

T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYSERİ İLİ ÖRNEĞİNDE,
ATIK SU ARITMA TESİSLERİNDE UYGULANAN
ARITMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE
OPTİMUM YÖNTEMİN BELİRLENMESİ

Tezi Hazırlayan
Naki KAVAK

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ

Biyoloji Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Haziran 2016
NEVŞEHİR

T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYSERİ İLİ ÖRNEĞİNDE,
ATIK SU ARITMA TESİSLERİNDE UYGULANAN
ARITMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE
OPTİMUM YÖNTEMİN BELİRLENMESİ

Tezi Hazırlayan
Naki KAVAK

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ

Biyoloji Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Haziran 2016
NEVŞEHİR

Doç. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ danışmanlığında Naki KAVAK tarafından hazırlanan "Kayseri İli Örneği'nde, Atık Su Arıtma Tesislerinde Uygulanan Arıtma Yöntemlerinin İncelenmesi ve Optimum Yöntemin Belirlenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

2405/2016

JÜRİ

Başkan: Doç. Dr. Ramazan MERT



Üye: Doç. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ



Üye: Yrd. Doç. Dr. Gönül ARSLAN



ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 01/06/2016 tarih ve 21-184. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

01/06/2016
Doç. Dr. Şahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü



TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Naki KAVAK

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmasını yaptığım Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne,

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince bana yol gösteren, bilgi ve deneyimlerini paylaşan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ'ye,

Maddi ve manevi olarak her zaman desteklerini hissettiren değerli aileme,

Tez çalışmasının araştırılmasında kurum olarak katkıda bulunan Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi'ne,

Desteklerinden dolayı KASKİ Atık Su Daire Başkanı Sayın Dr. Özgür ÖZDEMİR'e ve KASKİ Atık Su Ruhsat Denetleme Şube Müdürü Sayın Erol AYKAR'a,

Teknik ve idari yardımlarından dolayı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Fen-Edebiyat Fakültesi Dekanlığı'na ve Biyoloji Bölüm Başkanlığı'na teşekkür ederim.

**KAYSERİ İLİ ÖRNEĞİNDE,
ATIK SU ARITMA TESİSLERİNDE UYGULANAN
ARITMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE
OPTİMUM YÖNTEMİN BELİRLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Naki KAVAK

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2016

ÖZET

Günümüzde suya olan ihtiyaç artmakta ve su kaynakları hızla tükenmektedir. Atıksuların arıtılması, su kaynaklarının korunması için çok önemlidir. Atıksuların temizlenmesinde farklı arıtma yöntemleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada, atıksu arıtma tesislerinde uygulanan arıtma yöntemleri araştırılmış, örneklem olarak Kayseri ili seçilmiştir. Çalışma süresince, Kayseri’de bulunan beş farklı atıksu arıtma tesisinde inceleme yapılmış; pH, Askıda Katı Madde (AKM), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) giriş ve çıkış değerleri belirlenmiş; bu veriler ışığında yöntemlerin karşılaştırması yapılmıştır. Çalışmalarda Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği esasları ve arıtma parametreleri esas alınmıştır. Analiz sonuçlarına göre AKM, KOİ ve BOİ arıtma verimleri sırasıyla; Aktif Çamur Yönteminde (A.Ç.) % 98, % 96, % 99; Ardışık Kesikli Reaktör Yönteminde (SBR) % 92, % 91, % 96; Membran Bioreaktör Yönteminde (MBR) % 96, % 95, % 99; Doğal Arıtma Yönteminde (D.A.) % 82, % 56, % 60 olarak belirlenmiştir. MBR uygulanan arıtma tesisinde çıkış suyu AKM, KOİ ve BOİ ortalamaları sırasıyla 5 mg/L, 28 mg/L, 2 mg/L olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak; MBR yönteminin I. sınıf kaliteye sahip olduğu, bu yöntem ile arıtılan evsel atıksuların gelecekte içme suyu olarak kullanılabilceği söylenebilir.

Anahtar kelimeler: *Arıtma Yöntemi, Arıtma Tesisi, Atıksu.*

Tez Danışmanı: **Doç. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ**

Sayfa Adedi: 94

**FOR EXAMPLE IN KAYSERİ PROVINCE,
THE INVESTIGATION OF TREATMENT METHODS
USED IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS AND
DETERMINATION OF OPTIMUM METHOD
(M. Sc. Thesis)**

Naki KAVAK

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE**

June 2016

ABSTRACT

Today, the need for water increases and water resources are being depleted rapidly. Wastewater treatment is very important for protection of water resources. Different treatment methods are applied to clean wastewater. In this study, treatment methods applied in wastewater treatment plants are investigated and Kayseri province is chosen as a sample. During this study; different wastewater treatment plants in Kayseri in pH, TSS, COD, BOD, input and output values were examined; according to this data comparasions were made of processes. All studies were predicated to parameters as treatment with Water and Wastewater Control Agency of Turkey. According to the results, TSS, COD, BOD treatment efficiencies are indicated respectively as in the active sludge process in % 98, % 96, % 99 correlation, in the sequencing batch reaktor process in % 92, % 91, % 96 correlation, in the membrane bioreactor proceeds in % 96, % 95, % 99 correlation, in the natural purification method in % 82, % 56, % 60 correlation. At treatment plants implemented by MBR, output water TSS, COD and BOD averages were respectively measured at 5 mg/L, 28 mg/L, 2 mg/L. As a result; as parameter values has a beter standard of the effluent membran bio reactor system applied treatment plant it has been observed that passable is at a quality that can be used in the drinking water in the future.

Keywords: Treatment Method, Treatment Plant, Wastewater.

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ

Page Number: 94

İÇİNDEKİLER

KABÜL VE ONAY SAYFASI.....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
RESİMLER LİSTESİ	xiv
HARİTALAR LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xviii
1. BÖLÜM	
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM	
GENEL BİLGİLER	5
2.1. Su Kaynakları.....	5
2.2. Su Kaynaklarının Kullanımı.....	7
2.3. Su Temini ve Tüketimi	8
2.4. Atıksu Arıtmada Tarihsel Süreç	10
2.4.1. Atıksu arıtma teknolojilerinde tarihsel gelişmeler	10
2.4.2. Eski dönemlerde atıksu uzaklaştırma teknikleri.....	11
2.4.3. Doğal arıtma yöntemindeki gelişmeler	13
2.4.4. Aktif çamur prosesindeki gelişmeler	14
2.4.5. Damlatmalı filtre yöntemindeki gelişmeler	15

2.4.6.	Anaerobik proseslerdeki gelişmeler	15
2.4.7.	Membran teknolojilerindeki gelişmeler	15
2.4.8.	İleri oksidasyon proseslerindeki gelişmeler	16
2.5.	Türkiye’deki Mevcut Durum	17
2.6.	Atıksular	18
2.6.1.	Evsel nitelikli atıksular	19
2.6.1.1.	Evsel nitelikli atıksuların özellikleri	19
2.6.1.1.1.	Fiziksel özellikleri	19
2.6.1.1.2.	Kimyasal özellikleri	19
2.6.1.1.3.	Biyolojik özellikleri	20
2.6.1.2.	Evsel nitelikli atıksuların arıtılma amaçları	20
2.6.1.3.	Evsel nitelikli atıksuların arıtılma yöntemleri	21
2.6.1.3.1.	Fiziksel arıtma yöntemleri	21
2.6.1.3.2.	Kimyasal arıtma yöntemleri	23
2.6.1.3.3.	Biyolojik arıtma yöntemleri	25
2.6.1.4.	Evsel atıksu tesislerinin özellikleri	27
2.6.1.5.	Evsel atıksu arıtma tesisi planlamaları	27
2.6.1.5.1.	Tesis yeri seçimi	27
2.6.1.5.2.	Hizmet alanı nüfusu	27
2.6.1.5.3.	Ekipman seçimi	28
2.6.1.5.4.	Enerji ve kimyasal madde ihtiyacı	28
2.6.1.5.5.	Tesis maliyeti	28
2.6.1.5.6.	Debi	28
2.6.1.5.7.	BOİ-KOİ değerleri	28
2.6.1.5.8.	Azot-Fosfor değerleri	29

2.6.1.5.9.	Çıkış suyu kalitesi.....	29
2.6.2.	Endüstriyel nitelikli atıksular	29
2.6.2.1.	Endüstriyel nitelikli atıksuların özellikleri.....	29
2.6.2.2.	Endüstriyel nitelikli atıksuların arıtılma amaçları.....	30
2.6.2.3.	Endüstriyel nitelikli atıksuların arıtılma yöntemleri.....	30
2.6.2.3.1.	Fiziksel arıtma	30
2.6.2.3.2.	Kimyasal arıtma.....	30
2.6.2.3.3.	Biyolojik arıtma.....	31
2.6.2.3.4.	İleri arıtma	34
2.6.2.4.	Endüstriyel atıksu arıtma tesisleri	37
2.6.2.4.1.	Özellikleri.....	37
2.6.2.4.2.	Çeşitleri.....	37
2.7.	Kayseri.....	38
2.7.1.	Nüfus ve idari yapı	38
2.7.1.1.	Nüfus.....	38
2.7.1.2.	İl yönetimi	38
2.7.1.3.	Yerel yönetimler	38
2.7.2.	Coğrafi yapı.....	39
2.7.2.1.	Konum.....	39
2.7.2.2.	Yüzölçümü ve arazi dağılımı	39
2.7.2.3.	İklim.....	40
2.7.2.4.	Dağlar, ovalar, akarsular ve göller.....	40
2.8.	Atıksu Arıtma Tesisleri.....	41
2.8.1.	Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi	41
2.8.1.1.	Giriş pompa istasyonu	42

2.8.1.2.	Izgaralar	43	
2.8.1.3.	Havalandırmalı kum ve yağ tutucu.....	43	
2.8.1.4.	Giriş debi ölçüm kanalı.....	44	
2.8.1.5.	Ön çökeltme tankları.....	44	
2.8.1.6.	Biyolojik fosfor giderim tankı.....	45	
2.8.1.7.	Havalandırma tankları.....	45	
2.8.1.8.	Son çökeltme tankları	46	
2.8.1.9.	Geri devir çamuru pompa istasyonu	46	
2.8.1.10.	Çıkış debi ölçüm kanalı	47	
2.8.1.11.	Ön çamur yoğunlaştırıcı.....	47	
2.8.1.12.	Çamur çürütücü tank ve çamur çürütme binası.....	48	
2.8.1.13.	Çamur susuzlaştırma binası.....	48	
2.8.2.	Gürpınar Atıksu Arıtma Tesisi	49	
2.8.3.	Buğdaylı Atıksu Arıtma Tesisi.....	53	
2.8.4.	Develi Atıksu Arıtma Tesisi.....	56	
2.8.5.	Salur Atıksu Arıtma Tesisi.....	60	
2.9.	Önceki Çalışmalar	61	
3. BÖLÜM			
MATERYAL VE YÖNTEMLER			65
3.1.	Temel Analizler	65	
3.1.1.	pH ölçümü.....	65	
3.1.2.	Askıda Katı Madde (AKM) ölçümü	66	
3.1.3.	Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ölçümü	66	
3.1.4.	Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) Ölçümü	67	
3.2.	Materyallerin Toplanması	68	

3.3.	Numune Alma	68	
3.4.	Malzemelerin Temizliği ve Korunması	68	
3.5.	Deşarj Standartları	69	
3.6.	Atıksu Karakteristikleri.....	70	
3.7.	Arıtma Prosesi Seçenekleri	71	
3.8.	Arıtma Verimi	71	
3.9.	Metod.....	71	
4. BÖLÜM			
BULGULAR			72
4.1.	Giriş Değerleri.....	72	
4.1.1.	Aktif Çamur Yöntemi	72	
4.1.2.	Ardışık Kesikli Reaktör Yöntemi	73	
4.1.3.	Membran Bioreaktör Yöntemi	73	
4.1.4.	Doğal Arıtma Yöntemi	74	
4.1.5.	Damlatmalı Filtre Yöntemi	74	
4.2.	Çıkış Değerleri	75	
4.2.1.	Aktif Çamur Yöntemi	75	
4.2.2.	Ardışık Kesikli Reaktör Yöntemi	76	
4.2.3.	Membran Bioreaktör Yöntemi	76	
4.2.4.	Doğal Arıtma Yöntemi	77	
4.3.	Karşılaştırmalı Değerler.....	78	
5. BÖLÜM			
TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....			79
KAYNAKLAR.....			88
ÖZGEÇMİŞ.....			94

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Kullanılmış su arıtımında uygulanan işlemler.....	2
Tablo 1.2.	Atıksu arıtımında kullanılan temel işlemler ve prosesler.....	3
Tablo 2.1.	Türkiye’de sektörler tarafından kullanılan su miktarı.....	6
Tablo 2.2.	Türkiye’de su kaynakları potansiyeli.....	6
Tablo 2.3.	Su varlığına göre ülkelerin sınıflandırılması.....	7
Tablo 2.4.	Belediyelerce kaynağına göre çekilen su miktarı.....	8
Tablo 2.5.	Arıtma işlemi uygulanmamış evsel atıksuların nitelikleri.....	20
Tablo 2.6.	Arıtılmış atıksuda bulunabilecek maddeler ve etkileri.....	34
Tablo 2.7.	Kayseri ili uzun yıllar iklim verileri.....	40
Tablo 3.1.	Evsel nitelikli atıksuların alıcı ortama deşarj standartları.....	69
Tablo 3.1.1.	Evsel nitelikli atıksular (Sınıf 1: Kirlilik yükü ham BOİ olarak 5-120 kg/gün, nüfus = 84-2000).....	69
Tablo 3.1.2.	Evsel nitelikli atıksular (Sınıf 2: Kirlilik yükü ham BOİ olarak 120-600 kg/gün, nüfus = 2000-10000).....	69
Tablo 3.1.3.	Evsel nitelikli atıksular (Sınıf 3: Kirlilik yükü ham BOİ olarak 600-6000 kg/gün, nüfus = 10000-100000).....	69
Tablo 3.1.4.	Evsel nitelikli atıksular (Sınıf 4: Kirlilik yükü ham BOİ olarak 6000 kg/gün’den büyük, nüfus > 100000).....	69
Tablo 3.2.	Evsel nitelikli atıksular için çıkış suyu kalite sınıfları.....	70
Tablo 4.1.	Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Giriş Değerleri.....	72
Tablo 4.2.	Kayseri Gürpınar Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Giriş Değerleri.....	73
Tablo 4.3.	Kayseri Buğdaylı Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Giriş Değerleri.....	73
Tablo 4.4.	Kayseri Salur Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Giriş Değerleri.....	74

Tablo 4.5.	Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Çıkış Değerleri.....	75
Tablo 4.6.	Kayseri Gürpınar Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Çıkış Değerleri	76
Tablo 4.7.	Kayseri Buğdaylı Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Çıkış Değerleri	76
Tablo 4.8.	Kayseri Salur Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Çıkış Değerleri	77
Tablo 5.1.	Malatya Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu standartları.....	80
Tablo 5.2.	Toprak İlaç Endüstrisi Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu değerleri....	81
Tablo 5.3.	İşletme parametreleri ve atıksu kalite değerleri.....	82

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı	7
Şekil 2.2.	Belediyelerce temin edilen suyun dağılımı	8
Şekil 2.3.	İçme ve kullanma suyu arıtma tesisi ile hizmet verilen nüfusun toplam nüfusa oranı.....	9
Şekil 2.4.	Atıksu arıtımının tarihsel gelişimi	10
Şekil 2.5.	Atıksu arıtma tesislerinin arıtma türü dağılımı.....	17
Şekil 2.6.	Stabilizasyon şeması	26
Şekil 2.7.	Aktif çamur sistemi akış diyagramı	32
Şekil 2.8.	Ardışık kesikli reaktör prosesi çalışma prensibi.....	33
Şekil 2.9.	Kayseri ili arazi dağılımı	40
Şekil 2.10.	Doğal arıtma sistemi	60
Şekil 4.1.	Arıtma yöntemleri giriş ve çıkış değerleri (pH)	78
Şekil 4.2.	Arıtma yöntemleri giriş ve çıkış değerleri (AKM)	78
Şekil 4.3.	Arıtma yöntemleri giriş ve çıkış değerleri (KOİ)	78
Şekil 4.4.	Arıtma yöntemleri giriş ve çıkış değerleri (BOİ ₅)	78
Şekil 5.1.	Arıtma yöntemleri verim değerleri	85

RESİMLER LİSTESİ

Resim 2.1.	Atatürk Barajı	5
Resim 2.2.	Gediz Havzası ıslah çalışması	18
Resim 2.3.	Kaba ızgara	21
Resim 2.4.	İnce ızgara	21
Resim 2.5.	Kum tutucu	22
Resim 2.6.	Filtrasyon havuzu	22
Resim 2.7.	Koagülasyon için hızlı karıştırıcı	23
Resim 2.8.	Klor dozajlama ünitesi	24
Resim 2.9.	Ozonlama ünitesi	24
Resim 2.10.	Aktif çamur sistemi	25
Resim 2.11.	Anaerobik havuz örneği	26
Resim 2.12.	Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması	30
Resim 2.13.	Erzurum Atıksu Arıtma Tesisi	31
Resim 2.14.	Paşaköy Biyolojik Arıtma Tesisi	33
Resim 2.15.	Erciyes Dağı	41
Resim 2.16.	Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi	41
Resim 2.17.	Atıksu giriş noktası	42
Resim 2.18.	Dalgıç pompalar	42
Resim 2.19.	Izgaralar	43
Resim 2.20.	Kum ve yağ tutucu bölüm	43
Resim 2.21.	Giriş debi ölçüm kanalı	44
Resim 2.22.	Ön çökeltme tankları döner sıyırıcı	44
Resim 2.23.	Biyolojik fosfor giderim tankı	45
Resim 2.24.	Havalandırma tankı	45

Resim 2.25.	Son çökeltme tankları	46
Resim 2.26.	Geri devir çamuru pompa istasyonu	46
Resim 2.27.	Çıkış debi ölçüm kanalı.....	47
Resim 2.28.	Ön çamur yoğunlaştırıcı.....	47
Resim 2.29.	Çamur çürütme binası	48
Resim 2.30.	Çamur susuzlaştırma binası.....	48
Resim 2.31.	Gürpınar Atıksu Arıtma Tesisi görünümü	49
Resim 2.32.	Atıksu girişi	49
Resim 2.33.	Debi ölçüm cihazı	50
Resim 2.34.	Blower ünitesi.....	50
Resim 2.35.	Ön havalandırma havuzları	51
Resim 2.36.	Ardışık kesikli reaktör-1	51
Resim 2.37.	Çamur yoğunlaştırma bölümü	52
Resim 2.38.	Susuzlaştırma ekipmanları	52
Resim 2.39.	Buğdaylı Atıksu Arıtma Tesisi.....	53
Resim 2.40.	Izgara.....	53
Resim 2.41.	Havalandırma havuzu	54
Resim 2.42.	MBR ünitesi	54
Resim 2.43.	MBR ekipmanları	55
Resim 2.44.	MBR sistemi ile arıtılmış su numunesi.....	55
Resim 2.45.	Develi Atıksu Arıtma Tesisi.....	56
Resim 2.46.	Atıksu girişi	56
Resim 2.47.	Izgara.....	57
Resim 2.48.	İlk çökertme.....	57
Resim 2.49.	Damlatmalı filtre.....	58

Resim 2.50.	Son çökertme havuzu-2.....	58
Resim 2.51.	Klorlama binası	59
Resim 2.52.	Atıksu çıkışı.....	59
Resim 2.53.	Salur Atıksu Arıtma Tesisi.....	60
Resim 3.1.	pH ölçümü	65
Resim 3.2.	AKM ölçümü.....	66
Resim 3.3.	KOİ ölçümü.....	67
Resim 3.4.	BOİ ölçümü.....	68

HARİTALAR LİSTESİ

Harita 2.1.	Kayseri Büyükşehir Belediyesi hizmet alanı.....	39
-------------	---	----



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A.Ç.	Aktif Çamur
AKM	Askıda Katı Madde
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbon Dioksit
D.A.	Doğal Arıtma
DSİ	Devlet Su İşleri
F/M	Organik Madde / Bakteri Kütleri Oranı
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
KASKİ	Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi
KM	Katı Madde
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MBR	Membran Bioreaktör
NH ₃	Amonyak
pH	Power of Hydrogen – Hidrojen Yoğunluğu
SBR	Sequencing Batch Reactor – Ardışık Kesikli Reaktör
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TÇM	Toplam Çözünmüş Katı Madde
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
UV	Ultraviyole

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Yaşamın temel kaynağı olan su, günlük yaşamda çok farklı alanlarda kullanıldığından sürekli kirlenmekte ve bunun sonucunda atıksu haline dönüşmektedir. Atıksuların arıtılması; suların çeşitli alanlarda kullanılmasına bağlı olarak atıksu haline dönüşmesi ile birlikte kısmen kaybettikleri fiziksel, kimyasal, biyolojik özellikleri yeniden kazandırabilmek veya salındıkları ekolojik çevreye zarar vermelerini önlemek için uygulanan arıtma iş ve işlemleri biçiminde tanımlanabilir [1].

Su olmadan yaşamın olması mümkün değildir. Bu yüzden su kirlenmesi, diğer çevresel sorunlar arasında üzerinde daha çok durulması gereken bir problem olarak ele alınmalıdır. Bunun için atıksular, uygun bir şekilde arıtıldıktan sonra alıcı ortama verilmelidirler. Çünkü atıksuların arıtılmasındaki asıl amaç; yüzeydeki suların, kullanım alanlarının ve bunların da ötesinde yaşadığımız çevrenin kirlenmesini önlemektir [2]. Suların kirlenmesine ve atıksu haline dönüşmesine yol açan çok çeşitli kirletici kaynaklar vardır. Bu kirletici kaynakları dört ana başlıkta toplamak mümkündür:

- a) Evsel nitelikli kirleticiler,
- b) Endüstriyel ve sanayi kaynaklı kirleticiler,
- c) Tarımsal kirleticiler,
- d) Doğal kirleticiler.

Bu kirleticiler alıcı ortamda çeşitli kirlenmelere yol açarlar. Bu kirlenme türleri fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik, radyoaktif ve termal kirlenme olarak ayrılabilir [2].

Günümüzde evsel ya da endüstriyel kaynaklı atıksuların arıtma teknolojileri sayesinde geri dönüşümü sağlanmakta ve zararlı etkileri ortadan kaldırılmaktadır[3]. Tablo 1.1.'de gösterildiği üzere atıksuyun niteliğine göre uygulanacak arıtma yöntemleri de farklılık göstermektedir. Kullanılmış suların arıtılması işlemlerini;

- Fiziksel,
- Kimyasal,
- Biyolojik,
- İleri arıtma olmak üzere dört başlıkta ele almak mümkündür.

Izgaralarda katı maddeleri tutma, kumları çöktürme gibi uygulamalar fiziksel arıtma işlemlerindedir. Kimyasal arıtmada ortama kimyasallar ilave edilir. Koagülasyon, flokülasyon gibi işlemler bu tür arıtmaya örnek sayılabilir. Biyolojik arıtma genellikle organik maddeleri ayrıştırmak için uygulanmaktadır. Aktif çamur ve damlatmalı filtre sistemleri biyolojik arıtma yöntemlerindedir [2]. İleri arıtma yöntemi ise çıkış suyu kalitesini daha da yükseltmek için yapılan işlemleri içermektedir.

Tablo 1.1. Kullanılmış su arıtımında uygulanan işlemler [2]

Kirleticiler	Uygulanan İşlem veya Arıtma Yöntemi
Askıdaki Katı Maddeler	<ul style="list-style-type: none"> • Çöktürme • Izgaradan Geçirme veya Öğütme • Süzme • Yüzdürme • Kimyasal Madde İlavesiyle Çöktürme • Arazide Arıtma
Ayrışabilir Organik Maddeler	<ul style="list-style-type: none"> • Aktif Çamur Yöntemi • Damlatmalı Filtre Yöntemi • Biyodiskler • Stabilizasyon Havuzu Yöntemi • Havalandırmalı Havuz Yöntemi • Anaerobik Arıtma Yöntemleri • Arazide Arıtma
Zararlı Mikroorganizmalar	<ul style="list-style-type: none"> • Klorlama • Ozon İle Dezenfeksiyon • Arazide Arıtma
Azot	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon • Yüksek pH'da Havalandırma • İyon Değişirme • Kırılma Noktası Klorlaması • Olgunlaştırma Havuzları • Arazide Arıtma
Fosfor	<ul style="list-style-type: none"> • Metal Tuzları İlavesiyle Çöktürme • Kireç İlavesi İle Çöktürme • Biyokimyasal Fosfor Giderme • Arazide Arıtma
Kalıcı Organikler	<ul style="list-style-type: none"> • Karbonla Adsorpsiyon • Ozon ile Oksidasyon • Arazide Arıtma
Ağır Metaller	<ul style="list-style-type: none"> • Kimyasal Çöktürme • İyon Değişirme • Arazide Arıtma
Çözülmüş İnorganik Katılar	<ul style="list-style-type: none"> • İyon Değişirme • Ters Osmoz • Elektrodializ
Yağ ve Gres	<ul style="list-style-type: none"> • Yüzdürme

Yeryüzündeki mevcut su kaynakları, ihtiyaca cevap vermekte yetersiz kalacağından, atıksuların geri kazanılması için yeni yöntemler ve teknolojiler üzerinde çalışılmaktadır. Ülkemizde atıksuların arıtılmasına yönelik birçok alternatif yöntem mevcut olup bunlar arasında daha çok biyolojik arıtma yöntemi kullanılmaktadır [2]. Uygulama alanlarına bağlı olarak atıksuların arıtılmasında kullanılan temel işlemler ve prosesler Tablo 1.2.'de verilmiştir.

Tablo 1.2. Atıksu arıtımında kullanılan temel işlemler ve prosesler [2]

Temel İşlemler ve Prosesler	Uygulama Alanları
Izgara	Izgaralar, giriş bölümünde bulunur ve kaba atıkların giderilmesi için kullanılır.
Kum Tutucu	Kum tutucular; kum, çakıl, yonga vs. gibi malzemelerin giderilmesinde kullanılır.
Ön Çöktürme	Ön çöktürmenin amacı, kendiliğinden çökebilen katı maddelerin giderilmesidir.
Askıda Çoğalan Sistemler	Bu temel proses, çözünmüş organiklerin giderilmesi için biyolojik sistemlerde kullanılır.
Biyofilm Sistemleri	Bu temel proses de çözünmüş organik maddeleri gidermek için kullanılır. Damlatmalı filtre sistemi en çok kullanılanıdır.
Son Çöktürme	Son çöktürme, biyokütlenin sudan ayrılması için kullanılır.
Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma	Yumaklaştırma işlemi, asılı katı maddeler ve fosforun çöktürülmesi için kullanılır. Alum (şap), demir tuzları ve polielektrolitler en çok kullanılan kimyevi maddelerdir.
Kireç ile Çöktürme	Kireç, askıda maddeler ve fosforun giderilmesi için kullanılır.
Nitrifikasyon	Bu proses, amonyumu nitrate dönüştürmek için kullanılır.
Denitrifikasyon	Nitrit ve nitrat, mikroorganizmalar yardımıyla azot gazına dönüştürülür.
Amonyak Sıyırma	Atıksu yüksek pH'da işleme alınarak, amonyumun sudan ayrılması sağlanır.
Kırılma Noktası Klorlanması	Amonyak azotu klorlama ile azot gazına dönüştürülür.
Filtrasyon (Süzme)	Filtrasyon, çıkış suyunun kalitesini iyileştirmek için yapılır. Toplam katı madde ve bulanıklık giderilir.
Karbon Adsorpsiyonu	Çözünmüş kalıcı organikleri gidermek için kullanılır.
Ters Osmoz veya Ultrafiltrasyon	Bu işlemler birer demineralizasyon ve ayırma işlemidir.
Elektrodializ	Bu işlem de bir demineralizasyon işlemidir.

Gelişmekte olan ülkelerde atıksu arıtma tesislerinin planlanmasında ve işletilmesinde çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır. Bu problemleri şu başlıklarda sıralayabiliriz:

- Coğrafi özelliklerin dikkate alınmaması,
- Kanalizasyon şebekesi ile atıksu arıtma tesisinin uyumsuzluğu,
- Yanlış dizayn.

Son yıllarda ülkemizde özellikle yerel yönetimler tarafından yapılan tesislerin bir kısmında da bu tür problemlerin ortaya çıktığı görülmektedir. Oysa ki atıksu arıtma tesisi yapım aşamasına geçmeden önce tüm bu problemleri dikkate alan bir ön çalışma yapılmalıdır. Bunun yanında, yapılmış ve işletilmekte olan atıksu arıtma tesisleri de işletim aşamasındaki performans göstergeleri açısından sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Arıtma tesisi kurulumu planlanırken, karşılaşılabilecek işletme sorunlarının önceden tahmin edilmesi etkili bir arıtma için düşünülen amaç ve hedeflerin gerçekleşmesine katkı sağlayacaktır. İnsan ve çevre sağlığının korunması ve su kirliliğinin azaltılması bakımından atıksu kirliliğinin kaynağında önlenmesi yeni bir yaklaşım olarak yerini almaya başlayacaktır. Bu nedenle;

- Su kullanımında tasarruflu olunması,
- Arıtılmış suyun kalitesinin artırılması,
- Arıtılan atıksuyun yeniden kullanıma sunulması,

çalışmaları öncesinde su kaynaklarının korunması düşüncesi ön planda tutulmalıdır. Kullanılabilir durumdaki sular giderek azaldığından, arıtılan suyun miktarı kadar kaliteli olması da önemlidir. Atıksu arıtımında optimum yöntemin belirlenmesi, hem finans kaynaklarının doğru kullanılmasını sağlayacak hem de arıtılmış suyun kalitesini artıracaktır [3]. Bilimsel ve teknolojik gelişmeler sayesinde günümüzde evsel ya da endüstriyel kaynaklı atıksuların geri dönüşümü sağlanmakta ve ekolojik çevreye yansıyan olumsuz etkileri ortadan kaldırılmaktadır [3]. Bununla birlikte, kirlenmenin riskli seviyelere ulaşması ve bilinçsiz tüketimin sonucu olarak yeni kirleticilerin ortaya çıkması, atıksuların arıtılmasının en uygun yöntemle yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu tez çalışmasında Kayseri ilinde farklı arıtma yöntemleri uygulanan atıksu arıtma tesisleri yerinde incelenmiş olup kirlilik yüklerine ait giriş ve çıkış değerleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği kriterleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler ışığında arıtma yöntemleri arasında optimum yöntemin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. BÖLÜM GENEL BİLGİLER

2.1. Su Kaynakları

Türkiye’de, nüfusun giderek artması, kentsel yaşama olan yoğun talep ve sanayileşmedeki hareketlilik sonucunda, doğal kaynakların ve özellikle su kaynaklarının korunması büyük önem kazanmıştır. Ne var ki Türkiye, su kaynakları açısından zengin bir ülke olmadığı gibi, mevcut su kaynaklarının coğrafi bölgelere göre dağılımında da farklılıklar göze çarpmaktadır [4]. Ayrıca su kaynaklarının bilinçli kullanıldığından söz etmek de mümkün değildir. Son yıllarda yeterli yağış almayan bölgelerde, özellikle yaz aylarında baraj sularının çekilmekte olduğu görülmektedir (Resim2.1.).



Resim 2.1. Atatürk Barajı [5]

2004 yılı TÜİK verilerine göre; Türkiye’de, sulama sektöründe 29,6 milyar m³, içme-kullanma suyu sektöründe 6,2 milyar m³ ve sanayi sektöründe ise 4,3 milyar m³ olmak üzere toplam 40,1 milyar m³ su tüketilmiştir [4]. Türkiye’de sanayi, içme-kullanma ve sulama suyu kullanım miktarında 2030 yılında artış görülmesine rağmen sulama suyu kullanım oranında modern sulama sistemlerinin kullanılacağından hareketle % 10’luk bir azalma beklenmektedir. Ayrıca Türkiye’nin, 2030 yılında ihtiyaç duyacağı su miktarının, bugünkünün yaklaşık üç katı olacağı tahmin edilmektedir (Tablo 2.1.).

Tablo 2.1. Türkiye’de sektörler tarafından kullanılan su miktarı, DSİ, (Milyar m³) [4]

Yıl	Toplam Su Tüketimi		Sektörler					
			Sulama		İçme-Kullanma		Sanayi	
	m ³	Oran	m ³	Oran	m ³	Oran	m ³	Oran
1990	30,6	% 28	22,0	% 72	5,2	% 17	3,4	% 11
2004	40,1	% 36	29,6	% 74	6,2	% 15	4,3	% 11
2030	112	% 100	72	% 64	18	% 16	22	% 20

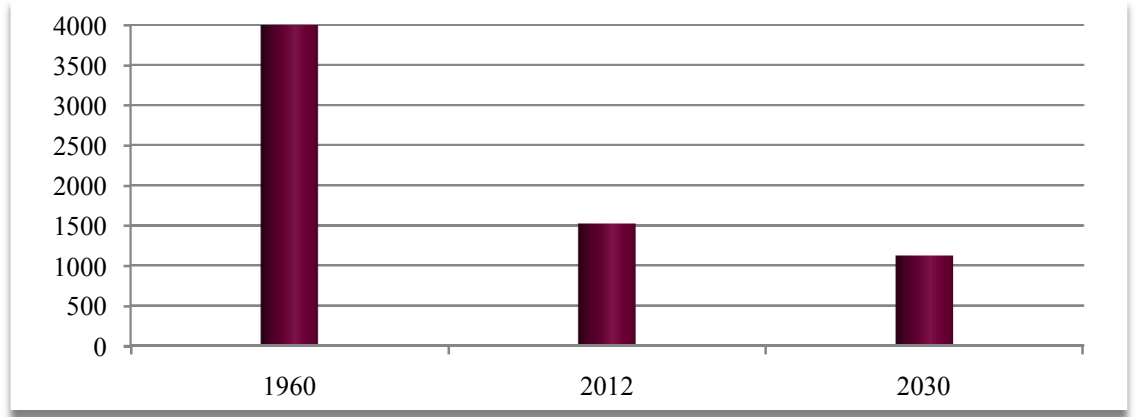
DSİ 2005 yılı verilerin göre; Türkiye’de yıllık ortalama yağış miktarı 643 mm olup, bu değer yıllık 501 milyar m³ suya karşılık gelmektedir (Tablo 2.2.). Bu suyun 274 milyar m³’ü buharlaşma sonucu atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m³’ü yeraltı sularını beslemekte, 158 milyar m³’ü denizlere ya da göllere boşalmaktadır. 186 milyar m³’lük yüzey sularına komşu ülkelerden de 7 milyar m³ su katılması sonucu ülkemizin yıllık yerüstü su potansiyeli 193 milyar m³’e ulaşmaktadır. Yeraltı sularını besleyen 41 milyar m³ ile birlikte toplam su potansiyeli 234 milyar m³ olarak hesap edilmektedir. Fiziki ve ekonomik şartlar gereği tüketilebilecek su potansiyeli ise yıllık 112 milyar m³ tür [4].

Tablo 2.2. Türkiye’de su kaynakları potansiyeli, DSİ, 2005 [4]

SU KAYNAKLARI POTANSİYELİ (milyar m ³)	
Yıllık yağış miktarı	501
İç su kaynakları	227
Buharlaşma	274
İç su kaynakları dağılımı	
Akarsulara ve göllere akan	158
Yer altı suyunu besleyen	69
Yüzey suları dağılımı	
Akarsulara ve göllere akan	158
Yeraltı suyu olup pınarlardan çıkan	28
Komşu ülkelerden gelen	7
Toplam su potansiyeli	
Yüzey suları toplamı	193
Yeraltı suyu olarak kalan	41
Tüketilebilir su potansiyeli	
Yerüstü suyu	98
Yeraltı suyu	14

2.2. Su Kaynaklarının Kullanımı

Türkiye'nin her geçen yıl artan su ihtiyacı kaynakların da daha çok tüketilmesine yol açmaktadır. 1995–2002 yılları arasında, yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarından tüketilen su miktarında % 32,9 oranında bir artış meydana gelmiştir. Yine aynı yıllar arasında tatlı su tüketiminde yüzey suyunun payı % 83,1'den % 84,4'e yükselmiş; buna karşılık yeraltı suyunun payı ise % 16,9'dan % 15,5'e düşmüştür [4]. Ülkemizdeki hızlı nüfus artışı ile birlikte kişi başına düşen yıllık su miktarı giderek azalmaktadır. 1960'lı yıllarda yaklaşık 4000 m³ olan kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 2012 yılı itibari ile 1519 m³'e düşmüştür (Şekil 2.1.). Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre Türkiye'nin 2030 yılı için nüfusunun 100 milyon olacağı tahmin edilmektedir. 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1120 m³ olacağı öngörülmektedir [4].



Şekil 2.1. Kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı, DSİ [4]

Kişi başına düşen yıllık su miktarı dikkate alındığında ülkemiz su azlığı yaşayan ülkeler arasında yer almaktadır (Tablo 2.3.). Su kaynakları ihtiyaçları karşılamada yetersiz kalacağından Türkiye yakın gelecekte su sorunu yaşamaya aday bir ülke konumundadır.

Tablo 2.3. Su varlığına göre ülkelerin sınıflandırılması [4]

Kişi Başına Su Tüketimi (m ³)	Ülkenin Durumu
> 10000	Su zengini
3000 – 10000	Kendi ihtiyaçlarını karşılayabilen
1000 – 3000	Su sıkıntısı bulunan
< 1000	Su fakiri

Su kaynakları genel olarak tarımsal sulamada, içme ve kullanım suyu olarak ya da endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Suların kullanımı sırasında karşılaşılan en önemli problemler ise; aşırı su tüketimi ve su kayıplarıdır. Ekonomik büyüme, tarımsal alanlarda gereğinden fazla su kullanımı ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisi ile su kaynakları her geçen gün daha da azalmaktadır.

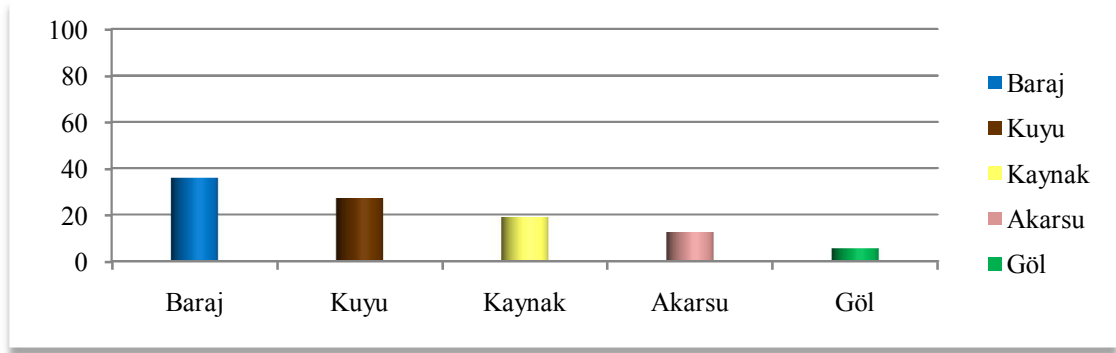
2.3. Su Temini ve Tüketimi

Türkiye’de kullanılmakta olan suların kaynağı olarak öncelikle yüzey ve yeraltı suyu kaynakları olmak üzere; deniz, akarsu, göl, baraj, kaynak ve kuyu suları yer almaktadır. Suyun, kaynağından kullanımına kadar geçen süreçte buharlaşma, sızıntılar ve kaçaklar sonucu büyük bir kısmının kaybolması nedeniyle su temini için altyapı çalışmalarına ağırlık verilmektedir. TÜİK verilerine göre; 2014 yılında belediyeler tarafından içme ve kullanma suyu şebekesi için toplam 5,2 milyar m³ su çekilmiştir (Tablo 2.4.).

Tablo 2.4. Belediyelerce kaynağına göre çekilen su miktarı (1000 m³/yıl), 2008-2014 [4]

Su Kaynağı	2008	2010	2012	2014
Baraj	1 810 188	2 252 421	2 416 018	1 886 617
Kaynak suyu	1 060 963	1 015 865	948 133	984 869
Kuyu	1 275 691	1 273 822	1 395 957	1 423 751
Akarsu	173 928	159 472	78 282	652 370
Göl, gölet/deniz	225 804	83 154	97 952	289 800
TOPLAM	4 546 574	4784 734	4 936 342	5 237 407

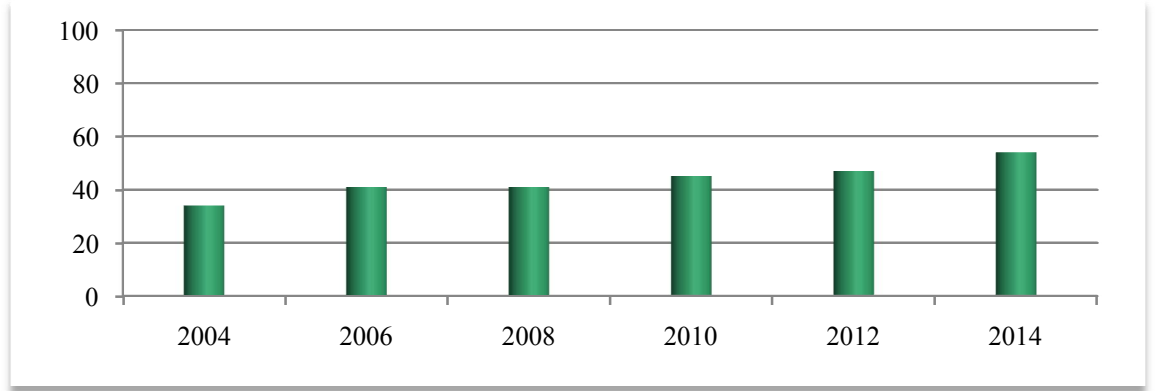
2014 yılında, barajlar % 36 oranı ile en büyük su temini kaynağı olmuştur. Ardından sırayla; % 27,2 ile kuyular, % 18,8 ile kaynak suları, % 12,5 ile akarsular gelmektedir. Göller, göletler ve denizlerin payı ise % 5,5 olarak belirlenmiştir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Belediyelerce temin edilen suyun dağılımı, yüzde (%) olarak, 2014 [4]

Türkiye’de nüfusun hızlı artışı, sanayileşme ve kentleşme, teknolojiye yaşanan gelişmeler sonucunda günlük su tüketiminde de artış gözükmemektedir. Buna bağlı olarak kaynak ve yeraltı su rezervlerinin azalması ile birlikte içme ve kullanma suyu temininde yüzeysel su kaynaklarından yararlanılmasına yönelim olmuştur. Ancak yüzeysel su kaynakları talebi karşılayamadığı için de arıtma tesislerinin yapımına ağırlık verilmiştir. TÜİK tarafından hazırlanan Belediye İçme ve Kullanma Suyu Temel Gösterge Sonuçları’na göre; içme ve kullanma suyunda arıtma tesisi ile hizmet veren belediye sayısı 2010 yılında 346 iken, 2014 yılında 436’ya ulaşmıştır. 2004 yılından itibaren arıtma tesislerinde uygulanan arıtma kapasitesinde de gözle görünür bir artış meydana gelmiştir. 2004 yılında toplamda 2,08 milyar m³ su arıtılmış iken, 2014 yılında % 44’lük bir artışla 2,99 milyar m³ suyun arıtımı gerçekleştirilmiştir [4].

Arıtma işlemlerindeki gelişmeler sayesinde, atıksu arıtma tesisi ile hizmet verilen nüfusun oranında da her geçen yıl artış yaşanmıştır (Şekil 2.3.). Türkiye geneline bakıldığında 2004 yılında, içme ve kullanma suyunda atıksu arıtma tesisi ile hizmet alan nüfusun toplam nüfusa oranı % 34 iken bu oran 2014 yılında % 54’e çıkmıştır [4].



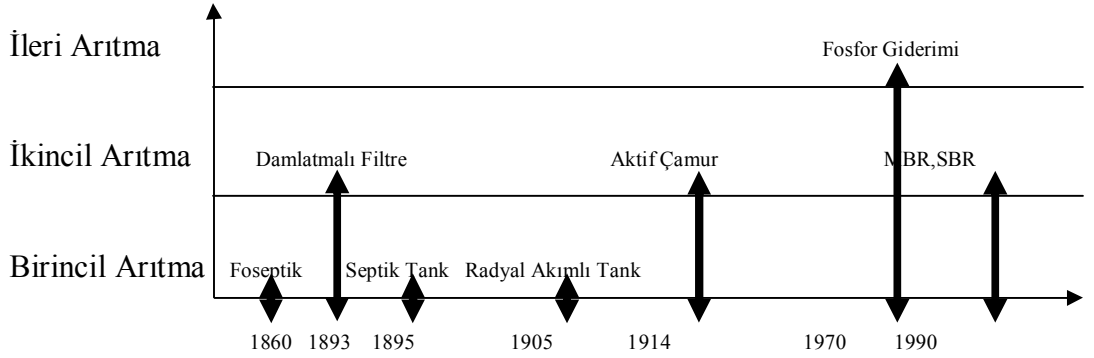
Şekil2.3. İçme ve kullanma suyu arıtma tesisi ile hizmet verilen nüfusun toplam nüfusa oranı, yüzde (%) olarak (2004-2014) [4]

Ülkemizde yerel yönetimlerin, kanalizasyon şebekesi olan yerlerde atıksuları şebekeye aktarmaları yasal bir zorunluluktur. Ancak endüstriyel atıklar ve tıkanmalara yol açacak atıksular için ön arıtma işlemi uygulanmalıdır. Ekolojik çevrenin korunması bakımından atıksuların alıcı ortamlara verilmeden önce uygun bir biçimde arıtılması gerekmektedir.

2.4. Atıksu Arıtmada Tarihsel Süreç

2.4.1. Atıksu arıtma teknolojilerinde tarihsel gelişmeler

İlk ve orta çağlarda insanlar, atık maddeleri yaşam alanlarının dışına atarak çözüm üretirlerdi. Kentsel yaşama geçişle birlikte sosyal, kültürel ve ekonomik alanlarda gelişmeler yaşanmaya başlamış, ancak bu hızlı gelişme çevre sorunlarını da gün yüzüne çıkarmıştır. Ancak insanlar yine de kentsel yaşamdan vazgeçmemişlerdir [6]. İnsanlar, önceleri yerleşim yeri olarak sulak bölgeleri tercih etmişlerdir. Bu nedenle sulama ya da arıtma problemi pek yaşanmamıştır. Üstelik katı ya da sıvı çoğu atıklar doğaya karışarak bir sorun teşkil etmeden kendiliğinden temizlenmiş oluyordu [6]. Nüfusun artması ve insanların çevreye daha çok atık bırakması ile birlikte henüz kanalizasyon şebekesi dahi kurulmamış çoğu ülkelerde sağlık ve hijyenden uzak çevre görüntüleri ortaya çıkmıştır [7]. Kentsel yaşama alışmış insanlar ilk arıtma işlemi olarak arazide arıtmayı kullanmışlardır. Bu arıtma işleminde kanalizasyon suları gübre olarak kullanıldığından atıksular tarımsal faaliyetlerin yapıldığı arazilere taşınmaktaydı. Bu uygulama, şehirleşmenin artması, tarım arazilerinin azalması, atıksuların çeşitli hastalıklara yol açması nedenleri sonucu sonraları terk edilmiştir [8].



Şekil 2.4. Atıksu arıtımının tarihsel gelişimi [9]

Atıksuların çevreye olan etkilerinin anlaşılması ile gelişmekte olan ülkelerde ileri arıtma sistemi daha çok kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 2.4.). Çünkü birçok arıtma tesisinde atık sulardaki azot ve fosforun gideriminin sağlanamadığı anlaşılmıştır [9]. Sanayileşme ve kentleşme, insanların alışkanlıklarında değişmelere, bu değişmeler de atıksu arıtma sistemlerinde yeni teknolojiler ortaya konmasına yol açmıştır.

Tesislerden deşarj edilen çıkış suyundaki kalite seviyesi, arıtılmış suları tüketenlerin ihtiyaçlarını karşılama durumuna göre değişebilmektedir. Sulardaki kirletici faktörlerin artışı ve kalitesindeki bozulmalar, çıkış suyu kalitesinde yeni parametreler belirlenmesine neden olmuştur. ıkış suyu kalitesini arttırmak için de arıtma teknolojilerinde sürekli yeni arayışlara gidilmektedir [10].

Dünyada modern anlamda ilk atıksu tesisi, 1842 yılında Hamburg'da kurulmuştur. Bundan 13 yıl sonra, 1855 yılında Chicago'da, ilk kanalizasyonun inşası yapılmıştır. Arıtma tesislerinin kurulması ise 1870 yılından sonra olmuştur [11]. 20. yüzyılın ortalarına doğru atıksuların arıtılmasını yaygınlaştırmak üzere devlet desteği de verilmeye başlanmıştır. Amerika'da 1948 yılında hazırlanan Federal Su Kirliliği ve Kontrol Yasası ile, sulardaki kaliteyi arttırmak için kurulacak arıtma tesislerine teşvik verileceği belirtilmiştir. Verilen destek zamanla artırılmıştır [12]. 1960 yılı sonrasında, su kalitesinin daha da yükseltilmesi amacıyla arıtma proseslerinin geliştirilmesine ağırlık verilmiştir. Bu alışmalar sonucunda aktif çamur prosesleri, ardışık kesikli reaktörler, damlatmalı filtreler ve membran bioreaktörler gibi yeni arıtma teknolojileri arıtma tesislerinde kullanılmaya başlanmıştır [12]. Hızlı bir değişimin ve bir o kadar da tüketimin yaşandığı günümüz dünyasında suya olan ihtiyacın artması, suların arıtılması için yapılan araştırmaların aralıksız devam etmesini gerekli kılmaktadır [11].

2.4.2. Eski dönemlerde atıksu uzaklaştırma teknikleri

Su kullanımı ve tüketimi için tasarlanan yapılara ilk olarak M.Ö. 4000 yıllarında rastlanılmaktadır. Örnek olarak Hindistan'da yapılmış helâ, hamam ve kanalizasyon gibi yapıları verebiliriz. Hint şehirlerinde kanalizasyonlar bir ya da iki kanaldan oluşmakta, üzerleri kiremit ile kapatılmaktaydı [6]. Eski Mezopotamya'da yer alan Nippur kentinde, kemerli bir atıksu kanalının olduğu bilinmektedir. Bu kanallar vasıtası ile atıksular şehirlerden uzaklaştırılırdı. Su arıtımı ile ilgili mühendislik çalışmalarına ait ilk rapor M.S. 97 yılında, Roma'nın su işlerinden sorumlu bir memuru olan Sextus Julius Frantinus tarafından hazırlanmıştır. Frantinus'un raporuna göre, Roma'ya su getiren kanalın başında çöktürme sistemi yer almaktaydı ve bu sistem sayesinde kum ve çakıllar arıtılmaktaydı [7].

1700'lü yıllarda Amerika'da atıksular daha çok kanalizasyon için açılan üstü açık kanallara boşaltılmaktaydı. Ne var ki nüfus yoğunluğunda yaşanan artış ile birlikte açık kanallarda biriken bu atıksular hem çevre sorunlarına hem de sağlık problemlerine yol açmaya başlamıştır [13]. Sorunun çözümü için arıtma teknolojileri devreye girmiştir. Kanalizasyon ağı yaygınlaştırılmış; arıtma için ise daha çok seyreltme işlemi uygulanmıştır [12]. 1800'lü yıllarda toplum sağlığını tehdit eden, çevre sorunlarına yol açan atıksuların arıtılması için daha kullanışlı ve daha kaliteli kanalizasyon sistemleri kurulmasına önem verilmiştir. Bu alanda yapılan ilk çalışmalar; 1842 yılında Almanya'nın Hamburg kentinde İngiliz Mühendis Lindley tarafından kurulan kanalizasyon sisteminde ve ardından 1850 yılında Mühendis Chesborough tarafından Chicago'da inşa edilen kanalizasyon sisteminde görülür. İlk fosseptik, 1860 yılında L.H. Mouras tarafından tasarlanmıştır. Bu yapı modern anlamdaki septik tankların da ilkidir [14]. İlk septik tank 1895 yılında Donald Cameron tarafından yapılmıştır. Septik tanklar kanalizasyon sularının birinci arıtımı için kullanılmaktaydı. Bu tankların kurulum amacı atıksulardaki katı maddeleri ayıklamak ve bir nehir ya da göle deşarj etmektir [15].

Evsel kaynaklı atıksular ile tuvaletlerden gelen lağım suları herhangi bir arıtma işlemine tabi tutulmadıklarında hem çevre üzerinde olumsuz bir etki oluşturmakta hem de çeşitli hastalıklara yol açmaktaydı. Bu dönemde atıksuların arıtılma gerekçesi, insan sağlığına olan olumsuz şartları ortadan kaldırmak şeklindeydi. İngiltere'de 1830-1850 yılları arasında artan kolera salgınları atıksular için acil çözümler üretilmesini kaçınılmaz kılmıştır. Bu salgının ardından İngiliz Parlamentosu su kirliliğinin önlenmesi ve halk sağlığının korunması için "kanalizasyon tarımı" projesini yürürlüğe koymuştur [8].

1887 yılında Massachusetts Medford'da arıtma yöntemi olarak kesikli kum filtresi kullanılmıştır [16]. Bu yöntem aynı zamanda ilk biyolojik arıtma prosesidir [12]. 19. yüzyılın ortalarından itibaren su temini için tasarlanan birimlerin Amerika'daki büyük şehirlerde kurulması yaygınlaşmıştır [13]. Su temini birimlerinin artışı kanalizasyon sularının da artmasına yol açmıştır. Atıksuların yeni salgınlara yol açmasını önlemek için içilebilir suların borular aracılığı ile taşınması sağlanmıştır. İngiltere Parlamentosu suların geri kazanımını resmi hale getirmek için 1861 yılında atıksuların arıtılması ile ilgili yasayı çıkardı. Atıksu teknolojilerinde bu yasa sonrası hızlı gelişmeler yaşandı [6].

2.4.3. Doğal arıtma yöntemindeki gelişmeler

Geleneksel olarak nitelendirilen arıtma yöntemlerinin kırsal yerleşim alanlarında uygulanmasında çeşitli problemlerle karşılaşmıştır. Fazla maliyet gerektirmesi, yüksek miktarda elektrik enerjisine gereksinim duyulması, bakım-onarım işlemlerinin pahalı oluşu ve işletme için yetişmiş personele ihtiyaç duyulması bu problemlerden bazılarıdır. Doğal arıtma yöntemleri, bu tür problemlere çözüm getirmek için geleneksel arıtma yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Bu yöntem ilk defa 1960 yılında Almanya'da Dr. K. Seidel tarafından uygulanmıştır [17].

Doğal arıtma yöntemi, atıksuların arıtılmasında kullanılan maliyeti en düşük ve çevreye en az zarar veren arıtma yöntemidir [18]. 19. yüzyılda, birçok akarsu aşırı miktarda kirlendiği için atıksuların arazide arıtılması tercih edilmişti. Ayrıca, atıksular tarımsal sulamada kullanılmak üzere kırsal alanlara aktarılmıştır. Kırsal bölgelerden şehirlere doğru hızlı bir göç akışı yaşanması ile birlikte, atıksuların doğal çevrede ve arazilerde arıtılmasına dair yöntemler de işlevini kaybetmeye başlamıştır. Bunun yerine atıksuların daha gelişmiş tesislerde arıtılması tercih edilmiştir [19]. Doğal arıtma işlemlerinde atıksuların tarımsal alanlara aktarılması için, yüzeyde ya da yüzey altında sızdırma yöntemleri kullanılmaktadır. Doğal arıtmadan geçirilmiş ve arıtılmış sular tarımsal arazilerin sulanmasında rahatlıkla kullanılmaktadır [20]. Atıksuların arıtılması uygulamalarında önemli çalışmalara katılmış olan George Tchobanoglous ve Gordon Culp, 1980 yılında, atıksu arıtımında yapay sulak alanların kullanımına yönelmişler ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir [21].

Yapay sulak alanlar, uygulandığı dönemde yüksek arıtma kapasitesine sahip olması nedeniyle kullanım alanı bulmuştur. 1989 yılına geldiğimizde arıtma uygulamaları alanında pek çok araştırmalar yapmış olan Hammer, kırsal yerleşim yerlerinde atıksuların arıtımı için gerçek boyutlarda yapay sulak alanlar oluşturmuştur [22]. 1980 yılından sonra Fransız araştırmacılar, kırsal yörelerdeki atıksuların arıtılması için kamış yataklı filtreler kullanmışlardır. Küçük yerleşim yerlerine hizmet veren kamış yataklı filtre yönteminin Fransa'da kullanım alanı zamanla genişlemiştir. Yöntemin uygulandığı arıtma sistemlerinde, kaba maddeleri alınmış atıksuların arıtımı sağlanmaktadır [23].

2.4.4. Aktif çamur prosesindeki gelişmeler

Aktif çamur prosesinin arıtma sistemlerinde kullanılması, İngiltere’de 1914’de Arden ve Lockett tarafından tasarlanmıştır [24]. Yöntemin temel hedefi; askıda bulunan mikroorganizmalar yardımıyla kirliliğin giderilmesidir [19]. Yöntemin aktif çamur olarak isimlendirilmesinin nedeni, bakteriler tarafından aerobik ortamlarda sudaki atık maddeyi ayrıştıracak biyokütlenin ortaya çıkarılmasıdır [25]. Aktif çamur yönteminin, diğer arıtma sistemlerine göre farklı karaktere sahip atıksuları arıtması önemli bir avantaj iken, aşırı miktarda çamur üretiminden kaynaklanan maliyet yükü ise bir dezavantajdır. Yaygın şekilde kullanılan bu prosesin kapasitesini ve verimliliğini artırma yönündeki bilimsel çalışmalar devam etmektedir [26].

Aktif çamur sisteminin bir alternatifi de havalandırılmalı aktif çamur yöntemidir. Arıtma işleminde havalandırma yöntemi kullanımına öncülük eden İngiliz mühendisler Arden ve Lockett 1913 yılında çalışmalarının karşılığı olarak aktif çamur prosesinin patentini elde etmişlerdir [9]. Arden ve Lockett yaptıkları çalışma sonucunda aktif çamur prosesi çıkış suyunun kaliteli bir deşarj suyu olduğunu ortaya koydular. Arden ve Lockett, çalışmalarına ait ilk bilimsel verileri 1914 yılında yayınladılar. Ancak İmhoff bu çalışmalarda bir düzenleme yapılması gerektiğini savundu. Çünkü, son çökeltim havuzunda ortaya çıkan çamurun tamamı sistem için fazla geliyordu ve aktif çamur havuzuna verilemiyordu. İmhoff, fazla gelen çamuru ön çökeltim havuzuna aldı, biriken toplam çamuru da çamur çürütme birimine aktararak biyogaz elde etti. Böylece, aktif çamur prosesi, biyolojik bir arıtma yöntemi olarak kullanılmaya başlandı [6].

Atıksuyun biyolojik olarak arıtılmasında kullanılan aktif çamur prosesinin geliştirilmesi için pek çok araştırmacı çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar sonucu piston akımlı proses devreye sokulmuş, ancak yeterli verim elde edilmeyince bu uygulamadan vazgeçilmiş ve yerine hacim ve seyreltme özellikleri daha büyük olan tam karışımli reaktörler tercih edilmiştir [27]. Aktif çamur proseslerinde arıtma işlemlerinde fosforun nasıl giderileceği konusuna çözüm getiren ise James Barnard olmuştur [14]. Aktif çamur uygulamalarında biyolojik azot ve fosfor giderimine öncülük eden James Barnard 1973 yılında çalışmalarının karşılığı olarak bu teknolojinin patentini almıştır [9].

2.4.5. Damlatmalı filtre yöntemindeki gelişmeler

Biyolojik yöntemlerin kullanımı, 1829 yılında Londra’da tasarlanan kum filtreleriyle ortaya çıkmıştır. 1880 yılında ise biyolojik arıtımı etkin kılmak amacıyla kum filtrelerinden daha kullanışlı olan damlatmalı filtreler tasarlanmıştır [26]. 19. yüzyılın sonlarına doğru kanalizasyonlardaki organik atıkların alıcı ortamdaki sulara karışmasını önlemek üzere yeni arıtma düzenekleri kurulması düşüncesi ön plana çıkmıştır. Organik atıkların mikroorganizmalar tarafından giderilmesini başaran araştırmacı Frankland 1890 yılında damlatmalı filtre yöntemini tasarlamıştır [14]. Damlatmalı filtreler, 1893’te İngiltere’de ve 1908’de ABD’de arıtma işlemlerinde kullanılmaya başlanmıştır [19]. Zamanla sistemin hızı ve kapasitesi artırılmış, atıksuların arıtılmasında kullanılan etkili bir yöntem olarak varlığını devam ettirmiştir.

2.4.6. Anaerobik proseslerdeki gelişmeler

Anaerobik arıtma, organik ve inorganik atıkların oksijensiz ortamda mikroorganizmalar aracılığı ile parçalanarak, CH₄, CO₂, NH₃ ve H₂S gibi nihai ürünlere dönüştürülmesi olarak tanımlanır. Başlangıçta sadece çamur çürütme uygulamalarında kullanılmış olup aerobik arıtmaya nazaran daha az enerji ihtiyacı olması nedeniyle atıksuların arıtılmasında da tercih edilmiştir. Anaerobik koşullarda arıtma sonucu atıksu içerisinde yer alan organik maddeler biyogaz haline dönüşebilmektedir. Bu sayede hem atıksudaki kirlilik giderilmekte, hem de enerji temin edilebilmektedir. Evsel atıksuların oksijensiz ortamda arıtılması sırasında çamur çürütmenin gerçekleştiği fikrini ortaya koyan 1881 yılında Moigno olmuştur [28]. Anaerobik sistemle çalışan ilk evsel atıksu arıtma tesisi, 1989 yılında Hindistan’ın Kanpur kentinde inşa edilmiş ve halkın kullanıma sunulmuştur [29]. Teknolojik gelişmelerin de katkısı ile evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında anaerobik yöntem rahatlıkla kullanılmaktadır [20].

2.4.7. Membran teknolojilerindeki gelişmeler

Atıksuların arıtılmasında ve yeniden kullanıma verilmesinde daha çok tercih edilmeye başlanılan membran teknolojisi, ileri arıtma yöntemleri arasında yer almaktadır [7].

Membran sistemini ilk deneyen 1748 yılında Fransız Abbe Nollet olmuştur. Nollet, yaptığı deneyde; şarap fiçisinin ağzını hayvan derisi ile kapatmış, ardından fiçiyi suya batırmış, sonuçta suyun fiçiyi girmesine rağmen şarabın deriden geçemediğini tespit etmiştir. Nollet'in bu işlemi bir nevi osmoz olayıdır [30]. Osmoz teriminin tespit edilmesi ile membran sistemi de ortaya çıkmış oldu. 1960 yılından itibaren membran teknolojisi ile işletilen arıtma sistemleri yaygınlaşmaya başlamıştır [31]. Membran arıtma yöntemi, daha kaliteli içme ve kullanma suyu temininde, atıksuların kalite kriterlerine uygun biyolojik arıtımında, su içerisinde yer alan çözülmüş ve kolloidal atıkların giderilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca membranlar sayesinde atıksu arıtımı sırasında bazı değerli metallere geri kazanımı da sağlanmaktadır [32]. 1950 yılından itibaren düşük maliyetle inşa edilen membran prosesleri endüstriyel atıkların arıtılmasında daha çok kullanım alanı bulmuştur [33]. Donanım bakımından üst düzey membran teknolojilerinin tasarlanması 1970'li yılların sonunda Kuzey Amerika'da görülmüştür. 1980 yılından itibaren ultrafiltrasyon, mikrofiltrasyon, ters osmoz ve elektrodializ prosesleri arıtma tesislerinde kullanılmaya başlanmıştır [34]. Biyolojik bir arıtma yöntemi olan ultrafiltrasyon işlemi, katı ve sıvıları ayırıştırma, yoğun kirlilik yükü bulunan suların temizlenmesinde de kullanılmaktadır [35].

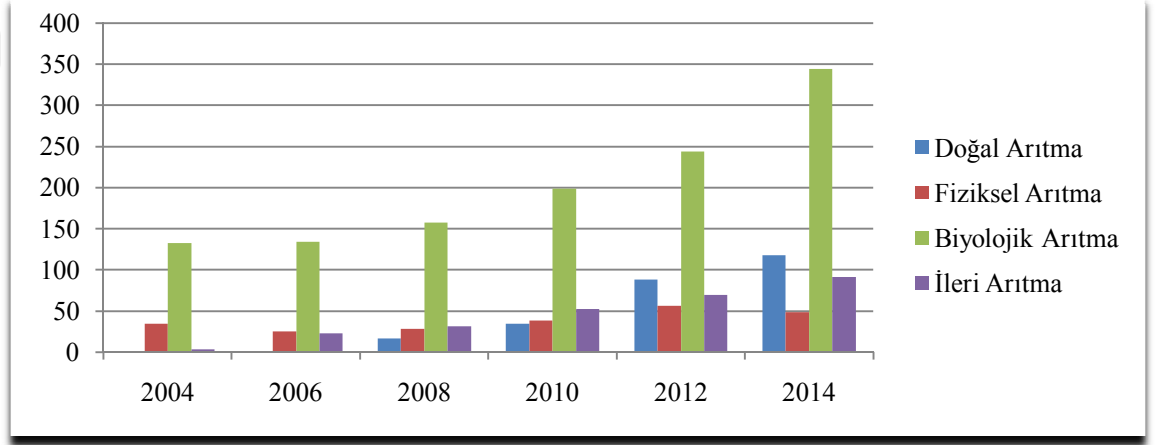
Son yıllarda membran teknolojisindeki hızlı gelişmeler ve üretim maliyetinin azaltılması sebebiyle atıksu arıtma uygulamalarında mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon tipi membran prosesleri yaygın biçimde kullanılır olmuştur [36]. Ülkemizde atıksuların arıtılmasında membran proseslerinin kullanımı teknolojik altyapısı, çevre dostu olması ve işletme kolaylığı gibi avantajları sayesinde giderek artmaktadır.

2.4.8. İleri oksidasyon proseslerindeki gelişmeler

İleri oksidasyon prosesleri, atıksu içerisindeki biyolojik olarak parçalanması zor organik maddeleri okside etmek amacıyla kullanılmaktadır. Oksidasyon sonrası atıksuyun biyolojik arıtım kapasitesi de artmaktadır. Bu yöntemin biyolojik arıtım ile birlikte kullanıldığında, organik kirleticilerin giderilmesinde etkili olduğu belirlenmiştir. İleri oksidasyon prosesi, atıksu arıtımında toksik nitelikli organik kimyasalların temizlenmesine olan katkısı nedeniyle kullanım alanını genişletmiştir [18].

2.5. Türkiye’deki Mevcut Durum

Türkiye bilinçsizce kullanılan ve tüketilen su kaynaklarının eksikliğini kuraklık ya da su kesintileri şeklinde yakından hissetmektedir. Sorunun daha büyük boyutlara ulaşmasını önlemek için atıksuların arıtılması ve yeniden kullanıma verilmesi çalışmalarına ağırlık verilmektedir. (Şekil 2.5.). Genel olarak ülkemizde biyolojik arıtma yöntemi kullanan arıtma tesisleri daha fazla olmakla birlikte ileri arıtma teknolojileri kullanımı da 2010 yılından sonra artış göstermiştir [37].



Şekil 2.5. Atıksu arıtma tesislerinin arıtma türü dağılımı (2004-2014) [38]

Türkiye’de biyolojik arıtma yönteminin daha fazla kullanılmasının temel nedeni olarak, organik maddelerin biyolojik giderimini sağlayan birimlere ek olarak son çökeltim ünitesi de içermesi ve geniş hacmi sayesinde nüfus yoğunluğu fazla olan yerleşim yerlerinde kullanılabilir olması gösterilebilir [39]. Günlük yaşamda evsel nitelikli atıksuların arıtımı ve geri kazanımı konusunda özellikle kentsel ortamda yaşayan insanların beklentileri artmıştır. Çevre ve Orman Bakanlığı Avrupa Birliği Entegre Çevre Uyum Stratejisi raporuna göre 2020 yılına kadar nüfusu 50 bini aşan şehirlerde atıksu arıtma tesislerinden hizmet alan nüfus oranı % 90’ı geçecektir [40]. Türkiye, gelecekte su sıkıntısı yaşamaya aday bir ülke olarak ileriye dönük plan ve projelerini kararlılıkla uygulamalıdır. Su kaynaklarının korunması ve atık suların yeniden kullanımı için biyolojik arıtma yöntemleri ile ileri arıtma teknolojileri kullanımının artırılması; kirlenmenin giderilmesi için ise kimyasal arıtma yöntemlerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir [41].

2.6. Atıksular

Günlük yaşamın akışı içerisinde evsel, endüstriyel ya da diğer alanlarda kullanımı sonucunda kirlenmiş ve kullanım özelliklerini kaybetmiş sulara atıksu denilmektedir [3]. Yaşamın en temel unsurlarından biri olan suyun dünyamız için ne denli önem arzettiği asla unutulmamalıdır. Bu itibarla, kullanım sonucu kirlenen suların arıtılması ve kullanılabilir niteliklere kavuşmasına yönelik iş ve işlemler günümüzde özellikle yerel yönetimler için öncelikli bir görev tanımı haline gelmiştir (Resim 2.2.). Yerel yönetimler sosyal, kültürel ve sportif etkinlikler düzenlemek yanında; halka sağlıklı su temin etmek, atıksuları ve çöpleri bertaraf etmek ve kanalizasyon şebekelerini yenilemek gibi çalışmalarını da yerine getirmektedirler. Atıksuların arıtılmasında istenen kaliteye ise uygun şekilde dizayn edilmiş arıtma teknolojileri ile ulaşılmaktadır.



Resim 2.2. Gediz Havzası ıslah çalışması [42]

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

2.6.1. Evsel nitelikli atıksular

Çoğunlukla evsel faaliyetler ile insanların günlük yaşam faaliyetlerinin geçtiği okul, hastane, otel gibi hizmet sektörlerinden kaynağını alan atıksular evsel nitelikli atıksular olarak nitelendirilir. Arıtma yöntemleri ve teknolojileri kullanılarak arıtılan evsel atıksular, arıtma kalitesine ve ihtiyaca göre çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [3].

2.6.1.1. Evsel nitelikli atıksuların özellikleri

2.6.1.1.1. Fiziksel özellikleri

Askıda katı madde: Atıksu içindeki çökebilen ve çökemeyen katı maddelerin toplamıdır. Bunlar, organik maddeler ya da çamur mineralleri şeklinde olabilmektedir.

Koku: Atıksu içerisinde yer alan organik maddeler zamanla koku yayarlar. Petrol atıkları, çözücü maddeler ve yağlar da atıksudaki kokuyu artırıcı kirleticilerdir.

Sıcaklık: Atıksuların sıcaklığı, hava sıcaklığı ile karşılaştırıldığında kış mevsiminde yüksek, yaz mevsiminde ise düşük derecelerde bulunmaktadır.

Renk: Su, yapısı itibari ile renksiz ve kokusuz bir maddedir. Atıkların niteliklerine göre atıksuların rengi de farklı olabilmektedir [3].

2.6.1.1.2. Kimyasal özellikleri

Biyolojik oksijen ihtiyacı: Atıksuda yer alan organik maddelerin giderimi sırasında oluşan mikroorganizmaların kullandığı çözülmüş haldeki oksijen miktarıdır.

Kimyasal oksijen ihtiyacı: Atıksuların içerdiği organik madde miktarını göstermektedir. Atıksudaki KOİ oranı BOİ oranından daha yüksektir. Bunun nedeni; biyolojik olarak oksitlenemeyen birçok bileşiğin kimyasal okside edilmesidir.

pH: Atıksuyun barındırdığı hidrojen iyonunun yoğunlaşma göstergesidir. Atıksudaki hidrojen iyonu (H^+) oranı yüksek ise asidik; hidroksit iyonu (OH^-) oranı yüksek ise bazik özellik mevcuttur. Genel olarak içme suyunun pH değeri 6–8 arasındadır.

Klorür: Evsel nitelikli atıksularda yer alan klorürlerin temel kaynağı insan idrarıdır. Sert sularda yumuşatıcı kullanıldığında fazla miktarda klorür atık suya geçmektedir.

Azot: Azot, atıksudaki mikroorganizmalar için bir besin maddesidir. Arıtma esnasında yeterli miktarda azot bulunmalıdır.

Fosfor: Fosfor da azot gibi atıksudaki mikroorganizmalar için bir besin maddesidir. Arıtılmış atıksu fosfor içeriyorsa alıcı ortamda ötrifikasyona yol açmaktadır.

Kükürt: Atıksularda doğal ve yaygın olarak bulunmaktadır. Kükürt, çoğunlukla sülfat haline dönüşebilmektedir.

Gazlar: Evsel atıksularda daha çok azot, oksijen, karbondioksit, amonyak ve metan gazları yer almaktadır [3].

2.6.1.1.3. Biyolojik özellikleri

Evsel atıksularda mevcut olan virüs, bakteri, alg, protozoa gibi mikroorganizmalar insanlar için hastalık kaynağıdır. Koliform bakterileri, insan atıkları ile oluşan bir kirlenmenin sonucudur ki bir bakıma ortamda evsel atıksu olduğunun göstergesidir [3].

2.6.1.2. Evsel nitelikli atıksuların arıtılma amaçları

Atıksu arıtımında temel hedef, atıksuyun salındığı ortamlarda insan sağlığına ve ekolojik dengeye olan zararlı etkilerini ortadan kaldırmak ya da minimum düzeye indirmektir. Atıksu arıtma tesislerinde bilimsel ve teknolojik gelişmelere uyum sağlanmadığı takdirde kaliteli bir arıtma sağlanması mümkün değildir. İnsanların yaşam biçimleri ve yaşadıkları yerin iklim özellikleri evsel atıksuların sahip olduğu nitelikleri belirleyici faktörlerdir [3]. Tablo 2.5.'de arıtma işlemi uygulanmamış evsel bir atıksuya ait değerler verilmektedir.

Tablo 2.5. Arıtma işlemi uygulanmamış evsel atıksuların nitelikleri [43]

Atıksudaki Madde	Mevcut Değeri (g/kişi-gün)
BOİ	45-54
KOİ	1,6-1,9 x BOİ ₅
Organik Karbon	0,6-1,0 x BOİ ₅
Katı Madde	170-220
Askıda Katı Madde	70-145
Alkalinite (CaCO ₃)	20-30
Kloridler	4-8
Azot (N)	6-12
Nitrat	~ 0,5 x N
Fosfor (P)	0,6-4,5
Potasyum Oksit (K ₂ O)	2-6

2.6.1.3. Evsel nitelikli atıksuların arıtılma yöntemleri

Evsel nitelikli atıksuların arıtılmasında kullanılan yöntemler; fiziksel arıtma yöntemi, kimyasal arıtma yöntemi ve biyolojik arıtma yöntemi olarak üç başlıkta toplanmaktadır.

2.6.1.3.1. Fiziksel arıtma yöntemleri

Fiziksel arıtmada ayırıştırma ya da çöktürme işlemleri yolu ile atıksularda yer alan kaba atıklar ayrılmaktadır. Bu yöntemde yer alan üniteler aşağıda belirtilmiştir:

Izgaralar

Izgaralar sayesinde, kaba ve hacimli maddeler sudan ayırıştırılarak arıtma tesisindeki araç ve gereçlere, kullanılan teçhizata zarar vermeleri önlenmekte; diğer ünitelere geçen yük miktarı azaltılmaktadır [3]. Izgaralar, demir aralığına göre kaba ve ince izgaralar olarak ikiye ayrılmaktadır (Resim 2.3. ve 2.4.).



Resim 2.3. Kaba ızgara [44]



Resim 2.4. İnce ızgara [45]

Kum tutucular

Kum tutucular; kum, çakıl gibi katı maddeleri atıksudan ayırmak, arıtma tesislerindeki teçhizatın aşınmasını önlemek ve çökelti havuzlarında oluşacak tıkanmaları engellemek amacıyla kullanılmaktadır (Resim 2.5.). Kum tutucular, sonraki ünitelerde arıtılacak küçük hacimli maddelerin çöküşünü önleyici bir yapıda olmalıdır. Bunun için de kum tutuculardaki yatay akışkanlık hızı uygun değere getirilmelidir [3].



Resim 2.5. Kum tutucu [46]

Çökeltme tankları

Çökeltme tanklarında, yoğunluğu sudan daha yüksek olan katı maddeler çöktürülerek sudan ayrıştırılmaktadır. Ön çökeltim havuzlarında kendiliğinden çökebilen maddeler ayrılırken, son çökeltim havuzlarında ise biyolojik atıkların giderimi yapılmaktadır [3].

Filtrasyon havuzları

Filtrasyon havuzlarında, atıksuyun debisi düzenlenir (Resim 2.6.). Ayrıca atıksulardaki bulanıklığı gidermek için de filtrasyon havuzlarından yararlanır [3].



Resim 2.6. Filtrasyon havuzu [46]

2.6.1.3.2. Kimyasal arıtma yöntemleri

Kimyasal arıtma, atıksulardaki kirliliğe yol açan çözülmüş haldeki maddelerin kimyasal işlemler yolu ile çözünürlüklerinin azaltılması ya da çöktürülmesi yöntemidir. Bu yöntemde, tanecik halinde bulunan maddeler pıhtılaştırma işlemi ile yumak haline gelirler ve daha kolay çökerler [3]. Bu sistemde kullanılan birimler şunlardır:

Koagülasyon

Koagülasyon yani kimyasal yumaklaştırma; atıksularda yer alan ve yoğunluk farkından dolayı çökemeyen maddelerin kimyasallar aracılığı ile çökebilir hale gelmesi işlemidir [3]. Koagülasyon işlemi hızlı karıştırıcılar ile gerçekleştirilir (Resim 2.7.).



Resim 2.7. Koagülasyon için hızlı karıştırıcı [47]

Flokülasyon

Flokülasyon sayesinde, koagülasyon işlemi ile oluşan küçük tanecikler atıksu içerisinde birleşerek kolayca çökebilen floklar haline dönüşürler [3].

İyon değiştiriciler

Suların yumuşatılması, sertliğe yol açan minerallerin giderilmesi ile sağlanmaktadır. Su sertliklerini giderme işlemlerinde en fazla iyon değiştirme yöntemi uygulanmaktadır. Bu değişikliğin olması için ise iyon değiştirici reçineler kullanılmaktadır [3].

Klorlama

Klorlama ünitesinde atıksu içerisinde yer alan zararlı mikroorganizmaların giderimi için klor ilave edilmektedir. Tesislerde klor çoğunlukla tanklarda ve sıvı halde saklanmaktadır (Resim 2.8.). Klorlama işleminin yapılaş amacı şu şekilde sıralanabilir:

1. Su girişi sırasında oluşan algleri kontrol altına almak (şok klorlama),
2. İnsan sağlığı bakımından risk oluşturan bakterileri uzaklaştırmak (ön klorlama),
3. Suyun arıtımını ve dezenfektasyonunu gerçekleştirmek (son klorlama) [3].



Resim 2.8. Klor dozajlama ünitesi [3].

Ozonlama

Tesislerde atıksudaki mikropların, kirliliğin ve kötü kokuların giderilmesinde aktif oksijen olarak nitelendirilen ozon (O_3) kullanılmaktadır (Resim 2.9.). Ozon, oksidasyon gücü yüksek bir gazdır ve atıksuların dezenfekte edilmesinde oldukça etkilidir [3].



Resim 2.9. Ozonlama ünitesi [47]

2.6.1.3.3. Biyolojik arıtma yöntemleri

Biyolojik arıtmada, atıksu içerisinde yer alan organik kirleticiler mikroorganizmalar vasıtası ile temizlenmektedir [3]. Bu yöntemin üniteleri aşağıda belirtilmiştir:

Biyolojik filtre

Zehirli maddeler atıksu içerisindeki en riskli etkenlerdir. Bu zehirli maddelerin giderilmesi işleminde bakteriler rol oynamaktadır. Bakterilerin atıksulardaki arıtmayı sağlaması için ise sıcaklık, pH ve çözülmüş oksijen göstergelerinin düzenlenmesi gereklidir. Biyolojik filtre ünitesinde bu düzenlemeler yerine getirilmektedir [3].

Aktif çamur

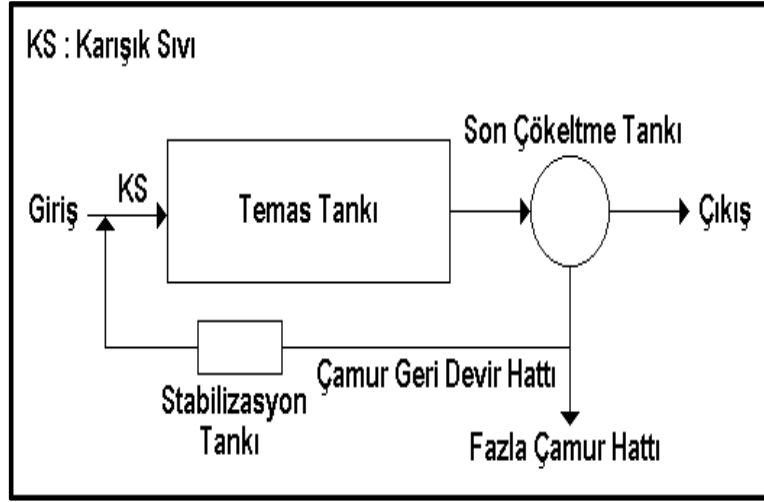
Biyolojik arıtma sistemleri içerisinde en sık kullanılanı aktif çamur işlemidir (Resim 2.10.). Bu işlemde, organik maddelerin giderimi için askıda bulunan mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Atıksudan uzaklaştırılacak olan maddeler çökeltim havuzuna alınarak biyolojik yumaklar haline dönüşürler ve sudan ayrılırlar [3].



Resim 2.10. Aktif çamur sistemi [3].

Stabilizasyon

Fazla miktarda organik madde içeren atıksuların arıtımı esnasında kullanılan stabilizasyon havuzları büyük hacimli üniteler olup atıksuların uzun süre bekletildiği ve genellikle doğal arıtımın uygulandığı ünitelerdir (Şekil 2.6.). Stabilizasyon işleminde, havuzlardaki askıda maddeler çöktürülerek giderim sağlanır [3].



Şekil 2.6. Stabilizasyon şeması [6]

Anaerobik prosesler

Anaerobik atıksu arıtımında, suda bulunan organik maddelerin oksijensiz ortamda metan (CH_4), karbondioksit (CO_2) ve amonyak gibi inorganik maddelere dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Bu işlemde farklı türde bakteriler kullanılır. İnsanların bir yandan yaşamlarını sürdürmek için doğal kaynakları kullanırken diğer yandan doğal kaynakları kirletiyor olması, atıksuların tekrar geri dönüşümünü sağlayacak arıtma teknolojileri kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Anaerobik arıtma sistemleri kullanılarak yapılan arıtma işlemlerinde, atıksu içerisindeki organik maddeleri biyogaza dönüştürmek mümkün olmaktadır (Resim 2.11.).



Resim 2.11. Anaerobik havuz örneği [3]

2.6.1.4. Evsel atıksu tesislerinin özellikleri

Arıtma tesisi seçilirken bilhassa uygun maliyet ve verimli işletme özelliklerine dikkat edilmektedir. Uygun bir atıksu arıtma tesisi, arıtma yapılacak suyun sisteme giriş aşamasından çıkış aşamasına kadar geçen süreçte optimum bir temizleme uygulayacak tüm ekipmanları barındırmalıdır [3].

2.6.1.5. Evsel atıksu arıtma tesisi planlamaları

Atıksu arıtma sistemlerinin planlaması, tasarımı ve işletimi epey kapsamlı ve karmaşık bir konudur. Çünkü arıtma işlemleri ile ilgili planlama yapılırken sosyal, ekonomik ve teknik detayların bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Olumsuz sonuçlarla karşılaşmamak için en uygun atıksu arıtma ve uzaklaştırma sistemi dizayn edilmelidir [48]. İdeal olanı, bir arıtma tesisindeki deşarj suyu ve arıtma çamurunun yeniden geri kullanıma verilmesidir. Bunu gerçekleştirmek için, atıksu arıtma tesisi ile ilgili planlama sürecinde aşağıdaki temel kriterlerin belirlenmesi gerekmektedir:

2.6.1.5.1. Tesis yeri seçimi

Atıksu arıtma tesisinin yapılacağı yerin belirlenmesinde bölgenin arazi yapısı, sosyal ve ekonomik şartları ile birlikte aşağıdaki hususların da dikkate alınması gerekmektedir:

- Arıtma tesisinin yeri atıksuların gelebileceği eğimlikte bir arazide olmalıdır,
- Tesis yeri, mevcut ve de planlanmış yerleşim yerlerinden uzak tutulmalıdır,
- Ulaşım, enerji ve haberleşme bağlantıları kurulmuş olmalıdır,
- Atıksuların deşarj edileceği nehir ya da tarım arazilerine yakın olmalıdır [48].

2.6.1.5.2. Hizmet alanı nüfusu

Bir yerleşim yerinde açığa çıkan atıksuyun miktarı, nüfusa ve nüfus başına düşen atıksu debisine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu yüzden arıtma tesisi tasarımlarında nüfus oranı iyi hesaplanmalıdır. Nüfus tahminleri; yerleşim yerinin imar planı, ekonomisi, turizm potansiyeli, göç alıp göç verme durumları dikkate alınarak yapılır [48].

2.6.1.5.3. Ekipman seçimi

Arıtma tesislerinde çeşitli mekanik ve elektronik ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ekipman seçiminin doğru yapılabilmesi için, proje mühendisinin ekipmanla ilgili doğru ve güvenilir verilere sahip olması gerekmektedir [48].

2.6.1.5.4. Enerji ve kimyasal madde ihtiyacı

Atıksu arıtma tesisinde, kimyasal madde ihtiyacı ile nüfus başına düşen enerji tüketimi hesaplanarak arıtma işlemine başlanmalıdır [48].

2.6.1.5.5. Tesis maliyeti

Planlaması ve tasarımı yapılan atıksu arıtma tesisinin yapım, işletme ve bakım maliyetleri mümkün olduğunca karşılanabilir seviyede tutulmalıdır. Arıtılan atıksu miktarı ve nüfus başına düşen birim maliyetler belirlenip benzer kapasitedeki diğer tesislerle karşılaştırma yapılmalıdır [48].

2.6.1.5.6. Debi

Evsel atıksu arıtma tesisleri için net bir debi belirlenmesi oldukça güçtür. Bu durumda su miktarının kişi başına düşen oranından yararlanılır. Kişi başına düşen su miktarı için ortalama bir değer bulunabileceği gibi bunun da mümkün olmaması durumunda çevre mühendislerince belirlenmiş olan $0,2 \text{ m}^3/\text{kişi/gün}$ değeri de kullanılabilir [49].

2.6.1.5.7. BOİ – KOİ değerleri

Atıksu içerisindeki kirlilik yükünün fazla olması organik maddelerin çoğalmasına ve ortamdaki oksijenin kısa sürede tükenmesine yol açacaktır. KOİ/BOİ oranı tesiste uygulanacak biyolojik arıtma yöntemleri için belirleyici olmaktadır. Evsel bir atıksu için KOİ/BOİ oranı 1,5-3 arasında değişmektedir. Bu değerlerin aşılması durumunda kimyasal arıtma sisteminin de devreye girmesi gerekecektir [49].

2.6.1.5.8. Azot – Fosfor değerleri

Evsel atıksulara karışan organik maddeler su içerisinde biyolojik olarak parçalanarak oksijen tüketimine yol açmaktadırlar. Hatta ortama azot ve fosfor gibi organik madde besinleri de eklenirse bu çoğalma daha da hızlanacak ve su oksijensiz hale geçecektir. Bu nedenle arıtma tesisi planlamasında kirlilik göstergeleri arasına azot ve fosforun da eklenmesi, ileride karşılaşılabilecek sorunları kontrol altına almayı sağlayacaktır [49].

2.6.1.5.9. Çıkış suyu kalitesi

Evsel nitelikli atıksuların arıtılması amacıyla kurulacak arıtma tesislerine dair tasarımlarda çıkış suyu kalitesi de göz önünde tutulmaktadır. Tesisten deşarj edilecek suyun sahip olması gereken standart değerler nüfusa, işleyişe ve tesise giren kirlilik yüküne göre değişebilmektedir. Arıtma işlemleri sonrasında alıcı ortama bırakılan çıkış suyunun yeniden kullanılabilir olması ve çevreye zarar vermemesi gerekmektedir [49].

2.6.2. Endüstriyel nitelikli atıksular

Organize sanayi bölgelerinden, endüstri kuruluşlarından, imalathanelerden, atölyelerden ve tamirhanelerden kaynaklanan atıksular bu gruba girmektedir. Görüntüleri, kokuları ve içerdikleri atıklar nedeni ile hem canlılara hem de çevreye zehir saçmaktadırlar. Endüstri kuruluşlarından gelen atıksular sızıntılarla birlikte yeraltı sularına karışırsa burada aşırı kirlenmelere yol açacaktır. Tüm bu olumsuz etkilerini bertaraf etmek üzere endüstriyel nitelikli atıksuların arıtılması amacıyla çeşitli tesisler kurulmaktadır [3].

2.6.2.1. Endüstriyel nitelikli atıksuların özellikleri

Endüstriyel kaynaklı atıksularda organik maddeler, inorganik maddeler, toksik atıklar ve biyolojik atıklar bulunmaktadır. Hem insan sağlığı açısından hem de çevreye olası yan etkileri bakımından endüstriyel nitelikli atıksular arıtma işlemi uygulanmadan alıcı ortama verilmemelidir. Sanayi alanında yaşanan gelişmeler insanların yaşam kalitesini arttırmış olsa da endüstri kaynaklı atıksular yaşamı tehdit edebilecek niteliktedir [3].

2.6.2.2. Endüstriyel nitelikli atıksuların arıtılma amaçları

Endüstriyel atıksuların arıtılması sonucunda geri dönüşümü sağlanan sular genellikle park ve bahçeler ile tarım alanlarının sulanmasında kullanılmaktadır (Resim 2.12.). Endüstriyel atıksuların arıtılması ve arıtılan suların tekrar kullanıma sunulması su kaynaklarının ve içilebilir su rezervlerinin de korunmasını sağlayacaktır [3].



Resim 2.12. Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması [44]

2.6.2.3. Endüstriyel nitelikli atıksuların arıtılma yöntemleri

Endüstriyel nitelikli atıksuların arıtılmasında; fiziksel arıtma, kimyasal arıtma, biyolojik arıtma ve ileri arıtma yöntemleri kullanılmaktadır:

2.6.2.3.1. Fiziksel arıtma

Atıksu içerisinde yer alan ve daha çok kaba görümlü atıkların fiziksel işlemler yardımıyla giderilmesi amacı ile uygulanmaktadır [3].

2.6.2.3.2. Kimyasal arıtma

Kimyasal arıtma işleminde, uygun pH değerinde atıksuya kimyasal maddeler eklenmek suretiyle maddelerin çökmesi ve sudan ayrılması sağlanır [3]. Kimyasal arıtma işlemlerinde nötralizasyon, koagülasyon ve flokülasyon en çok tercih edilen ünitelerdir.

Endüstriyel nitelikli atıksuların bünyesindeki pH değeri yüksek ya da düşük çıkabilmektedir. Böyle bir durumdaki atıksular ise deşarj edildikleri ortamlarda canlılara zarar verebilmekte ve ekolojik dengenin bozulmasına yol açabilmektedir. Bunu önlemek için atıksuların pH değerinin, çevreye deşarj edilmeden önce 6-9 aralığına getirilmesi gereklidir. Atıksu arıtımında pH aralığını uygun seviyeye çekmek için asit ya da baz ilavesi yapılmaktadır. Bu işlem ise nötralizasyon tankı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Endüstriyel nitelikli atıksuların arıtılması işlemlerinde nötralizasyon ünitesi mutlaka yer almalıdır [3].

2.6.2.3.3. Biyolojik arıtma

Biyolojik arıtma, atıksu bünyesindeki organik maddelerin bakteriyolojik işlemlerle ayrıştırılarak sudan giderilmesi esasına dayanan bir arıtma yöntemidir. Azot ve fosfor bileşiklerinin doğal çevreye olan zararlı etkilerinin ortaya çıkması ile birlikte biyolojik arıtma yöntemi kullanımı artmıştır. Biyolojik arıtma yöntemi aktif çamur sistemleri, damlatmalı filtreler ve ardışık kesikli reaktörlerde etkili biçimde uygulanmaktadır [3].

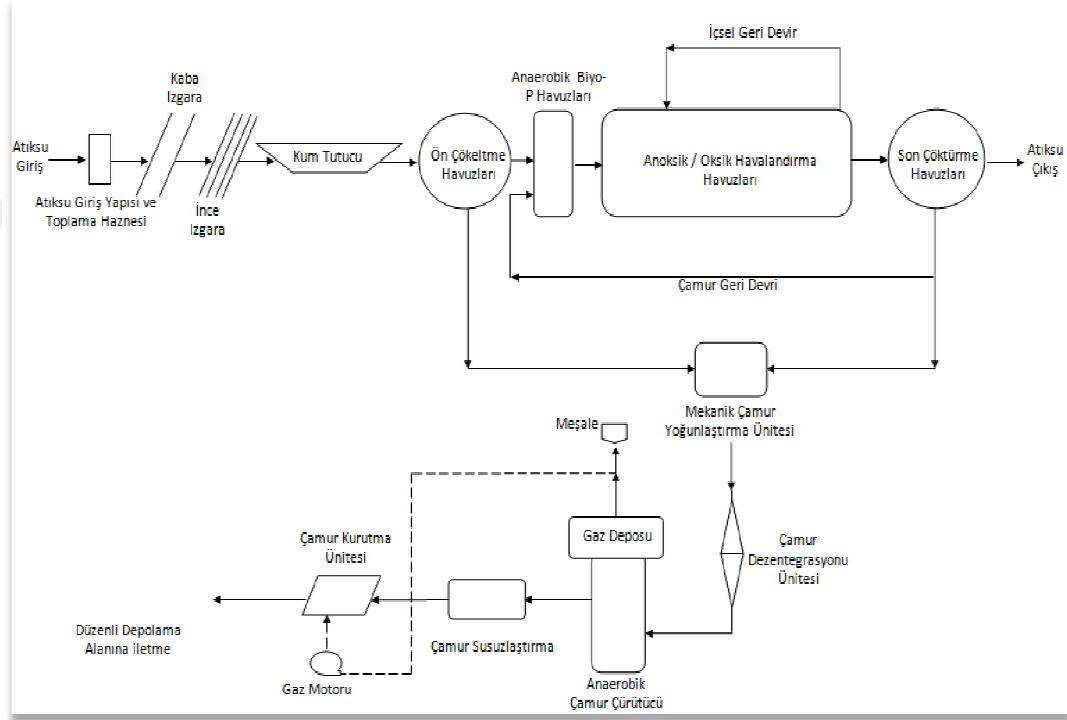
Aktif çamur

Aktif çamur sistemi biyolojik bir arıtma yöntemi olup; dengeleme, havalandırma, çöktürme ve dezenfeksiyon birimlerinden oluşmaktadır (Resim 2.13.). Aktif çamur yönteminde, bakteriler tarafından çözünen organik maddeler çökme yeteneği kazanırlar ve son çökeltim tankında çamur olarak depo edilirler.



Resim 2.13. Erzurum Atıksu Arıtma Tesisi [50]

Klasik aktif çamur sisteminde biyolojik arıtma öncesinde ızgara, kum tutucu ve ilk çöktürme birimlerini ihtiva eden bir arıtma uygulanır (Şekil 2.7.). Süreçte ortaya çıkacak fazla çamurun atılması, çamur geri dönüşümü ve çözülmüş oksijen temini için günlük olarak işletim kontrolü yapılmasına ek olarak ortaya çıkacak problemlerin çözülmesi için alternatif yöntemler de uygulanabilmektedir.



Şekil 2.7. Aktif çamur sistemi akış diyagramı [51]

Damlatmalı filtre

Damlatmalı filtreler, içerisinde mikroorganizmaların tutunduğu geçirimli dolgu malzemesi bulunan biyolojik arıtma sistemleridir (Resim 2.14.). Damlatmalı filtre sistemi, taş veya plastik içeren dolgu tabakasından oluşmaktadır. Dolgu tabakası içerisinde hava girişi sağlayan boşluklar bulunmaktadır. Atıksu içindeki organik maddeler filtrelerden geçerken dolgu tabakası üzerine yerleşmiş olan mikroorganizmalar ile karşılaşılır. Bu sırada organik maddelerin aerobik olarak parçalanması gerçekleşir. Mikroorganizmalar parçalanmış olan bu organik maddelerle beslenirler. Gittikçe büyüyen tabakanın alt kısmı koparak çökeler ve çökeltim havuzunda sudan ayrılır. Filtreden çıkan arıtılmış suyun çamur kısmı da ayrıştırılır.

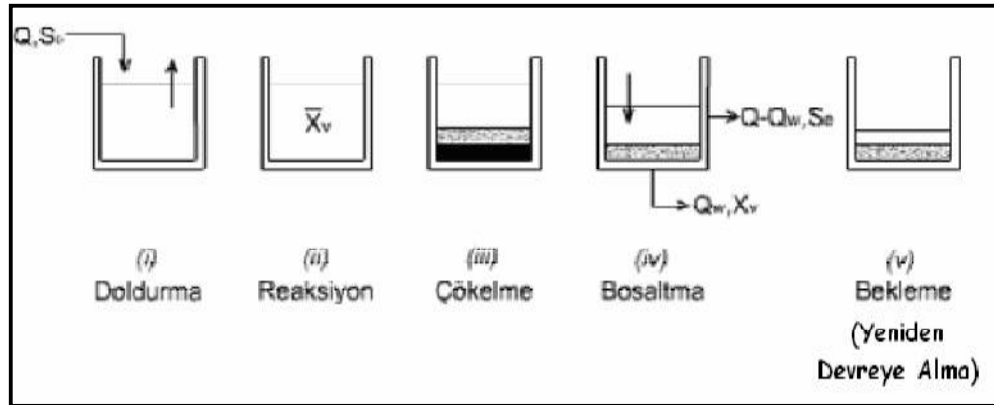
Bu prosesin en avantajlı yönü, atıksu içerisinde yer alan ya da ortamda oluşan katı maddelerin ilk aşamada uzaklaştırılmasıdır.



Resim 2.14. Paşaköy Biyolojik Arıtma Tesisi [52]

Ardışık kesikli reaktör

Ardışık kesikli reaktör, aktif çamur yönteminin uygulandığı biyolojik arıtma proseslerinden birisidir [2]. Ardışık kesikli reaktör ile klasik aktif çamur sisteminde kullanılan prosesler işletim mekanizması olarak benzerlik gösterirler. Farklılık ise; ardışık kesikli reaktörde havalandırma ve çökeltme fonksiyonları tek bir reaktörde gerçekleşmekte iken klasik aktif çamur sisteminde farklı reaktörlerde gerçekleşmektedir. Ardışık kesikli reaktörler, evsel ve endüstriyel atıksuların biyolojik arıtımında işletme kolaylığı ve yüksek arıtma kalitesine sahiptirler (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Ardışık kesikli reaktör prosesi çalışma prensibi [53].

2.6.2.3.4. İleri arıtma

İleri arıtma işlemi, biyolojik arıtma yöntemi sonucu arıtımı gerçekleştirilen atıksuyun içerisinde kalmış olan askıda katı madde ve organik madde gibi atıkların temizliğini gerçekleştirmek; çıkış suyu kalitesini daha da arttırmak üzere yapılan işlemlerdir. Atıksuların arıtma işlemi uygulanmadan çevreye verilmesi sakıncalı olsa da arıtılmış sudaki atık maddelerin de zararlı etkileri olabilmektedir. Tablo 2.6.'da görüldüğü gibi arıtılmış atıksudaki kalıntı maddeleri bazı çevre problemlerine yol açabilmektedir.

Tablo 2.6. Arıtılmış atıksuda bulunabilecek maddeler ve etkileri [54]

Maddeler	Etkileri
AKM	Çamur birikimine neden olur, bulanıklığa yol açar.
Biyolojik olarak parçalanabilen organikler	Alıcı ortamda çözülmüş oksijen konsantrasyonunu düşürebilir.
Uçucu organik bileşikler	İnsanlarda toksik etki yaparlar
Besi Maddeleri	
Amonyak	Klorür ihtiyacını artırır, oksijen kaynağını azaltır, fosfor ile birlikte istenmeyen sucul büyümeyi geliştirir, alg ve sucul büyümeyi teşvik eder.
Nitrat	Alg ve sucul büyümeyi destekler, kireç-soda yumuşaklığını önler, koagülasyonu engeller.
Fosfor	Sertliği ve çözülmüş katı maddeyi artırır, tuzlu tat verir, tarımsal ve endüstriyel prosesleri engeller.
İnorganik Maddeler	
Kalsiyum ve magnezyum	Köpüklenmeye neden olur, koagülasyonu etkiler.
Klorür	
Sülfat	

İleri arıtma sistemleri, uygulanacak arıtma prensiplerine göre değişik sınıflara ayrılmaktadır:

Dezenfeksiyon

Arıtma tesisinden deşarj edilen çıkış suyu alıcı ortama bırakılmadan önce insan ve çevre sağlığına tehdit oluşturan bakteri ve virüsler bertaraf edilmelidir. Dezenfeksiyon işleminde en çok kullanılan kimyasallar olarak klor ve ozon yer almaktadır [3].

Azot giderme

Azot giderme işlemi atıksu arıtımının en önemli aşamalarından birisidir. Atıksulardan azot giderme uygulamaları, nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir [3].

Fosfor giderme

Atıksu arıtımında atıksu içerisinde yer alan fosfor bileşiklerini temizlemek için kimyasal ya da biyolojik arıtma yöntemleri zaman zaman ayrı kullanılacağı gibi her iki yöntemin birlikte kullanımı da söz konusudur. Fosfor bileşiklerinin kimyasal arıtımında kimyasal maddeler kullanılarak yüksek pH değerinde fosfor, fosfat tuzları hâlinde çöktürülmektedir. Fosforun biyolojik giderim işlemi ise, biyolojik arıtma sırasında mikroorganizmalarca fosfat halde alınması şeklinde gerçekleşmektedir [3].

Filtrasyon

Biyolojik ve kimyasal arıtma işlemlerinde tam olarak giderilemeyen askıda katı maddelerin filtre içerisinde tutulması esasına dayanan bir yöntemdir. Atıksuların filtrasyonu arıtılmış su içerisinde kalmış olan biyolojik atıkların temizlenmesini sağlar. Ayrıca tarımsal sulama gibi suyun tekrar geri kullanımı sırasında insan sağlığına vereceği zararı ortadan kaldırmak için de atıksuyun filtre edilmesi gerekmektedir [3].

Adsorpsiyon

Adsorpsiyon yöntemi; çözülmüş haldeki maddelerin ara yüzeyde toplanması işlemidir. Arıtılması güç olan atıksulara ara bir yüzeyde aktif karbon ilave edilerek arıtma işlemi uygulanmaktadır. Adsorpsiyonda, adsorbe olacak maddenin özellikleri, yüzey ile olan etkileşimi, kullanılan sistemin nitelikleri belirleyici faktörlerdir. Örneğin; yüzey alanı arttıkça adsorpsiyon değeri de artış göstermektedir. Bunun yanında, gözenekli ya da ufak parçalara bölünmüş maddelerin adsorpsiyon kapasitesi de yüksek olmaktadır [55].

İyon değiştirme

Atıksuyun içerisinde bulunan ancak istenmeyen iyonların yerine uygun iyonların geçmesi için iyon değiştirici üniteler kullanılmaktadır. Sentetik reçineler iyon değişimi sağlayan bir maddedir. Endüstriyel atıksu arıtımında sıkça kullanılmaktadır [3].

Ters osmoz

Su kaynaklarının yetersiz kaldığı yerlerde, atıksuyun yeniden kullanımını sağlamak için uygulanan bir yöntem olup; genellikle endüstriyel atıksu arıtımında kullanılmaktadır. İşlem sırasında, organik maddelerin sudan giderimi için basınç uygulanmaktadır [3].

Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon işlemi de ters osmoz işlemine benzemektedir. Sistemde membran adı verilen yarı geçirgen ünite kullanılmaktadır. Ters osmoza göre daha düşük basınç uygulanır. Atıksu içindeki atıklar membran aracılığı ile filtre edilerek ayrıştırılır [3].

Membran teknolojisi

Membran bioreaktör sisteminin yapısı, arıtılmış su ile aktif çamurun arıtma süreci esnasında membran ile ayırımı esasına dayanmaktadır. Ayrıştırma işleminde gerçekleşen üstün verim nedeniyle konvensiyonel nitelikli atıksu arıtma tesislerinde bulunan son çökeltim havuzunun yerine fiziksel ayırım yapan bir membran ünitesinin ilave edilmesi ile arıtma işlemi yerine getirilmektedir. Membran bioreaktör sistemleri evsel atıksuların geri kazanılmasında yaygın olarak kullanıldığı gibi endüstriyel atıksuların arıtılmasında da kullanılmaktadır. Membran biyoreaktörlerin en önemli özelliği, yüksek organik yükleri karşılayabilmesidir (10 kg KOİ/m³/gün'e kadar).

Membran seçimini etkileyen en önemli faktörlerden birisi membranın akısidir. Diğer önemli bir faktör de, membranın maliyetidir. Atıksuyun türüne bağlı olarak, membran seçimi farklılık göstermektedir. Arıtılacak atıksu geri kazanılacaksa, daha kaliteli su çıkışı yapılacak membranlar seçilebilir. Bunun yanında, membranların tıkanma eğilimi az olmalı, malzemesi kolay temizlenebilmelidir. Membran bioreaktör sistemlerinde, azot giderimi de yapılabilmektedir. Havalı reaktördeki yüksek biyokütle konsantrasyonundan dolayı, havalı reaktör içerisinde anoksik bölmeler oluşabilmekte ve klasik aktif çamur sistemlerine göre daha yüksek azot giderimi sağlanabilmektedir [56].

Arıtma teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde su kaynaklarının yetersiz kaldığı ancak su tüketiminin fazla olduğu yerleşim yerlerinde atıksuların tekrar kullanıma verilmesi alternatif su kaynağı olarak görülmeye başlanmıştır. Ayrıca atıksu miktarında oluşan artış nedeniyle çıkış suyu kalitesi bakımından verimli arıtma yöntemleri konusunda araştırmalar devam etmektedir. Özellikle atıksu arıtma tesislerindeki konvensiyonel arıtma işlemlerinin yerine kullanılacak membran bioreaktör sistemleri kolay işletilebilir olmaları, yüksek kalitede arıtma verimleri sebebiyle tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir [2].

2.6.2.4. Endüstriyel atıksu arıtma tesisleri

Endüstri ve sanayi alanlarında faaliyet gösteren kuruluşlardan işletim sırasında kirlilik yükü içeren atıksular ortaya çıkabilmektedir. Dolayısıyla atıksu arıtma tesisleri de endüstri kuruluşlarının olası atıklarını kontrol altına alabilecek nitelikte olmalıdır [3].

2.6.2.4.1. Özellikleri

Endüstriyel nitelikli atıksuların arıtılması amacıyla kurulan arıtma tesisleri maliyeti yüksek işletmeler olup; aktif olarak çalıştırılmadan önce denetimden geçmelidirler. Tesise gelen atıksuyun nitelikleri, arıtma yöntemleri ve deşarj kalitesi denetim sırasında dikkatlice araştırılmalıdır. Bir arıtma tesisi için insan kaynakları birimi kurulurken her kademedeki çalışanın yeterli bilgi ve donanıma sahip olması tesisin verimli işleyişini de doğrudan etkileyecektir. Endüstriyel nitelikli atıksuların arıtıldığı tesislerde giriş ve çıkış suyu standartları sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Kullanılacak araç gereçler ile makine ve teçhizatlar iyi seçilmelidir. Teçhizatların kırılmalara, donmalara ya da diğer olumsuz dış etkilere karşı dayanıklı ve uzun ömürlü olması tesisin de ömrünü uzatacaktır. Tesislerin ortak amacı; kaliteli bir arıtma elde etmektir. Çünkü arıtma tesisinden çıkan sular bir şekilde tekrar insan yaşantısına geri dönmektedir [3].

2.6.2.4.2. Çeşitleri

Türkiye’de hızlı nüfus artışı ve ekonomide yaşanan ilerlemelerin bir göstergesi olarak endüstri kuruluşlarının dağılımında da çeşitlilik mevcuttur. Endüstriyel tesis ve kuruluşlardaki bu çeşitlilik, ortaya çıkardıkları atıksuların da farklı karakterde olmalarına yol açmaktadır. Atıksu arıtma işlemi uygulanan başlıca endüstri kolları;

- Besin endüstrisi,
- Dokuma ve giyim endüstrisi,
- Kimya endüstrisi,
- Maden endüstrisi,
- Makine endüstrisi,

olarak sıralanabilir [3].

2.7. Kayseri

Kayseri, tarihi süreçte Anadolu'nun en önemli ticaret merkezleri arasında yer almıştır. Özellikle 1970 yılından itibaren Kayseri şehri, sanayi ve üretim hamleleri sonucu büyük ilerleme kaydetmiştir. Büyük ve küçük ölçekli işletmeler ile birlikte organize sanayi bölgesinin de kurulması sonucu nüfus yoğunluğu her geçen yıl artış göstermiştir [57].

2.7.1. Nüfus ve idari yapı

2.7.1.1. Nüfus

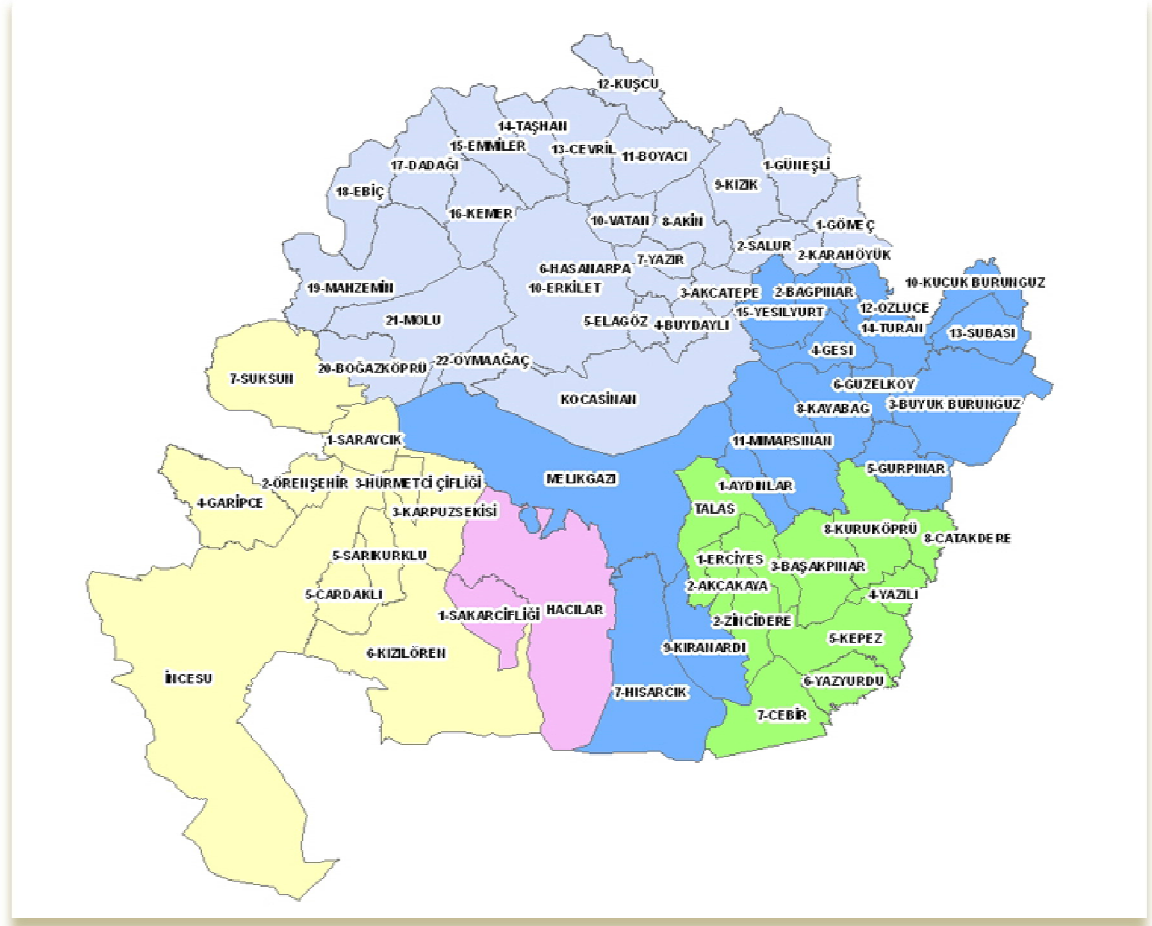
Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre Kayseri ili nüfusu 2000 yılında 1.060.432 iken, 2015 yılı itibariyle 1.341.056 olmuştur. Son sayıma göre kilometrekareye 79 kişi düşmektedir. Bu sonuçla nüfus yoğunluğunun en yüksek olduğu 32. il olmuştur [57].

2.7.1.2. İl yönetimi

İl yönetiminin başında Vali yer almaktadır. Valilikte 5 Vali Yardımcısı ile birlikte birçok kurul ve müdürlük bulunmaktadır. Ayrıca il genelinde çok sayıda kamu kurum ve kuruluşu hizmet sunmaktadır [57].

2.7.1.3. Yerel yönetimler

Kayseri ilinin yerel yönetim birimleri olarak il özel idaresi, belediyeler ve köyler yer almaktadır. İl genelinde 1 büyükşehir, 16 ilçe ve 32 kasaba belediyesi, 426 mahalle, 394 köy bulunmaktadır. 23 Temmuz 2004 tarihinde yürürlüğe giren 5216 sayılı Büyükşehir Belediyeleri Kanunu ile Kayseri Büyükşehir Belediyesi'nin sınırlarında değişiklik yapılmıştır (Harita 2.1.). Kanun uyarınca Kayseri Büyükşehir Belediyesi'nin 5 ilçe belediyesini kapsayacak şekilde yeniden oluşumuna karar verilmiştir. Büyükşehir kapsamına giren ilçe belediyeleri ise Kocasinan, Melikgazi, İncesu, Hacılar, Talas olarak belirlenmiştir. Kayseri Büyükşehir Belediyesi'nin yeni sınırları içerisine giren ilçe, belde ve köylerin su ve kanalizasyon hizmetlerinin yürütülmesi görev ve yetkisi ise Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'ne (KASKİ) verilmiştir [57].



Harita 2.1. Kayseri Büyükşehir Belediyesi hizmet alanı [58]

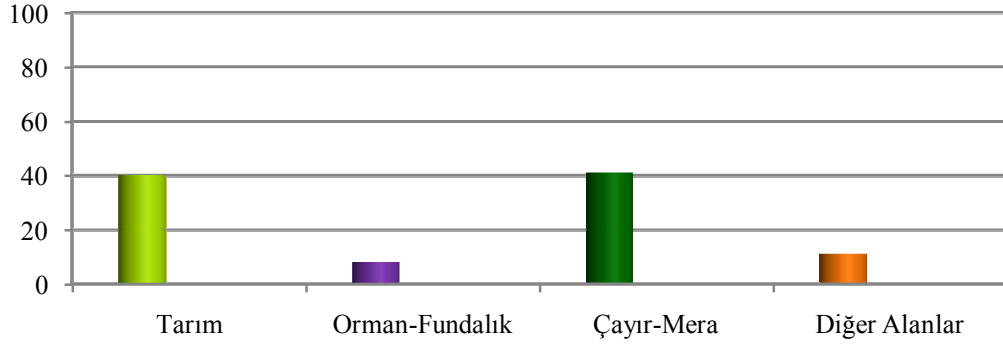
2.7.2. Coğrafi yapı

2.7.2.1. Konum

Kayseri, İç Anadolu'nun güney bölümünde Orta Kızılırmak Havzası'nda yer almaktadır. Doğusunda Sivas, batısında Nevşehir, kuzeyinde Yozgat, güneyinde Adana ve Kahramanmaraş, güneybatısında Niğde illeri bulunmaktadır. İl merkezinin denizden yüksekliği 1054 metredir [57].

2.7.2.2. Yüzölçümü ve arazi dağılımı

Kayseri ilinin yüzölçümü 16.917 km²'dir. İl yüzölçümünün yaklaşık yüzde 40'ı tarımsal alanlardan oluşmaktadır (Şekil 2.9.). Ormanlık ve fundalık alan ise en düşük arazi birimi olarak yer almaktadır [57].



Şekil 2.9. Kayseri ili arazi dağılımı [58]

2.7.2.3. İklim

Kayseri ilinin büyük bir bölümünde kara iklimi özellikleri vardır (Tablo 2.7.). Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve kar yağışlı geçmektedir.

Tablo 2.7. Kayseri ili uzun yıllar iklim verileri, 1950-2014 [59]

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Aylık Yağış Miktarı (kg/m ²)
Ocak	-1.7	4.2	-6.8	33.5
Şubat	0.0	6.2	-5.4	35.9
Mart	5.0	11.6	-1.3	42.0
Nisan	10.8	17.8	3.4	52.3
Mayıs	15.1	22.4	6.7	52.3
Haziran	19.2	26.7	9.7	40.1
Temmuz	22.7	30.6	11.9	10.1
Ağustos	22.2	30.7	11.3	5.9
Eylül	17.3	26.6	7.2	13.9
Ekim	11.6	20.3	3.4	28.5
Kasım	5.1	12.8	-1.1	33.5
Aralık	0.4	6.4	-4.6	39.1

2.7.2.4. Dağlar, ovalar, akarsular ve göller

Kayseri ilinin en yüksek dağı 3.916 metre yüksekliği ile Erciyes Dağı'dır (Resim 2.15.). Erciyes, kış turizmi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Sarıgöl ve Tuzla Gölü önemli gölleri olup; Sarımsaklı ve Yamula barajları ile Karakuyu ve Tekir göletleri de mevcuttur. Türkiye'nin en uzun ırmağı Kızılırmak Nehri'nin 128 kilometrelik bölümü Kayseri il sınırları içerisinde yer almaktadır. İlin önemli ovaları arasında Develi Ovası (1.050 km²) ve Sarımsaklı Ovası (300 km²) bulunmaktadır [59].



Resim 2.15. Erciyes Dağı [38]

2.8. Atıksu Arıtma Tesisleri

Çalışmamız süresince Kayseri ilinde yer alan beş farklı atıksu arıtma tesisi araştırmaya dahil edilmiştir. Bu tesislerin herbirisinde uygulanan arıtma yöntemi farklı olup karşılaştırma yapılması amacıyla bu farklılıklar dikkate alınmıştır.

2.8.1. Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Tesis, 20 Şubat 2004 tarihinde tamamlanmış olup toplam 369.490 m² saha üzerine kurulmuştur (Resim 2.16.). Birinci aşamada 800.000 nüfus ve 110.000 m³/gün debisine, ikinci aşamada 1.400.000 nüfus ve 182.500 m³/gün debisine hizmet verebilecek kapasitedir. Atıksu arıtma tesisinde karbonun yanı sıra azot ve fosfor da giderilmektedir. Tesisten çıkan arıtılmış su, Karasu Deresi'ne verilmektedir [58].



Resim 2.16. Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi [58]

Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nin kuruluş amacı; akarsu ve yer altı su kirliliğinin önlenmesi, su kaynağıyla etkileşim halinde olan nüfusun sağlık risklerinin azaltılması, arıtılan suyun tarımsal sulama suyu olarak kullanılabilir hale getirilmesi ve su ekosisteminin korunması şeklinde sıralanmaktadır. Tesiste yer alan üniteler şunlardır:

2.8.1.1. Giriş pompa istasyonu

Atıksu, 3000 mm çapındaki kanalizasyon borusu ile tesis giriş kanalına bağlanır (Resim 2.17.). Tesise atıksuyun alınması için dalgıç pompalar kullanılmaktadır (Resim 2.18.). Tesiste giriş terfi istasyonundan başka ara terfi istasyonu yoktur ve çamur kısımları hariç üniteler arası geçiş cazibeyle yapılmaktadır [58].



Resim 2.17. Atıksu giriş noktası [58]



Resim 2.18. Dalgıç pompalar [58]

2.8.1.2. Izgaralar

Bu ünite de 2+1 (2025 için 3+1) ızgara kanalı yer almaktadır (Resim 2.19.). Izgarada biriken atıklar, burgulu konveyör ile sıkıştırma işleminin yapıldığı ızgara presine verilmektedir. Preslenen atıklar konteynırlarda depolanır ve sahadan uzaklaştırılır [58].



Resim 2.19. Izgaralar [58]

2.8.1.3. Havalandırmalı kum ve yağ tutucu

Atıksu içindeki kum ve yağın mekanik ekipmanlara zarar vermesini önlemek amacıyla 4 adet (2025 için 6) havalandırmalı kum ve yağ tutucu (Resim 2.20.) yer almaktadır [58].



Resim 2.20. Kum ve yağ tutucu bölüm [58]

2.8.1.4. Giriş debi ölçüm kanalı

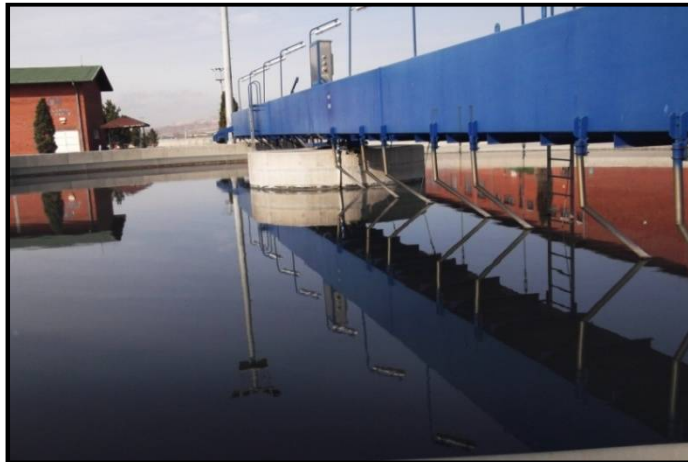
Havalandırmalı kum ve yağ tutucudan çıkan atıksu, venturi kanalından geçmektedir. (Resim 2.21.). Kanalda debi, pH, sıcaklık ve iletkenlik ölçümleri yapılmaktadır [58].



Resim 2.21. Giriş debi ölçüm kanalı [58].

2.8.1.5. Ön çökteltme tankları

Atıksudaki askıda katı maddenin kısmi olarak giderilmesi için 2 adet (2025 için 4) ön çökteltme tankı yer almaktadır. Tanklar, dairesel olarak inşa edilmiş olup, merkezi girişi, döner sıyrıcı köprüsü (Resim 2.22.) ve çıkış savakları bulunmaktadır [58].



Resim 2.22. Ön çökteltme tankları döner sıyrıcı [58]

2.8.1.6. Biyolojik fosfor giderim tankı

Ön çökeltme tankı çıkış suyu, dağıtım yapısı vasıtasıyla biyolojik fosfor giderim tankına cazibeyle iletilmektedir (Resim 2.23.). Fosforun biyolojik olarak giderimi için gerekli koşullar bu tankta gerçekleştirilir [58].



Resim 2.23. Biyolojik fosfor giderim tankı [58]

2.8.1.7. Havalandırma tankları

Havalandırma tanklarında organik kirletici maddelerin ve azotun biyolojik olarak giderilmesi sağlanır (Resim 2.24.). Uzun havalandırma sayesinde tesis, giriş suyu konsantrasyonundaki farklılıklara rağmen çıkış suyu kalitesini garanti etmektedir [58].



Resim 2.24. Havalandırma tankı [58]

2.8.1.8. Son çökeltme tankları

Aktif çamurun giderilmesi ve kısmi olarak tesise geri beslenmesi amacıyla 4 adet (2025 için 6) son çökeltme tankı mevcuttur (Resim 2.25). Tanklar dairesel olarak inşa edilmiş olup merkezi girişi, döner sıyrıcı köprüsü ve çıkış savakları bulunmaktadır [58].



Resim 2.25. Son çökeltme tankları [58]

2.8.1.9. Geri devir çamuru pompa istasyonu

Son çökeltim tankında çökelen çamurlar dalgıç pompalar kullanılarak kısmen karıştırma tankına kısmen biyolojik fosfor giderim tankına verilir (Resim 2.26). Geri devir çamuru için 2+1 (2025 için 3+1) adet pompa monte edilmiştir [58].



Resim 2.26. Geri devir çamuru pompa istasyonu [58]

2.8.1.10. Çıkış debi ölçüm kanalı

Son çökeltme tanklarından çıkan arıtılmış su, tesisten çıkan su miktarının belirlenmesi için çıkış venturi kanalından geçerek Karasu Nehri'ne ulaşır (Resim 2.27.). Venturi kanalında pH, sıcaklık ve iletkenlik ölçüm cihazları yer almaktadır [58].



Resim 2.27. Çıkış debi ölçüm kanalı [58]

2.8.1.11. Ön çamur yoğunlaştırıcı

Ön çamur pompa istasyonundan terfi ettirilen çamur ön yoğunlaştırma tankına verilir (Resim 2.28.). Burada çamur, karıştırıcı ile karıştırılarak yerçekimi kuvveti ile % 4 KM'den % 7 KM yoğunluğa ulaştırılır [58].



Resim 2.28. Ön çamur yoğunlaştırıcı [58]

2.8.1.12. Çamur çürütücü tank ve çamur çürütme binası

Çamur çürütme, anaerobik bir fermantasyon prosesidir. Çürütücüye beslenen çamur, 378 °C sıcaklığında oksijensiz bir ortamda çürütülür (Resim 2.29.). Üretilen gaz, kojenerasyon üniteleri sayesinde elektrik ve ısı enerjisi üretmek üzere kullanılır [58].



Resim 2.29. Çamur çürütme binası [58]

2.8.1.13. Çamur susuzlaştırma binası

Çamur yoğunlaştırıcıda yoğunlaştırılan çamur ve biyolojik arıtmadan gelen fazla çamur, besleme pompaları vasıtasıyla susuzlaştırma ünitesine basılmaktadır (Resim 2.30.). Yoğunlaştırılan çamur, filtre pres sayesinde % 20 KM'ye ulaştırılır [58].



Resim 2.30. Çamur susuzlaştırma binası [58]

2.8.2. Gürpınar Atıksu Arıtma Tesisi

Gürpınar Atıksu Arıtma Tesisi'nin (Resim 2.31.) hizmet verdiği yerleşim yerleri; Gürpınar, Kuruköprü, Çolakdere, Yazıyurdu, Kepez ve Yazılı olup 2000 yılı itibari ile bu yerleşim yerlerinin toplam nüfusu 7601'dir [58].



Resim 2.31. Gürpınar Atıksu Arıtma Tesisi görünümü [58]

Atıksular kanalizasyon boruları ile tesise ulaşmaktadır. Kaba atıkların temizlenmesi için ilk girişte ızgara kullanılır. Atıksular dalga pompası vasıtası ile ön havalandırma havuzuna alınmaktadır (Resim 2.32.).



Resim 2.32. Atıksu girişi [58]

Atıksuyun debimetre aracılığı ile günlük giriş hacmi ölçülmektedir (Resim 2.33.).



Resim 2.33. Debi ölçüm cihazı [58]

Arıtma tesisinde üç adet blower mevcuttur (Resim 2.34.). Blowerler, atıksu arıtma işlemlerinde suyun havalandırılması için kullanılmaktadır. Blowerlerde, atıksu içerisine oksijen verilmesi suretiyle mikroorganizma gelişmesi ve atıksu içerisindeki kirletici organik maddelerin bu mikroorganizmalar tarafından karbondioksit ve suya dönüştürülmesi temin edilir. Bu aşamada yeni mikroorganizma ve inorganik maddeleri içeren floklar meydana gelir. Böylece atıksuyun arıtılma prosesi gerçekleşmiş olur [58].



Resim 2.34. Blower ünitesi [58]

Ön havalandırma havuzunda atıksulardaki kumlar zemine çökeltilir. Böylece kum yığınlarının bir sonraki aşamaya geçişi önlenmektedir (Resim 2.35.)



Resim 2.35. Ön havalandırma havuzları [58]

Atıksular sisteme adını veren SBR havuzlarına alınır (Resim 2.36.). Sıralı biyolojik reaktörler aşağıdaki bileşenlerden oluşan atıksu arıtma sistemleridir.

- Biyolojik arıtma işlemi ve aktif çamurun arıtılmış atık sudan ayrılması işlemi aynı reaktörde gerçekleşmektedir.
- Reaktördeki su seviyesi doldur-boşalt prensibine göre artırılıp azaltılmaktadır.
- Arıtılan atıksu reaktörden kesikli olarak deşarj edilmektedir [60].



Resim 2.36. Ardışık kesikli reaktör-1 [58]

SBR havuzundan çıkan atıksu çamur yoğunlaştırıcı bölüme alınır (Resim 2.37). Çamur yoğunlaştırma ünitesinde, çöktürme havuzundan gelen çamurdaki sular çekilmektedir.



Resim 2.37. Çamur yoğunlaştırma bölümü [58]

Susuzlaştırılmış çamur katı hale daha yakındır. Çamurun bu haldeyken pompalama ile taşınması mümkün değildir. Susuzlaştırma binasında atıksu içerisindeki son atık çamurlar alınır (Resim 2.38.).



Resim 2.38. Susuzlaştırma ekipmanları [58]

Arıtılan atıksu tesis yakınındaki dereye deşarj edilir. Arıtma tesisinden kaliteli bir su deşarj etmek için ilave bir filtreleme işlemi gerçekleştirilebilir.

2.8.3. Buğdaylı Atıksu Arıtma Tesisi

Tesis, 2009 yılında faaliyete girmiştir (Resim 2.39.). 140 m³/gün çıkış verecek şekilde planlanmıştır. Hizmet ettiği nüfus 1900 kişidir. Artan nüfus yoğunluğu sonucu günlük 200 m³ çıkış kapasitesine ulaşması gerekmektedir. Ancak tesisin kapasitesi yeterli olmadığından günlük 60 m³ atıksu fosseptiğe verilmektedir [58].



Resim 2.39. Buğdaylı Atıksu Arıtma Tesisi [58]

Buğdaylı Mahallesi'ndeki evsel atıksular kanalizasyon boruları ile tesise ulaşmaktadır. Tesise girmeden önce kaba atıklar ızgarada tutulmaktadır (Resim 2.40.).



Resim 2.40. Izgara [58]

Izgaradan sonra atıksular dengeleme tankına alınmaktadır. Bu ünite de giren ve çıkan su oranı dengelidir. Terfi pompası ile döner eleğe su basılmaktadır. Döner elekte fosa olayı gerçekleşir. Kum tutucularda atıksu içerisindeki kum ve yağlar toplanır. Ardından atıksu, önce dinlendirme havuzuna sonra havalandırma havuzuna alınır (Resim 2.41.). Blower ünitesinde, atıksu içindeki bakteriler tarafından çamur temizlenmektedir [58].



Resim 2.41. Havalandırma havuzu [58]

Bir sonraki aşamada atıksu MBR kısmına geçmektedir. Membran biyoreaktörlerde, biyolojik reaktörler ile membran teknolojisi birleştirilmiştir (Resim 2.42.).



Resim 2.42. MBR ünitesi [58]

Membran ünitesi etkili bir arıtma gerçekleştirecek ekipmanlara sahiptir. (Resim 2.43.). Ekipmanlarda tıkanma ve arızalanma olmadığı sürece evsel ya da endüstriyel nitelikli atıksuların ileri düzeyde arıtılmasında kullanılmaktadır. Su havzalarına deşarj söz konusu olduğunda membran teknolojisinin diğer arıtma sistemlerine nazaran daha çok tercih edilir bir yöntem olmaya başladığı görülmektedir.



Resim 2.43. MBR ekipmanları [58]

MBR sisteminden çıkan su, arıtma tesisleri içerisindeki en temiz su görünümündedir (Resim 2.44.). Membran biyoreaktörlerin en büyük avantajlarından birisi sağlıklı su standartları ile birlikte ideal bir çıkış suyu kalitesi elde edilmesidir.



Resim 2.44. MBR sistemi ile arıtılmış su numunesi [58]

2.8.4. Develi Atıksu Arıtma Tesisi

Develi Atıksu Arıtma Tesisi 2004 yılında hizmete açılmıştır (Resim 2.45.). 6 000 000 TL maliyet ile yapılmış olup, 50 000 kişilik nüfusa hizmet etmesi planlanmıştır. 14 500 m³/gün çıkış suyunu kaldıracak kapasitede düzenlenmiştir [58]. Ancak 2010 yılında tesisin yıkılmasına karar verilmiştir. Sulara kimyasal atık girmesi tesisin işleyiş mantığına uymamıştır. Ayrıca karasal iklimin yaşandığı ve hava sıcaklığının kış aylarında aşırı derecede düştüğü bölgelerde damlatmalı filtre yöntemi risk taşımaktadır.



Resim 2.45. Develi Atıksu Arıtma Tesisi [58]

Arıtılacak atıksular tesise kanalizasyon hattı ile taşınmaktadır (Resim 2.46.).



Resim 2.46. Atıksu girişi [58]

Arıtma tesisine gelen atıksu öncelikle ızgaradan geçirilmektedir. Bu ünite de atıksu içerisinde yer alan katı maddelerin giderimi sağlanmaktadır. Ayrıca kaba maddelerin bir sonraki aşamaya geçişi de önlenmektedir (Resim 2.47.).



Resim 2.47. Izgara [58]

Atıksu içerisindeki AKM, KOİ, BOİ₅, Toplam-P, Toplam-N giderimini sağlamak üzere iki adet çökertme havuzu yer almaktadır (Resim 2.48.) Çökertme havuzlarında dipte biriken çamurun sıyırılmasını sağlayan sıyrıcı köprüler bulunmaktadır. İlk çökertme havuzunda çöken çamurlar pompa vasıtası ile çamur toplama tanklarına gönderilmektedir. Atıksu ise damlatmalı filtre kısmına alınmaktadır [58].



Resim 2.48. İlk çökertme [58]

Arıtılacak atıksu damlatmalı filtre ünitesine belirli bir debi ile verilmektedir. Dolgu malzemesi olarak kullanılan taşların üzerinde ince bir tabaka meydana getiren bakteriler atıksudaki organik kirleticileri temizlemektedir (Resim 2.49.).



Resim 2.49. Damlatmalı filtre [58]

Damlatmalı filtreden çıkan atıksu son çökertme havuzuna verilir. Son çökertme havuzunda askıda katı maddelerin arıtımı gerçekleştirilmektedir (Resim 2.50.). Çökertme havuzu çıkışında belli oranda su gerekli hidrolik yükü sağlamak üzere damlatmalı filtreye geri verilir [58].



Resim 2.50. Son çökertme havuzu-2 [58]

Atıksuyun arıtılmasında, atıksu içerisinde kalmış olan organik maddelerin giderilmesi ve dezenfeksiyon sağlanması amacıyla klorlama ünitesi yer almaktadır (Resim 2.51.). Klorlama ünitesinden geçen atıksularda hastalık yapıcı etkenler de ortadan kaldırılmaktadır [58].



Resim 2.51. Klorlama binası [58]

Damlatmalı filtre yönteminden kaliteli bir çıkış suyu elde edilmesi için çıkış değerleri iyi planlanmalıdır (Resim 2.52.). Ayrıca ilkbaharda yağışlı hava debisinin, yaz aylarında kokunun, kış aylarında ise bakteri gelişiminin dikkate alınması gerekmektedir [58].



Resim 2.52. Atıksu çıkışı [58]

2.8.5. Salur Atıksu Arıtma Tesisi

Doğal arıtma sistemi, özel tasarımı yataklarda yetiştirilen bitkiler vasıtasıyla atıksuyun arıtılması esasına dayanmaktadır (Şekil 2.10.). Doğal arıtma yöntemi uygulanan alanlar, güneş enerjisinden yararlanabilme ve kendini yenileyebilme kapasitesine sahiptirler. Doğal çevre olması nedeni ile birçok canlı türünün yaşaması için uygundur [61].



Şekil 2.10. Doğal arıtma sistemi [61]

Salur Köyü'nde evsel atıksuların temizlenip tarımsal sulamada kullanılması amacı ile doğal arıtma sistemi kurulmuştur (Resim 2.53.). Arıtma işlemi, zemindeki mikroorganizmalarca gerçekleştirilmektedir. İşletme maliyetinin, ekipman ve personel gereksiniminin az olması, çevre düzenlenmesinin kolaylığı avantajlı yönleridir. Koku problemi dolayısıyla yerleşim yerinden uygun uzaklıkta kurulmuştur. Tesis, hava sıcaklıklarının aşırı miktarda düşmediği zamanlarda aktif olarak kullanılmaktadır [58].



Resim 2.53. Salur Atıksu Arıtma Tesisi [58]

2.9. Önceki Çalışmalar

İnsanların yerleşik hayata geçmesinden bu yana atıksuların arıtımı amaçlı sistemler ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar çoğunlukla sistemlerin inşa ve işletim maliyetlerinin belirlenmesine yönelik olmuştur. Bu araştırmalardan yakın tarihteki çalışmalara ait olanlardan örnekler seçilmiş ve sonuçları aşağıda verilmiştir.

Atıksu arıtımında maliyet değerlendirmelerine dair literatürde karşılaşılan ilk araştırma, Veiz (1948) tarafından yapılan çalışmalardır [62]. Veiz çalışmasında, tesisin verimli olup olmadığını maliyet debi ilişkisine göre ortaya koymuştur. Diachishin (1957), yaptığı araştırmada, evsel atıksuların arıtılması için aktif çamur ya da damlatmalı filtre sistemlerinin kullanımında yine inşa maliyeti ve debi bağlantısını kullanmıştır [63].

Amerika'da yapılan araştırmalar içerisinde Logan ve arkadaşlarının (1962) yaptıkları çalışmalar önemli yer tutmaktadır. Logan, evsel atıksu arıtma tesislerinde işletim ve bakım maliyetlerinin debi ile olan bağlantısını analiz etmiştir. O yıllarda Amerika'da arıtma tesislerinde en çok kullanılan yöntem damlatmalı filtre olduğundan araştırmalarda da çoğunlukla bu yöntem ele alınmıştır [64]. Robert (1970), Amerika'daki atıksu arıtma tesislerinin işletilmesini araştırmak üzere, 1965 ocak ayından 1968 haziranına kadar olan süre içinde 1600 tesiste incelemeler yapmıştır. Araştırmasında sistemlere ait enerji ihtiyacı ve maliyet giderleri tespit edilerek bir karşılaştırma yapılmıştır. Araştırma sonucuna göre; bir arıtma tesisinde enerji giderlerinin işletme ve bakım maliyetinin yaklaşık % 14'üne karşılık geldiği; en az elektrik tüketiminin stabilizasyon havuzlarında en fazla elektrik tüketiminin ise kontakt stabilizasyon sisteminde olduğu rapor edilmiştir. Arıtma sistemlerindeki aylık enerji ihtiyacı esas alındığında aktif çamur sistemindeki enerji tüketiminin diğerlerine kıyasla daha fazla olduğu tespit edilmiştir [65]. Yine Amerika'da Smith (1973), daha önceki araştırmalara dair analizleri incelemiş; aktif çamur, damlatmalı filtre gibi birçok arıtma sistemleri için ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetleri ile debi ölçümleri içerikli grafikler düzenlemiş ve sistemlerin karşılaştırmasını yapmıştır [66]. Tihasky (1974), yaptığı araştırmasında, atıksu arıtma sistemlerindeki maliyet giderleri için debi ile birlikte arıtma veriminin de kullanılması gerektiğini ifade etmiştir [67].

Türkiye’de atıksu arıtma tesislerinin maliyet bakımından kapsamlı bir değerlendirmesini ilk olarak Uslu (1984) yapmıştır. Uslu, değerlendirmesinde Bayındırlık birim fiyatlarını ölçü olarak almış ve atıksu arıtma sistemlerinin inşaat maliyetleri ile debi ilişkisini karşılaştırarak grafiksel olarak açıklamıştır [68]. Ülkemizde atıksu arıtma tesislerindeki maliyet giderlerinin debi ölçümlerine göre değerlendirmesi konusunda araştırma yapan Tuna (1995), çalışmasında sırasıyla 350, 800, 3.000, 6.000, 17.000, 40.000, 67.500, 125.000, 250.000 ve 600.000 m³/gün debi değerlerini kullanmış; bu değerlerin karşılığı olarak maliyet oranlarını belirlemiş ve maliyet-debi grafikleri ortaya koymuştur [69]. Değerlendirmelerinde Mukayeseli Tasfiye Programını kullanmış; arıtma yöntemleri olarak aktif çamur sistemi, biyofilm sistemleri, stabilizasyon havuzu ve arazide arıtma sistemlerini seçmiştir. İşletme ve bakım maliyetleri karşılaştırmasında en ekonomik sistem olarak 100.000 m³/gün debisine kadar arazide arıtma, daha büyük debilerde damlatmalı filtreyi belirlemiştir [70].

Karlsson (1996), evsel nitelikli atıksuların arıtılmasında sıkça kullanılan biyolojik aktif çamur sistemlerinde oksijen tüketimi-enerji ilişkisini araştırmıştır. Ayrıca arıtma neticesinde ortaya çıkan deşarj suyunun çevreye olan etkilerini ve ekonomiye olan katkılarını karşılaştırmalı olarak belirtmiştir [71]. Sonrasında Boller (1997), kırsal yörelerdeki atıksuların arıtılmasına yönelik uygulamaları araştırmış; özellikle oksidasyon havuzu, kum filtresi, aktif çamur ve damlatmalı filtre yöntemlerini; iş güvenliği, insan gücü ihtiyacı, inşaat ve işletme maliyetleri özelliklerine göre incelemiş; verimli bir arıtma işlemleri için arıtma sistemlerindeki mevcut ve olması gereken teknolojileri vurgulamıştır [72].

Değirmenci ve arkadaşları (2000), yaptıkları araştırmalarda, atıksu arıtma tesisleri için planlama yapılırken gereğinden fazla emniyet payları bırakılmasının inşaat, işletme ve enerji maliyetlerine olan etkilerini ele almışlardır. Raporlarında; BOİ₅, debi, F/M ve UAKM oranlarındaki değişikliklerin maliyet giderlerini de önemli ölçüde değiştirdiğini; MALİYET=(BOİ₅)A*B dengesinin ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Bunun yanında, arıtma tesislerinin tasarımı sırasında kullanılması planlanan debi, kirlilik yükü ve diğer ölçütlerin seçiminde dikkatli olunmasını ancak gereğinden fazla emniyet payı ayırmanın işletim ve enerji maliyetlerini önemli ölçüde yükselteceğini ifade etmişlerdir [73].

Yüceer ve Dulkadiroğlu (2001), yaptıkları araştırma sonucunda aktif çamur yönteminin uygulandığı arıtma tesislerinde 500 – 50.000 nüfus değerlerine göre inşaat maliyetlerini tespit etmişlerdir. Tüketim oranı olarak 150 L/N-gün, BOI₅ miktarı 200 mg/L, AKM miktarı 180 mg/L şeklinde düşünölmüştür. Çalışmalarında inşaat maliyetini kişi başına 500 kişilik nüfus için 48 USD ve 50.000 kişilik nüfus için 17 USD olarak hesaplamışlardır. Buna göre aktif çamur yöntemi uygulamasında kişi başına düşen inşaat maliyetinin nüfus artışına bağlı olarak azaldığını belirtmişlerdir [74].

Nurizzo ve arkadaşları (2001), çalışmalarını farklı bir alana taşımışlar; atıksu arıtma yöntemlerinin yeterince gelişmediği, altyapıda yetersizlikleri bulunan toplumlar için az maliyetli ve düşük teknoloji atıksu arıtma alternatiflerini ortaya koymuşlardır. İşletiminin kolay olması, fazla teknolojik ünite içermemesi, enerjide tasarruf sağlaması gibi nedenlerden dolayı stabilizasyon havuzu, kum filtrasyonu, yapay sulak alan uygulaması, septik tank modeli ve damlatmalı filtre yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemlerin arıtma verimlilikleri, kullanım süreleri, teknolojik yeterlilikleri, çevreye ve ekonomiye etkileri ele alınmıştır [75]. Von Sperling ve arkadaşları (2002), yaptıkları çalışmada kentsel yaşamda ortaya çıkan atıksuların arıtılması için kalite standartları tespit etmişlerdir. Bunlar:

- Karşılaşılması muhtemel sorunları önceden tespit etmek,
- Yapılması zorunlu işlemleri adım adım uygulamak,
- Gelişime ve değişikliğe ayak uydurmak,
- Arıtma teknolojilerinin uygunluğunu sağlamaktır.

Atıksu arıtımına dair kalite ölçütleri olarak ta BOİ, KOİ, askıda katı madde, toplam azot, toplam fosfor değerlerini almışlardır [76].

Eker ve Çiner (2004), Sivas Organize Sanayi Bölgesi (SOSB)'ndeki atıksu çıkış değerlerini incelemişlerdir. SOSB atıksuyunun daha çok evsel nitelikli atıksu özelliği taşıdığı tespit edilmiştir. Çalışmalarında biyolojik ve kimyasal arıtım seçeneklerini ortaya koymuşlar, optimum yöntem açısından değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Sonuç olarak, SOSB atıksuları için; sırasıyla nötralizasyon havuzu, hızlı karıştırma, yavaş karıştırma, kimyasal çöktürme ve çamur yoğunlaştırma ünitelerini ihtiva eden kimyasal arıtma yöntemleri uygulanmasını tavsiye etmişlerdir [77].

Arslan-Alaton ve arkadaşları (2004), çalışmalarında Türkiye’de sürdürülebilir kentsel atıksu yönetimi ile ilgili tespitlerde bulunmuşlardır. 2004 yılı araştırma raporlarına göre; Avrupa Birliği ile uyum sürecinde bulunan ülkemiz için çevre ve su yönetimi konuları öncelikli konular arasında yer almak zorundadır. Türkiye yakın gelecekte su sıkıntısı çekmeye aday ülkeler arasında yer almaktadır. Bu nedenle atıksular bir kaynak olarak görülmeli ve yeniden kullanımı için gerekli çalışmalara ağırlık verilmelidir. Ancak bu çalışmalar yerine getirilirken yanlış planlanmış, iyi işletilmeyen, altyapısı yetersiz, uzman personel sıkıntısı çeken atıksu arıtma tesisleri yapılmasından da kaçınılmalıdır. Atıksu yönetim politikaları arasında arıtma yöntem ve teknolojileri, arıtılan suların karakteristik özellikleri, alıcı ortama olan etkileri, yeniden kullanım alanları gibi başlıklar ele alınmaktadır. Hazırlanan yönetmelikler arıtma sonrası deşarj limitlerini ve yüzde arıtma verimlerini de içermektedir. Bir arıtma tesisinin hizmet sunduğu nüfus oranına göre, Askıda Katı Madde (AKM), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ₅) parametreleri için sırasıyla 35-60 mg/L, 125 mg/L, 25 mg/L limit değerleri; % 70-90, % 75, % 70-90 giderim verimleri öngörülmüştür. Türkiye’de atıksu arıtma tesisleri hakkında işletim verimleri ve deşarj sularının yeniden kullanımı ile ilgili güncel bir veritabanı oluşturulmalıdır [78]. Arslan-Alaton ve arkadaşları (2007), yaptıkları çalışmada Türkiye’deki kentsel atıksu arıtma tesislerinin mevcut durumlarını açıklamışlardır [79]. Belirledikleri dört arıtma tesisine ait atıksu giriş ve çıkış değerlerini ilgili yönetmelik esaslarına göre karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri verilere göre, yeterli arıtma kalitesinin elde edilemediğini belirtmişlerdir. Bu durumun temel nedeni olarak dezenfeksiyon işlemlerinin yetersiz kaldığını ve arıtma için uygun yöntem tespit edilmediğini vurgulamışlardır. Diğer taraftan ülkemizde arıtılmış suya ilişkin kalite standartları belirlenmiş olduğundan, atıksuların daha kaliteli şekilde arıtılmasının ve yeniden kullanıma verilmesinin gerekliliğini savunmuşlardır [80].

Atıksu arıtma tesisleri ile bu tesislerde uygulanan arıtma yöntemleri yerleşim yerleri için farklılıklar gösterdiğinden optimum düzeyde bir sistemi tespit etmek için yerel düzeyde alınan sonuçların dikkate alınmasının daha gerçekçi bir yaklaşım olacağı düşünülmektedir. Kayseri ili için atıksu arıtma işlemlerinde kullanılacak optimum yöntem ya da teknolojilere ait tespit ve değerlendirmelerde, tesislerin çeşitli yönlerden karşılaştırmaları yapılmış; yerel düzeyde kullanım verimlilikleri ortaya konmuştur.

3. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu araştırmada atıksuların özellikleri ve arıtılma yöntemleri ile Kayseri ilindeki uygulamalara yönelik veriler ortaya konmuştur. Atıksu arıtma tesislerinde giriş ve çıkış pH, AKM, KOİ ve BOİ₅ değerlerine göre uygulanan yöntemlerin karşılaştırılması yapılarak optimum yöntemin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

3.1. Temel Analizler

Analizler için Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği ve Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde yer alan standart değerler dikkate alınmıştır. Tespit edilen veriler Kayseri Büyükşehir Belediyesi Atıksu Arıtma Dairesi Başkanlığı'na ait laboratuvar ortamında elde edilen değerlerdir. Verilerin değerlendirilmesinde güvenilirliği sağlamak açısından ölçümlerin benzer zaman dilimlerinde olmasına özen gösterilmiştir.

3.1.1. pH ölçümü

Atıksu içerisinde yer alan mikroorganizmalar pH değerine karşı hassas olduklarından suyun pH'ı çok önemlidir. Arıtma işlemleri sürecinde pH oranı ortamda bulunması istenen mikroorganizmaların yaşamlarına uygun olacak şekilde düzenlenmektedir. [81]. pH ölçümünde WTW marka 330i model pH metre kullanılmıştır (Resim 3.1.).



Resim 3.1. pH ölçümü [58]

3.1.2. Askıda Katı Madde (AKM) ölçümü

Arıtma işleminde askıda katı maddelerin uzaklaştırılması öncelikli işlemlerden birisidir. Çünkü askıda katı maddeler, suların ne amaçla kullanılacağını doğrudan etkilemektedir. Laboratuvarında yapılan askıda katı madde ölçümünde çıkış numunesinden 100 ml, giriş numunesinden 50 ml su kullanılmaktadır. Her bir numune için 0,7 µm gözenekli boş filtre kağıtlarının ağırlığı hassas terazide tartılır ve sonuç kaydedilir (Resim 3.2.). Numuneler manifold sistemli vakum pompası ile süzdürülür. Filtre kağıtları 60 dk. süresince 103 °C'deki etüvde kurutulur. Bu sıcaklık, numune içindeki suyu buharlaştırarak uzaklaştırmak için seçilmiştir [81]. Etüvde kurutma işleminden sonra filtre kağıtları tartılır ve sonuçlar kaydedilir.

Askıda katı madde miktarı hesaplaması aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

$$AKM \text{ (mg/L)} = (A_s - A_i) * (1000 / H * 1000) \quad (3.1.)$$

A_s = Kuruduktan sonraki filtre kağıdı ağırlığı

A_i = Filtre kağıdının ilk ağırlığı

H = Numunenin hacmi



Resim 3.2. AKM ölçümü [58]

3.1.3. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ölçümü

KOİ ölçümü, toksik durumların ortaya çıkarılmasında ve biyolojik olarak indirgenmeyen organik maddelerin belirlenmesinde oldukça kullanışlı bir yöntemdir.

Atıksulardaki organik maddelerin konsantrasyonlarındaki değişimleri incelemek üzere kullanılır. Kirlilik derecesini belirlemede kullanılan en önemli parametrelerden birisidir. KOİ ölçümüne kit içerisine 2 ml su numunesi eklenip çalkalanması ile başlanılır. Kit, 148 °C’de 2 saat süre ile termoreaktörde bekletilir. Termoreaktör uyarı sinyali verince kit çıkarılır ve 30 dk. soğumaya bırakılır. Soğutma işleminden sonra cihazda okutulup (Resim 3.3.) sonuç kaydedilir [82].



Resim 3.3. KOİ ölçümü [58]

3.1.4. Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) ölçümü

Biyolojik oksidasyon işlemi pratikte 20 gün içerisinde tamamlanmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar, biyolojik oksijen ihtiyacının büyük bir kısmının ilk 5 günde sarf edildiğini göstermiştir. Bu yüzden ölçümlerde BOİ₅ sonuçları kullanılmıştır. BOİ ölçümünde numuneler BOİ şişelerine aktarılır. Şişelere her 50 ml numuneye 1 damla olacak şekilde (reaksiyon hızını yavaşlatmak için) nitrifikasyon inhibitörü damlatılır. BOİ başlıkları (oxitop) takılır. Başlıklarda bulunan S ve M tuşlarına aynı anda basılarak sıfırlanır (Resim 3.4.). 20 °C sıcaklığındaki inkübatöre yerleştirilir. Burada 5 gün süreyle bekletilir ve 5. günün sonunda BOİ başlığındaki “S” butonundan 5. güne kadar ilerleyip gösterdiği değerler yazılır [82]. BOİ değerinin küçük olması suyun temiz olduğunu gösterir. Kimyasal olarak oksitlenebilecek bileşikler, biyolojik olarak oksitlenebilecek bileşiklerden daha fazla olduğundan atıksulardaki KOİ oranı BOİ oranından daha büyük çıkmaktadır.



Resim 3.4. BOİ ölçümü [58]

3.2. Materyallerin Toplanması

Arıtma yöntemleri arasında karşılaştırma yapılmasına yönelik analiz sonuçları, merkezi yönetim birimi olan KASKİ Atıksu Arıtma Dairesi'nin izin ve kontrolünde alınmıştır. KASKİ analiz laboratuvarında bir ay süre ile analiz sonuçları not edilmiş, bu sayede geçerli ve güvenilir bir değerlendirme yapma fırsatı elde edilmiştir.

3.3. Numune Alma

Tesislerde numuneler Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin numune alma ve analiz metodları esaslarına göre alınmaktadır. Tesis giriş ve çıkış sularından alınan numuneler 24 saatlik kompozit numunelerdir. Analizler sonucunda atıksuların giriş aşamasındaki kirlilik yükleri ile çıkış aşamasındaki arıtma değerleri kayıt altına alınmıştır.

3.4. Malzemelerin Temizliği ve Korunması

Tesislerden numuneler kapaklı plastik bidonlarla alınmaktadır. Kullanılan laboratuvar malzemelerinin temiz ve hijyenik olmasına dikkat edilmektedir. Arıtma sonuçlarında hassas değerler ortaya çıktığı için sonuca dış etkenlerin karışması önlenmiştir. Malzemeler bozulma ve kırılmalara karşı kapalı ortamlarda muhafaza edilmektedir.

3.5. Deşarj Standartları

Türkiye’de atıksu arıtımında “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” ve “Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği” esasları dikkate alınmaktadır. Evsel atıksuların alıcı ortamlara deşarjına ait standart değerler Tablo 3.1.’te gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Evsel nitelikli atıksuların alıcı ortamlara deşarj standartları [1]

Tablo 3.1.1. Evsel nitelikli atıksular (Sınıf 1:Kirlilik yükü ham BOİ olarak 5-120 kg/gün, nüfus = 84-2000) [1]

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ ₅)	(mg/L)	50	45
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	180	120
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	70	45
pH	-	6-9	6-9

Tablo 3.1.2. Evsel nitelikli atıksular (Sınıf 2: Kirlilik yükü ham BOİ olarak 120-600 kg/gün, nüfus = 2000-10000) [1]

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ ₅)	(mg/L)	50	45
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	160	110
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	60	30
pH	-	6-9	6-9

Tablo 3.1.3. Evsel nitelikli atıksular (Sınıf 3: Kirlilik yükü ham BOİ olarak 600-6000 kg/gün, nüfus = 10000-100000) [1]

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ ₅)	(mg/L)	50	45
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	140	100
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	45	30
pH	-	6-9	6-9

Tablo 3.1.4. Evsel nitelikli atıksular (Sınıf 4: Kirlilik yükü ham BOİ olarak 6000 kg/gün’den büyük, nüfus > 100000) [1]

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
BİYOKİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (BOİ ₅)	(mg/L)	40	35
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	120	90
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	40	25
pH	-	6-9	6-9

Mevzuat maddelerinde yer alan deşarj standartları gereğince, evsel nitelikli atıksular için, çıkış suyu değerlerine göre kalite sınıfları Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Evsel nitelikli atıksular için çıkış suyu kalite sınıfları [56]

SU KALİTE PARAMETRELERİ	SU KALİTE SINIFLARI			
	I	II	III	IV
1. Sıcaklık	25	25	30	>30
2. pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0 dışında
3. Askıda Katı Madde (AKM) (mg/L)	4	10	25	>25
1. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/L)	25	50	70	>70
2. Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) (mg/L)	4	8	20	>20

Tabloda belirtildiği üzere, kalite sınıflarına göre ayrılmış suların kullanım alanları;

Sınıf I. Yüksek kaliteli su;

1. İçme suyu olma potansiyeli yüksek olan sular,
2. Yüzme gibi vücut teması gereken etkinlikler için kullanılabilir su,
3. Hayvan üretimi için kullanılabilir özellikte su,

Sınıf II. Az kirlenmiş su;

1. İçme suyu potansiyeli olan sular,
2. Sulama suyu kalite kriterlerini sağlamak şartıyla sulama suyu,

Sınıf III. Kirlenmiş su;

1. Gıda, tekstil gibi nitelikli su gerektiren tesisler hariç, uygun bir arıtma sonrası su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılabilir nitelikte su,

Sınıf IV. Çok kirlenmiş su;

1. Kalite parametreleri düşük olan ve üst kalite sınıfına ancak iyileştirme sonrası ulaşabilecek sular,

olarak nitelendirilmektedir.

3.6. Atıksu Karakteristikleri

Atıksu arıtma tesisi girişindeki debi miktarı ve kirlilik parametreleri ölçülerek atıksu karakteristiği belirlenebilir. Evsel ya da endüstriyel atıksuların karakterizasyonunun belirlenmesi, atıksu arıtma tesisinin deşarj standartlarına uygun şekilde tasarlanmasına katkı sağlayacaktır. Söz konusu atıksu karakteristikleri ise, kirlilik parametrelerini (pH, AKM, KOİ, BOİ₅ vb.) ve birim kirletici yüklerini içermektedir [48].

3.7. Arıtma Prosesi Seçenekleri

Atıksu arıtma tesislerinde, istenen kalitede bir arıtma elde edilmesi için, bir kısım arıtma prosesinin kullanımı gerekmektedir. Arıtma prosesi seçiminde; arıtılan kirleticilerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, deşarj standartları, kullanım alanı, çamur uzaklaştırma yöntemi, enerji ihtiyacı ve sistem maliyeti göz önüne alınmalıdır. Arıtma proseslerinin birbirleriyle uyumlu biçimde dizayn edilmesine *proses akım şeması* adı verilir. Proseste yer alan ekipmanların yerleşimini, bağlantılarını ve işletme koşullarını gösterdiğinden, güvenilir bir sistem işletimi proses akım şemasına bağlıdır [48].

3.8. Arıtma Verimi

Atıksular, çeşitli organik ve inorganik maddeler içermektedirler. Arıtma tesisinin arıtım verimliliği daha çok AKM, KOİ ve BOİ₅ değerlerindeki azalmayla belirlenmektedir. Atıksu arıtma tesisi ile ilgili planlamalar yapılırken tesise giren atıksudaki kirlilik yükleri ile alıcı ortama verilmesi sırasında düşünülen arıtma verimi sonuçları gerçekçi bir yaklaşımla hesap edilmelidir. Türkiye’de kalite standartları dikkate alınarak çalıştırılan tesislerde dahi çeşitli problemlerle karşılaşılması özellikle nüfus ve debi hesaplamaları, iklim özellikleri, uygun proses seçimi, optimum yöntem tespiti konularında daha dikkatli olunmasını gerekli kılmaktadır [48]. Arıtma tesislerindeki kirlilik parametrelerine ait arıtma verimi hesaplamasında aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$A.V. = \left((D_g - D_ç) \div D_g \right) \times 100 \quad (3.2.)$$

A.V. : Arıtma verimi

D_g : Giriş değeri

D_ç : Çıkış değeri

3.9. Metod

Çalışma süresince çıkış suyu kalitesine göre arıtma işlemlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Kayseri ilindeki farklı arıtma yöntemleri uygulayan tesisler ele alınarak pH, AKM, KOİ ve BOİ₅ giderim verimleri tespit edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında arıtma yöntemleri arasında optimum yöntemin belirlenmesi hedeflenmiştir.

4. BÖLÜM BULGULAR

Atıksuların arıtılmasında optimum yöntemin tespit edilmesi amacıyla giriş ve çıkış suyundan alınan numunelerin analizleri yapılmıştır. Sonuca ulaşmak için pH değerleri ile kirlilik giderimi (AKM, KOİ, BOİ₅) parametrelerine ait veriler kullanılmıştır.

4.1. Giriş Değerleri

4.1.1. Aktif Çamur Yöntemi

Yöntemin uygulandığı Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nden Nisan-2016 tarihinde alınan değerler Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Giriş Değerleri [58]

Günler	Tesis Girişi Saha Ölçümleri			Tesis Girişi Analiz Değerleri		
	Debi	Sıcaklık	pH	AKM	KOİ	BOİ ₅
	m ³	°C	-	mg/l	mg/l	mg/l
1	181.207	17,4	7,0	668	1001	500
2	177.700	17,5	6,9	472	921	480
3	174.464	17,6	6,8	344	795	420
4	169.025	17,4	6,7	464	949	500
5	177.603	17,7	6,9	608	938	540
6	173.909	17,9	6,4	712	1234	560
7	156.483	18,0	6,5	1340	1668	700
8	180.384	18,2	8,3	652	1147	520
9	177.694	18,3	8,1	308	710	400
10	185.116	17,7	7,6	648	905	500
11	181.505	18,4	7,9	504	732	360
12	186.050	18,1	8,2	412	1447	280
13	177.991	18,2	8,2	360	922	440
14	180.707	18,1	7,8	428	1424	380
15	182.770	18,5	7,7	368	759	340
16	158.057	18,5	6,9	348	779	340
17	144.203	18,5	6,4	484	971	200
18	157.045	18,9	6,5	516	990	520
19	178.635	18,1	6,8	652	1142	560
20	178.915	18,9	8,1	780	1045	540
21	178.989	19,0	8,2	596	997	520
22	180.984	18,8	8,5	492	805	360
23	174.786	18,8	8,0	584	1319	500
24	155.628	18,8	8,5	592	977	560
25	158.715	19,2	7,8	552	1129	580
26	174.766	18,3	7,7	1176	1355	760
27	177.060	18,7	8,1	680	1132	580
28	139.057	18,7	7,4	464	1052	400
29	161.908	19,2	8,3	320	579	360
30	172.708	19,1	7,8	476	898	460
Ma. Değer	186.050	19,2	8,5	1340	1668	760
Mi. Değer	139.057	17,4	6,4	308	579	200
Ortalama	171.802±12.152	18,3±0,5	7,5±0,7	567±227	1.024±244	472±118

4.1.2. Ardışık Kesikli Reaktör Yöntemi

Yöntemin uygulandığı Gürpınar Atıksu Arıtma Tesisi'nden Nisan-2016 tarihinde alınan değerler Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Kayseri Gürpınar Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Giriş Değerleri [58]

Günler	Tesis Girişi Saha Ölçümleri			Tesis Girişi Analiz Değerleri		
	Debi	Sıcaklık	pH	AKM	KOİ	BOİ ₅
	m ³	°C	-	mg/l	mg/l	mg/l
4	485	18,2	7,9	528	549	500
7	420	18,9	7,8	188	345	200
11	432	18,1	7,9	312	464	180
15	585	18,8	7,9	66	219	160
18	259	18,7	7,8	32	197	140
20	312	19,3	7,6	92	297	160
25	358	18,8	7,8	34	130	60
28	420	18,2	7,6	112	291	180
Ma. Değer	585	19,3	7,9	528	549	500
Mi. Değer	259	18,1	7,6	32	130	60
Ortalama	409±101	18,6±0,4	7,8±0,1	171±171	312±139	198±129

Gürpınar Atıksu Arıtma Tesisi'nde yapılan incelemelerde; ardışık kesikli reaktör sisteminin evsel ya da endüstriyel atıksuların arıtımında kolaylıkla kullanılabilceği görülmüştür. Sistemin en büyük avantajı, işletim şartlarında değişiklikler yapma imkanı bulunmasıdır. Tesisin tasarımı bölgenin atıksu özelliğine göre düzenlenmiştir. İki adet reaktör mevcut olup reaktörler ihtiyaca cevap vermektedir.

4.1.3. Membran Bioreaktör Yöntemi

Yöntemin uygulandığı Buğdaylı Atıksu Arıtma Tesisi'nden Nisan-2016 tarihinde alınan değerler Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Kayseri Buğdaylı Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Giriş Değerleri [58]

Günler	Tesis Girişi Saha Ölçümleri			Tesis Girişi Analiz Değerleri		
	Debi	Sıcaklık	pH	AKM	KOİ	BOİ ₅
	m ³	°C	-	mg/l	mg/l	mg/l
4	140	17,9	7,6	132	643	420
7	140	18,6	7,6	140	596	380
11	140	17,8	7,6	144	654	420
15	140	18,5	7,6	184	543	340
18	140	18,4	7,7	118	592	360
20	140	19,1	7,5	104	598	400
25	140	18,6	7,5	156	666	420
28	140	18,2	7,3	160	623	520
Ma. Değer	140	19,1	7,7	184	666	520
Mi. Değer	140	17,8	7,3	104	543	340
Ortalama	140±0	18,4±0,4	7,6±0,1	142±25	614±40	408±54

Buğdaylı Atıksu Arıtma Tesisi, TÜBİTAK destekli bir proje kapsamında kurulmuş olup tesiste membran bioreaktör teknolojisi kullanılmaktadır. Kaliteli bir çıkış suyu avantajı nedeniyle membran bioreaktörlerin önemi her geçen gün artmaktadır.

4.1.4. Doğal Arıtma Yöntemi

Yöntemin uygulandığı Salur Atıksu Arıtma Tesisi'nden Nisan-2016 tarihinde alınan değerler Tablo 4.4.'te verilmiştir.

Tablo 4.4. Kayseri Salur Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Giriş Değerleri [58]

Günler	Tesis Girişi Saha Ölçümleri			Tesis Girişi Analiz Değerleri		
	Debi	Sıcaklık	pH	AKM	KOİ	BOİ ₅
	m ³	°C	-	mg/l	mg/l	mg/l
4	42	18,1	7,6	84	68	40
7	44	18,6	7,5	96	81	60
11	43	17,9	7,7	40	159	80
15	45	18,5	7,7	42	149	60
18	46	18,6	7,6	52	101	100
20	45	19,2	7,7	264	221	80
25	44	18,7	7,5	80	270	40
28	43	18,4	7,6	108	299	140
Ma. Değer	46	19,2	7,7	264	299	140
Mi. Değer	42	17,9	7,5	40	68	40
Ortalama	44±1,3	18,5±0,4	7,6±0,1	96±72	169±87	75±33

Salur Atıksu Arıtma Tesisi'nde atıksular doğal olarak arıtılmaktadır. Atıksular, kanalizasyon aracılığı ile tesise gelmektedir. Arıtılmış su, Sarımsaklı Deresi'ne deşarj edilmektedir. Doğal arıtma prosesinin uygulanmasında dikkat edilecek en önemli hususlardan birisi kullanılacak bitki türünün doğru seçilmesidir. Mevsimsel özellikler gözlemlenmeden kullanılan bitki türleri, arıtma işleminde kullanılamayacaktır.

4.1.5. Damlatmalı Filtre Yöntemi

Damlatmalı filtre sistemine göre tasarlanan Develi Atıksu Arıtma Tesisi 50 000 kişilik nüfusa hizmet verecek kapasiteye sahiptir. Debi miktarı günlük 15 000 m³/gün olarak belirlenmiştir. Ancak yörenin iklim şartları ve bilhassa kış mevsimindeki aşırı soğuklar tesisin ömrünü kısaltmıştır. Damlatmalı filtre yöntemi uygulanan tesislerde, ilkbahar aylarındaki yağışların, yaz aylarında yaygınlaşan kötü kokuların, kış aylarındaki donma risklerinin dikkate alınması gerekmektedir [58].

4.2. Çıkış Değerleri

4.2.1. Aktif Çamur Yöntemi

Yöntemin uygulandığı Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nden Nisan-2016 tarihinde alınan değerler Tablo 4.5.'te verilmiştir.

Tablo 4.5. Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Çıkış Değerleri [58]

Günler	Tesis Çıkışı Saha Ölçümleri			Tesis Çıkışı Analiz Değerleri		
	Debi	Sıcaklık	pH	AKM	KOİ	BOİ ₅
	m ³	°C	-	mg/l	mg/l	mg/l
1	178.968	17,8	7,0	9	33,5	5
2	175.897	18,1	7,0	8	29,5	5
3	172.233	18,2	7,1	4	25,7	5
4	164.656	17,7	6,8	6	39,8	5
5	175.184	18,5	7,1	7	47,4	4
6	174.596	18,7	7,0	8	48,5	7
7	176.096	14,9	7,3	11	40,7	4
8	179.016	19,2	7,3	6	41,1	3
9	176.566	18,9	7,2	8	42,5	5
10	183.795	18,9	7,2	8	34,5	5
11	180.046	18,1	7,2	33	87	11
12	185.459	18,9	7,1	16	68,1	5
13	176.944	18,9	7,2	13	65,4	7
14	179.696	19,0	7,2	12	27	6
15	181.197	19,1	7,1	9	29,4	5
16	157.343	19,3	7,1	13	36,9	5
17	142.647	19,5	7,1	10	37,9	4
18	153.788	19,7	7,2	6	58,7	3
19	176.266	19,8	7,2	10	45,7	3
20	176.443	19,8	7,2	10	55,3	9
21	176.492	19,4	7,3	13	41,6	9
22	178.309	19,2	7,3	26	42	19
23	172.106	19,4	7,3	7	29,8	6
24	153.666	19,5	7,3	12	39,6	7
25	156.600	19,5	7,3	25	28,9	4
26	173.596	19,3	7,2	40	38,9	9
27	174.149	19,3	7,2	9	41,6	8
28	138.415	19,2	7,2	14	66,3	7
29	155.948	19,9	7,1	8	51	6
30	170.595	19,8	7,2	30	83,1	5
Ma. Değer	185.459	19,9	7,3	40	87	19
Mi. Değer	138.415	14,9	6,8	4	26	3
Ortalama	170.557±12.014	18,9±1	7,2±0,1	13±9	45±16	6±3

Evsel ve endüstriyel arıtma tesislerinden çıkan atık çamurların bertaraf edilmeden önce mutlaka arıtılması gerekmektedir. Arıtma tesisleri dizayn edilirken çamur sorunu önceden dikkate alınıp en uygun arıtma metodu seçilmelidir [3].

4.2.2. Ardışık Kesikli Reaktör Yöntemi

Yöntemin uygulandığı Gürpınar Atıksu Arıtma Tesisi'nden Nisan-2016 tarihinde alınan değerler Tablo 4.6.'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Kayseri Gürpınar Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Çıkış Değerleri [58]

Günler	Tesis Çıkışı Saha Ölçümleri			Tesis Çıkışı Analiz Değerleri		
	Debi	Sıcaklık	pH	AKM	KOİ	BOİ ₅
	m ³	°C	-	mg/l	mg/l	mg/l
4	459	18,3	7,8	2	26	2
7	464	19,2	7,5	7	18	7
11	317	18,2	7,9	14	55	22
15	620	18,9	7,7	22	25	6
18	309	18,9	7,7	11	32	5
20	309	19,4	7,7	36	22	5
25	310	19,1	7,7	7	22	5
28	404	18,4	7,4	7	30	7
Ma. Değer	620	19,4	7,9	36	55	22
Mi. Değer	309	18,2	7,4	2	18	2
Ortalama	399±112	18,8±0,4	7,7±0,2	13±11	29±12	7±6

Ardışık kesikli reaktör sistemleri organik maddeler ve besi maddelerin giderilmesi için uygun bir arıtma sağlamaktadır. Fazların süreleri ayarlanarak organik karbon, biyolojik azot ve fosfor giderimi sağlanabilir. Boş olan faz, AKR sistemlerinin faz sürelerinin ayarlanmasında ve fazla çamur atılması işlemlerinde kullanılmaktadır [56].

4.2.3. Membran Bioreaktör Yöntemi

Yöntemin uygulandığı Buğdaylı Atıksu Arıtma Tesisi'nden Nisan-2016 tarihinde alınan değerler Tablo 4.7.'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Kayseri Buğdaylı Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Çıkış Değerleri [58]

Günler	Tesis Çıkışı Saha Ölçümleri			Tesis Çıkışı Analiz Değerleri		
	Debi	Sıcaklık	pH	AKM	KOİ	BOİ ₅
	m ³	°C	-	mg/l	mg/l	mg/l
4	140	18,1	8,0	4	18	3
7	140	18,7	7,7	2	20	3
11	140	17,9	7,9	3	16	1
15	140	18,6	7,5	6	47	1
18	140	18,5	7,5	2	45	4
20	140	19,2	7,8	9	19	2
25	140	18,8	7,9	7	30	3
28	140	18,3	7,4	4	30	2
Ma. Değer	140	19,2	8,0	9	47	4
Mi. Değer	140	17,9	7,4	2	16	1
Ortalama	140±0	18,5±0,4	7,7±0,2	5±2,5	28±12	2±1

Son yıllarda geliştirilen membran teknolojileri sayesinde kötü kalitedeki suların güvenilir, temiz ve ekonomik olarak kullanımının mümkün olacağı anlaşılmıştır. Çünkü tam olarak arıtılmamış atıksular çevreye zarar verecekleri gibi temiz su kaynaklarının kirlenmesine de neden olurlar. Membran bioreaktörlerde elde edilen arıtılmış su, askıda katı maddeler, bakteri ve virüslerden arındırılmış, geri kullanılabilir derecede temiz sulardır. MBR sistemlerinde, klasik aktif çamur sistemlerine göre daha yüksek azot giderimleri meydana gelebilmektedir [56]. Membranın tipine bağlı olarak, havalandırma havuzunda biyokütle miktarı 40 000 mg/L seviyesine çıkabilmektedir. Bundan dolayı, havalandırma havuzunun hacmi ile oluşan çamur miktarı epey azalır. Biyokütleyle dönüşüm oranı, aktif çamur sistemlerinde, 0.5 kg AKM/kg KOİ_{giderilen}, membran bioreaktörlerde 0.05-0.2 kg AKM/kg KOİ_{giderilen} seviyesindedir.

4.2.4. Doğal Arıtma Yöntemi

Yöntemin uygulandığı Salur Atıksu Arıtma Tesisi'nden Nisan-2016 tarihinde alınan değerler Tablo 4.8.'de verilmiştir.

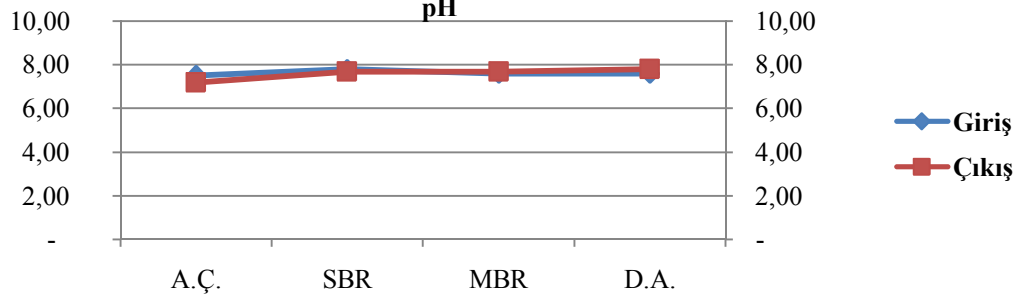
Tablo 4.8. Kayseri Salur Atıksu Arıtma Tesisi Günlük Çıkış Değerleri [58]

Günler	Tesis Çıkışı Saha Ölçümleri			Tesis Çıkışı Analiz Değerleri		
	Debi	Sıcaklık	pH	AKM	KOİ	BOİ ₅
	m ³	°C	-	mg/l	mg/l	mg/l
4	42	18,2	7,8	14	42	18
7	44	18,7	7,7	33	57	27
11	43	18,1	7,9	27	110	40
15	45	18,7	7,8	9	96	41
18	46	18,9	7,8	12	92	43
20	45	19,3	7,8	13	98	43
25	44	18,8	7,8	14	51	16
28	43	18,4	7,8	17	49	13
Ma. Değer	46	19,3	7,9	33	110	43
Mi. Değer	42	18,1	7,7	9	42	13
Ortalama	44±1,3	18,6±0,4	7,8±0,1	17±8	74±27	30±13

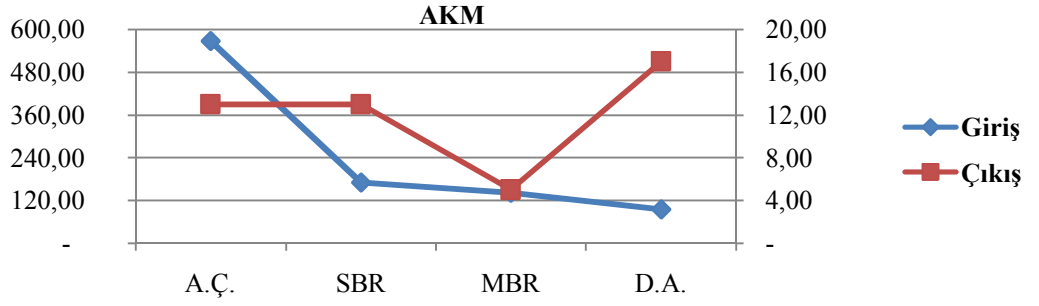
Doğal arıtma sistemi, atıksuların arıtılmasında doğal malzeme ve yöntemlerin kullanılması anlamına gelmektedir. Doğal arıtma sonucu evsel ya da endüstriyel kaynaklı atıksuların arıtılmadan derelere, akarsulara ya da göllere verilmesi önlenmekte; böylece hem doğal çevrenin hem de su kaynaklarının korunmasına katkı sağlanmaktadır. Sistemdeki atıksular “sulama suyu” kalitesinde arıtılabilmektedir

4.3. Karşılaştırmalı Değerler

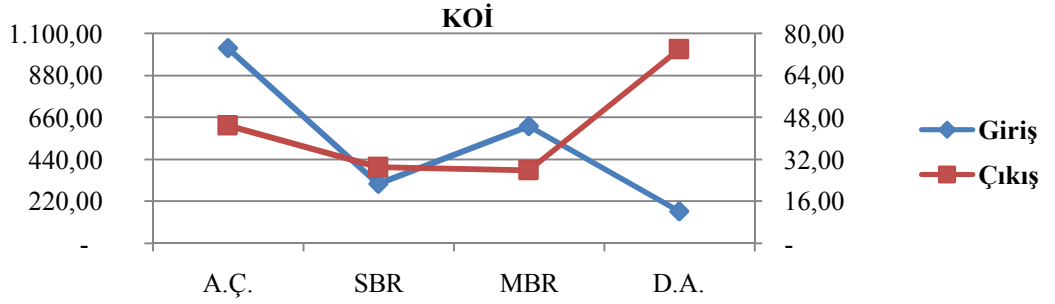
Kayseri ilindeki atıksuların arıtılmasında uygulanan yöntemlere ait bir aylık analiz sonuçlarını içeren karşılaştırmalı değerler aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



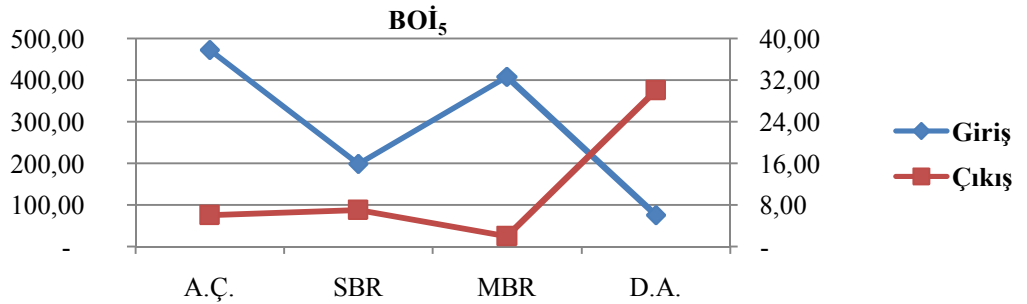
Şekil 4.1. Arıtma yöntemleri giriş ve çıkış değerleri (pH)



Şekil 4.2. Arıtma yöntemleri giriş ve çıkış değerleri (AKM)



Şekil 4.3. Arıtma yöntemleri giriş ve çıkış değerleri (KOİ)



Şekil 4.4. Arıtma yöntemleri giriş ve çıkış değerleri (BOİ₅)

5. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Atıksu arıtma tesisleri, yapımı ve işletmesi yüksek maliyet gerektiren kuruluşlardır. Bu nedenle arıtma tesislerinde, hizmet vereceği bölgenin ihtiyaçlarını karşılayacak optimum arıtma yöntemleri tercih edilmelidir. Uygulanan yöntemden kaliteli bir sonuç almak için de uygun ekipmanlar dizayn edilmelidir. Kayseri ilindeki atıksu arıtma tesislerinde uygulanan arıtma yöntemleri arasında optimum yöntemin belirlenmesi için bir aylık süre ile atıksu numune analizleri yapılmış olup; elde edilen veriler incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Biyolojik arıtmada kullanılan en yaygın yöntem **aktif çamur** sistemleridir. Bu sistem organik kirliliğin, askıda tutulan mikroorganizmalar yardımıyla giderildiği bir arıtma yöntemidir. Son çöktürme tankında çökelen çamur aktif çamur havuzuna geri devrettirilmek sureti ile uygun biyokütle konsantrasyonu sağlanmış olur. Öngörülen biyokütle miktarından fazlası ise fazla çamur olarak sistemden atılır [56].

“Aktif Çamur” sisteminin giriş ve çıkış değerleri karşılaştırıldığında ortalama arıtma verimleri;

AKM : % 98,

KOI : % 96,

BOI₅ : % 99

olarak hesaplanmıştır.

Aktif Çamur yönteminde;

- Arıtılmış su kalitesi geri kazanım için yeterli gözükmektedir. Kirlilik yüklerine ait arıtma verimleri % 96 – 99 aralığında olsa da KOİ çıkış değeri 10-30 standart aralığının üstünde olduğundan çıkış suyu tarımsal sulamada kullanılmaktadır.
- Arıtılan atıksuyun geri kullanılmasında daha iyi kalitede su elde edebilmek için yeni teknoloji ya da ünitelere ihtiyaç duyulmaktadır.
- İl merkezinde nüfusun sürekli artışı tesis debi miktarında da artışa yol açmaktadır. Arıtma tesisi şimdilik debi artışına cevap verebilmektedir.

- Çamur oluşumu fazladır. Çamur içerisinde değişik miktarlarda metaller bulunması ise olağan bir durumdur. Bu metallerin konsantrasyon seviyelerinin yüksek olması sadece bitkiler için değil, onları tüketen insanlar ve hayvanlar için de toksik etkiye yol açabilmektedir [56]. Olası sorunların ortaya çıkmasını önlemek için aktif çamurun sudan ayrıştırılması ve bertaraf edilmesi işlemleri, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği esaslarına göre yürütülmektedir.

Evsel atıksuların aktif çamur yöntemi ile arıtılması uygulamalarında kirlilik yüklerine ait giderim verimlerinin karşılaştırılması amacıyla Malatya Atıksu Arıtma Tesisi örnek olarak alınmıştır (Tablo 5.1.). Malatya Atıksu Arıtma Tesisi, Malatya Merkez ilçeleri Battalgazi ve Yeşilyurt'un yerleşim birimlerinin evsel atıksularının çevre kirliliğine sebep olmayacak şekilde bertaraf edilmesi amacı ile kurulmuştur. Tesiste atıksuların arıtılmasında aktif çamur yöntemi kullanılmaktadır. Arıtma tesisinden çıkacak arıtılmış su için, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve Avrupa Birliği Standartlarına uygun olan aşağıdaki minimum konsantrasyonlar ve maksimum giderim verimi hedeflenmektedir.

Tablo 5.1. Malatya Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu standartları [83]

Parametreler	Konsantrasyon (mg/l)	Minimum Giderim Verimi (%)
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅)	25	70-90
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	125	75
Toplam askıda katı madde	35	90

Kayseri ve Malatya örnekleri gösteriyor ki; aktif çamur yöntemi ile atıksuların arıtıldığı tesislerde deşarj standartlarının yerine getirildiği analiz sonuçları ile ortaya çıkmaktadır. Tesislerde, atıksudan ayrıştırılması sonucunda günlük olarak fazla miktarda çamur elde edilmektedir. Çamurun kurutulup bertaraf edilmesi sırasında enerji üretecek sistemin de geliştirilmesi tesislere mali açıdan katkı sağlayacaktır.

2. Ardışık kesikli reaktör yöntemi, son yıllarda, atıksuların biyolojik arıtımında giderek artan oranda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun en büyük nedeni aktif çamur sistemine nazaran azot gideriminde daha etkili bir yöntem olmasıdır. Bu yöntem çoğunlukla küçük ve orta nüfuslu yerleşim yerlerinde tercih edilmektedir. Atıksu miktarına bağlı olarak ardışık kesikli reaktörlerde tek ya da birden çok reaktör kullanılabilir [56].

“Ardışık Kesikli Reaktör” sisteminin giriş ve çıkış değerleri karşılaştırıldığında ortalama arıtma verimleri;

AKM : % 92,

KOI : % 91,

BOİ₅ : % 96

olarak hesaplanmıştır.

Yerleşim yerlerindeki evlerden çıkan atıksulara çevredeki fabrikalardan gelen atıksular da karışabilmektedir. Bu karışma sonrası kirlilik yükü üst seviyelere çıkan atıksuların kontrolsüz şekilde alıcı ortamlara verilmesi hem çevre hem de sağlık problemlerine yol açmaktadır. Ardışık kesikli reaktör sistemi, aktif çamur içerikli biyolojik bir arıtma yöntemi olup etkili bir kirlilik giderimi sağlayabilmektedir. Bunun yanında fazla maliyet gerektirmeyen, işletim sırasında değişiklikleri tolere edebilen, atıksu içerisindeki azot ve fosfor giderimini birlikte gerçekleştirebilen özelliklere sahiptir [56].

Umble ve Ketchum, (1997), evsel bir atıksuyun biyolojik olarak arıtılması için ardışık kesikli reaktör sistemi üzerinde çalışmışlardır [84]. Ardışık kesikli reaktör yönteminin işletimde kullanılması sonucu iyi bir çıkış değeri elde edilmesi amaçlanmıştır [85]. 12 saatlik toplam çevrim zamanında BOİ₅, AKM ve NH₃-N giderimleri sırasıyla % 98, % 90 ve % 89 verimle sonuçlanmıştır.

Atıksuların ardışık kesikli reaktörler ile arıtılması uygulamalarında Türkiye’den Sakarya ilinde faaliyet gösteren Toprak İlaç ve Kim. Mad. San. ve Tic. A.Ş.’ne ait tesis örnek olarak alınmıştır. Tesise ait atıksu giriş ve çıkış değerleri Tablo 5.2.’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Toprak İlaç Endüstrisi Arıtma Tesisi giriş ve çıkış suyu değerleri [86]

Parametreler	Giriş	Çıkış
BOİ ₅ (mg/l)	90-130	13-18
KOI (mg/l)	200-300	25-37
AKM (mg/l)	900	9-21
pH	6.4-6.8	7.3-7.6
NH ₃ (mg/l)	26	1
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	8.5	8.1

Endüstriyel ve evsel atıksuların arıtılmasında fabrika laboratuvarında yapılan deneyler sonucunda ardışık kesikli reaktör yönteminin verimi % 80 olarak gerçekleşmiştir [86].

Ardışık kesikli reaktörlerin dünyadaki uygulamaları da incelenmiş; Japonya’da ardışık kesikli reaktör prosesinin ağır organik madde içeren deri endüstrisi atıksularının arıtımındaki laboratuvar ölçekli analiz sonuçları Tablo 5.3.’te gösterilmiştir:

Tablo 5.3. İşletme parametreleri ve atıksu kalite değerleri [87]

Parametreler	Giriş Atıksu	Çıkış Atıksu	Giriş Atıksu	Çıkış Atıksu
KOİ (mg/l)	2960	186	9580	328
Verim (%)		93.7		96.6
NH ₃ -N	105	45.3	173	26.3
Org-N	45	6.5	41.7	15.2
NO ₂ -N	19	0.12	16.4	0.14
NO ₃ -N	3.8	0.14	4.0	2.0
Toplam Azot Giderimi (%)		53.9		72.6
Krom (mg/l)	25.3	1.08	25.1	0.57
Verim (%)		95.7		97.7

Tablo 5.3.’te görüldüğü gibi, arıtma işleminde KOİ ve krom giderimi oldukça yüksektir. Giderim verimi KOİ için % 93.7 - % 96.6, krom için % 95.7 - % 97.7 arasındadır. Ardışık kesikli reaktör sisteminin debideki büyük değişikliklere karşı dengeleme tankı gibi iş görmesi dışında fazlarının otomatik olarak kontrol edilebilmesi de endüstriyel nitelikli atıksuların arıtılması için kullanım avantajı sağlamaktadır [86].

3. Biyolojik atıksu arıtma tesislerinde, arıtılmış atıksuların yeniden ve kalite standartlarında kullanıma sunulmasının gerekliliği, azot ve fosfor giderimi gibi teknolojilere ihtiyaç duyulması, düşük çamur üretimi ve nutrient giderimi gibi etkenlerden dolayı membran bioreaktörlerin önemi her geçen gün artmaktadır. Aktif çamur sisteminin bioreaktör bölümüne membran entegre edilmesi suretiyle “Membran Bioreaktör” prosesi ortaya çıkmıştır. Membran bioreaktör teknolojisi sayesinde çıkış suyu diğer arıtma sistemlerine göre daha yüksek kalitede olmakta, su kaynaklarının ve ekolojik çevrenin zarar görmesi önlenmektedir [56].

“Membran Bioreaktör” sisteminin giriş ve çıkış değerleri karşılaştırıldığında ortalama arıtma verimleri;

AKM : % 96,

KOİ : % 95,

BOİ₅ : % 99

olarak hesaplanmıştır.

Membran bioreaktör sisteminde;

- Çok iyi kalitede arıtılmış su çıkışı görülür.
- Arıtılan suyun doğaya zarar vermeden geri kullanımı sağlanır.
- Çamur oluşumu azdır.
- Hacimsel yükü arttırmak mümkündür.
- Atıksuların geri kazanımı sayesinde doğal kaynaklar korunur.

Guo ve arkadaşları (2008), MBR arıtma performansının değerlendirilmesi amacıyla yapılmış bir çalışmada batık membran bioreaktörler kullanmışlar ve performansın artırılması amacıyla reaktörlere toz aktif karbon ilave etmişlerdir [88]. Çalışma sonucunda toz aktif karbon ilave edilmiş sistemin normal membran bioreaktör sisteminden daha yüksek performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bu modifiye sistemle % 95 KOİ, % 96 çözülmüş organik karbon verimi sağlanmıştır [89].

Türkiye’de ilk yüzeyaltı membran filtre sistemli atıksu arıtma tesisi Muğla ili Bodrum ilçesi Konacık Belediyesi’nce yaptırılan arıtma tesisidir. 2009 yılında hizmete girmiştir. Hizmete girdiğinin ilk ayında BOİ<10 mg/l, TKN<7 mg/l, AKM<5 mg/l deşarj suyu kalitesi elde edilmiştir [90].

Membran bioreaktörler atıksu debisi az olan yerleşim yerleri için oldukça uygun bir sistemdir. Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılması ve geri kazanılmasında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak membran prosesinin optimum tasarımı oldukça komplekstir. Çünkü membran teknolojisi kurulacak tesislerde arıtma verimi, maliyeti, enerji tüketimi ve çamur arıtımı gibi birçok etken dikkate alınmalıdır. Membran sisteminde karşılaşılan en büyük sorun tıkanmalardır. Membrandan geçemeyen maddelerin, tıkanmaya neden olmamaları için prosesdeki ekipmanların periyodik olarak temizlenmesi gerekir [56]. Yeraltı sularında mikrobiyolojik canlı ve substrat konsantrasyonu oldukça düşük olmaktadır. Bu nedenle, yeraltı sularının membran proseslerle arıtılmasında mikrobiyal bir kirlenme ile pek karşılaşmaz. Yerüstü suları ve diğer su kaynaklarında ise yüksek konsantrasyonda mikrobiyolojik canlı ve substrat yer alabilir. Bu tür sular için, membran prosesi kullanımı öncesinde mikrobiyal arıtım yöntemleri uygulanmalıdır ve böylece membran kirlenmesi minimize edilmelidir [42].

4. Develi ilçesinde yer alan ve **damlatmalı filtre** yöntemine göre yapılan atıksu arıtma tesisinde yapılan incelemede şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- “Damlatmalı Filtreler”, aktif çamur sistemine göre daha fazla alana ihtiyaç duyarlar. Yöntemin etkili çalışması için mevsimsel hava olaylarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Yörede karasal iklim özellikleri yaşandığından, ilkbaharda yağışlarla birlikte ani su artışı görülebilmektedir. Yaz mevsiminde çevreyi rahatsız edici koku problemleri yaşanmakta, kış aylarında ise sıcaklık düşüşü nedeniyle sular donmaktadır. Buna karşılık, işletilmeleri daha basit ve enerji ihtiyaçları daha düşük olup, etkili bir nitrifikasyon sağlarlar [2].
- Damlatmalı filtre ile arıtma için biyofilm oluşumu gereklidir. Arıtma işlemleri sırasında filtre yüzeyindeki biyofilm tabakalarının kopmasını önlemek için dönme hızı ayarlanmalıdır.
- Damlatmalı filtre uygulamalarında karşılaşılabilecek bir başka sorun atıksular filtrelere verildikten sonra gözlerde oluşacak tıkanmalardır. Sorunun çözümü için; atıksuların içindeki kaba atıkların ön elemeden geçirilmesi, suların yüzeye eşit dağıtılması ve tıkanmaya yol açan maddelerin temizlenmesi gerekmektedir.

Damlatmalı filtre sistemine göre işletilen Develi ilçesindeki arıtma tesisinde yukarıda belirtilen şartları yerine getirmekte sorunlar yaşandığından tesisin kapatılması kararı alınmıştır. Kayseri Büyükşehir Belediyesi tarafından ilçeye ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi yapılması planlanmıştır [58].

5. Doğal arıtma yöntemi; alan sıkıntısı olmayan; nüfusun az olduğu kırsal bölgeler için geçerli bir uygulamadır. Maliyeti düşük olup, fazla insan gücü gereksinimi duyulmaz. Hem evsel hem de endüstriyel atıksuları arıtmak için kullanılabilir. İthal ve pahalı malzemelerin kullanımını gerektirmeyen bu sistem bu yönüyle ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Tesisin işletilmesinde elektrik enerjisi gerektirmediği için enerji tasarrufu sağlanacaktır. Bu avantajlarının yanında doğal kaynaklarımız korunmuş olacak, çevre ve insan sağlığını tehdit eden birçok etken devre dışı bırakılacaktır [80]. Ülkemizde Ankara ve İzmir’den sonra Adana, Mersin, Manisa gibi illerimizin köylerinde doğal arıtma sistemi uygulanan tesislerin yapılmasına hız verilmiştir.

Salur Atıksu Arıtma Tesisi'nde atıksular bitkiler yardımıyla doğal olarak arıtılmakta olup çıkış suyu tarımsal sulamada kullanılmaktadır.

“Doğal Arıtma” yönteminin giriş ve çıkış değerleri karşılaştırıldığında ortalama arıtma verimleri;

AKM : % 82,

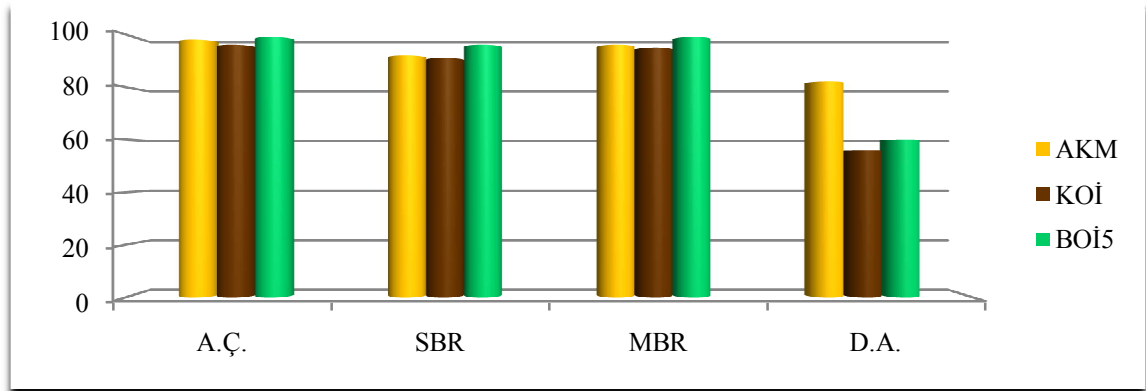
KOİ : % 56,

BOİ₅ : % 60

olarak hesaplanmıştır.

Doğal arıtma sisteminde sucul bitkiler kullanılmaktadır. Bu bitkiler, atıksu içerisindeki mikroorganizmaları kendisine doğru çekmektedir. Mikroorganizmaların ve sudaki diğer mikropların bitkilerin etrafında toplanması sonrasında atıksular rahatça doğaya salınmaktadır. Evsel nitelikli atıksular ile fazla kirlilik yükü taşımayan endüstriyel nitelikli atıksular doğal arıtma yöntemi sayesinde tekrar geri kullanılabilir [56]. İyi kalitede bir çıkış suyu elde edilmesi için ise kimyasal ve biyolojik arıtma teknolojilerinin de sisteme dahil edilmesi gerekmektedir. Doğal arıtma yöntemi atıksuların arıtılmasında işletilmesi zor olmayan, fazla maliyet ve enerji gerektirmeyen bir yöntem olduğundan şimdilik teknolojik ilaveler yapılması düşünülmemektedir.

Analiz sonuçlarına göre; Kayseri ilinde atıksuların arıtılmasında uygulanan arıtma yöntemlerinin verim değerleri Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Arıtma yöntemleri verim değerleri, yüzde (%) olarak [56]

İnsanlığın ilk yıllarında atıksuların yaşam alanlarından uzaklaştırılması düşüncesi hakimdi. İlerleyen yıllarda atıkları sadece yaşam alanlarından uzaklaştırma ile sorunun çözülmediği anlaşıldı. Çünkü bu atıklar çevreyi ve su kaynaklarını kirletmeye devam ediyordu. Böylece atıksuların alıcı ortama arıtıldıktan sonra salınması çalışmaları hız kazandı. Doğal arıtma ile başlayan süreç fiziksel arıtma, anaerobik arıtma, ileri arıtma, membran sistemleri ve ileri oksidasyon sistemleri ile devam etti. Günümüzde ise atıksuları daha kaliteli arıtacak sistemlerin arayışına devam edilmektedir [37]. Atıksuların geri kazanımındaki teknoloji gereksinimi, suyun kullanım amacı ile ilişkilidir. Atıksular yeşil alan sulamasında kullanılacak ise iyi bir şekilde dezenfekte edilmiş biyolojik arıtma çıkışı gerekir. Doğrudan geri kazanım söz konusu ise membran teknolojileri ve ileri oksidasyon gibi ileri arıtma yöntemleri gerekir [56].

Önceki çalışmalarda atıksu arıtma sistemlerinin karşılaştırılması daha çok maliyet üzerine olmuştur. Tuna (1995), tesislerdeki maliyeti debiye göre değerlendirmiş; küçük debilerde arazide arıtma, büyük debiye sahip tesislerde ise damlatmalı filtre yöntemi kullanılmasını önermiştir. Kayseri’de Develi ilçesinde “Damlatmalı Filtre” yöntemi ile arıtma yapılan tesis, planlama hatasından dolayı uzun süreli hizmet verememiş, işletim sorunlarının ve maliyetin artışından dolayı kapatılmıştır. Arazide arıtma uygulamaları ise küçük yerleşim yerlerinde etkili biçimde uygulanmaktadır.

Yüceer ve Dulkadiroğlu (2001), atıksuların arıtılmasında yaygın olarak kullanılan aktif çamur yöntemi üzerine araştırma yapmışlar; uygulama aşamasında kişi başına düşen inşaat maliyetinin nüfus artışına bağlı olarak azaldığını belirlemişlerdir. Kayseri ilindeki hızlı nüfus artışı dikkate alındığında merkezi arıtmada “Aktif Çamur” yöntemi kullanılması maliyet açısından uygun bir tercihtir. Tesis, olası nüfus artışına göre kapasite artırımı yapabilmektedir. Nüfus artışına bağlı olarak maliyet de azalmaktadır.

Arslan-Alaton ve arkadaşları (2005), Türkiye’deki mevcut atıksu arıtma tesislerinin durumlarını ortaya koydukları çalışmalarında yeterli arıtma kalitesine ulaşılmasında sorunlar yaşandığını belirtmişlerdir. Bunun temel nedeni olarak optimum yöntemin uygulanmamasını işaret etmişlerdir. Bu bakımdan membran arıtma sistemi insanların kalite beklentilerini karşılayacak bir yöntem olarak değerlendirilmiştir.

Kayseri ilinde atıksu yönetim planlaması içerisinde atıksuların bölge içerisinde toplanıp merkezi arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra deşarj edilmesi ve il merkezindeki endüstrilerde Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği ve KASKİ ön arıtma standartlarına göre arıtılarak mevcut sisteme deşarj etme gerekliliği yer almalıdır [91]. Arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımında, kullanım amacının gerektirdiği su kalitesi kriterlerinin (SKKY Teknik Usuller Tebliği) sağlanması önem taşımaktadır [48].

Tesislerden elde edilen verilere göre, membran bioreaktör yöntemi diğer atıksu arıtma yöntemlerine nazaran optimum yöntem olarak ön plana çıkmıştır. Bu yöntemin uygulandığı arıtma tesislerinde arıtılan suyun ileride içme suyu olarak kullanılabilir kalitede olabileceği düşünölmektedir.

Gelecekte su sıkıntısı çekmeye aday bir öлке olarak Türkiye, atıksuların geri kullanılmasını yaygınlaştırmalı ve su kaynaklarının yok olmasının önüne geçmelidir. Bu itibarla membran bioreaktör yöntemi alanındaki teknolojik gelişmelere hız verilmeli, yöntemin maliyeti düşürölmeli ve kullanım alanı daha da genişletilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”, 31/12/2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete.
2. Eroğlu, Prof. Dr. V., “Atıksuların Tasfiyesi”, *Su Vakfı Yayınları*, İstanbul, 2002.
3. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/AtikSular.pdf
4. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, “Atıksu Arıtımı Eylem Planı (2008-2012)”
5. <http://www.dsi.gov.tr>
6. <http://web.deu.edu.tr>
7. Muslu, Y., “Atık Suların Arıtılması”, Cilt-1, *İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası*, İstanbul, 1996.
8. Tzanakakis, V.E., Paranychianaki, N.V. and Angelakis, A.N., “Soil as a Wastewater Treatment System: Historical Development”, *Water Science & Technology: Water Supply*, IWA Publishing, pp. 67-75, 2007.
9. Lofrano, G., Brown, J., “Wastewater Management Through the Ages: A History of Mankind”, *University of Salerno, Department of Civil Engineering, via Ponte don Melillo, Fisciano (SA)*, Italy, p. 11, 2009.
10. Rebhun, M. and Galil, N., “Wastewater Treatment Technologies”, *The Management of Hazardous Substances in the Environment, Elsevier Applied Science*, London, New York, pp. 84–91, 1990.
11. Muslu, Y., “Su ve Atıksu Teknolojisi”, Üçüncü Baskı, *Seç Yayın Dağıtım*, İstanbul, 2000.
12. Silverstein, J., “Civil, Environmental & Architectural Engineering Department”, *Colorado University*, Colorado, USA, p. 4, 2001.
13. Burian, S.J., Nix, S.J., Pitt, R.E., and Durrans, S.R., “Urban Wastewater Management in the United States: Past, Present, and Future”, *Journal of Urban Technology*, USA, pp. 33-62, 2000.
14. Cooper, P. F., “Historical Aspects of Wastewater Treatment”, *IWA Publishing*, London, United Kingdom, p. 28, 2001.
15. Kahn, L., Hulls, J. and Aschwanden, P., “The Septic System Owner's Manual”, *Shelter Publications, Inc.*, Bolinas, USA, p. 179, 2006.

16. Vesilind, P.A., “Wastewater Treatment Plant Design”, *IWA Publishing*, London, United Kingdom, p. 512, 2003.
17. Kılıç, M.Y. ve Kestioğlu, K., “Endüstriyel Atık Suların Arıtımında İleri Oksidasyon Proseslerinin Uygulanabilirliğinin Araştırılması”, *Uludağ Ün. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt-13, sayı-1, Bursa, 2008.
18. Eremektar, G., Tanık, A., Övez, S., Orhon, D., Arslan Alaton, İ. ve Gürel, M., “Türkiye’de Doğal Arıtma Uygulamaları ve Projeleri”, *Arıtılmış Evsel Atık Suların Tarımsal Sulamada Kullanılması Çalıştayı, MEDAWARE Projesi*, Ankara, 2005.
19. Samsunlu, A., “Atık Suların Arıtılması”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 2011.
20. Toprak, H., “Aktif Çamur Sürecinin Tasarımı”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü*, İzmir, 2006.
21. Tchobanoglous, G. and Culp, G., “Aquaculture Systems for Wastewater Treatment: An Engineering Assessment U.S. EPA”, *Office of Water Program Operations*, Washington, pp. 13-42, 1980.
22. Demirörs, B., “Çukurova Bölgesinde Yapay Sulak Alan Teknolojisinin Kırsal Alanda Kullanımının Araştırılması”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 76, Adana, 2006.
23. Boutin, C., Liénard, A., and Esser, D., “Development of a New Generation of Reed–Bed Filters in France: First Results”, *Water Science and Tech.*, pp. 315-322, 1997.
24. Öztürk, İ., Timur, H., ve Koşkan, U., “Atık Su Arıtımının Esasları”, *Orman ve Su İşleri Bakanlığı*, s. 459, Ankara, 2005.
25. Öztürk, İ., “Anaerobik Biyoteknoloji”, *Su Vakfı Yayınları*, İstanbul, 1999.
26. Muslu, Y., “Atık Suların Arıtılması”, 1. Baskı, *İTÜ Matbaası*, İstanbul, 1994.
27. Debik, E., Manav, N., ve Coşkun, T., “Biyolojik Temel İşlemler Ders Notları”, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 2008.
28. Türker, M., “Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyogaz Üretimi; Dünya’da ve Türkiye’de Eğilimler”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES’2008)*, ss. 305-312, İstanbul, 2008.
29. Türker, M., “Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyoenerji Üretimi”, *Çevkor Vakfı Yayınları*, İzmir, s. 260, 2008.

30. Özkan, Ü., “Tekstil Endüstrisi Proses Suyu Hazırlanmasında Membran Proseslerin Uygulanması”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, s. 142, İstanbul, 2007.
31. Taşyıcı, S., “Batık Membran Sistemleri İle İçme Suyu Arıtımı: Membran Tıkanıklığını Azaltmak İçin Farklı Yöntemlerin Kullanılması”, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, s. 179, İstanbul, 2009.
32. Droste, L., “Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment”, *Michigan University Publications*, USA, p. 800, 1997.
33. Crittenden, C., Trussell, R., Hand, W., Howe, J., and Tchobanocloud, G., “Water Treatment”, *John Wiley & Sons Inc.*, Canada, p. 1906, 2012.
34. Türker, M., “Anaerobik Biyoteknoloji: Türkiye ve Dünya’daki Eğilimler”, 2. *Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu*, ss. 228-236, Ankara, 2003.
35. Aslan, M., “Anaerobik Batık Membran Bioreaktörde Membran Modül Geometrisi ve Biyogaz Geri Devrinin Membran Kirlenmesine Etkisi”, *Fırat Ün. Mühendislik Fak. Çevre Müh. Anabilim Dalı, Doktora Tezi*, s. 132, Elazığ, 2012.
36. Kitiş, M., Köseoğlu, H., Gül, N. ve Ekinci, F.Y., “Atık Su Arıtımı ve Geri Kazanımında Membran Bioreaktörleri”, *V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, Ankara, 2003.
37. Yıldız, S., Namal, O.Ö. ve Çekim, M., “Atık Su Arıtma Teknolojilerindeki Tarihsel Gelişmeler”, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c-1, 2013.
38. <http://www.tuik.gov.tr>
39. Dikmen, Ç., Saraçoğlu, E., Durucan, Z., Durak, S. ve Sarıoğlu, K., “Türkiye Çevre Durum Raporu”, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin Denetim Genel Müdürlüğü, Çevre Envanteri ve Bilgi Yönetimi Daire Bşk.* s. 356, Ankara, 2011.
40. Avrupa Birliği Çevre Uyum Stratejisi (UÇES) (2007-2023), *Orman ve Su İşleri Bakanlığı*, s. 113, Ankara, 2006.
41. TÜBİTAK Ulusal Su Ar-Ge ve Yenilik Stratejisi, *TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Dairesi Başkanlığı*, s. 35, Ankara, 2011.
42. <http://www.suyonetimi.ormansu.gov.tr>
43. Arceivala, Soli J., *Wastewater Treatment For Pollution Control*, 2002.

44. <http://www.sakarya-saski.gov.tr>
45. <http://www.asat.gov.tr>
46. <http://www.izsu.gov.tr>
47. <http://www.muski.gov.tr>
48. <http://www.ormansu.gov.tr>
49. Azman, H. E., “Evsel Atıksuların Arıtılmasında Arıtma Verimi – Enerji İlişkisinin İncelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, Adana, 2005.
50. <http://www.erkurum.bel.tr>
51. <http://www.meski.gov.tr>
52. <http://www.iski.gov.tr>
53. <http://www.cevre.club.fatih.edu.tr/webyeni/konfreweb/konu17.pdf>
54. Metcalf & Eddy, “Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse”, *McGraw-Hill International Editions*, 1991.
55. <http://www.selcuk.edu.tr/dosyalar/files/046016/Adsorpsiyon.pdf>
56. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, “Atık Su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği”, 20/03/2010 tarih ve 27527 sayılı Resmi Gazete.
57. <http://www.kayseri.gov.tr>
58. <http://www.kaski.gov.tr>
59. <http://www.mgm.gov.tr>
60. http://www.csb.gov.tr/dosyalar/images/file/Erdogan_Topcu.ppt
61. <http://www.ziyaguney.com/dosyalar/dokumanlar/dogalaritmaprojesi.doc>
62. Veiz, C.J., “How Much Should Sewage Treatment Cost?”, *Engineering News Record*, 1948.
63. Diachishin, A.N., “New Guide to Sewage Plant Cost”, *Engineering News Record*, 1957.
64. Logan, J.A., Lynn, W.R. and Charnes, A., “System Analysis for Planning Wastewater Treatment Plants”, 1962.
65. Robert, L.M., “Cost and Manpower For Municipal Wastewater Treatment Plant Operation and Maintenance (1965-1968)”, *Journal of WPCF.*, 1970.
66. Smith, R., “Cost of Conventional and Advanced Treatment of Waste Water”, *Jour. W., Poll. Cont. Fed.*, pp. 1546-1574, 1973.

67. Tihasky, D. P., "Historical Development of Water Pollution Control Cost Functions", *Journal of WPCF*, pp. 813-833, 1974.
68. Uslu, H., "Aritma Sistemlerinin Türkiye'deki Maliyetleri", *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 1984.
69. Tuna, M., "Atıksu Aritma Tesisleri Maliyet İndeksi ve Debi-Maliyet İlişkileri", *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 1995.
70. Yıldırım, A. K., "Evsel Atık Su Aritma Tesislerinde Debi-Maliyet İlişkileri", *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Adana, 2006.
71. Karlsson, I., "Environmental and Energy Efficiency of Different Sewage Treatment Processes", *Water Science and Technology*, pp. 3-4, 203-211, 1996.
72. Boller, M., "Small Wastewater Treatment Plants-a Challenge to Wastewater Engineers", *Water Science and Technology*, pp. 1-12, 35, 1997.
73. Değirmenci, M., Altın, A. ve Altın, S., "Atıksu Miktarı ve BOİ₅ Kirlilik Yükünün, Havalandırma Havuzu İlk Yatırım ve Enerji Maliyetlerine Olan Etkilerinin İncelenmesi", *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, ss. 1-12, 2000.
74. Yüceer, A. ve Dulkadiroğlu, H., "Aktif Çamur Atıksu Aritma Tesislerinde Maliyet Analizi", *Su Kirliliği Kontrolü Dergisi*, cilt-11, ss. 33-42, 2001.
75. Nurizzo, C., Bonomo, L. and Malpei, F., "Some Economic Considerations on Wastewater Reclamation for İrrigation with Reference to the Italian Situation", *Water Science Technology*, pp. 10, 43, 75-81, 2001.
76. Von Sperling, M., Von Sperling, E. and Dantas, A.P., "Relationship Between Trophic Status and Morphological Variables of Lakes and Reservoirs", *3rd IWA World Water Congress, International Water Association*, Melbourne, 2002.
77. Eker, A. ve Çiner, F., "Sivas Organize Sanayi Bölgesi'nde Atıksu Karakterizasyonu ve Aritma Alternatifleri", *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, cilt-6, sayı-3, 2004.
78. Arslan-Alaton, İ., Gürel, M., Eremektar, G., Övez, S., Tanık, A. ve Orhon, D., "Türkiye'de Sürdürülebilir Atıksu Yönetimi: Mevcut Durum, Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri", *Aritılmış Atıksuların Tarımsal Sulamada Kullanılması Çalıştayı*, Ankara, 2005.

79. Arslan-Alaton, İ., Gürel, M., İskender, G., Övez, S., Tanık, A. ve Orhon, D., “Reuse Potential of Urban Wastewater Treatment Plant Effluents In Turkey : A Case Study on Selected Plants”, *Deselination 215*, ss. 159-165, 2007.
80. Torun, F., “Türkiye’deki Kentsel Atık Su Arıtma Tesisleri Envanteri”, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Erzurum, 2011.
81. Anonymous, N., “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, *APHA, AWWA, WEF*, Washington, DC., 1998.
82. Boyd, C.E., and Tucker, C.S., “Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture”, *Alabama Agricultural Experiment Station*, Auburn University, Alabama, USA, 1992.
83. <http://www.maski.gov.tr>
84. Umble, A.K. and Ketchum, A.L., “Strategy For Coupling Municipal Wastewater Treatment Using the Sequencing Batch Reactor With Effluent Nutrient Recovery Through Aquaculture”, *Wat. Sci. Tech.*, pp. 177-184, 1997.
85. Uygur, A., Kargı, F. and Başkaya, H.S., “Ardışık Zamanlı Kesikli Biyo-Reaktörde Biyolojik Nutrient Gideriminde Hidrolik Alıkonma Süresinin Optimizasyonu”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt-9, sayı-1, 2004.
86. Gezer, H. ve İleri, R., “Endüstriyel Atıksuların Ardışık Kesikli Reaktörler ile Arıtılması ve Kinetiği”, *A.Ü. Fen Bilimleri Enstitü Dergisi*, Cilt-1, 2004.
87. Wilderer, P.A., “Sequencing Batch Technology For Biological Treatment of Industrial Wastewaters, New Developments in Industrial Wastewater Treatment”, *Kluwer Academic Publishers*, Netherlands, pp. 111-125, 1991.
88. Guo, W., Vigneswaran, S., Ngo, H-H., Xing, W. and Goteti, P., “Comparison of the Performance of Submerged Membrane Bioreactor and Submerged Membrane Adsorption Bioreactor”, *Bioresource Technology*, pp. 99, 1012-1017, 2008.
89. Gürel, L. ve Büyükgüngör, H., “Atıksu Arıtımında Membran Bioreaktörler”, *İTÜ Dergisi*, cilt-21, sayı-1, ss. 13-23, 2011.
90. <http://www.muğla.bel.tr>
91. Özkan, O., “Kayseri Şehri Atık Su Kirliliğine Genel Bir Bakış”, *2. Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu*, ss. 85-90, Adana, 1999.

ÖZGEÇMİŞ

Naki KAVAK, 21/01/1972 tarihinde Nevşehir ili Hacıbektas ilçesinde doğdu. İlkokulu ve ortaokulu Hacıbektas ilçesi Aşağıbarak Köyü'nde, lise öğrenimini Kayseri Atatürk Lisesi'nde tamamladı. 1993 yılında Niğde Üniversitesi Eğitim Fakültesi'nden mezun oldu. Milli Eğitim Bakanlığı'na bağlı okul ve kurumlarda öğretmenlik, müdür yardımcılığı ve müdürlük yaptı. Halen Kayseri ili Kocasinan ilçesi Şehit Üsteğmen Mustafa Şimşek Ortaokulu'nda okul müdürü olarak görevini sürdürmektedir. Yüksek lisans çalışmasını Nevşehir Hacıbektas Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Biyoloji Ana Bilim Dalında yapmıştır. Evli ve iki çocuk sahibidir.

Adres : Şehit Üsteğmen Mustafa Şimşek Ortaokulu Kocasinan / Kayseri
Telefon : 0 352 331 52 35
Belgegeçer : 0 352 332 33 40
e-posta : n-kavak@hotmail.com