriş sularında bakteriyolojik faaliyet ve hastalık yapıcı

virüsler tespit edilirken, çıkış suyu analizleri neticesinde bakteriyolojik ve hastalık yapıcı virüslere rastlanmamıştır. Bu çalışmanın sonucunda kullanılan paket ön arıtım sisteminin patojen giderimi açısından verimli bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca herhangi bir arıtma işleminin yapılmadığı hastane laboratuvar atıksularında ciddi anlamda patojen organizmaların mevcut olduğunun görülmesi de çevre ve halk sağlığı açısından dikkat çekici bir sonuç olarak değerlendirilmiştir (Çelebi, 2012).

Hastane atıksuları, patojen mikroorganizmalar, kısmen metabolik farmasotik maddeler, radyoaktif elementler ve diğer toksik maddelerle yüklüdür. Bu tür atıklar, doğru bir şekilde arıtılmazsa doğal çevreye zarar verebilir ve biyolojik bir dengesizlik oluşturabilir. Gautam ve diğerleri (2007), hastane atıksularının belirtilen olumsuz çevresel etkilerini azaltmak için fikiko-kimyasal arıtım teknolojisini kullanarak arıtım çalışmaları yapmıştır. Bu kapsamda pilot olarak seçilen bir hastanenin atıksularını $FeCl_3$ ile koagüle edip oluşan süzüntü içinde dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda, fiziko-kimyasal arıtma tekniklerinin hastane atık sularının bertarafı için performans ve maliyet açısından cazip bir seçenek olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları bu alanda daha fazla ayrıntılı bir çalışma yapılması gerektiğini göstermiştir (Gautam ve diğerleri, 2007).

Hastane atıksularının arıtımı için yapılan başka bir çalışmada ise koagülasyon-flokülasyon ve flotasyon basamaklarını içeren bir ön arıtım prosesinin verimi değerlendirilmiştir. Koagülasyon-flokülasyon testleri sürekli bir pilot ölçekli tesiste Jar-Test cihazı ile yapılmıştır. Birleşik koagülasyonla flotasyon sürecinde ön arıtma sırasında toplam askıda katı madde giderimi (AKM) ortalama % 92 olarak belirlenmiştir.. Ancak, tek başına flotasyon işleminin yapılması ile elde edilen giderim veriminin koagülasyon-flokülasyon sistemine göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak; her iki sisteminde hastane atık sularının ön arıtma için uygun prosesler olabileceği tespit edilmiştir (Suarez ve diğerleri, 2009).

Çin'de, 2008 yılında hastanelerin sayısındaki artışla birlikte hastanelerin ürettiği atıksu miktarı 1,29x106 m^3/d'ye ulaşmıştır. Membran Biyoreaktör (MBR) teknolojisi, mevcut atıksu arıtma sistemleri ile karşılaştırıldığında, patojen mikroorganizmaların arıtımında daha verimli bir sistem sunmuştur. Son 8 yılda, 50 den fazla MBR tesisleri 20 ile 2000 m^3/d arasında değişen kapasiteye sahip hastane atık sularının arıtımı için inşa edilmiştir.

MBR etkili dezenfektan tüketiminden (1,0 mg/L klor azaltabilir) tasarruf edilmiş, reaksiyon süresi (yaklaşık 1,5 dakika, konvansiyonel atıksu arıtma sürecinin % 2,5-5) kısalmış ve iyi bir mikroorganizma inaktivasyonu elde edilmiştir. MBR, yüksek dezenfektan etkinliği ve daha az dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DBPs) oluşmasına neden olmuştur. Bunun sonucunda MBR santrallerinin kapasitesi 20'den 1000 m^3/d'e yükselmiştir ve buda işletme maliyetinin ciddi oranda azalmasına sebep olmuştur (Liu, Zhou, Chen ve Zheng, 2009).

Bor katkılı elmas (Bdd) anot ve paslanmaz çelik katot malzemeler kullanılarak oluşturulan kesikli elektrot sistemi ile sefazolin (cfz) içeriğine sahip hastane atıksu numunelerinin elektrokimyasal süreçlerle arıtımı değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen elektrokimyasal çalışmalarda; farklı akım yoğunluğu, farklı başlangıç pH değerleri ve farklı derişimlerde destek elektrolit (Na2SO4) ilavesinin kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) ve cfz etken madde giderimlerine olan etkileri parametrik olarak incelenmiştir. Eskişehir'de faaliyetlerine devam eden iki devlet hastanesinin atıksu numunelerinin elektrokimyasal giderimi için ideal koşullarının 20 ma/cm2 akım yoğunluğunda, deşarj pH değerlerinde ve 0,05 m Na2SO4 destek elektrolit ilavesi ile sağlandığı belirlenmiştir. Elektrokimyasal arıtım süreçleri ile yüksek koi giderim verimi sağlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda hastane deşarjlarının pilot ölçekli elektrokimyasal sistemlerle arıtılabileceği ancak yerinde arıtım ile sürdürülebilir bir sistemin elde edilebileceği sonucuna varılmıştır (Nazikcan, 2016).

5. MATERYAL VE METOT

Tez çalışması kapsamında iki basamaklı bir araştırma metodolojisi gerçekleştirilmiştir. İlk basamakta, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı koordinasyonunda, TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü tarafından 10.10.2015 itibarı ile yürütülmeye başlanan ve 2018 yılında tamamlanan, "Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıksuların Arıtımı ve Bertarafı Projesi" kapsamında elde edilen verilerin bir bölümünün tez konusu kapsamında değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Söz konusu verilerin kullanımı için gerekli bakanlık oluru alınmıştır (EK-1). Bu kapsamda, dört farklı pilot sağlık kuruluşundan dört farklı mevsimde alınan numuneler konvansiyonel parametreler ve ağır metaller açısından analiz edilmiştir. Proje kapsamında analiz çalışmaları yapılan hastane atıksularının kompozisyonları Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nin Tablo 25'inde bulunan kanalizasyon ve derin deniz deşarjı limit değerleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen bu veriler doğrultusunda, ülkemizde faaliyet gösteren sağlık kuruluşları atıksuları karakterizasyonunun pilot ölçekte incelenmesi sağlanmış ve mevcut uygulamaların yönetmeliklerimiz çerçevesinde değerlendirmeleri yapılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci basamağında ise, hastane laboratuvar atıksularının kanalizasyon deşarj standartlarını sağlayabilmesi için pilot ölçekli bir ön arıtım çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda OXI-NR BIOGUARD sistemi kullanılarak Konya Şehir Hastanesinde tanı laboratuvarlarında (biyokimya, patoloji, mikrobiyoloji) oluşan atıksuların ön-arıtımı gerçekleştirilmiştir.

5.1. Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında atıksu örneklerinin alındığı sağlık kuruluşlarından 4 tanesi İstanbul, 1 tanesi ise Konya ilinde yer almaktadır. Atıksu numuneleri alınan sağlık kuruluşları İstanbul'da Üniversite Hastanesi (ÜH), Devlet Hastanesi (DH), Araştırma Hastanesi (AH) ve Merkez Laboratuvarı (ML) olarak belirlenmiştir. Konya İlinde ise şehir hastanesi tanı ve tetkik laboratuvarları pilot çalışma bölgesi olarak belirlenmiştir. Söz konusu pilot çalışma kapsamında Konya Şehir Hastanesi tanı merkezleri atıksuları için ön arıtım çalışması gerçekleştirilmiştir.

Konya Şehir Hastanesi, Sağlık Bakanlığı tarafından kamu-özel sektör iş birliğiyle ile yapılmış ve 2020 yılında hizmete açılmıştır. Konya Şehir Hastanesi, Konya ve çevresine hizmet verecek bir sağlık üssü olarak planlanmış olup 420 bin m^2 kapalı alana sahiptir. Hastanede yataklı servisler dışında 32 genel, 12 gün, 2 sezeryan, 2 tüp bebek ve 1 yanık olmak üzere toplam 49 ameliyathane, endoskopi birimi, nükleer tıp birimi, meme mükemmeliyet merkezi, fizik tedavi birimi, hemodiyaliz ünitesi, sağlık kurulu ve kapsamlı bir radyoloji birimi mevcut. Konya Şehir Hastanesi, 187 yataklı Onkoloji Hastanesi ve 201 yataklı KVC hastanesi ile birlikte toplam 1250 yatak sayısına sahiptir (Şekil 5.1.). Hastanede patoloji, radyoloji, biyokimya ve mikrobiyoloji laboratuvar dallarında ileri teknolojik uygulamalarla hasta ve numuneler değerlendirilmektedir.

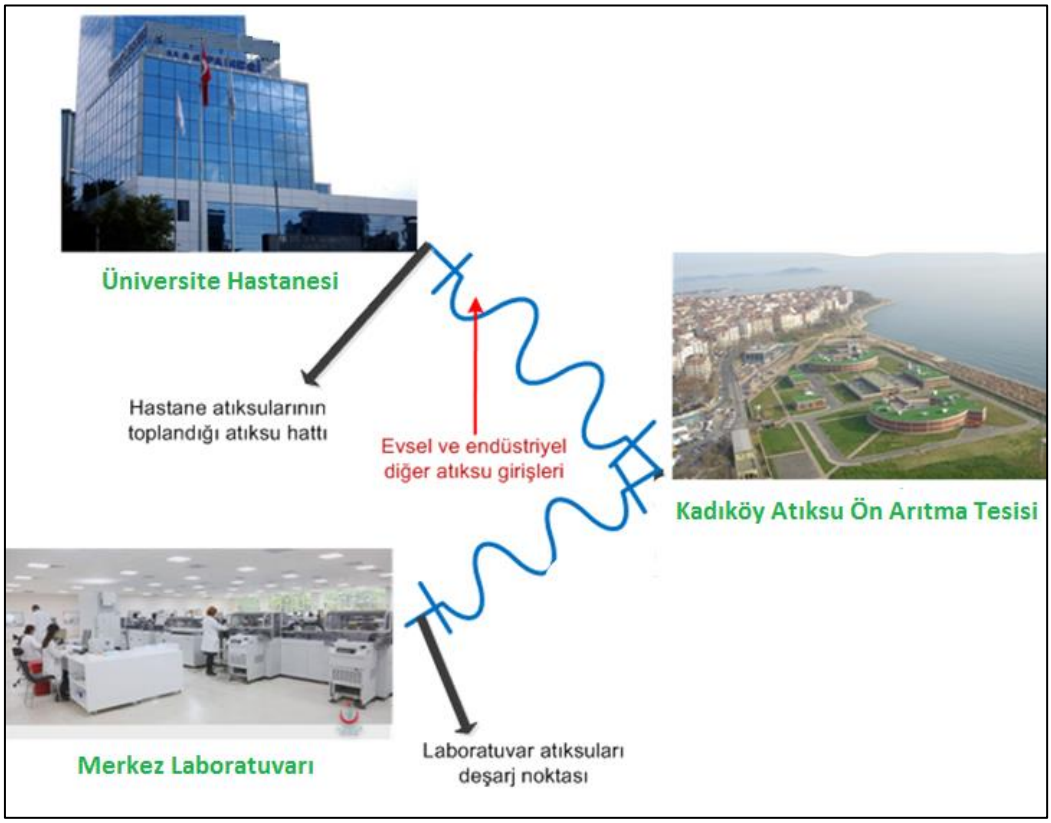


Şekil 5.1. Konya şehir hastanesi genel görünümü

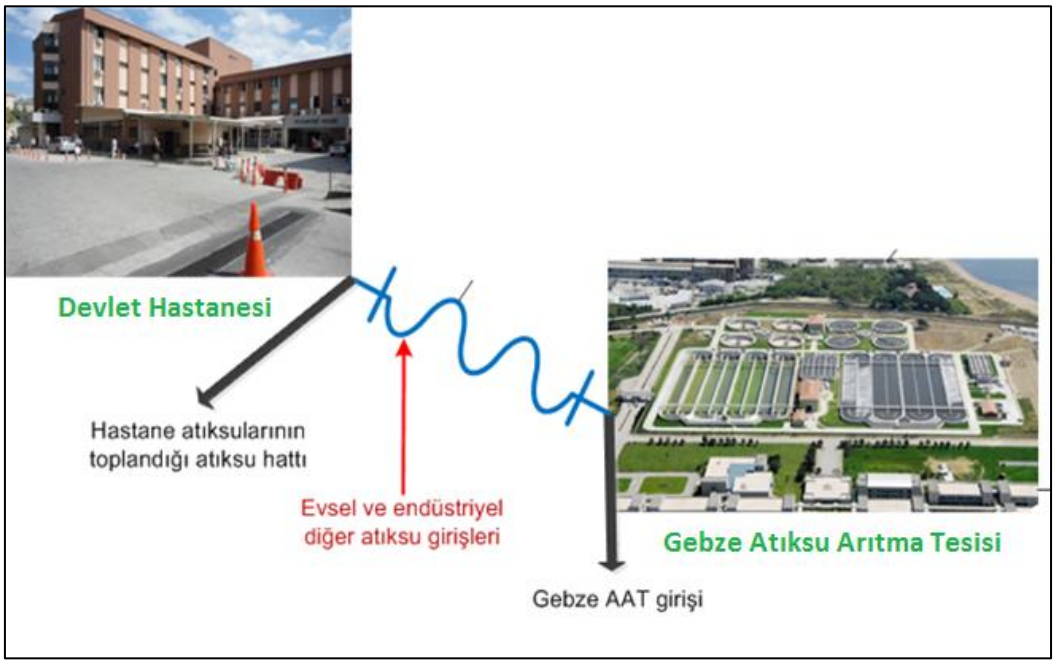
5.2. Numune Alma Ve Analiz Parametreleri

Çalışma kapsamında İstanbul İlinde yer alan 3 adet hastane ve 1 adet Merkez Laboratuvarından ve Konya İlinde yer alan 1 adet Şehir Hastanesinin Tanı laboratuvarlarından atıksu numuneleri alınmıştır. İstanbul'da yer alan sağlık kuruluşlarında atıksu numuneleri direkt bir ön arıtıma tabi tutulmadan kanalizasyona verildiği ana kollektör hattından alınmıştır. Söz konusu tesislerden Üniversite Hastanesinden ve Merkez Laboratuvarından alınan atıksu numunesi Şekil 5.2.'de, Devlet Hastanesinden alınan atıksu numunesi Şekil 5.3.'de ve Araştırma Hastanesinden alınan atıksu numunesi Şekil 5.4.'de

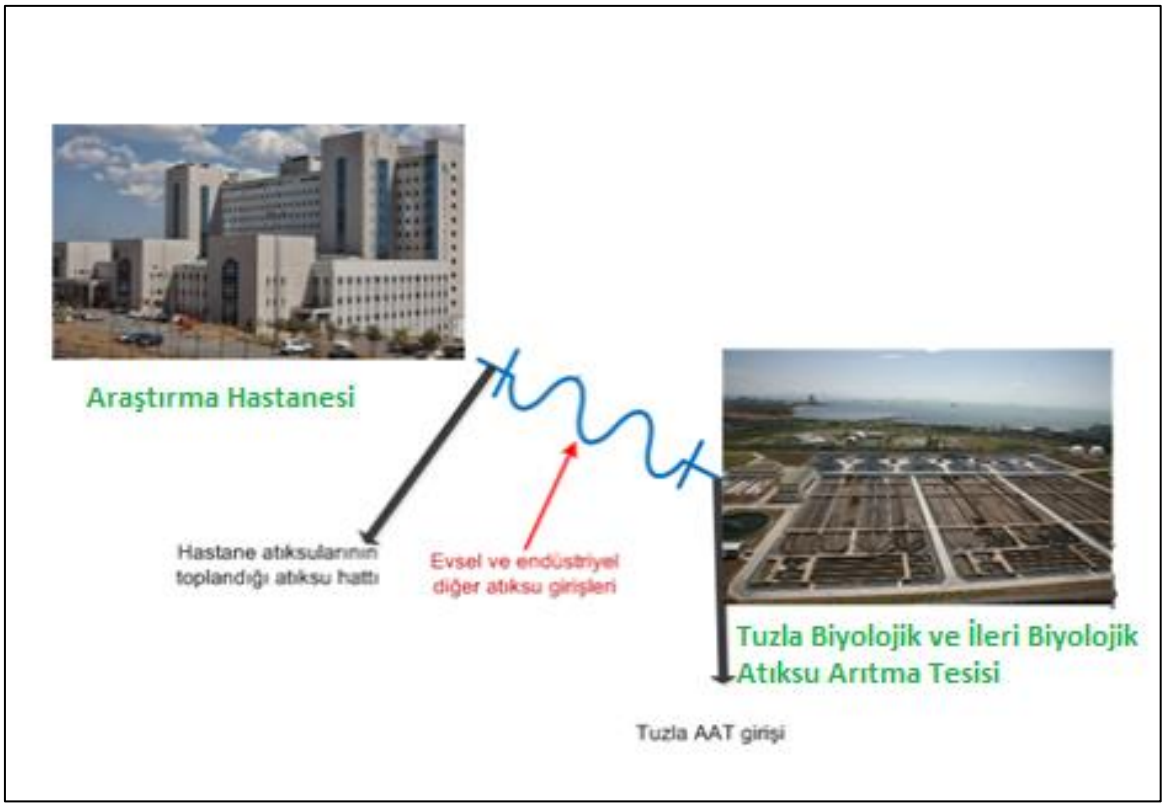
gösterilmiştir. Atıksu örnekleri dört farklı dönemde mevsimsel olarak 24 saatlik kompozit numune olarak alınmıştır.



Şekil 5.2. Üniversite hastanesinden ve merkez laboratuvarından alınan atıksu numunesi



Şekil 5.3. Devlet hastanesinden alınan atıksu numunesi



Şekil 5. 4. Araştırma hastanesinden alınan atıksu numunesi

Tez çalışması kapsamında hastane laboratuvar atıksularının ön arıtım performansı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma Konya Şehir Hastanesi merkez laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.5.). Hastane merkez laboratuvarında, biyokimyasal ve serolojik testleri yapılmaktadır. Merkez laboratuvarlarda yer alan OXI-NR BIOGUARD (Elektrooksidasyon-Nötralizasyon-Adsorpsiyon-Dezenfeksiyon) ön arıtım sistemi laboratuvarın tıbbi sıvı atıklarının ön arıtımını sağlamak amacıyla kurulmuştur. Bu sistem ile merkez laboratuvarında kurulumu bulunan tüm cihazların atıksuları ve bakteriyoloji laboratuvarının boya, serolojik testler ve idrar laboratuvarının lavabo atıksuları toplanarak ön arıtımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. 5. Konya Şehir Hastanesi merkez laboratuvarı görünümü

Alınan kompozit ve anlık numunelerde KOİ, $BOİ_5$, AKM, Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), NH_4-N, toplam fosfor, sülfür, fenol, yağ-gres, çeşitli ağır metal iyonları ve mikro kirletici analizleri yapılmıştır. Söz konusu analizlerin bir bölümü Çevre ve Şehircilik Bakanlığı koordinasyonunda, TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü laboratuvarlarında yapılmıştır. Çalışmanın ikinci basamağında ise atıksu numuneleri Konya Şehir Hastanesinin Laboratuvar Tanı merkezinde (biyokimya, mikrobiyoloji, patoloji laboratuvarları) toplanan atıksular, kanalizasyona deşarj öncesi uygulanan ön arıtım sisteminin giriş ve çıkışından olmak üzere anlık numune olarak alınmış ve aynı analizler tez çalışması kapsamında yapılmıştır. Çalışmalar kapsamında yapılmış konvansiyonel analiz parametreleri ve ölçüm metotları aşağıda özetlenmiş ve Çizelge 5. 1.'de verilmiştir.
Konvansiyonel Parametreler:

pH: HACH HQ40d marka pH metre ile ölçülmüştür.

İletkenlik: HACH HQ40d marka iletkenlik metre ile ölçülmüştür.

Çözünmüş Oksijen: HACH HQ40d marka oksijen metre ile ölçülmüştür.

Askıda Katı Madde (AKM): Standart Metot 2540'a göre tayin edilmiştir (APHA, 1998). Tam karışımı sağlanan numune 103-105 ^oC-1 saat etüv ve desikatörde sabit tartıma getirilmiş 0,45 mikron cam elyaf filtreden süzülmüştür. Filtre kâğıdı 103-105 ^oC etüvde kurtulup, desikatörde soğutulduktan sonra AKM konsantrasyonu belirlenmiştir.

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı ($BOİ_5$): Standart Metot 5210'a göre tayin edilmiştir (APHA, 1998). Organik madde ve çözünmüş oksijenin bakteriler tarafından kullanılması sırasında oksijenin azalma miktarının ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Karanlıkta ve 20 ^{0}C sabit sıcaklıkta 5 gün süreyle bekletilen bir miktar numunenin çözünmüş oksijen konsantrasyonunda meydana gelen düşüşün ölçülmesi ile belirlemiştir.

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ): KOİ analizi Merck Prove 600 spektrofotometresinde COD Cell Test 114540 (ölçüm aralığı 10-150 mg/L) ve 114541 (ölçüm aralığı 25-1500 mg/L) kiti ve metodu kullanılarak yapılmıştır.

Toplam fosfor ve orto fosfat: HACH DR2000 spektrofotometresinde LCK349 nolu kit ile Phosphormolybdenum Blue metoduna göre yapılmıştır.

Nitrit Azotu (NO_2-N): Merck Prove 600 spektrofotometresinde Nitrite Cell Test 114547 kiti ve metodu kullanılarak yapılmıştır.

Nitrat Azotu (NO_3-N): Merck Prove 600 spektrofotometresinde Nitrate Cell Test 114563 kiti ve metodu kullanılarak yapılmıştır.

Amonyum Azotu (NH_4-N): HACH DR2000 spektrofotometresinde LCK304 nolu kit ile Indophenol Blue metoduna göre yapılmıştır.

Toplam Kjeldahl Azotu (TKN): Kjeldahl metodu asidik koşullar altında, 350–400 ^{0}C'de ve 45–60 dakika süreyle kaynatılan numunenin distilasyonu ile titrimetrik yöntemle NH_3-N cinsinden ölçülmüştür (APHA, 1998).

Ağır Metal Analizleri: Tüm ağır metal analizleri ICP-MS cihazında yapılmıştır.

İlaç etken maddeler: Mikrokirleticiler, EPA Method 1694 December 2007 metoduna göre, Agilent Marka 6480 Model Sıvı Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (LC-MS/MS) cihazı ile analiz edilmiştir. JET Stream ESI Source'u ile MS'te önce iyonlaştırma yapılıp, analit hassasiyetler normal ESI Source'larına göre daha hassas olduğundan düşük konsantrasyonlarda direk enjeksiyonla analiz edebilme imkânı sağlanmıştır. Bu sebeple kullanılan yöntem direkt enjeksiyon yöntemi olmuştur (Ekstraksyon olmadan yaklaşık 10-

50 ppt gibi düşük konsantrasyonlarda ölçüm yapılabilmektedir.). 0,975 ml su örneği, 0,22 mikron filtreden süzülerek viale içerisine alınmıştır. İçerisine son hacimde 0,1 ppb olacak şekilde 4 ppb den 0,025 mL internal standard (Metalochlor D6) eklenerek ve LC-MS/MS cihazı ile analiz edilerek sonuçlar bulunmuştur.

Çizelge 5.1. Çalışma kapsamında yapılan analizler ve test metodu.

Parametre	Birim	Analiz Metodu
pH	-	SM 4500 H^+B
Sıcaklık	°C	SM 2550 B
İletkenlik	µS/cm	TS 9748 EN 27888
Serbest Klor	mg/L	SM 4500 Cl G
Bulanıklık	NTU	TS EN ISO 7027-1
Askıda Katı Madde	mg/L	SM 2540 D
Biyolojik Oksijen İhtiyaci (BOİ)	mg/L	SM 5210 B
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	SM 5220 B
Yüzey Aktif Madde (mBAS)	mg/L	SM 5540 C
Toplam Siyanür (CN^-)	mg/L	SM 4500-CN^- C SM 4500-CN^- E
Amonyum Azotu	mg/L	SM 4500 NH_3 B SM 4500-NH_3 C
Toplam Kjeldahl Azotu (Tk-N)	mg/L	SM 4500 Norg B
Toplam Azot (N)	mg/L	Hesaplama Yöntemi
Sülfat (SO_4^{2-})	mg/L	SM 4110 B
Klorür (Cl^-)	mg/L	SM 4110 B
Nitrat Azotu	mg/L	SM 4110 B
Arsenik (As)	mg/L	TS EN ISO 15587-1,2 TS EN ISO 17294-1.2
Toplam Fosfor (P)	mg/L	TS EN ISO 15587-1,2 TS EN ISO 17294-1.2
Toplam Krom (Cr)	mg/L	TS EN ISO 15587-1,2 TS EN ISO 17294-1.2
Yağ ve Gres	mg/L	SM 5520 D
Fenol (C_6H_5OH)	mg/L	SM 5530 B SM 5530 C
Toplam Bakır	mg/L	TS EN ISO 15587-1,2 TS EN ISO 17294-1.2
Toplam Civa	mg/L	TS EN ISO 15587-1,2 TS EN ISO 17294-1.2
Toplam Çinko	mg/L	TS EN ISO 15587-1,2 TS EN ISO 17294-1.2
Toplam Gümüş	mg/L	TS EN ISO 15587-1,2 TS EN ISO 17294-1.2
Toplam Kadmiyum	mg/L	TS EN ISO 15587-1,2 TS EN ISO 17294-1.2
Toplam Kalay	mg/L	TS EN ISO 15587-1,2 TS EN ISO 17294-1.2
Toplam Kurşun	mg/L	TS EN ISO 15587-1,2 TS EN ISO 17294-1.2
Toplam Nikel	mg/L	TS EN ISO 15587-1,2 TS EN ISO 17294-1.2

5.3. OXI-NR BIOGUARD Laboratuvar Atıksuları Ön Arıtım Sistemi

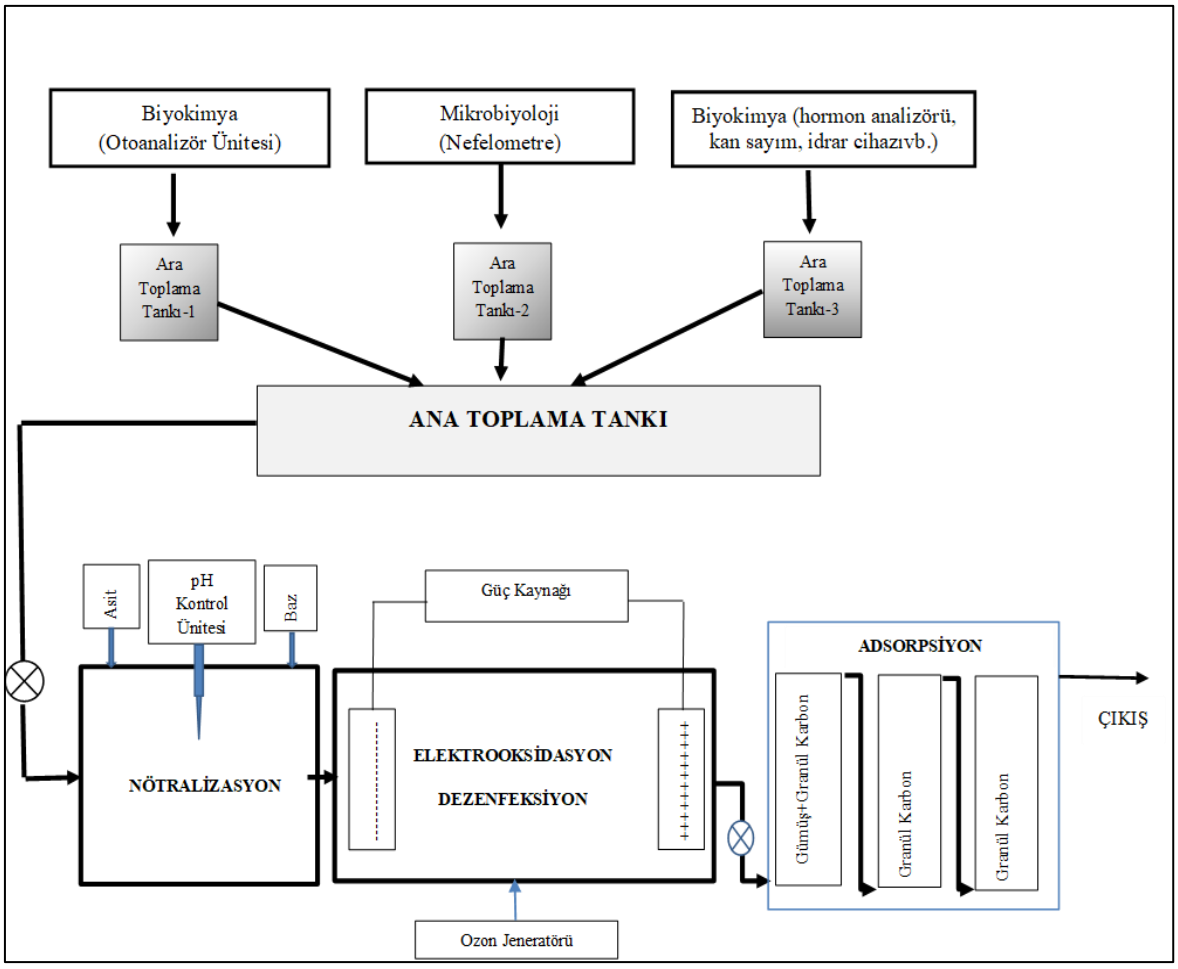
OXI-NR BIOGUARD (Elektrooksidasyon-Nötralizasyon-Adsorpsiyon-Dezenfeksiyon) sistemi, hastane laboratuvar atık sularında Kanalizasyon Deşarj Yönetmelikleri kapsamında belirlenen standart değerleri sağlayabilecek bir ön arıtım teknolojisidir. Bu sistemde, hastane laboratuvar atık sularında nötralizasyon ve dezenfeksiyon reaksiyonları gerçekleşirken, aynı zamanda sudaki makro ve mikro kirleticileri de belirli oranlarda arıtılabilmektedir. Böylece benzer sistemlerden farklı olarak hastane laboratuvar atık sularında yer alan organik (KOI, BOI, fenol vb.) ve inorganik (ağır metaller) kirleticiler büyük oranda ortamdan uzaklaştırılabilmektedir. Cihazın kullanıldığı Konya Şehir Hastanesi klinik tanı laboratuvarlarında oluşan atıksular sıvı uzaklaştırma hattı ile ana depolama tankına ulaşmaktadır.

Laboratuvarda bulunan otoanalizör cihazlarının (biyokimya otomatik analiz cihazları) atıksuları, bu cihazların atık çıkış kanallarına bağlı ara toplama tanklarında ayrı ayrı depolanmaktadır. Her tank birbirinden bağımsız şekilde belirli seviye aralıklarında çalışmaya tasarlanmış olup, seviyesini dolduran tank içinde bulundurduğu atığı ana toplama tankına otomatik olarak aktarmaktadır. Sistem kesikli (batch) olarak çalıştırılmaktadır. Sistemin fotoğraf görüntüleri Şekil 5.6.'de, proses akım diyagramı ise Şekil 5.7.'de verilmiştir.



Şekil 5.6. Enfekte sıvı atık ana toplama tankı ve OXI-NR BIOGUARD cihazı görüntüsü

Ana toplama tankında biriken sıvı atıklar tank üzerinde bulunan seviye algılayıcıları vasıtası ile algılanıp belirli bir seviyeye geldikleri zaman cihazın kontrol ünitesine sinyal vererek cihazı aktif duruma geçirmektedir. Aktif duruma geçen cihaz ilk önce besleme pompasını ve giriş valfini çalıştırarak cihaz içinde bulunan atık işleme deposunu belirli bir seviyeye kadar doldurmak için çalıştırmaktadır. Dolan deponun seviye algılayıcıları tarafından kontrol ünitesine doldu sinyali gönderilir ve besleme pompası ile giriş valfi durdurularak, sirkülasyon pompası ve sirkülasyon valfi çalışmaya başlamaktadır (Şekil 5.7.).



Şekil 5.7. Konya Şehir Hastanesi OXI-NR BIOGUARD Ön Arıtım Sistemi Proses Akım Şeması.

OXI-NR BIOGUARD sistemi genel olarak atık suyun ardışık olarak farklı fiziksel ve kimyasal arıtım basamaklarından geçirilerek arıtılması prensibi ile çalışmaktadır. Laboratuvar atık suları kaynağından ayrık toplama sistemi ile ana toplama tankında biriktirilir ve seviye sensörlerinin ayarına göre otomatik olarak arıtım prosesi aktive olur.

Arıtım prosesinde ardışık olarak aşağıda verilen işlemler gerçekleşmektedir;

- ✓ Nötralizasyon: Oksidasyon öncesi uygun pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerlerini sağlamak amacıyla atık sular ana depolama tankından nötralizasyon tankına alınmaktadır. Tank içindeki pH ve elektriksel iletkenlik seviyeleri sürekli olarak otomatik bir şekilde izlenmekte ve gerekli durumlarda istenilen pH ve EC seviyelerine ulaşabilmek için kimyasallar otomatik olarak dozlanabilmektedir.

- ✓ Elektrooksidasyon: Sistem temelde çözünmeyen bir anot malzemesi kullanılarak organik maddelerin direk veya endirekt olarak oksitlenmesi esasına dayanmaktadır. Organik kirleticiler elektrokimyasal oksidasyon yöntemiyle direk veya dolaylı oksidasyon prosesi ile anot yüzeyinde parçalanabilmektedir. Bu işlemle birlikte birçok madde oksidasyona uğratılabilirken biyolojik olarak parçalanabilirliği zor olan bileşikler biyolojik olarak kolay parçalanabilir organik bileşiklere veya CO_2 ve H_2O gibi son ürünlere dönüştürülmektedir. Sistemde elektrooksidasyon işlemi temel olarak 30 dakika devam etmektedir ve oksidasyon hızını artırmak için reaktöre ozon enjekte edilmektedir. Reaksiyon tamamlanınca 15 dk. çökelme süresi sağlanmakta ve daha sonrasında atıksular atık partikül filtresinden geçirilmektedir.
- ✓ Dezenfeksiyon: Sistemde dezenfeksiyon elektrooksidasyon prosesi ile eş zamanlı olarak yapılmaktadır. Oksidasyon sırasında ikinci bir reaksiyonla anodik klor üretilmekte ve böylece dezenfeksiyon işlemi de gerçekleşmektedir.
- ✓ Adsorpsiyon: Sistemin son basamağı olan bu prosesde ağır metallerin giderimi sağlanmaktadır. Mikro kirletici ve toksik organik miktarları büyük oranda azaltılmış ve tamamen dezenfekte olmuş atıksu pompalar yardımıyla aşağıdan yukarı akışlı gümüş aktif karbon kolonlarına verilmektedir. Birbirine seri halde dizayn edilen kolanlardan ilkine gümüs+granül karbon, diğer ikisine ise sadece granül karbon yerleştirilmiştir. Bu filtrelerle son çıkış suyunda ağır metaller ve sistemde kalabilecek patojen organizma ve organik madde kalıntıları da bertaraf edilmektedir.

OXI-NR BOIGUARD hastane atık suları ön arıtım sisteminde ayrıştırılan tehlikeli son ürünler özel bir filtrede güvenli bir şekilde depolanarak Tehlikeli Tıbbi Atık Bertaraf Tesislerine gönderilmektir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Hastane Atıksularının Kanalizasyona Deşarjı Açısından Değerlendirmesi

Pilot hastane olarak belirlenen 4 sağlık kuruluşunun (DH, AH, ML, ÜH) atıksularının kanalizasyona deşarjı öncesinde dört dönem mevsimsel numunelerin analiz sonuçları ortalama karakterizasyonu ile mikrokirleticiler olarak bulunan metaller ve ağır metaller Çizelge 6.1.'de verilmiştir.

Yine analiz sonuçlarının değerlendirilmesi konvansiyonel parametreler açısından SKKY'nin Tablo 25 limit değerleri ile karşılaştırılmıştır (ÇŞB, 2018).

Çizelge 6.1. Hastane dört dönem numunelerinin analiz sonuçları ortalama karakterizasyonu ve SKKY Tablo 25'e göre karşılaştırması.

Parametreler	Birim	DH (Devlet H.)	AH (Araştırma H.)	ML (Merkez Lab.)	ÜH (Üniversite H.)	Kanalizasyon Sistemleri Tam Arıtma İle Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesislerinde	Kanalizasyon Sistemleri Derin Deniz Deşarjı İle Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesislerinde
pH	-	6,24 ± 0,47	6,71 ± 0,36	7,08 ± 0,36	6,80 ± 0,49	6.5-10.0	6.0-10.0
KOİ	mg/L	870,25 ± 295,67	1128,75 ± 695,41	742,25 ± 296,56	355,5 ± 102,25	4000	600
$BOİ_5$	mg/L	278,25 ± 122	237,25 ± 77,26	265,25 ± 117,51	147,5 ± 78,42		
Renk	Pt/Co	124,25 ± 23	109,75 ± 66,32	48 ± 8,80	58,5 ± 14,15		
Toplam Sülfür	mg/L	0,36 ± 0,49	0,25 ± 0,33	0,20 ± 0,34	0,22 ± 0,33	2	2
Serbest Klor	mg/L	0,40 ± 0,35	0,43 ± 0,35	0,34 ± 0,38	0,33 ± 0,39	5	5
Toplam Fosfor (P)	mg/L	12,86 ± 2,62	4,68 ± 3,11	5,59 ± 5,86	3,51 ± 1,36	- (a)	10
Yağ-Gres	mg/L	14,28 ± 14,97	8,61 ± 8,84	2,79 ± 0,50	4,09 ± 4,32	250	50
Toplam siyanür (T.CN-)	mg/L	$3,7x10^{-3}$ ± $2,4x10^{-3}$	$2,4x10^{-3}$±$1,1x10^{-3}$	$1,7x10^{-2}$±$6,7x10^{-3}$	$1,7x10^{-3}$±$5,9x10^{-4}$	10	10
Serbest Siyanür	µg/L	1,83 ± 1,43	2,28 ± 0,93	7,72 ± 1,65	1,23 ± 0,29		
Toplam gümüş (Ag)	mg/L	$5,0x10^{-3}$ ±0	$5,0x10^{-3}$±0	$5,0x10^{-3}$±0	$5,0x10^{-3}$±0	5	5
Arsenik (As)	mg/L	$1,6x10^{-3}$ ±$4,5x10^{-4}$	$1,0x10^{-3}$±$3,4x10^{-4}$	$1,6x10^{-3}$±$1,1x10^{-4}$	$8,4x10^{-4}$±$3,0x10^{-4}$	3	10
Bor (B)	µg/L	149,45 ± 125,18	191,25 ± 104,36	288,75 ± 67,22	214,5 ± 66,15		
Toplam kadmiyum	mg/L	$1,6x10^{-4}$ ±$1,0x10^{-4}$	$9,3x10^{-5}$±$2,6x10^{-5}$	$1,2x10^{-4}$±$6,2x10^{-5}$	$7,5x10^{-5}$±$2,5x10^{-5}$	2	2
Toplam krom (Cr)	mg/L	$3,1x10^{-3}$ ±$1,9x10^{-3}$	$3,3x10^{-3}$±$5,3x10^{-4}$	$1,4x10^{-3}$±$2,1x10^{-4}$	$2,8x10^{-3}$±$2,7x10^{-3}$	5	5
Toplam bakır (Cu)	mg/L	$4,0x10^{-2}$ ±$6,3x10^{-3}$	$3,8x10^{-2}$±$3,1x10^{-3}$	$3,3x10^{-2}$±$4,1x10^{-3}$	$4,9x10^{-2}$±$1,3x10^{-2}$	2	2
Gadolinyum (Gd)	µg/L	5,23 ± 3,19	37,73 ± 10,92	1 ± 0	16,32 ± 14,42		
Toplam nikel (Ni)	mg/L	$6,7x10^{-3}$±$2,7x10^{-3}$	$6,8x10^{-3}$±$1,1x10^{-3}$	$2,5x10^{-3}$±$1,2x10^{-4}$	$6,7x10^{-3}$±$9,2x10^{-4}$	5	5
Toplam kurşun (Pb)	mg/L	$4,5x10^{-3}$±$2,1x10^{-3}$	$3,1x10^{-3}$±$4,1x10^{-4}$	$2,2x10^{-3}$±$7,7x10^{-4}$	$8,0x10^{-3}$±$4,2x10^{-3}$	3	3
Toplam kalay (Sn)	mg/L	$1,3x10^{-2}$±$3,3x10^{-3}$	$1,7x10^{-2}$±$7,6x10^{-3}$	$1,0x10^{-2}$±0	$1,0x10^{-2}$±$6,5x10^{-4}$	5	5
Toplam çinko (Zn)	mg/L	$1,8x10^{-1}$±$5,2x10^{-2}$	$4,5x10^{-1}$±$9,0x10^{-2}$	$7,1x10^{-2}$±$1,3x10^{-2}$	$1,7x10^{-1}$±$1,1x10^{-1}$	10	10
Toplam civa (Hg)	mg/L	$1,8x10^{-3}$±$2,5x10^{-3}$	$2,1x10^{-3}$±$3,1x10^{-3}$	$1,0x10^{-3}$±$1,2x10^{-3}$	$8,2x10^{-4}$±$9,8x10^{-4}$	0,2	0,2
Toplam Azot	mg/L	75,53 ± 19,75	81,38 ± 13,26	29,96 ± 13,37	49,65 ± 9,55	- (a)	40
Fenol	mg/L	0,11 ± 0,05	0,22 ± 0,22	0,59 ± 0,17	0,17 ± 0,08	20	10
AKM	mg/L	440,5 ± 371,35	297,25 ± 136,04	20 ± 11,49	110 ± 7,07	500	350
TKN	mg/L	75,16 ± 19,81	80,98 ± 13,28	25,79 ± 10,70	49,25 ± 9,57		
NH_4-N	mg/L	41,27 ± 9,46	46,24 ± 6,48	4,19 ± 2,55	33,94 ± 6,95		
Metilen mavisi ile reaksiyon veren yüzey aktif maddeleri (MBAS)	mg/L	1,89 ± 0,72	0,48 ± 0,33	0,12 ± 0,13	0,09 ± 0,02	Biyolojik olarak parçalanması Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır.	
AOX	mg/L	12,95 ± 11,13	6,04 ± 1,62	8,75 ± 2,42	6 ± 3,64		
Cl^- (Klorür)	mg/L	92,55 ± 16,90	209 ± 36,87	452,25 ± 150,17	290 ± 286,91	10000	-
SO_4^{2-}	mg/L	22,3 ± 14,27	53,6 ± 3,72	172,5 ± 54,43	55,95 ± 19,23	1700	1700
Nitrat (NO_3-)	mg/L	0,7 ± 0,17	0,7 ± 0,17	12,91 ± 6,98	0,7 ± 0,17		
Nitrit (NO_2-)	mg/L	0,7 ± 0,17	0,7 ± 0,17	3,83 ± 4,79	0,7 ± 0,17		
Bromür	mg/L	0,7 ± 0,17	0,7 ± 0,17	5,13 ± 1,90	0,70 ± 0,17		
Formaldehit	mg/L	0,25 ± 0,11	0,44 ± 0,43	0,15 ± 0,04	0,38 ± 0,24		
Florür	mg/L	0,14 ± 0,03	0,18 ± 0,11	0,14 ± 0,03	0,14 ± 0,03		

Analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, bazı parametrelerde dönemsel olarak artma veya azalma görüldüğü tespit edilmiştir. Bu durum hasta profili, hasta sayısı ya da mevsimsel olarak değişiklik gösteren su kullanımı ile ilişkilendirilmiştir.

Sağlık kuruluşları atıksularının makro kirleticiler olarak fizikokimyasal parametrelerinin başında pH, KOİ, BOİ, AKM, yağ-gres, TKN, ve NH_4-N gelmektedir. Pilot sağlık kuruluşlarının atıksu karakterizasyonu bu parametreler açısından değerlendirildiğinde, genel olarak orta-kuvvetli seviyede evsel atıksuya benzer karakterde olduğu söylenebilir. Çizelge 6.1. incelendiğinde, dört pilot sağlık kuruluşundan dört ayrı dönemde alınan kompozit numunelerde, pH değerlerinin nötüre yakın ve 5.6-7.0 aralığında olduğu görülmektedir. KOİ konsantrasyonlarına bakıldığında, genel olarak kış döneminde yaz dönemine göre bir miktar artış gözlenmektedir. Yaz döneminde KOİ konsantrasyonlarının düşüş göstermesinin nedeni, bu dönemde hasta sayısının azalması veya su tüketiminin artması ile açıklanabilir. DH, AH ve ML'ye ait atıksuların KOİ değerleri sırasıyla yıllık ortalama 870 mg/L, 1128 mg//L ve 742 mg/L civarında olup, genel olarak orta-kuvvetli seviyede evsel atıksu karakterine benzer özellik gösterdiği görülmektedir. YÜH atıksularının KOİ değeri ise yıllık ortalama 355 mg/L olup, zayıf-orta evsel atıksu karakterine benzer özellik özellik gösterdiği tespit edilmiştir. BOİ değerleri DH, AH ve Merkez laboratuvara ait atıksular için yıllık ortalama 250 mg/L civarında iken, ÜH atıksuları için bir miktar daha düşük ve ortalama 150 mg/L civarında bulunmuştur. BOİ parametresi açısından incelenen pilot sağlık kuruluşu atıksularının genel olarak orta seviyede evsel atıksu karakterine yakın olduğu söylenebilmektedir. Pilot sağlık kuruluşları atıksularının AKM değerleri dört dönem için değerlendirildiğinde, DH ve AH dışındaki diğer sağlık kuruluşları için genel olarak önemli bir değişiklik görülmediği tespit edilmiştir. Buna göre yıllık ortalama AKM değeri en yüksek 440 mg/L ile DH için gözlemlenirken, en düşük 20 mg/L ile merkez laboratuvarı için bulunmuştur. Merkez laboratuvarı için AKM değerlerinin düşük çıkmasının sebebi, bu sulara evsel atıksu karışmaması ile açıklanabilir.

TKN parametresi için ölçülen değerlerin pilot sağlık kuruluşu bazında ve dönemsel olarak değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Pilot sağlık kuruluşlarına ait atıksuların yıllık ortalama TKN ve amonyum azotu (NH_4-N) parametrelerine bakıldığında, ÜH dışındaki diğer sağlık kuruluşlarının TKN ve NH_4-N parametreleri bir miktar yüksek bulunmuştur. Buna göre TKN değerleri DH ve AH için yıllık ortalama 80 mg/L civarında iken, merkez laboratuvar

ve ÜH için sırasıyla ortalama 25 mg/L ve 50 mg/L civarındadır. NH_4-N konsantrasyonlarının ise dönemsel olarak çok büyük değişkenlik göstermediği belirlenmiştir. Bununla birlikte 3 hastane için NH_4-N değerleri yıllık ortalama 40 mg/L civarında iken, merkez laboratuvarında 4,5 mg/L civarında bulunmuştur. Sonuç olarak pilot sağlık kuruluşları TKN ve NH_4-N parametresi açısından evsel atıksu ile kıyaslandığında, hastanelerin kuvvetli evsel atıksuya benzer karakter gösterdiği, merkez laboratuvarının ise zayıf evsel atıksu karakterine daha yakın olduğu söylenebilmektedir.

Yağ-gres değerlerine bakıldığında, en düşük merkez laboratuvarda ortalama 2,79 mg/L iken, diğer 3 pilot hastane için en yüksek ortalama değer DH'de 14,28 mg/L olarak tespit edilmiştir. Merkez laboratuvarda yağ-gres değerlerinin hastanelere kıyasla düşük çıkmasının nedeni, yemekhane ve/veya çamaşırhane hizmetlerinin olmaması ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca yağ-gres değerleri açısından incelenen 4 pilot sağlık kuruluşunun da evsel atıksuya kıyasla düşük değerlerde olduğu görülmüştür.

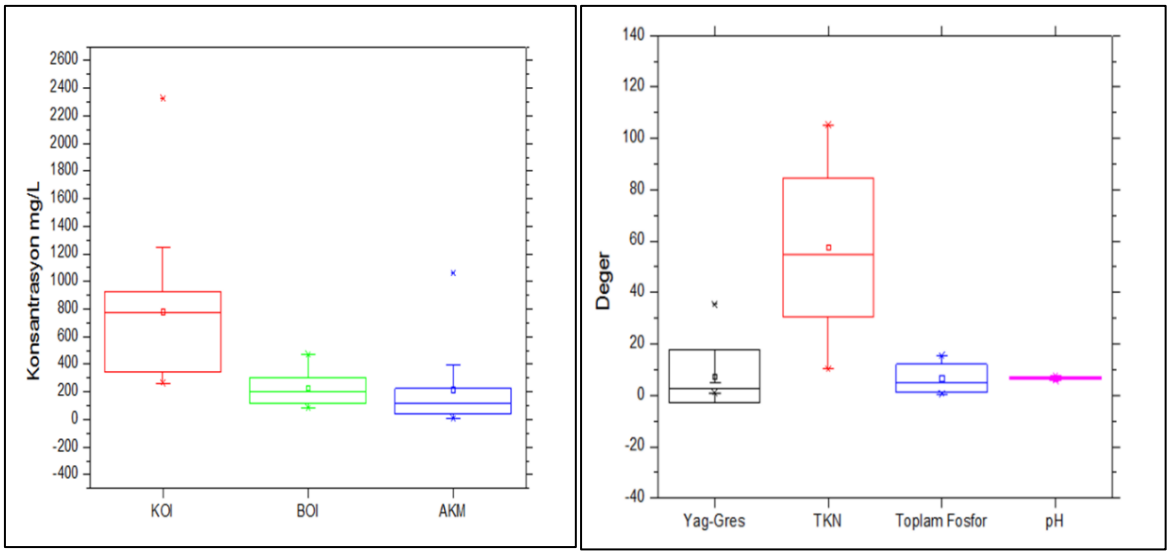
Ağır metal analizi sonuçları incelendiğinde ise, genel olarak 4 pilot sağlık kuruluşu için de sırasıyla en yüksek çinko, bor ve bakır, en düşük kadmiyum ve arsenik metallerine rastlanmıştır. Ağır metaller açısından özellikle çinko ve bor metallerinin diğer ağır metallere kıyasla yüksek değerde bulunmasının yanısıra, sağlık kuruluşu bazında ve dönemsel olarak değişim gösterdiği de tespit edilmiştir. Sağlık kuruluşu ya da numunenin alınma dönemine bağlı olarak görülen değişkenliğin sebebi, sağlık kuruluşunun sunduğu hizmetin sürekli veya aynı yoğunlukta olmaması ile açıklanabilmektedir (Top ve Bilgili, 2014). Buna göre sağlık kuruluşu bazında değerlendirildiğinde bakır konsantrasyonları DH, AH ve merkez laboratuvarı için sırasıyla 40,4, 37,7 ve 32,8 µg/L iken, ÜH'de 49,1 µg/L olarak ölçülmüştür. Röntgen laboratuvarı atığı olarak bilinen gümüş parametresi, dört dönemde 4 sağlık kuruluşu için de <5 µg/L olarak bulunmuştur. En önemli kaynakları hastanelerin diş sağlığı üniteleri ve dezenfektanların aktif maddeleri olan civa için ortalama değerlerin 3 ile 0,82 µg/L arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Hastanelerin görüntüleme merkezinde MR görüntülemesinde kullanılan gadolinyum (Yaşar ve diğerleri, 2013), en düşük merkez laboratuvar atıksuyunda ve ortalama <5 µg/L seviyesinde iken, en yüksek AH atıksularında ve ortalama 37,7 µg/L civarında ölçülmüştür. Toplam siyanür hastane atıksularında 1,0-3,67 µg/L arasında değişkenlik gösterirken, merkez laboratuvar atıksuyunda bu değer 17,32 µg/L mertebesindedir. Siyanür içeren hücre çözücü solüsyonlar hemoglobin analizi için laboratuvarlarda kullanıldığından (Merkblatt DWA-M

775, 2010) merkez laboratuvarında bu değerin diğer 3 pilot hastaneye kıyasla bir miktar yüksek olması beklenen bir durumdur. Nikel, kurşun ve kalay metallerine bakıldığında ise genellikle dönemsel olarak ve sağlık kuruluşu bazında önemli farklar görülmemiş, sadece merkez laboratuvarında bu mikrokirleticilerden nikel ve kurşunun hastanelere kıyasla bir miktar düşük olduğu tespit edilmiştir.

Adsorblanabilen organik halojenli bileşikler (AOX), hastane genelinde farklı amaçlarla kullanılan dezenfektanlar ve yine hastanelerin radyoloji bölümlerinden salınan kontrast maddelerin organik maddeler ile reaksiyonu sonucu oluşmaktadır. Hastane atıksularındaki AOX' lerin büyük bir kısmı, bu maddelerle birlikte, solventler, temizleyiciler ve klor içeren ilaçların kullanımı sonucu oluşmaktadır. Bu kirleticilerin sudaki organizmalar üstünde toksik etkisi var olup besin zincirinde birikim yapabilmektedir. Ayrıca kalıcı çevresel etkileri de bulunmaktadır (Kümmerer, 2001).

Hastanelerde yüksek miktarda dezenfektan kullanımından dolayı atıksularında yüksek konsantrasyonlarda organik klorlu bileşikler varlığı ortaya konmuştur (Yaşar ve diğerleri, 2013). Üniversite hastanelerinin yataklı servislerinden kaynaklanan atıksularda 10 mg/L'ye kadar AOX bulunduğu belirtilmiş, yapılan ölçümler, hastane çıkış sularındaki AOX' lerin yüksek oranda AOI (Adsorplanabilir Organik İyotlu Bileşikler) olduğunu göstermiştir. İlaç bileşiklerinin AOX'e katkısının ise genelde %11' i aşmadığı bildirilmiştir (Kümmerer, 2001; Emmanuel ve diğerleri, 2004).

Çizelge 6.1.'de AOX parametresi için de ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir. Buna göre AOX değerleri DH ve Merkeze laboratuvarda sırasıyla ortalama 13 ve 8,8 mg/L civarında iken, AH ve ÜH atıksularında 6 mg/L olarak ölçülmüştür. Pilot sağlık kuruluşları için dört dönemlik örneklemeler sonucunda yıl bazında elde edilen sonuçların daha detaylı değerlendirilmesi amacıyla, dağılım ve kümelenme grafikleri üretilmiş ve Şekil 6.1'de sunulmuştur.



Şekil 6. 1. Konvansiyonel parametreler için üretilen dağılım ve kümelenme grafikleri.

KOİ ve BOİ parametreleri için % 25 ve % 75 persentil değerleri KOİ için sırasıyla yaklaşık 350 ile 900 mg/L, BOİ için ise 100 ile 300 mg/L arasındadır. KOİ ve BOİ parametresi için minimum ve maksimum değerleri incelendiğinde ise KOİ değerinin yaklaşık 250 ve 2325 mg/L arasında (ortalama 800 mg/L), BOİ değerinin ise yaklaşık 85 ve 470 mg/L (ortalama 150 mg/L) arasında değiştiği görülmektedir. Aynı zamanda her iki kirletici parametre için de ortalama ve ortanca değerlerin kendi içlerinde birbirine yakın olduğu görülmektedir. AKM parametresi için % 25 ve % 75 persentil değerleri sırasıyla 50 ile 220 mg/L arasında bulunmuş ve ortalama ve ortanca değerlerinin de birbirine yakın (yaklaşık 100 mg/L civarında) olduğu belirlenmiştir. TKN parametresi için % 25 ve % 75 persentil değerleri sırasıyla 30 ile 85 mg/L arasında iken, minimum-maksimum değerleri ise sırasıyla 10 ve 110 mg/L (ortalama 55 mg/L) olarak bulunmuştur. Yağ-gres parametresi için elde edilen değerlerin çok geniş aralıklarda olmadığı görülmüş, minimum ve maksimum değerlerinin sırsıyla 1 ve 35 mg/L olduğu, ortalama ve ortanca değerlerinin de yine birbirine yakın değerlerde seyrettiği tespit edilmiştir. Genel olarak yağ-gres değerleri özellikle DH ve AH'da, verilen yemekhane hizmeti nedeniyle diğer sağlık kuruluşlarına kıyasla yüksek olmakla birlikte, evsel atıksu ile kıyaslandığında düşük konsantrasyonlardadır. Toplam fosfor parametresi için hesaplanan % 25-% 75 persentil değerleri, minimum-maksimum değerleri ile ortalama-ortanca değerleri arasında önemli bir salınım olmadığı ve ortalama 3-5 mg/L civarında olduğu belirlenmiştir. Benzer şeklide pH değerinin de ortalama 6-7,5 arasında olup, dönemsel olarak önemli bir değişim göstermediği belirlenmiştir. Genel olarak dört pilot sağlık kuruluşunun atıksularına ait ortalama karakterizasyon sonuçları

konvansiyonel parametreler açısından değerlendirildiğinde, orta-kuvvetli evsel atıksu karakterine yakın olduğu söylenebilmektedir.

Hastane atıksularının kanalizasyona deşarjı açısından değerlendirilmesi bu bölümde yapılmış ve konvansiyonel parametreler açısından SKKY'nin Tablo 25 limit değerleri ile karşılaştırılmıştır. Dört farklı pilot sağlık kuruluşundan dört farklı mevsimde alınan numuneler konvansiyonel parametreler ve ağır metaller açısından analiz edilmiş, dört dönem mevsimsel olarak alınan numunelerinin ortalama konsantrasyonları belirlenmiş ve Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nin Tablo 25'inde bulunan kanalizasyon ve derin deniz deşarjı limit değerleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar detaylı incelendiğinde SKKY deşarj limitleri göz önünde bulundurularak karşılaştırıldığında limit değerleri aşan hiçbir parametre bulunmamıştır (Çizelge 6.1.). Atıksu karakterizasyonu incelendiğinde pH değerleri nötre yakın, KOI parametresi açısından ise kuvvetli evsel atıksu olarak değerlendirmek mümkündür. Ağır metaller bazında incelendiğinde ise hemen hemen bütün analiz sonuçları µg/L mertebesinde olup deşarj limitlerinin çok çok altında olduğu görülmektedir.

6.2. Laboratuvar Atıksuları Ön Arıtım Performans Değerlendirmesi

Tez çalışması kapsamında Konya Şehir Hastanesi laboratuvarlarında (tanı/tetkik merkezleri) oluşan atıksular ayrı toplanarak ön arıtım işlemine tabi tutulmuştur. OXI-NR BIOGUARD ön arıtım paket sisteminin kullanıldığı arıtım çalışmasında söz konusu cihazlarda oluşan atıksular toplanarak arıtma işlemine tabi tutulmuştur. Atıksuların toplandığı atık depolama tankından giriş suyu numuneleri alınmıştır. OXI-NR BIOGUARD siteminde atıksu sırasıyla nötralizasyon ve elektrokoagülasyon havuzlarına aktarılmıştır. Bu işlemlerle atıksudaki pH ayarlamaları yapılırken elektrokoagülasyon havuzunda da organik maddelerin direk veya endirekt olarak oksitlenmesi sağlanmıştır. 30 dakikalık elektrokoagülasyon işlemi ile biyolojik olarak parçalanabilirliği zor olan bileşikler biyolojik olarak kolay parçalanabilir organik bileşiklere veya CO_2 ve H_2O gibi son ürünlere dönüştürülmüştür. İşlem sırasında oksidasyon hızını artırmak için reaktöre ozon enjekte edilmiştir. Ozon enjeksiyonu aynı zamanda oksidasyon sırasında ikinci bir reaksiyonla anodik klor üretimine neden olduğu için elektrooksidasyon sırasında reaktörde dezenfeksiyon işleminde gerçekleşmiştir.

Reaksiyon sonrası havuzdaki su 15 dakikalık bir süre çökelmeye maruz bırakılmıştır. Çökelme sonrası havuzdaki su ardışık olarak filtrelerden geçirilmiştir. Sistemin son basamağı olan bu proseste ağır metallerin giderimi sağlanmaktadır. Mikro kirletici ve toksik organik miktarları büyük oranda azaltılmış ve tamamen dezenfekte olmuş atıksu pompalar yardımıyla aşağıdan yukarı akışlı gümüş aktif karbon kolonlarına verilmektedir. Birbirine seri halde dizayn edilen kolanlardan ilkine gümüş+granül karbon, diğer ikisine ise sadece granül karbon yerleştirilmiştir. Bu filtrelerle son çıkış suyunda ağır metaller ve sistemde kalabilecek patojen organizma ve organik madde kalıntıları da bertaraf edilmeye çalışılmıştır. Çıkış suyu numuneleri bu son basamaktan sonra alınmıştır. Ön arıtım sisteminin performansını belirlemek için alınan giriş ve çıkış atıksularının karakterizasyonu konvansiyonel parametreler açısından SKKY'nin Tablo 25 limit değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yine giriş ve çıkış suyu numunelerinde çeşitli mikrokirleticilerin ve ilaç kalıntı maddelerinin de analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 6.2.'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Hastane laboratuvar atıksuları konvasiyonel parametrelere göre karakterizasyonu ve ön arıtım verimi.

Parametre	OXI-NR BIOGUARD Giriş	OXI-NR BOIGUARD (Çıkış)	% Gideri m	Kanalizasyon Sistemleri Tam Arıtma İle Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesislerinde	Kanalizasyon Sistemleri Derin Deniz Deşarjı İle Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesislerinde
pH	8,52	7,41	-	6.5-10.0	6.0-10.0
Sıcaklık, °C	22,7	22,2	2	40	40
İletkenlik, µS/cm	1010	457	55		
Serbest Klor, mg/L	< 0,01	< 0,01	-	5	5
Bulanıklık, NTU	2,61	8,90	-		
Askıda Katı Madde, AKM mg/L	<10	29,9	-	500	350
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, BOI mg/L	378	60,8	84	-	400
Kimyasal Oksijen İhtiyacı, KOI mg/L (KOİ)	964	155,5	84	4000	600
Yüzey Aktif Madde, (mBAS) mg/L	0,105	0,025	76		
Toplam Siyanür (CN^-), mg/L	0,010	< 0,005	50	10	10
Amonyum Azotu, mg/L	11,3	1,42	87		
Toplam Kjeldahl Azotu, TKN mg/L	33,7	8,03	76		
Toplam Azot (N), mg/L	34,04	8,03	76	_(a)	40
Sülfat (SO_4^{2-}), mg/L	5,68	5,10	10	1700	1700
Klorür (Cl^-), mg/L	137	50,1	63	10000	-
Nitrat Azotu, mg/L	0,343	< 0,1	71		
Arsenik (As), mg/L	<0,0005	0,002	-	3	10
Toplam Fosfor (P), mg/L	75	14,6	81	_(a)	10
Toplam Krom (Cr), mg/L	0,002	0,021	-	5	5
Yağ ve Gres, mg/L	< 10	< 10	-	250	50
Katran ve Petrol Kökenli Yağlar, mg/L	< 0,1	< 0,1	-	50	10

Çizelge 6.2. (devam) Hastane laboratuvar atıksuları konvasiyonel parametrelere göre karakterizasyonu ve ön arıtım verimi.

AOX, mg/L	0,08	0,06	25		
Toplam Sülfür (S^{-}), mg/L	< 0,002	< 0,002	-	2	2
Fenol (C_6H_5OH), mg/L	0,074	0,005	93	20	10
Toplam Bakır, (Cu) mg/L	0,003	0,001	67	2	2
Toplam Civa,(Hg) mg/L	< 0,0001	< 0,0001	-	0,2	0,2
Toplam Çinko, (Zn) mg/L	0,119	0,18	-	10	10
Toplam Gümüş, (Ag) mg/L	< 0,005	< 0,005	-	5	5
Toplam Kadmiyum (Cd), mg/L	< 0,0005	< 0,0005	-	2	2
Toplam Kalay, (Sn) mg/L	<0,0005	0,0005	-	5	5
Toplam Kurşun (Pb), mg/L	< 0,0005	< 0,0005	-	3	3
Toplam Nikel, (Ni) mg/L	<0,005	0,014	-	5	5

Yapılan analiz sonuçlarına göre hastanelerin tanı ve tetkik merkezlerinde kullanılan cihazlardan kaynaklanan atıksuların genel orta/kuvvetli evsel atıksu özelliği gösterdiği anlaşılmaktadır. Özellikle sağlık kuruluşlarından kaynaklanan evsel atıksulardaki organik kirlilik yükünün büyük bir bölümü (KOI, BOI) laboratuvar atıksularından kaynaklanmaktadır. 4 pilot tesisinin evsel atıksularında KOI miktarı ortalama 800 mg/L olurken (Çizelge 6.1.) laboratuvar atıksularında bu değer anlık 964 mg/L (Çizelge 6.2.) olarak ölçülmüştür. Genel olarak seçilen pilot sağlık kuruluşlarında bütün birimlerdeki atıskuların toplandığı ve ana kollektöre verildiği göz önünde tutulmalıdır. Bu durum aynı zamanda bu tesislerdeki atıksu kompozisyonun da seyrelmesi anlamına gelmektedir. Konya Şehir Hastanesin de aynı durum göz önüne alındığında kanalizasyon deşarjı öncesi atıksuların karıştırılarak verilmesi durumunda laboratuvar atıksu karakterizasyonun da seyreleceği aşikardır. Ancak, bu durum laboratuvarlardan gelecek organik kirlilik yükünün yüksek olduğu gerçeğini değiştirmeyecektir. Benzer şekilde hastane atıksularındaki nütrient miktarlarının artmasında (TP, TN) laboratuvar atıksularının önemli bir katkısı olduğu görülmektedir.

Laboratuvar atıksularının kanalizasyona deşarj edilmeden önce ön arıtıma tabi tutulması ile elde edilen giderim verimleri Çizelge 6.2.'de verilmiştir. Buna göre uygulanan yöntemle % 84 KOI, % 84 BOI, % 76 TN, % 81 TP, % 76 Yüzey Aktif Madde, % 25 AOX, % 93 Fenol giderimi, Toplam Bakırda ise % 67 lik giderim verimi gerçekleşmiştir. Özellikle ön arıtım ile laboratuvar atıksularında büyük oranda organik madde gideriminin gerçekleştiği görülmektedir. Yine, % 75'in üstünde atıksudaki nütrient (N, P) maddelerinin giderimi sağlanmıştır. Ancak, en ilgi çekici sonuç ön arıtım sonrası sudaki AKM ve bulanıklık miktarlarında artışın meydana gelmesidir. Bu durum eloktrooksidayon sırasında anodda meydana gelen indirgenme reaksiyonuna bağlı olarak, metallerin kütlesel olarak artmasından ve/veya çözünmesinden kaynaklanmış olabilir. Ancak daha detaylı bir sonuca varabilmek için sistemin sürekli olarak uzun periyotlarda izlenmesi gerekmektedir. Pilot çalışma yapılan laboratuvar atıksularındaki kirlilik yüklerinin kanalizasyon deşarj limitlerini aşmadığı belirlenmiş olmasına rağmen, kanalizasyona verilmeden önce bir ön arıtıma tabi tutularak özellikle organik kirlilik yükünün ciddi oranda azaltılabileceği tespit edilmiştir. Böyle bir uygulama özellikle kanalizasyon altyapısının yeterli olmadığı bölgelerde veya ileri bir arıtımla sonuçlanmayan atıksu arıtma tesislerine gelen kirlilik yüklerinin azaltılmasında avantaj sağlayabilir. Yine, ön arıtım sisteminde dezenfeksiyon işleminin gerçekleşmesi ön arıtımın avantajları arasında değerlendirilebilir.

Literatür çalışmaları değerlendirildiğinde hastane atıksularının arıtımında farklı teknolojilerin özellikle KOI, BOI, N, P ve patojen gideriminde yüksek verim sağladığı belirlenmiştir. Azar ve diğerleri (2010) aerobik+anaerobik arıtma ile yaptıkları çalışmada KOİ, BOİ ve toplam koliform giderimleri ortalama % 91 olarak gerçekleşmiştir. (Al Hashimia, Abbas ve Jasema, 2013) yaptıkları bir çalışmada ise Anoksik/Anaerobik MBR teknolojisi kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda KOİ, BOİ, toplam fosfor, toplam azot, amonyum ve toplam kolfirom giderim verimleri sırasıyla %90, %98, %83, %93, %100 ve %98 olarak gerçekleşmiştir. Dehghani ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmada Elektrokoagulasyon yöntemi uygulanmış ve % 87 KOI giderim verimi sağlanmıştır. Beier ve diğerleri (2012) tarafından yapılan çalışmada MBR yöntemi uygulanmış ve %10 Adsorblanabilen Organik Halojen (AOX) giderim verimi sağlanmıştır. Zoroğlu, (2019) yapmış olduğu çalışmada elektrokoagülasyon prosesi için BOİ, AKM, bulanıklık, renk, toplam azot ve toplam fosfor giderim verimleri sırasıyla % 34.03, % 48.76, % 81.87, % 69.16, % 73.95 ve % 68.65 elde edilmiştir. Tez çalışması sonucunda hastane laboratuvar atıksuyu için uygulanan ön arıtım sisteminde, literatür çalışmalarındaki hastane atıksularına uygulanan arıtım teknolojilerinin performans değerlerine yakın verim elde edilmiştir. Ön arıtım sistemi ile atıksudaki KOI, BOI, TP, TN ve AOX giderim oranlarının MBR ve elektrokoagülasyon teknolojilerine göre daha yüksek arıtım verimine sahip olduğu görülmüştür.

Ülkemizde sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıksular “evsel atıksu” olarak kabul edilmektedir ve herhangi bir sektör tanımlamasına tabi olmadığı için atıksular kanalizasyona direkt deşarj edilebilmektedir. Tez çalışması sonucunda sağlık kuruluşlarından kaynaklanan atıksuların özellikle organik madde miktarı bakımından (KOI, BOI) orta-kuvvetli evsel atıksu özelliği gösterdiği belirlenmiştir. Yine, sağlık kuruluşlarında yer alan tanı/tetkik laboratuvar atıksularının da organik kirlilik yükü bakımından orta-kuvvetli evsel atıksu karakterizasyonunda olduğu görülmüştür. Yine, düşük miktarlarda olsa bile bu atıksularda mikrokirleticilerin ve ağır metallerin bulunduğu tespit edilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hastane atıksularının karakterizasyonu genel olarak evsel atıksu karakterizasyonu göstermektedir. Ancak ilaç aktif maddeler gibi çok sayıda farklı nitelikte kimyasallar ve dezenfektanlar ile kirlenmesinden dolayı, bünyesinde birçok kimyasal madde barındırabilmektedir. Hastane atıksularının yönetimi ile ilgili uygulamalar incelendiğinde, ülkelere göre değişiklik gösterdiği ve belirli bir standart olmadığı görülmektedir. Ülkemizde ve Dünya geneline bakıldığında hastane atıksuları evsel atıksuya benzer şekilde değerlendirilmekte ve çoğunlukla herhangi bir ön işlem uygulamadan doğrudan kanalizasyona verilerek uzaklaştırılmaktadır.

Bu tez çalışmasında Ülkemiz ölçeğinde farklı kapasiteye sahip hastane atıksularının karakterizasyon özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, dört farklı pilot sağlık kuruluşundan mevsimsel olarak alınan numunelerin konvansiyonel parametreler, ağır metaller ve mikrokirleticiler açısından özellikleri analiz edilmiştir. Analiz çalışmaları yapılan hastane atıksularının kompozisyonları Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nin Tablo 25'inde bulunan kanalizasyon ve derin deniz deşarjı limit değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci basamağında ise, hastane laboratuvar atıksularının karakterizasyonu belirlenmeye çalışılmış ve söz konusu atıksuların ön arıtım çalışması gerçekleştirilerek kanalizasyon deşarj standartları ile karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Hastane laboratuvar atıksularının ön arıtımı için kullanılan OXI-NR BIOGUARD sistemi Konya Şehir Hastanesi tanı ve tetkik merkezine kurularak pilot bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında yapılan analizler ve ön arıtım uygulaması sonrası elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- Dört farklı pilot sağlık kuruluşundan dört farklı mevsimde alınan numuneler konvansiyonel parametreler ve ağır metaller açısından analiz edilmiş, dört dönem mevsimsel olarak alınan numunelerinin ortalama konsantrasyonları belirlenmiş ve Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nin Tablo 25'inde bulunan kanalizasyon ve derin deniz deşarjı limit değerleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçları SKKY deşarj

limitleri göz önünde bulundurularak karşılaştırıldığında limit değerleri aşan hiçbir parametre bulunmamıştır.

- Sağlık kuruluşlarının ve hastane laboratuvar atıksu karakterizasyonun, konvansiyonel parametreler açısından değerlendirildiğinde, genel olarak orta-kuvvetli seviyede evsel atıksuya benzer karakterde olduğu tespit edilmiştir.
- KOİ değerlerinin seçilen 4 hastanede 1100-355 mg/L aralığında değişen konsantrasyon düzeylerine sahip olduğu görülmüştür. Hastane laboratuvar atıksuyunda ise KOI'nin 964 mg/L seviyesinde olduğu belirlenmiştir. KOI parametresi açısından hastane ve laboratuvar atıksularını kuvvetli evsel atıksu olarak değerlendirmek mümkündür.
- Ağır metal analizi sonuçlarına göre, analiz edilen sağlık kuruluşu atıksularının tamamının SKKY Tablo 25'de verilen kanalizasyona deşarj limitlerinin oldukça altında olduğu görülmüştür.
- TKN ve amonyum azotu (NH4-N) parametreleri için ölçülen değerlerin pilot sağlık kuruluşu bazında ve dönemsel olarak değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Pilot sağlık kuruluşlarına ait atıksuların yıllık ortalama TKN ve NH4-N parametreleri bir miktar yüksek bulunmuştur. Buna göre TKN değerleri yıllık ortalama olarak 3 hastanede 50-80 mg/L aralığında değişim gösterirken, merkez laboratuvarında 25 mg/L, hastane tanı/tetkik laboratuvarında ise 33,7 mg/L civarındadır. NH4-N konsantrasyonlarının ise dönemsel olarak çok büyük değişkenlik göstermediği belirlenmiştir. Sonuç olarak pilot sağlık kuruluşları TKN ve NH4-N parametresi açısından evsel atıksu ile kıyaslandığında, hastanelerin kuvvetli evsel atıksuya benzer karakter gösterdiği, merkez laboratuvarının ve hastane tanı/tetkik laboratuvar atıksularının ise zayıf evsel atıksu karakterine daha yakın olduğu tespit edilmiştir.
- Karaterizasyon çalışmalarının yapıldığı 4 adet hastane ve 1 adet hastane tanı/tetkik laboratuvar atıksularında çevresel açıdan önemli bir kirletici olan AOX parametresinin yüksek olması dikkat çekici bir sonuçtur. Adsorblanabilen organik halojenli bileşikler (AOX), hastane genelinde farklı amaçlarla kullanılan dezenfektanlar ve yine hastanelerin radyoloji bölümlerinden salınan kontrast maddelerin organik maddeler ile reaksiyonu sonucu oluşmaktadır. Hastane atıksularındaki AOX' lerin büyük bir kısmı, bu maddelerle birlikte, solventler, temizleyiciler ve klor içeren ilaçların kullanımı sonucu oluşmaktadır. Bu kirleticilerin sudaki organizmalar üstünde toksik etkisi var olup besin zincirinde birikim yapabilmektedir. Pilot olarak seçilen hastanelerin 3'ünde AOX miktarları ortalama 6-13 mg/L aralığında değişim gösterirken, merkez araştırma

laboratuvarında ortalama 6 mg/L olarak ölçülmüştür. Hastane tanı/tetkik laboratuvar atıksuyunda ise bu değer 0,06 mg/L olarak oldukça düşük seviyede tespit edilmiştir. Hastane atıksuları örnekleri hastanenin tamamında oluşan atıksuları temsil ettiği için AOX miktarının yüksek olması beklenebilecek bir durumdur. Hastanelerin tüm alanlarında dezenfektan kullanımına bağlı olarak AOX miktarlarının da yüksek olduğu düşünülmektedir. Benzer olarak laboratuvar atıksularında ise kullanılan alanların küçülmesi ve kapasitelerine göre dezenfektan miktarlarının azalmasıyla doğru orantılı olarak AOX miktarlarının da azaldığı düşünülebilir. Ülkemizde kanalizasyon altyapısına deşarj edilebilecek atıksuların karakterizasyon değerleri içinde AOX parametresi için herhangi standart değer belirlenmemiştir.

- Tez çalışması kapsamında yapılan analiz sonuçlarına göre hastanelerin tanı ve tetkik merkezlerinde kullanılan cihazlardan kaynaklanan atıksuların genel olarak orta/kuvvetli evsel atıksu özelliği gösterdiği anlaşılmıştır.
- Laboratuvar atıksularının kanalizasyona deşarj edilmeden önce ön arıtıma tabi tutulması ile elde edilen giderim verimleri; % 84 KOI, % 84 BOI, % 76 TN, % 81 TP, % 76 Yüzey Aktif Madde, % 25 AOX ve % 93 Fenol olarak belirlenmiştir. Yine, bu ön arıtım işlemi ile % 75'in üstünde atıksudaki nütrient (N, P) maddelerinin giderimi sağlanmıştır.
- Tez çalışması sonucunda hastane laboratuvar atıksuyu için uygulanan ön arıtım sisteminde, literartür çalışmalarındaki hastane atıksularına uygulanan arıtım teknolojilerinin performans değerlerine yakın verim elde edilmiştir. Ön arıtım sistemi ile atıksudaki KOI, BOI, TP, TN ve AOX giderim oranlarının MBR ve elektrokoagülasyon teknolojilerine göre daha yüksek arıtım verimine sahip olduğu görülmüştür.
- Pilot çalışma yapılan laboratuvar atıksularındaki kirlilik yüklerinin kanalizasyon deşarj limitlerini aşmadığı belirlenmiş olmasına rağmen, kanalizasyona verilmeden önce bir ön arıtıma tabi tutularak özellikle organik kirlilik yükünün ciddi oranda azaltılabileceği tespit edilmiştir. Böyle bir uygulama özellikle kanalizasyon altyapısının yeterli olmadığı bölgelerde veya ileri bir arıtımla sonuçlanmayan atıksu arıtma tesislerine gelen kirlilik yüklerinin azaltılmasında avantaj sağlayabilir. Yine, ön arıtım sisteminde dezenfeksiyon işleminin gerçekleşmesi ön arıtımın avantajları arasında değerlendirilebilir.

Kirliliğin kaynağında önlenmesi, gerek kaynak verimliliği, gerekse de su kaynaklarının korunması açısından en etkin yöntemlerin başında gelmektedir. Son yıllarda mikrokirleticiler ve tehlikeli kimyasallarla ilgili yürütülen çalışmalar ve yasal düzenlemeler kirleticinin mümkünse kaynağında ayrılması/bertaraf edilmesi yönünde girişimlerin artmasına sebep olmuştur. Özellikle sağlık kuruluşları atıksularında alıcı ortam kalitesi açısından ekolojik risk oluşturabilecek, kanserojen, üreme sistemine toksik ve mutajenik etki gibi özellikleri sebebiyle insan sağlığı açısından uzun süreli etkileri olabilecek kimyasal kirleticilerin etkilerini minimize edebilmek amacıyla kaynağında ayrı toplanması ve arıtılması yaklaşımlarının detaylı çalışmalar ile değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, Ülkemizdeki sağlık kuruluşları için uygulanabilir bir atıksu yönetiminin oluşturulabilmesi için yapılacak farklı çalışmalar ile uygun metodoloji ve çevresel standartların belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Yine, bu çalışmalarda ülkemizdeki kanalizasyon altyapıları ve kanalizasyon sonundaki atıksu arıtım tesislerinin tip ve kapasitelerininde göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu anlamda, yapılacak çalışmalar kapsamında özellikle sağlık kuruluşları genelinde farklı birimlerde oluşan atıksuların (tanı/tetkik laboratuvarları, amliyathaneler vb.) ayrı toplanması ve kanalizasyona deşarjı öncesinde çeşitli ön arıtım uygulamalarına tabi tutulmasına yönelik çalışmalarında yaygınlaştırılması önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

Al Hashimia, M.A.I., Abbas, T.R. and Jasema, Y.I., (2013). Performance of Sequencing Anoxic/Anaerobic Membrane Bioreactor (SAM) System In Hospital Wastewater Treatment And Reuse. *European Scientific Journal,* 9(15), 1857-7881.

Al Qarni, H., Collier, P., O'Keeffe, J. and Akunna, J., (2016). Investigating the removal of some pharmaceutical compounds in hospital wastewater treatment plants operating in Saudi Arabia, *Environmental Science and Pollution Research* 23, 13003-13014.

Altın, A., Değirmenci, M. ve Altın, S., (1999), Sivas Kentinde Bulunan Hastane Atıksılarının Miktar ve Özelliklerinin Belirlenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1(2), 33-46.

APHA (1998*) Standart Methods for the Examination of Water and Wastwater,* 20th Edition (American Public Health Association) Washington, DC, USA.

Arslan, A., Veli, S. and Bingöl, D., (2014). Use of response surface methodologies for pretreatment of hospital wastewater by O3/UV and O3/UV/H2O2 processes. *Separation and Purification Teknology* 132, 561-567.

Aygün, A. (2012). *Tekstil endüstrisi reaktif ve dispers boya banyo atıksularının elektrokoagülasyon prosesi ile arıtımı: yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyon*. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 35.

AYY, (2015). Atık Yönetimi Yönetmeliği Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. *Resmi Gazete Tarihi: 02.04.2015 Resmi Gazete Sayısı: 29314.*

Azar, A.M., Jelogir, A.G., Bidhendi, G.N., Mehrdadi, N., Zaredar, N. and Poshtegal, M.K., (2010). Investigation of optimal method for hospital wastewater treatment. *Journal of Food, Agriculture and Environment.* 8(2), 1199-1202.

Beier, S., Cramer, C., Mauer, C., Köster, S., Schröder, HF and Pinnekamp, J., (2012). MBR technology: A promising approach for the (pre-) treatment of hospital wastewater. *Water Science Technology.* 65(9), 1648-1653.

Berto, J., Rochenbach, G.C., Barreiros, M.A.B., Correa, A.X.R., Pelusa-Silva, S. and Radetski, C.M. (2009), Physico-chemical, Microbiological and Ecotoxicological Evaluation of a Septic Tank/Fenton Reaction Combination for the Treatment of Hospital Wastewaters, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(4), 1076-1081.

Boillot, C., Bazin, C., Tissot-Guerraz, F., Droguet, J., Perraud, M., Cetre, J.C., Trep, D. and Perrodin, Y., (2008) Daily physicochemical, microbiological and ecotoxicological fluctuations of a hospital effluent according to technical and care activities, *Science of the Total Environment,* 403(1-3), 113-129,

Büyükgüngör, H. (2008), "Kullanılmış Suların Arıtımı Ders Notları", *Ondokuzmayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,* Samsun 23, 2-6.

Çelebi, G. (2012) *Hastane Laboratuvar Atıksularındaki Patojen Mikroorganizma Düzeylerinin Belirlenmesi* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 85-88.

Chartier, Y., Emmanuel, J., Pieper, U., Prüss, A., Rushbrook, P., Stringer, R., Townend, W., Wilburn S. and Zghondi R. (2014). Safe Management Of Wastes From Health-Care Activities, 2 *World Health Organization,* 150.

Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Teknology*, 38(1), 11-41.

ÇŞB, (2018) *Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıksuların Arıtımı ve Bertarafı Projesi, Proje Nihai Raporu* Ankara Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, TÜBİTAK MAM, Proje Koordinatörü Dr. Selda MURAT HOCAOĞLU,

Dehghani, M., Seresht S. S. and Hashemi H. (2013). Treatment of hospital wastewater by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes. *International Journal of Environmental Health Engineering.* 2, 5.

Emmanuel, J., Chartier Y., Pieper, U., Prüss A., Rushbrook, P., Stringer, R., Townend, W., Wilburn, S. and Zghondi, R. (2014). Safe management of wastes from health care activities., *Bulletin of the World Health Organization*, 171, Malta.

Emmanuel, E., Pierre M., G. and Perrodin Y. (2009), Graundwater Contamination by Microbiological and Chemical Substances Released from Hospital Wastewater: Health Risk Assessment for Driking Water Consumers, *Environment International*, 35(4) 718-726.

Emmanuel, E., Perrodin, Y., Keck, G., Blanchard, J.M. and Vermande, P., (2005). Ecotoxicological Risk Assessment Of Hospital Wastewater: A Proposed Framework For Raw Effluents Discharging Into Urban Sewer Network, *Journal of Hazardous Materials,* 117(1), 1-11.

Emmanuel, E., Keck, G., Blanchard, J., Blanchard, J., Vermande, P. and Perrodin, Y. (2004), Toxicological effects of disinfections using sodium hypochlorite on aquatic organisms and its contribution to AOX formation in hospital wastewater, *Environment International*, 30(7), 891-900,.

Emmanuel, E., Perrodin, Y., Keck, G., Blanchard, J., M. and Vermande, P. (2002), Effects of Hospital Wastewater on Aquatic Ecosystem, *Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental Cancun*, 1-7.

EPA, United States Environmental Protection Agency (USEPA), (2012). *Containment and Disposal of Large Amounts of Contaminated Water* A Support Guide for Water Utilities, Office of Water (4608T) EPA 817-B-12-002.

Escher, B.I., Baumgartner, R., Koller, M., Treyer, K., Lienert, J. and McArdell, C.S. (2011), Environmental toxicology and risk assessment of pharmaceuticals from hospital wastewater, *Water Research*, 45(1), 75-92,

Gautam, A.K., Kumar, S. and Sabumon, P.C., (2007). Preliminary study of physico-chemical treatment options for hospital wastewater. *Journal of Environmental Management*, 83(3), 298–306.

Gerrity D, Gamage S, Holady JC, Mawhinney DB, Quinones O. and Trenholm RA. (2011). Pilotscale evaluation of ozone and biological activated carbon for trace organic contaminant mitigation and disinfection. *Water Research*, 45(5), 2155-2165

Gültekin, P., Gür, K., Özcan, S. (2004), *Eskişehir ilindeki hastane atıksularının karakterizasyonu üzerine bir araştırma*, 1.Ulusal Çevre Kongresi, Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, 37.

Igos, E., Benetto, E., Venditti, S., Kohler, C., Cornelissen, A., Moeller, R. and Biwer, A., (2012). Is it better to remove pharmaceuticals in decentralized or conventional wastewater treatment plants? A life cycle assessment comparison, *Science of the Total Environment*, 438(1), 533–540.

İnternet: Norwood Hospital (2021), Massachusetts Water Resources Authority Water Use Case Study Web: http://www.mwra.state.ma.us/04water/html/bullet1.htm.; Erişim Tarihi: 02.01.2021

İnternet: Öztürk, M. (2018), Asidik ve Bazik Atıkların Nötralizasyonu Web: http://www.cevresehirkutuphanesi.com/assets/files/slider_pdf/mtmBS6TFH008.pdf Erişim Tarihi: 02.01.2021

İnternet: WHO, (2014), World Health Organisation, Safe Management of Waste from Health-care Activities, second edition. Web: https://www.who.int/publications/i/item/9789241548564 Erişim Tarihi: 02.01.2021

Jinsong, Z., Chuan, C.H., Jiti, Z. and Fane, A.G., (2006). Effect Of Sludge Retention Time On Membran Bio-Fouling Intensity In A Submerged Membran Bioreactor, *Separation Science and Technology*, 41(7), 1313-1329.

Jolibois, B. and Guerbet, M. (2006), Hospital Wastewater Genotoxicity, *British Occupational Hygiene Society Published by Oxford University*, 50 (2), 189-196.

KAAY, (2006) Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Çevre ve Orman Bakanlığı (Mülga). *Resmi Gazete Tarihi: 08.01.2006 Resmî Gazete Sayısı: 26047*

Kajitvichyanukul, P. and Suntronvipart, N., (2006). Evaluation of biodegradability and oxidation degree of hospital wastewater using photo-Fenton process as the pretreatment method. *Journal of Hazardous Materials* 138(2), 384-391.

Kurniawan, T.A., Chan, G.Y.S., Lo, W.H. and Babel, S., (2006). Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, 118(1-2), 83-98.

Kümmerer, K. (2001) Drugs in the environment: emissions of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources/a review, *Chemosphere*, 45(6-7), 957-969.

Liu, Q., Zhou, Y., Chen L. and Zheng, X. (2009), Application of MBR for Hospital Wastewater Treatment in China, *Desalination*, 250(2), 605-608.

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

Machado, Ê.L., Kist, L.T., Schmidt, R., Hoeltz, J.M., Dalberto, D. and Alcayaga, E.L.A., (2007). Secondary hospital wastewater detoxification and disinfection by advanced oxidation processes. *Environmental Technology,* 28 (10), 1135–1143.

Marcos, R., (2014). *Hospital Wastewater Treatment By Using A High Pressured Membrane Filtration System*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 37-38.

Mauer, C. (2011). Technische und ökonomische Aspekte der separaten Erfassung und Behandlung von Krankenhausabwasser. *Ges. zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH*.

Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R. and Cocke, D. (2001). Electrocoagulation - science and application. *Journal of Hazardous Materials*, 84 (1), 29-41.

Moreno-Casillas, H. A., Cocke, D. L., Gomes, J. A. G., Morkovsky, P., Parga, J. R. and Peterson, E. (2007). Electrocoagulation mechanism for COD removal. *Separation and Purification Technology,* 56 (2), 204-211.

Nas, B., Dolu, T., Ateş, H., Argun, ME. and Yel, E. (2017). Treatment Alternatives for Micropollutant Removal in Wastewater. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi,* 5(2), 133-143.

Nasirabadi, P.S., Saljoughi, E. and Mousavi, S.M., (2016). Membrane processes used for removal of pharmaceuticals, hormones, endocrine disruptors and their metabolites from wastewaters: a review, *Desalination and Water Treatment*, 57 (51), 24146-24175.

Nazikcan Ö., (2016) *Hastane Atıksularının Elektrokimyasal Arıtım Yöntemleri İle Giderilmesi* Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Eskişehir, 50.

Pauwels, B. and Verstraete, W. (2006), The treatment of hospital wastewater: an appraisal, *Journal of Water and Health,* 4(4), 405-416.

SKKY, (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Çevre ve Orman Bakanlığı (Mülga). *Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2004 Resmi Gazete Sayısı: 25687.*

Snyder, S.A., Adham, S., Redding, A.M., Cannon, F.S., DeCarolis, J., Oppenheimer, J., Wert, E.C. and Yoon, Y., (2007). Role of membranes and activated carbon in the removal of endocrine disruptors and pharmaceuticals, *Desalination* 202 (1-3), 156–181.

Suarez, S., Lema, J.M. and Omil, F. (2009). Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation–flocculation and flotation. *Bioresource Technology*, 100 (7), 2138-2146.

Sui, Q., Huang, J., Deng, S., Yu, G. and Fan, Q. (2010). Occurrence and removal of pharmaceuticals, caffeine and DEET in wastewater treatment plants of Beijing, China. *Water Research*, 44 (2), 417-426.

Top, S. (2016) *Hastane Atıksularının Karakterizasyonu ve Arıtım Alternatiflerinin İncelenmesi* Doktora Tezi Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 95-251.

Top, S. ve Bilgili, M. S. (2014). Hastane Atıksularının Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri, *II. Ulusal Sağlık Kuruluşları Çevre Yönetimi Sempozyumu,* İstanbul, 175-179.

Trinh, T., Van den Akker, B., Stuetz, R.M., Coleman, H.M., Le-Clech, P. and Khan, S.J. (2012). Removal of trace organic chemical contaminants by a membrane bioreactor. *Water Science Technology,* 66 (9), 1856-1863.

Tüfekçi Z.B. (2012) *Hastane Laboratuvar Atıksularındaki Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 84-86

Uslu, Y.A. (2019), *Hastane Atıksularının Membran Distilasyon Biyoreaktör İle Arıtımı* Yüksek Lisans Tezi Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gebze, 198-202.

Verlicchi, P., Al Aukidy, M. and Zambello, E., (2015). What have we learned from worldwide experiences on the management and treatment of hospital effluent? - An overview and a discussion on perspectives. *Science of the Total Environment,* 514, 467–491.

Verlicchi, A., Galletti, A., Petrovic, M. and Barcelo, D., (2010). Hospital Effluents As A Source of Emerging Pollutants: An Overview Of Micropollutants and Sustainable Treatment Options, *Journal of Hydrology*, 389 (3-4) 416-428.

Visvanathan, C., Ben Aim, R. and Parameshwaran, K., (2000). "Membrane Separation Bioreactors for Wastewater Treatment", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 30(1), 1-48.

Yaşar, A., Can Doğan, E. ve Arslan, A. (2013). Hastane Atıksularında Makro ve Mikro Kirleticiler ve Arıtma Seçenekleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29(2), 144–158.

Yılmaz, A. E. (2009). *Endüstriyel atıksulardan elektrokoagülasyon yöntemi ile bor giderimi.* Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 31.

Yu, H., Nie, E., Xu, J., Yan, S., Cooper, J.W. and Song, W. (2013). Degradation of Diclofenac by Advanced Oxidation and Reduction Processes: Kinetic Studies, Degradation Pathways and Toxicity Assessments, *Water Research*, 47(5), 1909-1918.

Zoroğlu, D. (2019). Hastane Atıksularından Elektrokoagülasyon Yöntemi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacı Gideriminin İncelenmesi *Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Samsun, 48-51.

Qehremanlı G. (2019) *Hastane Atıksuyundan Elektrokoagülasyon Yöntemiyle Renk Gideriminin İncelenmesi* Yüksek Lisans Tezi Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 1.

EKLER

EK-1. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı İzin Yazısı

T.C.
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI
Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü

Sayı : E-53177712-110.99-890025 03.05.2021

Konu : Bilimsel Araştırma İzni (Muharrem Barış PEKCAN)

Sayın Muharrem Barış PEKCAN
(Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı)

İlgi : Muharrem Barış PEKCAN'ın 27.04.2021 tarihli ve 786145 sayılı dilekçesi.

İlgi müracaat ile, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Beril SALMAN AKIN'ın danışmanlığını yürüttüğü "Hastane Atıksularının Arıtımı ve Yönetimi" konulu Yüksek Lisans Tez çalışmasının Yüksek Lisans Öğrencisi Muharrem Barış PEKCAN tarafından gerçekleştirilmesi amacıyla Bakanlığımız Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü bünyesinde yürütülmüş olan "Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıksuların Arıtımı ve Bertarafı Projesi"nde yer alan bilgilerin kullanımı için gerekli izinlerin verilmesi talep edilmektedir.

Bu itibarla, Bakanlığımız Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Su ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı'nda Şube Müdür V. olarak 32056 sicil numarası ile görev yapan Muharrem Barış PEKCAN tarafından gerçekleştirilecek bahse konu Yüksek Lisans tez çalışması kapsamında yapılacak yayınlarda gerekli atıfların eksiksiz yapılması koşuluyla Bakanlığımızca yürütülmüş olan "Sağlık Kuruluşlarından Kaynaklanan Atıksuların Arıtımı ve Bertarafı" projesinin çıktılarının kullanılmasında herhangi bir sakınca görülmemektedir.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Ertuğrul ÇALIŞKAN
Bakan a.
Genel Müdür Yardımcısı

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Doğrulama Kodu: 84AA1F3E-9615-4894-B828-9DE170EF4100 Doğrulama Adresi: https://www.turkiye.gov.tr/ebd
Mustafa Kemal Mah. Eskişehir Devlet Yolu 9. km. No:278 Çankaya/ANKARA
Kep Adresi: cevrevesehircilikbakanligi@hs01.kep.tr
Bilgi için:Çiğdem BUDAK
Çevre ve Şehircilik Uzmanı
Telefon No:(312) 586 31 21



GAZİ GELECEKTİR..