EVSEL ATIKSULARIN SULAMA AMAÇLI YENİDEN KULLANILMASI

Keziban FESLİYEN

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EVSEL ATIKSULARIN SULAMA AMAÇLI YENİDEN KULLANILMASI

Keziban FESLİYEN

Prof. Dr. Ufuk ALKAN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2017

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Keziban FESLİYEN tarafından hazırlanan "Evsel Atıksuların Sulama Amaçlı Kullanılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/~~oy çok~~ Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ufuk ALKAN

Başkan :	Prof. Dr. Ufuk ALKAN Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Yrd. Doc. Dr. Berrak EROL NALBUR Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Yrd. Doc. Dr. Aşkın BİRGÜL Bursa Teknik Ü. Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali BAYRAM
Enstitü Müdürü
31../1/..2017

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

../../….

İmza

Keziban FESLİYEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EVSEL ATIKSULARIN SULAMA AMAÇLI YENİDEN KULLANILMASI

Keziban FESLİYEN

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ufuk ALKAN

Günümüzde, kıtlıklar nedeniyle su kaynaklarına yeni alternatifler bulmak için sürekli çalışmalar yapılmaktadır. Bu alternatiflerden biri, arıtılmış atıksuyun sulama amacıyla kullanılmasıdır. Bu çalışmada, evsel atıksuyun sulama amacıyla yeniden kullanılması ve sulamada dikkate alınması gereken parametreler incelenmiştir. Türkiye'nin "Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği" nde yer alan çizelgeler incelenmiş ve gelişmiş ülkelerdeki yaklaşımlar tartışılmıştır. Evsel atıksuyun tipik özellikleri incelenmiş ve arıtma yöntemleri avantaj ve dezavantajlarıyla birlikte açıklanmıştır. Bu tez kapsamında septik tanklar detaylı olarak araştırılmıştır. Septik tanklar, atıksulardan sulama suyu üretiminde kullanımı ekonomik, dizaynı basit ve işletimi kolay olan sistemlerdir. Septik tank tipleri ve uygulamaları incelenmiş, örnek bir septik tank dizaynı yapılmıştır. Atıksuların yeniden kullanımında tercih edilen prosesler kapsamında yer alan UV ile dezenfeksiyon işlemi detaylı olarak açıklanmıştır. Sonuç olarak, evsel atıksuların sulama amacıyla kullanımı kapsamında arıtma prosesleri, yönetmelikler, Türkiye ve Dünyadaki uygulamalar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıtılmış Atıksu, Dezenfeksiyon, Septik Tank, Sulama, Yeniden Kullanım

2017, xiv + 259 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

REUSE OF DOMESTIC WASTEWATER FOR IRRIGATIONAL PURPOSES

Keziban FESLIYEN

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ufuk ALKAN

Nowadays, studies are being carried out continuously to find out new alternatives for water resources because of shortages. One of these alternatives is the usage of treated wastewater for irrigation purposes. In this study, the reuse of domestic wastewater for irrigational purposes and parameters to be considered in irrigation were examined. The charts in the "Notification on technical medhods of wastewater treatment plants" of Turkey were examined and implimentations in developed countries were discussed. Typical characteristics of domestic wastewater were examined and treatment methods were described with their advantages and disadvantages. In this thesis, septic tanks were researched in detail. Septic tanks are economic, basic designed, easy to use equipments in process of irrigation water production from wastewater. Septic tank types and their applications were examined and a septic tank design was prepared. Disinfection by UV method which is considered as a process of irrigation water production has been explained in detail. In conclusion, treatment proceses, regulations, applications in Turkey and the World were evaluated within the context of the use of domestic wastewater for irrigation purposes.

Key words: Disinfection, Irrigation, Reuse, Septic Tank, Treated Wastewater

2017, xiv + 259 pages

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi ve önerilerini paylaşan Çevre Bilimleri Anabilim Dalı Başkanı danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ufuk ALKAN'a,

Yüksek lisans sürecinde tecrübeleriyle bana yardımcı olan Araş. Gör. Dr. Burcu ŞENGÜL TOPAÇ'a,

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme,

Gösterdiği sabır, anlayış ve destekleri için eşim Ahmet FESLİYEN'e,

Çok teşekkür ederim.

Keziban FESLİYEN

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
1. GİRİŞ 1
2. EVSEL ATIKSULARIN ÖZELLİKLERİ 4
2.1. Fiziksel Özellikler 4
2.2. Kimyasal Özellikler 5
2.3. Mikrobiyal Özellikler 6
2.4. Atıksu Karakterizasyonunda Başlıca Parametreler 7
2.5. Evsel Atıksuların Sınıflandırılması 9
3. ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMININ ÖNEMİ VE YENİDEN KULLANIM ALANLARI 18
3.1. Kentsel Amaçlı Yeniden Kullanım 18
3.2. Endüstriyel Amaçlı Yeniden Kullanım 19
3.3. Çevre ve Rekreasyon Amaçlı Yeniden Kullanım 19
3.4. Yeraltı Suyunun Beslenmesi Amaçlı Yeniden Kullanım 19
3.5. Sulama Amaçlı Yeniden Kullanım 20
4. EVSEL ATIKSULARIN SULAMADA KULLANIMI 22
4.1. Evsel Atıksuların Sulama Suları Olarak Kullanılmasında Göz Önüne Alınması Gereken Parametreler 26
4.1.1. Toplam tuz konsantrasyonu 26
4.1.2. Sodyum adsorpsiyon oranı 28
4.1.3. Özgül iyon toksisitesi 30
4.1.4. Eser elementler ve nütrientler 30
4.1.5. Mikrobiyolojik kalite 32
4.2. Evsel Atıksuların Sulamada Kullanılması İle İlgili Yasal Düzenlemeler 33
4.2.1. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 2010 34
4.2.2. US EPA Rehberi, 2004 44
4.2.2.1. Florida Standardı 45
4.2.2.2. Kaliforniya Standardı 47
4.2.3. Avrupa Birliği Ülkelerinde Yeniden Kullanım Standartları 51

4.2.3.1. İtalya Standardı 56
4.2.4. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) Standartları 57
4.3. Atıksuların Yeniden Kullanımının Halk Sağlığı ve Toprak Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi 63
4.3.1. Arıtılmış atıksuların kullanılmasından kaynaklanan potansiyel riskler 64
4.3.2. Atıksuların toprak kalitesine etkileri 73
5. EVSEL ATIKSULARIN ARITIMI İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER 77
5.1. Fiziksel Arıtma Yöntemleri 78
5.1.1. Adsorpsiyon 81
5.1.1.1. Septik sistemlerde kullanılan ortam filtreleri 83
5.1.1.2. Zeolitler 87
5.2. Kimyasal Arıtma Yöntemleri 89
5.3. Biyolojik Arıtma Yöntemleri 90
5.3.1. Stabilizasyon havuzları 92
5.3.2. Damlatmalı filtreler 96
5.3.3. Aktif çamur sistemleri 100
5.3.4. Havalandırmalı lagünler 106
5.3.5. Biyodisk 110
5.3.6. Yapay sulak alan sistemleri 112
5.3.6.1. Yapay sulak alanlarda kirlilik giderimi 118
5.3.7. Septik sistemler 121
5.4. İleri Arıtma Yöntemleri 123
5.5. Dezenfeksiyon Yöntemleri 130
5.5.1. UV ile dezenfeksiyon 134
5.5.1.1. UV Radyasyonu Kimyası 135
5.5.1.2. UV dezenfeksiyonu proses değişkenleri 138
5.5.1.3. Mikrobiyal inaktivasyon mekanizmaları 141
5.5.1.4. UV radyasyonu üretimi 143
5.5.1.5. UV dezenfeksiyon teknolojileri 144
5.5.1.6. Atıksuların yeniden kullanımında tercih edilen uv dezenfeksiyon konfigürasyonları 148
5.5.1.7. UV Reaktör Dizaynı 149
5.5.1.8. UV radyasyonu dezenfeksiyon etkinliği 151
5.5.1.9. UV dezenfeksiyon sistemi işletim esasları 154
5.6. Arıtma yöntemlerinin sulama suyu üretimi açısından değerlendirilmesi 155

6. SEPTİK TANKLAR KULLANILARAK EVSEL ATIKSULARDAN SULAMA SUYU ÜRETİMİ 162
6.1. Septik Tank Dizaynı ve Üretim Teknolojisi 162
6.1.1. Septik tanklar 163
6.1.2. Septik tank dizayn örneği 169
6.1.3.Septik tankların dağıtım sistemi 174
6.1.4. Septik çamur transfer istasyonu 175
6.1.5. Septik tankların işletimi ve bakımı 177
6.2.Septik Tanklarda Gerçekleşen Biyolojik İşlemler 178
6.2.1.Toprak infiltrasyon sistemi 180
6.2.2.Mikroroganizmaların rolü 184
6.2.3.Biyofilm oluşumu 185
6.3. Zemin Türüne Bağlı Olarak Septik Sistemlerin Sınıflandırılması 188
6.3.1. Sızdırma yatakları 188
6.3.2.Çok bölmeli septik tanklar 198
6.3.3 Tümsek septik sistemler 198
6.3.4.Yavaş kum filtreleri 200
6.3.5.Uzun havalandırmalı paket arıtma sistemleri 202
6.3.6.Membran biyoreaktör sistemleri 203
6.4. Septik Tanklarda Giderilen Maddeler ve Yeniden Kullanım Uygulamaları 205
6.4.1.Yağ giderimi 205
6.4.2.Nütrient giderimi 208
6.4.3.Yüzey aktif maddeler 210
6.4.4.Peyzaj sulama sistemleri yeniden kullanım uygulamaları 211
7. EVSEL ATIKSULARIN SULAMADA KULLANIMININ TÜRKİYE VE DÜNYADAKİ UYGULAMALARI 216
7.1. Atıksuların Sulamada Kullanımına Yönelik Ülkemizde Yapılan Çalışmalar 219
7.2. Atıksuların Sulamada Kullanımına Yönelik Diğer Ülkelerde Yapılan Çalışmalar 224
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 239
KAYNAKLAR 245
ÖZGEÇMİŞ 259

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AÇ	Aktif Çamur
A^2O	Anaerobik-Anoksik-Oksik
AAÇB	Anaerobik Çamur Battaniyesi
AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
AKM	Askıda Katı Madde
BNR	Biyolojik Nütrient Giderimi
$BOİ_5$	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
EC	Elektriksel İletkenlik
ED	Elektrodiyaliz
EEA	Avrupa Çevre Ajansı
EPA	Çevre Koruma Ajansı
HÇYR	Havasız Çamur Yataklı Reaktör
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
L	Litre
m^3	metreküp
MBR	Membran Biyoreaktör
MF	Mikrofiltrasyon
mg	miligram
N	Azot
NF	Nanofiltrasyon
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
P	Fosfor
RO	Reverse (Ters) Osmoz
RSC	Kalıcı Sodyum Karbonat

SAR	Sodyum Adsorbsiyon Oranı
TÇM	Toplam Çözünmüş Madde
TeOİ	Teorik Oksijen İhtiyacı
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TOİ	Toplam Oksijen İhtiyacı
TOK	Toplam Organik Karbon
TP	Toplam Fosfor
TUİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
UCT	University of Capetown Type
UF	Ultrafiltrasyon
UV	Ultraviyole
VIP	Virginia Initiative Plant
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Atıksularda mevcut katı maddelerin sınıflandırılması 4
Şekil 2.2. Organik madde konsantrasyonunu gösteren parametrelerin birbirleriyle karşılaştırılması 8
Şekil 4.1. SAR ve EC'nin infiltrasyon üzerindeki etkisi 29
Şekil 4.2. Avrupa ülkelerinde su kullanım oranları 52
Şekil 5.1. Katı faz üzerinde adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemleri 83
Şekil 5.2. Geri dönüşümlü kum filtrenin kullanıldığı septik sistem 84
Şekil 5.3. Zeolitin kristal yapısı 87
Şekil 5.4. Tipik bir fakültatif havuzda atıksu arıtımı 93
Şekil 5.5. Stabilizasyon havuz sistemleri için bazı tipik yerleşim biçimleri 95
Şekil 5.6. Damlatmalı filtre akım şeması 96
Şekil 5.7. Damlatmalı filtre sisteminin akım diyagramı 97
Şekil 5.8. Bir damlatmalı filtrenin perspektif görünüşü ve kesiti 99
Şekil 5.9. Klasik bir aktif çamur sisteminin akım diyagramı 101
Şekil 5.10. Piston akımlı aktif çamur sistemi 102
Şekil 5.11. Kademeli beslemeli aktif çamur sistemi 103
Şekil 5.12. Temas stabilizasyonlu aktif çamur sistemi 103
Şekil 5.13. Uzun havalandırmalı sistemin akım diyagramı 104
Şekil 5.14. Oksidasyon Hendeği 104
Şekil 5.15. Mekanik havalandırmalı bir fakültatif lagün 107
Şekil 5.16. Kesintisiz akışlı mekanik havalandırmalı lagün 108
Şekil 5.17. Tipik biyodisk 111
Şekil 5.18. Serbest su yüzeyli yapay sulak alanlarda gerçekleşen etkin arıtım mekanizmaları 113
Şekil 5.19. Yapay sulak alanlarda bitki kök bölgesinde oluşabilecek etkileşimler 114
Şekil 5.20. Yüzey akışlı yapay sulak alan 116
Şekil 5.21. Yüzey altı akışlı yapay sulak alan 117
Şekil 5.22. Yüzey altı akışlı sulak alan sitemleri 117
Şekil 5.23. Yüzey akışlı sulak alanlarda AKM giderim mekanizmaları 119
Şekil 5.24. Tipik foseptik 122
Şekil 5.25. Önde denitrifikasyonlu aktif çamur sistemi 123
Şekil 5.26. Bardenpho tipi aktif çamur sistemi 124
Şekil 5.27. Simültane nitrifikasyon denitrifikasyon tipi aktif çamur sistemi 124
Şekil 5.28. A^2O tipi aktif çamur sistemi 125
Şekil 5.29. UCT (University of Capetown) tipi aktif çamur sistemi 126
Şekil 5.30. VIP (Virginia Initiative plant) tipi aktif çamur sistemi 126
Şekil 5.31. Modifiye Bardenpho tipi aktif çamur sistemi sistemi 127
Şekil 5.32. Biyolojik fosfor gideren simültane nitrifikasyon denitrifikasyon tipi aktif çamur sistemi 127

Şekil 5.33. Peyzaj sulama için geliştirilen UV dezenfeksiyon ünitesi akış diyagramı .134
Şekil 5.34. UV dezenfeksiyon şeması 135
Şekil 5.35. Elektromanyetik spektrum içindeki UV ışınları 136
Şekil 5.36. UV dezenfeksiyon verimini etkileyen mikroorganizma-partikül ilişkileri. 140
Şekil 5.37. UV radyasyonu ile DNA yapısının bozulup inaktivasyonun gerçekleşmesi 142
Şekil 5.38. UV dezenfeksiyon teknolojileri ve konfigürasyonları.....145
Şekil 5.39. a-Açık kanal, yatay ve akıya paralel UV lambalı reaktörler b-Açık kanal, düşey ve akıya dik UV lambalı reaktörler.....145
Şekil 5.40. Kapalı kanal, yatay ve akıya paralel UV lambalı reaktörler.....146
Şekil 5.41. Kapalı kanal UV sistemi.....146
Şekil 5.42. Teflon tüp UV reaktörü 147
Şekil 5.43. a-boru içi UV reaktörü b-boru içi düz lambalı UV reaktörü 147
Şekil 5.44. Açık kanal UV sistemlerinin temel bileşenleri.....148
Şekil 5.45. Kapalı kanal UV sistemlerinin temel bileşenleri 149
Şekil 6.1. Septik tankın temel bileşenleri 162
Şekil 6.2. Septik tank şekli.....163
Şekil 6.3. Boru tipi giriş ve çıkış yapısı 164
Şekil 6.4. Köpük tutucu levhalı giriş ve çıkış yapısı 164
Şekil 6.5. Statik yüklerin hesabında kullanılacak ölçüler 165
Şekil 6.6. Küçük septik tanklarda kullanılan detaylar 170
Şekil 6.7. Büyük septik tanklarda kullanılan detaylar 172
Şekil 6.8. Yerçekimi ile dağıtımın yapıldığı septik tank sistemi 174
Şekil 6.9. Septik çamurların transfer istasyonu 175
Şekil 6.10. Tipik tekil atıksu arıtma sistemi 179
Şekil 6.11. Atıksu arıtma sistemi arıtım kademeleri.....179
Şekil 6.12. Biyofilmin taramalı eletron fotoğrafı.....186
Şekil 6.13. Biyofilmin çalışma mekanizması 187
Şekil 6.14. Zemin gruplarına göre atıksu arıtma ve uzaklaştırma sistemleri.....188
Şekil 6.15. Sızdırma yataklarının yapısal tasarımı.....189
Şekil 6.16. Normal zeminlerde septik tank sonrası sızdırma çukuru ve sızdırma yatakları 193
Şekil 6.17. Normal zeminlerde sızdırma yataklarının beş değişik tasarımı.....194
Şekil 6.18. Alüvyonlu zeminlerde septik tank çıkışının havalı arıtma veya kesikli kum filtresi ile arıtılması ve nihai uzaklaştırması 195
Şekil 6.19. Alüvyonlu zeminlerde nihai uzaklaştırma alternatifleri 196
Şekil 6.20. Geçirimsiz zeminlerde nihai uzaklaştırma alternatifleri.....197
Şekil 6.21. Çift bölmeli septik tanklar 198
Şekil 6.22. Tümsek septik sistemin görünüşü.....199
Şekil 6.23. Tümsek septik sistemin yapısı.....199
Şekil 6.24. Yavaş kum filtreleri 200
Şekil 6.25. Yerinde arıtma olarak kullanılabilecek paket arıtma sistemleri 202

Şekil 6.26. Membran prosesleri ve por büyüklükleri.....204
Şekil 6.27 a Yağ tutucu tankının üstten görünüşü.....205
Şekil 6.27 b Yağ tutucu tankının yandan görünüşü.....206
Şekil 6.28. Tek kaynaklı yağ ayırma ünitesinin temel bileşenleri.....207
Şekil 6.29. Nütrient giderimi için proses akış diyagramı.....209
Şekil 6.30. Merkezi olmayan atıksu arıtma tesisleri için kullanılan tipik akış diyagramları.....212

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye' nin su kaynakları potansiyeli 1
Çizelge 2.1. Evsel atıksuyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenleri 4
Çizelge 2.2. Evsel atıksudaki mikroorganizmalar, adet/100 ml 6
Çizelge 2.3. Evsel atıksuların karakterizasyonu 9
Çizelge 2.4. Evsel atıksulardaki organik madde kompozisyonu 11
Çizelge 2.5. Evsel atıksulardaki kirleticilerin partikül boyutuna göre dağılımı 11
Çizelge 2.6. Atıksu bileşenleri 12
Çizelge 2.7. Çeşitli ülkelere ait konsantrasyon bazında yapılmış konvansiyonel atıksu karakterizasyonu 12
Çizelge 2.8. Çeşitli ülkelere ait konvansiyonel parametrelerin ölçümleri ve istatiksel değerlendirilmesi 13
Çizelge 2.9. Organik madde bazında atıksu karakterizasyonu 14
Çizelge 2.10. Nütrient bazında evsel atıksu karakterizasyonu 14
Çizelge 2.11. Metaller bazında evsel atıksu karakterizasyonu 15
Çizelge 2.12. Turistik bölgelere ait evsel atıksu karakterizasyonu 15
Çizelge 2.13. Türkiye'deki bazı şehir atıksularının karakterizasyonu 16
Çizelge 2.14. İstanbul'un evsel atıksu karakterizasyonu 17
Çizelge 3.1. Arıtılmış atıksu kullanım uygulamaları 21
Çizelge 4.1. Bitkilerin yapraklarına zarar veren klorür konsantrasyonları 30
Çizelge 4.2. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları 31
Çizelge 4.3. Geri kazanılmış atıksuda olabilecek nütrient seviyeleri 32
Çizelge 4.4. Atıksudan sulama yoluyla gelen patojenik organizmaların hastalık oluşturma etkileri ve epidemiyolojik özellikleri 33
Çizelge 4.5. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması 34
Çizelge 4.6. Sulama suyu kimyasal kalite kriterleri 37
Çizelge 4.7. Bitkilerin tuzluluğa olan hassaslıkları 38
Çizelge 4.8. Değişik bitkilerin sulama suyunda bulunan sodyuma 40
Çizelge 4.9. Bitkilerin yapraklarına zarar veren klorür konsantrasyonları 40
Çizelge 4.10. Bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri 41
Çizelge 4.11. Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları 43
Çizelge 4.12. Geri kazanılmış atıksuda olabilecek nütrient seviyeleri 43
Çizelge 4.13. Sulamada kullanılacak arıtılmış atıksu içeriklerinin limitleri 45
Çizelge 4.14. Sulamada kullanılacak arıtılmış atıksu bileşenlerinin limitleri 47
Çizelge 4.15. Florida ve Kaliforniya yeniden kullanım değerleri 49
Çizelge 4.16. Avrupa Birliği ülkelerinde yeniden kullanım uygulamaları, rehber ve standartlar 54
Çizelge 4.17. İtalya'da suların yeniden kullanılma mikrobiyolojik standartları 56

Çizelge 4.18. Arıtılmış atıksuların tarımda yeniden kullanılmasında önerilen mikrobiyolojik kalite rehberleri 57
Çizelge 4.19. Tarımda yeniden kullanımda önerilen mikrobiyolojik rehberler..... 60
Çizelge 4.20. Tarımda arıtılmış atıksu kullanımı WHO rehberleri 62
Çizelge 4.21. Atıksulardaki patojenler ve kimyasallar ile bağlantılı risk kaynakları 64
Çizelge 4.22. Su ve/veya arıtılmış atıksularla ilişkili olarak görülen hastalıklar..... 65
Çizelge 4.23. Atıksularla ilişkili olarak en yaygın görülen hastalık etmenleri ve neden oldukları hastalıklar..... 66
Çizelge 4.24. Sulamada atıksuların kullanılmasından kaynaklanan salgın hastalıkların incelenmesi sonucunda belirlenen sağlık riskleri..... 68
Çizelge 4.25. Atıksularda veya arıtılmış atıksularda bulunan ve toksisiteye neden olabilen kimyasallar 72
Çizelge 4.26. 20-30°C'de bitki yüzeyinde ve toprakta bazı dışkı kökenli patojenlerin hayatta kalış süreleri..... 74
Çizelge 4.27. Enterik bakterilerin toprak ortamında hayatta kalmalarını etkileyen etmenler..... 75
Çizelge 5.1. Atıksu arıtma tesisi temel işlemlerin fonksiyonları 77
Çizelge 5.2. Atıksu arıtmada kullanılan sorpsiyon ortamları 85
Çizelge 5.3. Doğal zeolitlerin tane iriliklerine göre kullanıldığı sektörler 88
Çizelge 5.4. Atıksu arıtımında kullanılan önemli biyolojik arıtma prosesleri..... 90
Çizelge 5.5. Havalı, havasız ve fakültatif stabilizasyon havuzları için tasarım parametreleri 94
Çizelge 5.6. Evsel atıksuların damlatmalı filtrelerle arıtımında tasarım kriterleri 97
Çizelge 5.7. Damlatmalı filtreler için tipik tasarım yükleri ve beklenen çıkış suyu kalitesi 98
Çizelge 5.8. Damlatmalı filtrede kullanılan dolgu malzemesinin özellikleri 100
Çizelge 5.9. Aktif çamur prosesleri için tasarım parametreleri 105
Çizelge 5.10. Damlatmalı filtreler ve aktif çamur sistemlerinin karşılaştırması 106
Çizelge 5.11. Evsel atıksuları arıtan faklı tipteki lagünlerin tasarım kriterleri..... 109
Çizelge 5.12. Döner biyodisk için tipik tasarım kriterleri 111
Çizelge 5.13. Yapay sulak alanlarda bulunan bitki tipleri ve arıtma prosesindeki fonksiyonları 114
Çizelge 5.14. Su bitkileri ile oluşturulan atık su arıtım sistemlerinde arıtım mekanizmaları..... 118
Çizelge 5.15. Biyolojik azot ve fosfor giderimi için önerilen temel tasarım parametreleri 128
Çizelge 5.16. Küçük atıksu debilerinde dezenfeksiyon için kullanılan dezenfektanlar 131
Çizelge 5.17. Klorlama, ozonlama ve UV ile dezenfeksiyonun, bakteri, protozoa ve virüslere olan etkisi 132
Çizelge 5.18. Klorlama, Ozonlama ve UV'nin atıksu dezenfeksiyonundaki üstünlükleri ve zayıf yönleri..... 133

Çizelge 5.19. Su kalitesi ve % transmisyon ilişkileri 137
Çizelge 5.20. Atıksu dezenfeksiyonu için kullanılan UV ışınlarını etkileyen atıksu bileşenleri 141
Çizelge 5.21. UV sistemlerin tipik dizayn parametreleri 150
Çizelge 5.22. Bazı su kaynaklı mikroorganizmaların inaktivasyonu için gerekli UV dozları 152
Çizelge 5.23. Farklı atıksularda toplam koliform dezenfeksiyon standartlarına ulaşmak için gerekli UV dozları 153
Çizelge 5.24. Çeşitli arıtma prosesleri ve giderim verimleri 155
Çizelge 5.25. Farklı atıksu arıtma metodlarında arıtım verimlerinin karşılaştırması 157
Çizelge 5.26. Atıksuyun yeniden kullanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler 158
Çizelge 5.27. Değişik arıtma sistemlerinin logaritmik miroorganizma giderme verimleri 159
Çizelge 5.28. Atıksuyun yeniden kullanım amacı ve uygulanabilecek arıtma sistemleri 160
Çizelge 5.29. Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler 161
Çizelge 5.30. Arıtılmış evsel atıksuların dezenfekte edilmeden sulamada kullanılıp kullanılamayacağı 161
Çizelge 6.1. Atıksu debisine bağlı tank hacimleri 163
Çizelge 6.2. Günlük debiye göre septik tank boyutları 170
Çizelge 6.3. Önerilen büyük tank boyutları 171
Çizelge 6.4. Evsel atıksular için kullanılan pik faktörleri 173
Çizelge 6.5. Sızdırma alanının belirlenmesi için önerilen hidrolik ve organik yükler 191
Çizelge 6.6. Septik tank ve yer altı kum filtresi çıkış değerleri 201
Çizelge 6.7. Yer altı kum filtresi giderim verimleri 202
Çizelge 6.8. Yerinde uzun havalandırma paket aktif çamur sistemleri için boyutlandırma kriterleri 203
Çizelge 6.9. Yerleşim yerlerinden septik tanka gelen atıksu bileşenleri 213
Çizelge 6.10. Merkezi olmayan atıksu arıtımı için kullanılan prosesler ve çeşitli kombinasyonlar kullanılarak elde edilen arıtma seviyeleri 214
Çizelge 7.1. İllere göre atıksuların yeniden kullanımı 223
Çizelge 7.2. 1994-2002 yılları arası Avrupa Birliği destekli kentsel atıksu yeniden kullanımı içerikli araştırma, teknoloji geliştirme ve uygulama projeleri 225

1. GİRİŞ

Dünyada ve Türkiye'de giderek artan su sıkıntısı ile birlikte alternatif su arayışları sonucu yeniden kullanım önem kazanmıştır. Gelişen geri kazanma teknolojileri de atıksuların tekrar kullanılmasını cazip hale getirmektedir. Artan su talebi ve yaşanan kuraklıklar nedeniyle, özellikle sulamada arıtılmış atıksuların kullanılması son derece önemli hale gelmiştir. Sulamada kullanılan su miktarının toplam su tüketimindeki oranı oldukça yüksektir. Bu nedenle arıtılmış atıksuların sulama amaçlı kullanımı, iyi kaliteli suların sulama dışındaki kullanım amaçları için korunmasını sağlamaktadır.

Türkiye, kişi başına düşen 1.519 m³/yıl'lık su miktarı ile "su sıkıntısı çeken" bir ülke kabul edilmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK), Türkiye nüfusunun 2030 yılında 100 milyona ulaşacağını öngörmektedir. Bu durumda, kişi başına düşen su miktarının 1.120 m³/yıl olması beklenmektedir. Ülkemizin su kaynakları potansiyeli Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Türkiye' nin su kaynakları potansiyeli (Anonim 2012a)

Yıllık ortalama yağış	643 mm/yıl
Türkiye'nin yüzölçümü	783.577 km^2
Yıllık yağış miktarı	501 milyar m^3
Buharlaşma	274 milyar m^3
Yeraltına sızma	41 milyar m^3
Yüzeysel Su	
Yıllık yüzey akışı	186 milyar m^3
Kullanılabilir yüzey suyu	98 milyar m^3
Yeraltı suyu	
Yıllık çekilebilir su miktarı	14.7 milyar m^3
Toplam kullanılabilir su	112.7 milyar m^3
Kullanım yerleri	
Tarımda kullanılan	32 milyar m^3
İçme suyu için kullanılan	7 milyar m^3
Sanayide kullanılan	5 milyar m^3
Toplam Kullanılan Su	44 milyar m^3

Arıtılmış atıksularla sulama yöntemi, bazı ülkelerin su kaynakları planlamasında önemli bir bileşendir. Ülkemizde de atıksu arıtımı ve yeniden kullanımı, su tasarrufu ve artan su ihtiyacını karşılamada etkin bir yöntem olarak uygulanmalıdır. Atıksuların sulama alanlarında kullanılması Türkiye'de 1991 yılında yayımlanan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği ile yürürlüğe girebilmiştir. 2010 yılında yayımlanan Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği ile arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak geri kullanım kriterleri daha kapsamlı olarak ele alınmıştır.

Nüfus artışı, hızlı endüstrileşme, su tüketim alışkanlıklarının değişmesiyle aşırı tüketim gibi nedenlerle tatlı su kaynakları tüm dünyada hızla tükenmektedir. Gerek ülkemiz gerekse diğer ülkeler henüz yeterli ve sağlıklı, içme ve kullanma suyuna sahip değildirler. Tatlı su kaynaklarına yönelik artan talebe karşılık bu kaynakları yenileyip arttırmak hem teknik hem de ekonomik açıdan sınırlayıcı olduğundan sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilecek yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bakımdan arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve değişik amaçlar için geri kullanımına yönelik geliştirilen "temiz su kaynaklarını korumanın ilk yolu atıksuları geri kazanma ile başlar" düşüncesine yönelik çalışmalar ve uygulamalar arttırılmıştır. Böylece hem tatlı su kaynaklarının tüketimi azaltılıp hem de deşarj edilen arıtılmış atıksuların çevresel etkileri en aza indirilebilmektedir (Yiğit 2007).

Atıksuların sulamada kullanılmasını etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir (Kumbur ve Gündoğdu 1998):

- Toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri,
- Sulanacak bitkinin özellikleri ve su ihtiyacı,
- Arazinin tasfiye eğim gibi yüzey özellikleri,
- Uygulanacak sulama yöntemi,
- Taban suyunun durumu ve derinliği,
- Arazide drenajın mümkün olup olmadığı,
- Drenaj için uygun bir boşaltım noktasının varlığı,
- Sulamanın yeraltı suyu kirlenmesi üzerindeki muhtemel etkisi,

- Atıksu içindeki bitki besin maddesi miktarı,
- Sulanacak bitkilerin bitki besin maddesi ihtiyaçları,
- Atıksuyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri,
- Askıda katı madde miktarı,
- Toplam çözülmüş katı madde miktarı veya elektriksel iletkenlik değeri,
- Çözülmüş iyonların cinsi, miktarı, SAR (Sodyum Absorbsiyon Oranı) değeri,
- Bikarbonatlar ve kalıcı sodyum karbonat (RSC) miktarı,
- Bor miktarı,
- Toksik özellikli metaller ve miktarları,
- Patojen organizmalar ve miktarları,
- Dezenfeksiyon işleminden arta kalan bakiye klor mevcudiyeti,
- Atıksu sulamasının maliyet ve yarar yönünden arıtma alternatifi olup olmaması,
- Atıksu sulamada kullanılmadan önce yeni bir arıtım işlemine tabi tutulup tutulmamasıdır.

Bu çalışmada, evsel atıksuların sulama amaçlı yeniden kullanımı incelenmiştir. Arıtılmış atıksuların sulamada tekrar kullanılmasında ülkemizde göz önüne alınması gereken parametreler ve gelişmiş ülkelerdeki yaklaşımlar ele alınmıştır. Evsel atıksuların tipik özellikleri ve bu atıksuları arıtma yöntemleri incelenerek avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır. Septik tank çeşitleri ve dünyadaki uygulamaları incelenmiştir ve örnek septik tank dizaynı yapılmıştır. Sonuç olarak evsel atıksu arıtma yöntemleri, arıtılmış sularının sulamada kullanımı açısından değerlendirilmiştir.

2. EVSEL ATIKSULARIN ÖZELLİKLERİ

Evsel atıksuların özelliklerini belirleyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik birçok bileşen bulunmaktadır. Çizelge 2.1'de evsel atıksu bileşenleri birlikte gösterilmiştir.

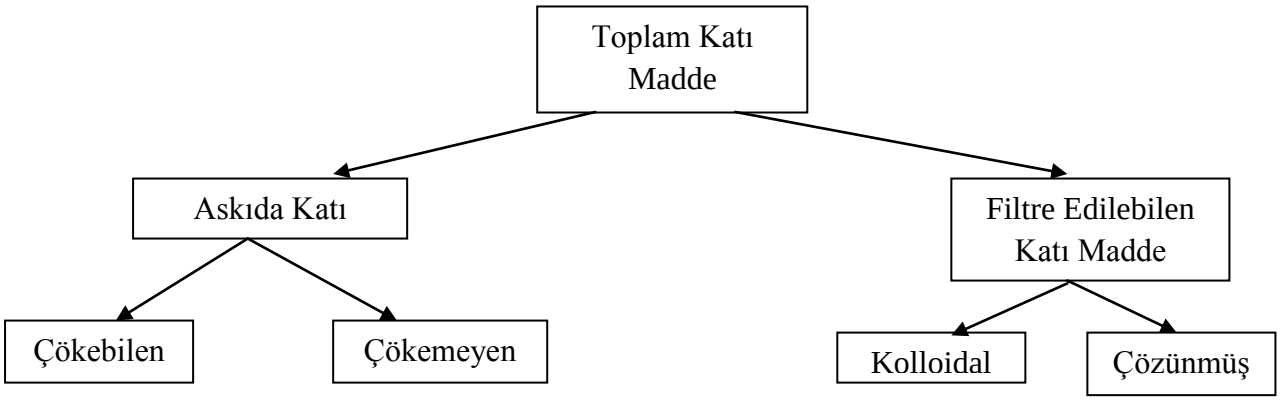
Çizelge 2.1. Evsel atıksuyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenleri (Metcalf 2003)

FİZİKSEL ÖZELLİKLER	**KİMYASAL BİLEŞENLER**			**MİKROBİYAL ÖZELLİKLER**
	ORGANİKLER	**İNORGANİKLER**	**GAZLAR**	
Renk	Karbonhidratlar	Alkalinite	Metan	Canlı Hücreler
Koku	Yağ ve Gres	Klorürler	Oksijen	Bitkiler
Toplam Katı Madde	Pestisitler	Ağır Metaller	Hidrojen Sülfür	Tek Hücreliler
Sıcaklık	Fenoller	Azot		Virüsler
	Proteinler	pH		
	Yüzey Aktif Maddeler	Fosfor		
		Sülfür		
		Toksik Bileşenler		

2.1.Fiziksel Özellikler

Atıksuyun fiziksel özellikleri; katı madde, koku, renk ve ısı olarak sıralanabilir.

Toplam Katı Madde: Evsel atıksulardaki temel fiziksel parametre katı maddelerdir. Toplam katı madde; askıda katı maddeler ve filtre edilebilen katı maddeler olarak tanımlanır. Şekil 2.1'de atıksularda mevcut katı maddelerin sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Atıksularda mevcut katı maddelerin sınıflandırılması (Öztürk 2005)

Koku: Atıksuda bulunan organik maddelerin bozulmasıyla oluşan gazlar kokuya neden olmaktadır. Septik suyun en belirgin kokusu hidrojen sülfür gazının meydana getirdiği kokudur. Yağlar, petrol ve organik çözücüler de atıksuyun kokmasına neden olur.

Renk: Evsel atıksularda koyu gri şeklinde dönüşüm gösteren renk, atıksuda anaerobik faaliyetler sonucunda meydana gelen sülfür bileşiklerinin oluştuğunu gösterir.

Sıcaklık: Atıksudaki sıcaklık parametresi birtakım mikrobiyal faaliyetlerin oluşmasında belirleyici rol oynamaktadır.

2.2.Kimyasal Özellikler

Evsel atıksulardaki kimyasal bileşenleri sırasıyla organik, inorganik ve çözünmüş gaz halindeki maddeler olarak sınıflandırabiliriz.

Organik Bileşenler: Evsel atıksulardaki AKM'nin %70' lik kısmı ve filtrata geçen çözünmüş maddelerin %40' lık kısmını organik maddeler oluşturmaktadır. Organik maddelerin dağılımı ise,%40-60 proteinler, %25-50 karbonhidratlar ve %10 yağ-gresler şeklindedir. Deterjanlar, pestisitler ve fenoller evsel atıksu kompozisyonundaki mevcut diğer organik bileşenleri oluşturmaktadır.

İnorganik Bileşenler: Alkalinite, klorür, ağır metaller, azot, fosfor, sülfür, toksik bileşenler ve pH gerek evsel atıksuyun kendi bünyesinde veya deşarj olduğu alıcı ortamda gerekse arıtma proseslerinde biyokimyasal faaliyetlerin muhteviyatını belirlemede etkili olurlar. Alkalinite parametresi özellikle biyolojik arıtma proseslerinde biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan asitlerin tamponlanmasında ve biyolojik aktivitelerin devamlılığında önemli rol oynar. Azot ve fosfor parametreleri bakteriler için besin niteliğinde olup nütrient olarak tanımlanmaktadır. Yüksek konsantrasyondaki N ve P alıcı ortamda ötrafikasyona neden olur. Ağır metaller, diğer toksik maddeler ve yüksek konsantrasyonlu klorür organizma faaliyetlerinin inhibisyonuna yol açmaktadır (Kurt 2007).

Atıksuyun pH değeri biyolojik ve kimyasal arıtma işlemlerinin belirlenmesinde önemlidir. Evsel atıksuyun pH değeri 7-8 arasındadır.

Çözünmüş Gazlar: Metan, hidrojen sülfür havasız ortamda anaerobik mikrobiyal faaliyetler sonucunda oluşan gaz türleridir. Kapalı kanalizasyon sistemlerinde bu gazlar yüksek oranda mevcuttur. Sülfür, atıksuda SO_4^{-2} iyonunun anaerobik ortamda indirgenmesi sonucunda oluşur. pH'ın düşük olduğu koşullarda sülfür, H_2S gazına dönüşerek hem toksisite oluşturur hem de kanalizasyon boru sistemi üzerinde korozyona neden olur. Protein yapılarının hidrolizi sonrasında amonoasitler ve amonyak gazı oluşur. Amonyak gazı da karakteristik kokulu bir gazdır. Atıksulardaki pH değerinin düşük olması azotun NH_3 gazı yerine NH_4^+ yapısında kalmasını sağlamaktadır (Kurt 2007).

Atıksuda bulunan organik maddelerin anaerobik parçalanmasının yan ürünlerinden biri de metan gazıdır. Bu gaz çabuk alev alan ve patlama tehlikesi olan bir gazdır.

2.3.Mikrobiyal Özellikler

Canlı hücreler, bitkiler, tek hücreliler, virüsler evsel atıksularda biyolojik bileşenleri oluşturmaktadır. Tek hücreliler grubuna dahil olan bakteriler, protozoalar ve algler olumlu veya olumsuz çevre şartlarının oluşmasında önemli rol oynamaktadır.

Evsel atıksudaki mikroorganizmalar Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Evsel atıksudaki mikroorganizmalar, adet/100 ml (Arceivala 2002)

Mikroorganizma (sayı)	Ham atıksu
Toplam bakteri	10^9 - 10^{10}
Koliform	10^9 - 10^{10}
Faecal Streptococci	10^5-10^6
Salmonella typhosa	10^1-10^4
Protozoa sistleri	10^3 miktarına kadar
Helmint yumurtaları	10^3 miktarına kadar
Virüsler (plak oluşturan birimler)	10^2 - 10^4

Bakteriler arıtma proseslerinde kirlilik olarak tanımladığımız maddeleri tüketen ve bünyelerindeki biyokimyasal reaksiyonlarla nihai ürünlere (CO_2, H_2O ve NH_3) dönüştüren tek hücreli canlılardır. Atıksu yapısında mevcut N, P ve eser miktardaki mineraller (Cu, Zn, Ni…) bakterilerin ihtiyaç duyduğu maddelerdir. Besin maddeleri (N ve P) konsantrasyonundaki yükselmenin doğal bir sonucu olarak, özellikle durağan su kütleleri halindeki alıcı ortamlarda ötröfikasyon sonucu alg oluşmaktadır. Su yüzeyinde adeta bir film katmanı oluşturan algler güneş ışıklarının su kütlesinin derinliklerine ulaşmasını önler. Zamanla anaerobik bir ortamın oluşmasına zemin hazırlar.(Kurt 2007).

Evsel atıksudaki mikroorganizmaların birçoğu insanlar ve hayvanlar için hastalık yapıcı özelliktedir. Koliform bakteriler insan atıklarından kaynaklanan kirlenmenin bir göstergesi olmaktadır. Algler de tat ve koku problemlerine yol açmaktadır. Atıksuyun arıtımı esnasında organik maddeler bakteriler aracılığıyla parçalanmaktadır.

2.4.Atıksu Karakterizasyonunda Başlıca Parametreler

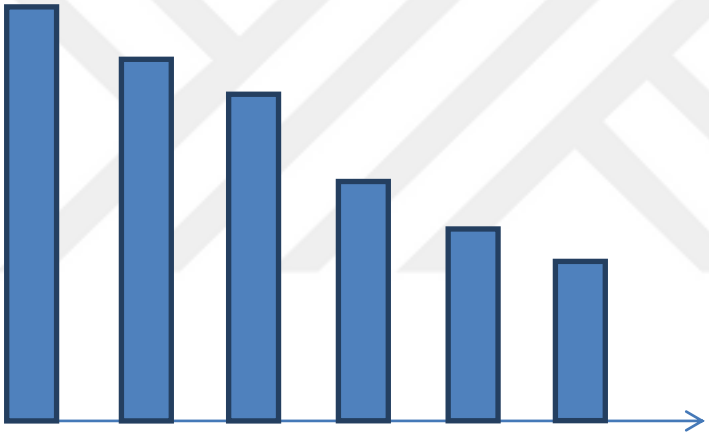
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı ($BOİ_5$): Atıksudaki organik maddelerin biyokimyasal oksidasyonu sırasında mikroorganizmalar tarafından kullanılan çözünmüş oksijen miktarıdır. Biyokimyasal oksidasyon yavaş bir işlemdir ve teorik olarak tamamlanma süresi sonsuzdur. 20 günlük bir süre içerisinde, oksitlenme % 95-99 tamamlanır. BOİ testi için kullanılan 5 günlük sürede ise oksitlenme %60-70 arasında gerçekleşir.

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ): KOİ testi atıksuların organik madde içeriğini ölçmek için yapılmaktadır. Bir atıksuyun KOİ'si genel olarak BOİ'sinden daha yüksektir. Çünkü biyolojik olarak oksitlenemeyen birçok bileşik kimyasal olarak oksitlenebilmektedir. KOİ testi 3 saatte yapılabilirken, BOİ testi 5 gün içinde sonuçlanmaktadır.

Toplam Organik Karbon (TOK): Özellikle çok küçük organik madde konsantrasyonları için uygun bir parametredir. Bu parametre, bilinen konsantrasyonlarda bir numuneyi yüksek sıcaklıkta bir fırına enjekte ederek saptanmaktadır. $BOİ_5$/TOK= 1-1,6 alınabilir.

Teorik Oksijen İhtiyacı (TeOİ): Atıksularda bulunan karbonhidratlar, yağlar, proteinler ve bunların ayrışma ürünleri genel olarak karbon, hidrojen, oksijen ve azottan meydana gelir. Numunenin kimyasal formülü biliniyorsa, içindeki karbonun oksitlenmesi için gerekli oksijen miktarı bulunabilir. Bu değer KOİ ve BOİ'den daha büyüktür. Çünkü KOİ'de bile, kimyasal olarak oksitlenmeyen bir miktar karbonlu madde daima bulunur. Şekil 2.2'de organik madde konsantrasyonunu gösteren parametrelerin birbirleriyle karşılaştırılması verilmiştir.

Toplam Oksijen İhtiyacı (TOİ): TOİ parametresi ise diğer parametrelerin bulunmasından daha sonraki yıllarda geliştirilmiştir. TOİ deneyi, numuneyi platinle katalizlenen bir yanma odasında kararlı son ürünlere çevirmeyi ve bu esnada sarf edilen oksijen miktarını bulmayı hedef alır (Öztürk 2005).



Şekil 2.2. Organik madde konsantrasyonunu gösteren parametrelerin birbirleriyle karşılaştırılması (Öztürk 2005)

Evsel atıksu konsantrasyonu kişi başı günlük su kullanımı değerlerine bağlı olarak değişir. Her ne kadar suya deşarj edilen atık miktarı toplumların özelliklerine göre farklılıklar gösterse de, bu fark çok yüksek değildir. Dolayısıyla atıksu özellikleri

sadece şehirden şehre değil, ele alınan her bir yerleşim birimi için mevsimsel hatta saatlik değişkenlik gösterir.

2.5.Evsel Atıksuların Sınıflandırılması

Evsel atıksular içerdikleri kirlilik parametrelerinin konsantrasyonlarına göre kuvvetli, orta kuvvette ve zayıf kuvvette olarak 3 sınıfta toplanmaktadırlar. Çizelge 2.3'te evsel atıksuların karakterizasyonu gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Evsel atıksuların karakterizasyonu (Metcalf 2003)

İçerik	**Konsantrasyon, mg/L**		
	Zayıf	**Orta**	**Kuvvetli**
Toplam Katı Madde	350	720	1200
Çözünmüş Katı Madde	250	500	850
• **Sabit**	145	300	525
• **Uçucu**	105	200	325
Askıda Katı Madde			
• **Toplam**	100	220	350
• **Sabit**	20	55	75
• **Uçucu**	80	165	275
Çökebilen Madde (ml/L)	5	10	20
$BOİ_5$ 20°C	110	220	400
Toplam Org. Karbon, TOK	80	160	290
Kimyasal Oksijen İhtiyacı, KOİ	250	500	1000
• **Toplam N**	20	40	85
• **Organik N**	8	15	35
• **Amonyak - N**	12	25	50
• **Toplam P**	4	8	15
• **Organik P**	1	3	5
• **İnorganik P**	3	5	10
Klorür	30	50	100
Sülfat	20	30	50
Alkalinite ($CaCO_3$ olarak)	50	100	200
Yağ-gres	50	100	150

Evsel atıksu içerisindeki katı maddelerin 2/3 lük kısmını çözünmüş formlar temsil ederken, 1/3 lük kısmını ise süspansiye maddeler oluşturmaktadır. Çözünmüş katı madde formlarının ağırlıklı oranı inorganik maddelerden, süspansiye maddelerin ağırlıklı oranı organik maddelerden meydana gelmektedir. Evsel atıksularda arıtma tesisi projelendirmesi için temel parametreleri oluşturan $BOİ_5$ / KOİ oranı yaklaşık olarak 0.4 dür. Bu oran kullanılan su ve bölgesel yağış miktarına göre değişiklik gösterebilir. Yaz aylarında yükselirken, kış aylarında azalır. Evsel atıksular besi maddeleri (nütrientler) olarak nitelendirilen azot (N) ve fosfor (P) açısından da zengindirler. Evsel atıksuların içersinde bulunan azot türleri, genellikle üre ile proteinlerin aminoasitlere, aminoasitlerin de amonyağa hidrolize olmasından kaynaklanmaktadır. Türkiye'deki evsel atıksular yüksek amonyak konsantrasyonu içermektedir. Bu değerler Çizelge 2.13 ile kıyaslandığında kuvvetli konsantrasyon aralığına düşmektedir. Fosfor ise DNA yapılarında var olması nedeniyle evsel atksu karakterizasyonunda yer alır ve ağırlıklı olarak PO_4^{-3} – P yapısında bulunur. Evsel atıksuların diğer ağırlıklı bileşenlerini tuzluluktan kaynaklanan klorür, alkalinite ve yağlar oluşturur. Klorür canlı organizmaların biyolojik aktivitelerinin doğal sonucu olarak açığa çıkmaktadır. Alkalinite ise evsel atıksuların tamponlama kapasitesi olarak değerlendirilir. Alkalinite mevcudiyetinde aşırı pH salınımları tamponlanarak kontrol altına alınabilmektedir. Evsel atıksularda bulunan yağlar büyük oranda mutfak atıklarından kaynaklanmaktadır. Yağlar ağır molekül yapıları ve su içerisinde emülsiyon oluşturmaları nedeni ile biyolojik arıtma için dezavantaj oluşturmaktadır. Mikroorganizma yumaklarını saran yağ filmleri bakterilerin organik madde ile temasını engelleyerek evsel atıksuların arıtılmasında verimsizliğe yol açmaktadır (Kurt 2007).

Odegaard (1989) yaptığı çalışmalarla evsel atıksuları kompozisyonundaki mevcut partiküllerin boyutlarına göre sınıflandırmıştır. Çözünmüş, kolloidal, supra-kolloidal (kolloid-çökebilen partikül arası) ve çökebilen yapılardaki partiküllerin organik parametreler ve kirlilik parametreleri açısından oransal temsil edilebilirliğini Çizelge 2.4 ve 2.5' de gösterildiği şekilde ortaya koymuştur.

Çizelge 2.4. Evsel atıksulardaki organik madde kompozisyonu (Odegaard 1989)

	Çözünmüş	**Kolloidal**	**Supra-Kolloidal**	**Çökebilen**
Boyut aralığı	< 0.08 μm	0.08-1.0 μm	1-100	>100 μm
KOİ, %	25	15	26	34
TOK, %	31	14	24	31
Organik madde, %				
Yağ	12	51	24	19
Protein	4	25	45	25
Karbonhidrat	58	7	11	24
BOİ hız sbt. k (gün^{-1})	0.39	0.22	0.09	0.08

Çizelge 2.4'den görüleceği üzere, evsel atıksular içerisinde bulunan yağlar ve proteinler çözünmeye karşı daha dirençli davranırken, karbonhidratlar ağırlıklı oranda çözünmüş formlarla temsil edilmektedir. Biyolojik parçalanma hızı ise partikül boyutu ile ters orantılı olarak değişmektedir. KOİ ve BOİ gibi kirlilik parametrelerinin aşağıda belirtilen 4 farklı partikül boyutu aralığında dengeli olarak dağıldığını ve bu parametrelerin %70-75 oranlarında çözünmemiş boyutlardaki partiküllerce temsil edildiğini Çizelge 2.5'ten görmekteyiz.

Çizelge 2.5. Evsel atıksulardaki kirleticilerin partikül boyutuna göre dağılımı (Odegaard 1989)

	Çözünmüş	**Kolloidal**	**Supra-Kolloidal**	**Çökebilen**
Boyut aralığı	< 0.025 μm	0.025-3.0 μm	3-106 μm	>106 μm
BOİ, %	25	15	26	34
KOİ, %	31	14	24	31
TOK, %	22	6	36	36
Toplam P, %	63	3	12	22
Toplm N, %	27	15	38	20

Atıksu karakterizasyonu, kirleticilerin toplu olarak değerlendirilebildikleri anlamlı ve önemli parametreler bazında yapılmaktadır. Evsel atıksularda bu parametrelerin oluşturulmasında öncelikli olarak dikkate alınması gereken bileşenler ve çevresel etkileri Çizelge 2.6'da verilmektedir.

Çizelge 2.6. Atıksu bileşenleri (Henze ve ark. 2002)

Bileşen	**İlgi Alanı**	**Çevresel Etkiler**
Mikroorganizmalar	Patojenik bakteriler, virüsler, kurtlar vb.	Yüzme suyunda ve kabuklu canlıların tüketiminde risk
Biyobozunur organik maddeler	Akarsu, göl ve fiyortlarda oksijen tüketimi	Sucul hayatta değişiklik (daha az çeşitlilik vb.)
Diğer organik maddeler	Deterjanlar, pestisitler, yağ, gres, solventler, fenoller vb.	Toksik etki, biyoakümülasyon
Nütrientler	Azot, fosfor, amonyak	Ötrifikasyon, oksijen tüketimi, toksik etki
Metaller	Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni	Toksik etki
Diğer inorganik maddeler	Asitler, bazlar	Korozyon, toksik etki
Termal etkiler	Sıcak su	Yaşam koşullarına etki
Tat ve koku	Hidrojen sülfür	Estetik rahatsızlık, toksik etki
Radyoaktivite	Radyoaktif maddeler	Toksik etki, akümülasyon

Atıksu karakterizasyonu ülkeden ülkeye değişebileceği gibi, aynı ülke içerisinde de çeşitli faktörlere bağlı olarak birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Çeşitli ülkelere ait konsantrasyon bazında yapılmış konvansiyonel atıksu karakterizasyonu ve istatiksel değerlendirilmesi Çizelge 2.7'de ve Çizelge 2.8'de verilmiştir (Erdoğan ve ark. 2005).

Çizelge 2.7. Çeşitli ülkelere ait konsantrasyon bazında yapılmış konvansiyonel atıksu karakterizasyonu (Orhon ve ark. 2000)

	KOİtop (mg/L)	**$BOİ_5$ (mg/L)**	**TKN (mg/L)**	**NH_3-N (mg/L)**	**TP (mg/L)**	**UAKM (mg/L)**	**AKM (mg/L)**	**Alkalinite (mg/L)**
Brezilya	627	357	54	30	9,9	297	376	198
Yunanistan	-	259	-	39,3	5,9	-	-	-
Fransa	500	200	55	-	-	75	150	-
İsrail	635	201	43	40	-	-	-	-
Meksika	416	149	57,4	44	9,3	67	155	709
G.Afrika	705	300	37,5	-	-	-	-	-
Danimarka	-	172	44	-	-	-	-	-
Almanya	-	200	50	-	-	-	-	-

Çizelge 2.8. Çeşitli ülkelere ait konvansiyonel parametrelerin ölçümleri ve istatiksel değerlendirilmesi (Pons ve ark. 2001)

Ülke	Tesis Sayısı	KOİ mg/L			$BOİ_5$ mg/L			AKM mg/L		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Avusturya	97	526	498	218	285	256	120	-	-	-
Belçika	152	477	382	314	187	152	128	236	174	222
Danimarka	836	455	404	440	163	135	119	-	-	-
Fransa	149	634	592	315	268	245	137	302	267	170
Hollanda	384	450	426	151	171	159	66	237	194	252
Slovenya	100	581	418	613	267	217	245	426	341	292
Kıbrıs	6	522	-	-	547	-	-	436	-	-
Finlandiya	7	559	-	161	266	-	78	378	-	144
Almanya	6	548	-	-	319	-	-	208	-	-
Fas	60	928	900	357	353	350	140	397	400	174
İspanya	3	762	-	-	434	-	-	290	-	-
İsveç	17	239	-	-	133	-	-	98	-	-
İsviçre	6	477	-	123	171	-	72	243	-	8,1
İngiltere	12	613	-	-	212	-	-	150	-	-

A: Ortalama Değer, B: Medyan C: Standart Sapma

Bu çizelgelerdeki değerler ülke genelini temsil etmeyip ancak genel bir değerlendirme yapılması amacıyla verilmiştir. Bu farklılıkları ortaya koymak ve genel olarak evsel atıksuları karakterize edebilmek amacıyla literatürde, kuvvetli, orta, zayıf ve seyreltik evsel atıksu sınıflandırması yapılmıştır. Bu sınıflandırma çerçevesinde evsel atıksuların ortalama kompozisyonu organik madde, azot ve fosfor bileşenleri ve metal içerikleri açısından sırasıyla Çizelge 2.9, Çizelge 2.10 ve Çizelge 2.11'de verilmektedir (Erdoğan ve ark. 2005).

Çizelge 2.9. Organik madde bazında atıksu karakterizasyonu (Henze ve ark. 1995)

Parametre (mg/L)	Atıksu Tipi			
	Kuvvetli	**Orta**	**Zayıf**	**Seyreltik**
BOİ				
Nihai	530	380	230	150
7 günlük	400	290	170	115
5 günlük	350	250	150	100
Çözünmüş	140	100	60	40
Çökelmiş	250	175	110	70
KOİ				
Toplam	740	530	320	210
Çökelmiş	530	370	230	150
Çözünmüş	300	210	130	80
TOK	250	180	110	70
Karbonhidrat	40	25	15	10
Protein	25	18	11	7
Yağ asitleri	65	45	25	18
Yağlar	25	18	11	7
Deterjan	15	10	6	4
Yağ-gres	100	70	40	30
Fenol	0.2	0.15	0.10	0.05
Deterjan(anyonik)	15	10	6	-

Çizelge 2.10. Nütrient bazında evsel atıksu karakterizasyonu (Henze ve ark. 1995)

Parametre (mg/L)	Atıksu Tipi			
	Kuvvetli	**Orta**	**Zayıf**	**Seyreltik**
Toplam Azot	80	50	30	20
-amonyak azotu	50	30	18	12
-nitrit azotu	0.1	0.1	0.1	0.1
-nitrat azotu	0.5	0.5	0.5	0.5
-organik azot	30	20	12	8
Toplam Fosfor	23	16	10	6
-ortofosfat	14	10	6	4
-polifosfat	5	3	2	1
-organikfosfat	4	3	2	1

Çizelge 2.11. Metaller bazında evsel atıksu karakterizasyonu (Henze ve ark. 1995)

Parametre (mg/L)	Atıksu Tipi			
	Kuvvetli	**Orta**	**Zayıf**	**Seyreltik**
Aluminyum (Al)	1000	650	400	250
Arsenik (As)	5	3	2	1
Kadminyum (Cd)	4	2	2	1
Krom (Cr)	40	25	15	10
Kobalt (Co)	2	1	1	0.5
Bakır (Cu)	100	70	40	30
Demir (Fe)	1500	1000	600	400
Kurşun (Pb)	80	65	30	25
Mangan (Mn)	150	100	60	40
Civa (Hg)	3	2	1	1
Nikel (Ni)	40	25	15	10
Gümüş (Ag)	10	7	4	3
Çinko (Zn)	300	200	130	80

Turistik öneme sahip hassas bölgeleri yansıtmak üzere yapılmış olan bir çalışmada pilot bölge olarak Fethiye, Marmaris ve Bodrum seçilmiştir. Bu bölgelerin atıksuları Mayıs-Ekim döneminde 5 ay boyunca yaz ve kış sezonlarını karakterize edebilmek amacıyla incelenmiştir (Orhon ve ark. 1996). Bu çalışmaların yansıtıldığı Çizelge 2.12 incelendiğinde, Fethiye karakterizasyonunun zayıf atıksu niteliğinde olduğu ve en kuvvetli atıksu karakterinin Bodrum'a ait olduğu görülmektedir (Erdoğan ve ark. 2005).

Çizelge 2.12. Turistik bölgelere ait evsel atıksu karakterizasyonu (Orhon ve ark. 1996)

Parametre (mg/L)	Fethiye		Marmaris		Bodrum	
	Ortalama (mg/L)	**Aralık (mg/L)**	**Ortalama (mg/L)**	**Aralık (mg/L)**	**Ortalama (mg/L)**	**Aralık (mg/L)**
KOİ Toplam	227	190-245	370	215-480	473	335-530
KOİ Çökelmiş	158	110-245	236	145-265	319	210-370

Çizelge 2.12. Turistik bölgelere ait evsel atıksu karakterizasyonu (devam)

Parametre (mg/L)	Fethiye		Marmaris		Bodrum	
	Ortalama (mg/L)	Aralık (mg/L)	Ortalama (mg/L)	Aralık (mg/L)	Ortalama (mg/L)	Aralık (mg/L)
KOİ Süzülmüş	52	30-145	96	60-125	128	85-140
TKN	26.8	20-37	37	31-42	45	32-57
NH_3-N	17.9	11.5-21	26	21-34	33	26-41
Organik N	8.9	2-16	11.2	7-15	12.3	0.5-21
TP	5.4	3.3-9	7.7	5.6-9	8.8	7-11
AKM	150	100-270	194	170-265	227	140-310
UAKM	136	90-235	177	160-230	199	120-290
Alkalinite	412	310-470	462	380-520	486	410-540
TÇM	615	580-680	2107	900-2980	2470	2190-2850
Yağ ve gres	102	60-210	127	80-200	162	115-230
Klorür	110	100-120	853	250-1275	1049	945-1190
Deterjan	2.3	1.3-3.2	3.7	2.8-4.9	4.5	3.2-5
pH	7.3	6.9-7.5	7.1	7.1-7.2	7.2	7.1-7.3

Türkiye genelinde evsel atıksu karakterizasyonunu ifade etmek amacıyla Ankara, Isparta, Antalya, Tarsus ve İzmir şehirleri atıksu arıtma tesislerinden elde edilen uzun süreli ölçüm değerleri Çizelge 2.13'te verilmiştir.

Çizelge 2.13. Türkiye'deki bazı şehir atıksularının karakterizasyonu (Erdoğan 2004)

Tesis	KOİ(mg/L)		$BOİ_5$(mg/L)		AKM (mg/L)		TKN (mg/L)		TP (mg/L)	
	Aralık	Ort.	Aralık	Ort.	Aralık	Ort.	Aralık	Ort.	Aralık	Ort.
İzmir Arıtma Tesisi	79-1154	424	80-540	202	54-1188	250	16-97	41	2.52-27.6	7.68
Tarsus Arıtma Tesisi	100-1198	439	140-400	225	19-923	190	21-71	46	15-37	24
Antalya Arıtma Tesisi	35-704	386	30-475	252	18-840	266	9-50	27	1-14	6
Ankara Arıtma Tesisi	109-528	305	50-245	159	65-380	147	8-87	40	3.3-12.2	8.2
Isparta Arıtma Tesisi	184-976	423	150-450	251	75-836	158	-	-	-	-

En kısa dönemli ölçüm sonucu Isparta atıksu arıtma tesisine ait olup 165 günlük bir süreyi kapsamaktadır. Sırasıyla diğer tesislerin ölçüm süreleri ise, Antalya arıtma tesisinde 232 gün, Tarsus arıtma tesisinde 240 gün, İzmir arıtma tesisinde 275 gün ve Ankara artıma tesisinde ise 250 günlük bir döneme aittir (Erdoğan 2004).

Çizelge 2.14. İstanbul'un evsel atıksu karakterizasyonu (Orhon ve ark. 1997)

Parametre (mg/L)	**Kadıköy**		**Baltalimanı**		**Ataköy**		**Yenikapı**	
	Aralık	Ort.	Aralık	Ort.	Aralık	Ort.	Aralık	Ort.
KOİ	220-775	450	265-645	340	160-350	270	280-1480	680
$BOİ_5$	150-410	220	73-200	150	-	-	110-425	300
TKN	22-73	49	23.9-57	35	22-63	37	27-92	66
NH_3-N	25-39	30.5	10-26.3	19.9	12.40	23	24-48.8	37
TP	5-15	8.1	5.8-63	6.8	3-12	7	3.6-13	7
AKM	140-930	310	85-318	140	-	-	110-820	480
UAKM	130-395	210	120-135	125	-	-	65-69	65
Alkalinite	90-400	310	200-220	210	190-260	212	190-230	215
Yağ ve Gres	62-135	84	110-155	124	-	-	137-150	146
Klorür	85-115	96.2	85-90	90	-	-	650-1500	1039
Deterjan	2.45-4.1	3.2	3.75-4.4	4.12	-	-	1.3-2.98	1.68
***pH**	-	7.2	7.2-7.5	7.4	6.8-7.5	7.1	7.1-7.3	7.24
Fenol	0.26-0.64	0.52	0.056-0.136	0.08	-	-	0.7-0.1	0.77
Sülfat	1.7-3.04	2.37	<1.0-1.6	1.1	-	-	-	-

**pH birimsizdir*

İstanbul evsel atıksularının karakterizasyonuna yönelik yapılmış çalışmalar Kadıköy, Baltalimanı, Ataköy ve Yenikapı'dan alınan örnekleri içermektedir. Kadıköy istasyonundaki çalışmalar birbirinden farklı dönemlerde yapılmış iki çalışmanın sonuçlarını kapsamaktadır. Yenikapı deşarjının deri atıksularını içermesi nedeniyle bu istasyona ait değerlerin tipik evsel atıksu karakterinden farklılıklar gösterdiği görülmektedir (Çizelge 2.14.).

3. ATIKSULARIN YENİDEN KULLANIMININ ÖNEMİ VE YENİDEN KULLANIM ALANLARI

Özellikle sanayinin ve nüfusun yoğun olduğu kentlerde yeterli miktarda suyun olmaması, su ücretlerindeki hızlı artışlar, su temininde karşılaşılan güçlükler, atıksuların yeniden kullanımının gündeme gelmesine neden olmuştur. Atıksuların yeniden kullanımının sağlayacağı faydalar aşağıda sıralanmıştır.

• Sürdürülebilir seçenekli su kaynağı olarak kullanıma olanak sağlar, gerekli kontroller altında güvenilir bir su kaynağıdır.
• Daha az enerji tüketimine neden olur.
• Yeni su kaynaklarının daha az tüketilmesine neden olur.
• Arıtılmış atıksuların geri kazanılması, yüzey sularının atıksu deşarjlarıyla kalitesinin bozulmasını azaltır (Miller 2006).

3.1.Kentsel Amaçlı Yeniden Kullanım

Bir kente verilen içme suyu kalitesindeki sular, içme suyu olarak kullanımı dışında, aşağıda özetlenen amaçlar için de kullanılmaktadır (Anonim 2004):

• Park, rekreasyon alanı, atletizm alanı, okul bahçesi ve oyun alanı, anayolların ve halka ait binaların ve tesislerin çevresindeki peyzaj alanlarının sulanması,
• İşyeri, dükkan, ofis ve endüstriyel kuruluşların çevresindeki peyzaj alanlarının sulanması,
• Ticari kullanımlar (araç yıkama tesisleri, pencere temizleme, pestisid ve herbisid çözeltilerinin hazırlanması ve sıvı gübrelerin hazırlanması vb.),
• Kent içindeki havuz, fıskiye, şelaleler gibi yapay kullanım alanlarına su verilmesi,
• İnşaat projelerinde beton yapımı için ve toz kontrolünde su kullanımı,
• Yangından korunmak üzere yangın söndürme suyu temini,
• Binalarda tuvalet suyu olarak kullanımı,
• Golf sahalarının sulanması.

Bu kullanım alanlarında atıksuların yeniden kullanılması önemli su tasarrufu sağlamaktadır.

3.2.Endüstriyel Amaçlı Yeniden Kullanım

Geri kazanılmış suyun endüstride kullanımı, gelişmiş ülkelerde oldukça yaygındır. İçme suyu niteliğindeki suya ihtiyaç duymayan birçok endüstri için, geri kazanılmış su idealdir. Atıksuyun geri kazanılması, endüstriyel atıksuyun tesis içinde geri çevrimi ile ve/veya evsel atıksu arıtma tesislerinde arıtılan suyun kullanılması ile olabilmektedir. Endüstrinin kendi içinde sularının geri çevrimi, çoğunlukla prosesin bir parçası olarak uygulanmaktadır. Çelik, tekstil, elektronik sanayi gibi pek çok endüstri ya suları korumak ya da istenilen çıkış suyu standartlarını sağlamak için, atıksularını arıtıp sistemlerine geri çevirmektedir. Geri kazanılmış su; soğutma suyu, kazan besleme suyu ve proses suyu olarak endüstrilerde kullanılmaktadır. Endüstriyel kullanım alanları içinde, soğutma suyu olarak kullanım, en yaygın olanıdır (Güneş 2002).

3.3.Çevre ve Rekreasyon Amaçlı Yeniden Kullanım

Özellikle kurak bölgelerde parkların ve golf sahalarının sulanmasında, rekreasyon amaçlı göllerin doldurulmasında kullanılır. Sulak alanların iyileştirilmesi amacıyla kullanım işlemlerini içerir. Rekreasyon amaçlı kullanımda arıtılmış atıksu golf sahalarında, balıkçılık ve kar üretiminde kullanılabilir.

3.4.Yeraltı Suyunun Beslenmesi Amaçlı Yeniden Kullanım

Ülkemizde fazla kullanım alanı bulan bir uygulama olmamakla birlikte, arıtılmış atıksuların zemine sızdırılarak toprağın arıtma kapasitesinden yararlanılması gelişmiş batı ülkelerinde (ABD, Hollanda, Almanya gibi) uygulama alanı bulmaktadır. ABD'de, 1962 yılından itibaren gerçekleştirilen arıtılmış atıksuların yeraltı sularını beslemesi çalışmaları, 1978'den itibaren daha da iyileştirilerek, atıksuların arıtımdan geçirildikten sonra içme suyu standartlarında yeraltına besleme yapılması şeklinde devam etmektedir. Arıtılmış atıksular yeraltı suyuna; yüzeysel püskürtme, nehire deşarj, kum filtrasyonu, toprak-su arıtma sistemleri ve doğrudan enjeksiyon gibi yöntemlerle verilebilmektedir.

Arıtılmış atıksuların yeraltı suyuna deşarj edilmesindeki amaçları aşağıda sıralanmıştır (Güneş 2002) ;

- Kıyı alanlarında akifere tuzlu su girişini önlemek,
- Atıksuyun daha iyi arıtılmasını ve tekrar kullanımını sağlamak,
- İçme suyu ya da diğer akiferlerin su kapasitesinin arttırılmasını sağlamak,
- Arıtılmış suyun depolanmasını sağlamak ve yeraltı su seviyesindeki düşmeyi önlemek.

3.5.Sulama Amaçlı Yeniden Kullanım

Tarımsal faaliyetler için yeniden kullanım su kaynakları yönetiminin bir başka yöntemidir. Arıtılmış atıksuların tarımda yeniden kullanılmasının pek çok avantajı vardır. Öncelikle arıtılmış atıksuların tarımda kullanılması üretimi artırır. Bunun nedeni arıtılmış atıksu bünyesinde bitkilerin ihtiyaç duyduğu pek çok nütrientin bulunmasıdır. Böylelikle sulama sonrasında ilave nütrient ihtiyacı düşer. Bu da bitkilerin ürün oluşturma miktarının artmasını sağlar. Fakat bütün bunlar yapılırken sağlıkla ilgili pek çok konunun dikkate alınması gerekmektedir. Çünkü atıksular nütrientlerin yanında pek çok sağlığı bozucu mikroorganizmaları da bünyesinde bulundurmaktadır. Tarımsal faaliyetler için kullanılması gereken su miktarı toplam temiz su tüketiminde büyük bir yüzdeye sahiptir. Yeraltı sularının tarımsal amaçlı pompa ile çekilmesi de dahil olmak üzere dünyada toplam su tüketiminin yaklaşık % 70'i sulama için kullanılmaktadır (Kretschmer ve ark. 2002).

Çizelge 3.1'de arıtılmış atıksuların kullanım alanları ve kullanım uygulamaları özet halinde gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Arıtılmış atıksu kullanım uygulamaları (Khouri ve ark. 1994)

Yeniden Kullanım Alanı	**Uygulamalar**
Çevresel	Dere akımı düzenleme Bataklık ve sulak alanlar Rekreasyonel alanlar (parklar, göller) Balıkçılık ve su kültürü Kar yapma
Tarım ve Bahçe Sulama	Yem ve tohum mahsulleri Yenilebilir mahsuller Temel besleme suyu Çim ve ormanlar Fidanlık Buzlanmaya karşı koruma
Kentsel	Yangından korunma Tuvalet sifonu Sokak/Araba yıkama Toz kontrolü İklimlendirme
Endüstriyel	Soğutma Kazan besleme İnşaat Proses suyu Baca gazı temizleme
İçme Amaçlı	Direkt içme İndirekt içme

4. EVSEL ATIKSULARIN SULAMADA KULLANIMI

Nüfus artışı, hızlı endüstrileşme, su tüketim alışkanlıklarının değişmesiyle aşırı tüketim gibi nedenlerle tatlı su kaynakları tüm dünyada hızla tükenmektedir. Gerek ülkemiz gerekse diğer ülkeler henüz yeterli ve sağlıklı, içme ve kullanma suyuna sahip değildirler. Tatlı su kaynaklarına yönelik artan talebe karşılık bu kaynakları yenileyip arttırmak hem teknik hem de ekonomik açıdan sınırlayıcı olduğundan sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilecek yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bakımdan arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve değişik amaçlar için yeniden kullanımına yönelik geliştirilen "temiz su kaynaklarını korumanın ilk yolu atıksuları geri kazanma ile başlar" düşüncesine yönelik çalışmalar ve uygulamalar arttırılmıştır. Böylece hem tatlı su kaynaklarının tüketimi azaltılıp hem de deşarj edilen arıtılmış atıksuların çevresel etkileri en aza indirilebilmektedir (Yiğit 2007).

Atıksuların sulama amaçlı kullanımı ilk olarak 1865 yılında İngiltere'de ortaya konulmuştur. 1800'lü yılların sonuna doğru atıksuların sulama amaçlı kullanımı Avrupa'nın diğer ülkelerinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Örneğin 1904 yılında Paris'te 5300 ha atıksu ile sulanmıştır. 1945 yılından sonra atıksuların sulama amaçlı kullanımı, yerüstü su kaynaklarının kirlenmesinin önlenmesi, kurak ve yarı kurak bölgelerde su kaynaklarının arttırılması ile çok daha fazla önem kazanmıştır (Shuval 1990).

Türkiye'nin kişi başına kullanılabilir su varlığı, diğer bazı ülkeler ve dünya ortalaması ile karşılaştırıldığında su zengini olmayan ülkeler arasında yer aldığı görülmektedir. 2025 yılında nüfusumuzun 80 milyona ulaşacağı tahmininden hareketle kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 2025 yılında 1375 m^3/yıl olacağı söylenebilir. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisiyle, su kaynakları üzerine olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Bütün bu tahminler mevcut kaynakların geleceğe tahrip edilmeden aktarılması durumunda söz konusu olabilecektir. Dolayısıyla Türkiye'nin gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için kaynaklarını çok iyi koruyup, akılcı kullanması gerekmektedir (Akkaya ve ark. 2006).

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de meydana gelen kuraklıklar nedeniyle, özellikle tarımsal sulamada, iyi kaliteli suların kullanılması yerine alternatif su kaynaklarının devreye sokulması son derece önemlidir. Alternatif su kaynaklarının başında arıtılmış atıksular gelmektedir (Aşık ve ark. 1997).

Su kullanımı ve atıksu uygulamalarının su kalitesi üzerindeki etkileri ile kirlenmelerin değişik amaçlı su teminleri üzerindeki etkilerini değerlendiren kalite yönetimi çerçevesinde atıksuların uygun bir strateji ile kontrollü olarak tarımda kullanılması, bu suların uzaklaştırılması için iyi ve yararlı bir yöntem sunmaktadır (Ayvaz 2000).

Atıksuların yeniden kullanılması, iyi kaliteli suların sulama dışındaki kullanım amaçları için korunmasını da sağlamaktadır. Kentsel atıksuların uygun stratejilerle yeniden kullanımı ile yerüstü su kaynaklarının kirlenmesi önlenir. Bu sayede sadece temiz su kaynakları korunmakla kalmaz aynı zamanda, atıksuların içerdiği bitki besin maddeleri, bitki yetiştiriciliğinde avantaj sağlar. Atıksular genellikle iyi bir besin elementi kaynağı ve toprak düzenleyicisi olup içerdikleri organik madde ve besin elementleri nedeniyle tarımsal gübre gereksinimini kısmen azaltabilmektedir. Atıksuların sulamada kullanılması ile bitki için yararlı olan toprak mikroorganizmalarının metabolik aktiviteleri de artmaktadır (Jacobs ve McCreary 2001, Toze 2006, Kukul ve ark. 2007).

Ağır metal kapsamayan evsel atıksuların tarımsal kullanımını sınırlandıran faktör, suların içerdikleri patojen mikroorganizmalardır. Ancak arıtma surecinde kullanılan kireç türevleri yardımıyla patojen mikroorganizmaların bertaraf edilmesi mümkündür ve bu nedenle kireç uzun yıllardan bu yana kullanılan potansiyel bir ıslah edici materyaldir (Christensen 1987). Alkali stabilizasyon olarak bilinen bu işlemde özellikle $Ca(OH)_2$, CaO, çimento tozları, CH_2O_3Ca ve termik santral uçucu külleri stabilize edici katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde kentsel atıksu kireç ile işlenerek suyun pH'sının 30-45 dakika sureyle 12 civarında tutulması önerilmektedir (Fytili ve Zabaniotou 2008).

Alkali stabilize edilmiş ve ağır metal içermediği analizlerle doğrulanmış olan kentsel atıksuların pH değerlerinin yüksek olması ve bazen de tuz içerebilme olasılıkları

nedeniyle tarımsal sulamada kullanımları için periyodik olarak kontrolleri gerekmektedir. Çünkü bu materyalin uygulanacağı yer olan toprak bir kıt kaynak olup, sürdürülebilirliğin sağlanması için gerek uygulama öncesi ve gerekse uygulama sürecinde özellikle toprak pH'sı ve suda çözünebilir tuz içeriği aralıklı olarak gözlenmelidir. Bu durum toprak verimliliği ve bitki beslenmesi açısından oldukça önemlidir (Tuna ve ark. 2012).

Artan su talebi, yükselen alternatif tabii su kaynakları fiyatları ve gelişen geri kazanma teknolojileri atıksuların tekrar kullanılmasını hem çevre ve hem de kaynakların ekonomik kullanımı yönünden cazip hale getirmektedir. Atıksuların geri kazanılarak tekrar kullanılması potansiyelini artıran en önemli sebepler; şehir nüfus paylarının artması sebebiyle su ihtiyaçlarının belirli merkezlerde yoğunlaşması ve deşarj edilen atıksular için verilen deşarj standartlarının ve arıtma seviyelerinin giderek yükselmesidir. Hatta bazı durumda alıcı ortamlara deşarj için gerekli arıtma ihtiyacı tekrar kullanım için gerekli arıtma ihtiyacından daha fazla olabilmektedir (Anonim 2005).

1950'li yıllarda atıksular ile sulama yapılması oldukça dikkat çeken bir uygulama olmaya başlamıştır. Bunun nedenlerinden biri kentleşmenin hızlı şekilde büyümesi ve atıksulardaki kirliliğin dikkat çekici şekilde artışıdır. Diğer bir neden ise pek çok şehirde sulama için gerekli temiz su kaynaklarının yetersiz oluşudur. Bu faktörler ve sağlık risklerinin zamanla daha iyi anlaşılmasının ardından arıtılmış atıksu tarımda sulama amaçlı kullanılması gün geçtikçe artmıştır. Arıtılmış atıksuların tarımda yeniden kullanımı uygulaması özellikle su kıtlığı olan ülkelerde önemli bir su kaynağı yönetim biçimidir. Çünkü tüketilen suyun büyük bir kısmı sulama maksatlı çekilmektedir. Bu sayede sulama amaçlı çekilen temiz suyun miktarı azaltılabilir. Atıksuların tarımsal faaliyetler için yeniden kullanılması ekonomik açıdan oldukça uygundur (Lallana 2001).

Sulama suyu ihtiyacı; toplam su tüketiminin oldukça yüksek bir oranını oluşturmaktadır. Bu oran ülkeden ülkeye %30 ile %92 arasında değişmektedir. Tarımsal sulama için kullanılan suyun bu kadar fazla olması arıtılmış atıksuların tarımda sulama amaçlı kullanılmasını önemli hale getirmektedir. Ancak atıksuların arıtıldıktan sonra

tarımda kullanılmasının olumsuz etkilerini azaltmak, insan sağlığını ve çevreyi korumak amacıyla dikkate alınması gereken pek çok konu bulunmaktadır. Bu da atıksuların tarımda kullanılması için bazı kalite parametrelerinin oluşturulmasını zorunlu hale getirmektedir. Bu nedenle pek çok ülke çeşitli standartlar ve yol gösterici kaynaklar hazırlama yoluna gitmektedir (Başkan 2006).

Atıksuların sulamada yeniden kullanılması dünyanın birçok ülkesinde uygulanmaktadır. Gerekli arıtım işlemleri yapıldığı ve teknik usuller uygulandığı sürece, atıksuların sulamada yeniden kullanılmasının bir takım faydaları aşağıda sıralanmıştır (Yurtseven ve ark. 2010):

• Su tasarrufu sağlar,
• Kurak geçen mevsimlerde alternatif su kaynağı oluşturur,
• Yeraltı suyuna karışmadan önce atıksuya ek bir arıtma sağlar,
• Kentsel atıksuların çevreye zarar vermeyecek bir şekilde ve ekonomik olarak uzaklaştırılmasını mümkün kılar,
• Akarsu, kanal ve diğer yüzeysel su kaynaklarının kirliliğini azaltır,
• Yapay gübre ihtiyacını azaltarak besin maddesinden tasarruf sağlar,
• Bitki verimini arttırır,
• Çevresel olarak, atıksu kendi orijin kaynağına tekrar verilir. Bazı bölgelerde olduğu gibi uzaklaştırılarak denize boşaltımı önlenmiş olur.

Standartlar çerçevesinde arıtılmamış atıksuyun, uygun tedbirler ve teknik önlemler alınmadan sulamada kullanılmasının olası riskleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Kendirli ve ark. 2001):

• Arıtılmamış atıksu ile uzun süre temas eden ve bu su ile sulanan sebzeleri tüketen kişilerin sağlığında ciddi bir risk yaratır.
• Yeraltı suyunda kirliliğe yol açar (nitrat birikimi, ağır metaller vs).
• Toprakta kimyasal kirleticilerin birikimine neden olur (ağır metaller vs).
• Hastalıkların yerleşeceği bir ortam yaratır.
• Arıtılmış atıksu sulama sistemlerine zarar verebilir,
• Sulama ürün ihtiyacına bağlı olarak miktarı değişen ve mevsimsel bir uygulamadır, ancak atıksu arıtımı yıl boyunca süreklilik gösterir bu nedenle sulama ihtiyacının

olmadığı dönemlerde ikinci bir deşarj imkanının sağlanması ya da depolanması gerekmektedir.

• Atıksuyu taşıyan kanallarda ötrofikasyona neden olur.

Atıksuların sulamada kullanılmasına ancak aşağıda belirtilen tüm şartlar sağlandığında izin verilebilir (Yurtseven ve ark. 2010.):

• Resmi izinin verildiği alanlarda,

• Sulama suyu olarak kullanılacak atıksu içeriğindeki bileşenlerin standartlara uygun olduğu durumlarda,

• Yeterli teknik personel ve uzmanların rutin teftişlerinin sağlanabildiği alanlarda,

• Uygun sulama yönteminin uygulandığı alanlarda, izin verilen bitki deseninde,

• Arıtma tesisleri çıkış suyunda ve suyun uygulandığı son noktada, yöre şartlarına uygun olacak şekilde belirlenmiş standart aralıklarla su kalitesi kontrol analizlerinin yapılabildiği durumlarda.

4.1.Evsel Atıksuların Sulama Suları Olarak Kullanılmasında Göz Önüne Alınması Gereken Parametreler

Atıksuların tarımsal sulama gibi amaçlarla kullanımı ile ilgili olarak çeşitli risk faktörleri belirlenmiştir. Mikrobiyal hastalık riski gibi bazı riskler kısa vadeli olup, insan, hayvan veya çevre ile temasına göre önem dereceleri değişmektedir. Topraktaki tuzluluk artışının yarattığı risklerde olduğu gibi bazı riskler ise uzun vadede etkisini göstermekte ve geri kazanılmış suyun kullanım sürekliliğine göre artmaktadır (Toze 2006).

4.1.1. Toplam tuz konsantrasyonu

Sulama suyu kalitesinin belirlenmesinde en önemli parametrelerden biri tuzluluktur. Sulama suyu çok çeşitli doğal tuz içermektedir. Su, sulama amacıyla toprağa verildiğinde bu tuzlar da toprağa iletilir. Toprağa geçen tuzlar toprak tabakasında birikir. Böylece toprakta biriken tuzlar bitkilerin topraktan su alması sırasında bitkilere ulaşır. Toplam tuzluluk oranı yüksek olan topraklara tuzlu topraklar denir. Yüksek

oranda tuzlu sulama suyu bitkiler üzerinde toksik etki yapar. Bu durum bitkilerin ihtiyaçları olan suyu yeterli miktarda bünyelerine almalarına engel olur. Suyun tuzluluğu genellikle elektriksel iletkenlik (EC) ya da toplam çözünmüş madde (TÇM) parametreleri ile ölçülür (Başkan 2006).

Tuzlulukta en önemli iyonlar sodyum, klorür ve bor iyonlarıdır. Tuzluluk arttıkça toprağın ozmotik potansiyeli düşer. Bu durum bitkilerin bünyelerine su alma oranlarını düşürür. Sonuç olarak bitkiler bünyelerine yeterli su alabilmek için büyük ölçüde enerji harcarlar. Su almak için fazla enerji harcayan bitkiler büyümek için gerek duydukları enerjiye yeterince sahip olamazlar. Bu durum kurak iklim şartlarında yeterli sulama suyu temin edilememesi ve bitkilerin su ihtiyaçlarının artması nedeniyle daha da zordur.

Tuzluluk, su veya topraktaki tuzların toplu olarak belirtilmesidir. Toplam çözünmüş madde (TÇM) şeklinde ölçülmektedir. Elektriksel iletkenlik (EC), (dS/m veya µS/m olarak ölçülür) TÇM'in bir diğer gösterim tarzıdır. TÇM ve EC arasında,

EC < 5 dS/m ise TÇM ≈ EC x 640

EC > 5 dS/m ise TÇM ≈ EC x 800

şeklinde bir ilişki vardır. Tuzluluk arttıkça, toprağın suyu ile bitki hücresi zarı arasındaki osmotik gradyan azalmaktadır. Bitki, topraktaki tuzlu suyu seyreltmek için kendi hücresindeki suyu toprağa geri bırakmakta ve bu durum bitkinin gelişmesini önlemektedir. TÇM değerinin 500 mg/L'den küçük olduğu durumlarda bitkilerde herhangi bir etki gözlenmemiştir. 500-1000 mg/L aralığında ise hassas bitkiler etkilenebilir. 1000-2000 aralığında ise bir çok bitki bundan etkilenmektedir ve dikkatli bir yönetim gerekmektedir. Genellikle, 2000 mg/L'nin üzerindeki TÇM değerine sahip sulama suları ise tuzluluğa toleranslı bitkiler için geçirgen zeminlerde kullanılabilir. Topraktaki tuzluluk oranı, drenaj suyunun sürekli ve düzenli bir şekilde tabandan çekilmesi halinde kararlı hale gelmektedir. Topraktaki tuzluluk oranının kontrol edilmesinde, drenaj sistemi çok önemlidir (Anonim 2010).

4.1.2. Sodyum adsorpsiyon oranı

Sodyum adsorpsiyon oranı, toprak bünyesindeki suda ve sulama suyunda sodyumun baskın iyon olduğu durumu göstermektedir. Yüksek sodyumlu durumlarda, toprak partikülleri birbirinden ayrılmaktadır. Bu durumda, topraktaki porozite azalmakta ve büyük boşluklar tıkanmaktadır. Böylelikle, su ve havanın toprak içine nüfuzu engellenmektedir. Sodyum oranı, sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) (Konsantrasyonlar, meq/L cinsindendir.) ile gösterilmektedir. SAR, suyun sodyum (veya benzer alkaliler) açısından zararlılığının bir ölçüsü olarak kullanılmakta ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$$

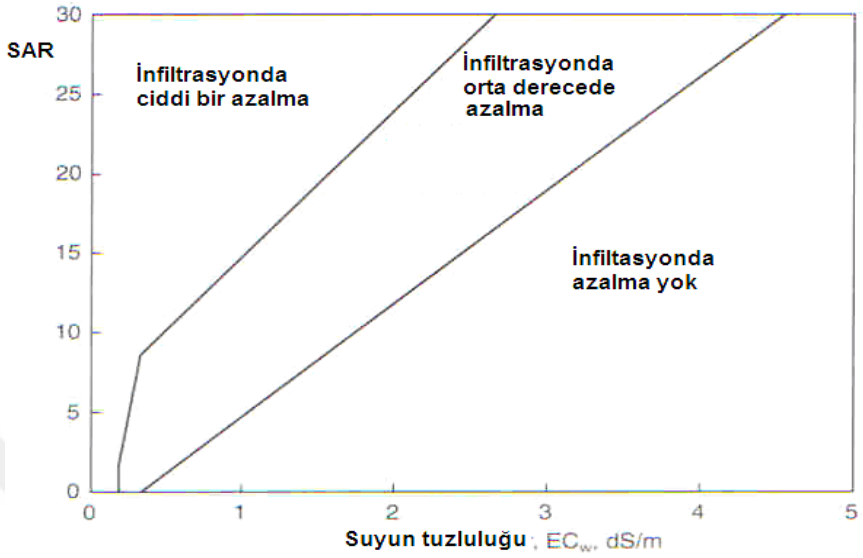
SAR değeri yerine son zamanlarda, revize edilerek tadil edilmiş SAR değeri (SAR_{tad}) olarak önerilmiştir. Burada, Ca^{+2} çözünürlüğünün, sudaki HCO_3 konsantrasyonuna bağlı olarak değişkenliği dikkate alınarak Ca_x değeri kullanılmaktadır. Ca_x, HCO_3/Ca ve EC'ye bağlı olarak değişmektedir.

$$SAR_{Tad} = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca_x + Mg^{+2}}{2}}}$$

Bu ifadedeki, Na^{+}, Mg^{+2} ve Ca_x konsantrasyonları da meq/L cinsindendir. Ancak, pratik olarak SAR ve SAR_{tad} arasında çok önemli bir farklılık yoktur. SAR daha yaygın olarak kullanılmaktadır. SAR yerine, SAR_{tad} değerinin kullanılması, su kalitesi ve topraktaki kimyasal karakteristiklerinin, kalsiyum dengesini bozabileceği durumlarda tavsiye edilmektedir. Yüksek alkaliniteli sular, konsantrasyon dengesini bozabilmekte ve yüksek SAR_{tad} değerleri vermektedir.

SAR ve EC'nin topraktaki infiltrasyon üzerindeki etkisi, Şekil 4.1'de gösterilmiştir. SAR ve EC'nin bilinmesi ile topraktaki sızma problemi konusunda bilgi sahibi olunabilmektedir. Topraktaki kalsiyum oranının, magnezyuma göre daha yüksek olması tavsiye edilmektedir. Topraktaki geçirimliliği düzenlemek üzere, kalsiyum sülfat

($CaSO_4$) kullanılmaktadır. Kalsiyum sülfat, toprağa direkt olarak veya sulama suyu içerisine karıştırılarak uygulanabilmektedir (Anonim 2010).



Şekil 4.1. SAR ve EC'nin infiltrasyon üzerindeki etkisi

SAR değerinin ölçümü ile sulama suyunun sulamaya uygunluğu belirlenir. Yüksek SAR değeri yüksek tuzluluğun işaretidir. Toprakta sodyumun kalsiyuma oranı 3:1 değerini aştığında toprak agregalari dağılma eğilimi gösterir. Toprak agregalarının dağılması ile toprak partikülleri giderek küçülür ve bu da toprak porlarının küçülmesine neden olur. Toprak porlarının küçülmesi sonucu toprak gözeneklerinde bitkilerin büyümesi için gerekli ve yeterli oranda su tutulamaz. Yani suyun infiltrasyon oranı düşer. Eğer sodyum konsantrasyonu yüksek arıtılmış atıksular ile sulama yapılması planlanıyor ise toprağın alkalinitesi ayarlanarak kalsiyum oranı dengelenmelidir. Sodyum oranının yüksek olduğu topraklarda toprak tanecikleri kuruyup, çatlayarak birbirinden ayrılma eğilimi göstermektedirler. Oluşan bu yapı sonucu çamurlaşan toprak sulansa dahi su üst yüzeyden alt kısıma geçememektedir. Bu nedenle bitkilerin büyümesi için gerekli su toprağa geçemediğinden bitkilere ulaşamamakta ve ürün oluşumu düşmektedir (Başkan 2006).

4.1.3. Özgül iyon toksisitesi

Geri kazanılmış sudaki birçok iyon, yüksek konsantrasyonlarda bitki üzerinde birikebilmektedir. Sodyum, klorür ve bor bunların başlıcalarıdır. Sodyum toksisitesi, yapraklara zarar vermektedir. Bu durum, avokado ve bazı meyve ağaçlarında (kayısı, kiraz, şeftali) gözlemlenmiştir. Klorür de benzer şekilde zarar vermektedir. Klorürün etkisi daha çok kavak gibi ağaçlarda olmaktadır. Sebze ve tarla bitkileri, SAR değeri çok yüksek değilse, sodyum ve klorürden etkilenmemektedir. Çizelge 4.1'de, değişik bitkilerin yapraklarına zarar veren klorür konsantrasyonları belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Bitkilerin yapraklarına zarar veren klorür konsantrasyonları (Anonim 2010).

Hassaslık	Klorür konsantrasyonu, mg/L	Etkilenen bitki
Hassas	< 178	Badem, kayısı, erik
Orta hassas	178-355	Üzüm, biber, patates, domates
Orta toleranslı	355-710	Kaba yonca, arpa, mısır, salatalık
Toleranslı	> 710	Karnabahar, pamuk, susam, sorgum, şeker pancarı, ayçiçeği

Bor, bitki büyümelerinde gerekli dozdan yüksek olduğunda zarar vermekte, yaprak yanması ve sararması gibi etkiler ile kendini göstermektedir.

Aslında, bütün bitkilerin normal gelişmeleri için az bir miktar bora ihtiyaçları vardır. Ancak borun bitkilere gerekli miktarı ile zehirlilik seviyesi arasında çok dar bir sınır vardır ve bu sınır bitki türlerine göre değişmektedir. Toprakta veya sulama suyunda kritik sınırların üstünde bor bulunması bitki yapraklarında sararma, yanma ve yarılmalara, olgunlaşmamış yapraklarda dökülme ve büyüme hızının yavaşlaması ile verimde azalmaya neden olmaktadır (Anonim 2010).

4.1.4. Eser elementler ve nütrientler

Eser elementler, ortamda çok düşük konsantrasyonlarda bulunan elementlerdir. Eser elementlerin bitkiler üzerindeki etkisi, konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Çizelge 4.2'de sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik

elementlerin konsantrasyonları verilmiştir. Bu elementlerden yüksek konsantrasyonlarda alındığında, yaprakların zarar görmesi veya büyümede gerileme gibi etkiler görülebilmektedir.

Çizelge 4.2. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları (Anonim 2010)

Elementler	**Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha**	**İzin verilen maksimum konsantrasyonlar**	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumun da sınır değerler mg/L	**pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/L**
Alüminyum (Al)	4600	5.0	20.0
Arsenik (As)	90	0.1	2.0
Berilyum(Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	-[3]	2.0
Kadmiyum (Cd)	9	0.01	0.05
Krom (Cr)	90	0.1	1.0
Kobalt (Co)	45	0.05	5.0
Bakır (Cu)	190	0.2	5.0
Florür (F)	920	1.0	15.0
Demir (Fe)	4600	5.0	20.0
Kurşun (Pb)	4600	5.0	10.0
Lityum (Li)[1]	-	2.5	2.5
Manganez (Mn)	920	0.2	10.0
Molibden (Mo)	9	0.01	0.05[2]
Nikel (Ni)	920	0.2	2.0
Selenyum (Se)	16	0.02	0.02
Vanadyum (V)	-	0.1	1.0
Çinko (Zn)	1840	2.0	10.0

[1]Sulanan narenciye için 0.075 mg/L'dir.
[2]Yalnız demir içeriği fazla olan asitli killi topraklarda izin verilen konsantrasyondur.
[3]Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Evsel atıksulardaki eser elementlerin konsantrasyonu, genellikle düşük miktarlardadır. Ancak, evsel atıksulara endüstriyel deşarjlar olduğu durumda, konsatrasyonlar yükselebilmektedir.

Geri kazanılmış evsel atıksu, sulama için faydalı olan nütrientleri içermektedir. Geri kazanılmış atıksuda bulunan üç ana nütrient; azot, fosfor ve potasyumdur. Azot ve fosfor, arıtılmış atıksuda yeterli miktarlarda bulunurken, bitki büyümesini etkilemektedir. Bununla birlikte, potasyum konsantrasyonu düşük olmasına karşın, bitki büyümesini daha az etkilemektedir. Çizelge 4.3'de değişik sistemleri ile geri kazanılmış atıksudaki nütrient seviyeleri verilmiştir (Anonim 2010).

Çizelge 4.3. Geri kazanılmış atıksuda olabilecek nütrient seviyeleri (Anonim 2010)

Elementler, mg/L	**Ham atıksu**	**Klasik Aktif Çamur**	**BNR**	**BNR+Filtrasyon +Dezenfeksiyon**	**MBR**	**BNR+MF +RO+ Dezenfeksiyon**
Toplam azot	20-70	15-35	2-12	2-12	7-18	<1
Nitrat azotu	0-az	10-30	1-10	1-10	5-11	<1
Toplam fosfor	4-12	4-10	1-2	<2	0.3-5	<0.05

BNR:Biyolojik nütrient giderimi, MBR:Membran biyoreaktör, RO:Reverse (Ters) osmoz

4.1.5. Mikrobiyolojik kalite

Sulamada tekrar kullanılacak arıtılmış atıksularda aranan mikrobiyolojik özellikler, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde (2010) yer almaktadır. Arıtılmış suyun sulamada kullanılması için iki değişik mikrobiyolojik sınıf oluşturulmuş olup, bu kriterler minimum gereksinimleri sağlamaktadır. Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri ve park, bahçe gibi kentsel alanların sulanmasında, hem yenen ürün ile su temas ettiği hem de park, bahçe gibi alanlarda insanların çim ve bitkiler ile teması olabileceği için çok iyi kalitede sulama suyu gerekmektedir. Bu durumda, sulama suyunda fekal koliform bulunmamalıdır ve mikrobiyolojik kalitesi çok iyi kontrol edilmelidir (Fekal koliform değeri hiçbir zaman 14 ad/100 ml'yi geçmemelidir). Bunun yanında, ticari

olarak işlenen gıda ürünleri (Meyve bahçeleri ve üzüm bağları), çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler ve otlak hayvanları için mera ve saman yetiştiriciliğinde, sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesi daha düşük kalitede olabilmektedir. Bu durumda fekal koliform değeri, 200 ad/100 ml'den küçük olmalı (30 günlük ortalama değer) ve hiçbir zaman 800 ad/100 ml'yi geçmemelidir (Anonim 2010).

Atıksu ile sulama yoluyla gelen patojenik organizmaların hastalık oluşturma etkileri ve epidemiyolojik özellikleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Atıksudan sulama yoluyla gelen patojenik organizmaların hastalık oluşturma etkileri ve epidemiyolojik özellikleri (Khouri 1994)

Patojen	**Çevredeki Dayanıklılık**	**Minimum Bulaşıcı Doz**	**Bağışıklık**	**Patojen Bulaşma Rotası**	**Gizlenme/ Toprakta Gelişme Safhası**
Virüsler	Orta Süre	Düşük Seviyede	Yüksek	Genelde evde yiyecek ve su ile temas	Yok
Bakteriler	Kısa-Orta süre	Orta-yüksek seviyede	Düşük-orta	Genelde evde yiyecek ve su ile temas	Yok
Protozoa	Kısa Süre	Düşük-orta seviyede	Hiç-az	Genelde evde yiyecek ve su ile temas	Yok
Helmintler	Uzun süre	Düşük seviyede	Hiç-az	Genelde evin ve yiyeceğin dışında toprak ile temas	Var

4.2.Evsel Atıksuların Sulamada Kullanılması İle İlgili Yasal Düzenlemeler

Sulama için kullanılan suyun toplam su tüketimindeki oranının fazla olması arıtılmış atıksuların sulama amaçlı kullanılmasını önemli hale getirmektedir. Ancak atıksuların arıtıldıktan sonra kullanılmasının olumsuz etkilerini azaltmak, insan sağlığını ve çevreyi korumak amacıyla dikkate alınması gereken pek çok konu bulunmaktadır. Bu da atıksuların sulamada kullanılması için bazı kalite parametrelerinin oluşturulmasını

zorunlu hale getirmektedir. Bu nedenle pek çok ülke çeşitli standartlar ve yol gösterici kaynaklar hazırlama yoluna gitmektedir.

4.2.1. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 2010

Arıtılmış atıksuların sulama suyu kulanım kriterleri 20 Mart 2010 tarihli Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliğinde verilmiştir (Anonim 2010). Bu tebliğde arıtılmış atıksuların sulama suyu olarak geri kullanım kriterleri açıklanmıştır.

Sulamada tekrar kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması Çizelge 4.5'te verilmiştir. Arıtılmış suyun sulamada kullanılması için iki değişik sınıf oluşturulmuş olup, bu kriterler minimum gereksinimleri sağlamakta ve bazı özel uygulamalarda ilave kriterler de uygulanabilmektedir. Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünlerinin ve park, bahçe gibi kentsel alanların sulanmasında, hem yenen ürün ile hem de park, bahçe gibi alanlarda insanların bitkiler ile su teması olabileceği için iyi kalitede sulama suyu gerekmektedir. Sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesi çok iyi kontrol edilmelidir. Bunun yanında, ticari olarak işlenen gıda ürünleri (Meyve bahçeleri ve üzüm bağları), çim üretim ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler ve otlak hayvanları için mera ve saman yetiştiriciliğinde, sulama suyu daha düşük kalitede olabilmektedir.

Çizelge 4.5. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması (Anonim 2010)

Sınıf A a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri[l] b-Kentsel alanların sulanması				
Geri kazanım türü	**Arıtma tipi**	**Geri kazanılmış suyun kalitesi[a]**	**İzleme periyodu**	**Uygulama mesafesi[b]**
a)Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürünü **b)**Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)	-İkincil arıtma[c] -Filtrasyon[d] -Dezenfeksiyon[e]	-pH=6-9 -$BOİ_5$ < 20 mg/L -Bulanıklık < 2 NTU[f] -Fekal koliform: 0/100 mL[g,h] -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L[i]	-pH: Haftalık -$BOİ_5$: Haftalık -Bulanıklık: Sürekli -Koliform: Günlük -Bakiye klor: Sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede

Çizelge 4.5. Sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların sınıflandırılması (devam)

Sınıf B a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünleri[m] b-Girişi kısıtlı sulama alanları c- Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan bitkiler				
Geri kazanım türü	**Arıtma tipi**	**Geri kazanılmış suyun kalitesi[a]**	**İzleme periyodu**	**Uygulama mesafesi[b]**
a)Meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması **b)**Çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler **c)**Otlak hayvanları için mera sulaması	-İkincil arıtma[c] -Dezenfeksiyon[e]	-pH=6-9 -$BOİ_5$ < 30 mg/L -AKM < 30 mg/L -Fekal koliform < 200 ad/100 mL[g,j,k] -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L[i]	-pH: Haftalık -$BOİ_5$: Haftalık -AKM: Günlük -Koliform: Günlük -Bakiye klor: Sürekli	-İçme suyu temin edilen kuyulara en az 90 m mesafede. -Yağmurlama sulama yapılıyor ise halkın bulunduğu ortama en az 30 m mesafede

[a] *Aksi belirtilmedikçe, arıtılmış atıksu kalitesini belirtmektedir.*
[b] *Su kaynaklarını ve dolayısıyla insanları arıtılmış atıksuyun etkisinden korumak için konuluş bir sınırlamadır.*
[c] *İkincil arıtma, aktif çamur sistemleri, biyodisk, damlatmalı filtreler, stabilizasyon havuzları, havalandırmalı lagünleri vb. içerebilir.*
[d] *Kum filtreleri veya mikrofiltrasyon ile ultrafiltrasyon gibi membran filtreler olabilir.*
[e] *Dezenfektant olarak klor kullanılması, diğer dezenfeksiyon yöntemlerinin de kullanımını kısıtlamaz.*
[f] *Tavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde sağlanmalıdır. Hiç bir zaman 5 NTU'yu geçmemelidir. Bulanıklık yerine AKM'nin kullanıldığı durumlarda, AKM değeri 5 mg/L'nin altında olmalıdır.*
[g] *7günlük ortalama değerleri karakterize eder.*
[h] *Fekal koliform değeri hiç bir zaman 14 ad/100 mL'yi geçmemelidir.*
[i] *Bakiye klor değeri 30 dk temas süresi sonrasındaki değeri kazakterize etmektedir.*
[j] *Fekal koliform değeri hiç bir zaman 800 ad/100 mL'yi geçmemelidir.*
[k] *Stabilizasyon havuzları fekal koliform değerini dezenfeksiyon olmadan da sağlayabilir.*
[l] *İleri arıtma uygulanmalıdır.*
[m] *Ticari olarak işlenen gıda ürünleri halka satılmadan önce patojen mikroorganizmaların öldürülmesi için fiziksel veya kimyasal bir işlemden geçirilen ürünlerdir.*

Çizelge 4.5'de atıksuların sınıflandırılması ile ilgili bazı açıklamalar yapılmıştır. Sınıf A için yapılan açıklamalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Tarımsal sulamada tavsiye edilen ağır metal analizlerine dikkat edilmelidir.
- Standartları sağlamak üzere filtrasyon öncesinde koagülant ilavesi yapılabilir.
- Geri kullanılacak arıtılmış atıksu renksiz ve kokusuz olmalıdır.
- Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir.
- Arıtılmış atıksu dağıtım sisteminde (en son uygulama noktasında) bakiye klor değeri 0.5 mg/L'nin üzerinde olmalıdır.
- Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir.
- Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.

Aynı Çizelgede Sınıf B için yapılan açıklamalar aşağıda sıralanmıştır:

- Tarımsal sulama için tavsiye edilen limitlerde göz önünde bulundurulmalıdır.
- Püskürtmeli sulama yapılıyor ise AKM < 30 mg/L olmalıdır.
- Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.
- Süt hayvanlarının meralara girişi sulama yapıldıktan 15 gün sonra olmalıdır. Bu süre kısa olması gerektiği durumlarda, fekal koliform değeri en fazla 14 ad/100 mL olabilir.

Çizelge 4.6'da sulama suyu için kimyasal kalite kriterleri verilmiştir. Evsel nitelikli atıksular hariç sulamada geri kullanılacak arıtılmış atıksuların bu kimyasal kriterleri sağlaması gerekmektedir.

Çizelge 4.6. Sulama suyu kimyasal kalite kriterleri (Anonim 2010)

			Kullanımında zarar derecesi		
Parametreler		**Birimler**	**Yok (I. sınıf su)**	**Az – orta (II. sınıf su)**	**Tehlikeli (III. sınıf su)**
Tuzluluk					
İletkenlik		µS/cm	< 700	700-3000	>3000
Toplam Çözünmüş Madde		mg/L	< 500	500-2000	>2000
Geçirgenlik					
SAR_{Tad}	0-3		EC ≥ 0.7	0.7-0.2	< 0.2
	3-6		≥ 1.2	1.2-0.3	< 0.3
	6-12		≥ 1.9	1.9-0.5	< 0.5
	12-20		≥ 2.9	2.9-1.3	< 1.3
	20-40		≥ 5.0	5.0-2.9	< 2.9
Özgül iyon toksisitesi					
Sodyum (Na)					
Yüzey sulaması		mg/L	< 3	3-9	> 9
Damlatmalı sulama		mg/L	< 70	> 70	
Klorür (Cl)					
Yüzey sulaması		mg/L	< 140	140 –350	> 350
Damlatmalı sulama		mg/L	< 100	> 100	
Bor (B)		mg/L	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0

Evsel nitelikli atıksuların Çizelge 4.5' de belirtilen parametrelerin temelinde yapılan analiz sonucuna göre aynı Çizelge'nun Sınıf A veya Sınıf B bölümünde belirlenen alanlarda ve bitki türlerinde sulama suyu olarak kullanılmasına izin verilir. Kentsel nitelikli atıksularda Çizelge 4.5'e ilaveten Çizelge 4.6'da belirtilen parametreler temelinde yapılacak analiz sonuçlarına göre Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'da belirtilen bitkilerin hassasiyet durumları da sulamada dikkate alınır. Çizelge 4.7'de çeşitli bitkiler ve bunların tuzluluğa olan hassaslıkları verilmiştir.

Çizelge 4.7. Bitkilerin tuzluluğa olan hassaslıkları (Anonim 2010)

Bitki ismi	**Hassaslık***			
	Toleranslı	**Orta toleranslı**	**Orta hassas**	**Hassas**
	TÇM >2000 mg/L	TÇM: 1500-2000 mg/L	TÇM: 1000-1500 mg/L	TÇM: 500-1000 mg/L
Tarla bitkileri				
Arpa	√			
Fasulye				√
Mısır			√	
Pamuk	√			
Börülce			√	
Keten			√	
Yulaf		√		
Pirinç			√	
Çavdar		√		
Şeker pancarı	√			
Sorgum		√		
Soya fasulyesi		√		
Buğday		√		
Sebzeler				
Enginar		√		
Kuşkonmaz	√			
Kırmızı pancar		√		
Lahana			√	
Havuç				√
Kereviz			√	
Salatalık			√	
Marul			√	
Soğan				√
Patates			√	
Ispanak			√	
Kabak		√		
Domates			√	

Çizelge 4.7. Bitkilerin tuzluluğa olan hassaslıkları (devam)

Bitki ismi	Hassaslık*			
	Toleranslı	**Orta toleranslı**	**Orta hassas**	**Hassas**
	TÇM >2000 mg/L	TÇM: 1500-2000 mg/L	TÇM: 1000-1500 mg/L	TÇM: 500-1000 mg/L
Şalgam			√	
Çayır bitkileri				
Yonca			√	
Çayır otu (fescue)		√		
Fokstail (çimen)			√	
Harding çimi		√		
Meyve bahçesi			√	
Sesbania (çiçek)			√	
Sudan çimi		√		
Bakla			√	
Buğday çimi		√		
Meyveli ağaçlar				
Badem				√
Kayısı				√
Böğürtlen				√
Hurma	√			
Üzüm			√	
Portakal				√
Şeftali				√
Erik				√
Çilek				√

**Hassaslık, iklime, toprak durumuna ve kültürel şartlara göre değişebilir.*

Çizelge 4.8'de sulama suyunda bulunan sodyumun değişik bitkiler için toleransı verilmiştir. Klorür de benzer şekilde zarar vermektedir. Klorürün etkisi daha çok kavak gibi ağaçlarda olmaktadır. Sebze ve tarla bitkileri, SAR değeri çok yüksek değilse,

sodyum ve klorürden etkilenmemektedir. Çizelge 4.9'da, değişik bitkilerin yapraklarına zarar veren klorür konsantrasyonları belirtilmiştir.

Çizelge 4.8. Değişik bitkilerin sulama suyunda bulunan sodyuma toleransı (Anonim 2010)

Toleransı	SAR değeri	Bitki	Durum
Çok hassas	2-8	Yaprak döken meyve ağaçları, turunçgiller, avokado	Yaprakta yanma
Hassas	8-18	Fasulyeler	Büyümenin engellenmesi, bodur kalma
Orta toleranslı	18-46	Yonca, yulaf, pirinç	Nütrient ve toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma
Toleranslı	46-102	Buğday, kaba yonca, arpa, domates, şeker pancarı, değişik çimen türleri	Zayıf toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma

Çizelgeye göre değişik bitkilerin sulama suyunda bulunan sodyuma toleransı SAR değeri kullanılarak ifade edilmektedir. Bu bitkiler üzerinde de sodyum içeriğinin artışına bağlı olarak bazı olumsuz durumlar meydana gelebilmektedir. Bu durumları özetlemek gerekirse, söz konusu bitkiler için, hassas olanlardan fasulyeler üzerine etkisi büyümenin engellenmesi ve bodur kalma iken, orta toleranslı olanlardan yonca, yulaf, pirinç üzerine etkisi nütrient ve toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma şeklinde ve toleranslı olanlardan buğday, kaba yonca, arpa, domates, şeker pancarı ve değişik çimen türleri üzerine etkisi zayıf toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma şeklindedir.

Çizelge 4.9. Bitkilerin yapraklarına zarar veren klorür konsantrasyonları (Anonim 2010)

Hassaslık	Klorür konsantrasyonu, mg/L	Etkilenen bitki
Hassas	< 178	Badem, kayısı, erik
Orta hassas	178-355	Üzüm, biber, patates, domates
Orta toleranslı	355-710	Kaba yonca, arpa, mısır, salatalık
Toleranslı	> 710	Karnabahar, pamuk, susam, sorgum, şeker pancarı, ayçiçeği

Bitkilerin yapraklarına zarar veren klorür konsantrasyonları dikkate alındığında, atıksu arıtma tesisi çıkış sularının sulamada kullanılması durumunda, klorüre orta toleranslı olan bitkiler kaba yonca, arpa, mısır, salatalık; toleranslı olanlar ise karnabahar, pamuk, susam, sorgum, şeker pancarı, ayçiçeği olarak sıralanabilir.

Çizelge 4.10. Bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri (Anonim 2010)

Bitki ismi	**Hassaslık***			
	Toleranslı	**Orta toleranslı**	**Orta hassas**	**Hassas**
	Bor: > 4.0 mg/L	Bor: 2.0-4.0 mg/L	Bor: 1.0-2.0 mg/L	Bor: 0.5-1.0 mg/L
Tarla bitkileri				
Arpa		√		
Fasulye				√
Mısır		√		
Pamuk	√			
Yer fıstığı				√
Yulaf		√		
Sorgum	√			
Şeker pancarı	√			
Buğday				√
Sebzeler				
Enginar		√		
Kuşkonmaz	√			
Kırmızı pancar	√			
Lahana		√		
Havuç			√	
Kereviz		√		
Salatalık			√	
Marul		√		
Soğan				√
Patates			√	
Domates	√			
Şalgam		√		
Yem bitkileri				
Kaba yonca	√			
Arpa (at yemi)				√

Çizelge 4.10. Bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri (devam)

Bitki ismi	Hassaslık*			
	Toleranslı	**Orta toleranslı**	**Orta hassas**	**Hassas**
	Bor: > 4.0 mg/L	Bor: 2.0-4.0 mg/L	Bor: 1.0-2.0 mg/L	Bor: 0.5-1.0 mg/L
Börülce				√
Meyveli ağaçlar				
Kayısı				√
Böğürtlen				√
Üzüm				√
Portakal				√
Şeftali				√
Erik				√

**Hassaslık, iklime, toprak durumuna ve kültürel şartlara göre değişebilir.*

Çizelge 4.10'da bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri verilmiştir. Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılmasında bu sınıflandırma göz önüne alınırsa, tarla bitkilerinden fasulye, yer fıstığı ve buğday hassas olduğu için yetiştirilmesi durumunda bor konsantrasyonundan etkilenir. Arpa, mısır, pamuk, yulaf, sorgum, şeker pancarı bor konsantrasyonuna karşı daha toleranslıdır. Sebzelerden, sadece soğan arıtılmış sudaki bor konsantrasyonuna hassasken, kuşkonmaz, kırmızı pancar ve domatesin toleranslı olduğu görülür. Yem bitkilerinden arpa (at yemi) ve börülce bora karşı hassastır. Sadece kaba yoncanın yetiştirilmesi bora karşı daha toleranslı olduğu için mümkün olmaktadır. Yönetmelikte verilen bor içeriği dikkate alındığında tüm meyveli ağaçların bora karşı hassas olduğu görülmektedir.

Evsel atıksulardaki eser elementlerin konsantrasyonu, genellikle düşük miktarlardadır. Ancak, evsel atıksulara endüstriyel deşarjlar olduğu durumda, konsatrasyonlar yükselebilmektedir. Geri kazanılmış atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları, Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Geri kazanılmış evsel atıksulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları (Anonim 2010)

Elementler, mg/L	İkincil arıtma		Üçüncül arıtma	Ters osmoz	Tavsiye edilen değer*	
	Aralık	Ortalama			Kısa süreli	Uzun süreli
Arsenik (As)	<0.005-0.023	<0.005	<0.001	0.00045	0.10	10.0
Bor (B)	<0.1-2.5	0.7	0.3	0.17	0.75	2.0
Kadmiyum(Cd)	<0.005-0.15	<0.005	<0.0004	0.0001	0.01	0.05
Krom (Cr)	<0.005-1.2	0.02	<0.01	0.0003	0.10	20.0
Bakır (Cu)	<0.005-1.3	0.04	<0.01	0.015	0.20	5.0
Civa (Hg)	<0.002-0.001	0.0005	0.0001	-	-	-
Molibden (Mo)	0.001-0.018	0.007	-	-	0.01	0.05
Nikel (Ni)	0.003-0.6	0.004	<0.02	0.002	0.2	2.0
Kurşun (Pb)	0.003-0.35	0.008	<0.002	0.002	5.0	20.0
Selenyum(Se)	<0.005-0.02	<0.005	<0.001	0.0007	0.02	0.05
Çinko (Zn)	0.004-1.2	0.04	0.05	0.05	2.0	10.0

** EPA' nın tavsiyesi*

Geri kazanılmış atıksu, sulama için faydalı olan nütrientleri içermektedir. Geri kazanılmış atıksuda bulunan üç ana nütrient, azot, fosfor ve potasyumdur. Azot ve fosfor, arıtılmış atısuda yeterli miktarlarda bulunurken, bitki büyümesini etkilemektedir. Bununla birlikte, potasyum konsatrasyonu düşük olmasına karşın, bitki büyümesini daha az etkilemektedir. Çizelge 4.12'de değişik arıtma sistemleri ile geri kazanılmış atıksudaki nütrient seviyeleri verilmiştir.

Çizelge 4.12. Geri kazanılmış atıksuda olabilecek nütrient seviyeleri (Anonim 2010)

Elementler, mg/L	Ham atıksu	Klasik Aktif Çamur	BNR	BNR+Filtrasyon +Dezenfeksiyon	MBR	BNR+MF +RO+ Dezenfeksiyon
Toplam azot	20-70	15-35	2-12	2-12	7-18	<1
Nitrat azotu	0-az	10-30	1-10	1-10	5-11	<1
Toplam fosfor	4-12	4-10	1-2	<2	0.3-5	<0.05

BNR: Biyolojik nütrient giderimi, MBR: Membran biyoreaktör, RO: Reverse (Ters) osmoz

4.2.2. US EPA Rehberi, 2004

EPA 2004 yılında atıksuların yeniden kullanımı üzerine hazırladığı rehberi güncellemiştir. Hazırlanan bu rehberin amacı, yeniden kullanım rehberini sunmak ve özetlemek, yeniden kullanım uygulama alanları ve faydaları ile ilgili yönetmelikleri düzenleyen kuruluşlara bilgi desteği oluşturmaktır. Bu rehberde suyun iyileştirilmesi ve içilemeyen suların yeniden kullanılması için tüm dünyada bilinen ve uygulanan geleneksel su ve atıksu arıtma teknolojilerine ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir. Ancak, herhangi bir işlem görmeden tüketilen sebzelerin sulanması gibi halkı doğrudan etkileyen uygulamalarda estetik açıdan dikkat etmek gerektiği kadar sağlık açısından da dikkat etmenin ve bu nedenle daha yüksek kalitede arıtılmış su elde etmenin gerekliliği vurgulanmaktadır. EPA, 2004 de belirtildiği üzere dünyada çekilen toplam suyun %40'ı tarımda kullanılmaktadır. Bu oranın azaltılması amacıyla arıtılmış atıksuların tarımda yeniden kullanılması uygulamasına gidilmiş ve Florida eyaletinde yeniden kullanım amacıyla arıtılan atıksuların yaklaşık %19'u tarımda kullanılmıştır. Kaliforniya eyaletinde ise arıtılmış atıksuların yaklaşık %48'i sulama amaçlı kullanılmaktadır (Khouri ve ark. 1994).

EPA, 2004 tarafından hazırlanan rehberlerde sulama suyundaki kalite parametreleri anlatılırken dikkat edilmesi gereken parametrelerin tuzluluk, sodyum, eser elementler, aşırı bakiye klor, ve nütrientler olduğu anlatılmaktadır. Hazırlanan rehberde verilen öneriler Çizelge 4.13'te verilmektedir. Birleşmiş Milletler-Çevre Koruma Ajansı suların yeniden kullanılmasına ilişkin hazırladığı rehberi 2004 yılında yeniden revize etmiştir. Rehberde Fekal ve Toplam Koliform parametreleri bulunmaktadır. Son hazırlanan rehbere göre Toplam Koliform parametresi Kaliforniya Standardında yenmeyen ürünler için 23 adet/100 mL değerini aşmamalıdır. Florida Standardında ise Fekal Koliform miktarı 200 adet/100 mL değerini aşmamalıdır. İkincil arıtmanın ardından filtrasyon ve dezenfeksiyon yapılmalıdır. Çizelge 4.13'den görüleceği üzere ağır metaller sınırlamalarda önemli bir yer tutmaktadır. Sınırlamalarda uzun dönemli ve kısa dönemli kullanıma ait sınırlama değerlerinin değiştiği gözlenmektedir. Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı söz konusu olduğunda ise tuzluluk belirtisi olan TÇM ve Serbest Bakiye Klor Parametreleri dikkati çekmektedir. Ayrıca BOİ, AKM ya da mikrobiyolojik parametreler yer almamaktadır. Bu parametreler eyalet bazında

sınırlandırılmıştır. Farklı eyaletlerde farklı limitler yer almaktadır. Özellikle Kaliforniya ve Florida gibi eyaletlerde yeniden kullanım konusuna özel önem gösterildiğinden bu eyaletlerde sınırlamalar oldukça sıkıdır. Ayrıca gerekli arıtma yöntemleri açısından da eyaletler arasındaki limitler farklılık göstermektedir (Başkan 2006).

4.2.2.1.Florida Standardı

Florida'da arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması için sağlaması gereken limitler Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'de verilmiştir (Anonim 2004a)

Çizelge 4.13. Sulamada kullanılacak arıtılmış atıksu içeriklerinin limitleri (Anonim 2004a)

Bileşen	**Uzun Dönemli Kullanım (mg/L)**	**Kısa Dönemli Kullanım (mg/L)**	**Açıklamalar**
Alüminyum	5.0	20	Asidik topraklarda üretkenliği etkileyebilir ancak pH 5.5 ile 8.0 arasında iyonlar toprakta çöker ve toksisite elimine olur.
Arsenik	0.10	2.0	Bitkilere olan toksisitesi büyük ölçüde değişkendir, Sudan otları için 12 mg/L pirinç için ise 0.05 mg/L'den azdır.
Berilyum	0.10	0.5	Bitkilere olan toksisitesi büyük ölçüde değişkendir, kıvırcık lahana için 5 mg/L çalı fasulyesi için ise 0.5 mg/L kadardır.
Bor	0.75	2.0	Bitki büyümesi için önemlidir, nütrient olarak ondalıklı mg/L oranda optimum verim elde edilmiştir. Pek çok hassas bitkiye 1 mg/L de toksiktir (ör. Limon). Genellikle arıtılmış atıksuda topraktaki eksikliği karşılayacak miktarda bulunur. Otların çoğu nispeten 2.0 ila 10 mg/L kadar tolere edebilir.
Kadmiyum	0.01	0.05	Fasulyelere,pancarlara, şalgamlara, nütrient solüsyonunda 0.1 mg/L kadar düşük konsantrasyonlarda bile toksiktir. Koruyucu limitler önerilir.

Çizelge 4.13. Sulamada kullanılacak arıtılmış atıksu içeriklerinin limitleri (devam)

Bileşen	**Uzun Dönemli Kullanım (mg/L)**	**Kısa Dönemli Kullanım (mg/L)**	**Açıklamalar**
Krom	0.1	1.0	Genellikle bitki büyümesi için gerekli olarak bilinmez. Bitkilere bilinen toksisitesi konusunda bilgi eksikliğinden koruyucu limitler önerilir.
Kobalt	0.05	5.0	Nütrient solüsyonunda domatese 0.1 mg/L de toksiktir. Nötr ve alkali toprakta inaktif olmaya eğilimlidir.
Bakır	0.2	5.0	Nütrient solüsyonunda pek çok bitkiye 0.1 ila 1.0 mg/L arasında toksiktir.
Florür	1.0	15.0	Nötr ve alkali topraklarda inaktiftir.
Demir	5.0	20.0	Havalandırılmış topraklarda bitkilere toksik değildir. Ancak toprağın asidifikasyonuna ve gerekli fosfor ve molibdenin kaybına katkıda bulunur.
Kurşun	5.0	10.0	Yüksek konsantrasyonlarda bitki hücre büyümesini inhibe eder.
Lityum	2.5	2.5	Çoğu bitkide 5 mg/L konsantrasyona kadar tolere edilebilir, toprakta hareketlidir. Limona düşük dozlarda toksiktir, önerilen limit 0.075 mg/L dir.
Mangan	0.2	10.0	Asidik topraklarda çoğu bitkiye onda birkaç ya da birkaç mg/L oranında bile toksiktir.
Molibden	0.01	0.05	Su ve toprakta normal konsantrasyonlarda bitkilere toksik değildir. Hayvanlara yemler yüksek oranda molibden içeren yerlerde büyüdüyse toksiktir.
Nikel	0.2	2.0	Birçok bitkiye 0.5 -1.0 mg/L arasında toksiktir; alkali ve nötr pH'li topraklarda toksisitesi azalır.
Selenyum	0.02	0.02	Düşük konsantrasyonlarda bitkilere toksiktir ve yemler düşük seviyelerde selenyum içeren topraklarda büyüdüyse hayvanlara toksiktir.
Kalay, Tungsten, Titanyum.	-	-	Bitkiler tarafından etkili şekilde bitki dışında tutulur, özel tolerans seviyeleri bilinmemektedir.
Vanadyum	0.1	1.0	Çoğu bitkilere nispeten düşük konsantrasyonlarda toksiktir.
Çinko	2.0	10.0	Bitkilere toksisite büyük oranda değişkendir, artan pH'da (6 ya da üzeri) ve ince yapılı ya da organik topraklarda toksisite azalır.

Çizelge 4.14. Sulamada kullanılacak arıtılmış atıksu bileşenlerinin limitleri (Anonim 2004a)

Bileşen	**Önerilen Limit**	**Açıklamalar**
pH	6.0	pH'in bitki büyümesindeki çoğu etkisi doğrudan değildir.
TÇM	500 - 2,000 mg/L	500 mg/L nin altında genellikle bilinen zararlı etkileri yoktur. 500 ila 1,000 mg/L arasında sulama suyundaki TÇM hassas bitkileri etkileyebilir. 1,000 ila 2,000 mg/L arasında TÇM seviyeleri pek çok mahsulü etkileyebilir ve dikkatli yönetim uygulamaları izlemelidir. 2,000 mg/L nin altında su sadece geçirgen topraklardaki tolere edebilen bitkilerde düzenli olarak kullanılabilir.
Serbest Bakiye Klor	<1 mg/L	5 mg/L den yüksek konsantrasyonlar çoğu bitki için şiddetli hasarlara neden olur. Bazı hassas bitkiler 0.05 mg/L den az konsantrasyonlarda bile zarar görebilir.

4.2.2.2.Kaliforniya Standardı

Kaliforniya'da 2004 yılında 700 milyon m^3 su geri kazanılmıştır. Bu değerin 2030 yılında 1800 milyon m^3'e çıkması beklenmektedir. 700 milyon m^3 arıtılan su bölgede üretilen atıksuyun yaklaşık %10'u kadardır. Tarımda sulamada, yeraltı suyunun beslenmesi, endüstriyel soğutmada, tuvalet sifonunda arıtılmış atıksular kullanılmaktadır. Kaliforniya'da minimum arıtma genellikle ikincil arıtmadır. İnsanlarla direkt temas olacak kullanımlarda üçüncül arıtma gerekmektedir (Karajeh, vd., 2004).

Çizelge 4.15'de Kaliforniya ve Florida'da arıtılmış atıksu ile sulama kriterlerinin karşılaştırmalı Çizelgesu gösterilmektedir. Çizelgedan da görüleceği üzere Kaliforniya yeniden kullanım kriterleri Florida'ya göre oldukça sıkıdır. Florida'da ikincil arıtma zorunlu tutulurken, Kaliforniya'da üçüncül arıtmayı bile gerektiren durumlardan söz edilmektedir. Florida sulama kriterlerinde mikrobiyolojik parametre olarak fekal koliform belirtilirken, Kaliforniya kriterlerinde Toplam koliform değerlerine ilişkin kısıtlamalar belirtilmiştir. Kaliforniya'da üçüncül arıtma yapılması zorunlu atıksular için bir numunedeki maksimum toplam koliform değerinin 100 mL'de 240'i aşmaması

istenmektedir. Florida'da ise 30 günlük analizlerin %75'inde fekal koliform değerinin sayılamayacak kadar az yani hiç olmaması istenmektedir. Bu değerler oldukça sıkı değerlerdir. Çizelgeden de görüleceği üzere sulama yapılacak ürünün cinsine göre sulamada sınırlandırmalar farklılık göstermektedir. Soyulmadan yenen ürünlerin sulama değerleri ile halkın girişinin kısıtlı olduğu yerlerde uygulanabilecek sulama değerleri birbirinden ayrılmıştır. Halkın girişinin kısıtlı olduğu yerlerde sınırlandırmalar daha serbestken, halkın direkt temasının olabileceği durumlarda sınırlandırmalar daha sıkıdır. Hatta bu sınırlamalar Kaliforniya'da daha da ileri götürülerek bitkinin yenen bölümleri ile temasın olup olmadığı durumlar olmak üzere ayrılmıştır. Bitkinin yenen bölümleri ile temasın olabileceği durumlarda üçüncül arıtma ve dezenfeksiyon gerekirken, temasın olmayacağı durumlarda ikincil arıtma ve dezenfeksiyona izin verilmektedir. Hatta yenen kısımlar ile hiçbir temasın olmadığı ve tüketim öncesi patojen giderimi yani pastörize edilmesi durumunda sadece ikincil arıtma bile yeterli görülmektedir. Florida'da BOİ, AKM, pH ve Bakiye Klor için bir sınırlandırma olmasına rağmen Kaliforniya'da böyle bir sınırlama yoktur. Kaliforniya'da ise bulanıklık ile ilgili sınırlama olmasına rağmen aynı sınırlama Florida'da gözlenmemektedir (Başkan 2006).

Çizelge 4.15. Florida ve Kaliforniya yeniden kullanım değerleri (Başkan 2006)

Eyaletler/Parametreler	**Florida**	**Kaliforniya**			
		Dezenfekte Edilmiş Üçüncül Arıtma Suyu		Dezenfekte Edilmiş İkincil Arıtma Suları	Dezenfekte Edilmemiş İkincil Arıtma Suları
İstenen Arıtma	İkincil Arıtma, filtrasyon ve yüksek seviyede dezenfeksiyon	Oksidasyon, koagülasyon (membran filtrasyon varsa veya bulanıklık değerleri karşılanıyorsa gerek yok), filtrasyon, dezenfeksiyon		Oksidasyon ve Dezenfeksiyon	Oksidasyon
Bulanıklık (24 Saatlik)		2 NTU (Koagüle edilmiş ve doğal topraktan veya filtre yatağından geçirilmiş atıksular için	Membrandan geçirilmiş atıksular için		
Bulanıklık (24 Saatlik zamanın % 5inden fazlasında)		5 NTU	0,2		
Bulanıklık (Anlık)		10 NTU	0,5		
Fekal Koliform (Tekli numunede maksimum)	25 adet/100 mL				
Fekal Koliform (30 günlük periyodun %75'inde)	Sayılamayan				
Toplam Koliform (7 günlük ortalama)		2.2 adet/100 mL		2.2 adet/100 mL	
Toplam Koliform (30 günlük numunenin 1'inde)		23 adet/100 mL		23 adet/100 mL	

Çizelge 4.15. Florida ve Kaliforniya yeniden kullanım değerleri (Başkan 2006)

Eyaletler/Parametreler	**Florida**	**Kaliforniya**		
		Dezenfekte Edilmiş Üçüncül Arıtma Suyu	Dezenfekte Edilmiş İkincil Arıtma Suları	Dezenfekte Edilmemiş İkincil Arıtma Suları
Toplam Koliform (Bir numunede maksimum değer)	Belirtilmemiş	240 adet/100 mL		
Sulama yapılabilir ürünler	Tütün ve narenciye ürünleri hariç soyulmadan, pişirilmeden, termal işlemden geçirilmeden ürünlerin direkt sulanmasına izin verilmiyor.	Arıtılmış atıksuyun bitkinin yenen bölümleriyle temas ettiği durumlarda sulama yapılabilir.	Bitkinin yenen bölümleri yer üstünde yetişen ürünlerin sulanmasında ve arıtılmış atıksu ile temas etmediği durumlarda kullanılabilir.	Bitkinin yenen bölümleriyle atıksuyun temas etmediği ürünler ve tüketim öncesinde patojen giderimi işlemine tabi tutulan ürünlerin, meyve bahçeleri ve bağların sulanmasında kullanılabilir.
	Her tür yenen ürünlere arıtılmış atıksuyun direkt temasına engel olan indirekt uygulamalarda kullanılabilir.			
	Eğer halkın girişi kısıtlanırsa, arıtılmış atıksu meyve ile direkt temas etmezse ve üretilen meyve insan tüketiminden önce işlenirse; narenciye sulama sistemlerinde ikincil arıtma ve temel dezenfeksiyon kullanılabilir.			
BOI_5	20 mg/L			
AKM	5 mg/L			
Bakiye Klor	Min. 1 mg/L			
pH	6 - 8,5			

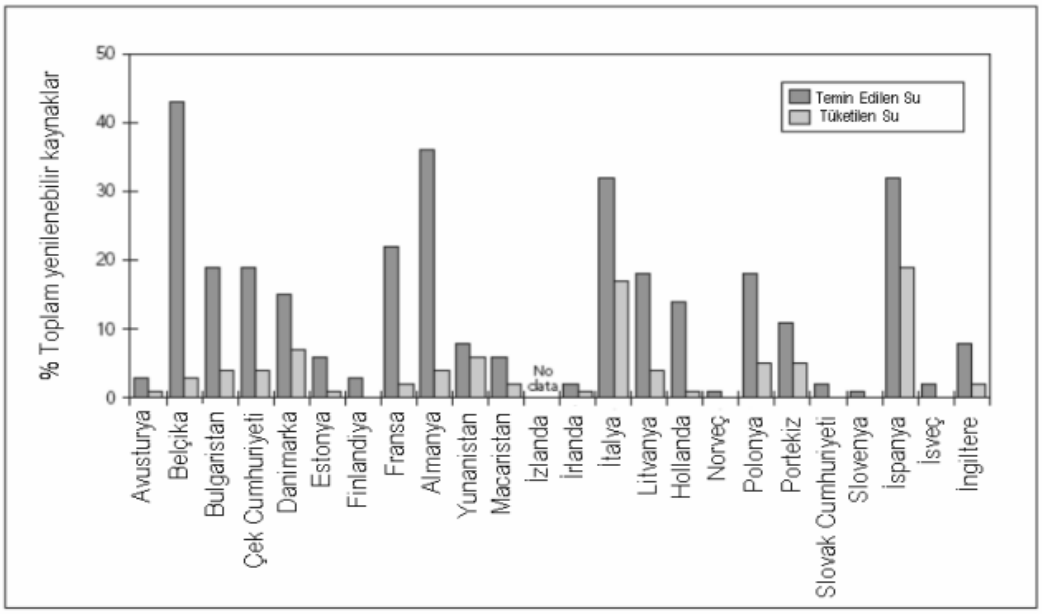
Yeniden kullanım açısından en sıkı sınırlamaların olduğu iki eyalet Florida ve Kaliforniya'dır. Arizona, Kolorado gibi eyaletlerde daha serbest sınırlamalar mevcuttur. Bunun nedeni olarak yeniden kullanıma öncülük eden eyaletlerin başında Kaliforniya'nın gelmesi gösterilebilir. Kaliforniya'da yeniden kullanım kriterlerini oldukça sıkı hale getiren Title 22 kriterleri uygulanmaktadır (Başkan 2006).

4.2.3. Avrupa Birliği Ülkelerinde Yeniden Kullanım Standartları

Avrupa Birliği ülkelerinde ortalama %21 oranında yenilenebilir temiz su kaynakları sulama amaçlı kullanılmaktadır. Bu kullanım oranı Avrupa Birliği ülkelerinde çok yavaş artmaktadır. Bunun nedeni olarak Avrupa Birliği ülkelerinde nüfusun yavaş şekilde büyümesi ve su tüketim alışkanlıklarının değiştirilmesi ile ilgili çalışmaların hızlandırılması, endüstrilerde proseslerin değiştirilmesi gibi faktörler gösterilebilir. Ayrıca su kaynaklarının korunması için suyun fiyatlandırılması, yeniden kullanım ve sızıntı kontrolü su politikasının geliştirilmesinde gerçekleştirilen önemli adımlardan sayılmaktadır. Bununla beraber; Güney Avrupa'da su sıkıntısı çekilmesine ve arıtılmış atıksuların tarımsal faaliyetleri için kullanılmasına rağmen Avrupa Birliği'nde arıtılmış atıksuların kalite parametrelerine ilişkin geliştirilmiş herhangi bir standart ya da rehber henüz mevcut değildir. Ancak bu konuda çalışmalar sürdürülmektedir. Avrupa Çevre Ajansı (EEA) bu konularda yaptığı çeşitli çalışmaların sonucuna göre su sıkıntısının iki sektörden kaynaklandığı belirtilmektedir. Bunlardan biri tarım diğeri ise endüstridir. 1999 yılında Avrupa Çevre Ajansı'nın yaptığı çalışmalara göre Avrupa Birliği ülkelerinde çekilen toplam suyun ortalama %14'ü genel su temini, %30'u tarımda, % 10'u endüstrilerde, %46'sı da başta santraller olmak üzere soğutma suyu olarak kullanılmaktadır. Burada dikkati çeken soğutma kulelerinde kullanılan suyun endüstrilerde kullanılan su miktarından ayrı olarak gösterilmesidir. Bunun nedeni olarak endüstrilerde kullanılan suyun proses içinde kullanılan su şeklinde ayrılması gösterilebilir. Akdeniz ülkelerinde yapılan tarım en önemli su tüketen sektörlerden biridir. Yunanistan'da sulama için kullanılan su toplam kullanılan suyun % 80'ini, İspanya'da %60'ını, Portekiz'de % 52'sini ve İtalya'da yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. Avrupa Birliği'ne aday ülkeler de su ihtiyacına önemli miktarda yük

getirmektedirler. Şekil 4.2'de Avrupa ülkelerindeki su tüketimi gösterilmektedir (Anonim 2000a).

İtalya, İspanya, Yunanistan gibi ülkelerde tüketilen su miktarı diğer ülkelere göre oldukça yüksektir. Bunun nedeni bu ülkelerin tarım ülkesi olmasıdır. Özellikle Akdeniz ülkelerinde tarım önem kazanmaktadır. Bu nedenle bu ülkelerde tüketilen su miktarları diğer ülkelere kıyasla yüksektir.



Şekil 4.2. Avrupa ülkelerinde su kullanım oranları (Anonim 2000a)

Şekilden de görüldüğü gibi İspanya, İtalya, Yunanistan, Portekiz gibi ülkelerde su kullanım oranları yüksektir. Bu şekilde dikkati çeken İspanya ve İtalya'da tüketilen su miktarının yukarıda sulama oranı en yüksek ülkelerden biri olarak sayılan Yunanistan'dan fazla olmasıdır. Ancak ülkelerin su tüketim miktarları yüzdeleri ve su tüketim sektörleri yüzdeleri birbirinden farklı olduğundan bu sonucun oluşması normaldir. Yani genel tüketim miktarı ve sektörler arasındaki tüketim miktarlarının paralellik taşıması şart değildir. Ayrıca İspanya, İtalya ve Yunanistan'ın nüfus miktarları da birbirinden farklıdır. Bu şeklin oluşmasında bu faktörün de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Avrupa Komisyonu'nun yayınladığı kaynaklara göre, Avrupa Birliğine giren ülkelerde tarım önemli bir ekonomik sektördür. Tarımda su kullanımı ayrılan toplam suyun

yaklaşık % 30'u ve tüketilen suyun % 55'i kadardır. Bununla beraber, Güney Avrupa ülkelerinde (Yunanistan, İtalya, Portekiz ve İspanya) bu yüzdeler tüketimin %73'üne toplam kullanımın da % 62'sine kadar yükselmektedir. Avrupa Komisyonu ve Avrupa Çevre Ajansı'ndan alınan kaynaklarda oranlar birbirinden farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle oranlar oluşturulurken kullanılan ülkelerin farklı olduğu izlenimi uyanmaktadır. Tarımda en önemli gereksinim sulamadır. Bu Akdeniz ülkelerinde de böyledir ve Yunanistan'da tarımdaki toplam ihtiyaç % 80'in üzerinde, İtalya'da % 60, İspanya'da % 72, Portekiz'de % 59 kadardır (Anonim 2000b).

Görüldüğü gibi aynı ülke için de oran belirlenirken iki kaynak arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bu da Avrupa Birliği bazında net sonuçlar oluşturacak çalışmaların tam olarak yapılmadığı ya da çeşitli kurumların birbirinden habersiz çalışmalar yaptığı izlenimini oluşturmaktadır. Sulamada kullanılacak suyun hacmi iklime, ekilecek mahsule, sulanacak araziye ve sulama yöntemine bağlıdır. Sulanan araziler toplam tarım alanına oranlandığında oluşan yüzdeler Orta ve Kuzey Avrupa gibi bazı yerlerde sıfıra kadar yaklaşabilmektedir. Bu oranın Hollanda'da % 60'a kadar çıkması iklimdeki değişiklikleri yansıtmaktadır. Güney Avrupa'daki İspanya'da sulanan alan yüzdesi toplam tarım alanının % 18'i iken; Yunanistan'da % 38'dir (Anonim 2000a).

Avrupa Birliği ülkelerinde atıksuların yeniden kullanımı bazı bölgelerde su kaynaklarındaki eksiklikler nedeni ile artmaktadır. Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi Madde 12'de (91/271/EEC) uygun olan yerlerde arıtılmış atıksuyun yeniden kullanılacağından bahsedilmektedir. Bu yeniden kullanımın en geniş kullanım alanları atıksuda bulunabilen patojenlerin halk ile temasta bulunabileceği mahsullerin sulanması, golf sahaları ve spor alanlarının sulanması uygulamalarıdır. Batı Avrupa ülkelerinde son yıllarda genel su tüketimi % 9 oranında, tarımda %10 oranında, enerjide %14 ve endüstrilerde %28 oranında düşmüştür (Anonim 2000a).

Avrupa Birliği tarafından 1991 yılında yayınlanan Kentsel Atıksu Arıtma Direktifleri'nde (91/271/EEC) arıtılmış atıksuların, uygun olduğu yerlerde yeniden kullanılacağı belirtilmiştir. Güneybatı ülkelerinde ise tarım için su kullanımı %70 oranı ile en baskın sektördür. Son yıllarda bu ülkelerde tarımda kullanılan su miktarı %5 oranında artış göstermekle birlikte; kentsel ve endüstriyel su tüketimi sabit kalmış, soğutma amaçlı su kullanımı ise %15 kadar düşmüştür.

Avrupa Birliği'ne aday ülkeler su tüketiminin artma eğilimine katkıda bulunmaktadır. Türkiye'de yürütülen GAP projesi sulama suyu ihtiyacını %35 oranında arttırmaktadır. Batı Avrupa ülkelerinde, Akdeniz Bölgesinde (Fransa, İspanya, İtalya, Portekiz, Yunanistan) en önemli pay %85 oranı ile sulama için ayrılmaktadır. Romanya ve Türkiye gibi aday ülkelerde ise %93'lük oran ile en önemli pay sulamadır. Aral Denizi bölgesinde ise %51'lik bir pay sulamaya ayrılmaktadır.

Avrupa'da geleneksel olarak sulamanın büyük bir kısmı gravite ile sağlanmaktadır. Bununla beraber gelişen sulama teknolojileri ile sprinkler sulama da sık karşılaşılan sulama yöntemlerindendir. Ancak; sulama yöntemlerinde pompa kullanılma zorunluluğu yüksek enerji maliyetleri nedeniyle çok da sıcak bakılmayan yöntemlerdendir. Örneğin Ermenistan'da sulama için kullanılan enerji maliyeti toplam enerji tüketiminin %65'i kadardır (Anonim 2000a).

Avrupa Birliği ülkelerinde genel anlamda yeniden kullanım konusunda hazırlanmış bir rehber veya standart bulunmamaktadır. Ülkelerin kendi başlarına yaptıkları çalışmalar mevcuttur ancak AB bazında bir rehber henüz yoktur. Bu alanda çalışmalar devam etmektedir. Fransa, İtalya ve İspanya gibi Akdeniz ülkelerinde ülke bazında rehber bulunmaktadır (Angelakis, ve ark. 2003).

AB ülkelerinde yeniden kullanıma yönelik genel uygulamalar ve kullanılan rehber ve standartlar Çizelge 4.16'da verilimiştir.

Çizelge 4.16. Avrupa Birliği ülkelerinde yeniden kullanım uygulamaları, rehber ve standartlar (Öğüt 2011)

ÜLKE	**UYGULAMA**	**STANDART/ YÖNETMELİK**
FRANSA	Arıtılmış atıksu tarımsal sulamada kullanılmakta(Mangion,2007) (Angelakis,2001)	WHO/1989 ve revizyonlarını referans alan ancak sulama teknikleri ve sulama bölgesinden uzaklıklarla ilgili ek kısıtlamalar getiren 1991'de "Ürün ve yeşil alan sulamada arıtılmış atıksu kullanım rehberi" hazırlanmıştır.
İSPANYA	Çok yaygın Tarımsal sulama	Ulusal bir yönetmelik yok. Bölgesel rehberler var.

Çizelge 4.16. Avrupa Birliği ülkelerinde yeniden kullanım uygulamaları, rehber ve standartlar (devam)

ÜLKE	**UYGULAMA**	**STANDART/ YÖNETMELİK**
	Golf alanı sulama Yeraltı suyu besleme (Mangion,2007) (Angelakis,2001)	WHO'yu referans alan rehberler mevcut (Mangion, 2007).
BELÇİKA	En az su kaynağına sahip AB ülkesi Evsel atıksuyun geri kullanımı sınırlı Daha çok endüstriyel atıksuyun yeniden kullanımı söz konusu (Angelakis,2001)	Ulusal bir yönetmelik yok.
YUNANİSTAN	Nüfusun %65i merkezi arıtma sistemine bağlı kıyılarda paket arıtma tesisleri mevcut (Kamizoulis,2005). İzleme ve denetim konusunda ciddi sorunlar var (Stefano,2004). Arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımına yönelik pilot projeler ve çalışmalar mevcut (Angelakis,2001)	Ulusal bir yönetmelik yok. Çalışmalar yapılmakta.
PORTEKİZ	Tarımsal sulama yapılmakta. Golf alanı sulama planlanmakta (Angelakis,2001)	Arıtılmış atıksuyun sulama amaçlı kullanımına yönelik rehber oluşturulma halinde.
HOLLANDA	Doğu, güneydoğu ve kuzeydoğusunda su sorunu yasayan bölgeler olmasına rağmen yeniden kullanım uygulaması sınırlı	-
İNGİLTERE	Su ihtiyacını nehirlerden karşılamakta. Arıtılmış suyun golf, park alanı sulama gibi yerel uygulamalar mevcut. Gri suyun yeniden kullanımı(çamaşır makinesi, banyo ve duşlardan sifonlara) ile ilgili pilot uygulamalar mevcut (Angelakis,2001).	Gri su/yağmursuyu yeniden kullanımı ile ilgili rehber (BSRIA) 2003'de yayımlanmış (Angelakis,2001)
DANİMARKA	Yeraltı su kaynakları yeterlidir. Yeniden kullanıma ilgi yoktur. Sadece yüksek su fiyatlandırmadan dolayı endüstriyel kullanım söz konusu (Asano,2006)	Endüstriyel uygulamalar için yönetmelik çalışmaları mevcut.
ALMANYA	Ender olarak yeraltı suyu beslemede arıtılmış atıksu kullanılıyor (Angelakis,2001) Gri su arıtımı ile ilgili uygulamalar mevcut. Bazı bölgelerde yağmur suyunun kullanımına yönelik çalışmalar mevcut.	Ulusal su yasası mevcut. Konuyla ilgili maddeler var.

4.2.3.1.İtalya Standardı

İtalya'da arıtılmış atıksuların kullanımı mikrobiyolojik standartları Çizelge 4.17'de gösterilmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi mikrobiyolojik parametre olarak Toplam Koliform değeri kullanılmaktadır. Bu rehberde de pişmeden yenen ürünler için arıtma seviyesi yüksek olması istenmektedir. İkincil arıtma ve ardından dezenfeksiyon gerekmektedir. Benzer uygulama Florida standartlarında da mevcuttur. Ancak Kaliforniya standartlarında bitkinin yenen bölümleri ile temas olması ve olmaması durumuna göre istenen arıtma seviyesi değişmektedir.

Çizelgeden de görüleceği üzere bölgeler arasında mikrobiyolojik sınırlama açısından farklılıklar gözlenmektedir. Özellikle Sicilya'da mikrobiyolojik sınırlamalar diğer bölgelere göre oldukça geniştir. Ancak diğer bölgelerden farklı olarak helmint yumurtası ile ilgili de sınırlama mevcuttur (Angelakis ve ark. 2003).

Çizelge 4.17. İtalya'da suların yeniden kullanılma mikrobiyolojik standartları (Angelakis ve ark. 2003)

Uygulama Seviyesi	**Yeniden Kullanım**	**Toplam Koliform**	**Arıtma**
Ulusal	Ham yenen ürünler Otlaklar Su ile temas etmeyen mahsuller ve diğer tüm durumlar	< 2 adet/ 100 mL < 20 adet/ 100 mL	İkinci arıtmayı takiben dezenfeksiyon İkinci arıtmayı takiben dezenfeksiyon Ön arıtma, ancak mahsullerde istenmeyen kalıntı
Puglia Bölgesi	Tüm durumlar	< 10 adet/ 100 mL	-
Emilia Romagna	Ham yenen ürünler ve Otlaklar Arıtılmış atıksu ile temas etmeyen ürünler	< 12 adet / 100 mL < 250 adet /100 mL	-
Sicilya	Yenen mahsullerin ve yemlerin arıtılmış atıksu ile direkt teması yasaktır. Geri kalan durumlar	< 3 adet / 100 mL < 1 adet/ 100 mL (salmonella bulunmayacak) 1helmint yumurtası /L	-

4.2.4. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) Standartları

Dünya Sağlık Örgütü'nün hazırladığı rehbere göre arıtılmış atıksuların tarımda yeniden kullanılması ile ilgili parametreler Çizelge 4.18'de gösterilmektedir. Bu çizelgede sadece mikrobiyolojik parametreler yer alıp hem insan hem de çevre sağlığını korumak amacıyla hazırlanmıştır.

Çizelge 4.18. Arıtılmış atıksuların tarımda yeniden kullanılmasında önerilen mikrobiyolojik kalite rehberleri [a] (Anonim 1989)

Kategori	Yeniden kullanım şartları	Maruz kalan grup	Bağırsak nematodları[b] /litre[*c]	Fekal koliformlar /100 mL[**c]	İstenen kaliteyi sağlaması beklenen atıksu arıtımı
A	Pişmeden yenen ürünler, spor sahaları, umumi parkların sulanması[d]	İşçiler, tüketiciler, halk	≤1	≤1000	İstenen mikrobiyolojik parametreyi sağlayacak iyi dizayn edilmiş bir dizi stabilizasyon havuzları veya eşdeğer bir arıtma
B	Tahıl ürünleri, endüstriyel ürünler, yem, otlak ve ağaçların sulanması[e]	İşçiler	≤1	Önerilmez	Stabilizasyon havuzlarında 8-10 gün bekleme ya da eşdeğer helmint giderimi
C	İşçi ve halkın maruz kalması gözlenmiyorsa Kategori B'deki ürünlerin yerel sulanması	Hiç kimse	Uygulanabilir değil	Uygulanabilir değil	Ön çöktürmeden az olmamak kaydıyla istenen sulama teknolojisine göre ön arıtma

[a] *Özel durumlarda yerel epidemiyolojik, sosyokültürel ve çevresel faktörler hesaba katılmalıdır ve rehberler buna göre modifiye edilmelidir.*
[b] *Ascaris ve Trichuris türleri ve kancalı kurtlar için rehber limitleri parazit protozoadan korunmaya karşı tasarlanmıştır.*
[c] *Sulama dönemi boyunca*
[d] *Sıkı rehber limiti (≤ 200 fekal koliform/100 mL) halkın direkt teması olabilecek umumi yerler için uygundur.*
[e] *Meyve ağaçlarının sulanması durumunda sulama meyvelerin toplanmasından iki hafta önce durdurulmalıdır ve hiçbir meyve yerden alınmamalıdır,*
[*] *Aritmetik ortalama*
[**] *Geometrik ortalama*

Çizelge 4.18'den anlaşılacağı gibi WHO (Dünya Sağlık Örgütü) atıksuların tarımda hem potansiyel kullanımını hem de riskleri göz önünde bulundurmaktadır. Rehberde patojen indikatör olarak hem Fekal Koliform hem de Bağırsak Nematodları bulunmaktadır. Bu rehberin amacı; arıtılmış atıksu ile çeşitli yollarla temasta bulunarak maruz kalma riski taşıyan insanların (tüketiciler, çiftçiler, sulama bölgesi çevresindeki insanlar) sağlığını korumaktır. İstenen mikrobiyolojik kaliteyi sağlamak üzere özellikle iyi dizayn edilmiş stabilizasyon havuzlarının kullanılması tavsiye edilmektedir. Temasa göre ayırım yapılırken kullanım amacına göre sınıflandırma yapılmaktadır. Temasa göre ayırım yapılmakta ancak uygulanacak sulama yöntemine göre herhangi bir kısıtlamadan bahsedilmemektedir.

1989 yılından sonra pek çok ülke WHO rehberlerinden etkilenerek kendi rehberlerini oluşturmuşlardır. Bunun yanında yapılan pek çok araştırma ile Blumenthal ve diğerleri, 2000 yılında WHO rehberlerini gözden geçirmişler ve yeni önerilerini yayınlamışlardır. Bu önerilerde 3 ana kategori bulunmaktadır. İlk kategoride WHO rehberlerinde olduğu gibi pişmeden yenen ürünlerin sulanması bulunmaktadır. Ancak burada pişmeden yenen ürünler sebzeler ve salata ürünleri olarak birbirinden ayrılmaktadır. Sulama ise; kısıtlamalı ve kısıtlamasız sulama olarak ikiye ayrılmaktadır.

WHO 1989'dan farklı olarak kısıtlamasız sulama yönteminde nematod yumurtalarının litrede 0.1'den az ve fekal koliformların 100 mL'de 1000'den az olmak üzere herhangi bir sulama yöntemi ile sulanmasına izin verilmektedir. Ancak bütün bunlar yapılırken arıtma yöntemlerinin de iyi dizayn edilmiş stabilizasyon havuzları, depo ve arıtma rezervuarlarından beslenen ardışık kesikli reaktör veya eşdeğer bir yöntem ile arıtılması istenmektedir. Bu arıtımın yanında filtrasyon ve dezenfeksiyon yapılması da istenmektedir. Kısıtlamasız sulama yapılırken ise yine WHO 1989'dan farklı olarak maruz kalma durumunda 15 yaşından küçüklerin dahil olduğu ve olmadığı durumlar ikiye ayrılmaktadır. 15 yaşından küçük çocukların maruz kalmadığı durumlarda sprey ya da sprinkler sulama yapılırken nematodların litrede 1'den; fekal koliformların ise 100 mL'de 100.000'den az olması istenmektedir. Yine bunun için de iyi dizayn edilmiş stabilizasyon havuzları, depo ve arıtma rezervuarlarından beslenen ardışık kesikli reaktör önerilmektedir. Eğer aynı grup için karık veya taşkın sulama yöntemi uygulanacak ise nematodlar ayni kalmak şartı ile fekal koliformların ise 100 mL'de

1000 den az olması istenir. 15 yaşından küçük çocukların maruz kalma durumu görülüyorsa burada da herhangi sulama metodu ayırt etmeksizin nematodların 0.1'den; fekal koliformların ise 1000'den az olması şartı ile sulama yapılmasına izin verilmektedir. Bu grup için arıtma yöntemleri A kategorisinde olduğu gibidir. Eğer maruz kalma durumu oluşmuyor ise ön arıtma ve ön çökeltme yapılarak damlatmalı ve bubler sulama yöntemleri kullanımına izin verilmektedir. Öneriler Çizelge 4.19'da gösterilmektedir.

WHO 1989'da önerilen kriterler arasında sulama yöntemleri bulunmamaktadır. Ayrıca çocuklar için özel bir kriter de gösterilmemektedir. Ancak 1989'dan 2000'li yıllara kadar elde edilen deneyimler sayesinde Blumenthal ve diğerleri bu alanlarda da sınırlamalar getirilmesi gerektiğini düşünmektedirler. Ayrıca yine WHO 1989 kriterlerine göre istenen kalitede arıtılmış atıksu elde etmek için 8 – 10 gün bekletme süreli stabilizasyon havuzları yeterli görülürken bu yaklaşım 2000'li yıllarda değişerek iyi dizayn edilmiş stabilizasyon havuzları, rezervuarlardan beslemeli kesikli reaktörlerin kullanımı şekline dönmüştür. Maruz kalan gruba, sulama tekniğine ve sulanacak ürünün cinsine göre sınırlama getirilmesi de yine son yıllarda ortaya çıkan eğilimlerdendir. İki rehber arasındaki en büyük farklardan biri de nematod yumurtalarının 1989 yılında litrede 1'e kadar da izin verilmesine rağmen, 2000'li yıllarda litrede 0.1' e kadar kısıtlandığı durumların gözlenmesidir.

Blumenthal ve diğerlerinin yaptığı çalışmaların ardından WHO 1989 yılında yayınlanan rehberi revize edilerek Çizelge 4.20'de gösterilen değerler ile 2006 yılında yayınlanma aşamasına gelmiştir. WHO rehberinin yapılan bu revize halinde eskisine oranla köklü değişiklikler olduğu gözlenmektedir. 1989 yılında rehberlerde fekal koliform ve nematodlar ön planda iken 2006 yılındaki rehberlerde fekal koliform yerine E.Coli parametresinin yer aldığı dikkati çekmektedir. E. Coli değerlerinin litredeki sayısı ise arıtılmış atıksuyun kullanım amacına göre değişiklik göstermektedir. Bu değer 10^6 gibi oldukça yüksek değerlere kadar çıkmaktadır. Örneğin mekanik tarımın gerçekleştiği kısıtlı alanlarda E.Coli değerinde 10^5 gibi yüksek bir değere bile izin verilebilmektedir. Yenen kısımları atıksu ile temas etmeyen, yerden yüksekte yetişen bitkilerin sulanması için E. Coli değeri oldukça yüksek bir değere izin verilebilirken toprak altında yetişen ve kök kısmının yenildiği bitkilerin sulanmasında bu değer 10^3 değerlerine kadar

düşmektedir. Yani uygulanacak sulama yöntemine göre sınıflandırma yapmanın yani sıra bitkilerin yerden yüksekte, köklerinin yenmesi durumu gibi de sınıflandırma yapılmaktadır. Ancak burada Blumental ve diğerlerinin hazırladığı önerilerde kullanılan 15 yaş altı ve üstü sınıflandırma bulunmamaktadır. Yine 15 yaş altındakilerin korunması ile ilgili bir ayırım vardır ancak Blumentalin önerilerindeki gibi bir ayırım değildir. Ayrıca bu son revizyonda patojenlerin logaritmik olarak azaltılması ile ilgili de bir sınıflandırma bulunmaktadır.

Çizelge 4.19. Tarımda yeniden kullanımda önerilen mikrobiyolojik rehberler [a] (Blumenthal ve ark. 2000a)

Kat.	Yeniden kullanım şartları	Maruz kalan grup	Sulama tekniği	Bağırsak nematodları [b](litredeki yumurta sayısının aritmetik ortalaması[c])	Fekal koliformlar (100 mL'deki geometrik ortalama sayısı[d])	İstenen mikrobiyolojik kaliteyi sağlaması beklenen atıksu arıtma
A	Kısıtlamasız sulama					
	A1 pişmeden yenen sebze ve salata ürünleri için, spor sahaları, umumi parklar	İşçiler, tüketiciler, halk	Herhangi	≤0.1	$\leq 10^3$	İyi dizayn edilmiş atık stabilizasyon havuzları, atıksu depolarından ve arıtma rezarvuarlarından beslenen ardışık kesikli reaktör serisi ya da eşdeğer arıtma (örn; çıkış kalitesinin iyileştirilmesi havuzları ya da filtrasyon ve dezenfeksiyon ile desteklenen konvansiyonel ikincil arıtma)
B	Kısıtlamalı sulama					
	Tahıl ürünleri, endüstriyel ürünler, yem, otlak ve ağaçlar	B1 işçiler (ancak 15 yaşından küçük çocuklar dahil	Sprey ya da sprinkler	≤1	$\leq 10^3$	Bir olgunlaştırma havuzu ya da atıksu depolarından ve arıtma rezarvuarlarından

Çizelge 4.19. Tarımda yeniden kullanımda önerilen mikrobiyolojik rehberler[a] (devam)

Kat.	Yeniden kullanım şartları	Maruz kalan grup	Sulama tekniği	Bağırsak nematodları [b](litredeki yumurta sayısının aritmetik ortalaması[c])	Fekal koliformlar (100 mL'deki geometrik ortalama sayısı[d])	İstenen mikrobiyolojik kaliteyi sağlaması beklenen atıksu arıtma
		değil) yakın çevre halkı				beslenen ardışık kesikli reaktör içeren atık stabilizasyon havuzlarında bekletme ya da eşdeğer arıtma (örn; çıkış kalitesinin iyileştirilmesi havuzları ya da filtrasyon ile desteklenen konvansiyonel ikincil arıtma)
		B2, B1 gibi	Taşkın/ karık	≤1	$\leq 10^3$	Kategori A'daki gibi
		B3 işçiler 15 yaşından küçük çocuklar dahil, yakın çevre halkı	Herhangi	≤0.1	$\leq 10^3$	Kategori A'daki gibi
C	İşçi ve halkın maruz kalması gözlenmiyorsa Kat. B'deki ürünlerin yerel sulaması	Hiç kimse	Damlatmalı ya da bubbler	Uygulanamaz	Uygulanamaz	Ön çöktürmeden az olmamak kaydıyla istenen arıtma teknolojisine göre ön arıtma

[a]Özel durumlarda yerel epidemiyolojik, sosyokültürel ve çevresel faktörler hesaba katılmalıdır ve rehberler buna göre modifiye edilmelidir.

[b]Ascaris ve Trichuris türleri ve kancalı kurtlar için rehber limitleri parazit protozoadan korunmaya karşı tasarlanmıştır.

[c]Sulama dönemi boyunca (eğer atıksu istenen sayıda yumurta elde etmeyi sağlayacak şekilde dizayn edilmiş Atik Stabilizasyon Havuzları ile arıtılırsa daha sonradan rutin çıkış kalitesinin izlenmesi gerekmez)

[d]Sulama dönemi boyunca fekal koliform hesapları tercihe göre haftalık ya da en azından aylık olarak yapılmalıdır.

Çizelge 4.20. Tarımda arıtılmış atıksu kullanımı WHO rehberleri (Joubert 2004)

Sulama tipi	Helmint yumurtaları için sağlığa dayalı hedef	Arıtma ile istenen patojen azaltılması (log birim)	İzleme seviyesi doğrulama (100 mL'de E.coli sayısı)	Notlar
Kısıtlamasız	≤1 (litrede) (aritmetik ortalama)[b,c]	4	$\leq 10^3$	Köklü mahsuller
		3	$\leq 10^4$	Yapraklı mahsuller
	Yüksekte büyüyen ürünler[d,e] Öneri yok	2	$\leq 10^5$	Yüksekte büyüyen mahsullerin damlatmalı sulanması
	Alçakta büyüyen ürünler[d] ≤1 (litrede aritmetik ortalama)	4	$\leq 10^3$	Alçakta büyüyen mahsullerin damlatmalı sulanması
Kısıtlamalı	E	6 ya da 7	$\leq 10^3$ ya da $\leq 10^0$	Doğrulama seviyesi yerel yasama ajansına bağlıdır[a]
	F	3	$\leq 10^4$	İşçi yoğunluklu tarım (yetişkinlerin ve 15 yaş altındakiler korunması)
	G	2	$\leq 10^5$	Yüksek oranda mekanikleşmiş tarım
	H	0.5	$\leq 10^6$	Bir septik tankta patojen giderimi

[a]Örneğin ikincil arıtma, filtrasyon ve dezenfeksiyon için: $BOİ_5$ <10 mg/L; Bulanıklık, <2 NTU, Bakiye Cl_2 =1 mg/L, pH, 6-9; ve fekal koliformlar 100 mL'de rastlanmayacak.
[b]15 yas altı çocuklar maruz kaldığında ek sağlık koruma ölçümleri kullanılmalıdır.
[c]Sulama mevsimi boyunca devirli aritmetik ortalama hesaplanmalıdır. Ortalama litrede ≤1 yumurta değeri ara sıra yüksek çıkan değerlere izin verebilmek için numunelerin en az %95'inde sağlanmalıdır (yani > 10 yumurta/litre ile).
[d]Bazı atıksu arıtma prosesleri ile (örneğin atik stabilizasyon havuzları) litrede ≤1 yumurta değerini sağlamak için hidrolik bekletme süreleri kullanılabilir.
[e]Topraktan hiçbir mahsul toplanmamalıdır.

4.3.Atıksuların Yeniden Kullanımının Halk Sağlığı ve Toprak Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi

Temiz su kaynakları özellikle kurak ve yarı kurak iklime sahip ülkelerde, giderek artan nüfusun içme ve kullanma suyu gereksinimlerini karşılamak için yetersiz kalmaktadır. Nüfus ile doğru orantılı artan yiyecek gereksinimi ise, beraberinde tarımsal alanlarda genişleme ve üretimde artış sağlama zorunluluğunu getirmektedir. Günümüzde yetersiz olan temiz su kaynaklarına alternatif olarak tarımda sulama suyu ihtiyacını karşılamak için evsel atıksuların kullanılması akılcı bir çözüm seçeneği oluşturmaktadır. Kent nüfusuyla birlikte su kullanımının da artması, çok miktarda atıksu oluşmasına neden olmaktadır.

Çevresel sağlık ve su kirliliğinin önlenmesi, günümüzün en önemli sorunlarından birisidir. Bunun yanı sıra, kentsel atıksuların güvenli ve yararlı bir şekilde uzaklaştırılma gerekliliği de kentsel toplumların önemle üzerinde durdukları diğer bir konudur. Atıksuların uygun bir strateji ile kontrollü olarak tarımda kullanılması, bu suların uzaklaştırılması için iyi ve yararlı bir yöntem sunmaktadır. Ayrıca, atıksuların kullanılması, iyi kaliteli suların sulama dışındaki kullanım amaçları için korunmasını da sağlamaktadır. Kentsel atıksuların uygun stratejilerle yeniden kullanımı ile yerüstü su kaynaklarının kirlenmesi önlenmiş olur. Bu sayede sadece değerli temiz su kaynakları korunmakla kalmaz aynı zamanda, atıksuların içerdiği bitki besin maddeleri bitki yetiştiriciliğinde avantaj sağlar. Atıksuların azot ve fosfor içeriği tarımsal gübre gereksinimini azaltmakta veya tamamen ortadan kaldırmaktadır. Atıksuların sulamada kullanılması ile bitki yetiştiriciliği için yararlı olan toprak mikroorganizmalarının metabolik aktiviteleri artmaktadır (Pescod 1992 ve Toze 2006).

Kentsel atıksular askıda veya çözünmüş halde organik ve inorganik maddeler içerirler. Atıksularda bulunan organik maddeler arasında; karbonhidratlar, lignin, yağlar, sabun, sentetik deterjanlar, proteinler ve bunların ayrışmasından oluşan ürünler ile çeşitli doğal ve sentetik organik kimyasallar yer almaktadır.

Kanalizasyon sistemleriyle toplanan kentsel atıksular içerisinde, gerek evsel gerekse de endüstriyel kaynaklı çeşitli inorganik maddeler de bulunmaktadır. Özellikle endüstriyel atıksuların kanalizasyon sistemine verilmesi durumunda arsenik, kadmiyum, krom,

bakır, kurşun, cıva, çinko gibi toksik etkiye sahip inorganik maddeler içerebilirler. Toksik kimyasalların konsantrasyonu insan sağlığını etkilemeyecek düzeyde olsa bile, bitkiler üzerinde toksik etkide bulunabilirler. İnsan sağlığı yönünden bakıldığında atıksuların tarımsal sulamada kullanımında dikkat edilmesi gereken en önemli kirleticiler patojen mikroorganizmalardır (Pescod 1992).

4.3.1. Arıtılmış atıksuların kullanılmasından kaynaklanan potansiyel riskler

Tarımsal sulama için arıtılmış atıksuların yeniden kullanılması ile ilişkilendirilen birçok risk etmeni bulunmaktadır. Bazı risk etmenleri, kısa sürede etkili olurlar ve ortaya çıkan etkinin şiddeti insanlara, hayvanlara veya çevresel temas potansiyeline bağlı olarak değişir (mikrobiyal patojenler gibi). Diğer risk etmenleri ise daha uzun sürelerde ve arıtılmış suyun sürekli kullanılmasıyla artan (toprak tuzluluğu, toksik kimyasalların etkileri gibi) etkilere sahiptir (Toze 2006). Atıksuların içerdiği ve sağlık riski oluşturan patojenler ve kimyasallar ile bulaşma yolları Çizelge 4.21'de sunulmuştur.

Çizelge 4.21. Atıksulardaki patojenler ve kimyasallar ile bağlantılı risk kaynakları (Salgot 2001)

	Patojenler	**Kimyasallar**
Risk kaynakları- Risk oluşturanlar	Bakteriler Virüsler Helmithler (bağırsak solucanları) Protozoa (tek hücreliler)	Ağır metaller Nitratlar ve Nitritler Organik mikro kirleticiler
Risk oluşma nedeni	Bir defalık veya tekrarlanan "**tüketim**" veya temas	Tekrarlanan "**tüketim**"
Riskin oluşma yolları (Risk kaynaklarına maruz kalma yolları)	Sebzelerin, midye gibi kabuklu deniz hayvanlarının yenmesiyle vb. Suyun içilmesiyle Aerosol nedeniyle Doğrudan veya dolaylı yollardan suyla temas edilmesiyle Vektörler aracılığıyla (su civarında yaşayan böcekler gibi)	Çeşitli yiyeceklerin yenmesiyle. Suyun içilmesiyle
Risk kaynaklarına maruz kalınmışsa etkilerin ortaya çıkışı	Genellikle çabuk görülür	Genellikle uzun süre sonra görülür

- **Patojenler**

Arıtılmamış atıksuların sulama amacıyla kullanılması, su kaynaklı hastalık risklerinin artmasına neden olur. Patojenler ve insan sağlığı üzerine etkileri incelendiğinde, arıtılmış ve arıtılmamış atıksulara bağlı olarak ortaya çıkan enfeksiyonlar Çizelge 4.22'de beş ana sınıf içinde gruplandırılmıştır.

Çizelge 4.22. Su ve/veya arıtılmış atıksularla ilişkili olarak görülen hastalıklar (Salgot 2001)

Sınıflar	**Tanımlar/gözlemler/örnekler**
Su yoluyla taşınan hastalıklar	Suyun sağlandığı sistemler aracılığıyla yayılabilen enfeksiyonlardır. Su patojenler için taşıyıcı görevi görür. Tifo, kolera, giardiyazis (ishal), dizanteri, bulaşıcı hepatit.
Su ile yıkanarak giderilebilen hastalıklar	Kişisel temizlik için suyun yetersiz olmasından kaynaklanan hastalıklar. Vücudun dış yüzeylerini etkiler. Konjunktivit, giyardiyazis, kriptosporidiyozis.
Su kaynaklı hastalıklar	Enfeksiyonlar sucul omurgasız konakçı, genellikle bir hayvan vasıtasıyla taşınır. Enfeksiyona neden olan organizmanın yaşam döngüsünün önemli bir bölümü bu sucul hayvanların içinde gerçekleşir. Şistozomiyazis, gine kurdu, filariazis.
Su ile bağlantılı böcek vektörlerden kaynaklanan hastalıklar	Yerüstü su kaynakları yakınında bulunan veya yaşayan böcekler vasıtasıyla yayılan enfeksiyonlardır. Tripanozomiyazis, sarıhumma, deng hastalığı, onkoserkiyazis (nehir körlüğü), sıtma.
Kötü sağlık koruma önlemleri nedeniyle oluşan enfeksiyonlar	Genellikle uygun sağlık koruma uygulamalarının olmayışı nedeniyle toplum içinde yayılır. Kancalı kurt, yuvarlak kurt, askariyazis.

Atıksular içinde çok sayıda hastalık etmeni mikroorganizma (patojen) bulunmaktadır. Atıksularla ilişkili olarak en yaygın görülen hastalık etmenleri ve neden oldukları hastalıklar Çizelge 4.23'de verilmiştir.

Çizelge 4.23. Atıksularla ilişkili olarak en yaygın görülen hastalık etmenleri ve neden oldukları hastalıklar (Salgot 2001)

	Ajan (Hastalık etmeni)	**Neden olduğu hastalık**
Bakteriler	Salmonella typhimurium	Salmonellozis
	Salmonella typhosa	Tifoid ateş (Tifo)
	Salmonella paratyphi	Paratifoid ateş
	Shigella spp (Sigella türleri)	Basilli dizanteri
	Vibrio cholera (Vibrio kolera)	Kolera
	Mycobacterium Tuberculosis (Mikrobakteri Tüberkilozu)	Tüberküloz
	Campilobacter jejuni	İshal
	Patojenik Escherichia coli	İshal
	Yersinia entercolitica (Enterokolit –bağırsak iltihabı)	İshal ve Septisemi
	Legionella pneumophila	Lejyoner Hastalığı
	Leptospira icterohaemorrhagiae	Leptospiroz
Virüsler	Poliovirus-çocuk felci virüsü	Çocuk Felci
	Hepatit A virüsü	Bulaşıcı Hepatit
	Hepatit E virüsü	Hepatit
	Rotavirüs	İshal/Gastroenterit
		Solunum Hastalığı
	Adenovirüs	Gastroenterit
	Norwalk ajanı	Gastroenterit
		İshal, kusma
	Reovirüs	İshal, kusma
	Astrovirüs	İshal, kusma
	Calicivirüs (Kalisivirüs)	Miyokart (kalp kası) iltihabı, Döküntü, Menenjit, Ateş, Solunum Hastalıkları, Herpanjina
	Coxsackie A	
	Coxsackie B	Menenjit, Enfefalit (Beyin iltihabı), Solunum Hastalıkları, Döküntü, İshal, Ateş
	Echovirus (Ekovirüs)	

Çizelge 4.23. Atıksularla ilişkili olarak en yaygın görülen hastalık etmenleri ve neden oldukları hastalıklar (devam)

	Ajan (Hastalık etmeni)	**Neden olduğu hastalık**
Protozoa (Tek hücreliler)	Entamoeba histolytica	Amipli Dizanteri
	Giardia lamblia	İshal
	Cryptosporidium parvum	İshal
	Balantidium coli	İshal, dizanteri
	Cyclospora cayetanensis	Bağırsak hastalıkları
	Taxoplasma gondii	Toksoplazmozis (Ağır enfeksiyon)
	Phyllum microspora	Mikroporidiyozis (Bağırsak ve Sinir Hastalıkları)
Helmintler-Bağırsak Solucanları (Parazitik Solucanlar)	Schistosoma haematobium (Kan Şeriti) (T)	Şistocomiyazis (Parazitik Enfeksiyon)
	Ascaris lumbricoides (Yuvarlak Solucan) (N)	Askariyaz (İnce bağırsak infestasyonu)
	Anclostoma duodenale (On iki parmak bağırsağı kancalı kurdu) (N)	Anemi (Kansızlık), Bağırsak hastalıkları
	Necator americanus (İncebağırsak kancalı kurdu) (N)	Anemi (Kansızlık), Bağırsak hastalıkları
	Clonorchis spp. (Karaciğer kurdu-Çin Kelebeği) (T)	Klonorkiyaz (Paraziter bulaşıcı hastalık)
	Taenia spp. (Tenya) (C)	Tenyazis (Tenya infestasyonu)
	Enterobius vermicularis (Kılkurdu) (N)	Enterobiyazis (Bağırsakta kılkurdu infestasyonu)
	Hymenolepis nana (Yassı Kurt, Şerit) (C)	Himenolepiyazis (Yassı kurt infestasyonu)
	Trichuris trichura (Yuvarlak solucan) (N)	Yuvarlak solucan infestasyonu
	Strongloides stercoralis (Yuvarlak solucan) (N)	İshal, Karın Ağrısı, Bulantı
	Toxocara canis (N), Toxocara cati (N)	Ateş, Karın Ağrısı

N:Nematodlar, T:Trematodlar(Parazitik Tenya), C:Sestodlar(Şerit, Yassı Kurt, Bağırsak Kurdu)

Doğrudan insan teması daha az olduğundan, tarımsal sulama için kullanılacak atıksuların arıtma gereksinimi, park ve golf alanlarının sulanması gibi diğer kentsel alanlarda kullanımları için gereksinim duyulandan daha az olabilir. Bu nedenle, tarımsal sulama için su kaynağı arandığında, atıksuların kullanılması uygun bir seçenek oluşturmaktadır. Ancak, atıksular arıtılmadan kullanıldığında veya arıtılmış sular gerekli sağlık standartlarını sağlamadığında veya diğer koruyucu önlemler

uygulamadığında atıksu kaynaklı bazı patojenler enfeksiyona neden olmaktadır. Tarımsal ürün yetiştiriciliğinde atıksuların arıtılmadan kullanılmasıyla bağlantılı olarak ortaya çıkmış salgın hastalıkların incelenmesiyle, tüketiciler için sağlık riski oluşturan patojenler helmintler, bakteriler ve virüsler sınıfında saptanmıştır. Salgın hastalıkların incelenmesi sonucunda belirlenen sağlık riskleri Çizelge 4.24'de verilmiştir.

Türkiye'de Hevsel-Diyarbakır'da yürütülen benzer bir çalışmada, pişirilmeden yenen sebzeler ve tahıl sulaması için arıtılmamış atıksuları kullanan çiftliklerin çalışanlarında Hepatit E enfeksiyonu riski araştırılmıştır. İşçilerin %34.8'inde anti-HEV pozitif bulunduğu, kontrol grubunda ise bu oranın %4.4 olduğu saptanmıştır (Ceylan ve ark. 2003).

Çizelge 4.24. Sulamada atıksuların kullanılmasından kaynaklanan salgın hastalıkların incelenmesi sonucunda belirlenen sağlık riskleri (Carr ve ark. 2004)

Etkilenen Grup	**Sağlık tehlikeleri**		
	Nematod enfeksiyonu	**Bakteriler/Virüsler**	**Protozoa**
Tüketiciler	Arıtılmamış atıksular nedeniyle çocuklar ve yetişkinler için ciddi Ascaris enfeksiyonu riski; yumurtaların hayatta kalmasına uygun koşullar olmadığı durumda, <1 nematod yumurta/L olacak şekilde arıtılan atıksular ile aşırı risk yoktur.	Arıtılmamış atıksular nedeniyle kolera, tifo ve basili dizanteri salgınları, Helicobacter phylori için pozitif sonuçları bildirilmiştir: Fekal koliform 10^4/100ml değerini aşan arıtılmış sular kullanıldığında ishal vakaları artmıştır.	Atıksularla yüzeyleri ıslanarak sulanan sebzelerde parazit protozoa kanıtları bulunmuştur; ancak hastalık yayılmasına ilişkin doğrudan kanıt yoktur.
Çiftçiler ve aileleri	Arıtılmamış atıksularda temas nedeniyle çocuklar ve yetişkinler için, özellikle çocuklar için <1 nematod yumurta/L'ye kadar arıtılan atıksular ciddi Ascaris enfeksiyonu riski oluşturur; çalışanlarda kanca kurdu enfeksiyonu riski artar.	Fekal koliform 10^4/100ml değerini aşan atıksularla temas eden çocuklarda ishal riski artar; arıtılmamış atıksulara temas eden çocuklarda Salmonella enfeksiyonu riski yükselir; kısmen arıtılmış atıksulara maruz kalan yetişkinlerin kan değerlerinde Norovirüs etkileri artar.	Arıtılmış ve arıtılmamış atıksulara bağlı Giardiyazis riski önemsizdir. Arıtılmamış atıksulara temas nedeniyle amipli dizanteri riski artış göstermektedir.

Çizelge 4.24. Sulamada atıksuların kullanılmasından kaynaklanan salgın hastalıkların incelenmesi sonucunda belirlenen sağlık riskleri (devam)

Etkilenen Grup	Sağlık tehlikeleri		
	Nematod enfeksiyonu	**Bakteriler/Virüsler**	**Protozoa**
Yakın çevrede yaşayan halk	Yağmurlama sulama için Ascaris taşınımı çalışılmamış ancak, yoğun temas olması halinde karık veya salma sulama için risk yukarıda verilen gibi, yüksektir.	Enfeksiyon görülme sıklığının artması, toplam koliform 10^{6-8}/100ml olan kötü kaliteli sularla yağmurlama sulama yapılması ve aeresol etkisi ile bağlantılıdır. Fekal kaliform 10^{4-5}/100ml olan kısmen arıtılmamış suların yağmurlama sulama ile kullanılması ise enfeksiyon artışı ile ilişkili değildir.	Atıksularla yapılan yağmurlama sulama süresince protozoa iletimine ve taşınmasına dair veri bulunmamaktadır.

- **Sağlık Riskini Yönetme Stratejileri**

Risk yönetimi; belirli bir sistem için riski anlamayı, değerlendirmeyi, öncelik belirlemeyi ve sonrasında da risk azaltma stratejilerini uygulamayı kapsar. Risk yönetimi etkinlikleri özellikle, kişinin bir kirleticiye nasıl maruz kalabileceğinin tahmin edilmesi ile belirlenir (Deere ve ark. 2001).

Risk yönetimi için kullanılan yöntemlerden birisi "çok aşamalı engel" yaklaşımıdır. Patojenlerin çevreden (atıksu, bitkiler, toprak, vb.) insanlara doğru olan akışını keserek halk sağlığı korumayı hedefler. Sağlığı korumaya yönelik alınabilecek stratejiler-önlemler, diğer bir deyişle patojenlere karşı oluşturulan engeller beş ana sınıf altında toplanmaktadır.

1) Arıtma: Tarımda kullanılacak evsel atıksuların arıtılmasında temel amaç, dışkı kaynaklı patojenlerin uzaklaştırılması veya pasifleştirilmesidir.

2) Ürün sınırlaması: Standartları sağlamayan arıtılmış sular kullanılarak yetiştirilecek ürünlere kısıtlama getirilir. Böylece tüketici sağlığı korunabilir. Örneğin pamuk gibi yenmeyen veya patates gibi pişirilerek yenen bitkiler yetiştirilir. Bu yolla tüketiciler korunmuş olur. Ancak, aynı korunma çiftlik çalışanları ve yaşayanları için geçerli

değildir. Her iki grup için koruma sağlama; atıksuyun arıtılması, suyun kontrollü uygulanması ve atıksuyla temasın engellenmesi ile sağlanabilir.

3) Sulama yöntemleri: Suyu tarlaya uygulama yöntemi çiftçilerin, tüketicilerin ve yakın çevrede yaşayan halkın sağlığı üzerine olumsuz etkileri azaltabilir veya arttırabilir. Örneğin, yağmurlama sulama ile sulama yapıldığında, yetiştirilen bitkilerin ve yakın çevrede yaşayanların aeresol etkisi nedeni ile atıksulara teması fazladır. Yağmurlama sulama kullanıldığında, çevredeki evler ve yollardan 50-100m uzaklıkta tampon bölge oluşturulmalıdır. Atıksu uygulamalarına bağlı sağlık risklerini azaltmak için, damla ve çok düşük basınçlı fıskiye (bubbler), sistemleri uygulanabilir.

4) İnsanların patojenlere maruz kalmalarının kontrolü: Atıksuların tarımsal kullanımı ile potansiyel risk altında olan kişiler dört grupta toplanmaktadır. Bunlar; çiftlik çalışanları, ürünleri toplayan işçiler, tüketiciler (bitkisel ürünler, et ve süt gibi yiyecekleri tüketenler) ve tarım arazisi yakınlarında yaşayanlardır. Bu gruplar içinde en çok çiftlik çalışanları, daha sonra da tüketiciler risk altındadır. Çiftlik çalışanları için alınabilecek önlemler, bubbler ve damla sulama gibi suyla teması azaltan sulama yöntemlerinin kullanılması, çizme ve eldiven gibi koruyucu kıyafet giyilmesi olabilir. Ayrıca kişisel temizlikleri için çiftliklere yeterli temiz su sağlanarak atıksuyla temasları azaltılmalıdır. Çiftlik çalışanlarını, işçileri, tüketici ve satıcıları hedefleyen kişisel ve evle ilgili hijyeni arttırma konusunda sağlık eğitimi kampanyaları yapılabilir. Ellerin sabunla yıkanması vurgulanabilir. Tüketiciler ise sebze ve eti pişirerek, sütü kaynatarak, kişisel ve evleriyle ilgili temizlik önlemlerine dikkat ederek patojenlere bağlı enfeksiyon riskinden korunabilirler.

5) İlaç tedavisi ve aşılama: Bu tip sağlık koruma önlemleri çiftlik çalışanları ve yaşayanlarını hedefler. Ancak yeterli koruma sağlaması beklenmemelidir. Atıksuların kullanıldığı devlete veya ticari şirketlere ait çiftliklerde çalışan, yaşayan kişilere su kalitesi iyileştirilinceye ve diğer koruyucu önlemler getirilinceye kadar süre kazandırmak için uygulanabilir. Helmint enfeksiyonları ve ishale neden olan hastalıklar için bağışıklık geliştirmek mümkün değildir. Bununla birlikte, atıksuyla yoğun teması olan kişilere hepatit A ve tifo'ya karşı aşı yapılabilir. İshal hastalıklarının tedavisi için sağlık hizmetleri verilebilir, düzenli ilaç sağlanabilir. İlaçlar ile çocuklarda nematod hastalıkları, hem çocuklarda hem de yetişkinlerde kansızlık kontrol edilebilir.

Çoğunlukla bu önlemlerin kombinasyonlarının kullanılması istenebilmektedir. Örneğin, ürün sınırlaması tüketicileri korumak için yeterli olabilir. Ancak, tarım işçilerini korumak için ek önlemlerle destekleme gerekli olacaktır. Bazen kısmen arıtma işleminden geçmiş atıksuların kullanılması, diğer önlemler alınmış (ürün sınırlama ve damla sulama yöntemi gibi) ise yeterli sağlık koruması sağlanabilmektedir. Herhangi bir strateji-önlem kombinasyonunun uygulanabilirliği ve etkinliği birçok etmene bağlıdır. Bunlar, kaynakların varlığı (iş gücü, para kaynağı, arazi), mevcut sosyal ve tarımsal uygulamalar, atıksuyla sulanan ürünlere pazardaki talep, var olan dışkı kökenli hastalıkların seyri olarak sıralanabilir. Örneğin, atıksuların arıtılması için yeterli parasal kaynak ve/veya arazi yoksa diğer üç tip sağlık koruma önlemlerini uygulamak gerekecektir (Carr ve ark. 2004, Blumenthal ve ark. 2000b; Mara ve Cairncross 1989).

Tüm yöntemlerin ortak amacı riski tanımlamak, değerlendirmek, öncelik belirleyerek risk azaltma stratejilerini saptayıp uygulamak ve böylece riski ortadan kaldırmak veya etkisizleştirmektir. Kent kanalizasyon sistemleriyle toplanan evsel atıklarda ana risk kaynağı patojenlerdir. Dolayısıyla tüm risk yönetimi yöntemlerinde riski önlemek için uygulanacak birincil strateji daima atıksuların arıtılması olmalıdır. Arıtılmış atıksuların kullanılmasından kaynaklanan risklerin yönetimi için iki yol uygulanabilir. Birincisi arıtılmış sular için standartlar koymak ve bu standartları sağlayacak düzeyde suların arıtılması; ikincisi ise yeniden kullanılan atıksularla insanların olası temaslarının azaltılmasıdır (Salgot ve ark. 2003).

- **Kimyasallar**

Atıksuların içinde kimyasal maddelerin bulunması da hastalıklara neden olabilmektedir. Kimyasallar, gıda zincirine girerek sağlık riski oluştururlar. İçeriğinde bu kimyasalları bulunduran gıdaların yenmesi, insan sağlığını olumsuz yönde etkilerler. Genellikle atıksulardaki kimyasalların kaynağını endüstriyel atıksular oluşturur. Birçok ülkede endüstriyel atıkların doğaya bırakılması yasalarla sınırlandırılmıştır. Ülkemizde de Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Resmi Gazete, 2004) ile atıksuların arıtılması ve doğaya verilebilmesi için birçok sınırlama tanımlanmıştır. Buna göre, endüstriyel atıksuların içerdiği kimyasallar, kabul edilebilir düzeylere kadar seyreltildikten veya uygun bir yöntemle arıtıldıktan sonra doğaya ve kent kanalizasyon sistemine boşaltılmasına izin

verilmektedir. Kimyasallarla ilgili asıl sorun, toksik kimyasalları içeren gıdaların ve/veya suyun uzun süre tüketilmeleridir. Bu kimyasalların öncelikle bitki ve hayvanların bünyesinde depolanması ile dolaylı olarak insan sağlığı için tehdit oluşturabileceği daima göz önünde bulundurulmalıdır. Çizelge 4.25'de atıksularda veya arıtılmış atıksularda bulunan ve toksisiteye neden olabilen kimyasallar verilmiştir.

Çizelge 4.25. Atıksularda veya arıtılmış atıksularda bulunan ve toksisiteye neden olabilen kimyasallar (Salgot 2001)

Grup	**Kimyasal**	**Etkileri**
İnorganik	Ağır metaller	Metalin özelliğine ve canlılarda birikimine bağlı olarak: kanser, sinir sistemini etkiler.
	Bor	Bitkilerde toksisite
	Serbest klor kalıntısı	Sucul yaşamda toksisite
	Nitratlar	Methemoglobinemi (Mavi bebek sendromu), kanser
Organik	Organik halojenler	Kanser
	Pestisitler (zirai mucadele ilaçları)	Kanser, teratojenik etki[1] , sinir sistemini etkiler.
	Polinükleer aromatik hidrokarbonlar	Kanser

[1]*Gebe kadınlar tarafından alındıklarında plasentadan fötal dolaşıma geçerek fötusta kalıcı bozukluklara neden olması.*

Bununla birlikte, tarımsal ürünlerin sulanması amacıyla kullanılan suların içerdiği ağır metal ve toksik elementlerin çok düşük miktarları bile öncelikle bitkiler için zararlıdır ve bitki yetiştiriciliğini kısıtlamaktadır. Ayrıca, ağır metallerin bitki bünyesine alınabilirliği asidik toprak koşullarında (pH<5.5) artış göstermektedir. Oysa tarımsal yetiştiricilik için sulamanın gerekli olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde, toprakların pH değeri 6.5 ile 8 arasında olup, genellikle hafif alkali topraklardır. Bu koşullarda, toksik kimyasalların bitkilerce alınımı güçleşir. Kimyasal içerikleri yönünden, tarımsal alanlarda atıksuların sulama için kullanılmasında dikkat edilmesi gereken temel sorun, toksik kimyasalların toprakta birikmesi ve yıkanarak yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarına karışmalarıdır. Ancak, sulamada kullanılan atıksularda bulunan toksik kimyasallar nedeniyle herhangi bir sağlık sorununun ortaya çıktığını gösteren net bir hastalık kanıtı bulunmamaktadır. Atıksuların uygun olarak toplanması ve arıtıldıktan sonra güvenli

yöntemlerle tarımda kullanılması teşvik edilmelidir. Bu sayede su tasarrufu sağlanır ve su kaynakları kirletilmez, bitki verimi artar, yapay gübre gereksinimi azalır, atıksular doğaya zarar vermeden en yararlı şekilde uzaklaştırılmış olur. Atıksuların arıtılmadan, plansız ve kontrolsüz bir şekilde kullanılması ise ne sağlık ne de tarım açısından önerilir. Tarımsal üretim için kullanılan arıtılmış atıksu kalitesinin, hem bitkiler hem de tüketiciler üzerine etkileri konusunda endişeler ve bilinmeyenler bulunmaktadır. Su kalitesine ilişkin olarak atıksuların içeriğindeki çözünmüş organik karbon ve sodyum konsantrasyonları, ağır metaller ile patojenler, ilaçlar ve endokrin sistemini bozan maddeler gibi kirleticiler üzerinde durulmaktadır (Toze 2006).

4.3.2. Atıksuların toprak kalitesine etkileri

Arıtılmış atıksuların sulamada kullanılması su kaynaklarının sınırlı olduğu kurak ve yarı kurak alanlarda önemli bir potansiyele sahiptir. Ayrıca atıksuyun tarımda kullanılması ile su dengesi geliştirilebilir. Bununla birlikte, sulama suyunun kalitesi bu gibi alanlarda bitki gelişimini etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Atıksular genellikle yüksek konsantrasyonlarda hem organik hem de inorganik asılı ve çözünmüş parçacıklar içerirler. Evsel ve endüstriyel atıksulara karışan tuzların büyük bir kısmı geleneksel arıtma teknolojileriyle tam olarak giderilemez ve sulama ile bu tuzlar toprağa geçer. Bazı araştırmacılar atıksular ile sulanan alanlardaki toprakların fiziksel, biyolojik veya kimyasal değişime uğramalarından dolayı hidrolik kondüktivite değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir (Angın 2002).

Atıksularla yapılan sulamalar nedeniyle toprağa ve bitkilere bulaşan patojenlerin yaşam süreleri kısıtlıdır. Çizelge 4.26'da bitki yüzeyinde ve toprakta bazı dışkı kökenli patojenlerin hayatta kalış süreleri verilmiştir. Patojenlerin tarım topraklarında hayatta kalmaları çeşitli doğal koşullara göre değişmektedir. Enterik bakterilerin toprak ortamında hayatta kalmalarını etkileyen etmenler Çizelge 4.27'de gösterilmiştir. Doğal koşullara en dayanıklı olanlar ve aylarca uygun konakçı buluncaya dek hayatta kalanlar, helmint (bağırsak solucanları-kurtlarının larvaları) grubunda yer alan patojenlerdir. Patojenler genellikle düşük sıcaklıklarda ve yağışlı iklimlerde daha uzun süre hayatta

kalırlar. Kurak ve yarı kurak iklimlerde, gerek toprak koşulları gerekse de iklim koşulları patojenlerin ölmesine veya etkisiz hale gelmelerine yardımcı olmaktadır.

Çizelge 4.26. 20-30°C'de bitki yüzeyinde ve toprakta bazı dışkı kökenli patojenlerin hayatta kalış süreleri (Westcot 1997)

Patojen	**Hayatta kalış süresi**	
	Toprakta	**Bitki yüzeyinde**
Virüsler		
Enterovirüsler[a]	<100 gün, genellikle <20 gün	<60 gün, genellikle <15 gün
Bakteriler		
Fekal koliform	<70 gün, genellikle <20 gün	<30 gün, genellikle <15 gün
Salmonella spp.	<70 gün, genellikle <20 gün	<30 gün, genellikle <15 gün
Vibro kolera	<20 gün, genellikle <10 gün	<5 gün, genellikle <2 gün
Protozoa		
Entamoeba histolytica sistleri	<20 gün, genellikle <10 gün	<10 gün, genellikle <2 gün
Helmitler		
Ascaris lumbricoides yumurtaları	Aylarca	<60 gün, genellikle <30 gün
Kancalı kurt lavraları	<90 gün, genellikle <30 gün	<30 gün, genellikle <10 gün
Taenia saginate yumurtaları	Aylarca	<60 gün, genellikle <30 gün
Trichuris trichiura yumurtaları	Aylarca	<60 gün, genellikle <30 gün

[a]*Polio-, echo- ve coxsackievirüsleri kapsar*

Çizelge 4.27. Enterik bakterilerin toprak ortamında hayatta kalmalarını etkileyen etmenler (Westcot 1997)

Toprak etmeni	**Bakterilerin hayatta kalma süresi üzerine etkisi**
Toprak mikroflorasından canlı çeşitlerinden kaynaklanan antagonizm	Steril topraklarda hayatta kalma süresi artar.
Toprak nem içeriği	Nemli topraklarda ve çok yağışlı dönemlerde hayatta kalma süresi daha uzar.
Su tutma kapasitesi	Hayatta kalma süresi kumlu topraklarda, su tutma kapasitesi yüksek topraklardakinden daha kısadır.
Organik madde	Yeterli organik madde olduğunda hayatta kalma süresi ve üreme olasılığı artar.
pH	Asit topraklarda (pH 3-5) alkali topraklardakinden (pH>8) daha kısadır.
Güneş ışığı	Toprak yüzeyindeki hayatta kalma süresi daha kısadır.
Sıcaklık	Hayatta kalma süresi düşük sıcaklıklarda daha uzundur; kışın yaz aylarındakinden daha uzundur.

Toprağın hidrolik kondüktivitesini etkileyen fiziksel özellik içerisinde; hava gözeneklerinin sıkışması, sızan sudaki katı parçacıkların süzme aktivitesi üzerine etkisi ve toprak agregatlarının parçalanması sayılabilir (Vandevivere ve Baveye 1992). Vinten ve arkadaşları hidrolik kondüktivitenin düşme nedeninin toprak yüzeyinde biriken kaba parçacıklardan kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Özelikle düşük hidrolik kondüktiviteye sahip topraklarda bunun çok daha fazla önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çünkü materyal yüklü suyun toprak ile temas süresi arttıkça özellikle kil tipine bağlı olarak geçirgenliğin azalması yani infiltrasyon oranının düşmesi yüzey akışa, toprak yüzeyinde göllenmelere ve gerekli önlemler alınmazsa erozyona yol açabilir (Vinten ve ark. 1983).

Toprağın hidrolik kondüktivitesini etkileyen biyolojik özellikler arasında, yaşayan mikroorganizmaların özellikle de bakterilerin varlığı yer almaktadır (Vandevivere ve Baveye 1992).

Toprağın hidrolik kondüktivitesini etkileyen kimyasal özellikler, kolloidal parçacıkların ayrışmasını ve toprakların şişme özelliklerini içerirler. Atıksuların sodyum adsorbsiyon

oranı (SAR) genellikle normal sulama sularından yüksektir. Böylece atıksular ile sulanan toprakların değişebilir sodyum yüzdesi yükselir (Bouwer ve Idelovitch 1987).

Shahalam ve ark. (1998), atıksuyun toprak, bitki ve çevreye olan etkisini incelemişlerdir. Çalışmada yağmurlayıcılar vasıtasıyla atıksu ve temiz su uygulanan yonca, turp ve domates bitkilerindeki verimler karşılaştırılmış ve gübre uygulanan her iki sulama suyunda verimler arasındaki ilişki birbirlerine yakın bulunmuştur. Siltli tın toprakta çalışma boyunca önemli değişiklikler olmadığı sadece toprak porozitesinde ve tuzluluğunda birtakım değişiklikler görüldüğü belirtilmiştir.

Sort ve Alcaniz (1999), 28 ay boyunca atıksu ile sulanan topraklardaki porozite değişimini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda toprak mikro porozitesinin (<50 μm) ve makro porozitesinin (>50 μm) arttığını saptamışlardır. Ancak bu değişimin geçici olduğunu, çünkü atıksu uygulanmasından bir yıl sonra kontrol parseli ile deneme parseli arasında porozite ile ilgili önemli bir farklılığın olmadığını belirlemişlerdir.

5. EVSEL ATIKSULARIN ARITIMI İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER

Atıksu içerisinde kirleticiler fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle atıksulardan giderilir. Arıtma sistemlerinde bu yöntemlerin değişik kombinasyonlarını uygulamak mümkündür. Fiziksel arıtma, fiziksel kuvvetlerin uygulandığı arıtma yöntemi olarak bilinir. Atıksu arıtımında ilk olarak bu yöntemler uygulanmıştır. Kimyasal arıtma, kimyasal madde ilavesiyle reaksiyon oluşturarak atıksu içerisindeki kirleticilerin giderilmesidir. Biyolojik arıtma yöntemiyle biyolojik olarak bozunabilecek maddelerin giderilmesi sağlanır. Bu maddeler mikroorganizmaların enerji ihtiyaçları için yaptıkları solunum sırasında çıkan gazlara ya da biyolojik kütlelerin bir araya gelerek oluşturduğu kolay çökebilen floklara dönüştürülür (Metcalf 1991).

Atıksuların kalitesini arttırmak, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle giderilemeyen ve kirliliğe neden olan maddeleri uzaklaştırmak için ileri arıtma teknikleri uygulanır. Atıksu arıtma tesisi temel işlemlerin fonksiyonları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Atıksu arıtma tesisi temel işlemlerin fonksiyonları (Metcalf 1991)

İŞLEM (PROSES)	**FONKSİYON**
Izgara ve Elekler	İri askıda veya yüzen maddelerin ayrılması
Kum Tutucu	İnorganik iri çökebilen maddelerin (kum vb.) ayrılması
Ön Çökelme	Yerçekimiyle çökebilen maddelerin ayrılması
Biyolojik Reaktörler (Aktif Çamur, Damlatmalı Filtre, Biyodiskler vb.)	Çözünmüş ve yarı çözünmüş organik maddelerin giderimi
Son Çökeltme Havuzu	Arıtma sırasında oluşan biyolojik ve kimyasal yumakların sudan ayrılması
Dezenfeksiyon	Hastalık yapan mikroorganizmaların giderimi
Koagülasyon	Partikül büyüklüğünü artırmak için kimyasal madde ilave ederek karıştırma
Nitrifikasyon	Besi maddesi giderimi (Amonyağın nitrata dönüştürülmesi)
Denitrifikasyon	Besi maddesi giderimi (Nitrit ve nitratın biyolojik reaksiyonlarla giderimi)

Atıksu arıtma sistemlerinde kullanılan atık su arıtma üniteleri aşağıdaki gibi dört başlık ve alt başlıklar halinde toplanabilir.

5.1.Fiziksel Arıtma Yöntemleri

Atıksu arıtma tesislerinde birinci kademe arıtma (birincil arıtma) birimleri prosesin en önemli bileşenlerini oluşturmaktadır. Birinci kademe arıtma, kaba maddelerin atıksulardan uzaklaştırılması, askıda ve çökebilen maddelerin giderimi, yağ ve gres gibi yüzeyde birikebilen maddelerin ortamdan sıyırıcılar vasıtasıyla uzaklaştırılması, akımın dengelenmesi ve debinin ölçülmesi gibi işlemleri kapsamaktadır. İyi planlanmış birinci kademe arıtmaya sahip bir arıtma tesisine girecek atıksu akımı dengelenmeli ve sonraki arıtma birimleri debi dalgalanmalarından zarar görmeyecek biçimde tasarlanmalıdır. Atıksu kanalizasyon sistemlerinin birleşik veya ayrık tipte olması arıtma tesisine gelecek pik yüklerin dengelenmesinde farklılıklar gösterir. Birleşik sistemler ayrık sistemlere göre daha büyük ölçekte yük dalgalanmalarına yol açar. Bu dalgalanmaların önüne geçmek üzere bir dengeleme havuzu inşası veya atıksu toplama sisteminin ayrık sistem olarak tasarlanması gerekir. Bu durum, kum tutucudan sonraki ünitelerin daha verimli şekilde çalışabilmesi bakımından önem taşımaktadır. Yüksek oranda organik madde içeren atıksuların arıtıldığı tesisler (gıda endüstrileri vb.), yağ ve gres sıyırıcıları ile donatılmalıdır (Anonim 2004b).

Atıksu birinci kademe arıtma prosesleri aşağıdaki şartları sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır:

- ✓ Atıksuyun arıtma ünitelerinde, etkin ve verimli çalışması için uygun koşulların sağlanması,
- ✓ Tesiste ihtiyaç duyulan hidrolik bekleme süresinin kısaltılması,
- ✓ İnce ızgara ve elek sistemleri sayesinde çamur işleme ünitelerinin verimli çalışmasının sağlanması,
- ✓ Tesise giren inert maddelerin kum tutucular ile ayrımının sağlanması,
- ✓ Arıtma proseslerinin güvenli çalışması için gerekli şartların sağlanması,
- ✓ Ekipman ve donanımın korunmasının sağlanması.

Atıksu arıtma tesislerinde yer alan birinci kademe arıtma birimleri aşağıda özetlenmiştir.

- **Izgaralar ve Elekler**

Izgara ve elek sistemlerinin kurulması ile katı ve iri maddelerin atıksulardan uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Kaba ızgaralar, pompa istasyonlarından önce kurulmalıdır. İnce ızgaralar ise kaba ızgaralardan sonra atıksuda kalan ve müteakip birimlerdeki mekanik ekipmana zarar verme ihtimali olan yüzen maddeleri almak ve bu şekilde çamur arıtma birimlerindeki tıkanmaları azaltmak için kurulur.

- **Pompa İstasyonları**

Atıksu terfi merkezleri (pompa istasyonları), kanalizasyon sistemi ile çok derinden gelen atıksuların zemin yüzeyine yükseltilmesi, atıksuların bir yerden başka bir yere transferi vb. ihtiyaçları karşılamak üzere tesis edilir.

- **Kum ve Yağ Tutucular**

Kum tutucu, atıksudaki kum ve yağlardan ileri gelen problemlerin azaltılması için önemli bir proses bileşenidir. Kum gibi küçük partiküller, biyolojik olarak ayrıştırılamamakta ayrıca pompa vb. mekanik ekipmanlara zarar vermektedir. Kum, kanallar, çökeltim havuzları, çamur çürütme ve çamur susuzlaştırma ünitelerinde birikerek ciddi işletme problemleri oluşturmaktadır. Yağ ise özellikle çökeltimde problem oluşturmakta ve son çökeltim yüzeyinden sıyrılmaktadır.

Kum tutuculardа, büyük partiküllerin çöktürülmesi için akım hızı düşürülmekte ve kum daha sonra havuz tabanından alınmaktadır. Yağ ve gres ise havuz yüzeyinden sıyrılmaktadır.

- **Debi Ölçümü**

Atıksu arıtma tesislerinde atıksu debisinin rutin ölçümü, tesisin tasarım ve işletme kontrolünün sağlıklı yapılabilmesi için esastır. Ortalama ve günlük debi değişimlerinin bilinmesinin sağladığı faydalar şu şekilde özetlenebilir:

- ✓ Sisteme ilave edilecek günlük kimyasal madde miktarının belirlenmesi
- ✓ Sisteme verilecek hava miktarının belirlenmesi
- ✓ Çamur geri devir oranının tespiti

- ✓ Tesisin büyütülmesi söz konusu olduğunda mevcut debi kayıtlarının oluşturulması
- ✓ Günlük kurak hava şartlarında belirlenen önemli debi artışları; sızma veya kanalizasyon sistemine endüstriyel atıksu deşarjı ve nüfus artışı hakkında bilgi edinilmesi
- ✓ Yağışlı hava şartlarında ortaya çıkan önemli debi artışından hareketle yağmur suyu katkısının tahmin edilmesi

- **Dengeleme**

Dengeleme havuzları, debide ve kirlilik yükünde büyük değişiklikleri dengelemek, ilk çökeltim havuzundaki hidrolik yükü azaltmak için kullanılır. Bekletme süresinin 18 saatten fazla olduğu uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri ile pik debiye göre boyutlandırılan çökeltim havuzlarının olduğu durumlarda debi dengeleme birimi kullanılmaz.

Dengeleme biriminde, konsantrasyonun dengelenmesi ve çökelmenin önlenmesi amacıyla karıştırma uygulanır. Karıştırma ve havalandırma ile yükseltgenebilen maddelerin ve BOİ'nin kısmi oksidasyonu da gerçekleşir. Dengeleme tanklarında karıştırma yöntemleri şunlardır:

- ✓ Giriş akımının dağıtımı ve perdeleme,
- ✓ Türbin karıştırıcılarla karıştırma,
- ✓ Difüzörle havalandırma,
- ✓ Mekanik havalandırıcılarla havalandırma

- **Ön Çökeltim**

Ön çökeltim, çökebilen katıların ayrılmasıdır. Ham atıksudan katıların giderilmesi ile belli oranlarda askıda katı ve $BOİ_5$ de giderilmiş olur. Ham atıksudaki köpüğün giderilmesi ile de havalandırma ve son çökeltim havuzlarında köpük oluşumu azalmış olur. Ön çökeltim havuzlarının bir diğer önemli görevi ham atıksu konsantrasyon ve debi değişimlerinin dengelenmesidir.

Ön çökeltim havuzları, büyük kapasiteli (>3800 m^3/gün) atıksu arıtma tesislerinde kurulur. Daha küçük tesislerde, ikinci kademe arıtma birimlerinin kapasitesinin yeterli olması ve köpük, yağ vb. yüzen kalıntılardan kaynaklanan işletme problemlerinin söz

konusu olmadığı durumlarda ön çökeltim birimine gerek kalmaz. Damlatmalı filtre, döner biyodisk ve batmış biyofiltre gibi ikinci kademe arıtma sistemleri önünde mutlaka ön çökeltim havuzları yer almalıdır.

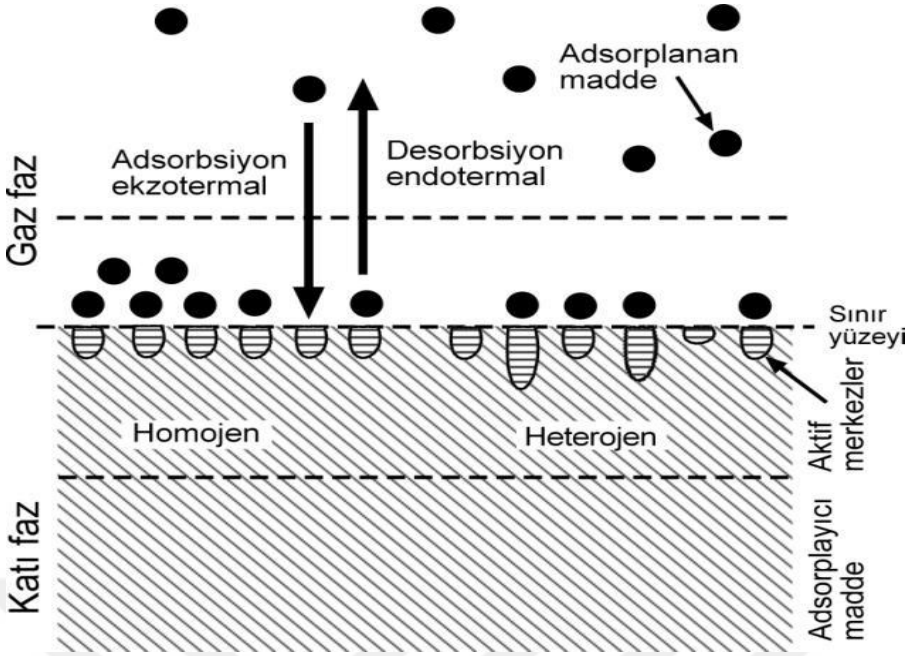
İyi tasarlanmış ve düzgün işletilen bir ön çökeltim biriminde tipik evsel atıksuda %30-35 $BOİ_5$, % 50-60 askıda katı madde giderimi sağlanır. Endüstriyel atıksu katkısının önemli oranlara ulaştığı kentsel atıksularda, atıksudaki çözünmüş $BOİ_5$ miktarı farklılığı dolayısıyla bu oranlar değişir. Ön çökeltim havuzuna kimyasal madde ilavesi yapıldığında arıtım verimleri belirgin oranda yükselir. Çökeltim havuzunda hidrolik kısa devreler, atıksu debisindeki aşırı salınımlar, çok yüksek ya da düşük atıksu sıcaklıkları ile yüksek geri devir oranları vb. ekstrem durumlar dolayısıyla $BOİ_5$ ve AKM giderimleri tipik değerlerin altına düşebilir (Anonim 2012b).

5.1.1. Adsorpsiyon

Genel olarak maddenin bir ortamda tutulmasına "sorpsiyon" denir. Gaz, buhar, çözünmüş maddelerin ve sıvı moleküllerinin bir katı yüzeyine tutunması/toplanması olayına veya derişim (konsantrasyon) değişimine "adsorpsiyon", yüzeyde tutunan maddeye "adsorban/adsorplanan/soğurulan", maddeyi tutan yüzeye "adsorbent/adsorplayıcı/soğuran", tutunan tanecik veya moleküllerin yüzeyden ayrılmasına ise "desorpsiyon" adı verilir. Adsorpsiyon yüzeysel, buna karşın "absorpsiyon" ise hacimsel tutunmayı temsil etmektedir. Sıvı-sıvı, gaz-katı veya sıvı-katı ara yüzeylerindeki derişimin artışı ve azalışı halinde gerçekleşen adsorpsiyona sırasıyla pozitif adsorpsiyon ve negatif adsorpsiyon adı verilir. Sıvıların yüzeydeki mikroskobik çatlaklarda ve gözeneklerde yoğunlaşmasına kılcal adsorpsiyon denir. Adsorpsiyon olayı ilk olarak 1773 yılında İsveç'li C.W.Scheele tarafından gazlarda, 1785 yılında da Rus bilim adamı J.T.Lowitz tarafından sıvılarda gözlenmiştir. Adsorbentler; zehirsiz, çevre için zararsız, ucuz, kolay elde edilebilir ve geri kazanılabilir, fonksiyonel gruplar içeren, suda çözünmeyen, geniş yüzey alanına sahip ve bilimsel olarak kabul görmüş olmalıdır. "Doğal adsorbentler" ve "yapay/sentetik adsorbentler" olmak üzere iki tür adsorbent bulunmaktadır (Abas ve ark. 2013, Mohan ve ark. 2014).

Doğal adsorbentler kökenlerine göre “inorganik adsorbentler” ve “organik adsorbentler” olmak üzere ikiye ayrılabilir. İnorganik adsorbentler doğadaki bolluk ve/veya kullanım sırasına göre zeolit, kil ve perlit ile temsil edilirler. Organik adsorbentler; canlılık ilkesine göre “canlı organik adsorbentler” ve “cansız organik adsorbentler” olarak sınıflandırılabilir. Canlı organik adsorbentleri mikroorganizmalar; cansız organik adsorbentleri ise kullanılmış selüloz, kitosan, ağaç kabukları, talaş, reçine, sert meyve kabuk ve çekirdek posaları (Hindistan cevizi, ceviz, fındık, fıstık, yer fıstığı, kayısı, kök ve saplar), tahıl (buğday, pirinç), çay ve kahve posaları, tarımsal kabuk atıkları (meyve ve sebzeler: portakal, limon, muz, karpuz, kavun, cassava, mango), yün, pamuk, çeşitli sanayi/endüstriyel (uçucu kül, çelik-yüksek sıcaklık fırın cürufu, alüminyum/kırmızı çamur, gübre, deri, kağıt) ve evsel atıklar oluşturmaktadır. Doğal adsorbentler; doğadan kolayca elde edilebilmeleri, ön işlem gerektirmeden üretilebilmeleri, maliyetlerinin düşüklüğü ve atıklarının azlığı ile çevre dostu olmaları bakımından yapay adsorbentlere göre daha yararlı ürünlerdir. Tek olumsuzluğu ise her malzemeye uygulanamayışıdır.
Yapay adsorbentler; fabrikalarda üretilmeleri zor, maliyetleri yüksek, zehirli olabilen ve çevre sağlığını olumsuz etkileyebilen maddelerdir. Tek olumlu yanı ise istenilen özellikte tasarlanabilmeleridir. Son yıllarda ucuz ve çevre ile uyumlu pek çok yapay adsorbent de üretilmektedir (Abas ve ark. 2013, Mohan ve ark. 2014).

Adsorpsiyon, adsorplanan maddenin fonksiyonel gruplarından dolayı oluşur ve adsorplayıcı kararlı bir bağ oluşturmak için etkileşir. Adsorplayıcının yüzeyi aktif merkez olarak adlandırılır ve burada yer alan atomlar arasındaki bağ kuvvetleri tamamen doyurulmadığından, yabancı moleküllerin adsorpsiyonu gerçekleşir. Adsorplayıcı üzerinde adsorplanmış bir madde, kendisine oranla daha şiddetle adsorplanan bir madde tarafından yer değiştirir. Yer değiştiren madde adsorplayıcı tarafından desorplanır veya serbest bırakılır. Bu olay daha çok tercih edilen türlerin adsorpsiyonu süresince devam eder. Katı faz üzerindeki adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemleri Şekil 5.1’de şematik olarak gösterilmiştir (Abas ve ark. 2013).



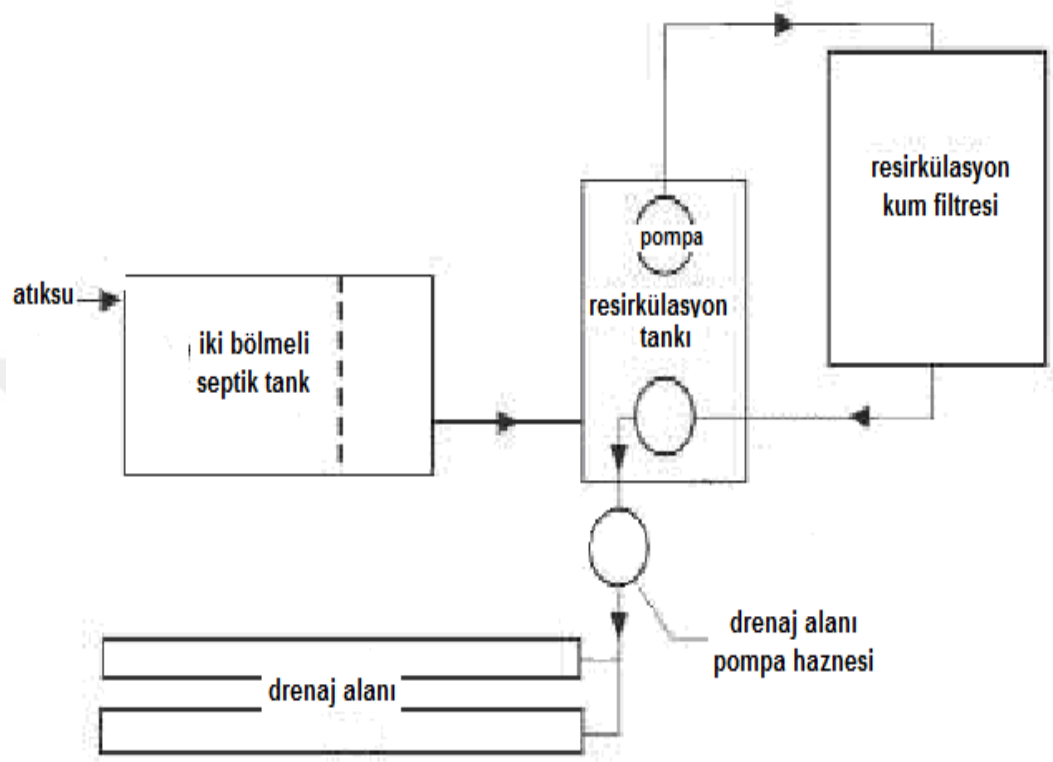
Şekil 5.1. Katı faz üzerinde adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemleri (Abas ve ark. 2013)

Septik tank çıkışından toplam çözünmüş katı, $BOİ_5$, çözünür organik karbon, amonyak azotu, demir, virüsler, fekal koliformlar ve fekal streptokoklar doymamış toprak altında adsorpsiyon alanında yüksek oranda giderilir. Organik ve inorganik kirleticileri azaltmak veya gidermek toprağın birçok özelliğine bağlıdır. Kirleticiler aşağı ve yatay olarak süzülür, adsorblanır, nötralize ve hidrolize olabilir, aerobik ve anaerobik mikroorganizmalar tarafından bozunur (Metcalf 2006).

5.1.1.1.Septik sistemlerde kullanılan ortam filtreleri

Ortam filtreli septik sistemler konvansiyonal septik tankı takiben farklı metodların uygulanması ile çıkış suyunun daha ileri düzeyde arıtılması sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Ortam filtreli septik sistemler kullanıldığında çıkış suyunun arıtımı gerçek bir filtrasyon ile gerçekleşir. Doğal ortamlı filtre sistemleri (kum, çakıl turba) kullanılabildiği gibi sentetik ortamlı filtre sistemleri de (köpük-sünger küpleri, cam, cüruf) kullanılabilir. Ayrıca sistem tek geçişli veya çıkış suyunun geri dönüşümünü

sağlayan sistemler de kullanılabilir. Geri dönüşümlü kum filtrenin kullanıldığı septik sistemin akım şeması Şekil 5.2'de gösterilmiştir (Anonim 2016a).



Şekil 5.2. Geri dönüşümlü kum filtrenin kullanıldığı septik sistem (Anonim 2016a)

Kullanılan filtre çeşitleri doğal lifli filtre ve sentetik filtre olarak ikiye ayrılır.

Doğal lifli filtre ortam çeşitleri:

- Kum fitre yatakları
- Çakıl kullanılan septik sistemler
- Şist filtre kullanılan septik sistemler
- Cüruf kullanılan septik sistemler
- Kireçtaşı kullanılan septik sistemler
- Aktif karbon kullanılan septik sistemler
- Turba filtreler ve turba lifli filtreler
- Doğal zeolit kullanılan filtreler

Sentetik filtre ortam çeşitleri:

- Dokuma ve bez septik sistem filtre ortamı
- Açık gözenekli köpük küp filtre ortamı
- Sert plastik parçalarından oluşan septik filtre ve arıtma ortamı
- Kırık cam septik filtre ortamı
- Lastik kırıntılarından oluşan septik filtre ve arıtma ortamı
- İşlenmiş cüruftan oluşan septik sistem ortam filtreleri

Bunlar dışında; talaş tozu, kompost (gübre), buğday sapı, odun lifleri, gazete, saman, süngertaşı, bentonit, istridye kabuğu gibi birçok madde belirlenen sistemin özelliklerine göre karışım oluşturularak kullanılabilir. Atıksu arıtmada kullanılan sorpsiyon ortamları ile ilgili veriler Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Atıksu arıtmada kullanılan sorpsiyon ortamları (Chang ve ark. 2010)

Sorpsiyon Ortamı	**Fiziksel/Kimyasal Özellikler**	**Referanslar**
Kum filtresi		Bell et al. (1995)
Lastik kırıntıları	D = 20.00-40.00 mm	Shin et al. (1999)
Zeolit + genleştirilmiş kil	D = 2.50-5.00 mm	Gisvold et al (2000)
Poliüretan gözenekli ortam	Gözenekli yapı, ortalama çap 3.00-5.00mm, dış por çapı 300µm	Han et al. (2001)
Kireçtaşı	D = 2.38-4.76 mm	Zhang (2002)
Kükürt	D = 2.38-4.76 mm	
Kum qranülleri		Espino- Valdes et al. (2003)
Kil		Galvez et al. (2003)
Yüksek yoğunluklu modüller		Rodgers and Zhan (2004)
Kumlu kil toprak	Kum: (53.28%), silt (24.00%) clay (22.72%)	Güngör and Ünlü (2005)
Killi kum	Kum (78.28%), silt (10.64%) clay (11.08%)	
Kumlu toprak	Kum (70.28%), silt (14.64%) Kil (15.08%)	
Taşlı kum	Taşlı kumun hacimsel yoğunluğu 1.670 kg/m^3 ; taşlı kumun gözenekliliği 0.30	Forbes et al. (2005)

Çizelge 5.2. Atıksu arıtmada kullanılan sorpsiyon ortamları (devam)

Sorpsiyon Ortamı	**Fiziksel/Kimyasal Özellikler**	**Referanslar**
Genleştirilmiş şist	Genleştirilmiş şişt (SiO_2 62.06%, Al_2O_3 15.86% Fe_2O_3 5.80% CaO 1.44%,MgO 1.68%) ; Genleştirilmiş şistin hacimsel yoğunluğu 728.00 kg/m^3 ; genleştirilmiş şistin gözenekliliği 0.59	
İstiridye kabuğu tozu	Toz formu 28.00%, kalsiyum, ortalama tanecik büyüklüğü 200µm, Yüzey alanı 237.00 m^3/g	Namasivayam et al. (2005)
Kireçtaşı, İstiridre kabuğu	D= 2.38-4.76 mm	Sengupta and Ergas (2006)
Mermer pirinci	$Mg(OH)_2$ ve $CaCO_2$	
Sova kabukları	D< 0.125 mm	Arami et al. (2006)
Klinoptiolit		Hedström (2006)
Yüksek fırın cürufu	Melilt, mervinit, anortit, Gehlenitten oluşmuş	
Perlit (incitaşı)		Rbco II (2007)
Klinoptiolit	D = 0.30-4.76 mm	Smith et al. (2008)
Genleştirilmiş kil	D = 0.40-5.0 mm	
Lastik kırıntıları	D = 0.30-5.00 mm	
Kükürt	D = 2.00-5.00 mm	
Kırma istiridye kabuğu	D = 3.00-15.00 mm	
Utelit (genişletilmiş şist)	D = 0.40-4.50 mm	
Kırma deniz kabukları	D = 4.00-4.75 mm	Li and Champagne (2009)
Turba yapan bataklık yosunu		
Üç boyutlu plastik ortam		Jin and zheng (2009)
Alüminli çamur İstridye kabukları		Park (2009)

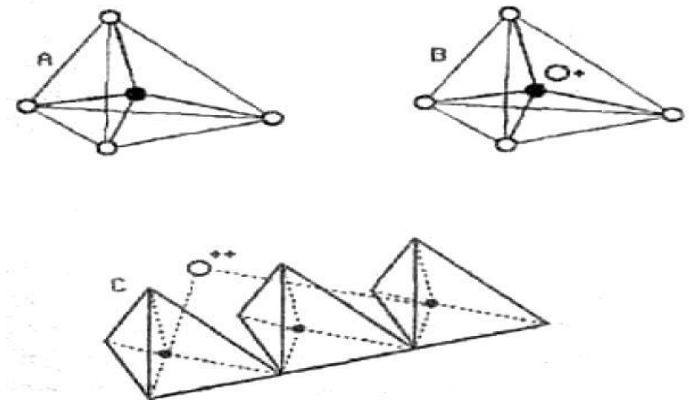
D: Çap

Adsorbentlerin özellikleri; zehirsiz olmalı, çevre için zararsız olmalı, ucuz ve kolay elde edilebilir olmalı, adsorbanlarla etkileşime girebilecek fonksiyonel gruplar bulundurmalı, suda çözünmemeli, kolayca geri kazanılabilmeli, bilimsel olarak kullanılması kabul edilmiş olmalıdır. İyi bir adsorbentin temel özelliği birim kütle başına geniş yüzey alanına sahip olmasıdır (Breck, 1974).

5.1.1.2.Zeolitler

Zeolitlerin genel kimyasal formülü: Mx Dy [Alx+2y Sin-(x+2y)O2n]. mH2O şeklindedir. Bu fomülde, M: Na, K veya diğer (+1) değerlikli katyonları, D: Mg, Ca, Si, Ba ve diğer (+2) değerlikli katyonları ifade eder (Gottardi 1976).

Zeolitin, kelime anlamı "Kaynayan Taş" olarak bilinir. Isıtıldığında patlayarak dağıldığı için, bu isim verilmiştir. İlk zeolit, 1756 yılında İsveçli mineralog Freiherr Axel Fredrick Cronstedt tarafından bulunmuştur. Zeolitler, milyonlarca yıl önce volkanik küllerin su ortamında değişime uğraması sonucunda alkali ve toprak alkalilerin hidratlı doğal silikatlarından oluşan bir mineral grubudurlar. Feldspatların ve diğer alumino-silikatların zeolite dönüşmesine zeolitleşme denir. Bilinen 40'tan fazla doğal minerali vardır. Bunlardan en önemlileri klinoptilolit, höylandit şabazit, analsim, eriyonit, natrolit, fillipsit, mordenit'dir. Ayrıca 150'den fazla sentetik minerali de mevcuttur. Zeolit mineralleri, birbirine oksijen atomlarını paylaşarak bağlanan tetrahedral AlO_4 ve SiO_4'in sınırsız uzayabilen üç boyutlu ağından oluşan aluminosilikat yapıdadırlar (Şekil 5.3) (Gottardi 1976).



Şekil 5.3. Zeolitin kristal yapısı (Gottardi 1976)

Son yıllarda giderek daha da önemli bir endüstriyel hammadde durumuna gelen doğal zeolitlerin kullanım alanları (Sand ve ark. 1978, Maretto ve ark. 2004):

Kirlilik kontrolü (radyoaktif atıkları engelleme); atık suların (zirai, lağım, içme), baca gazlarının, denize dökülen yağ ve petrol sızıntılarının temizlenmesi/arındırılması;

oksijen üretimi; enerji tasarrufu (kömürlerin gazlaştırılması, doğal gazların saflaştırılması, güneş enerjisi depolama, petrolün saflaştırılması); tarım ve hayvancılık (gübre ve toprak ıslahı, tarımsal/yabani ot, böcek ve mantarlarla mücadele, hayvan beslemede katkı malzemesi, hayvan dışkılarının ıslahı, su kültürü/tarla balıkçılığı); metalürji, kâğıt ürünleri, tıp ve yapı malzemesi.

Doğal zeolitlerin tane iriliklerine göre kullanıldığı sektörler Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Doğal zeolitlerin tane iriliklerine göre kullanıldığı sektörler(Özaydın 2005)

Kullanıldığı Sektör	**Mineral Saflığı**	**Tane İriliği (mm)**
Tarımda Gübre Katkısı	%70-90 Klinoptilolit	1-3 0,8-2,8 1-4 0,8-3,8 0,5-1,5 0,8-2
Hayvan Beslemede Yem Katkısı	Minimum %85 Klinoptilolit	<1, <0,8, <0,5, <0,1
İçme Suyu Arıtımında Filtre Malzemesi	Minimum %85 Klinoptilolit	0,5-1,5 0,8-2 1-3
Havuz Suyu Arıtımda Filtre Malzemesi	Minimum %85 Klinoptilolit	0,5-1,5 1-3 1-4 2-5
Ağıllarda ve Evcil Hayvan Yaşama Ortamlarında Amonyağa Bağlı Kokuların Giderilmesi	%75-85 Klinoptilolit	2,8-4,76 3-5 1-4
Diğer Uygulamalarda	%60-99 Klinoptilolit	Mikron boyutlarındaki özel malzemelerden 9-15 boyutlarına kadar değişen tane iriliklerinde

Doğal zeolitler, adsorpsiyon kapasitelerinin yükseltilmesi amacıyla bazı modifikasyon işlemlere tabi tutulmaktadırlar. Modifikasyon işlemlerden birisi olan asitler ile modifikasyonda, yapıdaki katyonlar H^+ ile yer değiştirerek zeolitin yüzey kimyasında değişikliğe neden olmaktadırlar. Bu değişiklik ile adsorpsiyon sürecinde, adsorbent-adsorbate etkileşimlerini değiştirerek bazı moleküllerin adsorpsiyonunu seçici bir şekilde hızlandırmaktadır. Ayrıca yapıdan uzaklaşan katyonlar zeolitin mikro gözenek

alan ve hacimlerinde artışa neden olarak zeolitin daha fazla madde adsorplamasını sağlamaktadır (Breck 1974).

5.2.Kimyasal Arıtma Yöntemleri

Kimyasal kullanılarak atıksu arıtılması işlemi 18. yüzyılın ortalarından 2. Dünya Savaşı'na kadar yaygın bir şekilde kullanılmıştır. 2. Dünya Savaşı esnasında kimyasal temininde çekilen güçlük ve bu maddelerin pahalı oluşu kimyasallarla arıtma işlemine ara verilmesine yol açmıştır. İkincil arıtma adımı olarak kullanılan biyolojik arıtma ile çözünmüş yapıdaki kirletici formların daha verimli bir şekilde arıtılması tercihin artık bu yöne kaymasına neden olmuştur. Biyolojik arıtma her ne kadar çözünmüş formların (hidrolize olmuş) gideriminde kimyasal arıtmadan daha yüksek performans gösterse de, katı madde muhteviyatı yüksek olan ve hidrolize olmayan kirlilik formlarının giderilmesi için kimyasal arıtma bir zorunluluk olmaktadır. Bu gibi durumlarda atıksu arıtma projelerinde birincil arıtma olarak kimyasal ön arıtmaya yer verilir. Diğer taraftan biyolojik arıtma sonrası AKM değerleri yüksek ise veya çamur yoğunlaştırma işlemlerinde kimyasal arıtmaya başvurulması gereken bir arıtma yöntemi olarak ön plana çıkmaktadır (Kurt 2007).

Kimyasal arıtma sistemleri suda çözünmüş veya askıda halde bulunan maddelerin fiziksel durumunu değiştirerek çökelmelerini sağlamak üzere uygulanan arıtma prosesleridir. Kimyasal arıtma işleminde, uygun pH değerlerinde atıksuya kimyasal maddeler ilave edilmesi sonucu, çöktürülmek istenen maddeler çökeltilerek çamur halinde sudan ayrılır. Uygulamaları; nötralizasyon, koagülasyon ve flokülasyondur.

Nötralizasyon: Asidik ve bazik karakterdeki atıksuların uygun pH değerinin ayarlanması amacı ile yapılan asit veya baz ilavesi işlemidir.

Koagülasyon: Koagülant maddelerin uygun pH'da atıksuya ilave edilmesi ile atıksuyun bünyesindeki kolloidal ve askıda katı maddelerle birleşerek flok oluşturmaya hazır hale gelmesi işlemidir. Genellikle hızlı karıştırma ünitelerinde yapılır. Koagülasyon işlemi sonrasında oluşan kolloidal partiküller ve kimyasal reaksiyon sonucu oluşan tanecikler çok küçük yumaklar halinde birleşirler.

Flokülasyon: Flokülasyon (yumaklaştırma), atıksuyun uygun hızda karıştırılması sonucunda koagülasyon işlemi ile oluşturulmuş küçük taneciklerin, birbiriyle birleşmesi ve kolay çökebilecek flokların oluşturulması işlemidir.

Arıtma verimini arttırmak amacıyla yumaklaştırmaya yardımcı maddeler ilave edilir. Kil, kalsit, polielektrolit, aktif silika, çeşitli alkali ve asitler koagülant maddeler olarak kullanılır. Yumaklaştırıcı (koagülant) olarak en çok kullanılan kimyasal maddeler ise $Al_2(SO_4)$, $AlCl_3$, $Fe(SO_4)_3$, $FeCl_3$, CaO, $Ca(OH)_2$ olup, yardımcı madde olarak en fazla polimerler kullanılmaktadır (Filiz 2007).

5.3.Biyolojik Arıtma Yöntemleri

Biyolojik arıtma, atıksu içerisindeki çözünmüş organik maddelerin bakteriyolojik faaliyetlerle ayrıştırılarak giderilmesi işlemidir. Bakterilerin arıtma işlemini gerçekleştirebilmeleri için pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen, toksik maddeler gibi parametrelerin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Atıksu arıtımında kullanılan önemli biyolojik arıtma prosesleri Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Atıksu arıtımında kullanılan önemli biyolojik arıtma prosesleri (Metcalf 1991)

Tipi	**Genel Adı**	**Kullanımı**
Havalı Prosesler:		
Askıda-Büyüyen	Aktif çamur prosesleri Konvansiyonel(piston akımlı) Tam karışımlı Kademeli havalandırmalı Saf oksijenli Ardışık kesikli reaktör Kontakt stabilizasyonlu Uzun havalandırmalı aktif çamur Oksidasyon hendeği Derin şaft aktif çamur sistemi	Karbonlu BOİ giderimi ve Nitrifikasyon

Çizelge 5.4. Atıksu arıtımında kullanılan önemli biyolojik arıtma prosesleri (devam)

Tipi	**Genel Adı**	**Kullanımı**
Yüzeyde büyüyen (Biyofilmli)	Askıda-büyüyen Nitrifikasyon Havalandırmalı lagün Havalı çürütme Konvansiyonel havalı Damlatmalı Filtre Düşük hızlı Yüksek hızlı Kaba Filtre (roughing) Döner biyolojik disk Dolgulu kuleler	Nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi (nitrifikasyon) Stabilizasyon, karbonlu $BOİ_5$ giderimi, nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ giderimi ve nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi ve nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi ve nitrifikasyon
Birleşik askıda ve tutunarak büyüyen sistemler	Aktif çamur biyofiltre prosesleri biyofiltre prosesleri aktif çamur	Karbonlu BOİ giderimi ve Nitrifikasyon
Anoksik Prosesler: Askıda büyüyen Tutunarak büyüyen	 Askıda büyüyen denitrifikasyon Sabit-film denitrifikasyon	 Denitrifikasyon Denitrifikasyon
Havasız Prosesler:		
Askıda büyüyen	Havasız çürütme Standart hızlı, tek kademeli Yüksek hızlı, tek kademeli Havasız kontakt prosesler Havasız çamur yataklı reaktör	 Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ giderimi
Tutunarak büyüyen	Havasız filtre Genleşmiş yataklı reaktör	Karbonlu BOİ giderimi, atık stabilizasyonu, denitrifiaksyon. Karbonlu BOİ giderimi, atık stabilizasyonu
Birleşik havalı, havasız ve anoksik prosesler		
Askıda büyüyen	Tek veya çok basamaklı, çeşitli özel prosesler	Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon P giderimi
Birleşik askıda ve tutunarak büyüyen	Tek veya çok kademeli prosesler	Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon,P giderimi
Lagünler	Havalı havuzlar Olgunlaştırma havuzları Fakültatif havuzlar Havasız havuzlar	Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ gid.(nitr.) Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ giderimi (atık stabilizasyonu)

Uygulamaları; stabilizasyon havuzları, damlatmalı filtreler, aktif çamur sistemleri, havalandırmalı lagünler, biyodisk, yapay sulak alan sistemleri ve septik sistemler başlıkları altında inceleyebiliriz.

5.3.1. Stabilizasyon havuzları

Basit olmaları ve işletme kolaylığından dolayı atıksu arıtımında en basit arıtma sistemi stabilizasyon havuzlarıdır. Sistem ekipmansız çalışacağından, biyolojik aktivite yavaş işler. Bu nedenle uzun kalma zamanına ve dolayısı ile geniş arazilere ihtiyaç duyulmaktadır. İklim ve havuzun doğal şartları biyolojik aktiviteyi etkiler. Bu nedenle, arazinin bol ve ucuz, iklim şartlarının uygun olması stabilizasyon havuzlarının kullanımını arttırır. Stabilizasyon havuzları, reaksiyon kinetikleri ve akım şekilleri yönünden geri devirsiz dispersiyonlu piston akımlı reaktörlere benzemektedir. Arıtım verimi, BOİ giderimi ile birlikte mikroorganizma ve besi maddeleri (N ve P) arıtımında da istenilen şartları sağlayacak şekilde tasarlanabilir (Öztürk 2005).

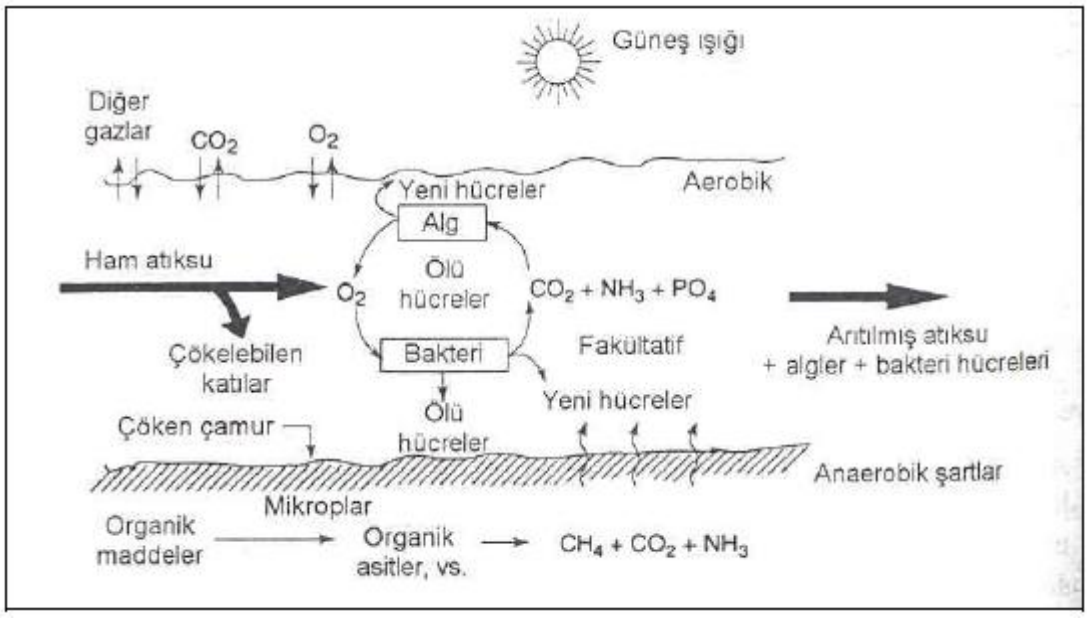
Havuz Tipleri

Havalı (Aerobik) Stabilizasyon Havuzları: Bu havuzlarda ışık geçirimi ve fotosentezle alg oluşumunu en yüksek seviyede tutmak için derinlik yaklaşık 0,3 m veya daha az seçilmektedir. Havalı şartlar havuz derinliğinin tümünde her zaman korunur.

Havasız (Anaerobik) Stabilizasyon Havuzları: Bu tip stabilizasyon havuzlarında mikrobiyolojik aktivite havasız ortamda gerçekleşir. Anaerobik ve fakültatif mikroorganizmalar, nitratlar ve sülfatlardaki oksijeni kullanırlar. Bu tip havuzlar yüksek organik yükleri kabul edebilirler ve alg fotosentezi olmadan çalışabilirler. Işığın geçirimi bu havuzlarda önemli olmadığından, 3-4 m derinlikler kullanılır. Ancak günümüzde bu havuzlar yerine daha verimli oldukları için havasız çamur yataklı reaktörler (HÇYR) ve anaerobik çamur battaniyesi sistemleri kullanılabilir.

Fakültatif Stabilizasyon Havuzları: Bu tip havuzlar kısmen havalı, kısmen de havasız olarak çalıştığından bu tip havuzlarda, hem alg hem de fakültatif mikroorganizma

gelişimi gerçekleşir. Derinlik genellikle 1-2 m'dir. Gündüz güneş ışığında havuz, ağırlıklı olarak havalı karakterde iken, gece havuz tabanındaki su, havasız karakterli olur. Tabanda biriken çamurun, çamur-su arakesit yüzeyinden itibaren birkaç mm'lik kısmı hariç, geri kalan tüm kısmı havasızdır. Dünyadaki mevcut havuzların çoğu fakültatif tiptedir. Bu havuzlardaki havalı ve havasızlık dereceleri değişkendir. Tipik bir fakültatif havuzda gerçekleşen reaksiyonlar Şekil 5.4'de verilmiştir (Arceivala 2002).



Şekil 5.4. Tipik bir fakültatif havuzda atıksu arıtımı (Arceivala 2002)

Hiçbir arıtmadan geçmemiş atıksuları kabul eden havuzlara ham veya birinci kademe stabilizasyon havuzları denir. Ön çökeltmeden geçmiş veya biyolojik olarak arıtılmış atıksuların geldiği havuzlara ise ikinci kademe stabilizasyon havuzları adı verilir. İkinci kademe stabilizasyon havuzlarına örnek olarak olgunlaştırma havuzları verilebilir. Stabilizasyon havuzlarında veya diğer konvansiyonel arıtma tesislerinde arıtılan atıksular, daha iyi hale getirilmek üzere (özellikle, bakteri sayısı azaltılmak üzere) belli bir süre (yaklaşık 5-7 gün) olgunlaştırma havuzlarında ilave arıtmaya tabi tutulurlar. Olgunlaştırma havuzları, organik yük yönünden oldukça hafif yüklenirler. Bu tip havuzların özellikle Güney Afrika'da çok kullanıldığı rapor edilmektedir. Sıcak iklimlerde olgunlaştırma havuzları, klorla dezenfeksiyona ekonomik yönden fizibil bir alternatif olmaktadır (Öztürk 2005). Havalı, havasız ve fakültatif stabilizasyon havuzları için tasarım parametreleri Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Havalı, havasız ve fakültatif stabilizasyon havuzları için tasarım parametreleri (Syed 1999)

Parametre	Havalı	Fakültatif	Havasız
Hidrolik Kalış süresi, gün	5-20	10-30	20-50
$BOİ_5$ yükü, kg/ha.gün	40-120	15-120	200-500
Çözünmüş $BOİ_5$ giderimi,%	90-97	85-95	80-95
Toplam $BOİ_5$ giderimi,%	40-80[1]	70-90	60-90
Alg konsantrasyonu, mg/l	100-120	20-80	0-5
Çıkış AKM, mg/l	100-250	40-100	70-120

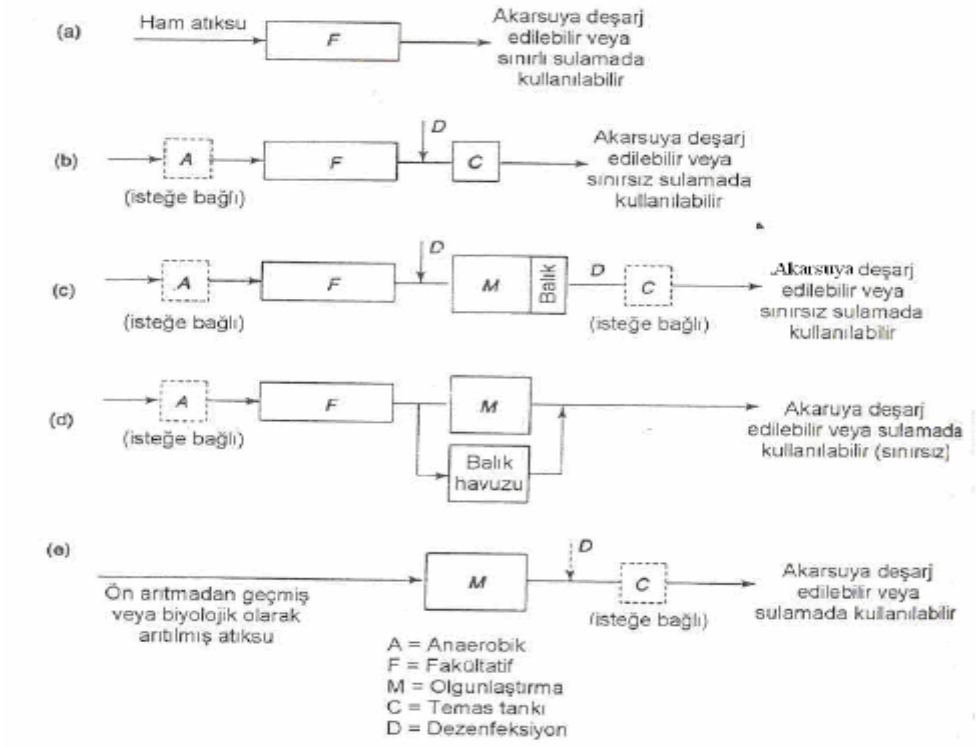
[1] *çıkışta yüksek alg konsantrasyonundan dolayı toplam $BOİ_5$ giderimi düşüktür.*

Balık Havuzları: Bunlar olgunlaştırma havuzlarının birer parçası olabileceği gibi, ayrı havuzlar şeklinde de tasarlanabilirler. Ön havuzlardan sonra da gelebilirler. Bu havuzlarda balık yetiştirilir.

Su Bitkisi Havuzları: Bu havuzlar, ikinci kademe havuzlardır. İçlerinde yüzer su bitkileri (örneğin, su sümbülü) yetişmesine izin verilir; hatta bizzat yetiştirilir. Bu bitkilerin atıksuyu daha fazla arıtma ve ağır metalleri giderme kabiliyetleri vardır. Bu bitkiler, sağladıkları besi maddeleri (N ve P) ve gazlar sayesinde yeni bitkilerin üremesine de katkıda bulunurlar.

Stabilizasyon havuzların geometrileri farklı şekillerde olabilir. Üniteler, istenen akım rejimine bağlı olarak (piston, dispersiyonlu veya tam karışımlı) seri veya paralel bağlı yerleştirilirler (Öztürk 2005).

Stabilizasyon havuz sistemleri için bazı tipik yerleşim biçimleri Şekil 5.5' de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Stabilizasyon havuz sistemleri için bazı tipik yerleşim biçimleri (Arceivala 2002)

Havuz ekosistemini etkileyen faktörler

Havuz projelendirilmesini etkileyen çeşitli faktörler, aşağıda verilmektedir:

• Atıksu özellikleri ve değişimi

• Çevresel faktörler (radyasyon, ışık, sıcaklık ve bunların değişimleri)

• Alg büyüme modeli, bunun günlük ve mevsimsel değişimi

• Bakteri büyüme modelleri ve ölme hızları

• Akımın hidrolik rejimi

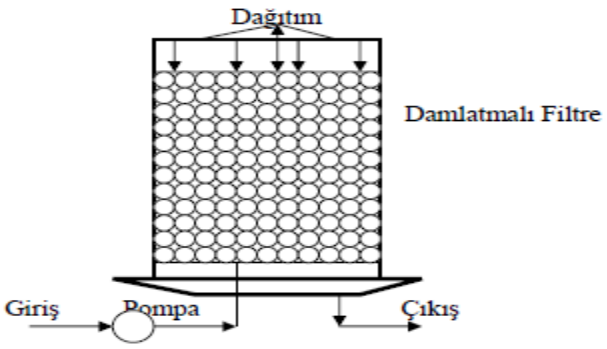
• Buharlaşma ve sızma

• Katı madde çökelmesi, sıvılaşma, gazlaşma, aşağıdan yukarı difüzyon ve çamur birikimi

• Ortak yüzeylerde gaz transferidir.

5.3.2. Damlatmalı filtreler

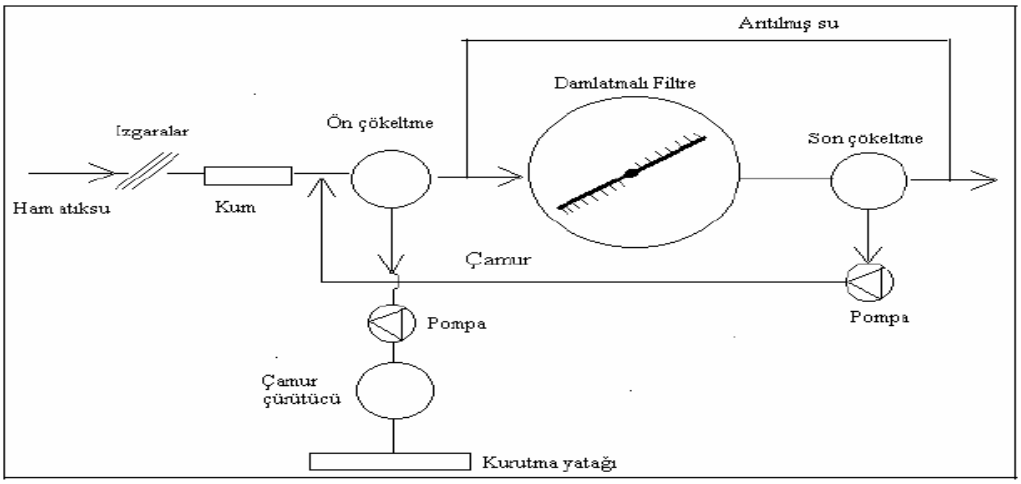
Damlatmalı filtreler üzerinde mikroorganizmaların biyofilm halinde büyüdüğü katı tanecikler içeren bir dolgulu sistemdir. Bu birim, içinde 0,1-10 cm büyüklüğünde dolgu malzemesi (kırma taş, plastik, kömür, özel dolgu maddeleri vs.) bulunan bir tanktan oluşur. Bu tankın üzerine ilk arıtmaya (birinci kademe) tabi tutulmuş atıksu belirli bir debi ile verilir. Bu işlem tankın merkezi etrafında yavaşça hareket eden delikli bir borudan oluşan düzenekle sağlanır. Bu şekilde filtreye verilen atıksu filtre dolgu malzemesinin üstünden süzülerek akmakta, filtre yatağındaki boşlukların tamamı atıksu ile dolmadığından havalı şartlar devam etmektedir. Taşların üzerinde ince bir tabaka meydana getiren bakteriler atıksudaki organik kirleticileri önce adsorplar, sonra biyolojik arıtım reaksiyonu meydana gelir.



Şekil 5.6. Damlatmalı filtre akım şeması (İleri 2000)

Biyofilm tabakası zamanla kalınlaşmakta, oksijen ve organik maddeler tabakanın iç kısımlarına ulaşamamaktadır. Filtre dolgu maddesi yüzeyine yakın bu kesimde havasız şartlar oluşmakta, oluşan gazların yardımı ve sıvı hareketinden oluşan kesme kuvveti ile biyofilm dolgu malzemesinden ayrılıp çıkış suyu ile birlikte dışarı akmaktadır. Temizlenmiş biyofilmden taşın üzerinde yeniden biyofilm tabakası oluşmakta ve döngü bu şekilde devam etmektedir. Damlatmalı filtreden çıkan atıksu son çökeltme tankına verilir. Çökeltme tankı çıkışından belli oranda su damlatmalı filtreye, gerekli hidrolik yükü sağlamak üzere geri verilir. Damlatmalı filtreler akış hızlarına göre "yavaş" ve "hızlı" olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yavaş filtrelere 2000-4000 m^3/m^2-gün, hızlı filtrelere ise 10000-30000 m^3/m^2-gün atıksu verilmektedir (Öztürk 2005).

Tipik bir damlatmalı filtre sistemi akım şeması Şekil 5.7'de verilmektedir.



Şekil 5.7. Damlatmalı filtre sisteminin akım diyagramı (Öztürk 2005)

Düşük hızlı filtrelerin işletmeleri daha kolaydır ve küçük nüfuslar için kullanılırlar. Bu tip filtreler, taş ve çakıl gibi doğal malzemelerle kolayca yapılabilirler. Gerekli ekipman, sadece bir dozlama sifonu ve dağıtıcıdır. Filtre ortamı, 2-3 m derinliktedir. Filtre girişi ve çıkışı arasında 2,5-3,5 m'lik bir yük kaybı olur. Genellikle geri devirsiz olarak düzenlenirler. Bu nedenle bu tip filtrelerde pompa gerekmeyebilir. Arazi ihtiyacı, 0,5-0,7 m^2/kişi arasında değişir. Çizelge 5.6'da damlatmalı filtrelerle ilgili tasarım kriterleri verilmektedir (Öztürk 2005).

Çizelge 5.6. Evsel atıksuların damlatmalı filtrelerle arıtımında tasarım kriterleri (Arceivala 2002)

Konu	**Düşük hızlı filtreler**	**Yüksek hızlı filtreler (taş ortam)**	**Yüksek hızlı filtreler (plastik ortam)**	**Kaba filtreler**
Hidrolik yük (m^3/m^2.gün)	1-4	10-30[a]	40-90[a]	60-180[a]
Organik yük (kgBOİ/m^2.gün)	0,1-0,3	0,3-1,2[b]	1,2-3[a]	2-6[b]
Geri devir oranı	-	0,5-3	1-4	1-4
Derinlik(m)	1,8-3	1-3	4-12	4-12
Filtre ortamı	Taş, çakıl	Taş, çakıl	Plastik	Plastik

Çizelge 5.6. Evsel atıksuların damlatmalı filtrelerle arıtımında tasarım kriterleri (devam)

Konu	Düşük hızlı filtreler	Yüksek hızlı filtreler (taş ortam)	Yüksek hızlı filtreler (plastik ortam)	Kaba filtreler
BOİ giderim verimi(%)	80-85	65-85	65-85	40-65
Nitrifikasyon	İyi	Sınırlı	Sınırlı	-

[a] Geri devir dahil, [b] Geri devir dahil değil

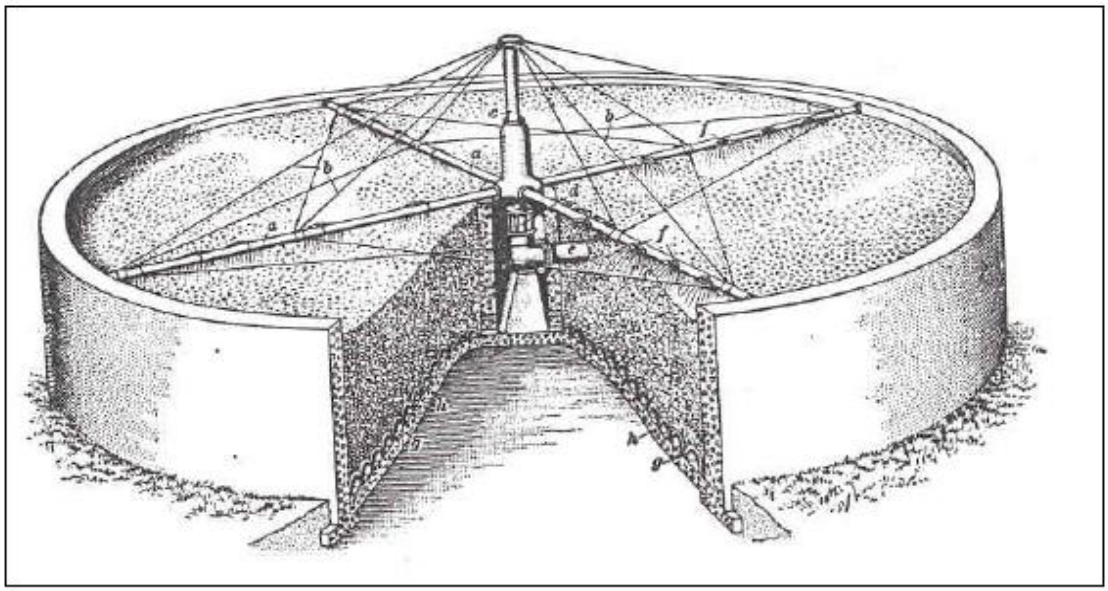
Yüksek hızlı filtrelerde BOİ giderimi, BOİ yüklemesine, geri devir oranına ve kullanılan ortamın tipine bağlı olarak % 65-85 arasındadır. Bu tip filtrelerdeki nitrifikasyon da, uygulanan BOİ yüküne bağlıdır. Taş dolgulu filtre derinliği, nitrifikasyon yönünden önemlidir. Evsel atıksular için 2 değerinin üzerindeki geri devir oranları ekonomik olmaz (Öztürk 2005).

Havuz derinliği yersel şartlar ve mevcut hidrolik yüke bağlı olarak seçilmelidir. Derinlik 1,8 ve 7 m arasında olmalıdır. Nitrifikasyon için derinlik 4 ila 7 m arasındadır. Küçük yerleşim yerlerindeki (51 - 100 eşdeğer nüfus gibi) paket damlatmalı filtre tesisleri için derinlik 0,6 m'ye kadar düşebilir. Damlatmalı filtrelere, tasarım maksadına bağlı olarak uygulanabilecek yükler ve beklenen çıkış suyu kalitesi Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Damlatmalı filtreler için tipik tasarım yükleri ve beklenen çıkış suyu kalitesi (Metcalf 2003)

Uygulama Türü	**Yükleme Hızı**		**Çıkış Kalitesi**	
	Birim	**Değer**	**Birim**	**Değer**
İkincil Arıtma Kademesi	kg BOİ/m^3.gün	0,3-1,0	BOİ, mg/L TAKM, mg/L	15-30 15-30
BOİ giderimi ve nitrifikasyonu birlikte yapan sistem	kg BOİ/m^3.gün g TKN/m^2.gün	0,1-0,3 0,2-1,0	BOİ, mg/L NH_4-N, mg/L	<10 <3
İkincil Arıtma Sonrası Nitrifikasyon	g NH4-N/m^2.gün	0,5-2,5	NH_4-N, mg/L	0,5-3
Kısmi BOİ Giderimi	kg BOİ/m^3.gün	1,5-4,0	BOİ giderimi, %	40-70

Damlatmalı filtrelerin en büyük üstünlüğü organik yükün büyük değişimlere uğramasına rağmen verimin olumsuz yönde fazla etkilenmemesidir. Arıtılmış çıkış suyunun belli oranlarda geri devri ile tekrar sisteme verilmesi arıtım verimini arttırır. Bir damlatmalı filtrenin kesiti ve perspektif görünüşü, Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Sistemin başlıca bileşenleri, döner dağıtıcı, drenaj sistemi ve filtre malzemesidir. Atıksu, bir pompa ile dağıtıcının bağlı bulunduğu düşey boruya basılır. Dağıtıcıyı oluşturan borular üzerine açılmış deliklerden fışkıran su jetleri, impuls teoreminden doğan reaksiyon kuvvetleriyle, dağıtıcının dönmesini sağlar. Böylece atıksu, kırma taş üzerine eşit olarak dağılmış olur. Çıkış kanalı ve havalandırma bacaları, filtre içinde iyi bir hava akımı meydana getirecek şekilde oluşturulur. Filtreden çıkan sular biyolojik verimi arttırmak için geri döndürülerek tekrar filtreden geçirilebilir (Muslu 1998).



Şekil 5.8. Bir damlatmalı filtrenin perspektif görünüşü ve kesiti (Muslu1998)

Filtre malzemesi, sağlam dayanıklı, suda erimez ve ufalanmaz cinsten olmalıdır. Bu, sebeple en çok kırma taş ve benzeri malzemeler kullanılır. Tercih edilen tane çapı 10 cm'dir. Her ne kadar daha küçük çaplı taşlar, biyofilm oluşumu için daha büyük bir yüzey alanı sağlasa da, taneler arasındaki boşluklar tıkanma eğilimi gösterirler ve hava ve su geçişini sınırlandırırlar. Filtre yüksekliği 1,5 m ile 2,1 m arasında değişir. Filtrenin daha yüksek yapılması BOİ giderme verimini çok fazla arttırmaz (Muslu 1998).

Damlatmalı Filtrede kullanılan dolgu malzemesinin özellikleri Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Damlatmalı filtrede kullanılan dolgu malzemesinin özellikleri (Metcalf 2003)

Dolgu Malzemesi	**Nominal Boyutu, cm**	**Yaklaşık Birim Hacim Ağırlığı, kg/m^3**	**Yaklaşık Özgül Yüzey Alanı, m^3/m^2**	**Boşluk Oranı, %**	**Uygulama Alanları**
Nehir taşı (küçük)	2,5-7,5	1250-1450	60	50	N
Nehir taşı (büyük)	10-13	800-1000	45	60	C, CN, N
Plastik-geleneksel	61x61x122	30-80	90	>95	C, CN, N
Plastik-yüksek spesifik yüzey alanı	61x61x122	65-95	140	>94	N
Plastik rastgele dolgu-geleneksel	Değişken	30-60	98	80	C, CN, N
Plastik rastgele dolgu-yüksek spesifik yüzey alanı	Değişken	50-80	150	70	N

C: BOİ giderimi, N: Son nitrifikasyon, CN: BOİ giderimi ve Nitrifikasyonun birlikte olduğu sistemler.

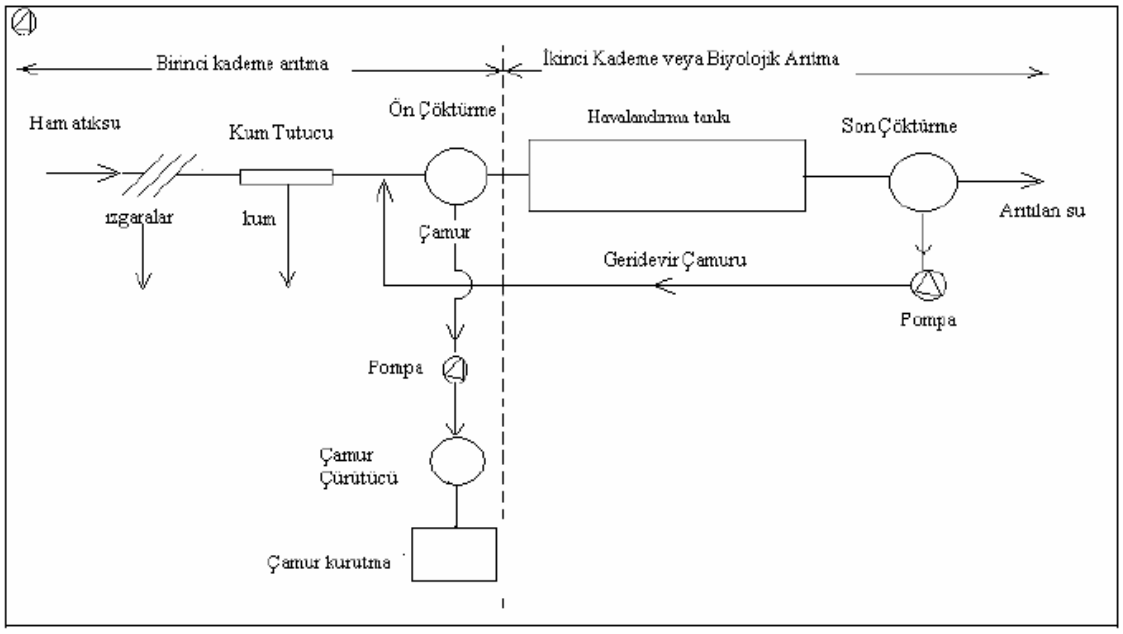
5.3.3. Aktif çamur sistemleri

Aktif çamur prosesi, havalı biyolojik arıtma metotları arasında geniş uygulama alanı bulmaktadır. Bu metot 1912-1914 yıllarında geliştirilmiş ve karmaşık biyolojik mekanizması nedeni ile araştırmacıların diğer proseslere kıyasla daha fazla ilgisini çekmiştir. Bu sebeple aktif çamur prosesinin yıllar içerisinde birçok modifikasyonu geliştirilmiştir.

Aktif çamur prosesi, sürekli çalışan havalandırmalı sığ bir tank ile bu tankın çıkışına yerleştirilen havuzundan ibarettir. Çökeltim çamuru geri döngüyle tankın girişine verilir ve bir kısmı da sistemden uzaklaştırılır. Sistem geri döngüsüz olarak da çalıştırılabilir

ancak geri döngülü sistemler daha verimli çalışır. Bu arıtım yöntemi genel olarak ikincil arıtma işlemi olarak kabul edilmekte ve ön çökeltme birimini izlemektedir. Bununla birlikte atıksuyun özelliklerine bağlı olarak ön çökeltme kaldırılabilir. Bu proseste mikroorganizmaların havalandırma havuzu içindeki karışık sıvıda askıda tutulması esastır. Çökeltim özelliği arttırılan biyolojik yumaklar, biyolojik üniteyi takiben çökeltme havuzuna geçer. Arıtılan su, sistemi terk ederken çöken çamurun bir kısmı havalandırma havuzunda istenen mikroorganizma konsantrasyonunu korumak üzere geri devrettirilir. Fazla çamur ise çamur işleme ünitelerine gönderilerek uzaklaştırılır(Metcalf 1991).

Klasik aktif çamur sistemi akım diyagramı Şekil 5.9'da gösterilmektedir.



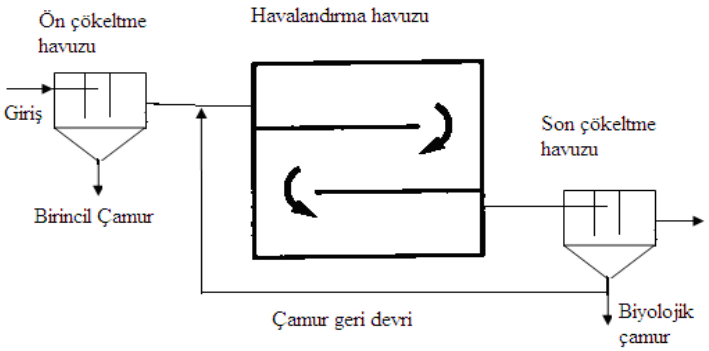
Şekil 5.9. Klasik bir aktif çamur sisteminin akım diyagramı (Metcalf 1991)

Sistem birinci kademe arıtma, ızgara, kum tutma ve çökeltme işlemlerinden oluşmaktadır. Evsel atıksularda birinci kademe arıtma ile atıksudaki BOİ'nin %30-35'i giderilmektedir. Ön çökeltmeden sonraki arıtmaya ikinci kademe arıtma denir. İkinci kademe arıtma, biyolojik havalandırma işleminin safhasıdır. Bu işlem sırasında çözünmüş organik madde, çökelebilen biyokütle haline dönüştürülür ve son çökeltme tankında çamur olarak tutulur. Daha önceden havalandırılmış olan bu çamura "aktif

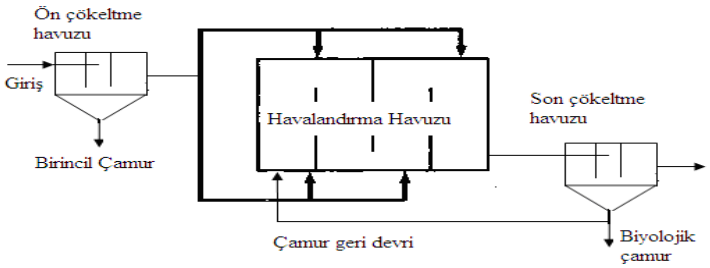
çamur" denir. Aktif çamurun bir bölümü havalandırma tankına geri döndürülür. Geride kalan kısım ise çoğalan çamura karşı gelen çamur olup sistemden dışarı alınarak birinci kademe arıtma sırasında çıkan çamurla karıştırılır. Karışık çamur daha sonra yoğunlaştırılır ve en sonunda daha ileri stabilizasyon sağlamak amacıyla çamur çürütücülere gönderilir. Aktif çamur prosesi ile %90'ın üzerinde BOİ giderimi sağlanır.

Aktif çamur süreci, atıksuyun bünyesindeki çözünmüş, partiküler ve kolloidal yapıdaki organik maddelerin arıtılmasında en yaygın kullanılan yöntem olma özelliğine sahiptir. Sürecin temel tasarım parametreleri oldukça iyi bilinmektedir, fakat uygun olmayan işletme koşulları süreç verimini etkilemektedir. Aktif çamur süreci, arıtımı gerçekleştiren mikroorganizmaların askıda büyüme özelliklerine sahip olduğu bir aerobik biyolojik arıtma yöntemidir. Arıtım olgusu, oksijen ihtiyacına sahip olan maddelerin mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri ile son ürünlere dönüştürülmesi ve yüksek kalitede çıkış suyunun eldesine yöneliktir. İkincil arıtım amacı ile kullanılan bu arıtma yöntemi, aynı zamanda bir ileri (üçüncül) arıtım süreci olma özelliklerini de taşır. Aktif çamur süreçleri genellikle kendisinden önce yer alan bir ön çökeltme havuzuna sahiptir; fakat atıksuyun özelliklerine ve süreç tasarımına bağlı olarak, ön çökeltme havuzu kullanılmayabilir (Metcalf 1991).

Aktif çamur sisteminin farklı tiplerinin akım şemaları Şekil 5.10, Şekil 5.11 Şekil 5.12' de gösterilmiştir.

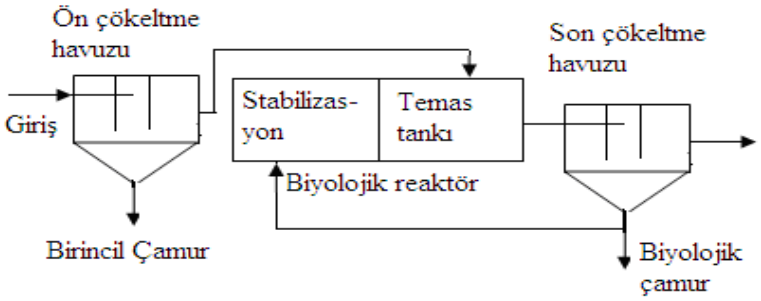


Şekil 5.10. Piston akımlı aktif çamur sistemi (Metcalf 1991)



Şekil 5.11. Kademeli beslemeli aktif çamur sistemi (Metcalf 1991)

Kademeli havalandırma sisteminin temel teorisi aktif çamur sistemiyle ayni olmasına rağmen oksijen ihtiyacının daha üniform olması ve bu yüzden temin edilen oksijenin daha verimli bir şekilde kullanılmasıyla klasik aktif çamur sisteminden ayrılır. Atıksuyun farklı noktalardan havuza verilmesi nedeniyle yüksek absorpsiyon kapasitesine sahip bir aktif çamur oluşur ve böylece kısa bekletme süresi içerisinde daha fazla organik maddenin giderilmesi temin edilir. (Metcalf 1991).

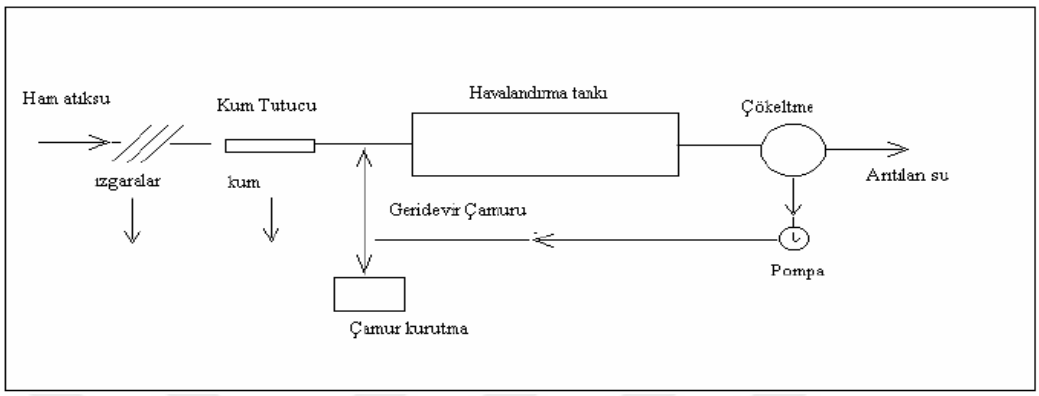


Şekil 5.12. Temas stabilizasyonlu aktif çamur sistemi (Metcalf 1991)

- **Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi**

Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi, yaygın kullanımlı bir aktif çamur çeşididir**.** Uzun havalandırma sistemlerinde ön çökeltme havuzu ve çamur çürütücüler yoktur. Bu yüzden, bu tip tesislerin inşaatı ve işletmesi konvansiyonel aktif çamur tesislerine göre çok daha kolaydır. Bu sistemde ham atıksu ızgara ve kum tutuculardan sonra doğrudan doğruya havalandırma havuzuna verilir. Atıksuyun havalandırma havuzunda kaldığı sürenin uzun olmasından dolayı bu ad verilmiştir. Bu sistem her ne kadar enerji tüketimi fazla olan bir proses olsa da, işletme kolaylıkları yüksek enerji bedelini

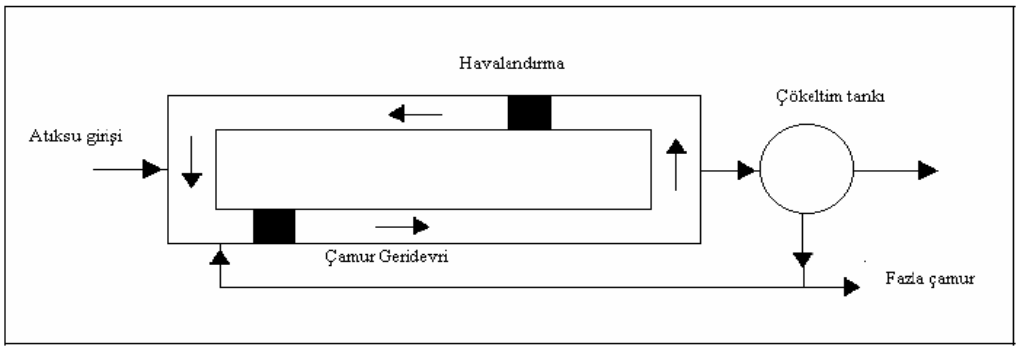
dengelemektedir. Konvansiyonel aktif çamur sistemine göre bir diğer avantajı da %97-98 mertebesinde BOİ giderim kapasitesidir. Atıksu üçüncü kademe arıtımdan sonra tekrar kullanılacak ise, bu proses özellikle tercih edilen prosestir (Metcalf 1991). Uzun havalandırmalı sistemin akım diyagramı Şekil 5.13'de gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Uzun havalandırmalı sistemin akım diyagramı (Metcalf 1991)

- **Oksidasyon hendeği**

Oksidasyon hendekleri dairesel ya da oval şekilli hendekler olup mekanik yöntemlerle (rotor ya da yüzey havalandırıcı) havalandırılırlar. Izgaradan geçirilerek veya çökeltilerek katılardan arındırılmış atıksu hendek içinde 0,3-0,4 m/s yatay hızla hareket ederken havalandırılarak sistemdeki mikroorganizmalar tarafından arıtılır. Oksidasyon hendekleri genellikle uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi özelliğindedir. Hendek çıkışında diğer biyolojik sistemlerde olduğu gibi bulunan çökeltme tankı katıların (çamurun) çökmesini sağlar. Düşük atıksu debileri için uygun olup, diğer sistemlere kıyasla daha az teknoloji gerektiren ve fazla işletme becerisi gerektirmeyen sistemlerdir.



Şekil 5.14. Oksidasyon Hendeği

Aktif çamur prosesleri için tasarım parametreleri Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Aktif çamur prosesleri için tasarım parametreleri (Metcalf 1991)

Proses çeşitleri	**Θc, gün**	**F/M,kgBOI/ kgTAKM.gün**	**kgBOİ/ m^3.gün**	**TAKM, mg/L**	**V/Q, Saat**	**Qr/Q**
Konvansiyonel	5-15	0,2-0,4	0,32-0,64	1500-3000	4-8	0,25-0,75
Tam karışımlı	5-15	0,2-0,6	0,8-1,92	2500-4000	3-5	0,25-1
Kademeli Besleme	5-15	0,2-0,4	0,64-0,96	2000-3500	3-5	0,25-0,75
Değiştirilmiş Havalandırmalı	0,2-0,5	1,5-5.0	1,2-2,4	200-1000	1,5-3	0,05-0,25
Temas Stabilizasyonu	5-15	0,2-0,6	0,96-1,2	(1000-3000)[a] (4000-10000)[b]	(0,5-1)[a] (3-6)[b]	0,5-1,5
Uzun Havalandırmalı	20-30	0,05-0,15	0,16-0,4	3000-6000	18-36	0,5-1,5
Yüksek-hızlı Havalandırma	5-10	0,4-1,5	1,6-16	4000-10000	2-4	1-5
Kraus prosesi	5-15	0,3-0,8	0,64-1,6	2000-3000	4-8	0,5-1
Saf oksijenli	3-10	0,25-1,0	1,6-3,2	2000-5000	1-3	0,25-0,5
Oksidasyon Hendeği	10-30	0,05-0,3	0,08-0,48	3000-6000	8-36	0,75-1,5
AKR	-[1]	0,05-0,3	0,08-0,24	(1500-5000)[d]	12-50	-[1]
Derin shaft reaktörü	-[2]	0,5-5	-[2]	-[2]	0,5-5	-[2]
Tek kademeli Nitrifikasyon	8-20	0,1-0,25 (0,02-0,15)[3]	0,08-0,32	2000-3500	6-15	0,5-1,5
İki kademeli Nitrifikasyon	15-100	0,05-0,2 (0,04-0,15)[4]	0,05-0,144	2000-3500	3-6	0,5-2,0

[1] uygulanamaz, [2] bilgi yok
[a] kontakt birimde, [b] katı stabilizasyon birimi

Çizelge 5.10'da damlatmalı filtrelerle aktif çamur sistemleri karşılaştırılmıştır. Bu sistemlerin BOİ giderimleri yakın olmakla birilikte yatırım ve işletme maliyetleri farklılık göstermektedir.

Çizelge 5.10. Damlatmalı filtreler ve aktif çamur sistemlerinin karşılaştırması (İleri 2000)

Parametre	Damlatmalı Filtre	Aktif Çamur
Yatırım maliyeti	Yüksek	Düşük
İşletme maliyeti	Düşük	Yüksek
Alan gereksinimi	Yüksek	Düşük
Havalandırma	Yeterli olmayabilir	Yeterli
Sıcaklık kontrolü	Zor	Kolay
Şok yüklemelere duyarlılık	Az duyarlı	Çok duyarlı
Çıkış akımının berraklığı	İyi	İyi değil
BOİ giderimi (%)	80-90	80-90
Hidrolik bekleme süresi Düşük hız Yüksek hız	 6-40 saat 0,5-4 saat	4-10 saat
Koku	Fazla	Az

5.3.4. Havalandırmalı lagünler

Havalandırmalı lagünler, 2,5-5 metre derinliğinde toprak yapılar olup, havalandırma dubalar veya sabit kolonlar üzerine yerleştirilen mekanik havalandırıcılarla yapılır. Stabilizasyon havuzları ile kıyaslandığında %10-20 daha küçük hacimlere sahiptirler. Bu arıtma sisteminin esas fonksiyonu atık dönüşümüdür. Diğer askıda katı madde sistemlerinde olduğu gibi havalandırma ile oluşturulan türbülans, sistemin içeriğini askıda tutmayı sağlar. Hidrolik kalış süresine bağlı olarak, havalandırmalı lagünden çıkan BOİ'nin üçte biri ila yarısı biyokütle kaynaklı BOİ'dir. Bu katıların çoğu deşarjdan önce çöktürülerek ortamdan uzaklaştırılır. Bu havuzların tasarımında büyük esneklikler vardır. Bu tip lagünler bir taraftan basit fakültatif tipte, diğer taraftan da çamur geri devrinin yapıldığı daha verimli ve yoğun üniteler olarak projelendirilebilirler. Her durumda da bunların inşaatları ve işletilmeleri çok kolaydır. Bu nedenle hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde yaygın kullanım alanına sahiptirler. Havalandırmalı lagünler evsel ve endüstriyel atıksuların (kağıt, gıda,

petrokimya vd.) arıtımında başarı ile kullanılmaktadırlar. Lagünler başlıca üç tipe ayrılabilirler:

• Fakültatif

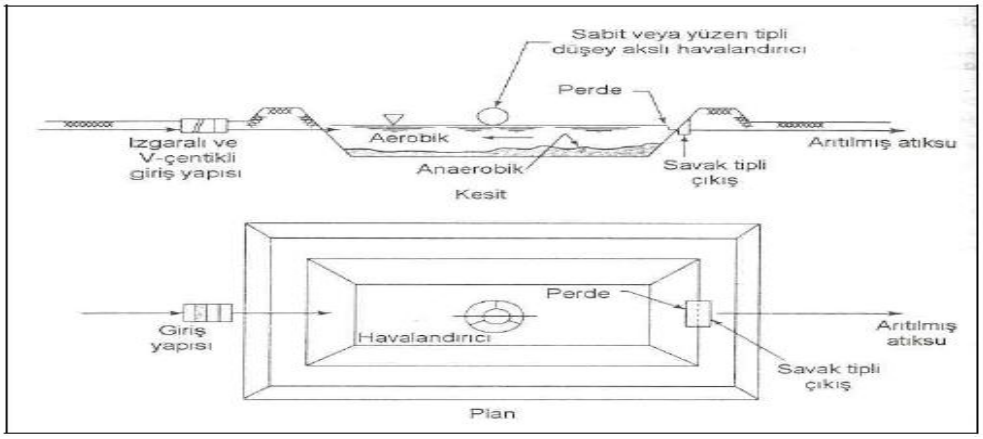
• Havalı, sürekli beslemeli

• Havalı, çamur geri devirli

Her üç tip havalandırmalı lagünde de biyolojik arıtma prensipleri aynıdır (Öztürk 2005).

Fakültatif havalandırmalı lagünler

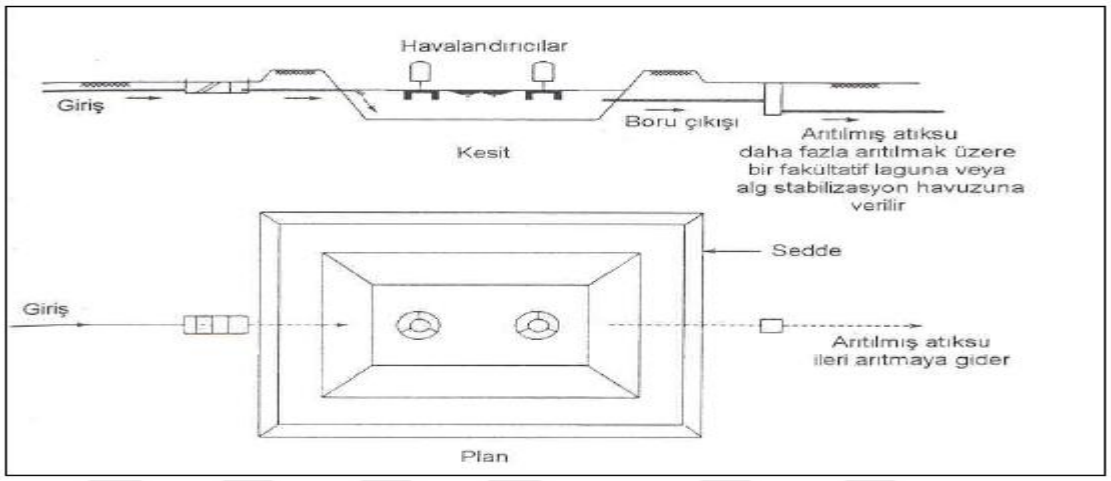
Fakültatif havalandırmalı lagünlerde birim hacme düşen enerji yoğunluğu, gerekli oksijen miktarının sıvıya verilmesi için yeterlidir. Fakat bu enerji girdisi, bütün katıları askıda tutmak için yeterli değildir. Bunun sonucunda, lagüne giren askıda katı maddelerin bir kısmı ve substrat giderimi sonucunda oluşan katı maddeler, tabana çökmeye çalışırlar ve tabanda havasız bozunma meydana getirirler (Şekil 5.15). Lagündeki aktivite kısmen havalı, kısmen de havasız olduğundan bu tip lagünlere "fakültatif" denir. Bu tip lagünler, evsel atıksular için %70- 90 oranında BOİ giderimi sağlarlar(Arceivala 2002).



Şekil 5.15. Mekanik havalandırmalı bir fakültatif lagün (Arceivala 2002)

- **Sürekli akışlı havalı lagünler**

Bu lagünlerde enerji yoğunluğu, sadece istenilen miktarlardaki oksijeni sıvı içerisine verecek seviyede değil, aynı zamanda aktif çamur havalandırma tanklarında olduğu gibi bütün katı maddeleri askıda tutacak seviyede de olmalıdır. Bu nedenle, bu tip lagünlerde askıda katı çökelmesi olmaz (Şekil 5.16). Arıtım verimi fazla yüksek değildir. Çıkış suyunda çok miktarda askıda katı madde bulunduğundan verim yaklaşık %50-60 seviyesindedir. Daha iyi BOİ ve katı madde giderim istenirse ilave arıtma gerekir.



Şekil 5.16. Kesintisiz akışlı mekanik havalandırmalı lagün (Arceivala 2002)

- **Çamur geri devirli havalı lagünler**

Bu lagünler uzun havalandırmalı sistemlere benzerler. Enerji girdisi hem oksijen ihtiyacını karşılayacak, hem de bütün katıları askıda tutacak yeterlilikte olmalıdır. Bu lagünlerdeki çamur geri devrinden dolayı katı madde konsantrasyonu da oldukça yüksektir. İşletmeyi kolaylaştırmak için, lagün içerisinde bir çökeltme bölgesi oluşturulabilir veya alternatif kullanım amacıyla iki paralel bölüm yapılabilir. BOİ giderimi yüksek olup %95-98 aralığındadır. Sistemde aynı zamanda nitrifikasyon da gerçekleşmektedir (Öztürk 2005).

Evsel atıksuları arıtan faklı tipteki lagünlerin tasarım kriterleri Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Evsel atıksuları arıtan faklı tipteki lagünlerin tasarım kriterleri (Metcalf 1991)

Özellik	Fakültatif	Havalı sürekli akışlı	Havalı geri devirli
Katı madde kontrolü	Yoktur (bir kısmı çöker, diğer kısmı arıtılmış su ile çıkar).	Kısmen (katılar çökmez, arıtılmış su ile çıkar).	Tam kontrol (fazla çamur kontrollü olarak sistemden çekilir).
Lagündeki AKM[1] konsantrasyonu, mg/l	50-150	100-350	3000-5000
UAKM[2] /AKM (%)	50-80	70-80	50-80
Çamur yaşı θc, gün	Yüksek	Genellikle 5	Sıcak iklim:10-20 Ilık iklim:20-30 Soğuk iklim:>30
BOİ giderim hızı (20^oC'de günlük, filtrelenmiş), kg/m^3/gün	0,6-0,8	1-1,5	20-30
Sıcaklık katsayısı, Ɵ	1,035	1,035	1,01-1,05
Hidrolik kalış süresi, gün	3-12	Genellikle 5	0,5-2
BOİ giderim verimi (%)	70-90	50-60	95-98
Nitrifikasyon	Yok	Uygunsuz şartlar	Az
Koliform giderimi(%)	60-99[3]	60-90	60-90
Lagün derinliği[4], m	2,5-5	2,5-5	2,5-5
Arazi ihtiyacı,(m^2/kişi)			
Sıcak iklim	0,3-0,4	0,3-0,4	0,15-0,25[5]
Ilık iklim	0,45-0,9	0,35-0,7	0,25-0,55[5]
Güç ihtiyacı			
kW/kişi-yıl	12-15[6]	12-14	18-24[7]
hp/1000	2-2,5[6]	2-2,5	3-5

Çizelge 5.11. Evsel atıksuları arıtan farklı tipteki lagünlerin tasarım kriterleri (devam)

Özellik	Fakültatif	Havalı sürekli akışlı	Havalı geri devirli
Min.güç ($kW/10^3$ m^3lagün hacmi)	0,75-1 (eşit O_2 yaymak)	2,75-5 (bütün katıları askıda tutmak)	15-18 (bütün katıları askıda tutmak için)
Çamur	Birikir ve birkaç yıl sonra uzaklaştırılır.	Birikim olmaz. Katı maddeler arıtılmış su ile çıkar.	Fazla çamur günlük uzaklaştırılır.
Çıkış yapısı	Arıtılmış su savakla dışarı verilir.	Kısmi veya tam boru kullanılır.	Savak veya boru.

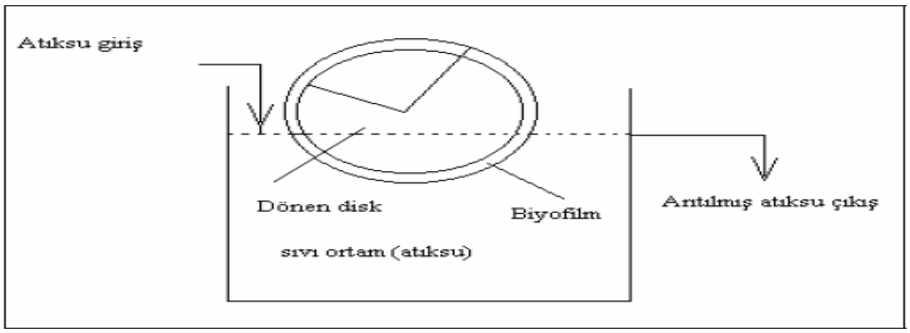
[1] *AKM: Askıda katı madde*
[2] *UAKM : Uçucu askıda katı madde*
[3] *İki veya daha fazla ünitenin seri bağlanması durumunda yüksek verim fizibil olabilir.*
[4] *Kullanılacak havalandırıcıya uygun seçilmelidir.*
[5] *Çamur kurutma dahil*
[6] *Havasız gaz üretiminden yararlanılırsa enerji ihtiyacı düşebilir*
[7] *Nitrifikasyona bağlı*

5.3.5. Biyodisk

Biyodisk üniteleri daha çok küçük yerleşim merkezlerinin evsel atıksularının arıtımında kullanılmakla beraber, bazı durumlarda düşük devirli endüstriyel atıksulardan BOİ gideriminde de kullanılabilir.

Biyodiskler, genel karakteri ile aktif çamuru andırır. Yalnız havalandırma havuzu yerine döner diskler bulunmaktadır. Bu sistemler, plastikten yapılan 2-3 cm çapında 2-3 cm kalınlığında disklerden oluşur. Diskler bir şaft üzerinde birbirine paralel olarak yerleştirilir ve şaft bir motor yardımıyla döndürülür. Atıksu uzun ve sığ tankların içerisine konur, diskler atıksu içine %40-50 oranında batık şekilde 2-10 devir/dakika hızıyla döndürülür. 13 ^{0}C altında verim oldukça düşer ve yeni biyofilm tabakası 10-15 gün arasında oluşur (Metcalf 1991).

Şekil 5.17'de biyodisk kesiti gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Tipik biyodisk (Öztürk 2005)

Mikroorganizmalar disk üzerinde biyofilm oluşturacak şekilde büyürler ve atıksudaki organik bileşikler biyofilm içine damlatmalı filtrelerde olduğu gibi adsorplanır ve biyolojik reaksiyon meydana gelir. Mikroorganizmalar oksijen gereksinimini diskin dönüşü sırasında hava ile temas ederek sağlarlar. Kalın biyofilmler substrat difüzyon limitlerine yol açtığı için, çok ince biyofilmler de daha az etkin oldukları için tercih edilmezler. Sistem için önerilen optimum biyofilm kalınlığı 2-3 mm'dir. Çizelge 5.12'de tipik tasarım kriterleri verilmektedir (Metcalf 2003).

Çizelge 5.12. Döner biyodisk için tipik tasarım kriterleri (Metcalf 2003)

Parametreler	**Arıtma Seviyesi***		
	BOİ Giderimi	**BOİ Giderimi ve Nitrifikasyon**	**Ayrı Nitrifikasyon**
Hidrolik yük, m^3/m^2.gün	0,08-0,16	0,03-0,08	0,04-0,1
Organik yükler			
gÇBOİ$_5$/m^2.gün[a]	4-10	2,5-8	0,5-1
gTBOİ$_5$/ m^2.gün[b]	8-20	5-16	1-2
Maksimum ilk kademe yükü			
gÇBOİ$_5$/m^2.gün[a]	12-15	12-15	-
gTBOİ$_5$/ m^2.gün[b]	24-30	24-30	-
NH_4-N yükü, gN/m^2.gün	-	0,75-1,5	-
Hidrolik bekletme süresi,Ɵ,saat	0,7-1,5	1,5-4	1,2-2,9
Çıkış BOİ$_5$, mg/L	15-30	7-15	7-15
Çıkış NH_4-N,mg/L	-	<2	1-2

** Atıksu sıcaklığı 13^{o}C'nin üzerinde olması halinde*
[a] ÇBOİ$_5$ = Çözünmüş BOİ$_5$
[b] TBOİ$_5$ = Toplam BOİ$_5$

5.3.6. Yapay sulak alan sistemleri

Yapay sulak alan sistemleri özel olarak tasarlanan yataklarda yetiştirilen bitkiler vasıtasıyla atıksuların arıtılması esasına dayanmaktadır**.** Yapay sulak alanlar, evsel ve endüstriyel atıksu arıtımı için konvansiyonel arıtma sistemlerine bir alternatif olarak son yıllarda uygulanması artan enerji ihtiyacı az, yatırım ve işletme maliyetleri düşük, işletim şartları basit ve çamur üretimi çok az, doğal bir atıksu arıtma sistemidir. Özellikle arazinin bol, ucuz ve işletme için kalifiye teknik personelin az olabileceği kırsal bölgelerde, fizibil bir arıtma yöntemi olarak önerilmektedir. Doğal malzeme kullanılarak ihtiyaç büyüklüğünde hazırlanan havuzlarda atıksuyun filtre edilmesi, yetiştirilen sulak alan bitkileri ve filtre ortamındaki mikroorganizmalarla suyun arıtılması esasına dayanan bu sistem, doğal yapının küçük taklitleridir (Çiftçi ve ark. 2007).

Konvansiyonel arıtım sistemleri ile kıyaslandığında yapay sulak alanların diğer arıtma sistemlerine göre avantajları aşağıda belirtildiği gibi özetlenebilir (Eremektar ve ark. 2005);

• Yapay sulak alanların inşası diğer arıtma alternatiflerinden daha ucuz

• İşletme ve bakım maliyeti daha az (enerji ve bakım ihtiyacı)

• İşletme ve bakımın sadece düzenli ve yerinde çalışma ile yapılması yeterli

• Debideki değişimlerin tolere edilebilmesi

• Besin tutma kapasitesi yüksek,

• Çamur üretiminin yok denecek kadar az olması

• Aktif çamur için çok seyreltik olan atıksuları(organik madde yönünden) yapay sulak alanların arıtabilmesi

• Suyun tekrar kullanımını ve dönüşümünü kolaylaştırması

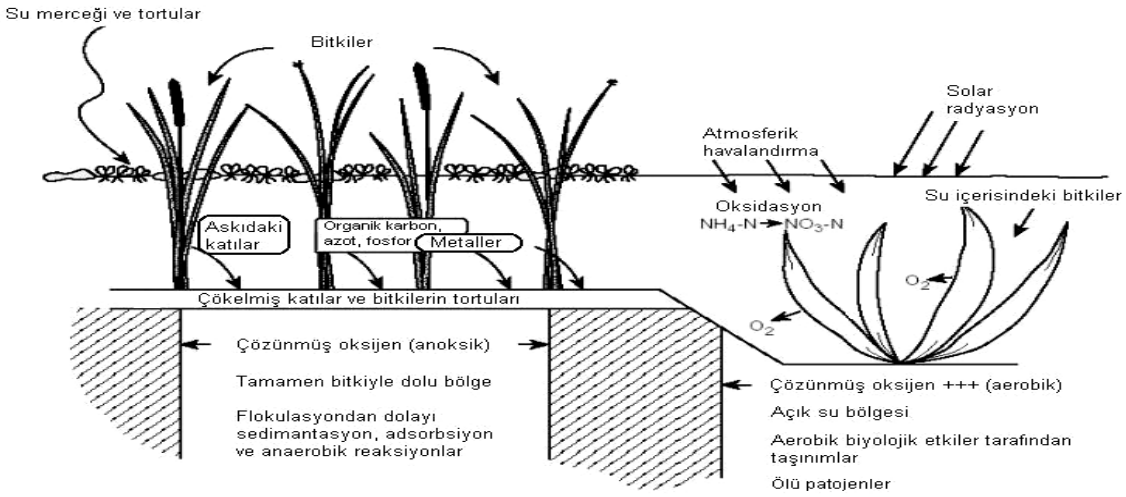
• Birçok sulak alan organizması için yaşam alanı oluşturması

• Doğal manzara ile uyum içinde inşa edilebilmesi

• Yabani hayat için yaşama alanı oluşturması ve açık alanları daha estetik bir hale getirmesi.

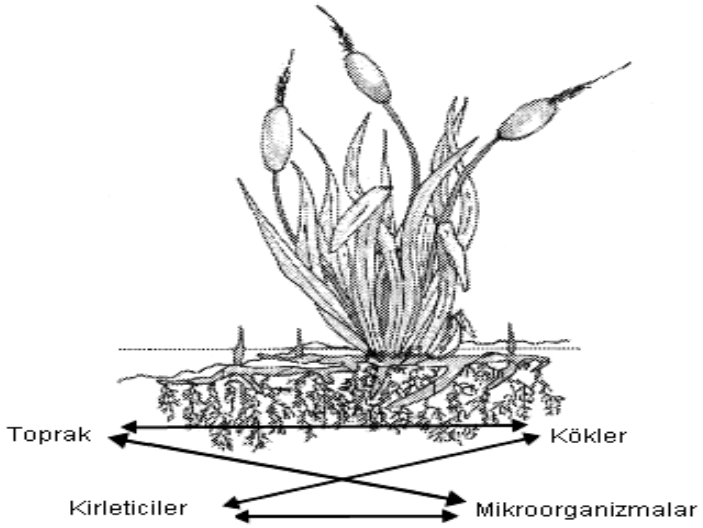
Yapay sulak alanlardan yüksek arıtma verimi sağlanabilmesi için sistemi oluşturan birimlerin ve bu birimlerin bütünleşmiş ekolojilerinin iyi kavranması gerekir. Sulak alanların ekolojisini ve karakterini; iklim, akış hidroliği, proses, bitki türleri ve atıksu karakteristikleri (substrat türü ve konsantrasyonu gibi) belirler. Yapay sulak alanlarda uygulanan arıtma mekanizmaları doğal sucul sistemlerde zaten gerçekleşen mekanizmalardır. Doğal sulak alanlar ile yapay sulak alanlar arasındaki temel fark; mühendislik tasarımları sonucu oluşan yapay sulak alanlarda sistem kontrolünün daha fazla olmasıdır (Çiftçi 2007).

Yapay sulak alanlarda gerçekleşen etkin arıtım mekanizmaları Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Serbest su yüzeyli yapay sulak alanlarda gerçekleşen etkin arıtım mekanizmaları (Çiftçi 2007)

Yapay sulak alanlarda aktivitenin gerçekleştiği bölge, çoğunlukla kök bölgesidir (rizosfer). Bu bölgede; bitkiler, mikroorganizmalar, toprak ve kirleticilerin etkileşimlerinden dolayı fizikokimyasal ve biyolojik prosesler gerçekleşir (Şekil 5.19).



Şekil 5.19. Yapay sulak alanlarda bitki kök bölgesinde oluşabilecek etkileşimler (Çiftçi 2007)

Yapay sulak alanlarda bulunan bitki tipleri ve arıtma prosesindeki işlevleri Çizelge5. 13'te özetlenmiştir.

Çizelge 5.13. Yapay sulak alanlarda bulunan bitki tipleri ve arıtma prosesindeki fonksiyonları (Çiftçi 2007)

Bitki tipleri	**Genel karakterleri ve örnekler**	**Arıtma prosesindeki önemi ve fonksiyonları**	**Habitat için önemi ve fonksiyonları**	**Dizayn ve işletme durumları**
Serbest yüzen sucullar	Kök ve kök benzeri yapılar, yüzen yapraklardan ayrılır. Su dalgaları ile uzaklaştırılır Su mercimeği.	Ana amacı, besinlerin alımı ve alg gelişmesini geciktirmek. Yoğun yüzücü topluluklar, atmosferden oksijen difüzyonunu sınırlar.	Yoğun yüzücü topluluklar, atmosferden oksijen difüzyonunu sınırlar. Su içindeki bitkiler için güneş ışığını bloke eder. Hayvanlar için sığınak ve yiyecek sağlar.	Su mercimeği istilacı doğal bir türdür. Spesifik dizayn gerektirmez.

Çizelge 5.13. Yapay sulak alanlarda bulunan bitki tipleri ve arıtma prosesindeki fonksiyonları (devam)

Bitki tipleri	Genel karakterleri ve örnekler	Arıtma prosesindeki önemi ve fonksiyonları	Habitat için önemi ve fonksiyonları	Dizayn ve işletme durumları
Köklü yüzen sucullar	Su altı yaprakları içerebilir. Yüzücü yapraklarla genellikle dipte köklenir. Nilüfer.	Ana amacı, mikrobiyal tutunma için yapı sağlamak ve gün boyunca suya oksijen bırakmaktır. Yoğun yüzücü topluluklar, atmosferden oksijen difüzyonunu sınırlar.	Yoğun yüzücü topluluklar, atmosferden oksijen difüzyonunu sınırlar. Su içindeki bitkiler için güneş ışığını bloke eder. Hayvanlar için sığınak ve yiyecek sağlar.	Bitki tipine göre, su derinliği dizayn edilmelidir (yüzücü, batık).
Su altı sucullar	Genelde tam olarak su altındadır, yüzücü yaprakları içerebilir. Kökleri diptedir. Batak otu.	Ana amacı, mikrobiyal tutunma için yapı sağlamak ve gün boyunca suya oksijen bırakmaktır. Yoğun yüzücü topluluklar, atmosferden oksijen difüzyonunu sınırlar.	Hayvanlar için besin ve sığınak sağlar (özellikle balık).	Açık su tabakasında tutma zamanı, alg gelişme süresinden daha kısa olmalıdır.
Gelişen sucullar	Otsu. Kökleri diptedir. Sel ve doygun durumlara karşı toleranslıdır. Su kamışı, saz.	Ana amaç, artırılmış flokülasyon ve sedimantasyon sağlamaktır. İkinci amaç, alg gelişmesini geciktirmek için gölgelemektir.	Hayvanlar için sığınak ve yiyecek sağlar. Estetik güzellik sağlar.	Su derinliği, seçilen özel türler için optimum aralıkta olmalıdır.
Çalılık ve fundalıklar	Odunsu, 6 m'den kısa. Çalılık, çoban püskülü.	Arıtma fonksiyonu tanımlanmamıştır.	Hayvanlar (özellikle kuşlar) için sığınak ve yiyecek sağlar. Estetik güzellik sağlar.	Detaylı bilgi mevcut değildir.
Ağaçlar	Odunsu, 6 m'den uzun. Akça ağaç, söğüt.	Arıtma fonksiyonu tanımlanmamıştır.	Hayvanlar (özellikle kuşlar) için sığınak ve yiyecek sağlar. Estetik güzellik sağlar.	Detaylı bilgi mevcut değildir.

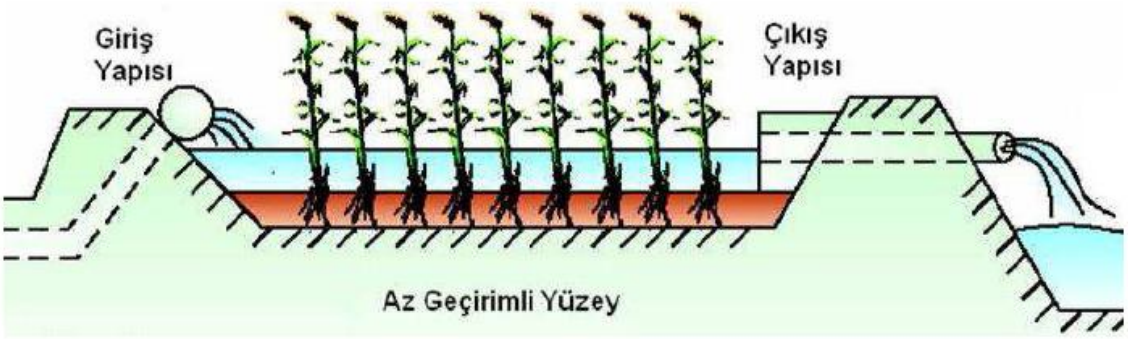
Yapay sulak alanlarda bitki topluluğunun görevi, akımı yönlendirmek ve mikrobiyal büyüme için bir tutunma bölgesi oluşturmaktır. Bitkiler, sızdırmayı azaltır ve substratların stabilizasyonunu da sağlarlar. Ayrıca, yapay sulak alana estetik bir değer kazandırırlar. Sulak alanda oluşacak yoğun bir bitki örtüsü, olası rüzgarların sisteme yapabileceği olumsuz etkileri de azaltacaktır. Bitkilerin ölümü sonucu ortaya çıkan artıklardan ortama yayılan organik karbon mikroorganizmalar tarafından besin kaynağı olarak kullanılır (Moshiri 1993).

- **Yapay sulak alan sistemlerinin sınıflandırılması**

Yapay sulak alanlar işletilme özelliklerine göre; Yüzey akışlı sistemler ve Yüzey altı akışlı sistemler olmak üzere 2'ye ayrılırlar.

a) Yüzey akışlı yapay sulak alanlar

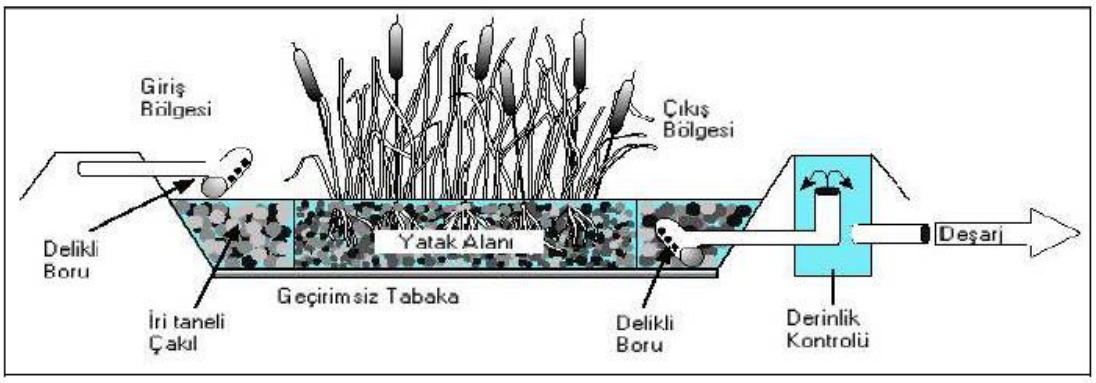
Yüzey akışlı sistemler yaklaşık olarak 0,6-0,8 m. derinliğinde olup yatakları çakıl veya kum ile doldurulur. Havuzun başlangıcında bir dağıtım kanalı ve çıkışında da bir çıkış borusu bulunur. En önemli dezavantajları sivrisinek kontrolü gerektirmeleridir. Bitkiler oldukça sık olduğundan sivrisineklerle mücadelede kesin bir başarı elde edilememektedir. Sistemde, yüzücü, batık veya köklü bitkiler kullanılmaktadır (Reed 1995)



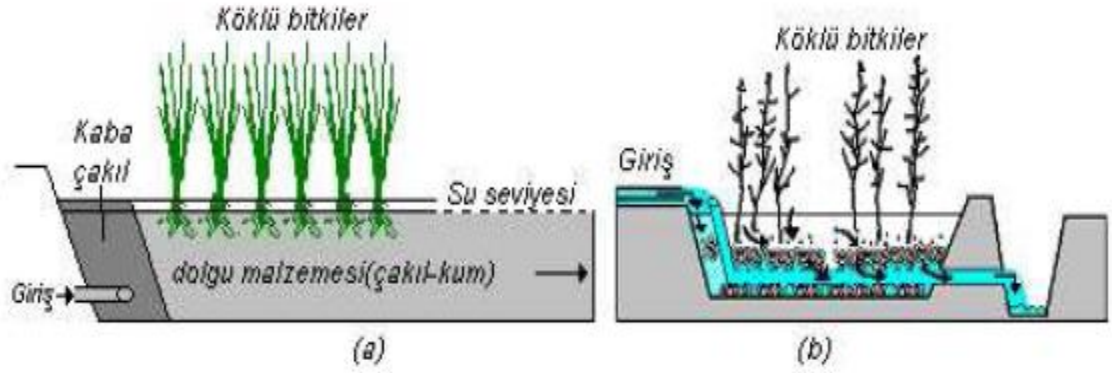
Şekil 5.20. Yüzey akışlı yapay sulak alan (Moshiri 1993)

b) Yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar

Sistem bitkilerin büyümesini temin eden çakıl taşlı ve kumlu bir ortam ile kanallar ve havuzlardan ibarettir. Yüzey altı akışlı sulak alanlardaki başlıca tasarım kriterleri, bekleme süresi, BOİ ve derinliktir. Yüzey altı akışlı sistemler, yüzey akışlı sistemler gibi benzer giderim mekanizmalarını kullanmaktadır. Yüzey altı akışlı sistemlerde atıksu yüzey altından aktığı için çakıl gibi bir dolgu malzemesi ile temas halindedir. Bu sebeple de bakterilerin büyümesi için daha yüksek bir yüzey alanı ve daha yüksek bir organik yüke müsaade etmektedir. Temel giderim mekanizmaları; filtrasyon, çökelme ve mikrobiyolojik ayrışım olup serbest yüzey akışlılarla benzer niteliktedir. Atıksuyun akışına göre yatay ve düşey akışlı olarak ikiye ayrılmaktadırlar (Moshiri 1993).



Şekil 5.21. Yüzey altı akışlı yapay sulak alan (Moshiri 1993)



Şekil 5.22. Yüzey altı akışlı sulak alan sitemleri a-Yüzey altı yatay akışlı, b-Yüzey altı düşey akışlı

-Yüzey altı yatay akışlı sulak alan sistemi: Yüzey altından giren atıksu çıkış bölgesine ulaşana kadar gözenekli yatak malzemesi içerisinde (yüzeyi geçmeyecek şekilde) yavaşça akmaktadır. Bu yavaş akım sayesinde atıksu aerobik, anoksik ve anaerobik bölgelerle temas eder (Şekil 5.22.a).

-Yüzey altı düşey akışlı sulak alan sistemi: Düşey akışlı sistemler klasik biyolojik filtrelere (damlatmalı filtreler) prensip olarak çok benzerdir. Şekil 5.22.b' de tipik bir düşey akışlı sistem görülmektedir (Cooper 1996).

5.3.6.1.Yapay sulak alanlarda kirlilik giderimi

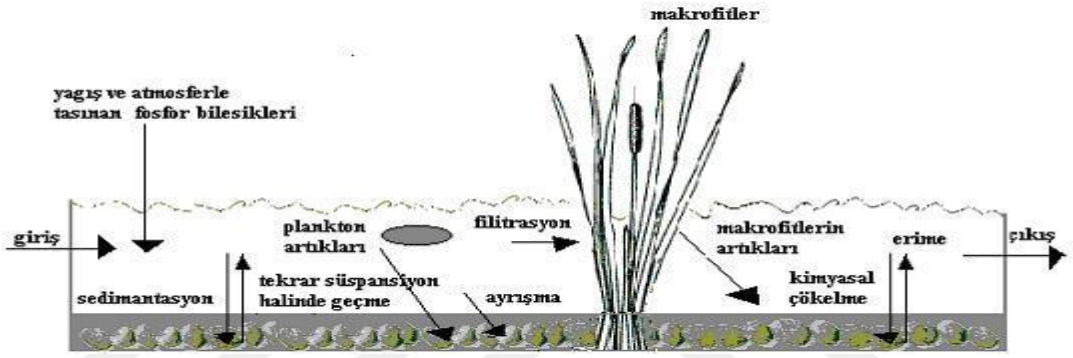
Atıksudaki organik madde, enerji kaynağı ve biyokütle sentezi için hammadde olarak kullanılır. Bu bağlamda gerçekleşen reaksiyonlar, molekülleri organizmaların kullanımına, enerji üretimine veya hücre yapıtaşları sentezinde kullanmaya hazır hale getirir. Çizelge 5.14'de doğal arıtma sistemlerinde gerçekleşen arıtım mekanizmaları özetlenmektedir (Vymazal 1998).

Çizelge 5.14. Su bitkileri ile oluşturulan atık su arıtım sistemlerinde arıtım mekanizmaları (Sivrioğlu 2010)

Kirletici	**Giderim mekanizması**
Organik madde ($BOİ_5$)	Biyolojik bozunma, sedimentasyon, mikrobiyal alım
Organik kirletici (pestisitler vb.)	Adsorpsiyon, buharlaşma, fotoliz, biyotik ve abiyotik bozunma
AKM	Sedimentasyon, filtrasyon
Azot	Sedimentasyon, nitrifikasyon/denitrifikasyon, mikrobiyal alım, volatilizasyon
Fosfor	Sedimentasyon, filtrasyon, adsorpsiyon, bitkisel ve mikrobiyal alım
Patojen	Doğal ölüm, sedimentasyon, filtrasyon, UV bozunması, adsorpsiyon
Ağır metaller	Sedimentasyon, adsorpsiyon, bitkisel alım

- **AKM giderimi**

Sulara çeşitli şekilerde karışıp, suda bulanıklık oluşturan ve zamanla çökmeyen maddeler AKM olarak tanımlanır. Fiziksel prosesler özellikle AKM gideriminde önemli rol oynamaktadır. Yerçekimi ile çökme, AKM gideriminin büyük kısmından sorumludur. AKM partikülleri ile su arasındaki yoğunluk farkından dolayı yerçekimi etkili olmaktadır. AKM uzaklaştırma verimi; partikülün çökme hızı ve sulak alanın boyu ile ilgilidir. Sulak alanlar; bitki kök ve gövdelerindeki filtreleme etkisi ve suyun akış hızını azaltmasından dolayı çökelme olayına katkıda bulunmaktadır (Mulamoottil 1998).



Şekil 5.23. Yüzey akışlı sulak alanlarda AKM giderim mekanizmaları (Kadlec 1995)

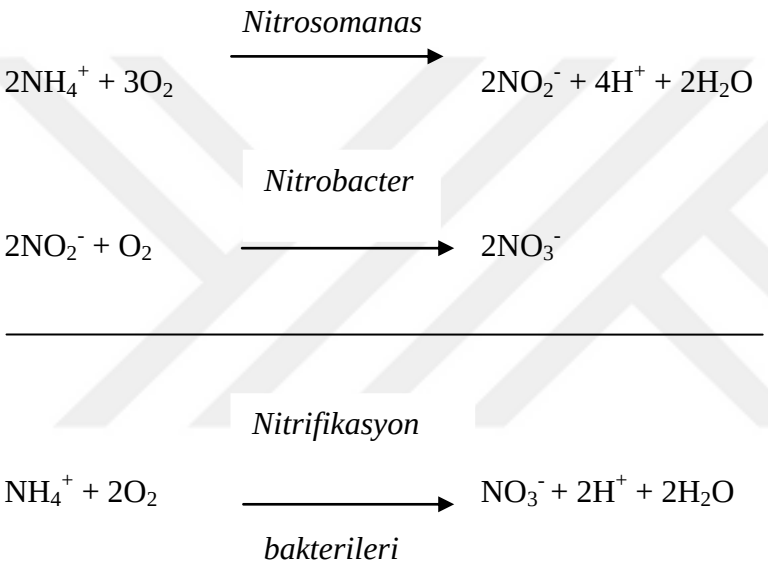
- **BOİ giderimi**

Yapay sulak alanlarda bu reaksiyonların gerçekleşmesi için gerekli olan oksijen kaynağı yüzey havalandırmasıdır. Başlıca biyokimyasal bozunma reaksiyonları, bitkilerin su altında kalan bölümleri ve dip birikintilerinin yüzeylerinde gerçekleşir. Aerobik koşulları sağlamak için mevcut tek oksijen taşıma mekanizması oksijenin yapraklardan köklere taşınmasıdır. Bu durumda biyokimyasal reaksiyonlar tıpkı bir damlatmalı filtrede olduğu gibi ortamın çeperlerinde ve bitkilerin su altında kalan kısımlarında oluşan biyofilm tabakasında gerçekleşir. Bitkilerin kök bölümlerine taşınan oksijen, arıtım için gerekli aerobik koşulları sağlar. Yapay sulak alanların projelendirilmesinde BOİ giderimi, hidrolik şartlar ile birlikte göz önüne alınan en önemli parametredir (Kadlec 1995).

- **Azot giderimi**

Yapay sulak alanlardaki azot, partikül, çözünmüş, organik ve inorganik azot formları halinde bulunur. Sulak alanlardaki azot reaksiyonları mineralizasyon ve buharlaşma, biyolojik alınım, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve azot sabitleme şeklinde gerçekleşir (Merz 2000).

Nitrifikasyon ve denitrifikasyon yoluyla; Nitrosomonoslar vasıtasıyla amonyak aerobik reaksiyonlarla nitrite oksitlenir. Nitrit ise daha sonra Nitrobakterler (nitrat oluşturan) vasıtasıyla yine aerobik olarak nitrata oksitlenir.



Mineralizasyon ve Buharlaşma yoluyla; Mineralizasyon, organik maddenin inorganik bileşenlere ayrılması işlemidir. Nutrientlerin salınımını sağlar ve amonyum iyonu bunu takip eden pek çok reaksiyondan geçer. Amonyum serbest amonyak ile denge halindedir. Bu durum pH ile kontrol edilir. Yüksek pH (9'un üzerinde) değerlerinde denge amonyak yönüne kayar. Amonyak yüksek pH'larda uçucu bileşik olup, buharlaşma ile amonyak gazı kaybı gerçekleşir. Bitkiler amonyağı azot kaynağı olarak kullanırken ayrıca azotu nitrat formunda da kullanmaktadır.

Azot sabitleme yoluyla; Denitrifikasyon ile meydana gelen azot kaybını dengelemekten sorumlu temel doğal bir prosestir. N_2 gazı, organik azota yada amonyağa indirgenir. Pek çok ekosistemde serbest yaşayan cyanobakteriler, azotu sabitleyen en büyük mikroorganizma topluluğunu oluşturmaktadır (Merz 2000).

- **Fosfor giderimi**

Fosfor, biyotik ve abiyotik prosesler sayesinde sulak alanlarda giderilmektedir. Biyotik prosesler; kök bölgesindeki mikroskobik canlılarca ve vejetasyon ile alınımı, bitki artıklarının ve topraktaki organik fosforun mineralizasyonu ile, abiyotik prosesler ise; sedimentasyon ve birikim, adsorbsiyon - çökelme ile toprak ve su kolonu arasındaki prosesleri kapsamaktadır (Yalçuk 2007).

Mineralizasyon ve Biyolojik alınım: Organik maddenin minerelizasyon prosesi sonucunda ortofosfat iyonu serbest kalmaktadır. Bu iyon biyolojik büyüme için bir dizi hızlı reaksiyon geçirmektedir. Bu reaksiyonlar özellikle biyofilm oluşumu için önemli olmaktadır. Zaman geçtikçe bu iyon bozunur ve sediment içinde geri döngüsü olabilmektedir. Ayrıca bitki biyokütlesi üzerinde uzun süre birikebilir. Sulak alanlarda uzun süreli fosfor giderimi anaerobik koşullarda bitki üzerinde birikimle gerçekleşir. Ancak bu durumunun gerçekleşmesi için geniş sulak alan yüzeyi ve anaerobik koşulların oluşması için düzenli su alınımı olmalıdır. Organik maddenin anaerobik koşullar altında parçalanması düzenli oksijen iletimi olduğu duruma göre daha yavaş olmaktadır.

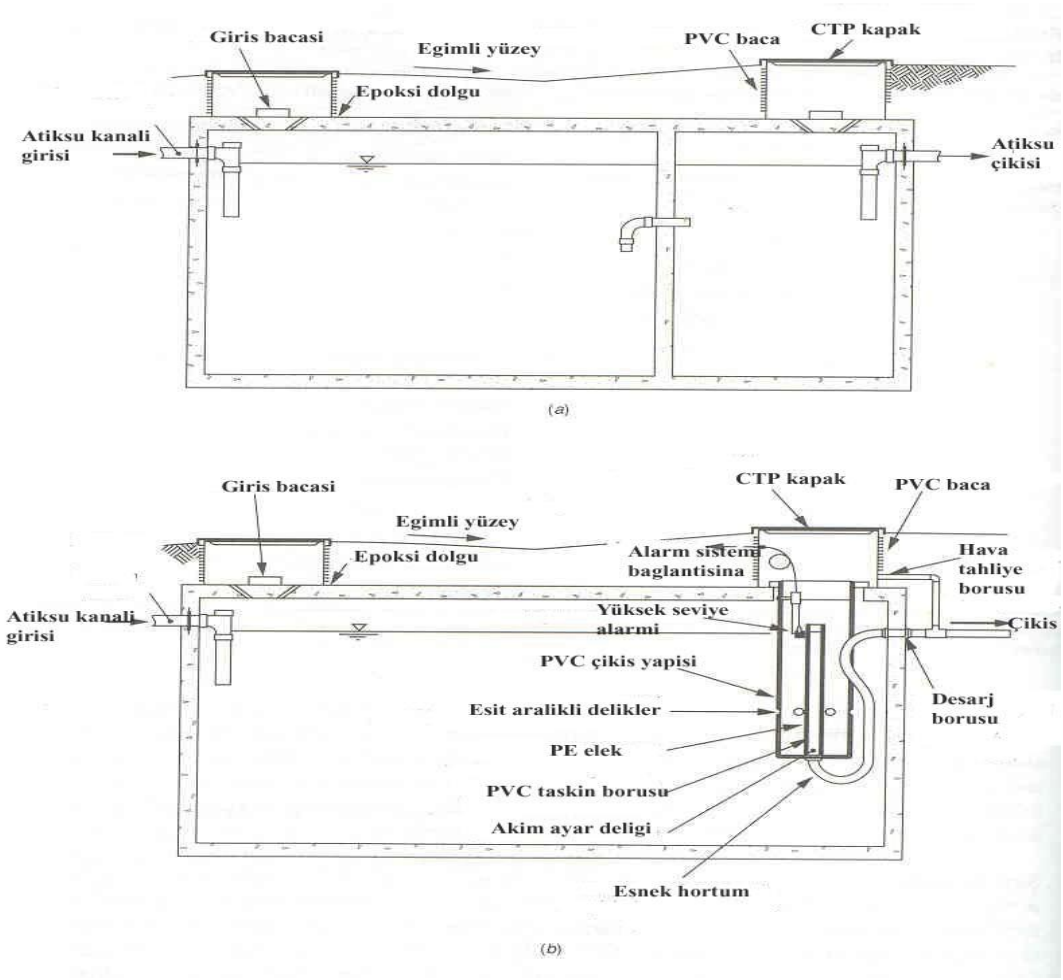
Adsorpsiyon: Bu proses biyolojik alınım ile yarışmaktadır. Yüzeyde aktif iyon değişimi iyonun kil minerali, demir hidroksit, humik ve fulvik metaryal ile kompleks etkileşime girmesiyle gerçekleşir. Adsorpsiyon için demir oksitlerin yüzey alanının organik madde için yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu bildirilmiştir (Merz 2000).

5.3.7. Septik sistemler

Şematik olarak Şekil 5.24'de verilen foseptik prefabrike olup, çöktürme ve sıyırma işlemlerini birlikte yapabilen, karıştırmasız ve ısıtmasız anaerobik çürütücü bir tanktır. Foseptiğin en eski kullanımı 1860'lı yıllarda Fransa'ya kadar gitmektedir. Günümüzde yaygın olarak beton veya CTP foseptikler başarıyla kullanılmaktadır. Bu tür tanklar aynı zamanda su sızdırmasız ve sağlam bir yapıda olmalıdır. Bu nedenle kurulmadan önce ve sonra sızdırmazlık ve yapısal sağlamlık kontrolü yapılmalıdır. Tankta, içini bölmelere ayıran perdeler, kolay kontrol ve temizleme amacıyla da kontrol bacası

bulunur. Yağ-gres ve diğer hafif maddeler köpük ile birlikte yüzeyde toplanır. Böylece çöktürülmüş ve yüzeyi sıyrılmış atıksu, köpük ve çamur tabakası arasından geçerek ya araziye ya da başka bir arıtım ünitesine deşarj edilir. Tankın dibinde kalan organik maddeler, fakültatif ve anaerobik olarak parçalanarak CO_2, CH_4 ve H_2S gibi daha kararlı bileşiklere dönüşür.

Foseptikte oluşan H_2S biriken çamurdaki metal ile birleşerek çözünmez metal sülfürler oluşturduğundan, genellikle koku problemi olmaz. Biriken katı madde hacmi anaerobik çürüme sonucu sürekli azalsa bile, tankta yine de net bir çamur birikimi olacaktır. Oluşan gaz ile birlikte tankın tabanından yüzeye çıkan maddeler köpük tabakasının altına yapışarak kalınlığını arttırır. Çamur ve köpüğün uzun süreli birikimi sonucu tankın etkili hacminde azalma görüleceğinden tank belli aralıklarla boşaltılmalıdır (Öztürk2005).



Şekil 5.24. Tipik foseptik a-Klasik iki bölmeli tip, b-Elekli tek bölmeli tip (İleri 2000)

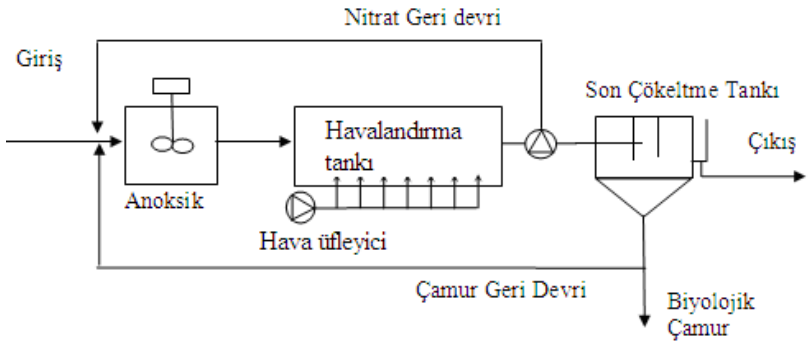
5.4.İleri Arıtma Yöntemleri

İleri arıtma yöntemleri, genellikle klasik biyolojik arıtmadan çıkan atıksuyun kalitesini daha fazla iyileştirmek için uygulanan arıtmadır. Bu arıtmada; azot ve fosfor giderme, filtrasyon, dezenfeksiyon, iyon değiştirme, ters osmoz ve adsorpsiyon yöntemleri uygulanır.

- **Azot ve fosfor giderimi**

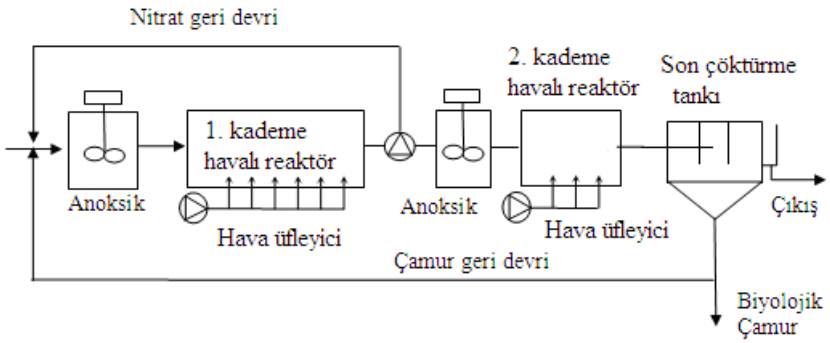
Azot ve fosfor mikrobiyolojik büyümede besin olarak çok önemli bir işleve sahiptir. Azot su kaynaklarında istenmeyen alg kümelerine ve ötröfikasyona sebep olur. Bu nedenle azot ve fosfor bileşiklerinin alıcı ortama verilmeden önce giderimi büyük önem taşır. Toplam azot, organik, amonyak, nitrit ve nitrat azotundan oluşur. Ortamın pH'ına bağlı olarak, amonyum azotu çözeltide amonyum iyonu ya da amonyak olarak bulunur. Azot gidermede, atıksuyun içerdiği amonyum iyonları azot bakterileri yardımıyla önce nitrite, sonra nitrata dönüştürülür (nitrifikasyon), daha sonra azot gazı halinde sudan uzaklaştırılır (denitrifikasyon) (Duran ve Demirer 1997).

Evsel atıksulardan biyolojik azot giderimi, havalı ve anoksik koşulların mevcut olduğu aktif çamur sistemi konfigürasyonları ile sağlanmaktadır. Öncelikle havalı şartlarda amonyum azotu nitrata dönüştürülmektedir. Oluşan nitratı denitrifiye etmek için anoksik reaktöre geri devrettirmek (Nitrat geri devri) ve atıksudaki organik madde ile tam karışmasını sağlanmak gerekmektedir. Aşağıdaki şekillerde azot giderim yöntemleri gösterilmiştir.



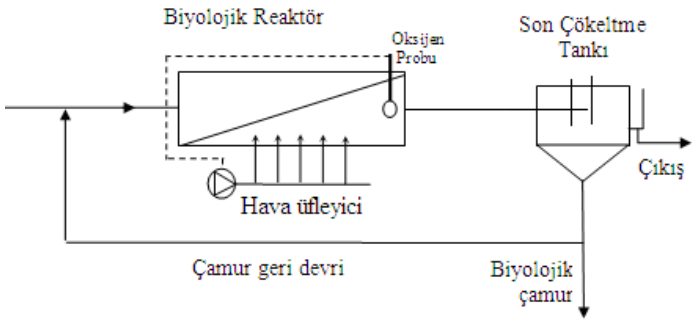
Şekil 5.25. Önde denitrifikasyonlu aktif çamur sistemi (Duran ve Demirer 1997)

Şekil 5.25'de verilen sistem ön denitrifikasyon prosesidir. Bu proseste denitrifikasyon havalı tankın öncesine yerleştirilen anoksik reaktörde sağlanmaktadır. Proses sırasında çözünmüş oksijenin geri devir akımı ile birlikte anoksik reaktöre girişi minimize edilmelidir.



Şekil 5.26. Bardenpho tipi aktif çamur sistemi (Duran ve Demirer 1997)

Şekil 5.26'da ise iki anoksik reaktörün kullanıldığı Bardenpho tipi iki kademeli aktif çamur sistemi gösterilmektedir. Birinci kademede olan havalı tankı takibeden ikinci kademe anoksik reaktörde daha çok bakteriyel içsel solunum prosesi kullanılarak azot giderimini sağlanmaktadır. Biyolojik azot giderimi eş zamanlı nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesi ile de gerçekleştirilebilir. Bu proseste uygun çamur yaşı ile hem nitrifikasyon hem de denitrifikasyon prosesleri birlikte yürütülmektedir. Bunun için çözünmüş oksijen seviyesinin reaktör içinde etkin olarak kontrol edilmesi gerekmektedir.

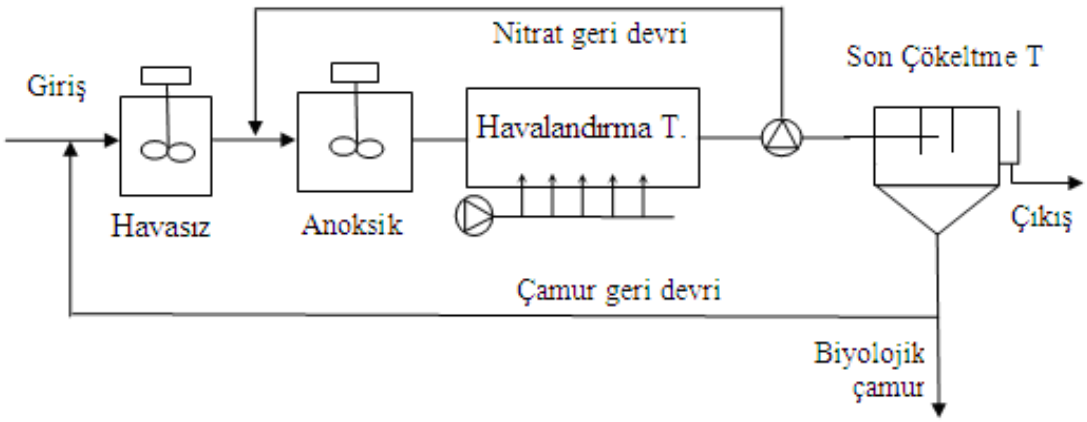


Şekil 5.27. Simültane nitrifikasyon denitrifikasyon tipi aktif çamur sistemi (Duran ve Demirer 1997)

Biyolojik azot giderimi aynı reaktör içinde sağlanmaktadır. Eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi aynı reaktör içindeki farklı bölgelerde anoksik ve havalı koşulların oluşturulması (oksidasyon havuzları vb.) ve/veya aynı reaktör içinde oksijenin düşük seviyelerde kontrolü ile de sağlanabilmektedir (Şekil 5.27).

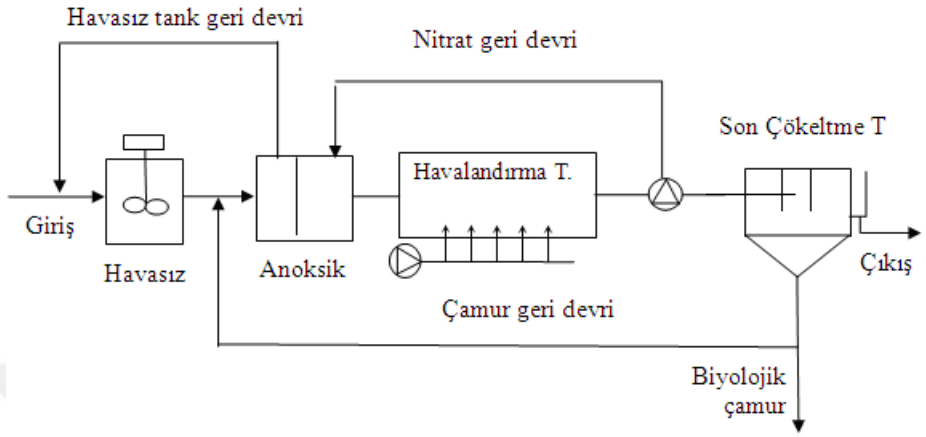
Fosfor gidermede ise, kimyasal ve biyolojik yöntemler beraber ya da ayrı ayrı kullanılır. Fosfor bileşiklerinin kimyasal olarak arıtımında alüminyum tuzları, demir tuzları ya da kireç kullanılabilir. Bu işlemlerde fosfor, yüksek pH değerlerinde fosfat tuzları halinde çöktürülür. Fosfor bileşiklerinin biyolojik olarak arıtılmasında ise mikroorganizmalar kullanılır. Aktif çamur işlemi ile atıksudan 2-3 mg/L fosfat fosforu uzaklaştırılabilmektedir (Duran ve Demirer 1997).

Atıksulardan biyolojik azot giderimi ile birlikte fosfor giderimi için; havasız, anoksik ve havalı koşulların sağlandığı aktif çamur sistemi konfigürasyonları gerekmektedir. Yukarıda bahsedilen biyolojik azot giderimi prosesine ek olarak fosfor depolayan bakteriler için havasız şartların da sağlanması gerekmektedir. Şekil 5.28'te verilen A^2O (Havasız (**A**naerobik)-**A**noksik-**O**ksik) prosesi ön denitrifikasyon prosesi önüne bir havasız reaktörünün eklenmesi ile elde edilmiştir. Burada nitrat geri devri anoksik reaktöre, çamur geri devri son çöktürme tankından havasız reaktöre yapılmaktadır. Havasız koşulların sağlanması için geri devir akımlarındaki nitrat ve oksijenin minimize edilmesi gerekmektedir (Metcalf 1991).



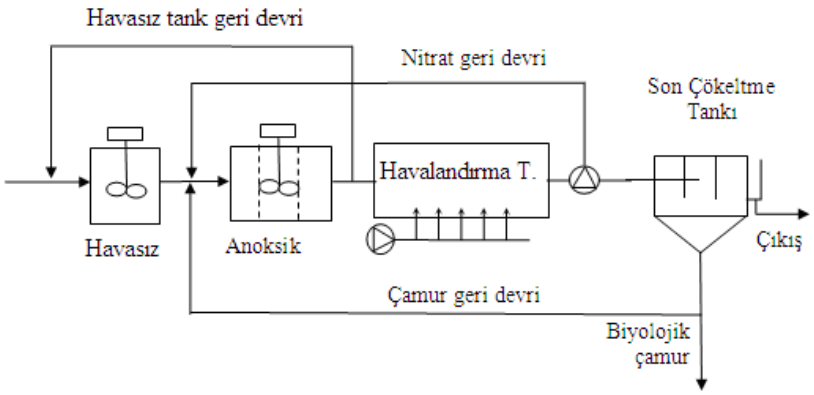
Şekil 5.28. A^2O tipi aktif çamur sistemi (Metcalf 1991)

Şekil 5.29'da, havasız reaktöre nitrat geri devrinin azaltılabilmesi için havasız tank geri devri anoksik reaktörden yapılmaktadır. Nitrat geri devri ise havalı tanktan anoksik tanka, çamur geri devri ise son çöktürme tankından anoksik tanka yapılmaktadır.



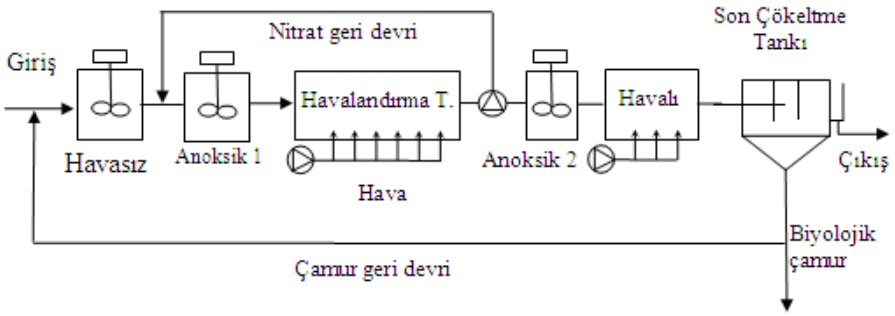
Şekil 5.29. UCT (University of Capetown) tipi aktif çamur sistemi (Metcalf 1991)

Şekil 5.30'da verilen VIP prosesinde ise havasız reaktöre nitrat geri devrini en az seviyede tutabilmek için anoksik reaktör bölümlere ayrılmaktadır. Aynı şekilde havasız tank geri devri anoksik reaktörün sonundan yapılmaktadır. Nitrat geri devri ise havalı tanktan anoksik tankın başına yapılmaktadır. Çamur geri devri de son çöktürme tankından anoksik tanka yapılmaktadır. Havasız tanka yapılan nitrat geri devri seyreltik olduğundan havasız reaktörün bekletme süresinin uzun seçilmesi daha uygundur (Metcalf 1991).



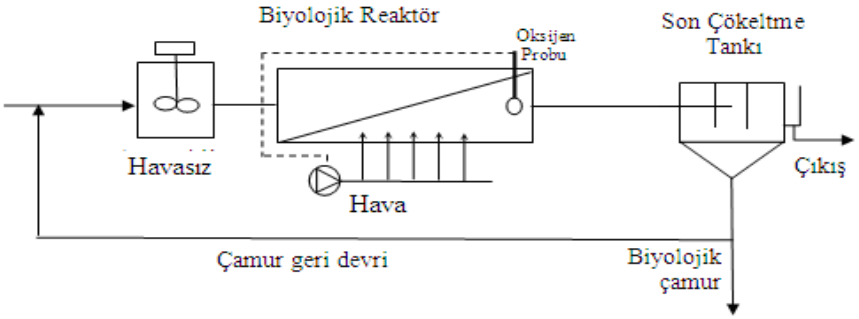
Şekil 5.30. VIP (Virginia Initiative plant) tipi aktif çamur sistemi

Şekil 5.31'de biyolojik azot ve fosfor gideren 5 Kademeli Bardenpho prosesi gösterilmiştir. Bu sistemde, biyolojik azot giderimi yapan 4 Kademeli Bardenpho prosesinin başına havasız reaktörün eklenmesi ve çökeltilmiş çamurun bu reaktöre geri devrettirilmesi ile biyolojik fosfor giderimi sağlanmaktadır.



Şekil 5.31. Modifiye Bardenpho tipi aktif çamur sistemi sistemi (Metcalf 1991)

Eş zamanlı (birlikte) nitrifikasyon/denitrifikasyon prosesine havasız reaktörün eklenmesi ile azot giderimine ek olarak biyolojik fosfor giderimi de sağlanabilir. Bu prosese ait aktif çamur sistemi konfigürasyonu Şekil 5.32'de verilmiştir. Azot ve fosfor giderimli MBR sistemleri de, kullanılabilecek arıtma alternatifleri arasındadır.



Şekil 5.32. Biyolojik fosfor gideren simültane nitrifikasyon denitrifikasyon tipi aktif çamur sistemi

Yukarıda bahsedilen proseslerden alıcı ortamların hassasiyeti, çevresel koşullar, ülke şartları ve ekonomi de gözönünde tutularak en uygun alternatifin seçilmesi gerekmektedir. Çizelge 5.15'te biyolojik azot ve fosfor giderimi için önerilen temel tasarım parametreleri verilmiştir.

Çizelge 5.15. Biyolojik azot ve fosfor giderimi için önerilen temel tasarım parametreleri (Metcalf 1991)

	Θ_x[a]	**MLSS[B]**	**Çamur Geri Devri İçsel Geri Devir[c]**				
Proses	gün	g/L	Toplam	Anoksik Reaktör	Havalı Reaktör	% $Q_{Giriş}$	% $Q_{Geri\ devir}$
Ön denitrifikasyon	7-20	3-4	5-15	1-3	4-12	50-10	100-200
Ardışık Kesikli Reaktör	10-30	3-5	20-30	Değişken	Değişken	-	-
Bardenpho (4-kademeli)	10-20	3-4	8-20	1-3	4-12	50-100	200-400
				(1.tank)	(2. tank)		
				2-4	0.5-1		
				(3. tank)	(4. tank)		
Oksidasyon Havuzu	20-30	2-4	18-30	Değişken	Değişken	50-100	
Biodenitro™	20-40	3-4	20-30	Değişken	Değişken	50-100	
A/O	2-5	3-4		-	1-3	25-100	
A^2/O	5-25	3-4		0.5-1	4-8	25-100	100-400
UCT	10-25	3-4		2-4	4-12	80-100	200-400
							(anoksik)
							100-300
							(havalı)
VIP	5-10	2-4		1-2	4-6	80-100	100-200
							(anoksik)
							100-300
							(havalı)
Bardenpho (5-kademeli)	10-20	3-4		1-3	4-12	50-100	200-400
				(1.tank)	(1.tank)		
				2-4	0.5-1		
				(2.tank)	(2.tank)		
AKR	20-40	3-4		1-3	2-4		

[a] *Çamur yaşı*

[b] *Reaktördeki askıda katı madde konsantrasyonu*

[c] *Hidrolik bekletme süresi*

- **Filtrasyon**

Filtrasyon su arıtımında askıda kalan katı maddelerin giderimi için yaygın kullanılan bir işlemdir. Su kaynağından gelen veya arıtma işlemleri sırasında oluşan kil ve silt taneleri, mikroorganizmalar, kolloid ve çöken humik maddeler, bitki çürümesiyle oluşan parçacıklar, suyun yumuşatılmasında kullanılan kalsiyum karbonat ve magnezyum hidroksit çökeltileri gibi askıda katı parçacıkların gideriminde yaygın olarak kullanılan temel işlemlerden birisidir. Yaygın olarak kullanılan granül filtre malzemeleri; kum, silis ve antrasit kömürüdür. Filtrelerin uzun zamanlı ve verimli bir biçimde kullanılabilmeleri ancak iyi bir geri yıkama sistemi ile olanaklıdır. Filtrelerin uygun aralıklarla ve uygun bir yöntemle geri yıkanması, uzun süreli kullanım sonucu oluşması söz konusu çamur birikintileri ve/veya filtre malzemesinin çatlaması riskini azaltır (Baruth 2005).

- **İyon değiştirme yöntemi**

İyon değiştirme, iyonların çözeltiden katı bir yüzeye ya da katı bir yüzeyden çözeltiye transfer edildiği fiziksel ve kimyasal bir işlemdir. Bu işlem, temelde çözelti içerisindeki iyonların katı bir yüzeyde elektrostatik güçlerle tutulan benzer yüklü iyonlarla değiştirilmesi esasına dayanır. Su arıtımında yaygın olarak sertlik giderimi amacıyla kullanılır. İyon değiştirme yumuşatmanın yanı sıra, baryum, arsenik, krom, flor, nitrat, radyum ve uranyum gibi zehirli veya radyoaktif metallerin giderilmesinde de sıkça kullanılır. Atıksu bünyesindeki istenmeyen anyon veya katyonların uygun bir anyon veya katyon tipi iyon değiştirici kolonda tutulması sırasında kullanılan maddeler; alüminyum silikatlar, zeolit, sentetik reçinelerdir. İyon değiştirici ortamının faydalı ömrü, değiştirilen iyon miktarına, geçen atıksu debisine ve bu ortamı rejenere etmek için gerekli çözeltinin konsantrasyonuna bağlıdır (Baruth 2005).

- **Ters osmoz yöntemi**

Ters osmoz, suyun içindeki istenmeyen tüm mineralleri sudan ayıran ve saf su ve içme suyu teminine yönelik olarak kullanılan membran filtrasyon prosesinin adıdır. Bu sistemler çapraz akışlı olarak çalışırlar. Bilinen anlamda filtrasyon prosesi değildir. Çünkü membran üzerinde suyun geçişine izin veren gözenekler son derece küçüktür. Böyle küçük bir gözenekten sadece su molekülleri ve bazı çok küçük inorganik moleküller geçebilmektedir. Diğer moleküller ise konsantre su fazında sistemden dışarı

atılır. Atıksuyun yeniden kullanılabilmesini sağlamak, yüksek kalitede su elde etmek, tatlı su kaynaklarının sınırlı olduğu yerlerde deniz suyundan içme suyu temin etmek ve kirlenme kontrolü amacıyla ters osmoz yöntemi kullanılır. Ters osmoz yöntemiyle atıksu içerisinde bulunan değerli bileşikler geri devir edilerek üretimde tekrar kullanılabilirler. (Duran ve Demirer 1997).

- **Adsorpsiyon**

Atıksularda bulunan, diğer arıtma yöntemleri ile arıtımı güç olan kimyasal maddelerin gözenekli katı madde yüzeyine kimyasal ve fiziksel bağlarla tutunma işlemine adsorpsiyon denir. İstenilen özellikte su elde etmek amacıyla adsorpsiyon işlemi ara kademelerde uygulanabildiği gibi, biyolojik ve kimyasal arıtmadan sonra da uygulanabilir. Su ve atıksu işlemlerinde kullanılan adsorpsiyon tipi sıvı–katı adsorpsiyondur. Çözünmüş maddelerin ara yüzeyde birikme veya dağılması adsorbat ve çözücünün relatif çekim kuvvetine bağlıdır. Maddelerin sulu çözeltilerden katı adsorbanlar tarafından adsorpsiyon hızı bu prosesin su kalite kontrolü için uygulanmasında önemli bir faktördür. Zehirlilik, renk, koku kirliliği yaratan bu kirleticilerin uzaklaştırılması için aktif karbon kullanılır. İlk aşamada kirletici, çözelti içinden katı yüzeye taşınır (film difüzyon), ikinci aşamada kirletici, yüzeydeki/yüzeyin gözenekleri içindeki bağlanma noktalarına gelir (gözenek difüzyon), son aşamada ise sorpsiyon yani tutunma gerçekleşir. Adsorplama kapasitesi tükenen granül aktif karbonun rejenere edilmesi gerekir. Bunun gerekliliği çıkış suyunun kalitesindeki değerlerle anlaşılabilir. Genellikle aktif karbonun rejenerasyonu 900 °C'de ısıl işleme tabi tutularak yapılabilir. Bu sıcaklıkta adsorbe edilen organik bileşikler yanarak yok olur. Toz aktif karbonun rejenerasyonu mümkün değildir (Forster 2003).

5.5.Dezenfeksiyon Yöntemleri

Dezenfeksiyonun su arıtımındaki tanımı, "suda bulunan organizmaların, bu suyun kullanımı sonrasında herhangi bir hastalığa neden olmayacakları düzeye kadar azaltılması" dır. Suda bulunan tüm organizmaların yok edilmesi anlamına gelen sterilizasyon ile karıştırılmamalıdır. Su arıtımında kullanılan başlıca dezenfektanlar; klor (gaz, sodyum ve kalsiyum hipoklorit), kloraminler, klordioksit ve ozondur.

Dezenfeksiyon işlemi ile sudan giderilmesi istenen organizmalar; bakteri, spor, virüs, protozoa içerir. Dezenfeksiyona rağmen bu organizmaların tümüyle yok edilememesi organizmanın türü ve konsantrasyonuna, dezenfektant türü, konsantrasyonu ve uygulanış biçimine, suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine (sıcaklık, askıda kalan madde, organik madde konsantrasyonu, pH, vb.) ve temas süresine bağlıdır (Baruth 2005).

Dezenfeksiyonla, hücre duvarının parçalanması, hücre geçirgenliğinin bozulması, hücre protoplazmasının kolloid yapısının bozulması ve enzim aktivitesinin inhibisyonu yoluyla mikroorganizmalar inaktif hale getirilmektedir. Dezenfeksiyona etki eden faktörler, temas süresi, dezenfektan konsantrasyonu, su içerisinde bulunan diğer bileşiklerin miktarı ve tipi, sıcaklık, mikroorganizma tipi ve suyun diğer özellikleridir. Sıcaklık arttıkça dezenfeksiyon hızı artmakta ve aynı dezenfeksiyon verimini almak için gerekli temas süresi azalmaktadır (Anonim 2010).

Yer altı kaynaklarının ve halk sağlığının korunması için, merkezi olmayan arıtma sistemlerine dezenfeksiyon prosesleri dahil edilir. Küçük atıksu debileri için kullanılabilen dezenfektan çeşitleri Çizelge 5.16'da verilmiştir (Metcalf 2006).

Çizelge 5.16. Küçük atıksu debilerinde dezenfeksiyon için kullanılan dezenfektanlar (Metcalf 2006)

Dezenfektan	**Formülü**	**Formu**
Sodyum Hipoklorit	NaOCI	Sıvı
Kalsiyum Hipoklorit	$Ca(OCI)_2$	Katı Tablet
Ozanlama	O_3	Gaz
Perasetik Asit	CH_3CO_3H	Sıvı
Ultraviyole Işık (UV)	-	Elektromanyetik Radyasyon
Biyolojik Filtrasyon	-	Enzim Aktivitesi

Klorlamada temas süresi olarak ortalama debilerde 30–120 dakika, pik debilerde 20-60 dakika alınmalıdır. En az 2 adet klor tankı yapılmalıdır. Klor temas tankında katı maddelerin çökelmesinin önlenebilmesi için yatay akış hızı 2–4.5 m/dk olmalıdır.

Reaktör içerisine şaşırtma duvarları ve perdeler ilave edilmesi durumunda perdeler üzerindeki açıklıkların toplam alanı, akımın geçtiği kesit alanının % 6-10'u arasında değişmelidir.

Ozon, arıtma tesisinde ozon jeneratörleri ile üretilir ve temas tankları vasıtasıyla atıksuya karıştırılır. Ozon reaktöre boru hattı üzerine döşenen statik karıştırıcılarla transfer edilir. Doğru tasarlanmış bir difüzörde ozon transfer verimi % 90'dır.

Elektromanyetik enerji, UV lambasından hücrelerin protein ve nükleik asitlerine (RNA-DNA) transfer edilir. UV ışını, organizma tarafından absorbe edilir. Organizmaya absorbe olan UV ışını, yansıma ile ölçülür. UV ışınının en önemli hedefi, DNA molekülüdür. DNA tarafından emilen ışığın hasar derecesi, UV ışınının dalga boyu ile ilgili olup en çok etki, 250-265 nm dalga boylarındadır. Bunun en elverişli değeri 254 nm dalga boyudur (Anonim 2010).

Klorlama, ozonlama ve UV ile dezenfeksiyonun, arıtılmış atıksuda bulunan bakteri, protozoa ve virüslere olan etkisi Çizelge 5.17'de verilmiştir. Çizelge 5.18'de ise her bir dezenfektanın arıtılmış atıksu dezenfeksiyonundaki üstün ve zayıf yönleri verilmiştir.

Çizelge 5.17. Klorlama, ozonlama ve UV ile dezenfeksiyonun, bakteri, protozoa ve virüslere olan etkisi (Anonim 2010)

Mikroorganizma tipi	**Klorlama**	**Ozonlama**	**UV**
Bakteri	Çok etkili	Çok etkili	Etkili
Protozoa	Etkisiz-az etkili	Etkili	Çok etkili
Virüs	Çok etkili	Çok etkili	Etkili

Çizelge 5.18. Klorlama, Ozonlama ve UV'nin atıksu dezenfeksiyonundaki üstünlükleri ve zayıf yönleri (Anonim 2010)

Üstünlükleri	**Zayıf yönleri**
Klorlama	
-Etkili bir dezenfektandır. -Çok iyi bilinen bir teknolojidir. -Bakiye klor kullanılabilir. -İlk yatırımı ucuzdur. -Klor gazından daha emniyetli olan kalsiyum ve sodyum hipoklorit kullanılabilir.	-Tehlikeli bir kimyasaldır. -Diğer dezenfektantlara göre daha uzun temas süresi gerekir. -Dezenfeksiyon yan ürünü oluşur. -Atıksuyun toplam çözünmüş madde seviyesini bir miktar artırır. -Cryprosporidium üzerinde etkili değildir. -Düşük dozajlarda, bazı virüs, spor ve cysts türleri üzerinde etkili değildir.
Ozonlama	
-Etkili bir dezenfektandır. -Bazı virüs, spor, cysts ve oocysts türleri üzerinde klora göre daha etkilidir. -Klora göre daha kısa temas süresi gerekir. -Daha az alan kaplar. -Çözünmüş oksijeni artırır. -Eser organik maddelerin konsantrasyonunun azaltılması için kullanılabilir	-Bakiye ozonun uzaklaştırılması gerekmektedir. -Bakiye ozon etkisi yoktur. -Düşük dozajlarda, bazı virüs, spor ve cysts türleri üzerinde etkili değildir. -Korozif ve toksiktir. -İlk yatırım ve işletme maliyetleri yüksektir.
UV	
-Etkili bir dezenfektandır. -Kimyasal madde kullanılmamaktadır. -Bazı virüs, spor, cysts ve oocysts türleri üzerinde klora göre daha etkilidir. -Dezenfeksiyon yan ürün oluşumu yoktur. -TDS seviyesini artırmaz. -Güvenlidir. -Klorlamaya göre daha az alan kaplar. -Eser organik maddelerin konsantrasyonunun azaltılması için kullanılabilir.	-Bakiye etkisi yoktur. -Düşük dozajlarda, bazı virüs, spor ve cysts türleri üzerinde etkili değildir. -Hidrolik tasarım önemlidir. -İlk yatırım maliyeti yüksektir. -UV lambalarının yüzeyi zamanla kapanabilir.

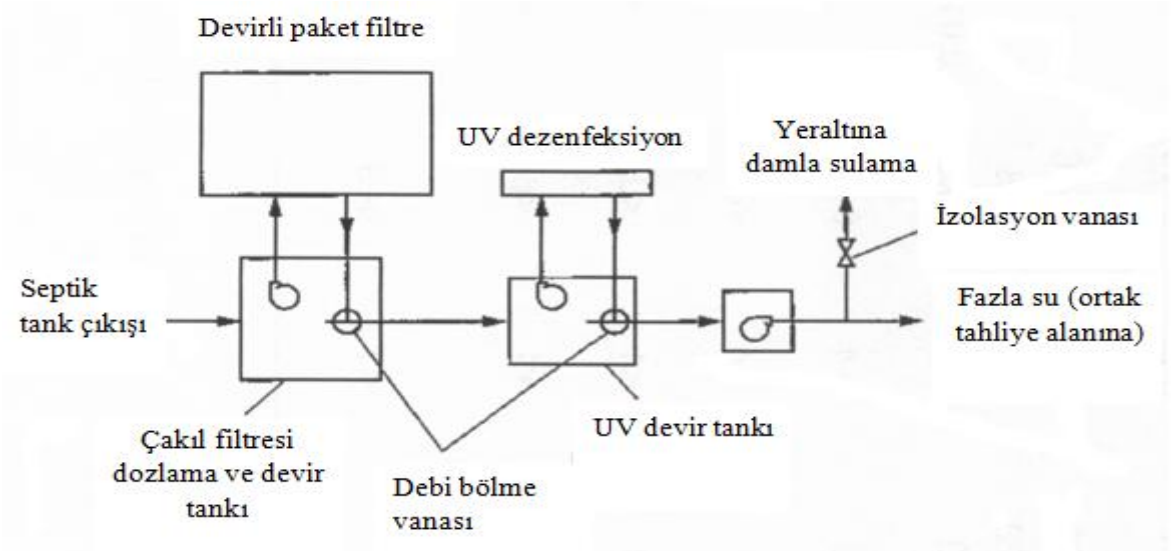
Diğer dezenfektanlardan farklı olarak, UV radyasyonu mikroorganizmaları bütünüyle kimyasal etkileşimlerle imha etmez. Diğer bir deyimle, UV radyasyonu kimyasal değil fiziksel bir dezenfeksiyon prosesidir. Bu açıdan UV'nin diğer kimyasal dezenfektanlara göre (klor, ozon, klordioksit, kloraminler gibi) en önemli avantajları kimyasal kalıntı bırakmaması, ve sudaki doğal organik maddelerle kimyasal dezenfektanların reaksiyonu sonucu oluşan mutajenik, karsinojenik veya toksik etkileri olan dezenfeksiyon yan ürünleri oluşturmamasıdır (Combs ve McGuire 1989, Malley ve ark. 1995, Anonim 1999a).

Bu nedenle atıksuların sulamada yeniden kullanılmasında UV ile dezenfeksiyon işlemi tercih edilen bir yöntemdir.

5.5.1. UV ile dezenfeksiyon

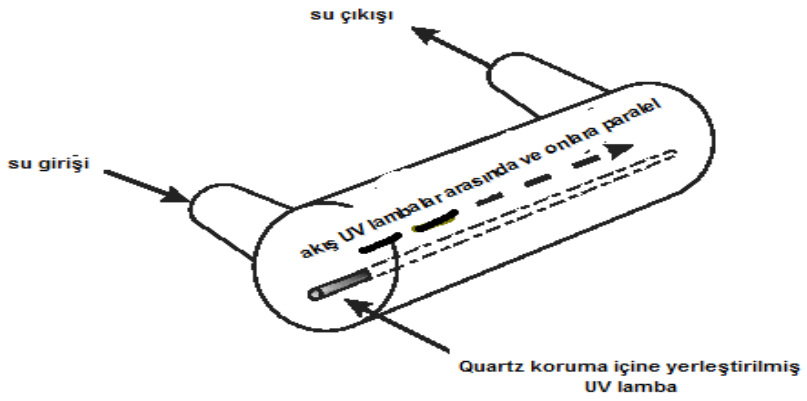
UV ışınlarının mikroorganizmaları giderme özelliği 1900'lü yıllarda geniş bir uygulama alanında kullanılmıştır. UV ışınlarının uygun dozda bakteri, protozoa ve virüsler için yeniden kullanılan sularda etkili bir dezenfektan olduğu kanıtlanmıştır (Metcalf 2006).

UV dezenfeksiyon ünitesi akış diyagramı Şekil 5.33'de gösterilmiştir.



Şekil 5.33. Peyzaj sulama için geliştirilen UV dezenfeksiyon ünitesi akış diyagramı (Metcalf 2006)

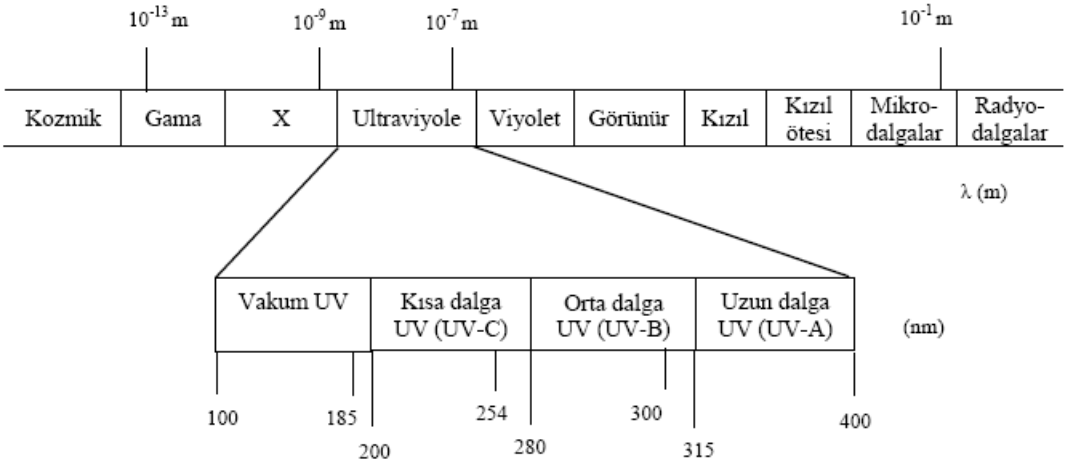
UV ile dezenfeksiyonda; antiseptik özellik gösteren 250-270 nm dalga boyunda ışık kullanılır. Radyasyon organizmaların hücre duvarından sızar ve hücre materyallerince absorplanarak hücre ölümü ile sonlanır. UV ışınının miktarı uygulamada belirlenmesi gereken bir parametredir ve mW-s/cm^2 olarak ölçülür. Her uygulamada; atıksu iletimi, organizma varlığı, lamba ve koruyucu ortam ve diğer çeşitli faktörler mW-s/cm^2'e üzerine etkili olacaktır. Hızlıca gözlenebilen ve kontrol edilebilen bir değişken de askıda katı madde miktarıdır. Toplam askıda katı madde, dezenfeksiyon üzerine direkt etkilidir. UV dezenfeksiyon sistemlerinde atıksu ile ışının temasının sağlanması için lamba çeşidi (orta, düşük veya yüksek şiddet), temas çemberi (yatay veya dikey) ve lambayı sıvıdan ayıracak bir koruyucu materyal (quartz veya teflon) bulunur ve hepsi dezenfeksiyonun başarısında etkili olup ekonomik açıdan değerlendirilerek tercih edilmelidir. Şekil 5.34'de UV dezenfeksiyon şeması gösterilmiştir. (Anonim 2016c).



Şekil 5.34. UV dezenfeksiyon şeması

5.5.1.1.UV Radyasyonu Kimyası

UV radyasyonunun enerji dalgaları, X-ışınları ve görülebilir ışınlar spektrumları arasında kalan, 100-400 nm boyundaki elektromanyetik dalgalar alanına girer (Şekil 5.35). UV radyasyonu vakum UV (100-200 nm), UV-C (200-280 nm), UV-B (280-315 nm), ve UV-A (315-400 nm) olarak sınıflandırılabilir. Öldürücü etki açısından optimum UV aralığı UV-B ve UV-C arasında olup 245-285 nm'dir (Malley ve ark. 1995, Anonim 1999a).



Şekil 5.35. Elektromanyetik spektrum içindeki UV ışınları (Malley ve ark. 1995, Anonim 1999a)

UV radyasyonunun mikroorganizmaları imha ve inaktive etme derecesi doğrudan UV dozuna bağlıdır. UV dozu şöyle hesaplanır (White 1992, Anonim 1996, Blatchley 1997, Tchobanoglous 1997, Lyn ve ark. 1999):

$$D=I \times t$$

D=UV dozu, $mW.sn/cm^2$

I=UV ışın şiddeti ,mW/ cm^2

t=Temas süresi, sn

Yukarıdaki bağıntıdan görüleceği üzere, UV dozu hidrolik bekleme süresine (dolayısıyla giriş debisiyle ters orantılı) ve ışın şiddetine bağlıdır. UV şiddeti ise suyun UV geçirimliğinin ve reaktör geometrisinin fonksiyonudur. Araştırmalara göre mikroorganizmalar UV radyasyonuna maruz bırakıldıklarında, eşit olarak artan zaman aralıklarında canlı hücrelerin sabit bir kısmı inaktive olmaktadır. Öldürücü etki açısından bu doz-tepki ilişkileri göstermektedir ki, kısa temas süreli ve yüksek şiddetli UV enerjisi, orantılı bir şekilde daha uzun temas süreli ama daha düşük şiddetli UV enerjisi ile aynı miktar ölümü sağlayabilir. Etkili inaktivasyon için gerekli UV dozu proje-spesifik olarak tayin edilmelidir, çünkü su kalitesi ve amaçlanan logaritmik (log)

giderime bağlıdır. UV radyasyonu ile dezenfeksiyon: Hedeflenen öldürücü niteliklerle ışık üretimi ve bu ışığın patojenlere iletimini (transmisyonunu) içerir. Dolayısıyla, UV ile dezenfeksiyon teknolojisinde reaktörlerde ışık üretiminin ve üretilen ışığın UV lambalarındaki ve sudaki madde ve materyallerle olan etkileşiminin tespiti ve optimizasyonu tasarım ve işletim bağlamında önemlidir.

Su ve atıksu arıtımında UV dezenfeksiyonu proseslerinde suyun UV ışını talebi genellikle 254 nm dalga boyunda spektrofotometre ile tayin edilir. Ölçülen değer birim derinlikteki (spektrofotometre küvetinin boyutu) absorbsiyon enerjisini ya da absorbansı verir. UV teknolojisinin dezenfeksiyon için uygunluğunu tayin etmekte kullanılan en önemli parametre % transmisyon'dur (% iletim/geçirgenlik):

$$\% \text{ transmisyon} = 100 \times 10^{-A}$$

A=absorbans

Çizelge 5.19'da değişik su kaliteleri için % transmisyon ve absorbans değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.19. Su kalitesi ve % transmisyon ilişkileri (DeMers ve Renner 1992, Anonim 1999a).

Ham su kalitesi	**Absorbans (absorbans birimi/cm)**	**% Transmisyon**
Mükemmel	0.022	95
İyi	0.071	85
Orta	0.125	75

Debi ile birlikte en önemli tasarım kriteri olan % transmisyon UV teknolojisinin herhangi bir su için uygulanabilirliğini ve ekonomikliğini ifade eder. % transmisyon arttıkça gerekli UV ışın şiddeti ya da diğer bir deyimle lamba elektrik gücü ya da toplam lamba sayısı azalır; bu da ilk yatırım maliyetini ve işletme masraflarını (en temeli lambaların elektrik masrafıdır) önemli ölçüde azaltır. Örneğin, kentsel atıksu arıtma ön-çökeltim çıkışı (birincil arıtma çıkışı) tipik transmisyon değerleri %20-30 arasındadır; bu değerler de UV prosesinin nispeten ekonomik olabileceği minimum

değerlerdir. Ancak bu değerlerin ekonomiklik sınırına çok yakın olmasından dolayı UV dezenfeksiyonu çoğunlukla birincil arıtma çıkışları yerine son çökeltim çıkışlarına (ikincil arıtma çıkışları) uygulanır. Bu da zaten tipik bir dezenfeksiyon uygulama noktasıdır. İçme suyu arıtmada ise transmisyon değerleri %70-90 civarlarında olduğu için UV prosesi diğer kimyasal kökenli dezenfektanlarla teknik ve ekonomik bağlamda daha iyi rekabet edebilir (White 1992, Anonim 1996, Blatchley 1997, Tchobanoglous 1997, Lyn ve ark. 1999).

5.5.1.2.UV dezenfeksiyonu proses değişkenleri

Elektromanyetik dalgalar formundaki enerji olan UV radyasyonun etkinliği kimyasal su kalitesi parametrelerine genellikle bağlı değildir. Örneğin, pH, sıcaklık, alkalinite, ve toplam inorganik karbon UV dezenfeksiyonunun toplam verimini önemli miktarlarda etkilemez (Yip ve Konasewich, 1972: AWWA ve ASCE, 1990). Fakat sudaki sertlik UV lambalarının fonksiyonel ve temiz tutulmasında problemler çıkarabilir. Oksidantların (ozon ve/veya hidrojen peroksit gibi) ilavesi veya sudaki varlığı UV radyasyonunun etkinliğini artırır. Bazı çözünmüş veya askıda katı maddelerin varlığı ise mikroorganizmaları UV radyasyonundan koruyabilir (Qualls ve diğerleri, 1983). Yine, bazı organik maddeler (hümik asitler, fenoller, lignin türü bileşikler), metaller (demir, krom, kobalt, bakır ve nikel), sülfitler, ve nitritler UV dezenfeksiyon verimini azaltırlar (Yip ve Konasewich, 1972, DeMers ve Renner 1992, Anonim 1999a). Bu azaltım iki nedenle gerçekleşir: Bu tür maddeler UV ışığını absorblayıp mikroorganizmalara ulaşması istenilen UV şiddetini dolayısıyla dozunu azaltırlar ve sudaki UV ışını transmisyonunu yansıtma, kırma sonucu engelleyip UV dozunu azaltırlar. Buna göre de, absorbans katsayısı bu ihtiyacın bir belirtisi olup, tüm sular için özgündür. Sonuçta, spesifik tasarım parametreleri sular için değişkendir, ve her aplikasyon için ampirik olarak belirlenmelidir. İnaktivasyon için UV'nin mutlaka mikroorganizmalar tarafından absorblanması gerekir. Dolayısıyla, UV'nin mikroorganizmalara ulaşmasını engelleyen herhangi bir etmen dezenfeksiyon verimini düşürecektir (Scheible ve Bassell 1981, Qualls ve ark. 1989, Severin ve ark. 1983a,b, Whitby ve Palmateer 1993, Blatchley ve

Hunt 1994; Snicer ve ark. 1996). UV dezenfeksiyon verimini etkileyen etmenler ana hatlarıyla şöyle sıralanabilir:

• UV lambaları yüzeylerinde gelişen kimyasal ya da biyolojik filmler

• Çözünmüş organikler ya da inorganikler

• Mikroorganizmaların kümeleşmesi ya da agregasyonu

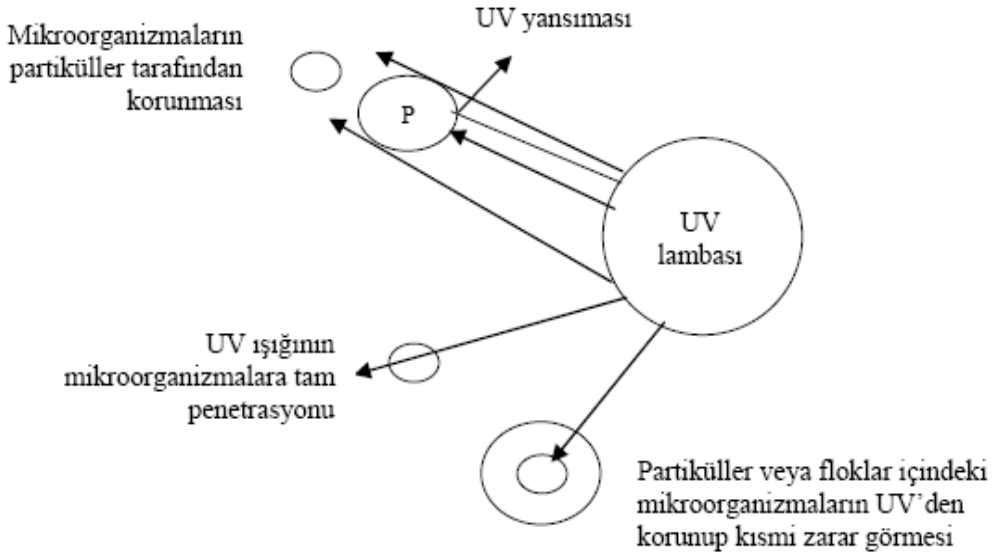
• Bulanıklık ve renk

• UV reaktörlerindeki hidrolik kısa devreler.

UV lambalarının üzerinde zamanla birikip film oluşturan katılar uygulanan UV ışın şiddetini, dolayısıyla da dezenfeksiyon verimini düşürür. Suyun ve lambaların güneş ışınları ile temasının kesilmesi ve düzenli temizleme ile biyofilm oluşması en aza indirgenebilir. Biyofilmlere ek olarak, lambalar üzerinde oluşan kalsiyum, magnezyum ve demir kökenli tortular da işletim problemleri arasındadır. Yüksek konsantrasyonlarda demir (>0.1 mg/L), sertlik iyonları (kalsiyum, magnezyum) (>140 mg/L), sülfitler (hidrojen sülfit, >0.2 mg/L), ve organik madde içeren sular daha fazla tortu ya da tabaka oluşturma potansiyeline sahiptirler (DeMers ve Renner 1992, Anonim, 1999a).

Su pH'sı ve sertliği metallerin ve karbonatların çözünürlüğünü etkiler. UV lambalarındaki karbonat kökenli tortular da UV ışın şiddetinin suya iletimini önemli ölçüde azaltır. Sudaki partiküller, içerilerinde konumlanıp çoğalabilen mikroorganizmaları UV'ye karşı korudukları ve UV transmiyonunu yansıma ve kırılma ile azalttıkları için dezenfeksiyon verimini azaltırlar (Qualls ve ark. 1983, Parker ve Darby 1995).

Bulanıklığa sebep olan bu partiküllerin etkilerine benzer olarak, mikroorganizmaların kendileri de floklaşıp agregalar halinde bulunursa flokların iç tarafındaki organizmalar UV'ye karşı korunmuş olurlar (Petri ve diğerleri, 2000). Partikül büyüklük dağılımı da gereken UV dozu miktarını etkiler. Büyük partiküller (>40 μm çapta) mikroorganizmaları daha çok koruyup, UV'yi bloke edip, yansıtırlar. Bu da dezenfeksiyon için UV talebini artırır. UV dezenfeksiyon verimini etkileyen mikroorganizma-partikül ilişkileri Şekil 5.36'da gösterilmiştir.



Şekil 5.36. UV dezenfeksiyon verimini etkileyen mikroorganizma-partikül ilişkileri (Tchobanoglous 1997, Anonim 1999a)

UV reaktörlerinin yetersiz tasarımı, zayıf geometrileri ve lambalar arasındaki fazla boşluktan dolayı reaktörlerde ölü hidrolik bölgeler ve kısa devreler oluşabilir (Hazen ve Sawyer 1992). Bu durum dezenfeksiyon verimini düşürür. UV dozu ışık şiddetinin ve temas süresinin fonksiyonu olduğu için reaktörlerde hidrolik kısa devre oluşturmadan tüm akımın homojen bir şekilde UV ile gereken sürelerde temas ettirilmesi çok önemlidir. Bu da ölü bölgeler oluşmasını engelleyecek tasarım kriterlerinin seçimi ile gerçekleşir. UV reaktörlerinde piston akımlı şartlarda çalışılır. Ancak lambalar arasında akının radyal karışımını sağlayacak bir miktar turbülans da oluşturulmak istenir. Böylelikle, akım UV şiddetinin farklı olduğu bölgelerde (lambadan uzaklaştıkca UV transmisyonu dolayısıyla şiddeti azalır) üniform olarak dağıtılır, ve tüm su parçacıklarının optimum olarak UV ile temas ettirilmesi sağlanır. UV sistemlerinde temas süreleri saniyeler mertebesinde olduğu için, sistemin çok efektif olarak hidrolik kısa devreler oluşmadan çalışması kritiktir (Sobotka 1993, Anonim,1999a).

Atıksu dezenfeksiyonu için kullanılan UV ışınlarını etkileyen atıksu bileşenleri Çizelge 5.20'de verilmiştir.

Çizelge 5.20. Atıksu dezenfeksiyonu için kullanılan UV ışınlarını etkileyen atıksu bileşenleri (Metcalf 2006)

Bileşenler	**Etkileri**
BOİ, KOİ ve TOK	BOİ'nin büyük bölümünü oluşturan hümik maddeler olmazsa etkisi az veya yok.
Doğal organik madde	UV ışınlarını güçlü absorplar.
Yağ ve gres	UV lambasının kuvars tüpleri üzerinde birikebilir.
Toplam askıda katı	UV ışınlarını absorplar, bakterileri kaplayabilir.
Alkalinite	UV ışınlarını absorplayan metallerin çözünürlüğünü etkileyebilir.
Sertlik	Kalsiyum, magnezyum ve diğer tuzlar özellikte yüksek sıcaklıkta kuvars tüpler üzerinde çökebilir.
Amonyak	Etkisi az veya yok.
Nitrit	Etkisi az veya yok.
Nitrat	Etkisi az veya yok.
Demir	UV ışınlarını güçlü absorplar. Kuvars tüplerinin üzerine çökebilir.
Manganez	UV ışınlarını güçlü absorplar.
pH	Metal ve karbonatların çözünürlüğünü etkiler.
Toplam çözünmüş katı	Potansiyel ölçeklemeyi etkileyebilir.
Potansiyel deşarjlar	Bileşenlere bağlıdır. Geçirgenlikte günlük ve mevsimsel değişikliklere yol açabilir.
Yağmur suyu girişi	Bileşenlere bağlıdır. Geçirgenlikte kısa vadede mevsimsel değişikliklere yol açabilir.

5.5.1.3.Mikrobiyal inaktivasyon mekanizmaları

UV dezenfeksiyonu ile inaktivasyon mekanizmaları kimyasal dezenfektanların mekanizmalarından oldukça farklıdır. Kimyasal dezenfektanlar mikroorganizmaları hücresel yapıları parçalayarak ya da zarar vererek, ve metabolizmayı, biyosentezi ve/veya büyümeyi engelleyerek inaktive ederler. UV dezenfeksiyonunda ise 240-280 nm arasındaki UV radyasyonu mikroorganizmaların DNA ve RNA'larındaki nükleik

asitlerin yapılarını bozarak inaktivasyonu gerçekleştirir (Rubin ve ark. 1981, Slade ve ark. 1986, Havelaar ve ark. 1990, Anonim 1999a). Bu bozulmanın nedeni nükleik asitlerin 240-280 nm'deki UV enerjisini büyük miktarlarda absorblamasıdır. Sitozin (DNA ve RNA'da), timin (sadece DNA'da), ve urasil (sadece RNA'da) pirimidin moleküllerinin temel 3 türüdür. UV absorbsiyonu sonucu oluşan DNA'daki zarar da genellikle pirimidin moleküllerinin dimerizasyonundan kaynaklanır. Şekil 5.37'de gösterildiği gibi adenin ile bağlanması gereken timin UV absorbsiyonu sonucu başka bir timinle bağlanıp dimerizasyona uğrayınca normal DNA replikasyonu gerçekleşmez, gerçekleşse bile bölünme özelliğini yitirmiş mutant hücreler meydana gelir (Snider ve ark. 1991, Anonim 1996). UV radyasyonu nükleik asitlerdeki pirimidin moleküllerine 6 çeşit mekanizma ile zarar verebilir:

• Tek ve çift sarmallı zincirler kırılabilir,

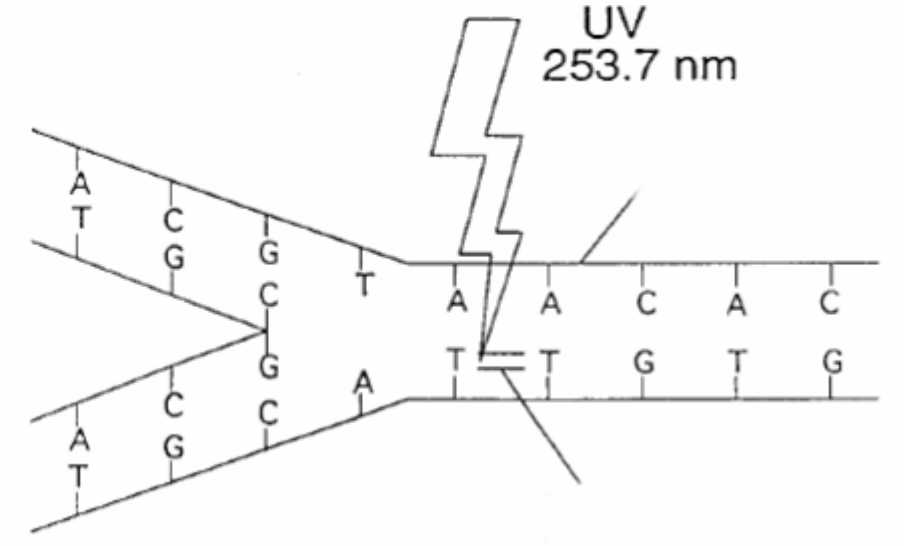
• DNA-DNA yan bağları bozulabilir,

• Protein-DNA yan bağları bozulabilir,

• Pirimidin hidratlar oluşabilir,

• Pirimidin-pirimodon foto-yan-ürünler oluşabilir ve

• Pirimidin dimerleri oluşabilir.



Şekil 5.37. UV radyasyonu ile DNA yapısının bozulup inaktivasyonun gerçekleşmesi (Anonim 1996,1999a)

Hücre bölünmesi için gerekli genetik kodlara sahip DNA ve RNA'nın yapılarının bozulmasıyla hücreler bölünüp çoğalamaz ve bölünemeyen bir hücre teknik olarak inaktive olmuş olur. Genel olarak mikroorganizmaların DNA'larına en çok zararı veren UV dalga boyu yaklaşık 254 nm'dir (Wolfe 1990, Von Sonntag ve Schuchmann 1992, Anonim 1996,1999a). Dolayısıyla, arıtma proseslerinde de çoğunlukla bu dalga boyu ile çalışılır.

5.5.1.4.UV radyasyonu üretimi

UV radyasyonu üreten lambalara güç sağlamak için elektrik enerjisi gereklidir. UV dezenfeksiyonunda kullanılan tipik lambalar, argon gibi inert bir gaz ve az miktarda civa ile doldurulmuş kuvartz bir tüpten oluşur. UV lambaları floresan lambalara çok benzer şekilde çalışırlar. UV radyasyonu, çoğu ünitelerde, UV enerjisini üretmek için iyonize civa buharıyla birlikte elektron akımıyla yayılır. Normal floresan ve UV lambaları arasındaki fark, floresan ampüllerinin, UV radyasyonunu görünür ışığa dönüştüren fosfor ile kaplanmış olmasıdır. UV lambaları ise fosforla kaplanmamıştır ve böylece ark tarafından üretilen UV radyasyonunu iletirler (Phillips 1983, White 1992, Anonim 1996,1999a). Gaz deşarjındaki civa, pek çok ticari UV lambalarından salınan UV'den sorumludur.

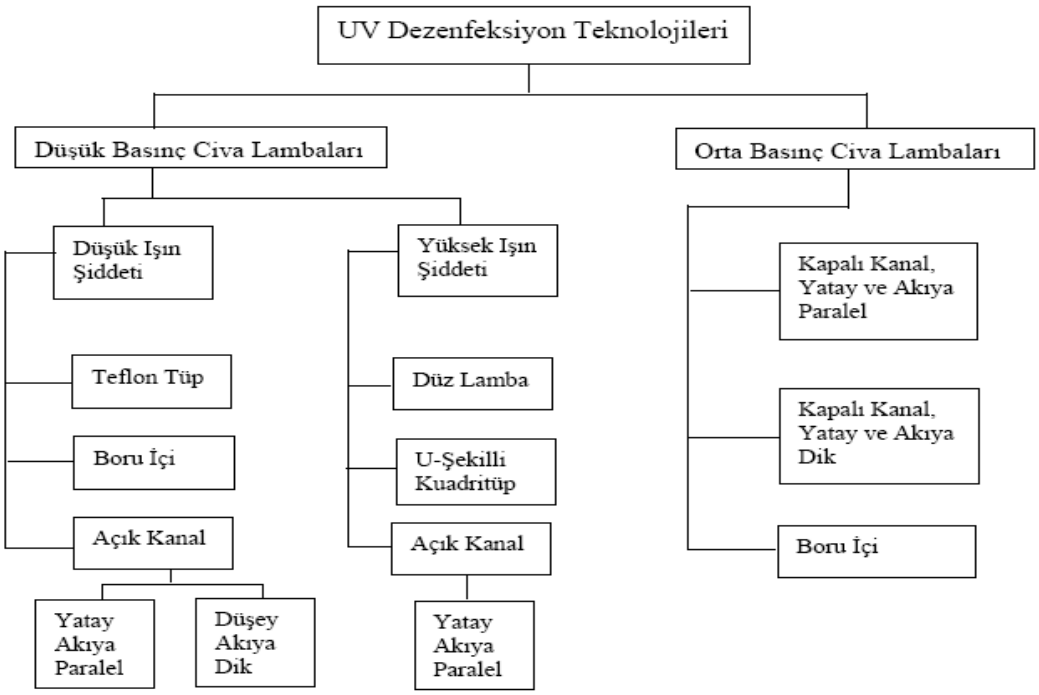
Dezenfeksiyon uygulamaları için düşük basınçlı ve orta basınçlı lambalar mevcuttur. Düşük basınçlı lambalar maksimum enerji çıkışlarını 253.7 nm dalga boyunda sağlarlar. Orta basınçlı lambalar ise 180–1370 nm dalga boyu aralığında enerji yayarlar. Orta basınçlı lambaların ürettiği UV şiddeti düşük basınçlı lambalardan oldukça fazladır. Bu nedenle, eşdeğer bir dozaj için, daha az sayıda orta basınçlı lamba kullanmak yeterli olur. Küçük tesisler için, orta basınçlı sistem tek bir lambadan oluşabilir. Organizmaların inaktivasyonu için her iki lamba türü de iyi çalışmasına rağmen küçük tesisler için düşük basınçlı lambalar tavsiye edilir. Çünkü tek bir orta basınçlı lambaya karşı, birkaç düşük basınçlı lambanın kullanılması işletim açısından (sürekli arıtım/su üretimi ve temizleme peryotları arasındaki yeterli işletim açısından) daha güvenilirdir (DeMers ve Renner 1992, Soroushian 1997, Parrotta ve Bekdash 1998).

Tipik düşük basınçlı lambalar, suyu lamba yüzeyinden ayırmak için, kuvartz bir tüple kuşatılmışlardır. Lamba yüzeyini optimum işletme sıcaklığı olan 40 ^{o}C'de tutmak için bu arajman gereklidir. Kuvartz tüplere alternatif olarak teflon tüpler mevcut olsa da, teflon tüpler UV radyasyonunun %35'ini absorblarken, kuvartz tüpler sadece %5'ini absorblarlar (Combs ve McGuire 1989). Bu yüzden, teflon tüpler tavsiye edilmezler. Balastlar UV lambalarına giden elektriği kontrol eden transformatörlerdir. Balastlar erken arızaları önlemek için 60 oC'nin altındaki sıcaklıklarda işletilmelidirler. Tipik olarak, balastlar çok yüksek ısı ürettiği için UV sisteminin bulunduğu ortamlarda soğutma fanları veya klimalar gereklidir (White 1992, Anonim 1996,1999a). Genel olarak, UV lambalarıyla kullanılan iki tip transformatör vardır: elektronik ve elektromanyetik. Elektronik balastlar elektromanyetik balastlardan çok daha yüksek frekansta çalışırlar. Bu da daha düşük lamba işletme sıcaklığı, daha az enerji tüketimi, daha az ısı üretimi, ve daha uzun balast ömrü demektir (DeMers ve Renner 1992).

5.5.1.5.UV dezenfeksiyon teknolojileri

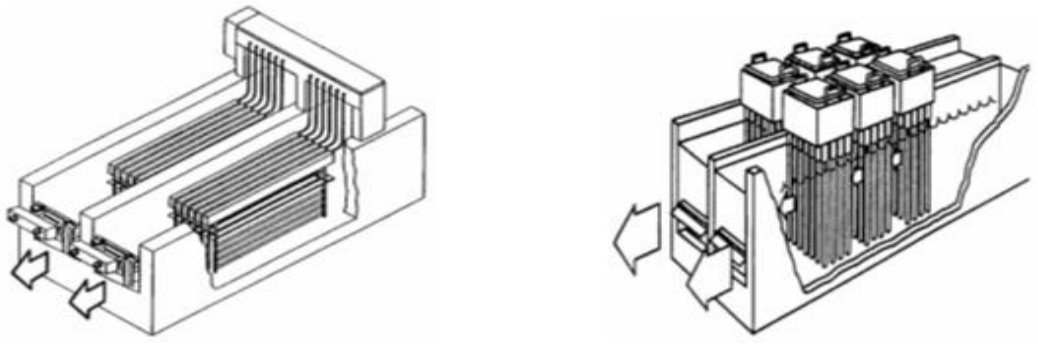
Atıksu ve içme suyu arıtımında uygulanan UV dezenfeksiyon teknolojileri ve konfigürasyonları Şekil 6.39'de şematik olarak gösterilmiştir (Soroushian 1997, Soroushian ve ark. 1996,1999). Tüm sistemlerdeki UV radyasyonu kaynağı civa buharlı lambalardır. Düşük ve orta basınçlı lambalardaki civa buharı basınç aralıkları elektrik enerjisini radyasyona en yüksek oranda dönüştürür. Düşük basınçlı lambalar UV radyasyonu üretiminde daha verimli olmalarına rağmen toplam üretilen UV radyasyonu açısından orta basınçlı lambalardan daha zayıftırlar.

UV dezenfeksiyon teknolojileri ve konfigürasyonları Şekil 5.38'de gösterilmiştir.



Şekil 5.38. UV dezenfeksiyon teknolojileri ve konfigürasyonları (Soroushian 1997, Soroushian ve ark. 1996,1999)

Konvansiyonel düşük basınçlı lamba kullanılan dezenfeksiyon sistemlerinde üç temel reaktör dizaynı vardır: açık kanal, kapalı kanal, ve teflon tüpler. Yeni uygulamalar lambaları yatay ve akıya paralel veya düşey ve akıya dik olan modüler açık kanal sistemleridir (Şekil 5.39a ve 5.39b).



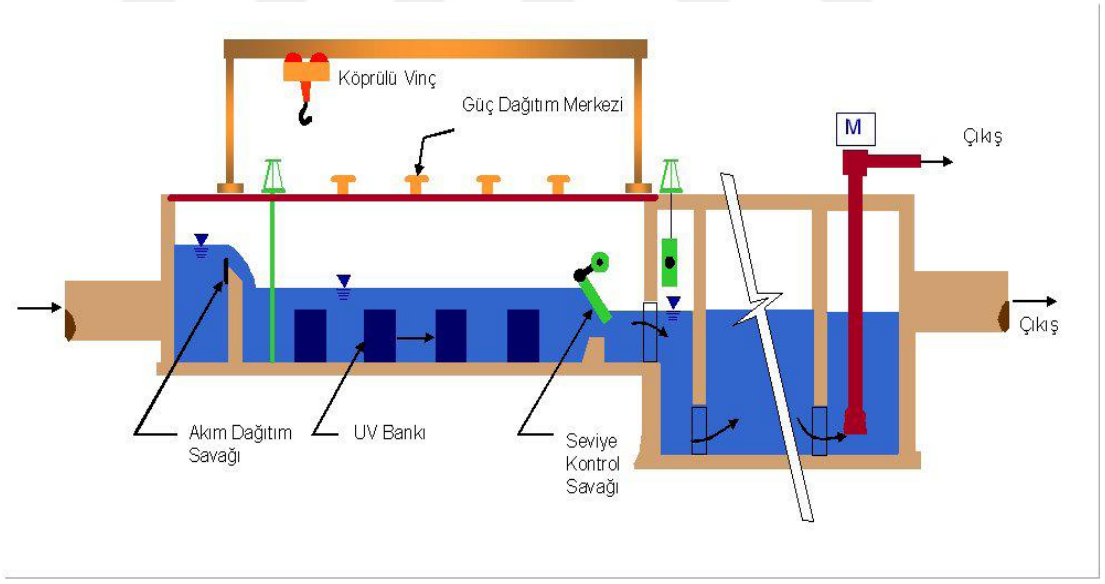
(a) (b)

Şekil 5.39. a-Açık kanal, yatay ve akıya paralel UV lambalı reaktörler b-Açık kanal, düşey ve akıya dik UV lambalı reaktörler (Kitiş 2003)

Kapalı kanal ve teflon tüp gibi diğer uygulamalar, 1980'lerin başlarında UV teknolojileri gelişmekte iken sıklıkla kullanılmıştır. Günümüzde bu tür konfigürasyonlar artık seyrek uygulanmaktadır. Kapalı kanal UV lambalı reaktörler Şekil 5.40 ve Şekil 5.41'de gösterilmiştir.

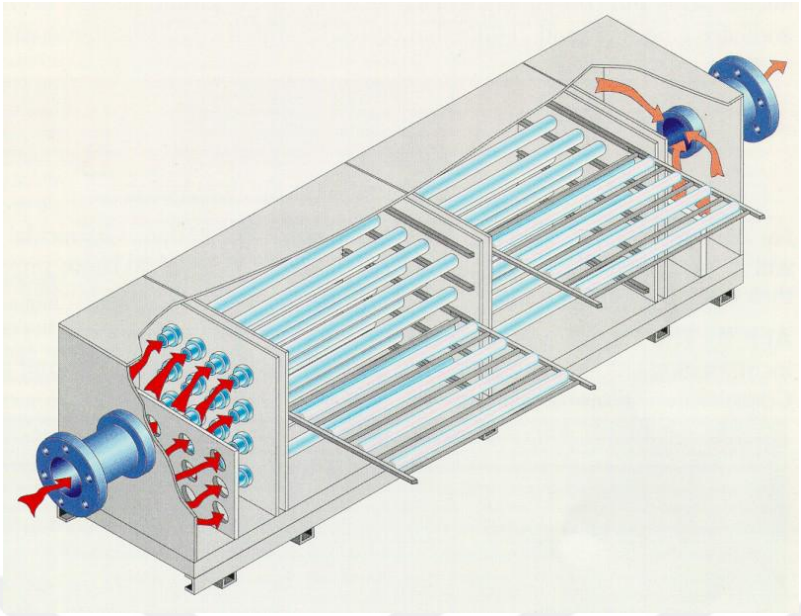


Şekil 5.40. Kapalı kanal, yatay ve akıya paralel UV lambalı reaktörler (Kitiş 2003)



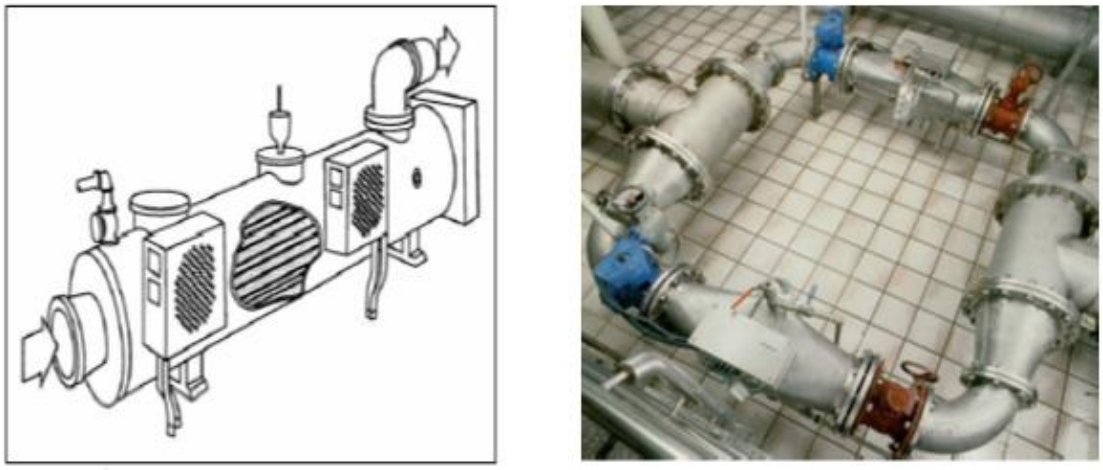
Şekil 5.41. Kapalı kanal UV sistemi (Kitiş 2003)

Şekil 5.42'de teflon tüp dizaynı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.42. Teflon tüp UV reaktörü (Kitiş 2003)

Düşük basınçlı yüksek ışın şiddetindeki UV sistemleri nispeten yeni uygulamalardır. Düz lamba teknolojisi kapalı kanallarda daha çok içme suyu dezenfeksiyonunda uygulanır. Konvansiyonel lambalar ise açık kanallarda atıksu dezenfeksiyonunda uygulanır. Orta basınçlı yüksek ışın şiddetindeki UV sistemleri 1980'lerin sonlarından beri Kuzey Amerika'da atıksu dezenfeksiyonunda kullanılmaktadır. Bu tür lambaların uygulandığı üç tür dizayn mevcuttur: yatay ve akıya paralel, düşey ve akıya dik, ve boru içi. Şekil 5.43a ve 5.43b'de boru içi UV reaktör dizaynları gösterilmiştir (Kitiş 2003).



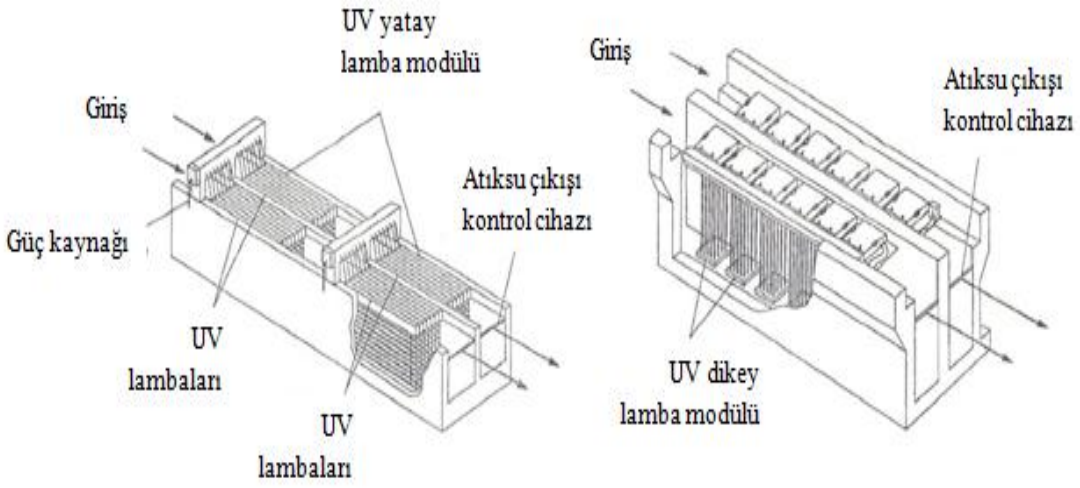
Şekil 5.43. a-boru içi UV reaktörü b-boru içi düz lambalı UV reaktörü (Kitiş 2003)

5.5.1.6. Atıksuların yeniden kullanımında tercih edilen uv dezenfeksiyon konfigürasyonları

Yeniden kullanılan atıksuların dezenfeksiyonu için uygulanan UV sistemleri akışın açık veya kapalı kanallarda olmasına göre sınıflandırılır. Bu sistemlerin konfigürasyonları aşağıda tanımlanmıştır.

a) Açık kanal dezenfeksiyon sistemleri:

Yeniden kullanılan atıksuların dezenfeksiyonu için uygulanan düşük basınç, düşük ve yüksek yoğunluklu açık kanal UV sistemlerinin temel bileşenleri Şekil 5.44'de gösterilmiştir. Lambanın yerleşimi akışa yatay ve paralel (Şekil 5.44a) ya da düşey ve dik (Şekil 5.44b) olabilir.

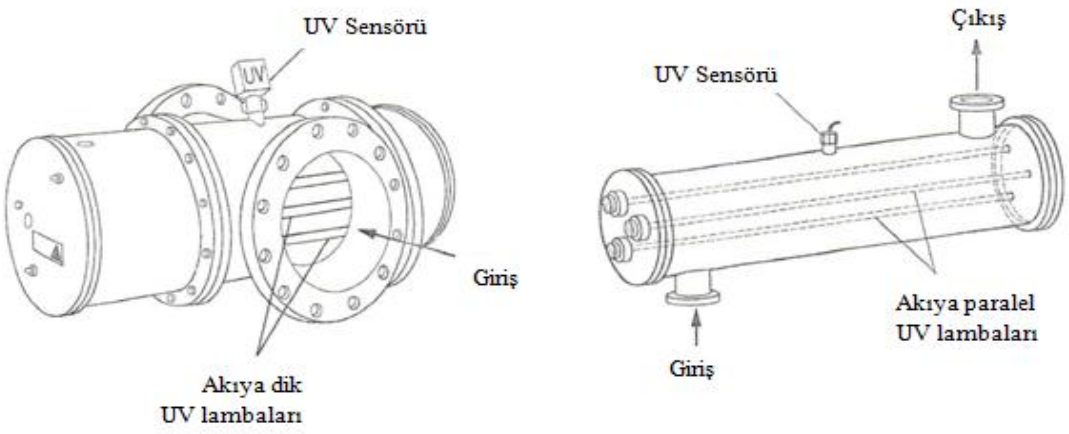


(a) (b)

Şekil 5.44. Açık kanal UV sistemlerinin temel bileşenleri (Metcalf 2006)

b) Kapalı kanal dezenfeksiyon sistemleri:

Birçok düşük ve orta basınçlı, yüksek yoğunluklu UV dezenfeksiyon sistemleri kapalı kanallarda dizayn edilir. Akış yönüne dik yerleştirilen kapalı kanal UV lambalar Şekil 5.45a'da, akış yönüne paralel yerleştirilen kapalı kanal UV lambalar ise Şekil 5.45b'de gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 5.45. Kapalı kanal UV sistemlerinin temel bileşenleri (Metcalf 2006)

5.5.1.7.UV Reaktör Dizaynı

Konvansiyonel UV reaktörleri çoğunlukla iki tiptir: kapalı reaktör ve açık kanal. İçme suyu dezenfeksiyonu uygulamalarında genellikle aşağıdaki sebeplerden dolayı kapalı reaktör tercih edilir (Anonim 1996):

• Daha küçük alan ihtiyacı,

• Minimum hava kaynaklı madde kirliliği,

• Personelin UV'ye minimum maruz kalması, ve

• Tesisat kolaylığı için modüler dizayn.

Konvansiyonel UV dezenfeksiyon sistemlerinin diğer dizayn özellikleri şöyle sıralanabilir:

• UV lambasının çıkış şiddetindeki düşüşleri gösteren UV sensörleri,

• Alarmlar ve kapatma sistemleri,

• Otomatik veya manuel temizleme peryotları, ve

• Uzak tesisler için uzaktan elektronik kontrol sistemleri.

Kapalı bir UV reaktörünün dizaynında dikkate alınması gereken temel unsurlar dispersiyon, türbülans, etkin hacim, hidrolik tutulma süresi dağılımı, ve debidir (Anonim 1996; Lyn ve ark. 1999). İdeal bir UV reaktörü ardışık sürekli akımlı reaktör karakteristiklerine sahip olup, minimum dispersiyona izin vermelidir. Böylece, reaktör içinden geçen her bir su elementi yaklaşık aynı tutulma süresinde reaktör içinde kalır. Ardışık reaktör karakteristiklerine ek olarak, ideal bir UV reaktörü, ölü noktaları elimine etmeyi sağlayan akım yönünden radyal olarak türbülanslı bir akıma sahip olmalıdır. Bu radyal türbülanslı akım tipi UV radyasyonunun suya üniform uygulanmasını artırır. Radyal türbülanslı akımın bir dezavantajı, bir miktar aksiyel dispersiyon oluşturması, böylece de ardışık reaktör akım karakteristiklerinin engellenmesidir. Giriş ve çıkış noktalarının kasti olarak dengesiz konumlanması ve delikli sabit plakaların kullanılmasıyla ardışık reaktör akım karakteristikleri ve türbülanslı akım arasındaki çelişkili durum ortadan kaldırılmaya çalışılır (Anonim 1996). UV sistemlerin tipik dizayn parametreleri Çizelge 5.21'de verilmiştir.

Çizelge 5.21. UV sistemlerin tipik dizayn parametreleri (Anonim 2016c).

Dizayn parametreleri	**Tipik dizayn değerleri**
UV dozu	20 - 140 mW/-s/cm^2
Temas süresi	6 - 40 saniye
UV şiddeti	3 - 12 mW/-s/cm^2
Atıksuyun UV gerçirgenliği	50 - 70%
Atıksu hızı	2 - 15 inç /saniye

Her dezenfeksiyon uygulamasında, dizayn öncesi, UV'nin verimini ve yeterliliğini saptamak için öncelikle pilot tesisde denemeler yapılıp gerekli verilerin (dozaj tespiti gibi) toplanması tavsiye edilmektedir. Pilot tesis yeterlilik testinde giriş suyuna konsantrasyonu belli bir mikroorganizma (genellikle MS2 faj virüsü) dozlanır, ve UV teması sonucu çıkış suyu numunelerinde konsantrasyonlar ölçülüp giderim verimi tespit edilir. Bu pilot testler, değişik UV dozlarında ve işletim şartlarında, bir kaç hafta süreyle devam ettirilir. İçme suyu UV dezenfeksiyonu için 'The National Science Foundation' mevzuatı (Standart 55), eğer UV transmisyonu % 75'den azsa UV dezenfeksiyonunun

kullanılmamasını önermektedir. Eğer doğal suyun UV transmisyonu % 75'den azsa, transmisyonu artırmak için UV sisteminden önce diğer arıtma prosesleri uygulanmalı (filtrasyon gibi), ya da farklı dezenfektanlar kullanılmalıdır (Chiu ve ark. 1999).

UV dezenfeksiyon tesisleri değişken debilere karşı esneklik sağlayacak şekilde dizayn edilmelidir. Küçük debiler için tek bir UV reaktörü yeterli olabilir. Birinci reaktör servis dışı kaldığında, yedek amaçlı eşit kapasitede ikinci bir reaktör tasarlanmalıdır. Yüksek debiler için multi-reaktör sistemi uygulanır. Bu reaktörler aşırı hidrolik yüklemeyi engellemek ve her reaktöre gelen debiyi dengelemek için, debi ayırma kapasitesine ve lead/lag kontrol sistemine sahip olmalıdır. Reaktörleri birbirinden izole etmek için vanalar kullanılır. Ayrıca, reaktör servis dışı kaldığında içindeki suyu boşaltmak için pozitif drenaj sistemi kullanılır. Reaktörler içine yerleştirilmiş on-line UV ışın şiddeti metreleri (probları) ile lambalardan çıkan radyasyon tespit edilir (DeMers ve Renner 1992, White 1992). Bu ışın şiddeti okumaları ve reaktörlerden geçen debinin tespiti ile uygulanan UV dozu saptanır.

5.5.1.8.UV radyasyonu dezenfeksiyon etkinliği

UV ile dezenfeksiyon bakteri ve virüsleri etkin bir şekilde inaktif hale getirir. UV'nin genel olarak klor ve kloraminlere göre mikroorganizmaları inaktive etme gücünün daha fazla olduğu birçok çalışmada tespit edilmiştir (Slade ve ark. 1986, Anonim 1996,1999b). Pek çok bakteri ve virüsleri inaktif hale getirmek için oldukça düşük dozda UV gerekir, bu değer tipik olarak 1 log'luk (%90) inaktivasyon için 2-6 mW.sn/cm^2 aralığındadır (Kruithof 1989, AWWA 1991, Lindenauer ve Darby 1997). Protozoa sistleri ise, özellikle Giardia ve Cryptosporidium, UV inaktivasyonuna diğer mikroorganizmalardan çok daha dayanıklıdır ve daha yüksek UV dozu gerektirir (Karanis 1992, Campbell ve ark.1995, Clancy ve ark. 1997). Ayrıca, Giardia inaktivasyonu için gerekli dozu etkileyen iki etmen mevcuttur: parazitin kaynağı ve organizmanın bulunduğu büyüme aşaması (Karanis 1992). Çizelge 5.22 bazı su kaynaklı mikroorganizmaların inaktivasyonu için gerekli UV dozlarını özetlemektedir.

Çizelge 5.22. Bazı su kaynaklı mikroorganizmaların inaktivasyonu için gerekli UV dozları (Karanis 1992)

Mikroorganizma	Gerekli UV Dozu (mW.sn/cm^2)	
	1-Log İnaktivasyon	3-Log İnaktivasyon
Su Kaynaklı Bakteriler		
Campylobacter jejuni	1.1	1.8-3.8
Escherichia coli	1.3-3.0	3-7
Klebsiella terrigena	3.9	9.1
Legionella pneumophila	0.92-2.5	2.8-7.4
Salmonella typhi	2.1-2.5	6.6-7.0
Shigella dysenteriae	0.89-2.2	2.1
Vibrio cholerae	0.65-3.4	2.2-2.9
Yersinia enterocolitica	1.1	2.7-3.7
Su Kaynaklı Enterik Virüsler, Bakteri Sporları ve Kolifajlar		
Adenovirus strain	23.6-30.0	80-90
Coxsackie virus	11.9-15.6	25-46.8
Echovirus type	10.8-12.1	32.5-36.4
Hepatitis A virus	3.7-7.3	15-21.9
Poliovirus type	5-12	23.1-36.1
Reovirus	15.4	45-46.3
Rotavirus	8.0-9.9	25-30
Bacillus subtilis spores	14.2	39.9
Coliphage MS2	18.6	55-65

Not: UV dezenfeksiyonu sırasında sudaki fizikokimyasal şartlar optimize edilerek veriler elde edilmiştir (suda düşük UV absorbsiyonu, düşük bulanıklık, agregasyonu azaltmak için UV öncesi filtrasyon yapılması gibi).

Farklı atıksularda toplam koliform dezenfeksiyon standartlarına ulaşmak için gerekli UV dozları Çizelge 5.23'de verilmiştir.

Çizelge 5.23. Farklı atıksularda toplam koliform dezenfeksiyon standartlarına ulaşmak için gerekli UV dozları (Metcalf 2006)

Atıksuları türü	**İlk koliform sayısı, MNP/100 mL**	**UV dozu, mJ/cm^2**			
		Atıksu çıkış standardı, MNP/100 mL			
		1000	**200**	**23**	**≤2.2**
Ham atıksu	10^7-10^9	90-130			
Birincil atıksu çıkışı	10^7-10^9	90-130			
Damlatmalı filtre çıkışı	10^5-10^6	40-50	50-70	70-90	90-110
Aktif çamur çıkışı	10^5-10^6	40-50	50-70	70-90	90-110
Filtrelenmiş aktif çamur çıkışı	10^4-10^6	35-45	50-60	70-80	80-100
Nitrifikasyon çıkışı	10^4-10^6	35-45	50-60	70-80	80-100
Filtrelenmiş nitrifikasyon çıkışı	10^4-10^6	30-40	50-70	70-80	80-100
Mikrofiltrasyon çıkışı	10^1-10^3		25-35	30-40	40-50
Revers ozmos	**~0**	-	-	-	5-10
Septik tank çıkışı	10^7-10^9	90-130			
Aralıklı kum filtresi çıkışı	10^2-10^4		10-15	30-40	50-60

5.5.1.9.UV dezenfeksiyon sistemi işletim esasları

UV lambalarının çıkış şiddeti zamanla azalır. Lambaların performansını iki faktör etkiler: solarizasyon ve elektrot bozulması. Solarizasyonda UV radyasyonunun kendisi lambanın koyulaşmasına ve geçirgenliğinin azalmasına neden olur. Elektrot bozulması ise lambalar açılıp kapatıldıkca zamanla gerçekleşir. Lambaların sık sık açılıp kapatılması lamba ömrünün erken tüketilmesine neden olur. UV dozu gereksinimi saptanırken, UV çıkış şiddetindeki %30 azalma, lamba ömrünün dolduğu nokta olarak kabul edilir. Düşük basınçlı UV lambaları için tahmini ortalama ömür yaklaşık olarak 8800 saattir. Kuvartz tüplerin tıkanması suya ulaşan UV radyasyonu miktarını azaltır. Kuvartz tüpler yeni ve temizken %90 transmisyona sahiptir. Zamanla, kuvartz tüplerin suya temas eden yüzeyleri, iletkenliğin azalmasına sebep olan organik ve inorganik kalıntılar toplar, ve bu da kuvartz tüpten suya transmisyonu azaltır (Anonim 1996). UV dezenfeksiyon sistemlerinin işletiminde, kuvartz tüplerin UV transmisyonundaki %30 azalma kuvartz tüplerin tıkandığının göstergesi olarak kabul edilir. Reaktör çevresinde, UV lambalarının değiştirilmesi ve bakımı sırasında geçişi sağlayan boşluklar bırakılmalıdır. Modüler elektrik bağlantıları ile lamba değiştirme işlemi, eski lambayı söküp, devre dışı bırakıp, yeni lambayı takmak şeklindedir. Kuvartz tüplerin temizliği kimyasal ve fiziksel yollarla yapılabilir. Fiziksel yöntemler: otomatik mekanizmalı silici, ultrasonik cihazlar, yüksek basınçlı suyla yıkama, ve basınçlı havayla temizlemedir. Kimyasal temizleyiciler sülfürik ve hidroklorik asit içerir. Bir UV reaktöründe bir ya da daha fazla fiziksel temizlik sistemi bulunabilir. Buna ek olarak, ihtiyaç olabilmesi durumunda, kimyasal yöntemle temizleme sistemi de tasarıma eklenir. UV sistemlerinde etkili işletim ve bakım şunları gerektirir: peryodik denetimler, hassas duyarlılık için ışın şiddet metresinin kalibrasyonu ve reaktörün iç kısmının gözden geçirilmesi ve/veya temizliği. UV radyasyonu üretimi ciddi miktarlarda elektrik enerjisi gerektirir. Arıtmada kesiksiz dezenfeksiyon önemli olduğu için UV sistemleri elektrik kesintilerine ya da arızalarına karşı önlemli olarak tasarlanmalıdır. Kesiksiz işletim için dual besleme sistemi veya standby jeneratörler gerekir. Her bir düşük basınçlı UV lambası yaklaşık 100 watt standby enerjisi gerektirir. Diğer bir önlem de tüm UV sistemini aynı motor kontrol merkezinden beslememektir (Anonim 1996).

5.6.Arıtma yöntemlerinin sulama suyu üretimi açısından değerlendirilmesi

Atıksuların yeniden kullanımındaki teknoloji gereksinimi, suyun kullanım maksatları ile ilişkilidir. Kentsel atıksular tarımsal veya yeşil alan sulamasında kullanılacak ise iyi bir şekilde dezenfekte edilmiş biyolojik arıtma çıkışı gerekir. Doğrudan veya dolaylı yeniden kullanım söz konusu ise membran teknolojileri, aktif karbon ve ileri oksidasyon gibi daha ileri arıtma alternatifleri gerekir. Atıksuyun yeniden kullanımı için seçilecek teknoloji tipini etkileyen faktörler; atıksuyun nerede kullanılacağı, atıksu karakteristikleri, kullanılacak atıksuyun kalitesi, eser elementlerin miktarı, mevcut duruma uyumu, prosesin esnekliği, işletme, bakım, enerji, kimyasal madde ve personel ihtiyacıdır. Çeşitli arıtma prosesleri ve giderim verimleri Çizelge 5.24'de verilmiştir.

Çizelge 5.24. Çeşitli arıtma prosesleri ve giderim verimleri (Metcalf 1991)

Arıtma Metodu	**Giderim Verimler, %**					
	$BOİ_5$	**KOİ**	**AKM**	**TP**	**Org-N**	**NH_3-N**
İlk Arıtma	-	-	5-10	-	-	-
Ön çökeltim	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0
Aktif Çamur	80-85	80-85	80-90	10-25	15-50	8-15
Damlatmalı Filtre	60-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15
Dezenfeksiyon	-	-	-	-	-	-
Koagülasyon ve çöktürme	40-70	40-70	50-80	70-90	50-90	-
Koagülasyon ve biyolojik arıtma	80-90	80-90	70-90	75-85	60-90	-
Biyolojik arıtmadan sonra kireç ilavesi	50-70	50-70	60-80	70-90	60-90	-
Biyolojik arıtmaya kireç ilavesi	80-90	80-90	70-80	75-85	60-90	-

Çizelge 5.24. Çeşitli arıtma prosesleri ve giderim verimleri (devam)

Arıtma Metodu	**Giderim Verimler, %**					
	$BOİ_5$	**KOİ**	**AKM**	**TP**	**Org-N**	**NH_3-N**
Nitrifikasyon ve BOİ giderimi	80-95	80-90	70-90	10-15	75-85	85-95
Nitrifikasyon (ayrı)	50-70	50-60	-	-	40-50	90-96
Denitrifikasyon	-	-	-	-	-	-
Amonyak sıyırma	-	-	-	-	-	60-95
Kırılma noktası klorlaması	-	-	-	-	60-85	80-90
İyon değiştirme	-	-	-	-	-	90-95
Filtrasyon	20-50	20-50	60-80	20-50	50-70	-
Karbon adsorbsiyonu	50-85	50-85	50-80	20-30	30-50	-
Ters osmoz	90-100	90-100	-	90-100	90-100	60-90
Elektrodiyaliz	20-60	20-60	-	-	80-95	30-50

Arıtma metodu seçilirken BOİ giderimi önemli olmakla birlikte tek parametre değildir. Birçok durumda azot ve fosfor gibi besi maddeleri ile koliform ve helminitler (bağırsak solucanları) gibi organizmaların giderimine de en az BOİ giderimi kadar önem verilmelidir. Göz önünde bulundurulması gereken diğer faktörler ise kötü koku potansiyeli, çamur işleme zorlukları, verim ve diğer işletme özellikleridir.

Çizelge 5.25'te atıksu arıtma sistemleriyle ilgili önemli parametreler verilmektedir.

Çizelge 5.25. Farklı atıksu arıtma metodlarında arıtım verimlerinin karşılaştırması (Öztürk 2005)

Arıtım	BOİ %	Azot %	Fosfor %	Koliform %	Helmint %	Arazi ihtiyacı, m^2/kişi	Enerji gereksinimi KWsaat/ kişi-yıl
Uzun havalandırmalı AÇ	95-98	15-30	10-20	60-90	–	0,15-0,2	16-19
Konvansiyonel aktif çamur	85-92 (a)	30-40 (a)	30-45 (a)	60-90	–	0,2-0,25	12-15
Konvansiyonel damlatmalı filtre	80-90	15-20	10-20	60-90	–	0,2-0,3	7-11
Fakültatif havalı lagun	75-85	–	–	60-90	–	0,3-0,4	12-15
HÇYR	75-85	–	–	–	Evet	0,15-0,2	Yok
Stabilizasyon Havuzu	75-85	40-50	20-60	60-99,9	Evet	1-2,8	Yok
Arazide arıtma/sulama	80-90	80-90	90-99	90-99	–	10-20	Yok

(a) kontrollü işletme ile ilave besin (azot+fosfor) giderimi sağlanabilir.

Bir evsel atıksuyun sulama suyu olarak yeniden kullanılmasında su kalitesi açısından kullanılabilecek en önemli indikatörler, koliform ve patojen mikroorganizma konsantrasyonudur.

Atıksu Arıtma Tesisler Teknik Usuller Tebliği'nde verilen atıksuyun yeniden kullanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler Çizelge 5.26'da verilmiştir

Çizelge 5.26. Atıksuyun yeniden kullanımı için uygulanan arıtma teknolojileri ve giderdikleri kirleticiler (Anonim 2010)

Arıtma birimleri	**Askıda katı madde**	**Kolloidal maddeler**	**Partiküler organik madde**	**Çözünmüş organik madde**	**Azot**	**Fosfor**	**Eser maddeler**	**Toplam çözünmüş madde**	**Bakteri**	**Protozoa**	**Virüs**
İkincil arıtma	**X**			**X**							
Nütrient giderimi				**X**	**X**	**X**					
Filtrasyon	**X**								**X**	**X**	
Yüzey filtrasyonu	**X**		**X**						**X**	**X**	
Mikrofiltrasyon	**X**	**X**	**X**						**X**	**X**	
Ultrafiltrasyon	**X**	**X**	**X**						**X**	**X**	**X**
Flotasyon	**X**	**X**	**X**							**X**	**X**
Nanofiltrasyon			**X**	**X**			**X**	**X**	**X**	**X**	**X**
Ters osmoz				**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**
Elektrodiyaliz		**X**						**X**			
Karbon adsorpsiyonu				**X**			**X**				
İyon değiştirme					**X**		**X**	**X**			
İleri oksidasyon			**X**	**X**			**X**		**X**	**X**	**X**
Dezenfeksiyon				**X**					**X**	**X**	**X**

Çizelge 5.27'de ise değişik arıtma sistemlerinin logaritmik mikroorganizma giderme verimleri verilmiştir. Uygulanan ileri arıtma sistemleri ile birlikte, arıtılan su kalitesi de yükselmiştir.

Çizelge 5.27. Değişik arıtma sistemlerinin logaritmik miroorganizma giderme verimleri (Anonim 2010)

	Arıtma sistemleri					
	Birincil arıtma	**İkincil arıtma**		**Üçüncül arıtma**		**İleri arıtma**
	Ön çöktürme	Aktif çamur	Damlatmalı filtre	Filtrasyon	Mikrofiltrasyon	Ters osmoz
Fekal koliform	<0.1-0.1	0-2	0.8-2	0-1	1-4	4-7
Salmonella	<0.1-2	0.5-2	0.8-2	0-1	1-4	4-7
Cyryptosporidium	0.1-1	1		0-3	1-4	4-7
Giardia	<1	2		0-3	2-6	>7
Enterik virus	<0.1	0.6-2	0-0.8	0-1	0-2	4-7

Atıksular arıtma işleminden sonra, tarımsal sulamada, golf sahalarının sulamasında, yeşil alan sulamasında, dinlenme maksatlı kullanılan sulak alanların beslenmesinde ve endüstriyel proses suyu olarak kullanılabilmektedir. Atıksu yeniden kullanım amacı ve uygulanabilecek teknolojiler ise Çizelge 5.28'de verilmiştir.

Çizelge 5.28. Atıksuyun yeniden kullanım amacı ve uygulanabilecek arıtma sistemleri (Anonim 2010)

Atıksuyun yeniden kullanım amacı	**Arıtma sistemleri**
Tarımsal sulama	Klasik aktif çamur + filtrasyon + klorlama
Golf sahaları sulama	Nitrifikasyon içeren aktif çamur sistemi + kimyasal fosfor giderimi + (filtrasyon) + klorlama
Yeşil alan sulama	Azot gideren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + UV
Dinlenme maksatlı kullanılan sulakalanları besleme	Azot ve fosfor giderimini içeren MBR + UV
Dolaylı kullanım suyu (Yeraltı suyuna veya yüzeysel sulara deşarj)	Nitrifikasyon içeren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + ters osmoz + UV/H_2O_2
Endüstriyel soğutma suyu	Azot gideren aktif çamur sistemi + mikrofiltrasyon + UV
Endüstriyel proses suyu	Azot gideren aktif çamur sistemi + filtrasyon + nanofiltrasyon + iyon değiştirme + UV

Arıtılmış suların tarımda kullanılması durumunda, arıtma ihtiyacı suyun kimyasal içeriği, tuzluluk, geçirimlilik gibi diğer faktörleri de göz önünde bulundurulmak kaydıyla bitki tipi ve örnek bitkiler Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde özetlenmiştir. Arıtma ihtiyacı genel olarak ikinci kademeden sonra dezenfeksiyon ile ifade edilmiştir. Ham olarak tüketilen sebzeler için dezenfeksiyon öncesi filtrasyon ihtiyacı olduğu belirtilmiştir. Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler Çizelge 5.29'da verilmiştir.

Çizelge 5.29. Arıtılmış atıksu ile sulanabilecek bitkiler (Anonim 2010)

Tip	**Örnek**	**Arıtma ihtiyacı**
Tarla bitkileri	Arpa, mısır, yulaf	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Lifli ve çekirdekli bitkiler	Pamuk	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Ham olarak tüketilen sebzeler	Avokado, lahana, salatalık, çilek	İkinci kademe + filtrasyon + dezenfeksiyon
Belli bir işlemden sonra tüketilen sebzeler	Enginar, şeker pancarı, şeker kamışı	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Meyve bahçesi ve üzüm bağları	Kayısı, portakal, şeftali	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Fidanlık	Çiçek	İkinci kademe + dezenfeksiyon
Ormanlık alanlar	Kavak vb.	İkinci kademe + dezenfeksiyon

Dezenfeksiyon, arıtılmış atıksu için çok önemlidir. Arıtılmış evsel atıksuların dezenfekte edilmeden sulamada kullanılıp kullanılamayacağı, Çizelge 5.30'da verilmiştir.

Çizelge 5.30. Arıtılmış evsel atıksuların dezenfekte edilmeden sulamada kullanılıp kullanılamayacağı (Anonim 2010)

	Tarla		**Çayır-Mera**		**Sebze**		**Yem Bitkisi**		**Meyvecilik**		**Koru Ormanlık**
	BY	**BV**	**BY**	**BV**	**BY**	**BV**	**BY**	**BV**	**BY**	**BV**	
Biyolojik Arıtma tesisi veya en az 2 saat beklemeli çöktürme havuzu şeklindeki ön arıtma tesisi çıkış suları	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+
Havalı stabilizasyon havuzları veya lagünlerin çıkış suları	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+

(-) Su kullanılamaz, (+) Su kullanılabilir, BV: Bitki varsa, BY: Bitki yoksa

6. SEPTİK TANKLAR KULLANILARAK EVSEL ATIKSULARDAN SULAMA SUYU ÜRETİMİ

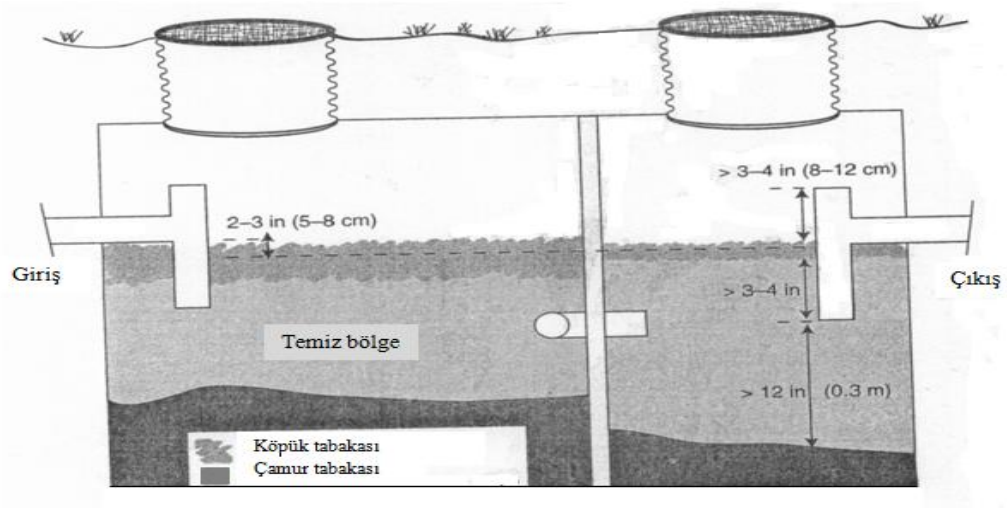
Septik sistemler uygun planlanıp kurulduğunda ve düzenli bakımı yapıldığında düşük yoğunluklu yerleşimler için basit, düşük maliyetli aynı zamanda da çevre dostu bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Uygun dezenfeksiyon yönteminin seçildiği septik sistemlerde atıksuların yeniden kullanımı mümkün olmaktadır.

Bu bölümde septik tank dizaynı ve üretim teknolojisi açıklanacaktır. Zemin türüne bağlı olarak septik sistemlerin sınıflandırılması yapılacak ve septik tankların işletimi ve bakımı anlatılacaktır. Septik tanklarda giderilen maddeler ve atıksuların yeniden kullanımı amacıyla uygulanabilecek akış diyagramları verilecektir. Evsel atıksulardan septik tanka gelen atıksu bileşenleri ve septik tankların kullanıldığı çeşitli kombinasyonlara ait elde edilen arıtma seviyeleri tablo halinde özetlenecektir.

6.1. Septik Tank Dizaynı ve Üretim Teknolojisi

Septik tank ham atıksuların hareketini yavaşlatan su sızdırmaz tank olarak dizayn edilir.

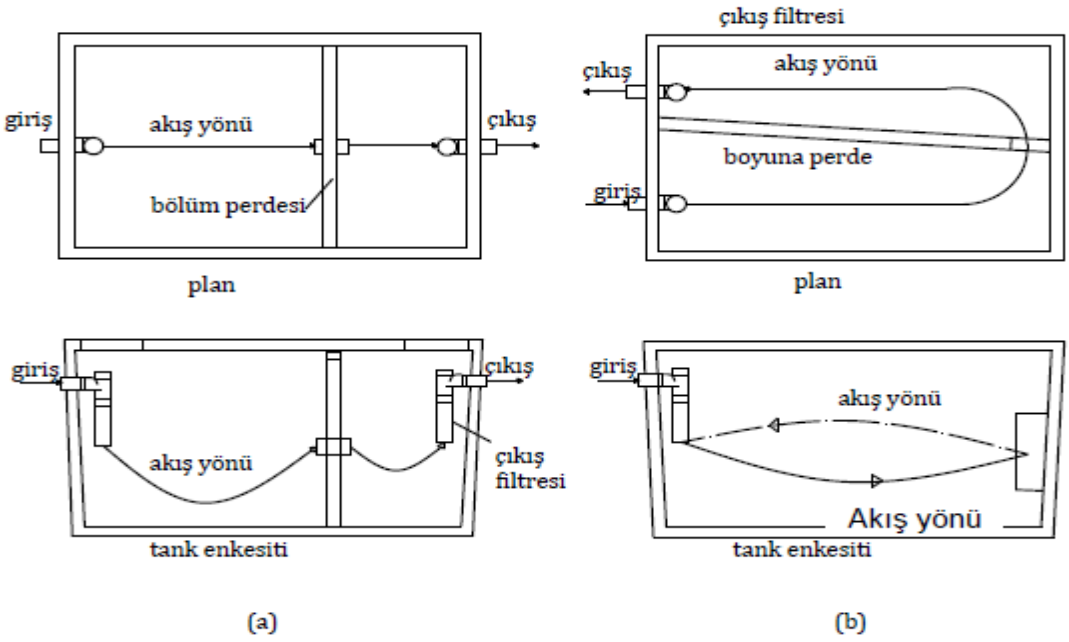
Şekil 6.1'de birincil arıtma olarak kullanılan septik tankın bazı temel bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Septik tankın temel bileşenleri (Parten 2010)

6.1.1. Septik tanklar

Septik tank şekli dikdörtgen olup genellikle iç hacmi ikiye ayıran bir duvar yer almaktadır (Şekil 6.2). İkiye bölünmüş tanklarda atıksu girişinin olduğu büyük hacim toplam hacmin 2/3'ü kadardır. Havuz hacminin ikiye bölünmesi işlemi iki türlü yapılabilir. Geleneksel kullanımı Şekil 6.2a'da verilen enine bölme olup havuzu boyuna bölmek daha avantajlıdır. Şekil 6.2b'de görülen boyuna bölme akış süresini artırdığı için arıtma verimini de artırması beklenir (Anonim 2006).



Şekil 6.2. Septik tank şekli (Crites ve Tchobanoglous 1998)

Septik tank kapasitesi günlük atıksu debisine bağlı olarak Çizelge 6.1'de verilen değerlere göre hesaplanabilir.

Çizelge 6.1. Atıksu debisine bağlı tank hacimleri (Anonim 2006)

Atıksu debisi, L/gün	Septik tank hacmi, L
0 – 1900	3400
2300-2700	4500
3000-3400	5700
3800-4700	7200
7600-9500	12000
17000-19000	22000

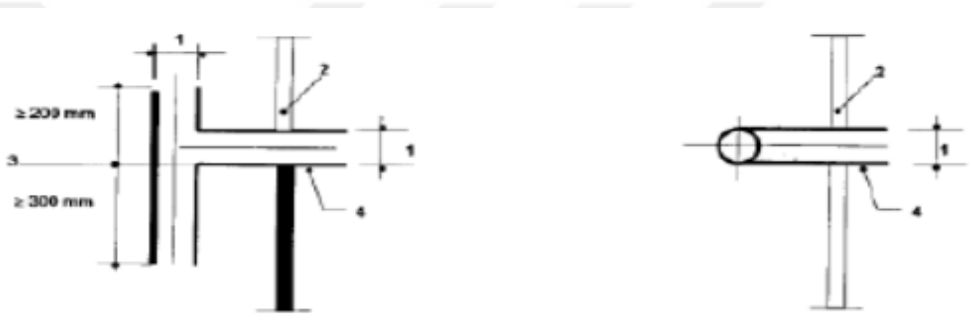
6 m^3'lük bir septik tankın boyutları w= 1.4 m, L= 2.4 m ve h= 1.8 m alınabilir. L/W boyutlandırma da kullanılan en önemli orandır. 4 m^3'lük tanklarda L/W oranı 1,5 iken 6 m^3'lik reaktörde bu oran yaklaşık 2'dir. Daha büyük tanklarda L/W oranı 3 ve üzerinde seçilir. Septik tankın sızdırmazlığı ve içinde biriken çamurun düzenli kontrolü gerekir.

Septik tankın kapasitesine göre giriş ve çıkış borularının çapları aşağıdaki gibi olmalıdır:

100 mm ≤ 6 m^3

150 mm > 6 m^3

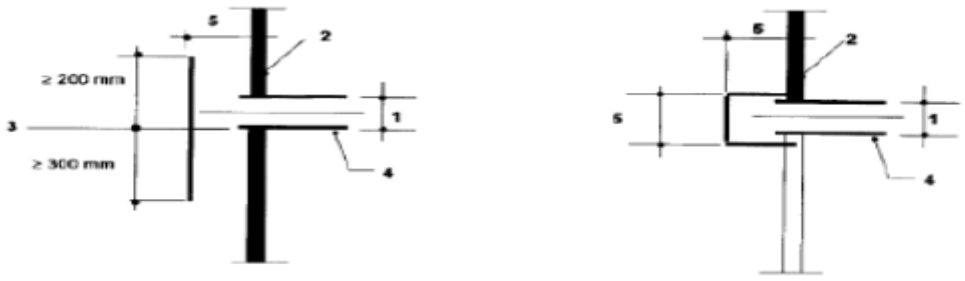
Giriş ve çıkış yapılarının T şeklinde boru tipli (Şekil 6.3) veya köpük tutucu levhalı (Şekil 6.4) olması mümkündür.



Kesit Plan

1-Çap, 2-Septik tankın duvarı, 3-Su yüzeyi, 4-Çıkış

Şekil 6.3. Boru tipi giriş ve çıkış yapısı (Anonim 2006)



Kesit Plan

1-Çap, 2-Septik tankın duvarı, 3-Su yüzeyi, 4-Çıkış, 5- Köpük tutucu levha

Şekil 6.4. Köpük tutucu levhalı giriş ve çıkış yapısı (Anonim 2006)

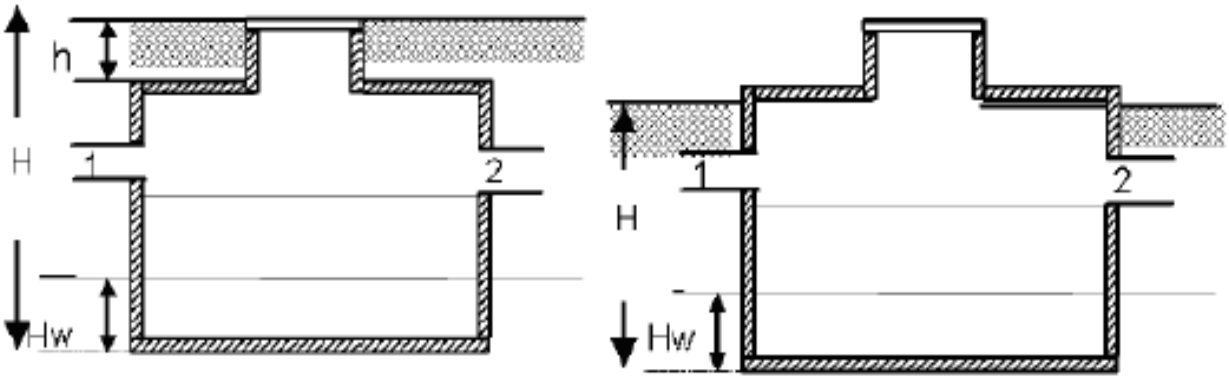
İç duvarlardaki en küçük açıklık, tıkanıklığı önlemeye yeterli ölçülerde olmalıdır. Fermantasyon gazlarının birikimini önlemek için, boru giriş kısmının ve septik tankın yeterince havalandırılması sağlanmalıdır.

Septik tanklar, tasarım ömrü süresince, işletme, montaj koşulları ve çamur temizleme işlemlerinin neden olduğu yük ve gerilmelere dayanmalıdır. Nihai kullanıma bağlı olarak, septik tanklar tasarım esnasında, yapısal yüklemelerin hesabında uygun emniyet faktörleri kullanılmalıdır. Nihai kullanıma bağlı olarak, aşağıda gösterilen yükleme durumları ile uyumun sağlanabilmesi için farklı deney ve hesaplama metotları kullanılabilir.

Yükler aşağıdaki gibidir:

- Dolgu malzemesi yükü,
- Hidrostatik yükler,
- Dinamik yükler.

Yük hesabında kullanılacak ölçüler Şekil 6.5'de verilmiştir.



H: Tankın toplam derinliği

H_W: Yeraltı su seviyesinin temel altından itibaren yüksekliği

h: Septik tankın üzerindeki dolgu malzemesi derinliği

K: Yatay zemin basıncı katsayısı

Şekil 6.5. Statik yüklerin hesabında kullanılacak ölçüler (Anonim 2006)

- Dolgu malzemesi yükü

Düşey bileşenler: h x 18 [kN/m^2]

Zeminin birim hacim ağırlığı: 18 kN/m^3

Yatay bileşenler: K x D x 18 [kN/m^2]

Burada;

D Zemin seviyesinden yükün uygulandığı noktaya olan mesafe,

Dolgu malzemesi yükü hesaplanırken, zemin koşullarının etkisi, dolgu malzemeleri ve septik tank şekil faktörünün değeri dikkate alınmalıdır:

Kum için: K = 0,33

Çakıl için: K= 0,27

Diğer dolgu malzemeleri için: K = 0,5

- Hidrostatik yükler

Düşey bileşen: H_W x 10 [kN/m^2]

Suyun özgül kütlesinden kaynaklanan etki: 10 kN/m^3

En büyük yatay bileşen: D x 10 [kN/m^2]

Yeraltı suyu etkisine maruz kalınan durumlarda, imalatçının ürün kataloglarında, mamulün su basıncıyla ilgili stabilite koşulları gösterilmelidir. Bu durumda, zemin suyunun birim hacim kütlesinin oluşturduğu yük 10 kN/m^3'tür ve bu yük yanal toprak yüküne eklenmelidir.

- Dinamik yükler

a) Yaya yükleri

Sadece, dolgu malzemesi yüksekliği 1 m'den az olduğunda, 2,5 kN/m^2 değeri kullanılmalıdır. Dolgu malzemesi yüksekliği 1 m'nin üzerindeyse, yaya yükünün diğer yüklere göre ihmal edilebileceği kabul edilir.

b) Araç yükleri

Düşey yüklere maruz kalan septik tanklar, planlanan nihai kullanım yüklerine göre özel olarak tasarlanmalıdır.

Septik tank, en üst noktasına kadar su sızdırmamalıdır. En üst seviye, nihai kullanım koşullarına bağlıdır. Tankın sızdırmazlık testinden geçmesi gerekir. Hidrolik kapasite,

septik tank tarafından tutulan çökebilir ve yüzen katı türleri ile septik tankın hacmi dikkate alınarak tayin edilir.

İşletme güvenliğini sağlamak ve yetkisiz kişilerin girişini önlemek için septik tankların üzeri emniyetli bir şekilde kapatılmalıdır. Temizleme, bakım ve çamur uzaklaştırılması ve rutin bakım numunesi alınması amacıyla, giriş ve çıkış alanlarına ulaşımı sağlamak için gerekli tedbirler alınmalıdır. Baca ve erişim kapakları amaçlarına uygun olmalıdır. Bunların en küçük boyutu, 6 m^3'ten küçük hacimli septik tanklarda, kare kesitler için kenar uzunluğu 400 mm ve dairesel kesitler için çapı 400 mm olmalıdır. 6 m^3'e eşit veya büyük hacimli septik tanklar için, baca ve erişim kapaklarının en küçük boyutu 600 mm olmalıdır (Anonim 2006).

Doğru dizayn edilmiş birincil arıtma tanklarının ortalama olarak aşağıdaki arıtma seviyelerini sağlaması beklenir (Parten 2010):

- Yaklaşık %60-80 askıda katı madde giderimi
- Yaklaşık %50-60 $BOİ_5$ giderimi
- Yaklaşık %80 yağ ve gres giderimi
- Az miktarda nütrient giderimi

Septik tankların verimini etkileyen özellikler aşağıda sıralanmıştır (Parten 2010):

1. Septik tanka gelen askıda katı maddeler ve yağların flotasyonu için yeterli hacim oluşturulmalıdır.

Bunun için ilk kural; temiz bölge (tankın orta bölgesi) tüm işletim koşulları için tasarım debisine göre en az 24 saatlik hidrolik bekletme süresini sağlamalıdır. Eğer tekil konutlar için kullanılan küçük bir tanksa, günlük tasarım debisi 300 gal/gün (1136 L/gün veya 1.14 m^3/gün) olmalıdır. Toplam temiz/orta bölge hacmi en azından bu hacimde olmalıdır.

2. Çok bölmeliler veya seri çoklu tanklar

Çok bölmeli tanklarda ilk bölmede daha fazla çamur ve köpük birikimi görülmektedir. Bunlar kısa sürede katı maddelerin ve yağların tankın çıkışına doğru ilerlemesini önler.

İki bölme arasında yaklaşık olarak ortada, bölme duvarı yerleştirilebilir. Bu durum ikinci bölmenin girişine doğrudan katı maddelerin çökmesini önler. Büyük fiberglas tanklarda kullanılan engele, temiz bölgenin yaklaşık orta derinliğinde 80-100 mm çapında delikler yerleştirilir.

3. Tankın sızdırmazlığı

Suyun tanka giriş ve çıkış borularında yer alan kapaklar ile girip çıkması çok önemlidir. Fazla su tankın etrafında veya yer altı sularında birikebilir. Fazla su aşırı yükleme oluşturabilir ve çökme performansını azaltır. Tankta sızdırmazlık bulunmaması atıksuların sızmasıyla sonuçlanır.

4. Yapısal bütünlük

Tankların yapısal bütünlüğünü etkileyen çeşitli faktörler aşağıda verilmiştir:

- Tankın yan duvarlarında ve kapağında toprak/dolgu/zeminden gelen dış basınç veya yükleme
- Eğer su doldurulmadan önce test edilecekse, tankın yan duvarlarındaki iç basınç (hiçbir sızıntı olmadığından emin olmak için tercih edilen bir yöntemdir).
- Tankın doldurulduğu ve boşaltıldığı zamanlarda giriş/çıkış parçalarındaki olası yıpranmalar
- Tankın uygun yerleşimi
- Septik tanktaki çok aşındırıcı koşullar, zamanla beton ve metalleri olumsuz olarak etkiler.

5. Girişin T şeklinde yerleştirilmesi

Girişin T şeklinde olması gelen atıksuyu aşağıya ve su yüzeyinin altına yönlendirir. Çökelme sorunu azalır, tank veya bölmenin çıkışına doğru hareket eden katı maddeler önlenir.

6. Çıkışın T şeklinde yerleştirilmesi

Çıkışın T şeklinde olması katı maddelerin çökelmesini sağlar ve doğrudan tankı terk eden köpükleri önler. Çıkışın konumu, tüm işletim koşulları altında tanktan köpük çıkışını önleyecek bir derinliğe kadar uzanmalıdır.

7. Tank için uygun uzunluk:genişlik oranı

Temel fizik kanunlarına göre parçacıkların çökelmesi ve yağların sudan ayrılması için yeterli tank boyutları sağlanmalıdır. Amaç yeterli çökelmeyi, flotasyon süresini ve mesafeyi belirlemektir. Yapılan teknik araştırmalara göre dikdörtgen şeklindeki büyük tanklar için uzunluk:genişlik oranı en az 3:1 olmalıdır. Verilen bir tank hacmi için bu oran artarsa, buna bağlı olarak çökelme mesafesi artar, çöken katı maddelerin mevcut derinliği azalır.

8. Birinci bölme, toplam tank kapasitesinin en az %50'sini kapsar; çok bölmeli tanklar için birinci tankın ikinci tanktan biraz daha büyük olması önerilir.

Çoklu tanklardaki ilk tank çöken katı maddelerin daha fazla birikmesini sağlar. Bu birikim için yeterli hacmin sağlanması önemlidir.

9. Çökelme ve çamur/köpük birikimi için yeterli tank derinliği

Tüm işletim koşulları altında belirli bir temiz bölge hacminin; minimum uzunluk:genişlik oranı, belirli bir tasarım debisi için, ortalama temiz bölge derinliği olarak belirlenir. Septik tank çıkış noktasında çamur birikimi olmaması çok önemlidir (Parten 2010).

6.1.2. Septik tank dizayn örneği

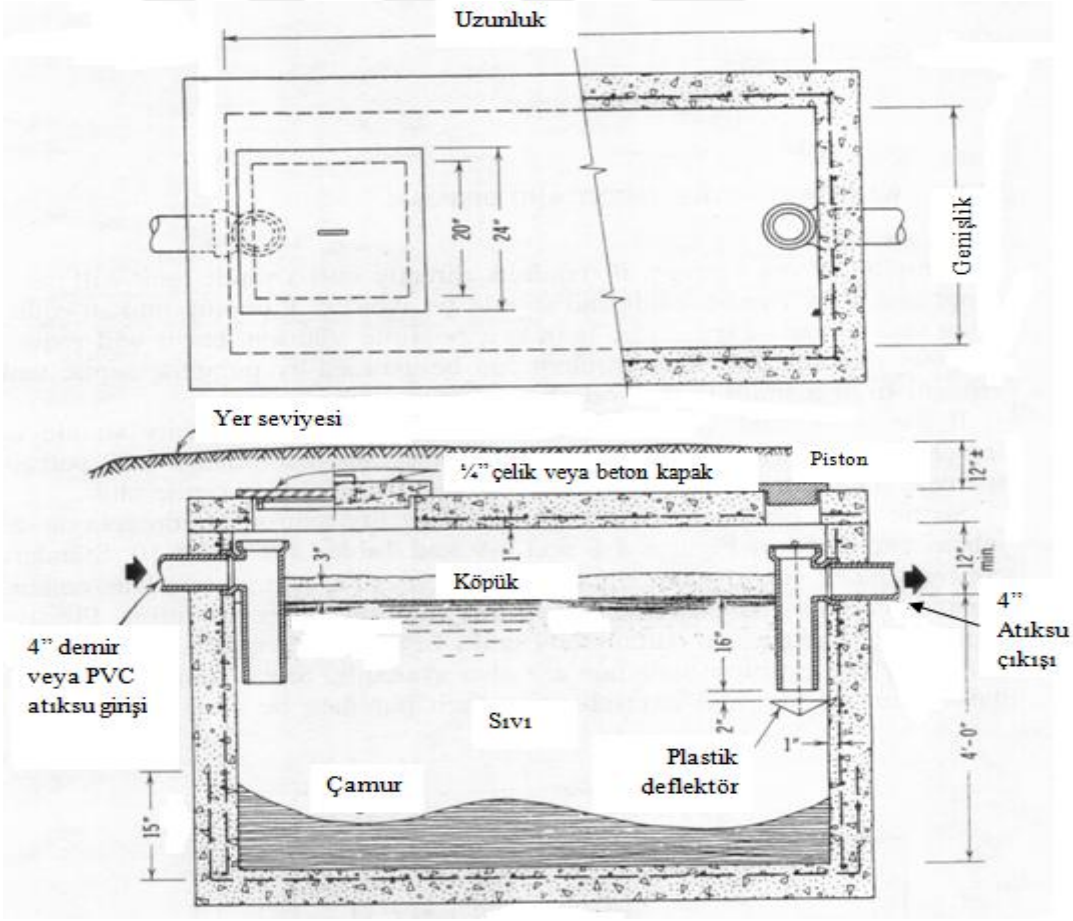
Önerilen septik tank boyutları günlük debiye göre Çizelge 6.2'de verilmiştir. Septik tank sıvı hacmi 2850 L' den az olmamalıdır. Kapasite artırımı olduğunda, tankın sıvı hacmi düşük maliyet ile arttırılabilmelidir. Dolayısıyla gelecekteki ilave debiler ve çamur depolamak için kapasite sağlanmalıdır (Joseph ve ark. 2003).

Çizelge 6.2. Günlük debiye göre septik tank boyutları (Joseph ve ark. 2003)

Nüfus		Atıksu Debisi (L/gün)[a]	Minimum Septik Tank[b,c]			
Oda Sayısı	Kişi Sayısı		Uzunluk (cm)	Genişlik (cm)	Derinlik (cm)	Hacim (L)
2 veya daha az	4	1135	230	110	120	2840
3	6	1700	270	120	120	3785
4	8	2270	330	120	120	4730
5	10	2840	320	150	120	5680

[a]*Dizayn için 285 L/kişi ve 570 L/oda esas alınır.*
[b]*Evsel atık ve çamaşır makinesi atıksuları dahil edilmiştir. Septik tank boyutlarının minimum değerlerden daha büyük olması önerilir.*
[c]*Yapı şartnamesi için detaylı çizimler incelenmelidir.*

Giriş ve çıkışta küçük tanklarda kullanılan detaylar Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Küçük septik tanklarda kullanılan detaylar (Joseph ve ark. 2003)

Büyük tanklar için bekletme süresi 24-72 saatten daha az olmamalıdır. Okullar, kamplar, tiyatrolar, fabrikalar ve panayır alanları birkaç saat içinde çok büyük oranlarda günlük debinin oluştuğu yerlerdir. Örneğin; günlük toplam debi 6 saatlik bir süre içinde meydana geliyorsa, 24 saatlik mevcut kullanıma eşdeğer bekletme sağlanmalıdır. Daha büyük tank, septik tankın arıtmasını azaltacaktır. Böylelikle çamur, köpük ve katı maddeler absorpsiyon sistemine taşınacaktır. Büyük tanklar için önerilen septik tank boyutları Çizelge 6.3' de verilmiştir (Joseph ve ark. 2003).

Çizelge 6.3. Önerilen büyük tank boyutları (Joseph ve ark. 2003)

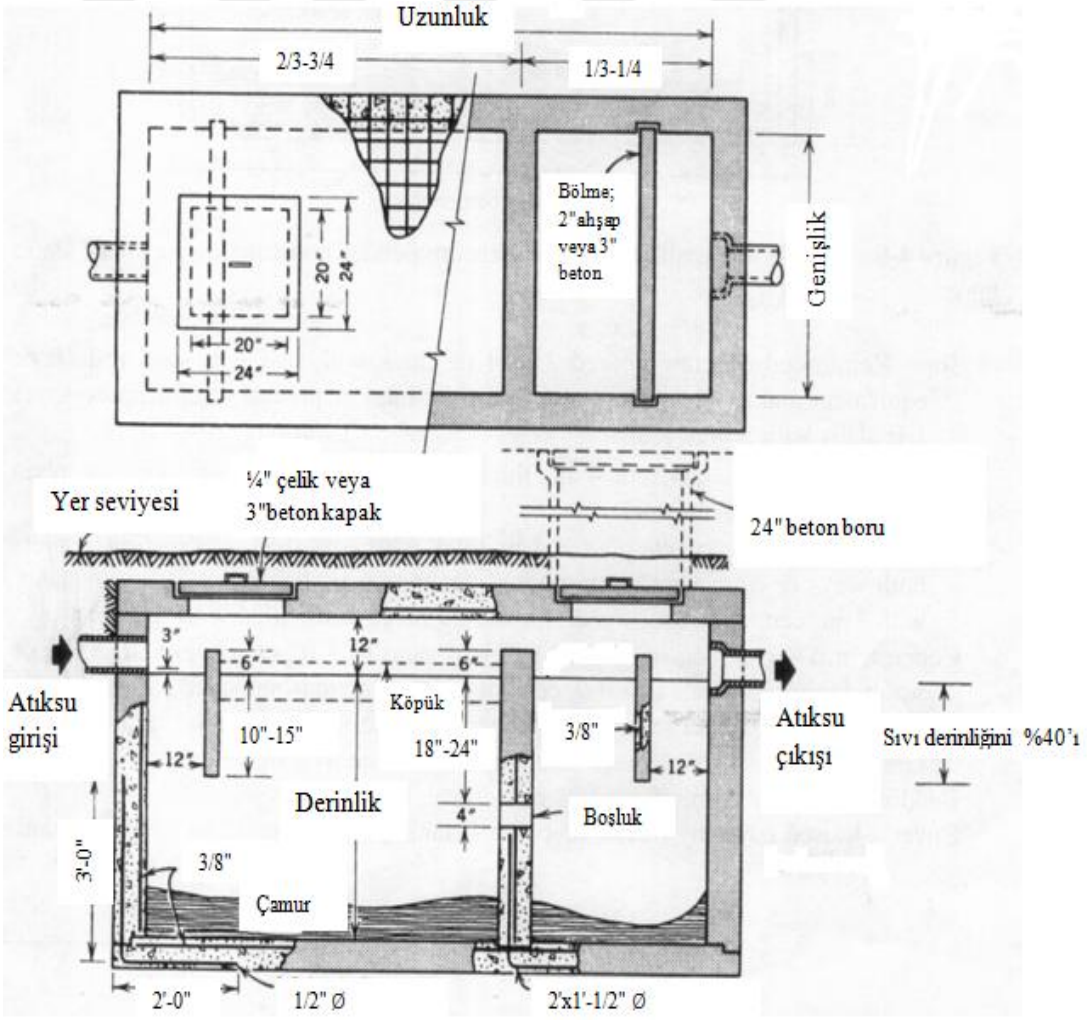
Hacim (m^3)	**Genişlik(m)**	**Uzunluk(m)**	**Derinlik(m)**
3,78	1,2	2,7	1,2
4,73	1,2	3,4	1,2
5,68	1,5	3,2	1,2
6,62	1,5	3,6	1,2
7,57	1,5	4,2	1,2
8,52	1,8	3,9	1,2
9,46	1,8	4,4	1,2
10,41	1,8	4,9	1,2
11,36	1,8	5,2	1,2
12,30	1,8	4,6	1,5
13,25	1,8	4,9	1,5
14,20	1,8	5,2	1,5
15,14	2,1	4,9	1,5
18,93	2,1	6	1,5
22,71	2,4	6,3	1,5
26,50	2,4	7,3	1,5
30,28	2,4	7	1,8
37,85	2,4	8,5	1,8

Ham atıksu doğrudan septik tank içine pompalandığında katı maddelerin taşınmasını önlemek gerekir. Pompalamayı septik tank öncesinde dengeleme tankına yapmak olası bir çözümdür. Ama dengeleme tankı sık sık bakım gerektirir. Bu sorun septik tank çıkışını drenaj kuyusundan toprak absorpsiyon sistemine pompalanmasıyla önlenebilir.

Septik tanklar kaliteli betonarmeden inşa edilebilir. Tankların prekast betonarme, metal, fiberglas, polietilen ve diğer bileşim maddeleri mevcuttur. Bazı metal tanklar sınırlı kullanım süresine sahip olduğundan onları satın alırken, minimum spesifikasyonlarının esas alınması tavsiye edilmektedir. Minimum 20 yıl kullanım süresini içermelidir. Septik tank için tabanın uygun yükseklikte kum ve çakıl tabakası ile düzleştirilmesi gerekir. Septik tankın dengesiz yerleşimi ve giriş-çıkış hatlarının kırılması önlenmelidir.

Septik tankın yüksekliği, mevcut konum, dozaj tankı yüksekliği, arıtma sistemi veya bertaraf için seçilen alan yüksekliği, yer altı suyunun yüksek su seviyesi, yer altı akışını sağlamak için yakınlardaki su kütlesi göz önünde bulundurulmalıdır (Joseph ve ark. 2003).

Büyük tanklarda kullanılan detaylar Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Büyük septik tanklarda kullanılan detaylar (Joseph ve ark. 2003)

Septik tankın derinliği ve genişliğinin uzunluğuna oranı çoğunlukla benzer olarak önerilir. Sıvı derinliği 4 metre ve genişliğinin uzunluğuna oranı 1:2 veya 1:3 olarak yaygındır. Bölmeli tanklar biraz daha fazla verimlidir. Birinci bölüm toplam hacmin %60-75'ine sahip olmalıdır. Verimli bir septik tank dizaynı 24 saatten daha uzun bekletme süresi sağlamalıdır. Çıkış haznesi gaz bölmesi ile askıda katı madde taşınımını en aza indirir. Yüzey alanının derinliğe oranı bütün bölmeler için maksimum olmalıdır (oran 2'den fazla). Çok bölmeli tank bağlantıları çıkış tasarımına benzer (Joseph ve ark. 2003).

Septik tank dizaynı için öncelikle atıksu debisi hesaplanmalıdır. Evlerden gelen atıksu debisini aşağıdaki eşitliği kullanarak hesaplayabiliriz (Metcalf 2006):

- Debi (L/ev.gün): 150 L/ev.gün + (130 L/kişi.gün)(kişi/ev)

Örneğin bir sitede 40 daire olduğunu ve her dairede 4 kişi yaşadığını kabul edersek yukarıda belirtilen eşitliğe göre;

Debi (L/ev.gün): 150 L/ev.gün + (130 L/kişi.gün)(4kişi/ev)

Debi: 670 L/ev.gün

Toplam debi: 40x(670 L/ev.gün)

Toplam debi: 26,8 m^3/site.gün

Dizayn debisini hesaplarken pik faktörünü kullanmak gerekir. Evsel atıksular için kullanılan pik faktörleri aşağıdaki Çizelge 6.4'de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Evsel atıksular için kullanılan pik faktörleri (Metcalf 2006)

	Konut	
Pik faktörü	**Aralık**	**Tipik değer**
Saatlik	4-10	6
Günlük	2-5	2.5
Haftalık	1.25-4	2.0
Aylık	1.15-3	1.5

Septik tank dizayn kapasitesi 24 saatlik bekletme süresini sağlamalıdır.

Toplam dizayn debisi: 2.5x26,8 m^3/site.gün

Toplam dizayn debisi: 67 m^3/site.gün

Septik tankın derinliği ve genişliğinin uzunluğuna oranı genellikle benzer olarak seçilir. Genişliğinin uzunluğuna oranı 1:2 veya 1:3 olarak dizayn edilir.

Hacim 67 m^3 olduğuna göre; Genişlik: 3m, derinlik: 3m, uzunluk: 7,5 m olarak seçilebilir.

6.1.3.Septik tankların dağıtım sistemi

Dağıtım sisteminin çeşidine göre iki tip septik sistem vardır. Birincisi yerçekimi ile doğal dağıtımın (iletimin) yapıldığı sistemler, ikincisi ise basınç ile dağıtımın yapıldığı sistemlerdir. Her iki tipte de temel elemanlar septik tank, dağıtım sistemi ve absorpsiyon alanıdır. Değişen sadece dağıtım sistemi tipidir.

Yerçekimi kullanılarak doğal yollarla yapılan iletimde plastik kanallar kullanılmaktadır. Uzun hendekler bulunur ve bu hendekler özel çakıl/kum ile dolu olup delikli borular çukurlara döşenmiştir. Şekil 6.8'de yerçekimi ile dağıtımın yapıldığı septik tank sistemi gösterilmektedir (Anonim 2016d).



(a) (b)

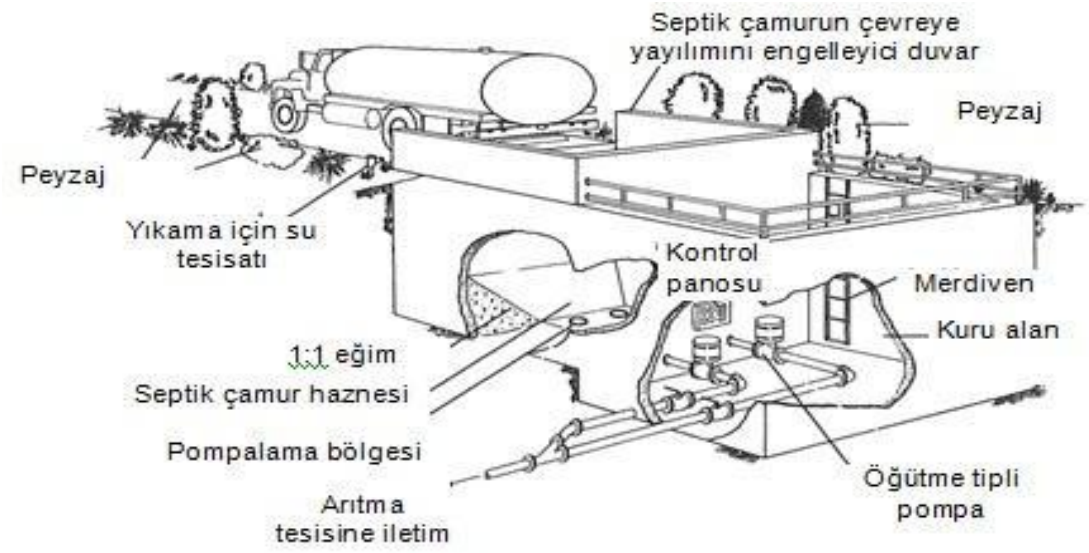
Şekil 6.8. Yerçekimi ile dağıtımın yapıldığı septik tank sistemi a-hendeklerin görünümü b-çakıl taşının görünümü

Plastik kanallar korozyona karşı olan dayanıklılıkları sebebiyle septik sistemlerde çok fazla kullanılmaktadır. Ancak daha uygun fiyatları sebebiyle polietilen ve fiberglas tanklarda kullanılmaktadır.

Basınç ile dağıtım yapılan sistemler kalın kumlu ve çakıllı zeminlerde ihtiyaç duyulan sistemlerdir. Bu sistemlerde drenaj alanı PVC kanallardan veya drenaj çakıllarından yapılmış olabilir. Her PVC kanal 1 inch çapında ve merkezden geçen borular içerir. Çıkış suyu bu borulara bir pompa vasıtasıyla iletilir (Anonim 2016d).

6.1.4. Septik çamur transfer istasyonu

Septik tanklarda biriken çamurlar belirli aralıklarla toplanıp uzaklaştırılmalıdır. Uzaklaştırma yöntemleri arasında kullanılan en yaygın metod, çamurun en yakın kentsel atıksu arıtma tesisinde arıtılması veya arazi uygulamalarıdır. Atıksu arıtma tesislerinde arıtılması halinde septik çamurların toplanıp iletilebilmesi için transfer istasyonu gerekir. Septik çamur transfer istasyonu Şekil 6.9'da gösterilmiştir. Genellikle septik çamurların transfer (aktarma) istasyonlarına taşınması vidanjörler ile yapılır.



Şekil 6.9. Septik çamurların transfer istasyonu (Crites ve Tchobanoglous 1998)

Septik çamur toplama haznesi havuz tam dolu olduğu zamanda hidrostatik basıncı kaldırabilir nitelikte olmalıdır. Buna ek olarak kar yağışı gibi sert meteorolojik

koşullardan kaynaklanan statik yüklere de dikkat edilmeli ve özellikle tankın boş olarak tutulduğu zamanlarda rüzgar etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Haznenin kendi ağırlığı yanında depolanan çamur ve diğer maddelerden oluşan yükler de hidrostatik basınçta dikkat edilmesi gereken unsurlardır. Haznenin doldurulması ve boşaltılması sırasında yapısal hasarlar gözlenebilir. Büyük alanlarda ağır işletme yükleri oluşmaktadır. Bu gibi durumlarda septik çamur toplama yapılarının üzeri kapatılarak koruma sağlanmalıdır.

Pompa yapıları ve septik çamur toplama hazneleri, betonarme, çelik veya sentetik malzemeden yapılmış olmalıdır. Bu yapılar sıvı akışının her aşamada kontrol edilebildiği yapılar olmalıdır. Septik çamurla ilgili kullanılan tüm malzemeler korozyona ve aşınmaya karşı korunmalıdır.

Her tank yeterli hacme sahip olmalı, gerektiğinde tamamen boşaltılabilmeli ve boşaltılan tank rahatlıkla ulaşılabilir olmalıdır. Septik çamur toplama yapısı, ölü bölgelerin oluşumuna en aza indirecek şekilde, farklı hidrolik yüklere cevap verebilmeli ve konsantrasyon dengelemesi yapılabilmelidir.

Tesis üniteleri donmaya karşı korunmalıdır. Tesis birimleri ayrıca yıldırıma karşı korunmalı ve paratoneri olmalıdır. Tesiste ölçüm yapılan noktalardaki sensörler, istenildiğinde işletmeye alınıp istenilmediğinde devre dışı bırakılmalıdır.

Teknik ekipmanlar için gereksinimler aşağıda sıralanmıştır:

- Tesisi devreye alma ve devreden çıkarma yapısı,
- Septik çamur miktarı ölçüm ekipmanları,
- Kaba maddelerin tesisten uzaklaştırılması için gerekli ekipmanlar (ızgaralar, elekler),
- Septik çamur boruları iletim hatları,
- Giriş ve çıkış havalandırma hatları,
- Atıksu iletim yapısındaki sıyırma mekanizması.

İhtiyaç duyulan durumlarda tesislerde bulunması istenen teknik ekipmanlar:

- İnce kum ve diğer mineral partiküllerin giderimini sağlayan ekipmanlar,
- Septik çamur toplama haznesi,
- Büyük parçacıklı maddeleri parçalama ekipmanları,
- Isıtma ekipmanları,

- Pompalar,
- Köpük kırıcılar,
- Kimyasal dozlama ekipmanları,
- Havalandırma ekipmanları.

Septik çamur boru iletim hatları herhangi bir tıkanma olmayacak şekilde tasarlanmalı ve gerekli iletim hızı (v>1,0 m/s) sağlanmalıdır. Boru iletim hatlarında ve çamur tutma haznelerinde çökmelere dikkat edilmeli ve gerekli durumlarda kompensatörler kullanılmalıdır. Karışım noktalarında çamurun viskoz özelliğinden kaynaklı olarak, katı madde konsantrasyonuna dikkat edilmelidir. Boru hatları uygulama amacına yönelik olarak tasarlanmalı, özellikle aşınmaya karşı yeterli et kalınlığına sahip olmalıdır.
Gerekli durumlarda çökeltim yapıları tasarlanmalıdır. Çok sık kullanılan ve septik çamur toplama yapısına atıksu iletimi yapılan borularda, tıkanmayı engelleyici tedbirler alınmalıdır. Teknik ekipmanların septik çamur toplayıcısı ile bağlantı yerleri yeterli derecede esnek olmalı ve haznenin oturmasına karşı dengeleyici olmalıdır (Crites ve Tchobanoglous 1998).

6.1.5. Septik tankların işletimi ve bakımı

Atıksu bertarafı ve arıtma sisteminin etkili işletimi için septik tankın etkili bir şekilde dizaynı ve inşası gereklidir. Ani yedek parça giderlerini önlemek için septik tankın bakımı yapılmalıdır. Ev için kullanılan septik tank doluluk oranına bağlı olarak her 3-5 yılda bir temizlenmelidir. Ama her durumda yılda en az bir kez kontrol edilmelidir. Eğer atık bertaraf ünitesi kullanılırsa daha sık temizleme gereklidir. Ticari işletmeye hizmet veren septik tanklar en az 6 ayda bir kontrol edilmelidir. (Joseph ve ark. 2003).

Çamur birikimi normal evsel septik tanklarda yıllık kişi başına 69-80 litre (18-21 gal) arasında olduğu tahmin edilir. Çamur raporları geniş çapta oluşturulmuştur. ABD'de kişi başına ortalama her yıl 55 gal olduğu tahmin edilmektedir. Ontario Çevre Bakanlığı'na göre izin verilen en yüksek çamur seviyesi, çıkış teçhizatının altından 0.45 metre aşağıda olmalıdır. Gri su septik tank çamuru yıllık kişi başına 8.3 litre (2.2 gal), siyah su çamuru yıllık kişi başına 65.7 litre (17.4 gal) oranında birikimde bulunur.

Parçacıkların veya köpüğün septik tank çıkışında dağıtım haznesine geçtiği görülürse ayrıca temizleme gereklidir. Rutin kontrol ve temizleme katı maddelerin taşınmasını, arıtma veya filtrasyon sisteminin tıkanmasını önleyebilir. Daha büyük septik tanklarda daha az sıklıkla temizleme ihtiyacı vardır. Yıllık denetim, gerektiğinde temizlik ve iyi bir yatırım için sözleşme düzenlenmelidir. Bu konuda toplum işbirliğine teşvik edilmelidir. Septik tankları temizlemek için en uygun zaman yılın yağışsız aylarıdır. Yer altı suyu seviyesi düşük olmalıdır (tankın olası filtrasyonu önlenmelidir). Bakteriyel uyum ılık havalarda daha hızlı devam edebilir. Septik tanklar genellikle septik tank temizleme firmaları tarafından temizlenir. Bu firmalar bütün bileşikleri karıştırır ve pompalar. Çamur olarak arıtılacak bu maddeler özel ekipmanlar ile kamyonlara alınır. Dökülmesini ve zeminin kirlenmesini engellemek için önlem alınmalıdır. Tankın içine yapışan çamur temizlenmiş olur. Bu durum septik tankın içindeki bakteri etkisinin yenilenmesine yardımcı olur (Joseph ve ark. 2003).

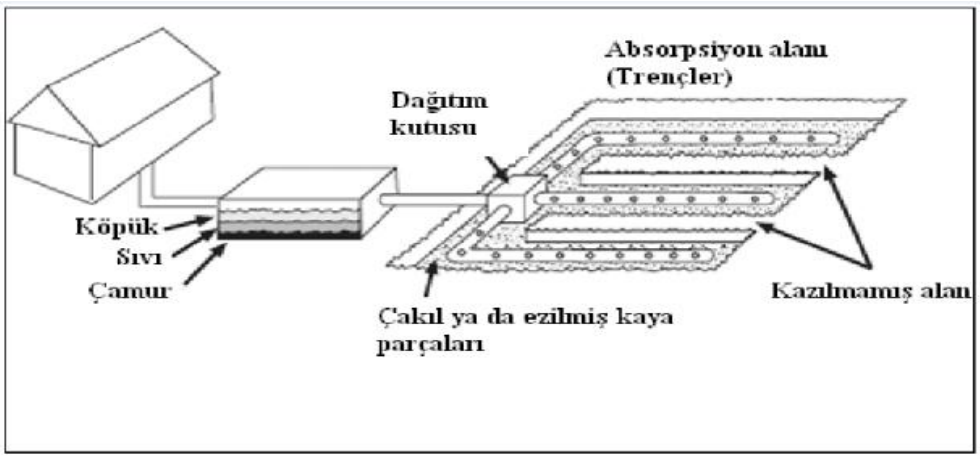
Septik tank içeriği, çamur diye adlandırılır, bertaraf etmek için alternatif olarak çizgi, sprey sulama, yeraltına enjeksiyon, kontrollü koşullar altında derine enjeksiyon uygulanabilir. Daha soğuk iklimlerde zemin donduğundan akış önlenir. Çamur periyodik olarak taşınır ve bertaraf edilir. Lagünlerde çamurun bertaraf için kurutulmasına izin verilebilir. Çamur arıtma tesisleri; havalandırmalı lagünleri, fakültatif lagünleri, nem kontrolü için kuru organik madde ile kompost, kireç, klor, alum, polielektrolitler ve demir klorür kullanılarak kimyasal arıtma ve diğer özel süreçleri içerebilir (Joseph ve ark. 2003).

6.2.Septik Tanklarda Gerçekleşen Biyolojik İşlemler

Atıklar septik tankın içinden geçerken ayrıştırılabilir, dibe çökebilir veya anaerobik bakteri faaliyetleri sonucu bozunabilir. Septik tank işletim koşulları basittir. Atıksu yer altı absorpsiyon sisteminde tıkanma olmadan bertaraf edilebilir.

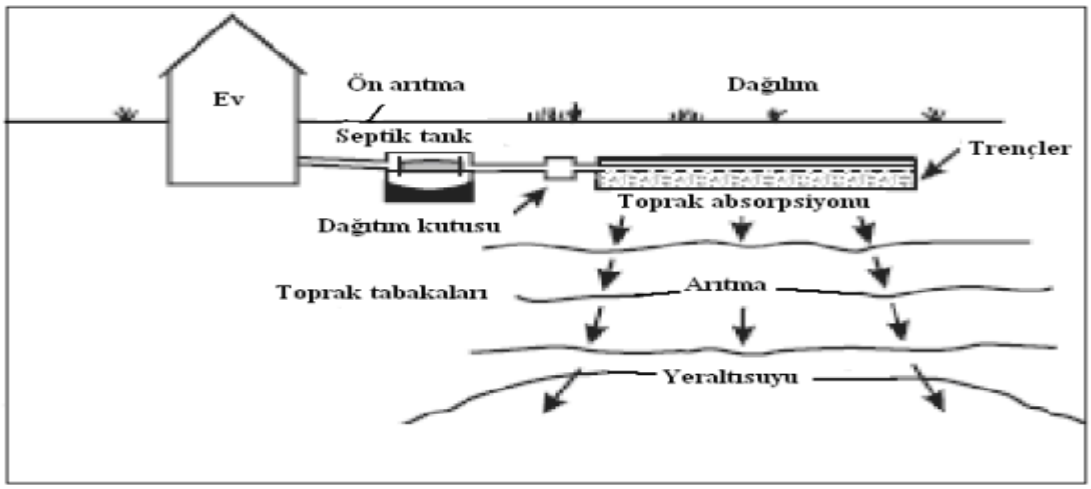
Klasik atıksu arıtma sistemi septik tank ve sızdırma alanından oluşmaktadır. Tipik bir septik tank sistemi Şekil 6.10'da gösterilmektedir. Evden atıksu septik tanka gelmekte,

burada katılar tutulmakta, sıvılarsa çıkış borusundan deşarj edilmektedir. Dağıtım kutusuna gelen atıksu buradan sızdırma alanına eşit olarak dağıtılmaktadır.



Şekil 6.10. Tipik tekil atıksu arıtma sistemi (Anonim 2002)

Sızdırma alanındaki atıksu zeminde absorpsiyon sistemi ile arıtılmaktadır. Tipik atıksu arıtma sistemi arıtım kademeleri Şekil 6.11'de gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Atıksu arıtma sistemi arıtım kademeleri (Anonim 2002)

Septik tanklar, karıştırma ve ısıtma yapılmayan anaerobik çürütücü tanklardır. Genellikle betonarme olup fiberglas ve polietilen tipte olanları da kullanılmaktadır. Su sızdırmaz ve sağlam yapıda olmaları gerektiğinden kurulum öncesi ve sonrası

sızdırmazlık ve yapısal sağlamlık testleri yapılan septik tankta çoğu çökebilen katı ve yüzebilen madde giderilebilmektedir. Sızdırma alanında delikli PVC boruların etrafında yaratılan gözenekli ortam ile çıkış suyunu toprak yüzeyine dağıtarak yaymak ve toprak yüzeyine ulaşmadan kısmi bir arıtım sağlamak amaçlanmaktadır. Septik tanktan çıkan su, patojen ve nütrient içermektedir. Toprak içinde yaşayan mikroorganizmalar aracılığıyla biyolojik proseslerle sağlanan arıtma ile yeraltı suyuna ulaşmadan atıksuyun arıtımın sağlanması amaçlanmaktadır. Absorpsiyon, filtrasyon ve biyolojik prosesler arıtımın gerçekleşmesini sağlamaktadır. Sızdırma alanının büyüklüğü ve tipi, yeraltı su seviyesinin derinliğine, toprak permeabilitesine ve dağıtım için kullanılabilecek minimum alana göre belirlenmektedir. Klasik septik sistem planlamasında en önemli iki konu; uygun toprak yapısı ve arıtım için yeterli alanın olmasıdır. Septik tank çıkışındaki atıksular araziye sızdırılma dışında merkezi bir arıtma tesisine taşınarak da arıtılabilmektedir. Septik tanktan vidanjörlerle çekilen atıksu merkezi bir arıtma tesisine taşınarak arıtılabilir (Anonim 2002).

6.2.1.Toprak infiltrasyon sistemi

Toprak infiltrasyonu suyun arıtımında en son ve en önemli basamaktır. Toprak infiltrasyon sisteminin boyutu, eğimi ve biçimi belirlenen kullanım ve toprak karakteristikleri ile ilgilidir. Boyutu; gelen atıksu miktarına ve toprak türüne göre belirlenmelidir. Eğim ve biçimi ise toprağın sınırlayan tabakası ile derinliğin belirlenmesine ve sezonsal su miktarına göre belirlenmelidir. Bir toprak infiltrasyon sisteminde sistemin dayanıklılığını ve performansını arttırmak amacıyla toprağın alt katmanlarının havalandırılmasında iyileştirme yapabilmek için çukurlar veya dar yataklar kullanılır. Farklı çukur ve yataklar olduğunda çıkış suyunun eşit dağılımını desteklemek için dağıtım sistemi birleştirilebilir. İnfiltrasyon sisteminin ömrünü kısaltan bazı nedenler aşağıda verilmiştir:

- Aşırı hidrolik yükleme: Toprağın doygunluğa ulaşarak alt katmanlarda göllenme (birikme) oluşmasıdır. Genel olarak sebepleri: Filtrasyon alanının uygun boyutlandırılamamış olması, yüzey sularının sisteme giriş yapması, boru tesisatının sızdırma yapması ve aşırı atıksu girişi.

- Gres: Aşırı gres, tankın içinde veya hatta pıhtılaşmalara sebep olabilir. Septik tank bakteriyal aktivite ile parçalanamayan katı yapı katmanları biriktirebilir. Gres septik tank dışında arıtılabilir.
- Sigara filtreleri, çözünmemiş tuvalet kağıtları gibi katı maddeler: Bu maddeler selüloz, plastik veya biyoparçalanamayan farklı maddelerden yapılmışlardır. Sistemin boru hattını, şaşırtmaları, infiltrasyon deliklerini tıkayabilir veya pompalara takılıp kalabilirler.
- Antibiyotikler, ilaçlar, dezenfektanlar, boya ürünleri, benzin, yağ, pestisit ve yağ gidericiler: Bu kimyasallar septik tank bakterilerini öldürebilirler. Bu durum septik tanktaki katıların dekompozisyonunu olumsuz etkiler.
- Temiz su deşarjı
- Yüzey suyu drenajı (Anonim 2013b).

İnfiltrasyonda gerçekleşen olaylar maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır (Anonim 2015a):

- **Organik maddeler:** Septik tank sisteminde organik madde giderimi; toprakta filtrasyon, dekompozisyon ve mikrobiyal hücrelerin içine alınması ile gerçekleştirilir. Atıksudaki organik maddeler biyofilmin biyolojik aktivitesinin biçimlenmesinde veya suyun çıkışını sınırlayan biyofilm oluşumu açısından oldukça önemlidir ve bu bileşenler toprak derinliklerine inebilirler. Bakteri büyümesi ile toprak porlarının çapında azalma gözlenir ve bu tıkanma ile toprağın infiltrasyon kapasitesi düşer. Porların tamamen veya kısmen tıkanması ile septik sistemin hidrolik akışı düşer. Tıkanma, filtrasyon ile ekstra bakteri ve askıda katı maddenin geçişini engelleyecek ve toprağa yavaş su akışı ile özellikle alt katmanların doygunluğa ulaşmamasına neden olacaktır. Septik sistemin uygun boyutlandırılması ve yönetimi ile filtrasyonun çıkış suyu ve organik kirliliklerle aşırı yüklenmemesi sağlanarak tıkanmanın önüne geçilebilir.

- **Azot:** Septik tank çıkış suyu; amonyak, amonyum, organik azot, nitrat ve nitrit gibi azot bileşenleri içerir. Çıkış suyundaki azot bileşiklerinin çeşitleri, oranları ve toplam azot konsatrasyonu, septik tanktaki arıtmaya bağlıdır. Klasik septik

tanklar yaygın olarak anaerobik koşullar altında bulunur ve çıkış suyu ağırlıklı olarak çözünmüş amonyum ve önemli miktarlarda organik azot içerir. Aerobik tankların çıkış suyu ise ağırlıklı olarak nitrat azotu içerir. Ham atıksudaki toplam azotun %10 gibi küçük bir bölümü septik tankın dibinde biriken çamur aracılığıyla giderilir. Toprakta azotun transformasyonu, beklemesi ve akımı gibi farklı mekanizmalar vardır. Bu mekanizmalar; denitrifikasyon, bitkisel alım, adsorpsiyon ve uçuculuktur. Çıkış suyundaki azotun bir kısmı çıkış suyu yer altı suyuna ulaşmadan önce bu mekanizmaların biri veya birkaçı ile giderilmiş olabilir.

Nitirifikasyon (amonyum azotunun nitrata dönüşümü), ilk aşamada veya toprağın alttaki katmanlara infiltrasyonunda (su bulunmayan, doymamış zonlarda) gerçekleşir. Nitrat çözünebilir bir bileşiktir ve aerobik şartlar altında toprak bileşenleri ile reaksiyon vermez, toprak boyunca engelsizce ilerleyebilir. Denitrifikasyon (anaerobik ortamda azot gazına dönüşüm) için uygun şartlar yoksa nitrat yer altı suyunda değişikliğe uğramadan bulunacaktır. Bu durumda yer altı suyundaki nitrat konsantrasyonunun azalması için tek çözüm seyrelme olacaktır.

- **Fosfor:** Septik tankın çıkış suyundaki fosfor iki kaynaktan gelmektedir: deterjanların içerdiği fosfat ve insan dışkısından kaynaklanan fosfat. Klasik septik tanklardaki anaerobik çürütme, bütün fosforu çözünmüş orto fosfat haline çevirir. Oldukça akışkan nitrat azotuna rağmen bütün fosfat toprak ile aktif biçimde reaksiyona girer. Adsorpsiyon, çökelme, bitkilerce alınım ve mikrobiyal bağlama gibi farklı mekanizmalarla fosfat iyonları toprak çözeltisinden giderilir. Fosforun toprak boyunca taşınımı oldukça fazla meydana gelse de; temel yapıda kireçsiz topraklar organik maddece düşük ve kaya ya da su tabakasına derinlikleri sığdır. Bu şartlar altında septik sistemler, drenaj kanalları ve göller gibi yüzeysel sulara yakındır ve fosfor yeraltı ve yüzeysel sulara rahatça hareket eder. Adsorpsiyon ve çökelme ile fosforun yer altı suyundan giderimi devam etse de, toprağın jeolojik tabakalarına su iletimi meydana gelebilir.

- **Deterjan yüzey aktif maddeleri:** Çıkış suyundan yüzey aktif maddelerin giderimi, toprak katmanlarındaki biyoparçalanma ve adsorpsiyon mekanizmaları

ile gerçekleşir. Aerobik şartları ve doymamış akıntıyı destekleyen birçok faktör, biyoparçalanma ve adsorpsiyonu da desteklemiş olacaktır. Adsorpsiyon; farklı toprak bölümleri, içerikteki toprak tabakası, mineraloji, organik madde içeriği, çözünmüş toprak kimyası, toprağın değiştirilebilir asiditesi ve biyofilmin biçiminden etkilenir. Deterjan yüzey aktif maddelerinin adsorpsiyonu, onların hareketini geciktirir, engeller ve çoğu zaman biyoparçalanmanın olmasına izin verir.

- **Toksik organik bileşikler:** Klorlanmış hidrokarbonlar, trikloretilen ve metil kloroform gibi toksik ve biyolojik olarak parçalanamayan organik bileşikler, temizlik veya katkı maddeleri kaynaklı olarak septik sistemlerde bulunabilir. Trikloretilen ve metil kloroform sudan daha fazla yoğunluğa sahiptir. Doymamış zona ulaşmalarına izin verilirse, su fazının dibinde çökebilirler ve doğal ortamda parçalanmaları oldukça zaman alır. Bunlar ve pestisitler, solventler ve ağır metal içeren diğer toksik maddeler yer altı suyu ve toprak kirliliğinde yüksek potansiyele sahiptir. Kesinlikle septik tankların içinde bulunmaması gerekir.

- **Bakteriler:** Bakteriler tek hücreli organizmalardır ve katı parçacıklar ve porlar arasında hapsolabilirler. Bu hapsolma veya filtrasyon, çıkış suyundan enterik bakteri giderimi için çok önemli mekanizmalardır. Bu kümeleşmiş tabaka (biyofilm)su yolu ile toprak ara yüzeyinde oluşur. Bu tabaka bakteriyel aktivite sebebiyle belli bir bölümde gerçekleşmiştir ve enterik bakterilerin toprağa girmeden önce tutulmalarına yardımcı olur. Bakteri azalmasını etkileyen diğer toprak faktörleri ve biyolojik faktörler ise; çıkış suyundaki bakteri sayısı, toprak yapısı, toprağın nemi, yükleme hızı, sıcaklık ve bakteri tipidir. Doymamış akımın aşağı hareketinde hareketin yavaşlaması, doymamış zondaki bakteriler için uzun alıkonma süresi, iyi havalandırma, toprak parçacıkları ile çıkış suyu arasındaki temas artışı, toprak parçacıklarına bakteri adsorpsiyonunda iyileşme ve en sonunda bakteri ölümü açısından infiltrasyon çok önemlidir.

- **Virüsler:** Virüsler bakterilerden daha küçüktür ve topraktaki davranışları bakterilerden farklıdır. Virüsler toprakta (zeminde), filtrasyon, çökelme, adsorpsiyon, biyolojik enzim saldırıları ve doğal ölüm ile giderilebilir veya inaktive edilebilirler. Virüslerin küçük boyutları ve yüzey özellikleri ile geliştirdikleri protein kılıf sebebiyle filtrasyondansa adsorpsiyon ile giderimleri daha kontrol edilebilirdir. Birçok toprak(zemin) özelliği bakterilerin ve virüslerin adsorpsiyonunu etkiler. Toprağın katyon değiştirme özelliği, mineralojisi, yapısı, pH ve sıcaklık gibi özellikler virüs azaltımını etkileyen özelliklerden sadece bir kaçıdır. Bakterilerde olduğu gibi septik sistemlerde doymamış akımın toprağın alt katmanlarına akışı; daha iyi havalandırma, düşük hareket hızı, uzun alıkonma süresi, iyi bir toprak ve çıkış suyu teması ve sonuçta virüslerin ölümü için çıkış suyundan virüs temizlenmesinde oldukça önemlidir (Anonim 2015a).

6.2.2.Mikroroganizmaların rolü

Aerobik oksidasyon bakterileri oksijenli bölgede bulunur. Bu bölge toprağın yapısına bağlı olarak toprağın üst yüzeyi boyunca uzanır. Solucan, böcek, küçük hayvan popülasyonu, toprak nemi ve diğer faktörler oksijenli bölgenin kapsamını etkiler. Toprağın üst yüzeyi organik madde, mineraller, hava, su, bakteri gibi vejetatif organizmalar, küf ve maya mantarları, protozoa, nematod, aktinomisitler, alg, rotifer, solucan ve daha büyük canlıları içerir. 1 gram toprağın milyonlarca bakteri ve diğer organizmaları içermesi beklenir. Bu organizmalar yaşam süreçleri boyunca kompleks organik maddeleri daha basit formlara dönüştürür. Solucanlar, mantarlar ve diğer küçük canlılar toprak flora ve faunasının verimli ve oksijenli tutulmasında önemli rol oynar.

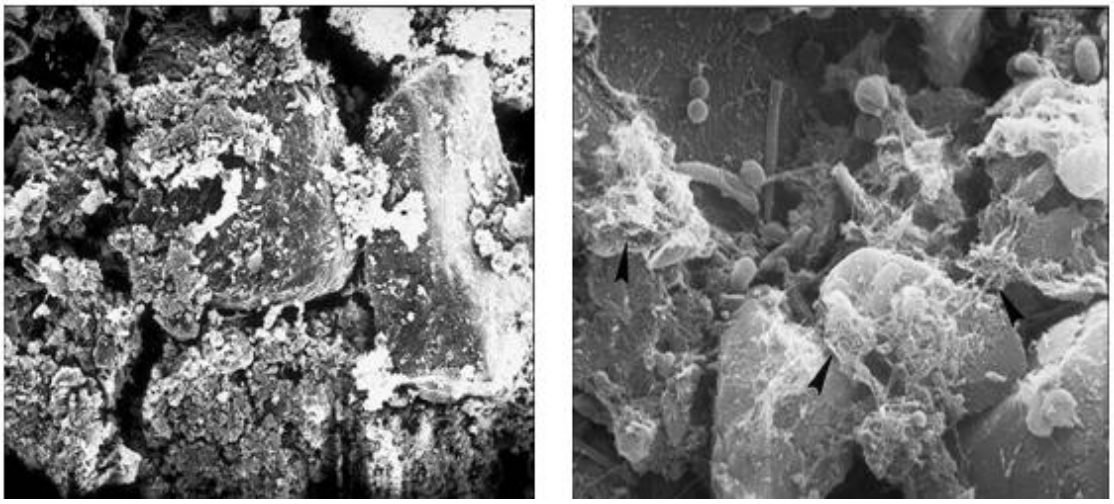
Kolloidal madde ve süspansiyon içeren septik tank çıkış suyu toprağın üst yüzeyine boşaltıldığı zaman bu organizmalar harekete geçer. Bu durum atıksuyun çok büyük hacim ve konsantrasyonda deşarj olmaması koşuluyla toprağın havalandırma bölgesinde gerçekleşir. Suya fazlasıyla doymuş toprak oksijen transferini engeller ve aerobik organizmaları yok eder. Septik tank çıkışında organik maddeleri koruma eğilimde olmak, anaerobik koşulların oluşmasını sağlar. Böylece çamurlar ve sülfürler dahil

olmak üzere, ayrışmayı geciktiren ve sıvı-toprak arayüzünde mekanik tıkanmayı arttıran organik maddeler oluşur. Ayrıca septik atıksudaki nitritler, bitkilere toksik etki yapar. Septik tank çıkışını kabul edilebilir bir oranda doymamış toprak tabakasına deşarj etmek için filtrasyon, kimyasal veya biyolojik arıtma proseslerini kullanmak gerekir. Atıksu doymamış silt, kum ya da killi tınlı toprakta 0,3-0,6 m taşındığında atıksudaki neredeyse tüm mikroorganizmalar giderilir ve yer altı suyu korunmuş olur. Ancak toprak koşulları değişkendir. Daha fazla doymamış toprak derinliği iri tanecikli topraklarda gereklidir (Joseph ve ark. 2003).

6.2.3.Biyofilm oluşumu

Biyofilmler, septik tank çıkış suyunun arıtıldığı toprak drenaj sisteminin kum tabakasında ara yüzeyde oluşarak atıksuyun etkili arıtımına yardım ederler. Çıkış suyunun aşağı yönlü akışını yavaşlatır, çıkış suyu drenaj sisteminin başından sonuna kadar iyi bir şekilde dağıtır ve organik madde ve bazı patojenleri giderir. Eğer çıkış suyu çok fazla nütrient veya askıda katı madde içeriyorsa veya diğer çevresel şartlar biyofilmin aşırı büyümesine genişlemesine sebep oluyorsa oluşan biyofilm çıkış suyunun kuma akışını engeller ve atıksu ya sızar ya da eve veya eve/bahçeye geri dönebilir. Bu durum da yüzeysel suların ve toprağın kirlenmesine sebep olur. Bakteriyel biyofilmler karasal veya yeraltısuyu çevrelerinde birikebilir ve suyun veya diğer sıvıların bu sistemlere olan doğal akışını engelleyebilir. Bu birikimlere biyobariyerler de denir. Biyobariyerler yer altı su kaynaklarının bazı kirliliklerden örneğin bir depolama tankından sızan petrolden korumak amaçlı kullanılabilir. Diğer taraftan bazı uygulamalarda zarar verici de olabilir.

Şekil 6.12a; septik sistemin infiltrasyon tümseğindeki kum taneleri üzerinde doğal olarak oluşan biyofilmin taramalı eletron fotoğrafıdır. Biyofilm mineral partikülleri, çeşitli mikroorganizmalardan oluşan bir topluluk ve mikroorganizma ve partikülleri birbirine bağlayan bir çamur ağı veya glikokaliks içerir (ölçek 150 μm). Şekil 6.12b fotoğraftan alınmıştır. Ölçek 4.3 μm'dir (Anonim 2015b).

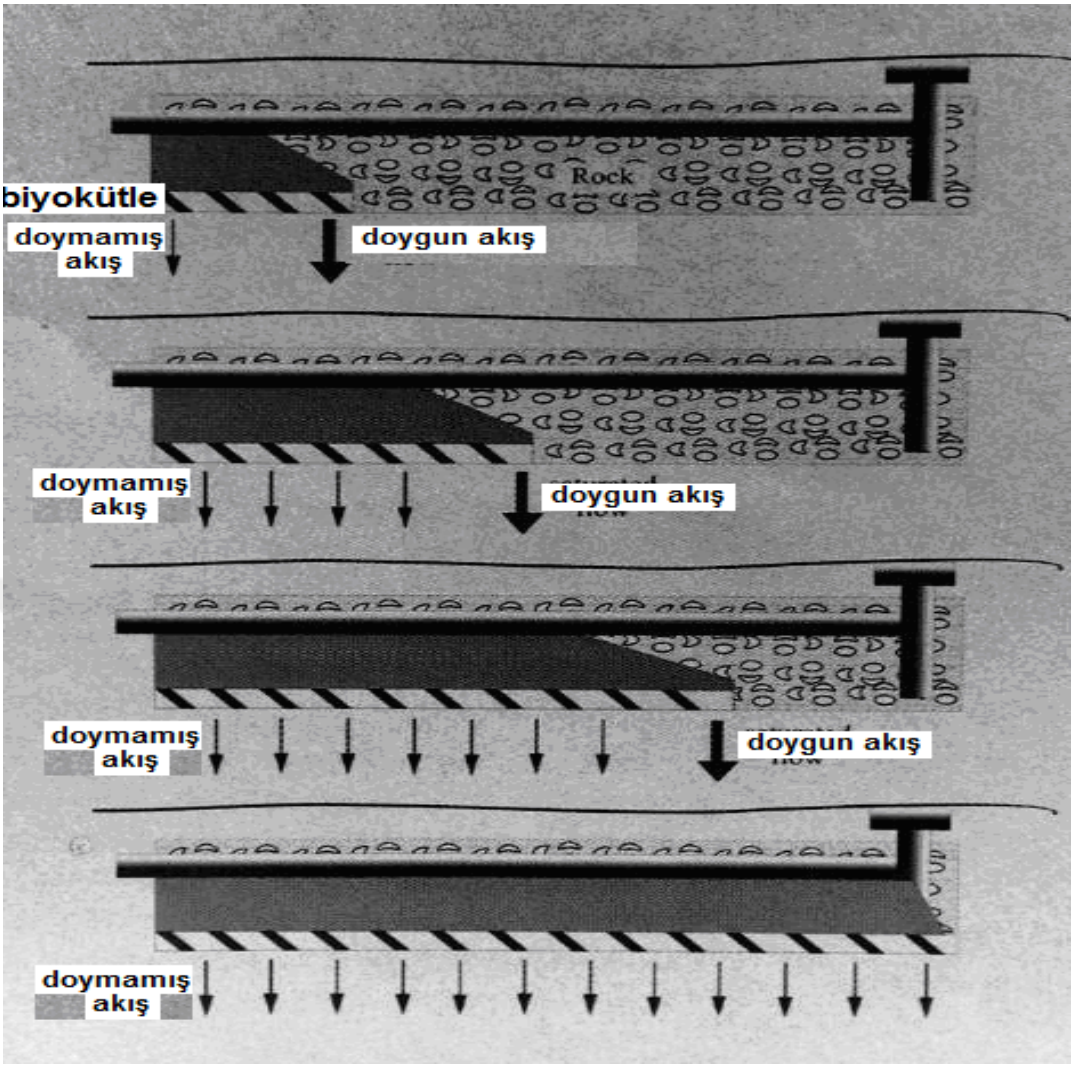


(a) (b)

Şekil 6.12. Biyofilmin taramalı eletron fotoğrafı (a) ölçek 150 μm. (b) ölçek 4.3 μm

Biyofilm kalınlığı genellikle 5mm-10 mm arasında olmasına rağmen atıksuyun kalitesi, miktarı ve içerdiği mikroorganizmaların büyüme ve ölüm hızlarına bağlı olarak artabilir ya da azalabilir. Atıksu biyofilmdeki mikroorganizmaların büyümesi ve çoğalması için gerekli nütrientleri içerir. Mikroorganizmalar bu maddeleri tüketip devamlılığını sağlarken diğer taraftan aynı şartlar altında kimyasal dağılmalar toprağın yapısını değiştirerek bazı porların kapanmasına neden olur. Demir sülfit gibi çözünmeyen bileşikler de çökerek biyofilmin bir parçası haline gelebilir (Anonim 2015b).

Septik sistemlerdeki biyokütle, drenaj çukurlarının dibinde veya kenarlarında oluşmuş siyah ve jelimsi yapıdadır. Bu yapı suyun toprağa infiltrasyonunu azaltır. Septik atık ve atıksuların arıtımı anaerobik ve aerobik mikroorganizmaları içerir. Her iki durumda da patojenlerin çürütülmesiyle besin maddesi sağlanır. Biyofilm oluşumu öncelikle drenaj borularının delikleri yakınında çukurun dibinde gerçekleşir. Biyofilm ile kaplanmış toprak(zemin), temiz zeminden daha az geçirimli hale gelir ve böylece septik tank çıkış suyu biyokütle üzerinden geçerek daha az biyofilm bulunan ya da hiç biyofilm bulunmayan toprak alanına damlamaya başlar. Biyofilm, çıkış suyunun drenaj boyunca akışını sınırlama eğilimindedir. Bu nedenle biyofilm büyümesi ile infiltrasyon azalır. Hidrolik yükleme hızı toprak infiltrasyon hızını aşarsa göllenme başlar. Şekil 6.13'de biyofilmin çalışma mekanizması verilmiştir.



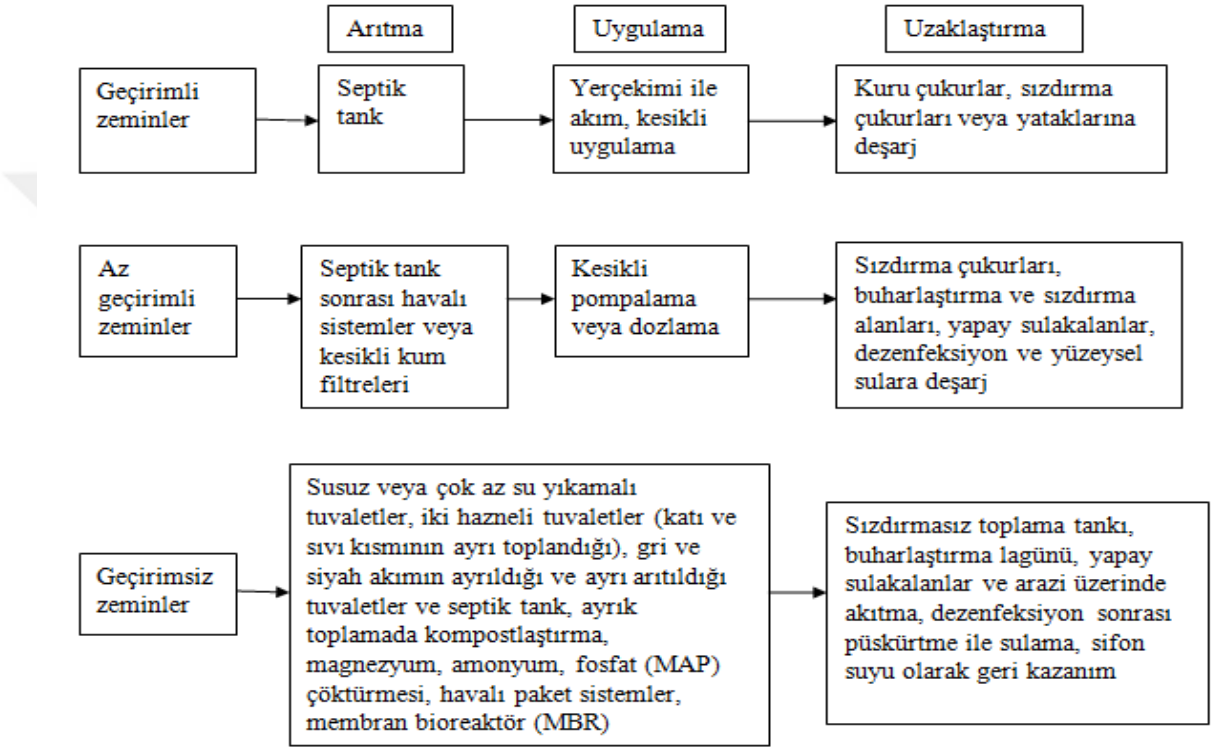
Şekil 6.13. Biyofilmin çalışma mekanizması (Anonim 2016b)

- **Biyofilmin ömrünün uzatılması:**

Biyofilm oluşumu önlenemeyebilir ama septik tank filtreleri ile uygun organik yükleme hızı ve septik tank bakımı gerçekleştirilerek biyofilmin korunması sağlanabilir. Septik tank filtreleri, askıda katı maddelerin drenaj alanına geçişini ve çamaşır yıkama makineleri hav filtreleri de havların drenaj alanına geçişini engeller. Septik tankın çıkış şaşırtma filtreleri, ince parçacıkların sızdırma alanına hareketini azaltır. Bu filtreleri kullanmak uygun bir çıkış portu ve düzenli bakım gerektirir. Gri su tutmak için kullanılan kuyular sızdırma alanındaki toplam sıvı yükünü azaltır. Gereksiz su kullanımının azaltılması da önemli bir önlemdir (Anonim 2016b).

6.3. Zemin Türüne Bağlı Olarak Septik Sistemlerin Sınıflandırılması

Atıksu toplama sisteminin bulunmadığı yerleşimler atıksuların uzaklaştırılması bakımından üç ana grupta toplanır. Bunlar; geçirimli, az geçirimli ve geçirimsiz zeminlerin olduğu yerlerdir. Bu zemin gruplarında uygulanabilecek atıksu arıtma ve uzaklaştırma sistemleri Şekil 6.14'de verilmiştir (Syed 1999).

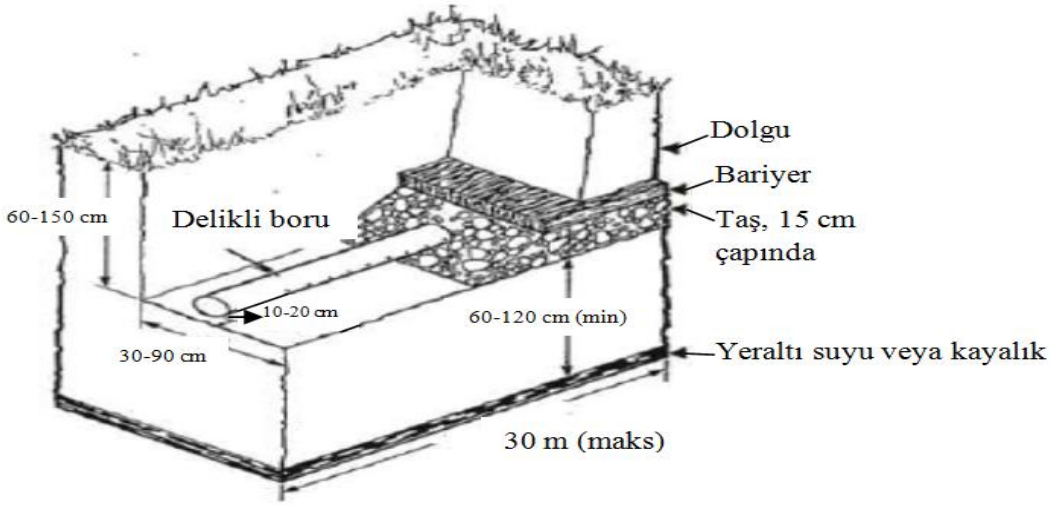


Şekil 6.14. Zemin gruplarına göre atıksu arıtma ve uzaklaştırma sistemleri (Syed 1999)

6.3.1. Sızdırma yatakları

Bu tür yataklar oldukça basit olup delikli dağıtım borularının, zeminde açılan hendek veya çakıl yatağının içine yerleştirilmesiyle yapılır. Kanal uzunlukları en fazla 30 m'ye kadar olup genişlikleri 30 ~ 100 cm arasında değişmektedir. Kanal derinlikleri ise 30 ~ 150 cm arasında değişmektedir. Kanallar arasındaki mesafe 1,8 m veya daha fazla olabilir. Kanal tabanı ise 15 cm yıkanmış çakıl veya kırma taş ile doldurulduktan sonra genellikle 10 cm çapında delikli boru yerleştirilir. Boru üzeri ve yanları da çakıl ile

doldurulur. Çakıl üzerine zemin tabakasının kanala geçişini engellemek için geotekstil gibi sentetik bir tabaka, yerleştirilir. Sızdırma yataklarının yapısal tasarım Şekil 6.15'de verilmiştir.



Şekil 6.15. Sızdırma yataklarının yapısal tasarımı (Anonim 2002)

Sızdırma yataklarının boyutları ve yerleşimi belirlenirken mülkiyet sınırı, kuyular, içme suyu dağıtım hatları, sulak alanlar, doğal su kaynakları vb. kısıtlar gibi engeller göz önünde bulundurulmalıdır.

Sızdırma yataklarının inşasında ve işletiminde dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır:

- Sızdırma yataklarının inşası öncesi ve sonrasında ağır ekipmanların yatak üzerinde dolaşmasına izin verilmez. Aksi takdirde yatağın sızdırma özellikleri bozulabilir,
- Çatılardan ve yollardan gelen yağmur sularının sızdırma yataklarına alınmaması gerekir. Bu tür yüzey suları zeminin absorblayacağı su miktarını artıracağı için sızma verimini düşürebilir,
- Septik tank çıkışlarının sızdırma yataklarına homojen bir şekilde dağıtılması gerekir. Dağıtım homojen olmazsa donma ve çökelme gibi problemli durumlarda sızdırma yatağının zemininin belirli bölgeleri aşırı yüke maruz kalacaktır,

- Zeminin ıslak olduğu zaman septik tank ve sızdırma yataklarının imalatı yapılmamalıdır. Islak zeminde inşaat, balçık ve zeminin sıkışmasına yol açarak zeminin geçirgenliğini azaltacaktır.

Sızdırma yataklarının altındaki asgari 60 cm'lik suya doygun olmayan zemin yapısı genellikle biyolojik arıtma için uygundur. Ancak 60 ve 120 cm aralığında olması tavsiye edilir. Zemin sızdırma hızına bağlı olarak gerekli alan ihtiyacı belirlenir. Sızdırma yataklarının boyutlandırılması hane halkı sayısına ve zemin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Geleneksel olarak zemin özelliği sızma hızına göre değerlendirilmektedir. Kabul edilebilir sızma debisi her bir cm için 23 sn ile 24 dk arasında değişmektedir. Ancak sızdırma yatağına verilecek atıksu yükünü belirlemek için zemin tipi, yapısı, rengi ve arazinin topografik yapısı da dikkate alınmalıdır.

Sızdırma yatağına gelen atıksuyun karakteri öncesinde yer alan septik tankın arıtma verimine bağlıdır. Zeminin infiltrasyon özelliğini olumsuz etkileyen yağlar ve çökelebilen katıların olması halinde sızdırma yatakları verimli çalışamaz. Bu nedenle septik tankta bu maddelerin etkili bir şekilde giderildiğinden emin olunmalıdır. İstenmeyen materyallerin giderimi için iki gözlü septik tank tasarımı tavsiye edilir.

Üç odalı bir ev için sızma hızının dakikada 1,2 cm olması halinde yaklaşık 400 m^2'lik bir alana ihtiyaç olacaktır. Sızma hızı daha düşük olan ve 1 cm mesafe saat mertebesinde kat edilen zeminlerde ise alan ihtiyacı 1000 m^2'nin üzerinde olacaktır.

Delikli borular arazinin çok eğimli olması halinde (>%20) ağırlık merkezi yatayda olacak şekilde yerleştirilmeli ve boruya metre başına 1 cm eğim verilmelidir. Borunun yüksek eğimli olarak dönmesi halinde zemine sızdırılacak su, boru sonunda birikir (Anonim 2002).

Zemin dokusu ve yapısına bağlı olarak uygulanabilecek hidrolik ve organik yük değerleri Çizelge 6.5'e göre seçilebilir.

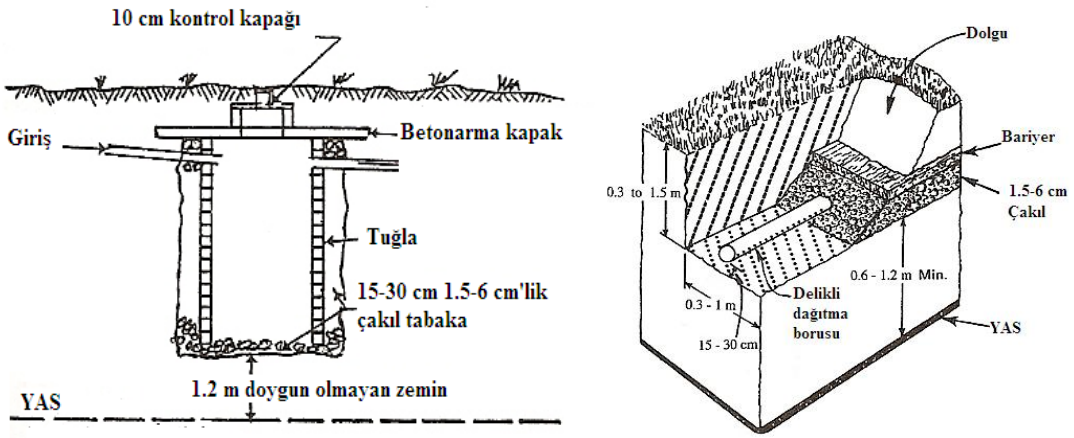
Çizelge 6.5. Sızdırma alanının belirlenmesi için önerilen hidrolik ve organik yükler (Anonim 2002)

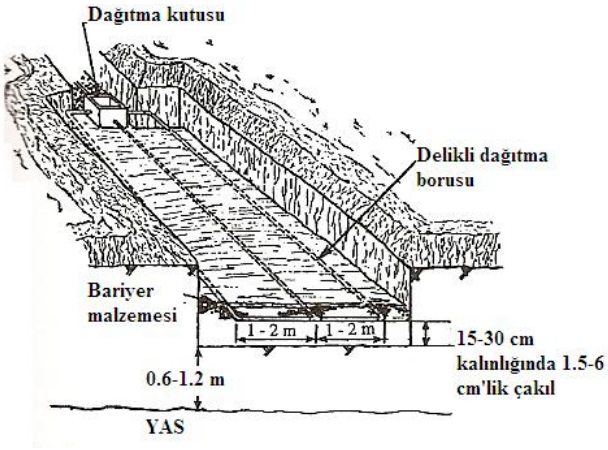
Zemin dokusu	Zemin yapısı		Hidrolik yük, L/m^2.gün		Organik yük, kg BOİ/1000 m^2.gün	
	Şekli	Bünyesi	BOİ = 150 mg/L	BOİ = 30 mg/L	BOİ = 150 mg/L	BOİ = 30 mg/L
Kaba kum, kum, tınlı kaba kum, tınlı kum	Taneli yapı	Yapısız	32.6	65.2	4.9	2.0
İnce kum, çok ince kum, tınlı ince kum, tınlı çok ince kum	Taneli yapı	Yapısız	16.3	40.7	2.4	1.2
Kaba kumlu tın, kumlu tın	İri	Yapısız	8.1	24.4	1.2	0.7
	Yassı	Zayıf, Orta, kuvvetli	8.1	20.4	1.2	0.6
	Prizmatik, blok şekilli granüler	Zayıf	16.3	28.5	2.4	0.9
		Orta, kuvvetli	24.4	40.7	3.7	1.2
İnce kumlu tın, çok ince kumlu tın	İri	Yapısız	8.1	20.4	1.2	0.6
	Yassı	Zayıf, orta, kuvvetli				
	Prizmatik, blok şekilli granüler	Zayıf	8.1	24.4	1.2	0.7
		Orta, kuvvetli	16.3	32.6	2.4	1.0
Tın	İri	Yapısız	8.1	20.4	1.2	0.6
	Yassı	Zayıf, orta, kuvvetli				
	Prizmatik, blok şekilli granüler	Zayıf	16.3	24.4	2.4	0.7
		Orta, kuvvetli	24.4	32.6	3.7	1.0
Siltli tın	İri	Yapısız		8.1	0.0	0.2
	Yassı	Zayıf, orta, kuvvetli				

Çizelge 6.5. Sızdırma alanının belirlenmesi için önerilen hidrolik ve organik yükler (devam)

Zemin dokusu	Zemin yapısı		Hidrolik yük, L/m^2.gün		Organik yük, kg BOİ/1000 m^2.gün	
	Şekli	Bünyesi	BOİ = 150 mg/L	BOİ = 30 mg/L	BOİ = 150 mg/L	BOİ = 30 mg/L
	Prizmatik, blok şekilli granüler	Zayıf	16.3	24.4	2.4	0.7
		Orta, kuvvetli	24.4	32.6	3.7	1.0
Kumlu killi tın, killi tın, siltli killi tın	İri	Yapısız				
	Yassı	Zayıf, orta, kuvvetli				
	Prizmatik, blok şekilli granüler	Zayıf	8.1	12.2	1.2	0.4
		Orta, kuvvetli	16.3	24.4	2.4	0.7
Kumlu kil, kil, siltli kil	İri	Yapısız				
	Yassı	Zayıf, orta, kuvvetli				
	Prizmatik, blok şekilli granüler	Zayıf				
		Orta, kuvvetli	8.1	12.2	1.2	0.4

Normal zeminlerde, septik tank sonrası sızdırma çukuru ve sızdırma yatakları ile ilgili detaylar Şekil 6.16'da verilmiştir.

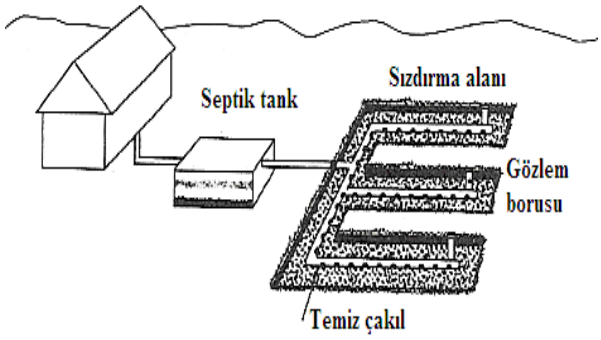




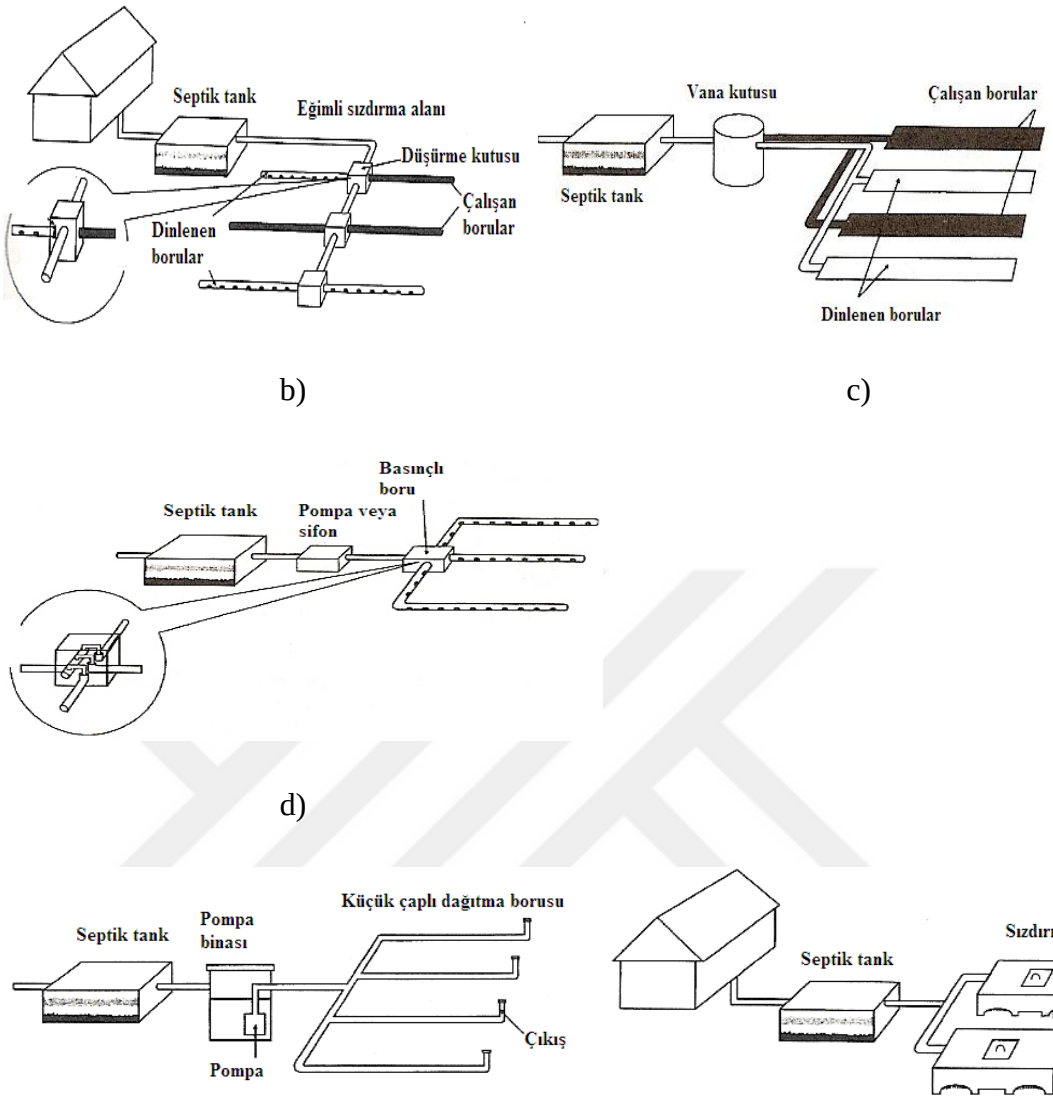
Boru üzeri ve yanları da çakıl ile doldurulur. Çakıl üzerine zemin tabakasının kanala geçişini engellemek için geotekstil gibi sentetik bir tabaka, yerleştirilir.

Şekil 6.16. Normal zeminlerde septik tank sonrası sızdırma çukuru ve sızdırma yatakları (Syed 1999)

Normal zeminlerde sızdırma yataklarının beş değişik tasarımı, Şekil 6.17'de verilmiştir. Septik tank sonrası, yerçekimi ile atıksuyun sızdırma yatağına dağıtılması, Şekil 6.17a'da verilmiştir. Şekil 6.17b ve 6.17c'de, sızdırma yataklarının dinlendirmeli olarak çalıştırılması; Şekil 6.17d'de, atıksuyun septik tanktan sonra pompa veya sifonlama ile sızdırma yatağına verilmesi ve Şekil 6.17e'de septik tank sonrası pompa ile sızdırma yatağına tabandan üzeri özel bir sızdırma tabakası ile kaplı küçük çaplı bir boru ile verilen ve sızan suyun uç kısımdan toplandığı sızdırma yatağı şematik olarak verilmiştir (Syed 1999).

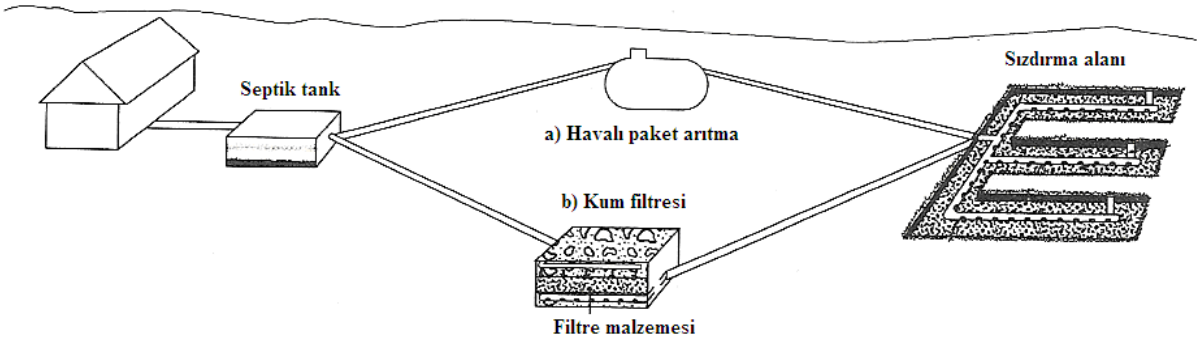


a)



Şekil 6.17. Normal zeminlerde sızdırma yataklarının beş değişik tasarımı (Syed 1999)

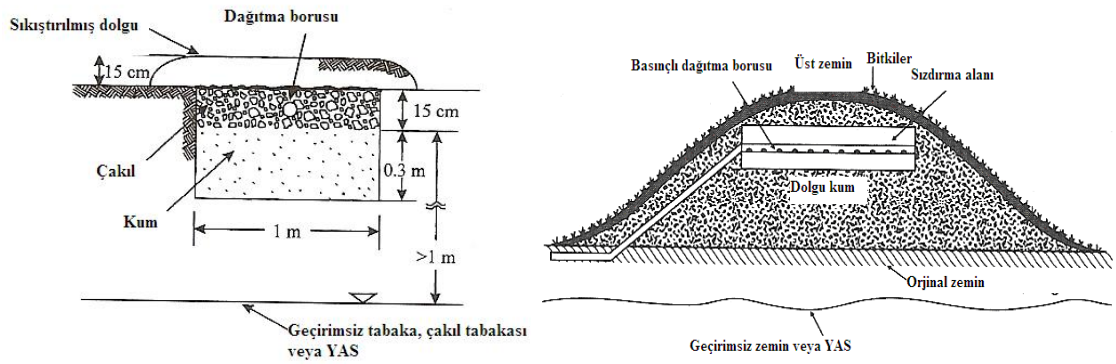
Alüvyonlu zeminlerde septik tank çıkışının havalı arıtma veya kesikli kum filtresi ile arıtılması ve nihai uzaklaştırması, Şekil 6.18'de verilmiştir.



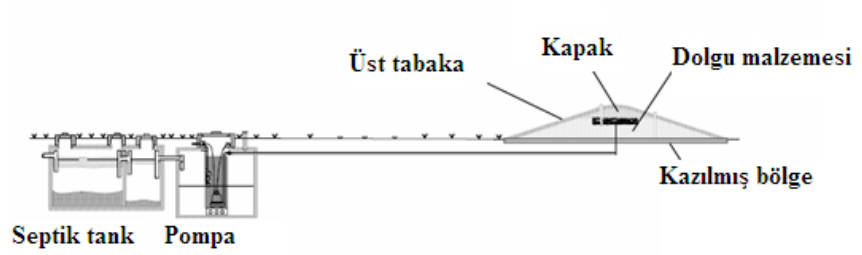
Şekil 6.18. Alüvyonlu zeminlerde septik tank çıkışının havalı arıtma veya kesikli kum filtresi ile arıtılması ve nihai uzaklaştırması (Syed 1999)

Septik tank çıkışı, yavaş kum filtreleri ile kontrollü bir şekilde arıtılıp, dezenfekte edildikten sonra alıcı ortama verilebilir. Filtre kalınlığı, 60-90 cm olabilir. Üç değişik şekilde uygulanmaktadır. Bunlar, kum filtre hendekleri, kesikli ve geri devirli çalışan filtrelerdir. Basit olarak işletilmeleri, en önemli üstünlükleridir. Ancak, büyük alan gerektirirler. Alan ihtiyacı, stabilizasyon havuzları kadar büyük değildir.

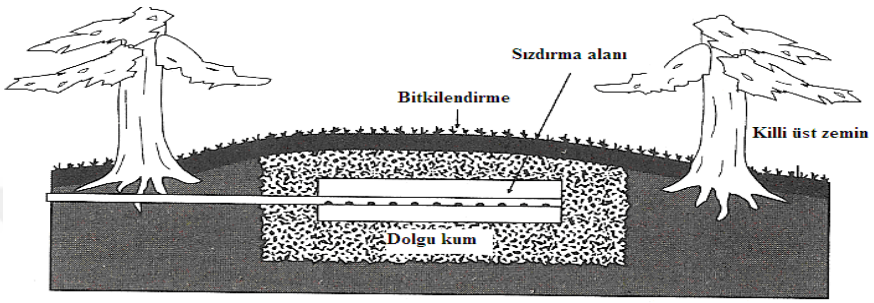
Özel sızdırma yataklarına ait şematik şekiller, Şekil 6.19'de verilmiştir. Şekil 6.19a'da, sığ kum yataklarından basınç altında sızdırma; Şekil 6.19b'de, dolgu kum yataklarından sızdırma; Şekil 6.19c'de, kum yataklarından sızdırma ve üzerindeki bitkilerin sızdırılan su ile beslenmesi, sonra buharlaşma ile atmosfere salınması ve Şekil 6.19d'de, iki kademeli septik tanktan geçen suyun yapay sulakalanlarda arıtımı şematik olarak gösterilmiştir (Syed 1999).



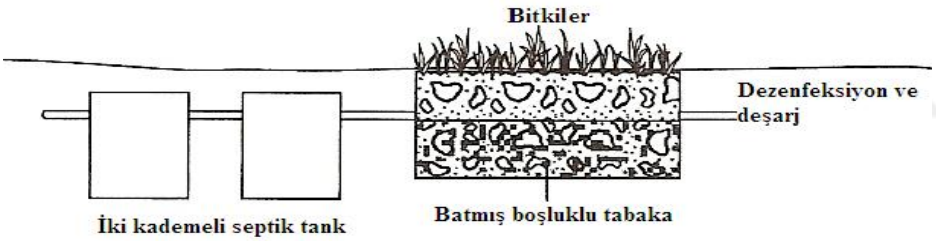
a)



b)



c)

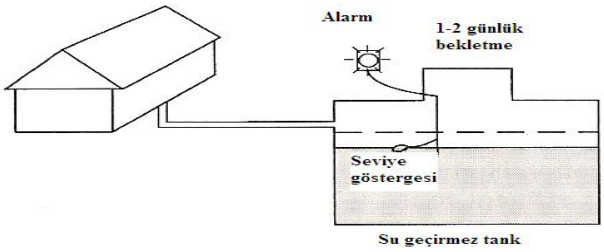


d)

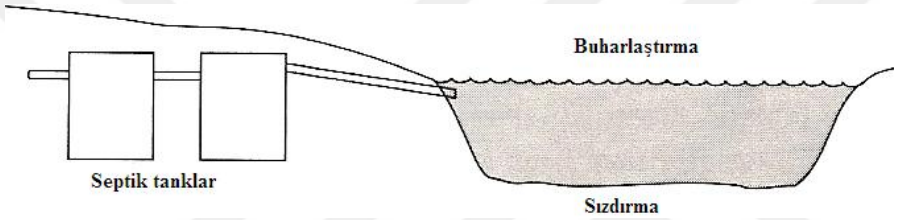
Şekil 6.19. Alüvyonlu zeminlerde nihai uzaklaştırma alternatifleri (Syed 1999)

Geçirimsiz zeminlerde, zemine sızdırmak pratik olarak mümkün değildir. Geçirimliliğin çok düşük, yer altı su seviyesinin yüksek, zemin eğiminin yüksek, taşkınların meydana geldiği ve atıksuyun, su kaynaklarının yakınlarında oluştuğu durumlarda zemine sızdırma düşünülmemelidir. Geçirimsiz zeminlerin olduğu yerlerde atıksular, daha kompleks arıtma sistemleri ile arıtılmalı ve uzaklaştırılmalıdır. Uygulanabilecek nihai deşarj alternatifleri, su sızdırmayan bekletme tankı (Şekil 6.20a), iki kademeli septik tank sonrası buharlaştırma (Şekil 6.20b), iki kademeli septik tank sonrası yapay sulakalanlar ve arazide arıtma (Şekil 6.20c), atıksuların toplandıktan sonra septik tank çıkışının vakumlu membran biyoreaktör ile arıtımı (Şekil 6.20d) olabilir.

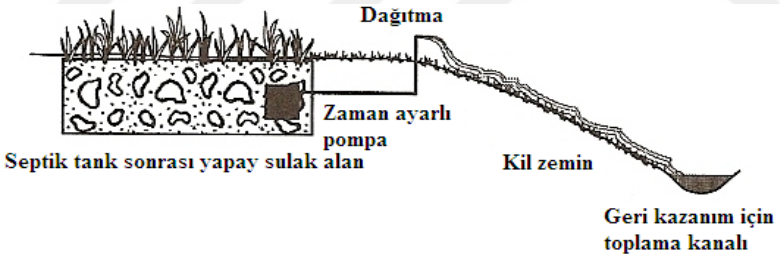
Geçirimsiz zeminler için önerilen bu nihai uzaklaştırma sistemleri, normal ve alüvyonlu zeminler için de kullanılabilir (Syed 1999).



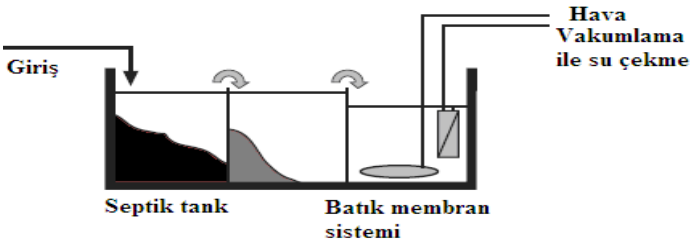
a)



b)



c)

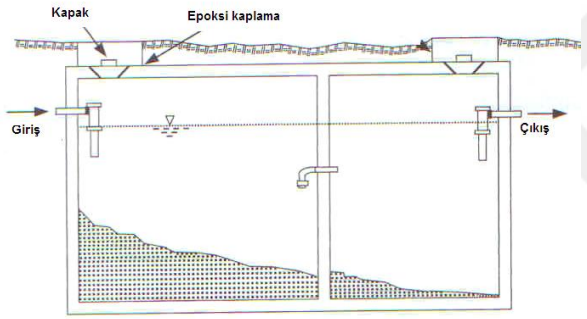


d)

Şekil 6.20. Geçirimsiz zeminlerde nihai uzaklaştırma alternatifleri (Syed 1999)

6.3.2.Çok bölmeli septik tanklar

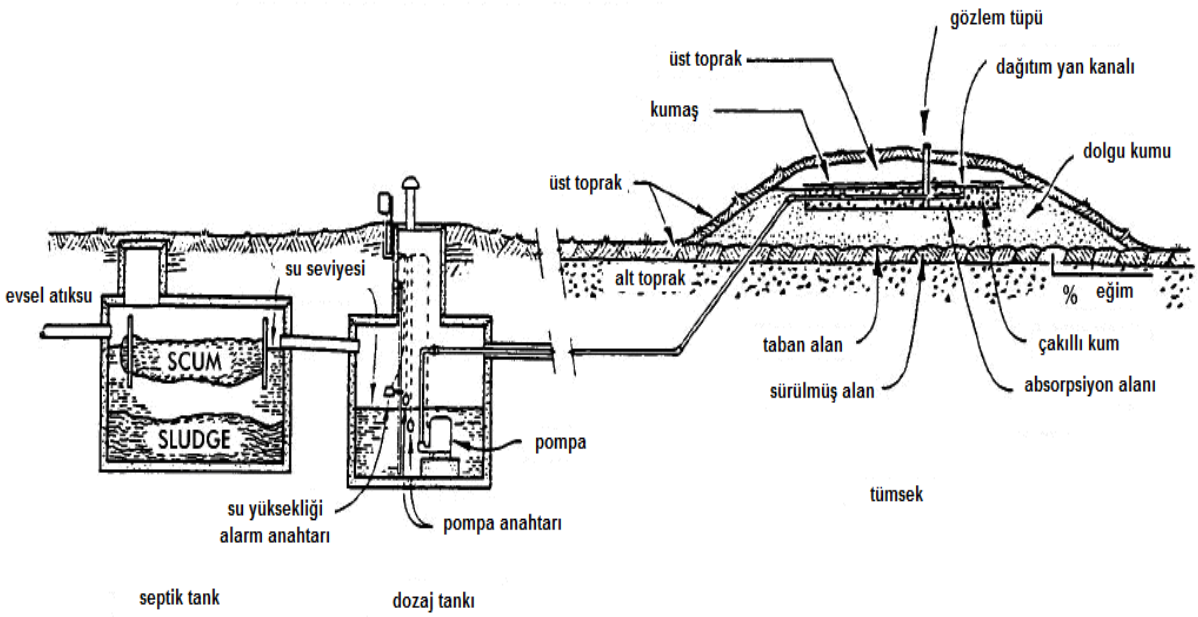
Çürütme çukurları olarak da adlandırılırlar. Kanal şebekesi olmayan kırsal yerleşim alanlarındaki münferit bina veya küçük yerleşim gruplarının atıksularının bertarafı için uygulanabilecek kullanışlı bir sistemdir. Üstü kapalı çöktürme çukurlarından ibarettir. Bunlar genellikle, iki, üç veya dört bölmeli olabilir (Şekil 6.21). Çamurun büyük bir kısmı ilk bölmede toplanır. Faydalı hacim, 200 L/N'e göre hesaplanır. Bir biyolojik faaliyetin de olması isteniyor ise 1000 L/N'ye göre bir boyutlandırma yapılması gerekmektedir. Bekletme süresi 2 gün civarındadır. Su yüksekliği, 1.2-2 m aralığında alınabilir. İki bölmelilerde, ilk bölüm toplam hacmin 2/3'ü kadardır. Üç bölmelilerde ise, ilk bölüm toplam hacmin yarısı, diğer iki bölüm eşit hacimlidir. Septik tank çıkışında AKM kaçışını önlemek üzere, çıkış borusu üzerine elek de yerleştirilebilir.



Şekil 6.21. Çift bölmeli septik tanklar (Syed 1999)

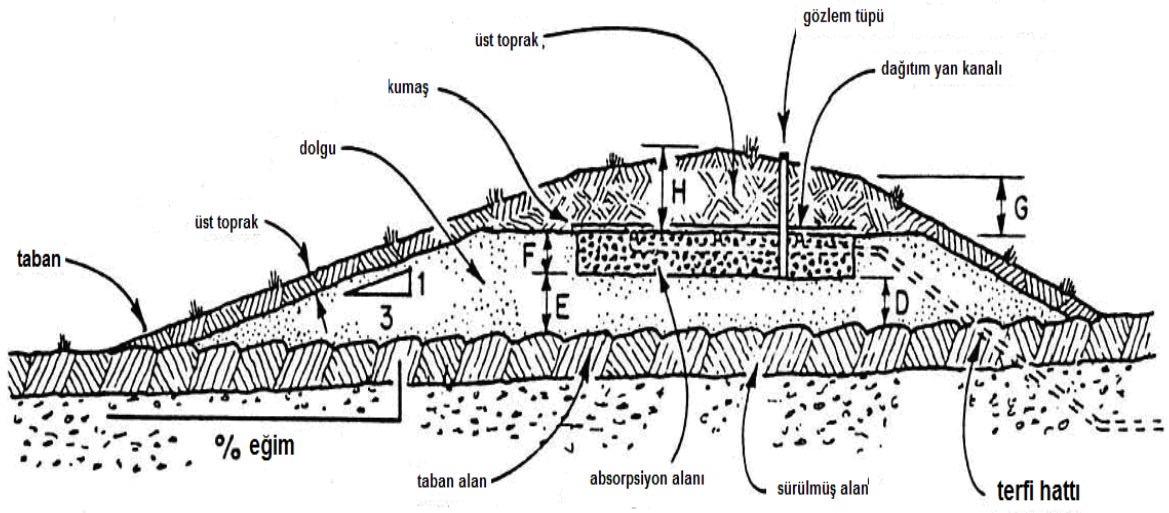
6.3.3 Tümsek septik sistemler

Bazı durumlarda toprak koşulları septik tank çıkış suyunu etkili biçimde arıtmada yeterli olmaz. Bu durum genellikle toprağın yüksek süzme (perkolasyon) hızından veya sığlığından kaynaklanabilir ya da sınırlandıran tabakaya bağlı olabilir. Sınırlandıran tabaka, çok düşük süzme hızında bir toprak katmanı, kaya veya yüksek seviyede bir yer altı suyu olabilir. Bu nedenle mound septik sistem olarak bilinen tümsek sistemler çok etkili değildir. Bir tümsek septik tank sisteminde septik tankın çıkış suyu dozajlama tankına verilir ve yerin üzerinde oluşturulan tümseğe gönderilerek toprak absorpsiyonu sağlanır. Tümseğin derinliği toprağın sınırlayıcı katmanına bağlıdır. Şekil 6.22'de tümsek septik sistemin yapısı görülmektedir (Anonim 2002).



Şekil 6.22. Tümsek septik sistemin görünüşü (Anonim 2002)

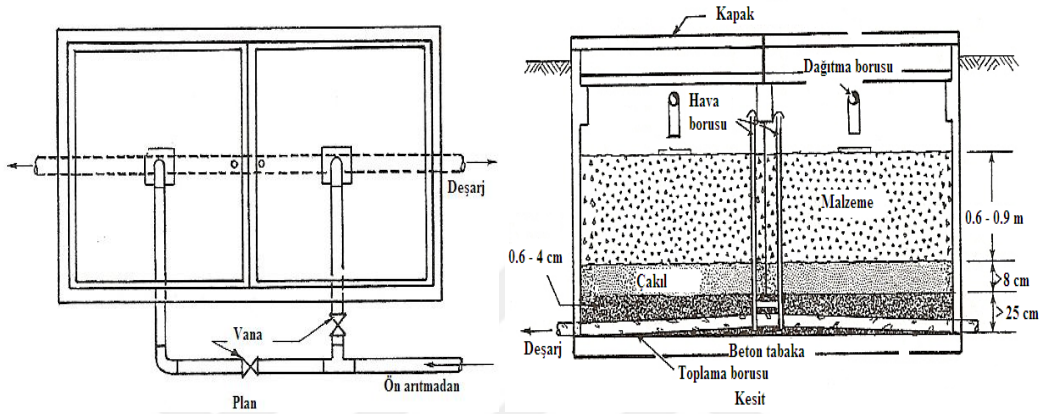
Birinci katman doğal toprağın üzerinde yer alır. Sınırlayıcı katmanın üzerindeki doğal toprak en az 24 inch kalınlıkta olmalıdır. Dağıtım sistemi boruları septik tümseğin üst kısmında bulunur ve çimlerle kaplıdır. Tümsek septik sistem katmanlarına ait detaylı bilgi Şekil 6.23'de verilmiştir.



Şekil 6.23. Tümsek septik sistemin yapısı (Anonim 2015c)

6.3.4.Yavaş kum filtreleri

Septik tank çıkışı, yavaş kum filtreleri ile kontrollü bir şekilde arıtılıp, dezenfekte edildikten sonra alıcı ortama verilebilir. Filtre kalınlığı, 60-90 cm olabilir. Yavaş kum filtreleri Şekil 6.24'de gösterilmiştir. Basit olarak işletilmeleri, en önemli üstünlükleridir. Ancak, büyük alan gerektirirler.



Şekil 6.24. Yavaş kum filtreleri (Syed 1999)

Bir septik tank veya aerobik üniteyi takip eden kum filtresinin üzeri toprakla örtülü veya açık olabilir. Kapalı filtreler genellikle küçük debiler için kullanılır. Çökelmiş atıksu delikli açık-mafsallı boru vasıtasıyla kum filtre yatağının üzerine dağıtılır. Kum özenle seçilmelidir. Filtrenin çakıl ve kum taneleri aerobik ve nitrifikasyon organizma formlarını içeren bir filmdir. Bakteriler atıksudaki organik maddeleri parçalar. Protozoa ve metazoa bakterilerden beslenir, böylece tıkanmaları önler. Halkalı solucanların çamur tüketiminde çok önemli olduğu görülür. Bu solucanlar kum filtrelerini açık ve aktif tutmak için büyük ölçüde sorumludurlar (Joseph ve ark. 2003).

Kum filtresi verimli bir arıtma ünitesidir. Atıksuyun septik tank ve yer altı kum filtresi çıkış değerleri Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Septik tank ve yer altı kum filtresi çıkış değerleri (Joseph ve ark. 2003)

	Atıksu Çıkışı	
Parametreler	**Septik Tank**	**Yer altı Kum Filtresi**
Bakteri, ml, Agar, 36^0C,24 sa	76 000 000	127 000
Toplam Koliform, MPN/100 ml	110 000 000	150 000
Renk	3,5	2
Bulanıklık, NTU	50	5
Koku	4,5	1
Askıda Katı Madde, mg/L	30	1
pH	7,4	7,4
Sıcaklık, ^{0}C	17	14
$BOİ_5$, mg/L	140	4
Çözünmüş Oksijen, mg/L	0	5,2
Toplam Azot, mg/L	36	21
Serbest Amonyum Azotu, mg/L	12	0,7
Organik Madde, mg/L	12	3,4
Nitrit, mg/L	0,001	0,02
Nitrat, mg/L	0,12	17
Oksijen Tüketimi, mg/L	80	20
Klorür, mg/L	80	65
Alkalinite, mg/L	400	300
Toplam Katılar, mg/L	820	810
Askıda Katı Madde, mg/L	101	12

Bakteri, protozoa, helmint, bulanıklık, BOİ ve askıda katı maddelerde büyük bir azalma elde edilir. Septik tank çıkışındaki bakteri ve toplam koliform giderimi yer altı kum filtresi çıkışına göre daha düşüktür. Yer altı kum filtresi giderim verimleri Çizelge 6.7'de verilmiştir.

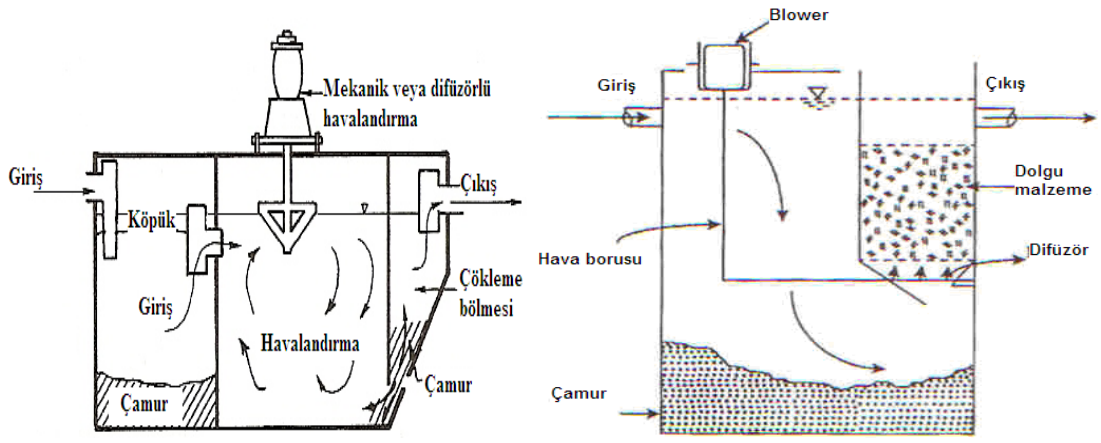
Çizelge 6.7. Yer altı kum filtresi giderim verimleri (Joseph ve ark. 2003)

Parametreler	**Giderim Verimleri,%**
Bakteri	99,5
Toplam Koliform	99,6
$BOİ_5$	97
Askıda Katı Madde	88
Oksijen Tüketimi	75
Toplam Azot	42
Serbest Amonyum Azotu	94
Organik Madde	72

Bir kum filtresinin verimli çalışması hızına, boyutlandırılmasına ve kumun homojen dağılmasına bağlıdır.

6.3.5.Uzun havalandırmalı paket arıtma sistemleri

Septik tank çıkışı, havalandırma bölmesine verilir (Şekil 6.25a). Gerektiğinde yüzeyde büyümeyi sağlamak üzere, dolgu malzemesi kullanılabilir (Şekil 6.25b). Havalandırma bölmesi yüksek çamur yaşlarında çalıştırılır.



(a) (b)

Şekil 6.25. Yerinde arıtma olarak kullanılabilecek paket arıtma sistemleri (Syed 1999)

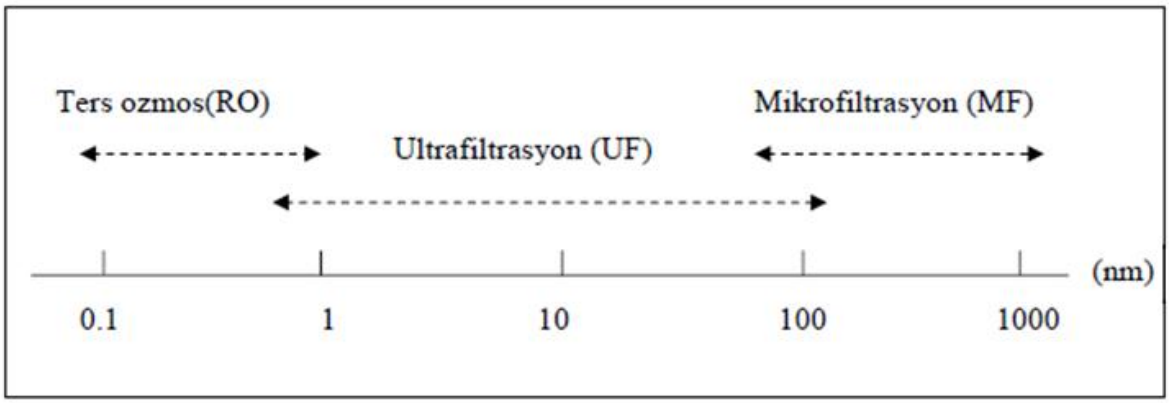
Bu sistemlere ait boyutlandırma kriterleri Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Yerinde uzun havalandırma paket aktif çamur sistemleri için boyutlandırma kriterleri (Syed 1999)

Parametre	Aralık	Maksimum
MLSS, mg/L	2000-6000	8000
F/M, g BOİ/g MLVSS.gün	0.05-0.1	-
Çamur yaşı, gün	20-100	-
Hidrolik bekletme süresi, gün	2-5	-
Çözünmüş oksijen, mg/L	> 2	-
Karıştırma, kW/m^3	0.01-0.03	-
Çöktürme yüzey yükü, m^3/m^2.gün	8-16	33
Çamur temizleme aralığı, ay	3-6	8-12

6.3.6.Membran biyoreaktör sistemleri

Son yıllarda geliştirilen bazı arıtma teknolojileri ile atıksuyun tekrar kullanımı ekonomik olarak mümkün olmaktadır. Özellikle suyun kıt olduğu yörelerde ve çok su kullanan endüstrilerde önemli altyapı yatırımları yapılmadan önce evsel atıksuların ve kötü kalitedeki yüzey sularının tekrar kullanımı ekonomik bir alternatif olarak dikkate alınmalıdır. Membran prosesleri atıksuların tekrar kullanımını mümkün kılarak onların alternatif su kaynağı olarak değerlendirilmelerini gündeme getirmiştir. Membran, iki farklı fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve bir tarafından diğer tarafa maddelerin seçici bir şekilde taşınmasını sağlayan geçirgen bir tabakadır. Membranla ayırma teknolojilerinin tümünde membrandan geçme yönünde akış sağlamak üzere itici bir kuvvet ve bazı maddelerin geçişini engelleyen ayırma faktörü, temel iki prensiptir. Kütle transferi; konsantrasyon farkı, basınç farkı ve elektriksel potansiyel farkı gibi itici güçler yardımıyla gerçekleşmektedir. Membran proseslerinde en yaygın itici kuvvet basınçtır. Membran ayırma prosesleri; mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters ozmos (RO), elektrodiyaliz (ED), ve pervaporasyondur. Bu yöntemlerde ayırma, moleküllerin boyutlarına ve molekül kütlelerine göre olur. Bu membranlar geçirdikleri maksimum molekül ağırlığına göre ayırt edilirler (Şekil 6.26).



Şekil 6.26. Membran prosesleri ve por büyüklükleri (Bilstad 1997)

UF ve MF'da itici kuvvet tamamen basınçtır. Pervaporasyon ve RO proseslerinde ise kısmen basınç kısmen de konsantrasyondur. Membran prosesleri arasındaki temel fark kullanılan gözenek boyutundaki farklılıklardır. Bakteriler 100 nm den büyük oldukları için 100 nm'den düşük membranlarda tutulurlar. RO sisteminde temiz suyu kirli sıvıdan ayıran yarı geçirgen bir membran vardır. Kirli tarafa bir basınç uygulandığında kirli taraftaki su temiz tarafa diffüze olur. Proses sonunda, istenmeyen kimyasal maddeler yoğunlaşarak temiz sudan ayrılır. RO prosesi atıksudan inorganik tuzları ayırmada ve atıksudaki belli organik çözücülerin gideriminde kullanılır. En küçük gözenek boyutuna sahip olan ve bu yüzden çok yüksek basınca ihtiyaç duyan RO prosesinin en yaygın uygulama alanı deniz suyu veya tuzlu sudan içme suyu elde edilmesidir. UF ve MF proseslerinde membranların gözenek boyutları daha büyük olduğundan ayırma için daha düşük basınç gerekir. UF prosesinde 0.1-0.01µm büyüklüğündeki partiküller tutulur. UF prosesi atıksudan makro molekül ve kollooidlerin konsantre edilerek ayrılmasında kullanılır. Atıksu belirli gözenek boyutundaki geçirgen zarın bir tarafında basınç altında bulunur. Gözenek boyutundan küçük tüm maddeler membrandan geçer, büyük boyutlular kirli su tarafında kalır. UF prosesi, RO prosesi öncesi ön arıtım kademesi olarak da kullanılır. Elektrodiyalizde elektrik yüklü membranlar kullanılır. Katyon veya anyonlar seçici membran tarafından reddedilirler. Bu reddedilen anyonlar elektrodiyaliz hücresinden deşarj edilirler. En yaygın uygulaması peynir altı suyunun tuzsuzlaştırılmasıdır. Yeni iki katmanlı membranlarla atık seyreltik tuz çözeltilerinden asit ve baz üretilerek geri kazanma gerçekleşmektedir. Membrandan geçmeyen

maddelerin, tıkanmaya neden olmamaları için periyodik olarak toplanarak membranın temizlenmesi gerekir (Bilstad 1997).

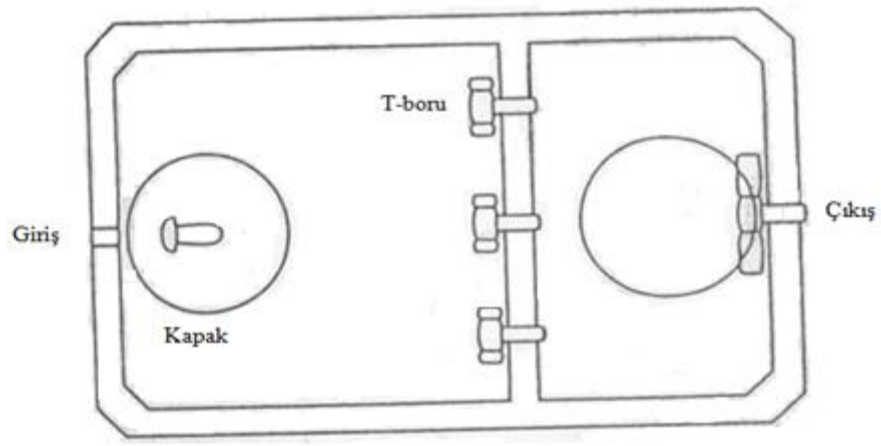
6.4. Septik Tanklarda Giderilen Maddeler ve Yeniden Kullanım Uygulamaları

6.4.1.Yağ giderimi

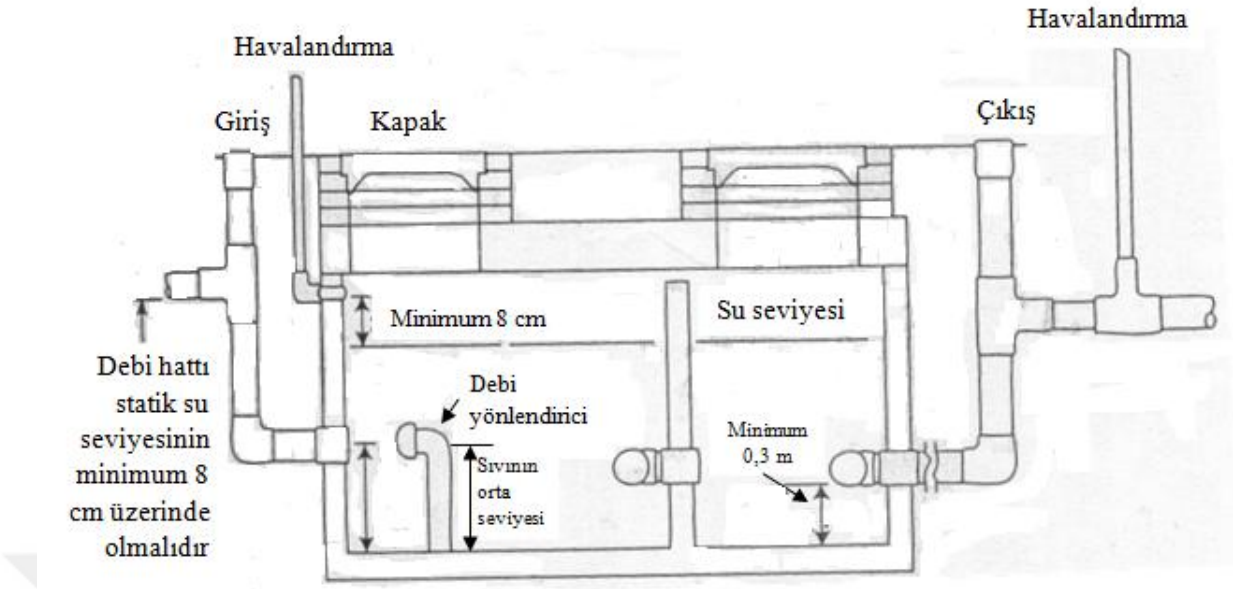
Septik tankta birincil arıtma öncesinde yağ giderimi için bazı yöntemler kullanılmalıdır. Merkezi olmayan atıksu sistemlerinde yağ giderimi için uygulanan iki temel yöntem aşağıda açıklanmıştır.

1. Açık yağ ayırma üniteleri

Yağ tutucular genellikle septik tanka benzer olarak 1-2 bölmeli inşa edilir. İlk bölme toplam kapasitenin %60'ına sahiptir. Septik tanktan farklı olarak yağ ve gres dikkate alınır. Atık yağlar yüzeye çıkma eğiliminde olduğundan birinci ve ikinci bölmeler arasındaki açıklık, ikinci bölmeye giren veya tankı terk eden yağı önlemek için septik tanklardan daha azdır. Yağ tutucular debi yönlendiriciler ile donatılmış olabilir. Bunlar tanka giren atıkların hızını yavaşlatmak ve tankın girişinde atıksuyu daha iyi dağıtmak için kullanılır. Şekil 6.27a ve Şekil 6.27b'de ticari ölçekli yağ tutucu tankının temel özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 6.27 a Yağ tutucu tankının üstten görünüşü (Parten 2010)



Şekil 6.27 b Yağ tutucu tankının yandan görünüşü (Parten 2010)

Yağ tutucuların boyutlandırma aşamaları şunlardır:

- Yağ tutucu sistemini kurmak için sabit ünitelerin sayısı hesaplanmalıdır.
- Yağ tutucu için minimum debi belirlenir. Toplam armatür sayısı 3gal/dak ile çarpılır.

Yağ tutucu debisi = Armatür sayısı x 3 gal / dk.

Yağ tutucu debisi = Armatür sayısı x 3 gal / dk. x 3.785 L / gal

- Yağ tutucu için minimum sıvı kapasitesi hesaplanır. 12 dakikalık debi için minimum yağ tutma kapasitesi:

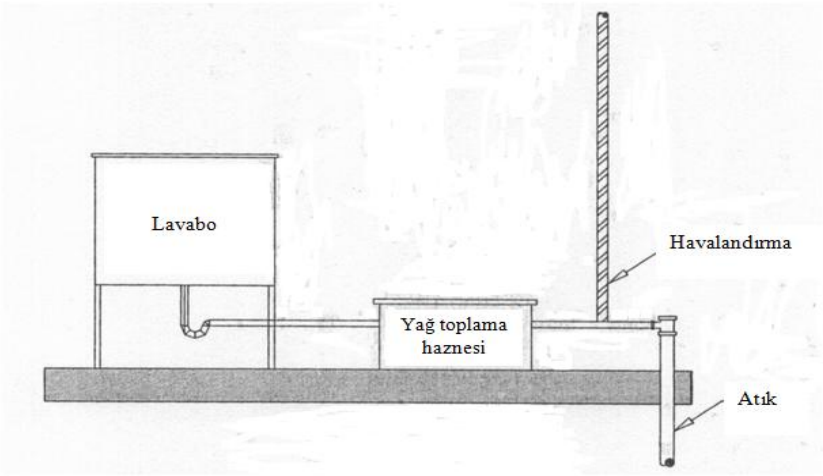
Minimum yağ tutma kapasitesi = Debi (gal veya L) x 12 dakika

İki bölmeli yağ tutucular artan akış yolları ve ayırma olanakları nedeniyle tavsiye edilir. Beton yağ tutucular ve diğer maddelerden üretilenlerde kapasite artırımı uygulanabilir.

2. Kapalı yağ ayırma üniteleri

Yağ giderimi için ikinci temel yöntem lavabo veya tezgah altında yağ ayırma ünitelerini kullanmaktır. Bu üniteler genellikle iç bölmeler ile birlikte elektromekanik sıyırma bileşenlerini kullanan büyük dış yapı yağ tutuculardan daha az pasiftir. 'Noktasal kaynak' üniteleri genellikle ticari mutfaklarda çok bölmeli lavabo veya ön yıkama istasyonlarına sabitlenir. Bu üniteler genellikle 10-50 gal/dakikalık debiler için boyutlandırılır. Daha büyük kapalı üniteler çoklu kaynaklardan gelen debileri işleme kapasitesine sahiptir.

Binalardaki bu üniteler genellikle bodrum katlarında veya mekanik odalarda bulunur. Merkezi kapalı üniteler için debi 50-125 gal/dk. aralığında olabilir. Kapalı yağ ayırma üniteleri farklı işlevsel özellikleri ve yapı malzemeleri ile özel olarak tasarlanır. Bu ünitelerin tasarım ve kurulumuyla ilgili yardım almak için üreticilere başvurulması tavsiye edilir. Şekil 6.28'de ticari bir mutfak için tek kaynaklı yağ ayırma ünitesinin temel bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 6.28. Tek kaynaklı yağ ayırma ünitesinin temel bileşenleri (Parten 2010)

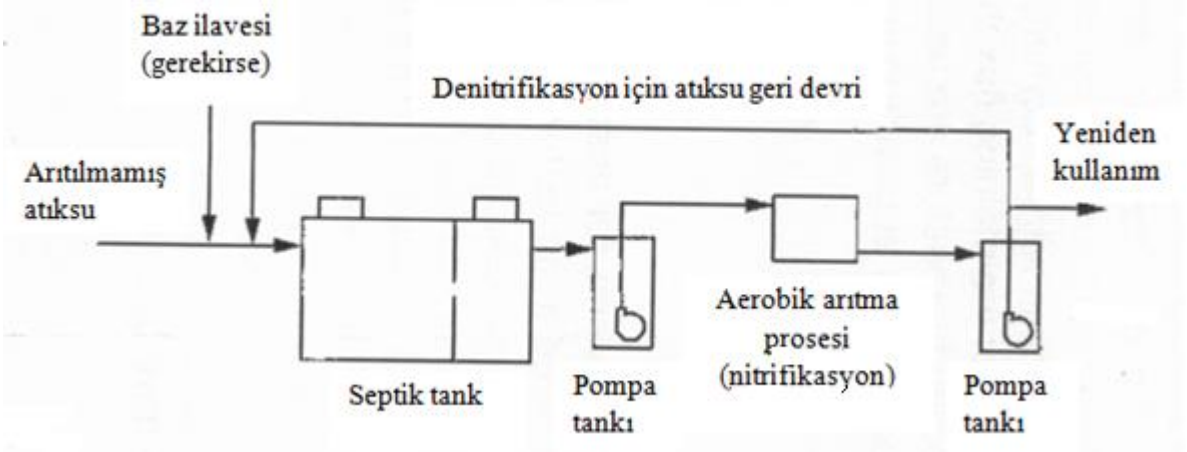
Bu üniteler korozyona dayanıklı malzemeden yapılmalıdır. Bu yapıların iç malzemeleri polietilen, dış malzemeleri paslanmaz çelikten oluşabilir. Ticari mutfak debileri için boyutlandırılan kapalı üniteler yüksek kaliteli ve paslanmaz maddelerden yapılır. Bu üniteler açık yağ ayırıcılardan daha maliyetlidir. Kapalı yağ ayırıcılar tarafından toplanan yağ ve gres, gerekli düzenlemeler yapılırsa depolama haznelerine veya

varillere boşaltılır. Mevcut veya depolanan yağlar izin verilirse sıhhi depolama alanlarında bertaraf edilir. Yağ ayırıcıların uygun nihai kullanım için düzenli olarak kontrol edilmesi gerekir. Son yıllarda hem bitkisel hem de hayvansal yağlar başarılı bir şekilde biyo-dizel yakıtlara dönüştürülmüştür. Temiz enerji üretimini sağlayan yöntem ve malzemeler olduğu sürece biyo-dizel yakıt işleme, yağ ve yağ atıkları için sürdürülebilir bir yaklaşım olarak düşünülebilir.

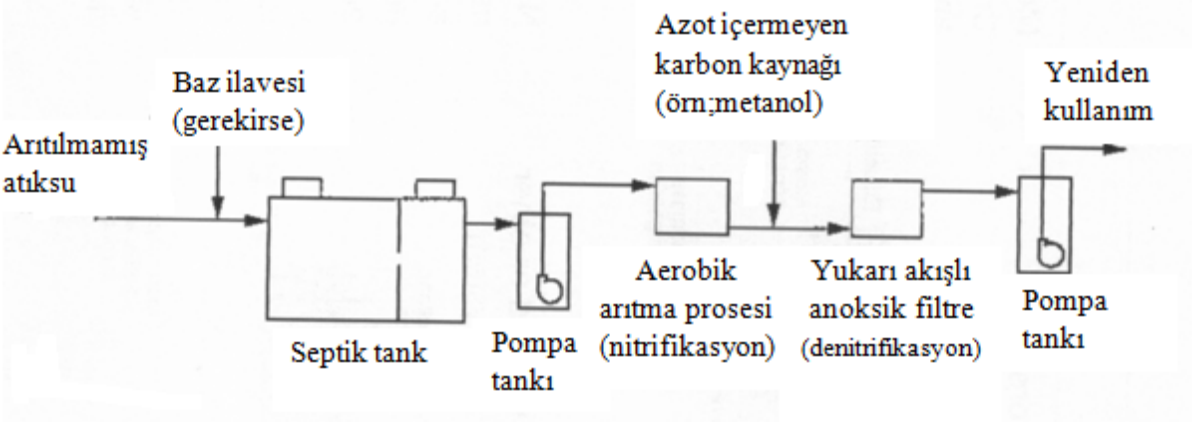
Yağ ayırıcılardan kompostlama ile yağ giderimi atıkların yararlı bir şekilde kullanımı için uygulanmaktadır. Dünya çapında birçok yerde yağ ayırıcı atıkları ve septik tank çamurları, bitki örtüsünden oluşan atıklarla birlikte kompostlaştırılır. Genel olarak yağların faydalı kullanım türlerine veya enerji kaynağına dönüştürülmesi, bertaraf için sürdürülebilir bir yaklaşım olarak kabul edilir (Parten 2010).

6.4.2.Nütrient giderimi

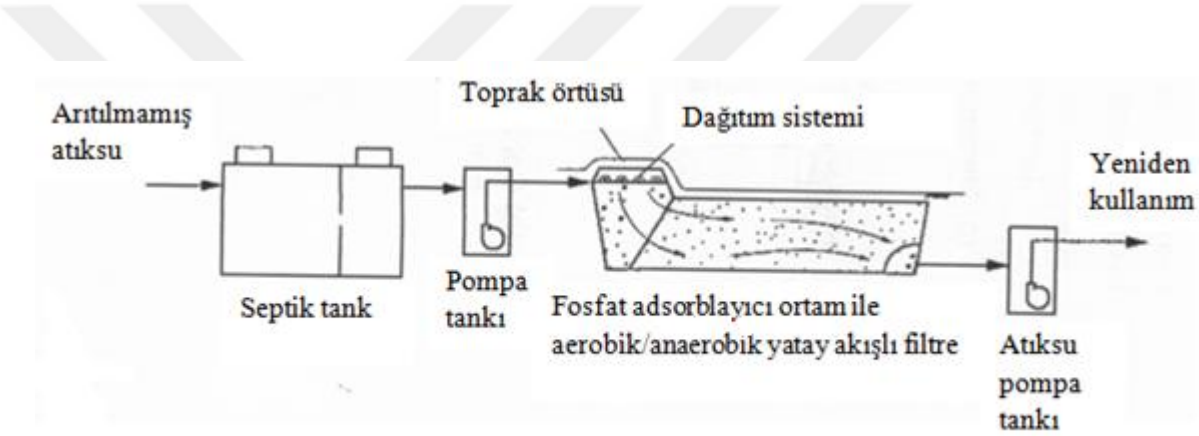
Nütrientler yer altı suyuna karışabilir veya yüzeysel sularda ötrofikasyona neden olabilir. Şekil 6.29'da merkezi olmayan arıtma sistemlerinden azot ve fosfor miktarını azaltmak için uygulanabilecek birkaç alternatif gösterilmiştir.



(a) İç karbon kaynağı kullanarak denitrifikasyon



(b) Dış karbon kaynağı kullanarak denitrifikasyon



(c) Fosfor giderimi için aerobik/anaerobik proses

Şekil 6.29. Nütrient giderimi için proses akış diyagramı (Metcalf 2006)

Atıksudaki azot konsantrasyonuna bağlı olarak tek veya iki adımda arıtma yapılabilmektedir. Birinci adımda amonyum havalı ortamda nitrata dönüştürülürken (nitrifikasyon) ikinci adımda ise nitrat azot gazına dönüştürülür (denitrifkasyon). Atıksudaki azot nitrat formunda olup sulama suyu olarak kullanılacak ise yalnızca denitrifikasyon yeterli olabilmektedir. Denitrifikasyon metanol veya uygun organikler ilavesi ile ayrı bir reaktörde veya birleşik nitrifikasyon-denitrifikasyon sistemlerinde yapılabilmektedir.

6.4.3.Yüzey aktif maddeler

Yüzey aktif maddeler genel olarak, suyun yüzey gerilimini azaltmak, ve emülsiyonlaşmayı artırmak için deterjanlar ve sabunlarda kullanılır. Bu maddeler ham evsel atıksuda bulunan antropojenik organik bileşiklerdir. Yüzey aktif maddeler septik tanktaki arıtma proseslerinde yok edilemez. Başka bir arıtma yöntemi uygulanmazsa toprağa geçer ve çözünmez organik kirleticilerle hareket eder. Yüzey aktif maddeler toprak yapısını ve atıksu sızma oranlarını değiştirebilir (Anonim 2002).

Yer altı atıksu infiltrasyon sistemleri, toprak arıtma süreçleri ve yer altı suyuna besleme yoluyla atıksu arıtma ve dağılmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Yeterli performans ön arıtma sistemlerinin arıtma verimliliğine bağlıdır. Toprak yeterli gözenek özelliklerine sahip olmalıdır. Fosfor ve metaller, adsorpsiyon, iyon değişimi ve çökelme reaksiyonları aracılığıyla giderilebilir. Ancak bu iyonları tutmak toprağın kapasitesi ile sınırlıdır. Bu durum toprak minerolojisi, organik madde içeriği, pH, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli ve katyon değişim kapasitesine göre değişir. Virüs giderme ile ilgili uzun bekletme süreleri ince doku toprak, düşük hidrolik yüklemeler, düzenli doz ve dinlenme, aerobik alt toprak ve yüksek sıcaklıklarda elde edilir.

Yer altı atıksu infiltrasyon sistemleri yer altı suyu kalitesini etkiler. Bu nedenle yüzey sularının kalitesini etkileme potansiyeline sahiptir. Yüzey sularının organik dip sedimentleri, atıksu bileşiklerinin giderilmesi veya tutunması için görünür. Eğer atıksudaki bu bileşikler yer altı suyuna sızarsa, yüzeysel sulara geçer. Bu dip sedimentleri biyokimyasal etki ile iz organik bileşiklerin, endotoksin, nitrat ve patojen maddelerin giderilmesinde etkili olabilir.

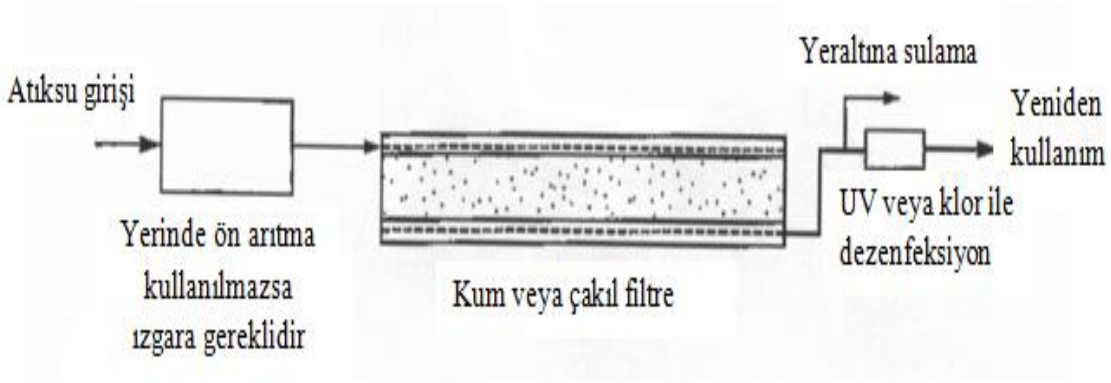
Doğru şekilde tasarlanan ve işletilen septik sistemlerin çevresel risklerinin düşük olduğu görülmektedir. Ancak aşırı geçirgenlik (kaba dokulu ve büyük gözenekli topraklar), düşük organik madde, düşük pH, düşük katyon değişim kapasiteleri, düşük oksijen indirgeme potansiyeli, yüksek nem içeriği ve düşük sıcaklıklar çevre risklerini artırabilir (Anonim 2002).

6.4.4.Peyzaj sulama sistemleri yeniden kullanım uygulamaları

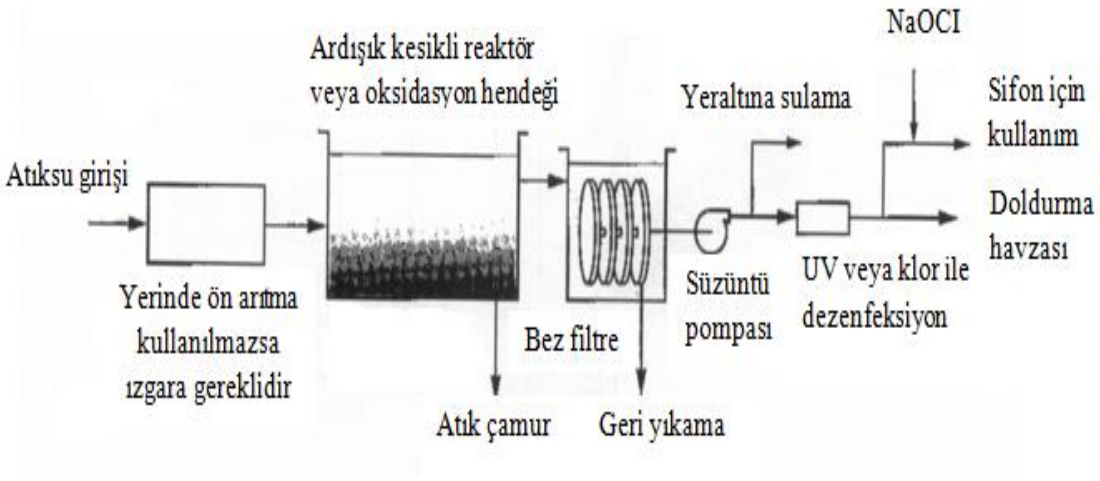
Birçok merkezi olmayan atıksu arıtma sistemleri atıksuyun dağılması için topraktan faydalanır. Toprak infiltrasyon sistemleri genellikle atıksuda bulunan su veya nütrientlerden bitkinin yararlanması için tasarlanmamıştır. Bu nedenle atıksuyun yer altı suyuna sızması ve bitkilerin bu atıksuları alması, toprak infiltrasyon sistemlerinde plansız su yeniden kullanımı olarak kabul edilir.

Peyzaj sulama için planlı olarak kullanılan merkezi olmayan su yeniden kullanım sistemleri birçok yerde uygulanmaktadır. Bu sistemler su gereksinimini azaltır ve güvenli olarak kabul edilir. Sulamada yeniden kullanım için dizayn edilen merkezi olmayan atıksu arıtma sistemleri, bitkiler için uygun oranda arıtılmış su ve nütrient uygulamak için kullanılır. Genellikle damla sulama gibi yüzeysel atıksu dağıtım yöntemleri kullanılır. Evlerden gelen atıksular sızdırmaz septik tank ya da başka katı ayırma ünitesinde tutulur. Bu suların tümü veya bir kısmı damla sulama yöntemiyle ağaçlar için kullanılabilir. Atıksudaki nütrientler bitkiler için yarar sağlar.

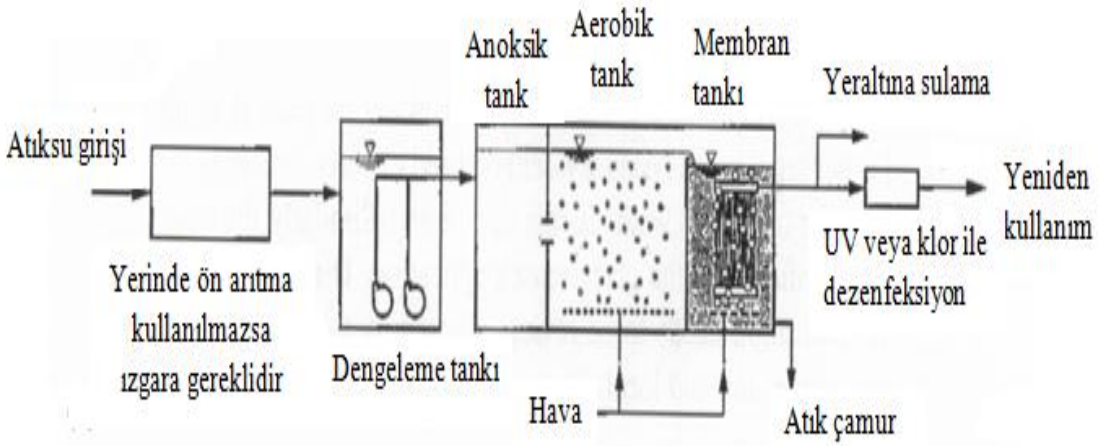
Kısıtlanmamış su yeniden kullanım uygulamaları için ikincil atıksu filtrasyon veya mikrofiltrasyon ile arıtılır. Bunu UV dezenfeksiyon ünitesi takip eder. Membran biyoreaktörlerini UV dezenfeksiyon ünitesi takip ediyorsa, filtrasyona gerek kalmaz. Atıksu arıtımı ve yeniden kullanım proseslerini içeren akış diyagramları Şekil 6.30'da gösterilmiştir (Metcalf 2006).



(a) Kum veya çakıl filtre



(b) Ardışık kesikli reaktör veya oksidasyon hendeği



(c) Membran biyoreaktör

Şekil 6.30. Merkezi olmayan atıksu arıtma tesisleri için kullanılan tipik akış diyagramları (Bu işlemler gelişmişlik düzeyi artış sırasına göre düzenlenmiştir) (Metcalf 2006)

Yerleşim yerlerinden septik tanka gelen atıksu bileşenleri Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Yerleşim yerlerinden septik tanka gelen atıksu bileşenleri (Metcalf 2006)

		Konsantrasyon, mg/L					
		Atıksu Filtreli			**Atıksu Filtresiz**		
Bileşenler	Tam Karışım Değerleri mg/L	Aralık Değerleri	Mutfak Atıkları Olmadan	Mutfak Atıkları İle	Aralık Değerleri	Mutfak Atıkları Olmadan	Mutfak Atıkları İle
BOİ	450	150-250	180	190	100-140	130	140
KOİ	1050	250-500	345	400	160-300	250	300
Toplam AKM	503	40-140	80	85	20-55	30	30
NH_4^+	41.2	30-50	40	44	30-50	40	44
Organik Azot	29.1	20-40	28	31	20-40	28	31
Toplam Azot	70.4	50-90	68	75	50-90	68	75
Organik Fosfor	6.5	4-8	6	6	4-8	6	6
İnorganik Fosfor	10.8	8-12	10	10	8-12	10	10
Toplam Fosfor	17.3	12-20	16	16	12-20	16	16
Yağ ve Gres	164	20-50	25	30	10-20	15	20

Merkezi olmayan atıksu arıtma sistemlerinde kullanılan çeşitli proseslerin verimleri Çizelge 6.10'da verilmiştir. Bu Çizelgedeki değerler proseslerin düzenli bir şekilde izlenmesi sonucu oluşturulmuştur.

Çizelge 6.10. Merkezi olmayan atıksu arıtımı için kullanılan prosesler ve çeşitli kombinasyonlar kullanılarak elde edilen arıtma seviyeleri (Metcalf 2006)

	Ulaşılabilir Çıkış Suyu Kalitesi						
Proses	**Toplam AKM mg/L**	**BOİ mg/L**	**KOİ mg/L**	**Toplam Azot mg/L**	**NH_4^+-N mg/L**	**PO_4-P mg/L**	**Bulanıklık NTU**
Atıksu filtresiz septik tank	40-140	150-250	250-500	50-90	30-50	8-12	15-30
Atıksu filtreli septik tank	20-55	100-140	160-300	50-90	30-50	8-12	10-20
Septik tank+ aralıklı tek geçişli kum filtresi	0-5	0-5	10-40	<30	1-5	6-10	0.001-2
Septik tank+ aralıklı çok geçişli filtre	0.5-15	5-10	20-40	7-20	1-3	6-10	0.1-2
Septik tank+kompakt aktif çamur prosesi	10-30	20-60	40-120	20-40	1-5	6-10	-
Septik tank+hibrit aktif çamur prosesi	5-30	10-40	20-80	20-40	1-5	6-10	-
Septik tank+döner biyodisk	1-15	2-20	10-50	5-30	1-5	6-10	-
Septik tank+yapay sulak alan	10-20	10-20	25-50	5-20	1-10	4-8	-
Septik tank+aralıklı filtre+fosfor giderimi	0-5	0-5	10-40	<30	0-5	<0.5	0.01-2
Septik tank+aralıklı kum filtresi+azot giderimi	0.5-15	10-30	20-60	0.5-5	1-4	6-10	-
Septik tank+aralıklı kum filtresi+azot giderimi+fosfor giderimi	0.5-15	10-30	20-60	0.5-5	1-4	<0.5	-
Septik tank atık su toplama sistemi+membran biyoreaktör+fosfor giderimi	<1	<5	<30	<10	<1	<0.1	<0.1
Septik tank atık su toplama sistemi+uzun havalandırmalı aktif çamur+bez fitre+mikrofiltrasyon	0	<2	<15	<10	<1	<6	<0.1
Septik tank atık su toplama sistemi+ardışık kesikli reaktör	<5	<5	<30	<5	<1	4-8	<1

Bireysel konutlar için tipik bir yeniden kullanım tesisi; septik tank, pompa, kontrol sistemi ve damlama sulama sisteminden oluşabilir. Bu tür sistemler uygun dizayn ve bakım ile uzun dönem güvenilir bir şekilde çalışacaktır. Örneğin septik tank yeterli büyüklükteyse, katı maddelerin 5-10 yılda bir taşınması gerekir. Benzer bir şekilde, yerinde arıtma sistemleri için kullanılan birçok pompanın yaklaşık 10 yıl fonksiyon göstermesi beklenir. Doğru dizayn edilmiş damlama sulama sistemlerinin, partikül maddelerin giderilmesi ile uzun süre tıkanmadan faaliyet göstermesi beklenir. Yerinde ve merkezi olmayan arıtma sistemlerinin uzun dönemli kullanımında uygun dizayn ve bakımının yapılması çok büyük önem taşır (Metcalf 2006).

7. EVSEL ATIKSULARIN SULAMADA KULLANIMININ TÜRKİYE VE DÜNYADAKİ UYGULAMALARI

Suya olan talep her geçen gün daha fazla artmaktadır. Bu nedenle tüm ülkeler artık yeni su temini alternatifleri aramaya başlamışlardır. Su kaynakları kıtlığı problemini azaltmak için önemli bir potansiyel suyun yeniden kullanımıdır. Tarımsal üretimde kullanılan su miktarı toplam tüketilen su miktarının önemli bir kısmını teşkil ettiği bilinmektedir. Birçok ülke günümüzde ek su kaynağı olarak sulamada atık suların yeniden kullanımını sulama politikalarının bir parçası olarak görmektedirler.

Atık suyun sulamada yeniden kullanımına ilişkin önemli projeler;
MEDAWARE projesi, Avrupa-Akdeniz ülkeleri arasında oluşturulan ortaklık çerçevesinde, Yunanistan, İspanya, Kıbrıs, Filistin, Ürdün, Lübnan, Fas ve Türkiye'yi içine alan, atık suların arıtımı ve yeniden kullanımı açısından sürdürebilir olmayan uygulamaları değiştirmeyi amaçlamaktadır. Projede enstitülerin kapasitelerinin geliştirilmesi, eğitim faaliyetlerinin yapılması, ortaklıkların oluşturulması, sürdürülebilirlik açısından, politikaların, planlamaların, metodolojilerin atık su arıtımının ve güvenli kullanımın sağlanması, bilgi alışveriş ağlarının oluşturulması, kamu ilgisinin arttırılması ve bu sektörde nüfusun eğitim problemlerinin çözülmesi hedeflenmiştir. Projenin başlıca amaçları;

- Türkiye'de sürdürülebilir atık su yönetiminin hangi aşamada olduğunu incelemek, sürdürülebilir atık su yönetiminin geliştirilmesi için güvenilir bir veri tabanı ve araçlar oluşturmak,
- Türkiye'deki kentsel atık su arıtma tesislerinin mevcut durumunu araştırmak,
- Mevcut ulusal çevre kanunlarının yeterliliğini incelemek, proje konusu çerçevesinde önerilerde bulunmak
- İlgili kurumlar tarafından kullanılmak üzere atık su arıtma tesislerinin etkin bir şekilde işletilmesi için en uygun çözümlerin önerildiği, üretildiği teknik kılavuzlar hazırlamak (Aslan-Alaton ve ark. 2005)

EMWater, 2010 yılında başlanacak olan Avrupa-Akdeniz ortaklığı serbest ticaret bölgesinin, altyapı yapım ve geliştirilmesi amacı ile 1995 yılında başlamıştır. Bu

amaçla, en önemli adımlardan biri, 1999 yılında, su sağlama ve atık su yönetimi bölgesel işbirliğinin kurulması doğrultusunda Avrupa-Akdeniz Su ağı olmuştur. Bu çerçevede, EMWater-etkili atık su yönetimi, arıtımı ve yeniden kullanımı projesi 2003 yılında, Ortadoğu'da atık su yönetimi, arıtımı ve yeniden kullanımı ile ilgili yeniliklerin ve çözümlerin bulunması için başlatılmıştır. Bu proje kapsamında, Almanya ve İtalya, Akdeniz ülkelerinden, Lübnan, Filistin, Ürdün ve Türkiye ortaklık oluşturmuşlardır. Projede, atık suyun arıtımı ve yeniden kullanımı çerçevesinde, karar vericiler için, tüm etkilerin ve uygun teknolojilerin seçiminde göz önüne alınması gereken etkenlerin belirtildiği bir rehber hazırlanmıştır (Yurtseven 2010).

Rehberde oluşturulan altı ana adım şu şekilde önerilmiştir;
(1) Atık suyun yeniden kullanımının potansiyel envanterinin oluşturulması,
(2) Mümkün olan en geniş kullanım alanlarının belirlenmesi,
(3) Yasal gereklilikler ve sorumlu enstitülerin belirlenmesi,
(4) Yeniden kullanım alternatiflerinin detaylı analizi,
(5) Alternatiflerin ekonomik açıdan değerlendirilmesi,
(6) En uygun alternatiflerin finansal fizibilitelerinin yapılması.

Kapasite geliştirme adı altında, proje dahilindeki ortak ülkelerden çeşitli yerel araştırmacılar ve yöneticilere kurslar düzenlenmiştir. Kentsel atık suların anaerobik tortul atık örtü (UASB) reaktörü yöntemiyle arıtılmasına ilişkin pilot bir tesis kurulmuştur. UASB'den çıkan atık su araştırmacılar tarafından oluşturulmuş bir yapay sulak alana cazibe ile iletilmiştir. Oluşturulan yapay sulak alan, yatay akış yolu tipinde olup, üç farklı kum katmanından oluşmuştur. Aşağıdan yukarıya doğru, kum danelerinin büyüklükleri azalmaktadır. Yapay sulak alandan çıkan atık su, zararlı mikroorganizmalardan arıtım için UV ünitesine aktarılmıştır. Araştırma bulgularına göre, COD tüm sistemde %98, toplam azot giderimi ortalama %23, toplam fosfor giderimi %54-63 oranında düştüğünü bildirmişlerdir (Akçın ve ark. 2008).

QUALIWATER projesi 2006 tarihinde Türkiye, Cezayir, Fas, İspanya, Tunus ve İngiltere ortaklığında yürütülmeye başlanmıştır. Avrupa Birliği su çerçeve direktiflerinde, sulamadan dönen suların kirlilik standartları ve politikalarının

oluşturulmasında ve sınırlı su kaynakları ve artan çevresel kirlilik nedeni ile Akdeniz bölgesindeki tarımsal aktivitelerin sınırlanabileceğinden yola çıkılarak hazırlanan projedir. Temel amaçlar, Akdeniz bölgesinde sulanan alanlarda kirliliğin kontrolünde tuzluluk ve azot kirliliği ile ilgili bilimsel, teknik ve sosyo-ekonomik bilgilerin sağlanmasıdır. Projedeki temel aktiviteler;

- Mevcut tarımsal aktivitelerde tuz ve azot kirliliğinin belirlenmesi, sulanan alanlara giren ve çıkan tuz-azot dengesinin belirlenmesi,
- Kirlilik kontrolünde en iyi yönetim stratejilerinin belirlenmesinde model simülasyonlarından yararlanılması,
- Seçilen pilot alanlarda denemeler yapılarak seçilen stratejilerin değerlendirilmesi,
- Mevcut tarımsal faaliyetlerin sosyo-ekonomik analizinin yapılması,
- Elde edilen sonuçların, suyu kullananlara ve yöneticilere ulaştırılmasıdır.

Proje kapsamında, aşağı Seyhan ovasında, yer altı suları, sulama ve drenaj sularında tuz ve azot yüklerine ilişkin birçok çalışma yürütmüşlerdir (İbrikçi ve ark. 2008, Çetin ve ark. 2008, Kanber ve ark. 2008).

Onuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda "981.Şehirlerde kanalizasyon ve atık su arıtma altyapısı geliştirilecek, bu altyapıların havzalara göre belirlenen deşarj standartlarını karşılayacak şekilde çalıştırılmaları sağlanacak, arıtılan atık suların yeniden kullanımı özendirilecektir." ifadesi yer almaktadır. Onuncu kalkınma planı 981. maddesinin gereği için evsel ve endüstriyel atıksuların yeniden kullanımını yaygınlaştırması, su ve enerji kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir su temini için uygun teknolojilerin geliştirilmelidir. Atıksuların yeniden kullanımı için mevcut atıksu arıtma tesisleri ihtiyaca göre modifiye edilmeli ve yeni yapılacak atıksu arıtma tesisleri yeniden kullanım imkanları dikkate alınarak planlanmalıdır. Bu amaca yönelik olarak;

- Mevcut arıtma tesislerindeki arıtılmış atıksuların kullanım potansiyellerinin araştırılması,
- Mevcut arıtma tesislerinin farklı alanlardaki su geri kazanımına yönelik modifikasyonu,

- Arıtılmış atıksuların tarımsal ve peyzaj amaçlı kullanımının ile kullanımındaki etkilerinin belirlenmesi,
- Farklı endüstrilerin ihtiyaç duyduyuğu su kalitesi dikkate alınarak atıksu arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi,
- Arıtılmış sular ile kontrollü şartlar altında akarsuların beslenmesi ve akarsularda canlılığın sağlanması,
- Arıtılmış sular ile kontrollü şartlar altında yeraltı sularının beslenebilirliğinin belirlenmesi, hedeflenmektedir.

7.1.Atıksuların Sulamada Kullanımına Yönelik Ülkemizde Yapılan Çalışmalar

Karataş ve ark. (2005), İzmir ilinde oluşan evsel ve endüstriyel nitelikli atık suların arıtıldıktan sonra denize deşarj edilmesi yerine Menemen Ovasında sulama suyu olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla, biyolojik arıtma işleminden geçirilen İzmir evsel ve endüstriyel nitelikli atık suların, bazı sulama suyu kalite parametreleri yönünden sulamaya uygunluğu, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği ve ilgili literatür ışığında irdelenmiştir. Sonuç olarak İzmir kentsel arıtılmış atık suyunun, toplam tuz, EC, ÇKM, SAR ve Cl açısından birçok bitkinin tolerans sınırını aştığı ve dolayısıyla mevcut durumuyla bu suların sulamada kullanımının mümkün olmadığını belirtmişlerdir.

Arslan-Alaton ve ark. (2007), Silivri-İstanbul, Paşaköy-İstanbul, Yumurtalık-Adana ve Kayseri Belediyelerinin kentsel arıtılmış atık su kalitelerinin, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği çerçevesinde, sulama suyu olarak uygunluğunu değerlendirdikleri bir çalışma yürütmüşlerdir. Tüm arıtma tesislerindeki atık sular ağır metal içeriği açısından, standartlara uygun bulunmuştur. $BOİ_5$, SO_4, pH ve bor içeriği açısından tüm tesislerdeki arıtılmış atık sular I. Sınıf sulama suyu özelliği taşırken, TÇK, NO_3, EC ve SAR bakımından III. ve IV. sınıf sulama suları arasında yer almıştır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği çerçevesinde, tüm arıtılmış atık sularda özellikle fekal kaliform düzeyinin IV. ve V sınıf olduğunu bildirmişler ve sulama suyu olarak uygun olmadığını vurgulamışlardır. Araştırmacılar, ele alınan, kentsel atık su arıtım tesislerinin bazılarında dezenfeksiyon ünitelerinin bulunmadığını, ünitelerin bulunduğu tesislerde

ise tatmin edici ve etkili şekilde işletilmediğini, bunun nedeninin de, işletme masraflarının oldukça yüksek olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.
TÜBİTAK-MAM-Enerji ve Çevre Araştırma Ensititüsü'nde, endüstriyel proje kapsamında yapılan "Tusaş Evsel Atıksu Arıtma Sistemi Deşarj Atıksuyunun Sulama Amaçlı Kullanılabilirliğinin Saptanması" çalışmasında Tusaş Mürted tesislerine ait evsel atıksu arıtma sistemi deşarj suyunun kalitesi III. Sınıf olarak belirlenmiş ve buna göre arıtma sistemi deşarj suyu çevre sulama amaçlı (çim,ağaç) kullanılabilir özellikte olduğu görülmüştür (Kavaklı ve ark. 1997)

İller Bankası tarafından yaptırılmış olan bazı atıksu arıtma tesisi projelerinde azot ve fosfor giderimi yapılan uzun havalandırmalı aktif çamur yöntemi ile ileri arıtma yapılan ve dezenfeksiyon işlemi uygulanan arıtılmış atıksular sulama amaçlı olarak barajlara veya sulama havuzlarına deşarj edilmektedir. Baraj ve arıtılmış su havuzlarında toplanan sular sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Örnek olarak Karaadilli (Afyonkarahisar) atıksu arıtma tesisi projesinde uzun havalandırmalı aktif çamur yöntemi ile ileri arıtma yapılan ve dezenfeksiyon işlemi uygulanan arıtılmış atıksular bir havuzda toplanarak arıtma tesisi çevresinde bulunan kavak ağaçlarının sulanmasında kullanılmaktadır (Orsam 2011).

Kukul ve ark. (2007)'na göre, atık suların uygun bir strateji ile denetimli olarak tarımda kullanılması, bu suların uzaklaştırılması için iyi ve yararlı bir yöntem sayılmaktadır. Bu sayede yalnızca değerli temiz su kaynakları korunmakla kalmaz aynı zamanda, atık suların içerdiği bitki besin maddeleri bitki yetiştiriciliğinde üstünlük sağlar. Atık suların azot ve fosfor içeriği, tarımsal gübre gereksinimini azaltmakta veya bazen tamamen ortadan kaldırmakta ve bitki yetiştiriciliği için yararlı olan toprak mikroorganizmalarının metabolik etkinliklerini artırmaktadır. Geri kazanılmış, toksik ağır metal içermeyen atık suların toprak verimliliğini artırdığı yönünde araştırmalar bulunmaktadır.

Koç ve Kandemir (1996), Yeşilırmak'ın Almus-Erbaa kolu üzerinde bulunan yerleşim yeri ve endüstriyel sıvı atıkların, bazı kültür bitkilerinde, bitki boyu ve bitki ağırlıklarına olumlu etki yaptığını belirtmişlerdir.

Gidirişlioğlu ve Çakır (1996) ve Çakır ve ark. (1997), Ergene nehri üzerinde belirledikleri beş sabit test noktasından, ayda bir olmak üzere su örnekleri alarak kirlilik düzeylerini saptamışlardır. Ayrıca, Muratlı yöresinden alüvyal ve Babaeski yöresinden vertisol büyük toprak gruplarından getirdikleri toprak örnekleriyle doldurdukları saksılarda, test bitkisi olarak ayçiçeği ekmişler ve Ergene nehrinden alınan kirli su ile sulama yapmışlardır. Sonuçta, nehrin en kirli noktasının Muratlı çıkışı olduğunu saptamışlardır. Bu noktada kirliliği meydana getiren parametrelerden EC 6080–7200 μmhoscm-1, sodyum 41.0-56.0 me L–1, RSC 7.9-24.0 me L-1 ve KOİ 408-800 me L-1 arasında değişmiştir. Saksı denemesinde ise, kirli sulama suyu ayçiçeği test bitkisinin vejetatif gelişimini olumsuz yönde etkilemiştir. Ergene nehrinin kirli suyu ile sulanan ayçiçeklerinin boylarının kısaldığı, bitki çapının küçüldüğü ve yaprak sayısının azaldığını saptamışlardır.

İstanbul Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi arıtılmış sularının 100.000 m^3/gün'ü yeniden kullanılmaktadır. Yeniden kullanılan sular ile Tuzla Belediyesi Şelale Parkı, TOKİ Aydınlı Konutları, İstanbul Deri Organize Sanayi Bölgesi, İstanbul Tersanesi Komutanlığı Askeri Tesisi, Tuzla Arıtma Tesisi ve Pendik Tuzla Sahil Yolu'nun günlük sulama ihtiyacını karşılamaktadır (Anonim 2014).

Uyanöz (2000), Konya Ana Tahliye Kanalı'ndan alınarak sulamada kullanılan atık suların, tarım topraklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler ile bu arazilerde yetiştirilen bitkiler üzerine etkilerini belirlemiştir. 0-30 cm'lik toprak katmanında organik madde, bitkiye elverişli fosfor ve potasyum, DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe, Zn, Mn, miktarlarında artış olduğunu saptamıştır.

Tuna ve Bürün (2003), Muğla ilinde ağır metal kapsamayan evsel atık suları kireçle stabilize ettikten sonra mısır bitkisi yetiştirilmesinde kullanmışlar ve bitkinin mineral beslenmesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre; toprağın pH, toplam tuz, organik madde gibi özelliklerinde olumsuz bir değişiklik olmamış, P_2O_5 ve K_2O içerikleri artmıştır. Mısır bitkisine artan dozlarda uygulanan evsel atık sular, bitkinin makro ve mikro besin düzeyini artırmıştır.

Muğla Konacık Atıksu Arıtma Tesisinin 1500 m^3/gün'lük arıtılmış suları park, bahçe ve refüjlerdeki yeşil alanların sulanması ile araç yıkanması amacıyla kullanılmaktadır (Anonim 2014).

Gür ve ark. (1996), Konya kenti kanalizasyon suları ile sulanan topraklarda Salmonella Shigella, E. coli, Enterobacter ve Klebsiella gibi mikroorganizma sayılarının, sulanmayan topraklara oranla arttığını belirtmişlerdir.

Doğan (2003), Şanlıurfa' da yaptığı bir çalışmada, şehir merkezinden geçen, evsel ve sanayi atık sularının döküldüğü Karakoyun deresi suyu ile sulanan soğan bitkisinde toksik element birikimini araştırmıştır. Çalışmada, kullanılan atık su içerisinde, As, Cu ve Cd elementlerinin sulama suları için sınır değerlerinin üzerinde olduğunu belirlemiştir.

Başkan (2006), Türkiye'de bulunan 129 kentsel arıtma tesisinden 25'ini inceleyerek, arıtılmış atık suların tarımsal amaçlı kullanılma olanağını araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, incelenen tesislerin % 80'inde istenen kalitede su elde edilemediğini, % 40'ında SAR değerinin yüksek, % 88'inde mikrobiyal aktivitenin sağlanmadığını belirtmiştir. Ayrıca, % 24'ünde AKM yüksek , % 20'sinde Cl yüksek çıkmıştır. Bor değerinin arıtma tesislerinin çıkışında problem oluşturmadığını ancak, sulamada kullanılırken kriterlere uygunluğunun dikkate alınması gerektiğini bildirmektedir.

Çay (2013), Konya'da yaptığı çalışmada, kentsel atık sularının tarımsal sulamada kullanılması ve mısır bitkisi yetiştiriciliğine etkilerini araştırmıştır. Mısır bitkisinin gelişiminde; çiçeklenme süresinin ve vejetasyon süresinin önemli ölçüde değiştiği, hasat indeksinin düştüğü, kuru madde üretiminin yükseldiği ve koçan boyu ve koçan eni gibi verim unsurlarının etkilenmediği sonucu saptanmıştır. Çalışmada kentsel atık su ve kentsel atık suların arıtılarak ve seyreltilerek mısır bitkisinin yetiştiriciliğinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak, tuzluluk kontrolü, mikrobiyolojik arıtım ve ağır metal arıtımı yapılmadan, atık ve atık su kaynaklı karışımların kullanılması, toprakların çoraklaşmasını ve mikrobiyal kirlenme oranını ve kirlenmenin sürekliliğini önemli ölçüde etkileyeceği sonucuna ulaşılmıştır.

Kurtkulak (2014), Konya'da yaptığı çalışmada, kentsel atıksuların geri kazanımı ve yeşil alanların sulanmasında yeniden kullanımını incelemiştir. Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi (KOSKİ) tarafından atıksuların yeniden kullanımı için 3600 m^3/gün kapasiteli ileri arıtma tesisi inşa edilmiştir. Geri kazanım tesisi; ön klorlama, koagülant dozu, kum filtresi, UV dezenfeksiyon ve son klorlamadan oluşmaktadır. Birinci kademede, 24 km geri kazanılmış su dağıtma şebekesi (mor şebeke) sınırlı kentsel yeşil alanların sulanması için inşa edilmiştir.

Çizelge 7.1'de Türkiye'deki bazı illere göre atıksuların yeniden kullanımı özetlenmiştir.

Çizelge 7.1. İllere göre atıksuların yeniden kullanımı (Anonim 2014)

İli	**Belediyesi**	**Atıksuların Yeniden Kullanımı**	**Açıklama**
Aksaray		Var	Evsel ve kentsel atıksuların arıtıldıktan sonra sulama başta olmak üzere yeniden kullanımına ilişkin prosese sahip olan atıksu arıtma tesisi bulunmamakta olup, Keskinkılıç Gıda Sanayi ve Tic. A.Ş. sanayi amaçlı atıksu arıtma tesisinden çıkan atıksularını sulama amaçlı kullanmaktadır.
Aydın	Büyükşehir	Tesis içi yeşil alan	Sulamadan geriye kalan arıtılmış atıksu Büyükşehir Belediyesi AAT'ye gönderiliyor.
Aydın	Didim	Site içi yeşil alan	Didim İlçesinde bulunan yazlık konutların yaklaşık %60'lık kısmı münferit arıtma tesislerinde arıttıkları atıksularını site içi yeşil alanların sulamasında kullanmakta olup, tesis kapasiteleri 20-100 m^3/gün arasında değişmektedir.
Aydın	Kuşadası	Site içi yeşil alan	Kuşadası İlçesinde bulunan yazlık konutların yaklaşık %80'lik kısmı münferit arıtma tesislerinde arıttıkları atıksularını site içi yeşil alanların sulamasında kullanmakta olup tesis kapasiteleri 20-100 m^3/gün arasında değişmektedir.

Çizelge 7.1. İllere göre atıksuların yeniden kullanımı (devam)

İli	Belediyesi	Atıksuların Yeniden Kullanımı	Açıklama
Balıkesir		Var	Edremit ve Gömeç İlçelerinde yer alan tatil sitelerinin bir kısmında, arıtılmış atıksular bahçe sulama amaçlı olarak yeniden kullanılmakta olup, bahse konu tatil sitelerinin atıksu arıtma tesisleri sezonluk olarak (Haziran-Eylül) faaliyet göstermektedir.
Bilecik	Bozüyük	Bahçe sulama	Tesis yalnızca bahar ve yaz aylarında bahçe sulaması yakmaktadır. Sulama amaçlı olarak günlük 60 m^3 su kullanılmaktadır. Verilen yeniden kullanım miktarı 6 aylık periyot için hesaplanmıştır.
Düzce		Bahçe sulama	Gropalli Isı Sistemleri San. Tic. A.Ş. ye ait evsel atıksuların arıtılması ile sulama suyu olarak kullanımı
Kırklareli	Vize	Yeşil alan sulama	Sadece Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında yeşil alan sulaması yapılmaktadır.
Konya	Büyükşehir	Kent içi yeşil alan sulama	Her yıl 7 aylık sulama sezonunda 527.800 m^3 arıtılmış atıksu yeniden kullanımaktadır.
Konya	Beyşehir	Park sulama	Arıtılmış sular, tesise ait park sulamasında kullanılmaktadır.

7.2. Atıksuların Sulamada Kullanımına Yönelik Diğer Ülkelerde Yapılan Çalışmalar

Avrupa'da kentsel atıksuların yeniden kullanımı ve atıksuların geri kazanımı önemli bir konu olup, Avrupa Birliği komisyonu tarafından bu konuyla ilgili araştırma projeleri desteklenmektedir. Çizelge 7.2'de araştırma, teknoloji geliştirme ve uygulama alanlarında dördüncü (1994-1998) ve beşinci (1999-2002) çalışma programlarında desteklenmiş Avrupa Birliği projeleri özetlenerek verilmiştir.

Çizelge 7.2. 1994-2002 yılları arası Avrupa Birliği destekli kentsel atıksu yeniden kullanımı içerikli araştırma, teknoloji geliştirme ve uygulama projeleri (Bixio ve ark. 2006)

Projenin Kısa Adı	**Konusu**
CORETECH	Kurak iklim koşullarında arıtılmış deşarjların tarımsal kullanıma uygunluğu ve evsel atıksular için geri kazanım teknolojilerinin etkin maliyetlerinin geliştirilmesi
POSEDİON	Dolaylı içilebilir suların yeniden kullanımını geliştirmek için kanalizasyon ve içme suyu tesislerinde kişisel bakım ürünleri ve ilaçların giderimi için teknolojilerin değerlendirilmesi
MBR-RCYLING	Membran bioreaktör uygulamalarıyla atıksu geri kazanım ve yeniden kullanımı: tekstil ve kentsel atıksular örnekleri
WAM-ME	Kurak koşullarda su kaynaklarının yönetimi: Akdeniz bölgesinde konvensiyonel ve verimsiz suların konjuktiv kullanımı için kriterler
AQUAREC	Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı için entegre tasarımlar
P-THREE	Atıksu derşajlarının arıtımının geliştirilmesinde inatçı polar kirleticilerin giderimi
MEDWATER POLİCY	Akdenizde önemli ekonomik sektörler olan tarım ve turizm arasındaki su rekabetinin üstesinden gelebilecek teşvik edici politikalar
SWİMED	Akdeniz kıyı akiferlerinde sürdürülebilir su yönetimi: Yeniden deşarj değerlendirmesi ve modelleme sonuçları
COLD WSPS	Soğuk iklimler için atık stabilizasyon havuzlarına adaptasyonla drenaj ve kentsel atıksuların arıtımı ve yeniden kullanımı için düşük maliyetli yöntemlerin geliştirilmesi
CATCHWATER	Havza ölçeğinde su yeniden kullanımıyla entegre su yönetim stratejilerinin artırılması
BIOWATSYST	Akdeniz kıyı bölgelerini korumak için atıksu biyo arıtımı uygulamalı sistem

Birçok orta doğu ülkesinde arıtılmış atıksuların yeniden kullanımına olan ilgi artmasına karşın özellikle kanalizasyon deşarjlarının tarımda kullanılması çok eskilere dayanmaktadır. Teknolojik olarak arıtılmış atıksuların kullanımı ise ilk olarak 1950'lerde Kuveyt'te başlamıştır. Daha sonra 60-70'li yıllarda diğer ülkelere de yayılmıştır. Bunda bölgedeki üye ülkeleri destekleyen FAO önemli bir rol oynamıştır. Bölgedeki gelişmekte olan ülkelerde arıtım Avrupa'daki gibi ileri düzeyde bir arıtma ile olmayıp, maliyeti düşük stabilizasyon havuzları gibi yöntemler tercih edilmektedir.

Dünyadaki 130000 m^3/gün akış kapasiteli en büyük stabilizasyon havuz sistemi Ürdün'ün Amman şehrinde bulunmaktadır. Bunun dışında 80000 m^3/gün akış kapasiteli Mısır'daki İsmailia stabilizasyon havuz sistemiyle arıtılmış atıksular da sulama amaçlı kullanılmaktadır. Ürdün, Fas, Cezayir gibi ülkelerde ise mekanik arıtmalar kullanılmaktadır ancak üçüncül arıtma kullanılmamaktadır (Bazza ve ark. 2003).

Mısır'da 1999 yılında ikincil arıtma tesislerinden 4.078 ve birincil arıtma tesislerinden 1.15 olmak üzere günlük deşarj miktarı yaklaşık 5.228 Mm^3 olmuştur. Tunus'ta yılda 3000 hektar alan 20 milyon m^3 arıtılmış atıksu ile sulanmaktadır. Ürdün'de 1998 yılında 71 milyon m^3 arıtılmış atıksu deşarjı yapılmıştır. Bu arıtılmış atıksular, sulamada kullanılan suyun %12'ini oluşturmuştur. 15700 dönüm 15.7 Mm^3 arıtılmış deşarjla sınırlı şekilde kullanırken, 91100 dönüm ise yüzeysel sularla karıştırılmış bir halde sınırsız bir şekilde orta ve güney Ürdün vadilerinde kullanılmıştır (Salem 1999.).

Steer ve ark. (2002), "Tek Bir Aileye Ait Evsel Atık Suyun Arıtımında Küçük Yüzey Altı Yapay Sulak Alanların Etkinliği" konulu çalışmalarını ABD Ohio'da 1994'ten 2001'e kadar 21 adet üç hücreli sistemde (septik tank ile iki yapay sulak alan) yürütmüşlerdir. Su kalitesi analizlerinde 3 aylık dönemlerde toplanan örneklerin % 68'inde EPA (Çevre Koruma Ajansı) çıkış yükü ilkelerine uygunluk elde edilmiştir. Bu sulak alanlarda BOİ, AKM ve fekal koliform oranının sıklıkla, fosfor ve amonyum oranının ise daha az sıklıkla EPA standartlarının altına düştüğü, sistemde fekal koliform (% 27-88), AKM (% 53-56), BOİ (% 48-70), amonyum (% 31-56) ve fosfor (% 20-80) giderimi olduğu belirlenmiştir. Giderim etkinliğinin mevsimsel olarak değiştiği belirlenen çalışmada; kış döneminde BOİ (% 10) ve fosfor gideriminin daha az,

sonbahar döneminde amonyum gideriminin % 20 daha fazla, fosfor gideriminin ise çok etkin olduğu bildirilmiştir.

Bixio ve ark. (2006), "Avrupa'da Atık Suyun Yeniden Kullanımı" adlı çalışmalarında Avrupa'da son 20 yıldır artan su stresini hem su kıtlığı hem de kalitesindeki düşme anlamında irdelemiş ve suyun yeniden kullanım uygulamalarının su kaynaklarının daha etkin kullanımı için Avrupa'da pek çok belediye tarafından desteklenen suyun yeniden kullanım pratiklerini gözden geçirmiş; suyun arıtımı teknolojileri haritasını çıkarmış ve yeniden kullanım uygulamalarını ortaya koymuştur. Ön değerlendirmeye göre arıtılmış suyun artan kullanımı için daha açık kurum ayarlamaları ve yeniden kullanım ilkelerinin ortaya konulması gerektiği bildirilmiştir.

Urkiagaa ve ark. (2006), "Atık Suyun Arıtılması ve Yeniden Kullanılabilirliği ile İlişkili Uygulanabilir Çalışmalar için Yöntemler" adlı çalışmalarında toplam yüzey suyunun yaklaşık % 20'si kirlilik problemiyle karşı karşıya olan Avrupa'daki su kaynaklarının iyi ekolojik statü kazanması ve suyun sürdürülebilir kullanımını sağlamak amacıyla yapılan çalışmaları araştırmış; bu konuyla ilgili Avrupa Çerçeve Su Direktifi'nin Avrupa su kaynakları üzerine artan baskı sonucunda atık suyun yeniden kullanımı konusundaki çözümleri konusunu irdelemişlerdir. Ancak, Avrupa'da ümit veren bir çözüm olarak görülen yeniden kullanım uygulaması halkın kabulundeki eksiklik, teknik, ekonomik ve sağlık riskleri ve yasalardaki eksiklikler gibi engellerle karşı karşıya olduğu ve diğer yandan, suyun yeniden kullanım projeleri gerçekleştirmek için fizibilite çalışmaları yapılmasının gerekliliğini ortaya koymuşlardır. "Arıtılmış Atık Suyun Yeniden Kullanımı için Bütünleştirilmiş Fikirler" adı verilen projelerde uygulanan çalışmaların bazıları tanımlanmış ve proje çerçevesinde suyun yeniden kullanım sistemleri fizibilite çalışmalarını hazırlamış ve fizibilite çalışmalarını ve ekolojik, sosyal ve ekonomik değerlendirmeleri yapabilmek için gerekli bazı ilkeleri gerçekleştirmek için gerekli yapıyı belirlemişlerdir.

Fransa'da içilemez nitelikteki suyun arıtılması ve yeniden kullanımı ile ilgili çalışmalar su eksikliği, halk sağlığı, çevre koruma ve rekreasyonel alanlarda kirliliği yok etmek gibi nedenlerle 19. yy'da başlamıştır. Atık suyun % 25'i arıtılarak içme suyu olarak

kullanılan sulara katılmıştır. 1999'da tarımsal alanlarda yeniden kullanım projeleri yapılmıştır. 10000 m^3/gün akışla 750 ha mısır sulanmıştır. Ülkede, Sağlık Bakanlığı, 1991 yılında WHO standartlarını göz önünde bulundurarak ülkesel kanun çerçevesi insanlarla ilgili sağlık risklerini engellemek ve negatif çevresel etkiler dikkate alınarak, sulama yönetimi, zamanlama, mesafe ve diğer ölçümlerle ilgili ek gerekçelerden dolayı katılaştırılmıştır. Sınırlanmamış alanlardaki sulamayla ilgili yeni mikrobiyolojik belirleyicilerin de yasalara eklenmesi çalışmaları yapılmıştır (Anonim 2004a).

Candela ve ark. (2007), "Arıtılmış Kentsel Atık Suyun Yeniden Kullanımının Yer Altı Suyu ve Toprağa Olan Etkisinin Belirlenmesi: Girona, İspanya'da Bir Golf Sahasında Uygulama" konulu çalışmada arıtılmış kentsel atık suyun "Serres de Pals" golf sahasında sulama amaçlı kullanımı sonucunda toprak ve akiferin etkilenip etkilenmediği çeşitli periyotlarda stabilizasyon lagünü, taban suyu ve toprak profilinden alınan örneklerle (toplam koliform ve aerobik bakteri, toprak su basıncı, suyun kimyasal analizleri) belirlenmiştir. Çalışma sonucunda arıtılmış atık su ile sulamada mikrobiyal bir risk ortaya çıkmadığı belirlenmiştir. Denemede toprağın 60 cm derinliğinde vadoz zonda 1000 mg/kg NaO_2'den daha fazla artış olduğu bulgusundan yola çıkılarak, en önemli riskin uzun süreli kullanım sonucu toprağın tuzlanması olarak bildirilmiştir.

Cazurra (2008), "Güney Barselona Atık Su Arıtma Tesisinde Suyun Yeniden Kullanımı" adlı çalışmasında Güney Barselona (İspanya)'da bulunan atık su arıtma tesisinden çıkan suyun günümüzde Barselona kent bölgesinde yaşanan su kıtlığı problemini çözmek amacıyla yeni kaynak olarak kullanımını irdelemiştir. Arıtma tesisi çalışmaya başladığında yılda 50 milyon metreküp arıtılmış suyun Llobregat Nehri'nin aşağı bölümlerine ekolojik olarak akışı arttırmak, çiftlik alanlarının sulanması ve nehir deltasında sulak alana su sağlama amaçlarıyla yeniden kullanımı hedeflenmiştir. Ayrıca, nehrin aşağı delta akiferinde tuzluluk problemini çözmek için hidrolik bariyer olarak kullanımı da belirlenmiştir. Yeniden kullanım için gerekli su kalitesinin sağlanmasında azot ve fosfor gibi besin elementlerinin giderilmesi ve 3. derecede arıtımın gerçekleştirilmesi gerektiği bildirilmiştir.

Andreadakis ve ark. (2001), "Yunanistan'da Atık Suyun Yeniden Kullanımı" adlı çalışmada ülkede yeniden kullanım kriterlerini etkileyen parametreler değerlendirilmiş ve diğer yeniden kullanım öncelikleri, uygun arıtma tesisleri ve arıtılmış su karakteristikleri ile tavsiyelerle Yunanistan'da tarımsal ve kentsel alanlardaki uygulamalarla ilişkili kural ve ilkelerin gelişimini sağlamaya çalışmış ve yeniden kullanım tiplerine uygun spesifik standartlar ve uygulanabilir arıtım sistemleri belirlenmesini hedeflemişlerdir. Çalışmada, değerli bir kaynak olan su gibi atık suyun da su kaynağı olarak sürdürülebilir yönetiminin sağlanması gerektiğini vurgulamışlardır. Atık suyun yeniden kullanımının faydalı yönleri nedeniyle ve su arıtımındaki teknolojilerin gelişmesi sebebiyle Avrupa'da sosyoekonomik yapı, çevre yasaları ve uygun su kaynakları ile ilişkili olarak artan biçimde kullanılmasına rağmen yeniden kullanımla ilgili herhangi bir yasa ya da ilke bulunmadığı da bildirilmiştir.

Tsaragis ve ark. (2004), "Girit (Yunanistan)'te Su Dönüşümü ve Yeniden Kullanım ile Önerilen Kalite Kriterlerini Kapsayan Su Kaynakları Yönetimi" adlı çalışmalarının temel amacı temizlenmiş atık suyun dönüşümü ve yeniden kullanımında belli bir potansiyele sahip Girit'te su kaynakları yönetimi konusundaki fikirleri ortaya koymaktır. Bu nedenle temizlenmiş atık su, yok etme alanı, sulanan alanlar ve çevresel-sosyal-ekonomik ve tarımsal etkileri de dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, Girit'te temizlenmiş atık suyun yeniden kullanımı için kalite kriterleri ile diğer Akdeniz Ülkeleri için öneriler ortaya konmuştur.

Kalavrouziotisa ve Apostolopoulos (2007), "Kentsel Alandaki Arıtma Tesisinden Gelen Arıtılmış Atık Suyun Yeniden Kullanımı için Tamamlanmış Çevre Planı" adlı çalışmalarında arıtılmış atık suyun ağaç ve çalı ile kaplı marjinal alanların çevresel restorasyonunda yeniden kullanıldığını ve kentsel alanda bu uygulamanın yapılabilmesi yaklaşımında irdelenmesi gereken konular arasında arıtılmış evsel atık suyun sulama amaçlı yeniden kullanımı ve atık su ile sulama için kabul edilebilir türlerin kullanıldığı çevreyle dost dış mekanların dizaynının bulunduğunu bildirmişlerdir. Uygulamanın başarılı olması için atık suyun fiziksel-kimyasal özellikleri, topraktaki konsantrasyonlarıyla ilgili olarak atık sudaki ağır metal miktarının, borulardan kaynaklanan aşındırıcı etkinin ve yeniden kullanım olanaklarının sürekli gözlenmesi

gerekmektedir. Kentsel alanda (ev, otel vb) kentsel atık suyun yeniden kullanımı için bu sistemlerin kuruluşu ile çevrenin korunması ve gerekli suyun artışının sağlanacağı belirtilmiştir.

Dünya'da atık suyun yeniden kullanımının en yoğun görüldüğü ülkelerin başında Amerika Birleşik Devletleri gelmektedir. Örneğin Florida'da 2001 yılında 461 evsel atık su arıtma tesisinden çıkan arıtılmış atık su; halka açık yeşil alanlar (% 44) ve tarımsal alanların (% 19) sulanmasında, yüzey suyunun arttırılmasında (% 16), endüstriyel uygulamalarda (% 15), sulak alanlar ile diğer alanlarda (% 6) kullanılmaktadır. Güney Florida'da bu şekilde 42 000 ev bahçesi, 141 golf alanı, 67 park ve 13 okul bahçesinin sulanmasında 2 614 250 m^3/ gün arıtılmış atık suyun yeniden kullanılmaktadır (SFWMD ve FDEP 2002).

Arjantin'de arıtılmış atık suyun geniş ölçekte kullanımı, 20. Yüzyılın başlarında ülkenin batısında tarımsal alanların sulanması ile başlamıştır. Ülke, WHO standartlarına uymak zorunda olduğu ve 160 000 m^3/gün olan kentsel atık sularını bu standartlara göre kurulan arıtma sistemiyle arıttığı halde, arıtılmamış veya en düşük seviyede arıtılmış atık suyu da sulamada kullanmaktadır. Batı bölgelerinde 3640 ha orman, bağ, zeytin, yonca, meyve ağaçları gibi ürünler arıtılmış atık su ile sulanmaktadır (Kotlik 1998, EPA 2004).

Neal (1996), "Canberra'da Atık Suyun Yeniden Kullanım Çalışmaları ve Denemeleri" adlı çalışmada Avustralya'da kanalizasyon suyunun arıtılması ve yeniden kullanımı ile bu suyun çevreye deşarjını en az düzeye indirmek ve temiz su kaynaklarına olan talebi azaltmak amacıyla önemsendiğini bildirmiş, arıtılmış atık suyun oyun alanları, ev bahçeleri ile çim alanların sulanmasında ve tuvalet sifonlarında kullanılabildiği belirlenmiştir.

İran'da arıtılmış atık su yem bitkilerinin (mısır ve yonca) sulamasında kullanılmaktadır. Ülkede yeniden kullanım ile ilgili süreçteki en önemli gelişme 1994'te hazırlanan 'Atık Su Deşarj Standartları' ile sağlanmıştır. Bu standartlarda izin verilebilir deşarj standartları ile tarımsal amaçlı kullanım standartları belirtilmiş, ancak endüstriyel

kullanım, balıkçılık ve rekreasyonel alanda kullanım standartları verilmemiştir. Atık su yönetimi ile ilgili düzenlemeler farklı devlet kurumlarına dağıtılmıştır (Anonim, 2004a).

Heidarpour ve ark. (2007), "Yüzey Altı ve Yüzey Sulama Yöntemleri Kullanılarak Toprağın Kimyasal Özelliklerine Arıtılmış Atık Suyun Etkileri" adlı çalışmalarında kurak bölgelerde artan su ihtiyacı ile atık suyun tarım ve peyzajda yeniden kullanımı konusunda İsfahan-İran'da Mahmoudabad araştırma merkezinde 2 farklı sulama yöntemi (yüzey altı, yüzey) ile toprağa verilmesi sonucunda toprağın kimyasal yapısında meydana gelen değişimleri belirlemeyi hedeflemişlerdir. Çeşitli (0-15 cm, 15-30 cm ve 30-60 cm) derinliklerden alınan toprak örnekleri üzerinde elektriksel iletkenlik, çözülebilir sodyum, çözülebilir kalsiyum, çözülebilir magnezyum, toplam azot, fosfor ve potasyum analizleri yapılmıştır. Yüzey altı sulama yapılmış alanda 0-15 cm derinlikte elektriksel iletkenlik, çözülebilir sodyum, çözülebilir magnezyum yüzey sulama yapılmış alandan önemli düzeyde fazla çıkmıştır. Toprağın ikinci ve üçüncü katmanlarında ise elektriksel iletkenlik, çözülebilir kalsiyum ve çözülebilir magnezyum taban suyuyla sulama ile karşılaştırıldığında daha az olarak belirlenmiştir. Atık su ile sulanan alanda birinci ve ikinci katmanlardaki potasyum oranı taban suyuyla sulanan alandan önemli düzeyde daha fazla olduğu; topraktaki sodyum, toplam azot ve fosfor miktarı üzerine önemli düzeyde etkisi olmadığı belirtilmiştir.

Japonya'da atık suyun arıtımı ve yeniden kullanımı çalışmaları ülke nüfusu ile paralel atık su miktarının da fazla olması nedeniyle uzun yıllar öncesine dayanmaktadır. Arıtılmış atık su kentsel alanlar (parklar, golf ve spor alanları, şelaleler, göller, fıskiyeler), yol temizleme, araba yıkama ve yangın söndürme, tuvalet sifonları ile içme suyu dışındaki diğer işler ile nehir akışını arttırmada kullanılmaktadır. Yılda ortalama 130 milyon m^3 arıtılmış atık su 1998 yılında çevresel (% 54), tarımsal (% 13), kar eritme (% 13), endüstriyel (% 11) ve temizlik (% 9) amaçlı kullanılmıştır. Ülkede atık suyun yeniden kullanımı ile ilgili kurallar bulunmaktadır. Bu kurallar sınırlanmamış alanlarda da üst düzeyde tutulmuştur (Anonim 2004a, Lazarova 1999).

İsrail'de toplanan evsel atık suyun % 70'i arıtılarak sulamada kullanılmaktadır. 2010'a kadar ise atık suların hemen tamamının arıtılması hedeflenmiştir. 2040'ta tarımsal

alanda kullanılacak su ihtiyacının % 70'inin bu suyla karşılanacağı öngörülmektedir. Arıtılmış atık suyun büyük bir bölümü ürün ve yem bitkilerinin sulamasında Sağlık Bakanlığı tarafından konulan kanunlara göre kullanılmaktadır (Anonim 2004a, IRC 2005, Scott ve ark. 2001).

Suudi Arabistan'da 1985'te "Ulusal Su Planı" çerçevesinde su kullanımı yasalarla kontrol altına alınmıştır. Bu plan tarım ve su ile ilgili düzenlemeler arasındaki koordinasyonu, arıtılmış atık suyun ve yüzey suyunun kullanımını ve dağıtımını koordine etmektedir. Kanunlar sınırlanmamış alanlarda 2. veya 3. derecede arıtımı şart koşmaktadır. Bu ülkede endüstriyel ve ticari atık suların evsel atık su standartlarına uymadığı sürece kanalizasyon sistemine deşarjı kesinlikle yasaktır (UNEP 2005).

Tunus'ta atık suyun arıtımı ve sulamada kullanımı uygulamaları 1965'e dayanmaktadır. Tarım Bakanlığı verilerine göre arıtılmış atık su 1998 yılında 6272 ha tarımsal (meyve ağaçları, yem bitkileri, şeker kamışı, tahıllar) alan, 570 ha golf alanı ve 155 ha diğer nitelikteki alanlar sulanmasında kullanılmıştır. Ülkede örneğin "Charguia Arıtma Tesisi"nde arıtılan atık su ile 1965'ten bu yana 1200 ha turunçgil bahçesi sulanmaktadır. Ülkede 1989 yılında yaşanan ciddi kuraklıktan sonra arıtılmış atık suyun sulamada kullanımı Tunus'un su kaynakları yönetim stratejisinin bir bölümünü oluşturmuş ve arıtılmış suyun yeniden kullanımı hususunda ilk yasal düzenleme yapılmıştır. Hedef olarak 2020'ye kadar 20-30 000 ha tarımsal alanın (toplam sulanan alanın % 7-10'u) arıtılmış atık su ile sulanması hedeflenmektedir. Suyun tarımda kullanımı 1975'te "Su Kanunu" ile düzenleme altına alınmış, tarımda yeniden kullanım standartları FAO kriterlerine göre geliştirilmiştir. Ayrıca sınırlı alanlardaki sulamalarda WHO kriterleri göz önünde tutulmaktadır. Bu kanunda ilgili maddelerle arıtılmamış atık suyun tarımda kullanımı ile arıtılmış atık suyun çiğ yenen ürünlerde kullanımı yasaklanmış, ancak 2. derecede arıtılmış atık suyun tarımsal alanda kullanımına izin verilmiştir (Bahri ve Brissaud 1996, Anonim 2004a, Shetty 2005).

Ürdün'de 13 yıl süren kontrolsüz kullanımdan sonra 1982'den itibaren ağaç ve yem bitkilerinin sulanmasına izin veren kanunlar yoluyla standartlar geliştirilmiş ve bu standartlar 1995'te Birleşmiş Milletler Çevre Programına (UNEP) göre yeniden ele

alınmış ve düzenlenmiştir. Her yıl 70 milyon m^3'ten daha fazla arıtılmış atık su, özellikle tarımsal üretimde (meyve, sebze, yem bitkileri) kullanılmaktadır. Buna göre arıtılmış atık suya planlanan kullanıma göre özelleştirilmiş standartlar getirilmiş, alana özel uygulama ve sulama sistemi kullanımı belirlenmiştir. Ülkede arıtılmış atık suyun temiz suya karıştırılması ve içme suyu sağlanan akiferlere verilmesi yasaktır (Al-Lahham ve ark. 2003, UNEP, 2005).

Al-Jayyousi (2003), "Sürdürülebilir Su Yönetiminde Atık Suyun Yeniden Kullanımı" konulu çalışmada kurak bölgelerde sürdürülebilir su yönetiminde atık suyun yeniden kullanımının rolünü Ürdün'deki yeniden kullanım durumunu da irdeleyerek belirlemiştir. Ülkede arıtılmış atık suların kentsel peyzaj alanlarında, sulamada ve yer altı suyuna katkı sağlaması amaçlarıyla kullanıldığı bildirilmiştir. Çalışmada, suyun değerli ve yönetilmesi gereken, ekonomik ve bitebilir bir ürün olarak görüldüğü belirtilmiş ve atık suyun evlerde ve toplumsal alanlarda yeniden kullanımını en üst düzeye çıkarılmasının faydalarının yanı sıra kirlilik kontrolü için çevresel yasaların olması gerektiği vurgulanmıştır.

Ammary (2007), "Atık Suyun Ürdün'de Yeniden Kullanımı: Mevcut Durum ve Gelecek Planları" adlı çalışmalarında atık suyun tarımsal alanda kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla yeniden kullanım tuzluluk ilişkisini incelemişlerdir. Ürdün'de atık su aşırı tuzlu, önemsiz düzeyde ağır metal ve toksik organik bileşikleri içeren atık su arıtılarak kullanılsa bile bazı bitkilerde (yüksek terleme oranına rağmen) tuzluluk probleminin daha da arttığı görülmüştür. Bu nedenle atık suyun bu bitkilere temiz su ile karıştırılarak ve tarımsal alanda kullanmadan önce depolanarak verilmesi önerilmiştir. Arıtılmış suyun yalnız kullanıldığı bitkilerde % 50-80 oranında ürün artışı sağlanmıştır. Yüksek klor miktarının özellikle fasulyede ve yağmurlama sulama ile sulandığında zarar görüldüğü belirtilmiştir. Nüfus ve kanalizasyon sistemine bağlı yerleşim sayısı ile artan arıtılan suyun taban suyuna katkı, endüstriyel alanda soğutma suyu olarak ve kentsel alanda kullanım amaçlarıyla da kullanılabileceği bildirilmiştir.

Lubello ve ark. (2004), "Arıtılmış Kentsel Atık Suyun Fidanlıklarda Sulama için Kullanımı" konulu çalışmalarında 3. derecede arıtılmış atık suyun süs bitkileri

fidanlıklarında kullanılabilirliğini belirlemeyi hedeflemişlerdir. Sulama suyu olarak gübreli su ve arıtılmış atık su, bitkisel materyal olarak Cupressus sempervirens, Myrtus communis, Arbutus unedo, Spiraea japonica, Juniperus horizontalis ve Weigelia florida kullanılan çalışmada kök, sürgün gelişimi ve yaprak alanı kriterleri incelenmiştir. Arbutus unedo'nun yaprak alanı arıtılmış atık su uygulamasında daha düşük elde edilmiştir. Myrtus, Weigelia ve Spiraea'da her iki uygulamada düşük ancak benzer değerler elde edilmiştir. Ayrıca, Myrtus ve Juniperus arıtılmış atık su uygulamasında gübreli sudan daha iyi kök gelişimi sağladığı bildirilmiştir.

Cirelli ve ark. (2006), "Atık Su Arıtımında Yapay Sulak Alanlar ve Tarımsal Alanda Yeniden Kullanım: İtalya-Sicilya'da 5 Yıllık Bir Çalışma" adlı araştırmada küçük bir yerleşim alanında yatay yüzey altı akışlı yapay sulak alanda AKM, $BOİ_5$, KOİ, pH, EC, çözünmüş oksijen, toplam azot, toplam fosfor ve mikrobiyal parametrelerin (toplam koliform, fekal koliformlar, E. coli, fekal Streptococci, Salmonella ve parazit yumurtaları) giderimini belirlemişlerdir. Giderimler AKM için % 77-92, $BOİ_5$ için % 37-68, KOİ için % 51-79, E. coli için % 95-99.5 oranında, Salmonella ve parazit yumurtalarının giderimi ise % 100 olarak belirlenmiştir. İtalya yasalarında sulama amaçlı kullanıma uygun olarak sistemden çıkan arıtılmış su, yaklaşık 150 hektarlık zeytin bahçesinin sulanmasında yeniden kullanılmıştır.

İsrail'in Negev Bölgesinde Eilat Şehri Bölgesel Konseyine bağlı kibutzlarda akiferden ve arıtılmış deniz suyundan sağlanan suyun yanında yılda 6,5 milyon m^3 sulama suyu arıtılmış sudan sağlanmaktadır (Cicelsky 2006).

Zielgelmayer (2004), Ürdün-JUST ve Wadi Hassan pilot projeleri ile 2003 yılından beri, Amman'da Zarka Nehri aracılığı ile Kral Talal Rezervuarında toplanan kirlilik derişimi yüksek olan atık sular, diğer yeraltı suları, kuyular ve yüzey suları ile karıştırılarak Orta ve Güney Ürdün Vadisindeki yaklaşık 3400 çiftçiye dağıtılmaktadır. JUST tesisinin kapasitesi 1000 m^3 gün-1, Wadi Hassan tesisinin kapasitesi 600 m^3 gün-1'dür. Elde edilen arıtılmış atık sular 9500 ha meyve bahçesi ve yem bitkileri sulanmaktadır.

İtalya'nın Sardunya Adası'nda ileri arıtma yapılmış atıksu lagünlerde toplanarak sulamada kullanılmakta, İsrail'de ise genellikle arıtılmış atıksu yeraltına sızdırılmakta ve akiferden kuyu ile çekilen su sulama amaçlı olarak kullanılmaktadır (Liphin ve ark. 2007).

Tel Aviv'de bulunan ve 1994'den beri kullanılmakta olan atıksu arıtma tesisinden yıllık 120 milyon m^3 arıtılmış su elde edilmektedir, bu arıtılmış su ile Negev Bölgesinde 16000 ha sulanmaktadır, arıtılmış su pamuk, tahıl, meyve ağacları ve ihraç amaçlı kesme çiçek tarlalarında kullanılmaktadır (Yurtseven ve ark. 2010).

Jimenes ve ark. (1995) yaptıkları bir çalışmada, toksik ağır metal içermeyen atık suların mısır ve yonca bitkilerinin verimini artırdığı ve atık sulardaki patojen organizmalar ve ağır metallerin giderilmesi için $FeCl_2$ ve $Ca(OH)_2$ kullanılması gerektiğini bildirmişlerdir.

İtalya'da yapılan bir çalışmada ise aktif çamur sisteminden çıkan suyu kullanarak yapılan seri çalışan Filtrasyon + Perasetik asit + UV 'den oluşan pilot sistemde arıtılmıştır. Buna göre, TAKM, bulanıklık, KOİ, toplam koliform, E.Coli, Giardia, Cryptosporidium değerleri ölçülerek pilot sistemin verimi değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, tamamen giderilemese de filtrasyon ile bahsi geçen mikroorganizmaların önemli oranda giderildiği, %89 mertebesinde AKM, % 45- 60 mertebesinde bulanıklık giderimi tespit edilmiştir. Bu sistemden çıkan sular, fidanlıklardaki 3 tip bitkiye verilmiş ve bitkilerin büyüme hızları gözlenmiş, ileri arıtma sisteminden çıkan suyun, bitki gelişiminde gübre desteği almış şebeke suyu ile aynı etkiyi yaptığı gözlenmiştir (Lubello ve ark. 2004).

İspanya'da yapılan bir çalışmada ise Quart Benager atıksu arıtma tesisi çıkış sularına 3 alternatif uygulanmıştır. Çalışmanın amacı, özellikle Valencia civarındaki su sıkıntısını aşabilmek amacıyla belediyelerde atıksuyun geri kazanım oranını arttırmak ve bu suyun tarımsal sulamada kullanımını sağlamaktır. Sistemde, 2 adet 2 m^3/saat kapasiteli pilot cihazla 3 alternatif denenmiştir; bunlar:

1-Koagülasyon & Flokülasyon, Çöktürme, Filtrasyon, UV;

2-Filtrasyon & UV radyasyonu;

3-UF sistemleridir.

Kontrol parametrelerinden en yüksek giderimi, KOİ'de %50, bulanıklıkta % 94, fekal koliformda ise %100'le ultrafiltrasyon sistemi sağlamıştır. Birinci alternatifte (koagülasyon, flokülasyon, çökeltme ve UV ile dezenfeksiyon) aynı parametreler için sırasıyla KOİ %21.5, fekal koliform %99.8 ve bulanıklık %82 giderme verimi sağlanmıştır. Bu 3 sistem içinde bahsi geçen kirleticileri en az gideren 2. Sistem olmuştur; KOİ %0, fekal koliform %99.8 ve bulanıklık %50. (Munoz ve ark. 2008).

Yunanistan'da yapılan benzer bir çalışmada ise 800-1000 m^3/gün kapasiteli klasik aktif çamur tesisi çıkış suları, 45 m^3/saat kapasiteli, kum filtresi, aktif karbon filtresi ve ozon cihazından oluşan sistemle ileri arıtmaya tabi tutulmakta, çıkışta bulanıklık, TOK, NH_4-N ve koliform parametreleri analiz edilmiştir. Çıkış değerleri, hem organik maddeler, hem de mikroorganizmalar açısından analiz edildiğinde sistem sayesinde yüksek verim elde edildiği görülmüştür. 45 m^3/saat kapasiteli ileri arıtma sistemi sayesinde bulanıklık giderme verimi sadece filtrasyonun uygulandığı sistemde %42 iken, filtrasyon ve aktif karbon adsorbsiyonunun birlikte uygulandığı sistemde %60'a ulaştığı görülmüştür. Aynı çalışmada farklı konsantrasyonlarda uygulanan ozonun da bulanıklık giderimine etkisi ozon dozajı arttıkça %8'den %78'e kadar ulaşmıştır. Bu çalışmada uygulanan ozon dozajları 7.1 mg/L 'den 26.7 mg/L'ye kadar çıkmıştır. Koliform giderimi için 26.7 mg/L'lik ozon dozajında maksimum giderim sağlanmış mikroorganizmaların tamamı giderilmiştir. Farklı dozajlarda ozonla dezenfeksiyon yapılarak bakteri giderim verimi incelenmiştir. İkincil arıtma çıkış suyunun karakteristiği şöyledir; 23.8 NTU bulanıklık, 40 mg/L TOK, 17 mg/L azot, 2.8 mg/L fosfat. Kum filtresi çıkışında bulanıklık %45 oranında azaltılmış, Karbon adsorbsiyonu ile TOK miktarı 10 mg/L'nin altına inmiştir (%80 giderim) (Petala ve ark. 2006).

Su sıkıntısı yaşayan ülkeler doğal olarak alternatif su kaynaklarına daha önce yönelmektedirler. Bu ülkelerden yıllık yağış miktarı 500 mm olan ve %80'ini sulamada kullanan Güney Kıbrıs'ta hem tarım arazilerini hem de yeşil alanları sulayabilmek için Larnaka kentinde kurulu bir evsel atıksu arıtma tesisinin çıkış sularını hızlı kum filtresinden geçirip klorla dezenfekte ederek yonca ve mısır yetiştirilen tarım

arazilerinin sulanmasında kullanmakta, bu sayede yaklaşık 150 hektarlık bir alana düzenli olarak sulama suyu sağlanmaktadır. Tesiste oksidasyon hendekleri + çökeltim havuzları + kum filtresi + klorlanarak sulama sistemine iletilmektedir. Larnaka AAT 1995'ten beri, geri kazanım sistemi ise 2000 yılından beri işletilmektedir. Klorlamanın, mikroorganizmaların gideriminde çok verimli olduğu, filtrasyon sayesinde de askıda katı maddelerin gideriminin sağlandığı geri kazanım sistemi sayesinde görülmüştür. Toplamda 150 ha'lık bir alan düzenli olarak geri kazanım sistemi sayesinde sulanmaktadır. Larnaka çıkış suyu kalitesi; $BOİ_5$ 2.6 mg/L (BOİ giderim verimi % 99), KOİ 56mg/L (KOİ giderim verimi %93), AKM 1.7 mg/L (AKM giderim verimi %99), pH 7.5, Toplam-N 8.5 mg/L (Toplam-N giderim verimi %90), İletkenlik 3.4 µs/cm, Klorür 555mg/L, Bor 0.8 mg/L, Potasyum 0.6 mg/L, Bakiye klor ise 0.2 mg/L olarak analiz edilmiştir (Fatta 2005).

Limasol 'da yapılan bir çalışmada ise, 3.500.000 m^3/yıl kapasiteli atıksu arıtma tesisinin çıkış suları, kum filtresi ve klorlama uygulanarak, maksimum 10 mg/L $BOİ_5$, ve maksimum 10 mg/L AKM'lik çıkış değerlerini sağlayan geri kazanılmış atıksu; park, golf sahası sulamasında kullanılmaktadır. Kıbrıs'ta desalinasyon (tuzsuzlaştırma) su ihtiyacını karşılamak için uygulanan bir yoldur. Üçüncül arıtma sonrasında elde edilen suyun maliyeti, bu ülkede desalinasyon yoluyla elde edilen suyun maliyetinden çok daha düşüktür. Atıksu arıtma tesisi çıkış sularının sulamada kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, sulamada kullanılan tatlı su miktarı azalmış ve bu su kaynaklarının evsel tüketim amacıyla kullanıma sevk edilmesiyle ikili etki sağlanmıştır (Papaiacovou 2001).

Atıksuların arıtılması ve sulamada kullanımına yönelik en eski ve en büyük sistemlerden biri de İsrail'in Dan Bölgesinde kurulu olan ve 1960'lardan beri işletilmekte olan Dan Bölgesi Atıksu Islahı Projesidir. Bu proje ile emsallerine göre en büyük kapasiteli atık su geri kazanım sistemi kurulmuştur. Sistem sayesinde, 8 şehrin (1.5 milyon kişi kapasiteli) atık suyu arıtılmakta ve arıtılmış atıksu yeraltında akiferde uzun süre bekletilerek İsrail'in güneyindeki kurak bölgenin sulanmasında kullanılmaktadır (yılda 110 milyon m^3 su bu şekilde geri kazanılmaktadır). Sistem 1960'lardan beri çalıştırılmaktadır. Tesis; oksidasyon havuzları, kimyasal oksidasyon, pH ayarlaması veya mekanik-biyolojik arıtma ile arıtılmakta, çıkış suları da toprak –

akifer arıtımı ve klorlama ile ileri arıtmaya tabi tutulmaktadır. Elde edilen geri kazanılmış su, zirai sulamada kullanılmaktadır. Bu proje ile toplamda 8 şehrin atıksuları, 2 ayrı arıtma prosesine sahip bir atıksu arıtma merkezine iletilmekte ve arıtılan sular daha sonra toprak – akifer arıtımı yapılarak ve akabinde dezenfekte edilerek, kurak olan Negev Bölgesi'ndeki tarım arazilerinin sulanmasında kullanılmak üzere geri kazanım hattı şebekesine verilmektedir. Bu sistemin nihai kapasitesi 160 milyon m^3/yıl civarındadır. Bu sistemin çıkış suyunda pek çok parametre, İsrail Sağlık Bakanlığı tarafından düzenli olarak kontrol edilmektedir. Dan bölgesi geri kazanım tesisi çıkış suyu değerleri ; Fekal koliform: 1/100 mL, Toplam koliform: 1/100 mL, BOİ: < 0.5 mg/L, KOİ: 7 mg/L, TAKM: 1 mg/L, Toplam Azot: 0.4 mg/L, Toplam Fosfor: 0.08 mg/L olarak analiz edilmiştir (Fatta 2005).

Benzer uygulamalar İspanya'da da mevcuttur. Almeria atıksu arıtma tesisi çıkısında hızlı kum filtresini müteakiben ozonlama yapılarak tarım arazileri sulanmaktadır. İspanya Almeria AAT 32.000 m^3/gün kapasiteli AAT çıkışına hızlı kum filtresi ve Ozonlama yapılarak atık su geri kazanımı yapılmaktadır. Elde edilen su, 3000 hektarlık alanda tarımsal sulama amacıyla kullanılmaktadır. Çıkışta elde edilen su karakteristiği şöyledir; KOİ: 20-120 mg/L, $BOİ_5$: 35 mg/L, TSS: < 30 mg/L, Toplam Koliform: < 100 / 100 mL, Helminth yumurtaları: 0 olarak analiz edilmiştir (Fatta 2005).

İspanya Sevilla'da evsel bir atıksu arıtma tesisinin çıkış suları, mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon sistemleri ile arıtılarak, sonuçları kıyaslanmıştır. Buna göre; fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler filtrasyondan sonra MF veya UF sistemlerinden geçirilen atıksu arıtma tesisi çıkış sularında ölçülerek MF – UF sistemlerinin arıtma verimi incelenmiştir. Atıksu arıtma tesisinin çıkış suyuna ön filtrasyondan sonra mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon teknikleri uygulanmıştır. Pilot tesiste, çıkış suyu kalitesi ve işletme maliyetleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, MF ve UF için giderim değerleri; sırasıyla; AKM için % 100 -%100, bulanıklık için %92-%92, renk için %18-%42, BOİ için % 83-%81, KOİ için % 47-%46 mertebesinde ölçülmüştür ve Toplam koliform-Fekal koliform'da %100 giderim sağlanmıştır (Alonso ve ark. 2001).

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Temiz su miktarının her geçen gün azaldığı artık bilinen bir gerçektir. Bu nedenle mevcut su kaynaklarımızın en iyi şekilde yönetilmesi zorunludur. Dünya'da temiz su kaynaklarının giderek azalması ile arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı gün geçtikçe önemi artan bir konu haline gelmiştir. Atıksuların arıtıldıktan sonra yeniden kullanılması su yönetiminin olmazsa olmaz bir parçası olarak düşünülmelidir. Pek çok ülke karşı karşıya kaldıkları su sıkıntısını aşmak üzere çeşitli su tüketim alanlarında yeniden kullanım yapmaktadır.

Kullanılabilir doğal su kaynakları ile su ihtiyacı arasında giderek büyüyen açık diğer bazı tedbirler arasında atıksuların da arıtılarak tekrar kullanılması konusunu gündeme getirmiş ve bu konudaki çalışmalar ve uygulamalar son yirmi yıl içerisinde önemli boyutlara ulaşmıştır. Arıtılmış atıksuların kentsel, endüstriyel, akifer besleme ve yeşil alan sulaması amaçlı yeniden kullanımı dünya genelinde giderek yaygınlaşmaktadır. Atıksuyun yeniden kullanım amacı, uygulama yapılan yerin özellikleri, arazi şekli, su kaynaklarının durumu, kullanıcıların sosyo-ekonomik özellikleri gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Aynı zamanda, yerel yönetimlerin planlamaları, atıksu yeniden kullanım politikaları ve yasal düzenlemeler de önemlidir.

Sulama suyu ihtiyacı toplam su tüketiminin oldukça yüksek bir oranını oluşturmaktadır. Bu oran ülkeden ülkeye değişmektedir. Atıksuların uygun olarak toplanması ve arıtıldıktan sonra güvenli yöntemlerle sulamada kullanılması teşvik edilmelidir. Bu sayede su tasarrufu sağlanır ve su kaynakları kirletilmez, bitki verimi artar, yapay gübre gereksinimi azalır, atıksular doğaya zarar vermeden en yararlı şekilde uzaklaştırılmış olur.

Ancak arıtılmış atıksuların yeniden kullanımı gerekli önlemler alınmadığı takdirde çeşitli sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunların başında sağlık sorunları gelmektedir. Atıksuların yeniden kullanılmasından kaynaklanan çevre ve sağlık risklerini bertaraf etmek için, su kalitesine ilişkin standartların geliştirilmesi ve atıksuların bu standartları sağlayacak düzeyde arıtılması gereklidir. Dünya'da pek çok ülke kriter veya standart oluşturma yolunda gelişmeler kaydetmektedir. Son yıllarda bu standartlar

oluşturulurken kullanım amacına göre arıtma ve standart belirleme üzerinde durulmuştur. Ülkemizde arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve yeniden kullanımı ile ilgili teknik esaslar, arıtılmış atıksuların kullanım amaçlarına göre sağlaması gereken kalite standartları ve uygun arıtma yöntemleri, 20 Mart 2010 tarih ve 27517 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde yer almaktadır. Bu tebliğ, yerleşim birimlerinden kaynaklanan atıksuların arıtılması ile ilgili atıksu arıtma tesislerinin teknoloji seçimi, tasarım kriterleri, arıtılmış atıksuların dezenfeksiyonu, yeniden kullanımı ve derin deniz deşarjı ile arıtma faaliyetleri esnasında ortaya çıkan çamurun bertarafı için kullanılacak temel teknik usul ve uygulamaları düzenlemek amacı ile hazırlanmıştır.

Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımında, kullanım amacının gerektirdiği su kalitesi kriterlerinin sağlanması önem taşımaktadır. Sulama suyu kalitesinin belirlenmesinde en önemli parametrelerden biri tuzluluktur. Sulama suyu çok çeşitli doğal tuz içermektedir. Tuzlulukta en önemli iyonlar sodyum, klorür ve bor iyonlarıdır. Su, sulama amacıyla toprağa verildiğinde bu tuzlar da toprağa iletilir. Toprağa geçen tuzlar toprak tabakasında birikir. Tuzluluk arttıkça toprağın ozmotik potansiyeli düşer. Bu durum bitkilerin bünyelerine su alma oranlarını düşürür. Sonuç olarak bitkiler bünyelerine yeterli su alabilmek için büyük ölçüde enerji harcarlar.

Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), toprak bünyesindeki suda ve sulama suyunda sodyumun baskın iyon olduğu durumu göstermektedir. Yüksek sodyumlu durumlarda, toprak partikülleri birbirinden ayrılmaktadır. Bu durumda, topraktaki porozite azalmakta ve büyük boşluklar tıkanmaktadır. Böylelikle, su ve havanın toprak içine nüfuzu engellenmektedir. SAR değerinin ölçümü ile sulama suyunun sulamaya uygunluğu belirlenir. Yüksek SAR değeri yüksek tuzluluğun işaretidir. Yeniden kullanılan sudaki birçok iyon, yüksek konsantrasyonlarda bitki üzerinde birikebilmektedir. Sodyum, klorür ve bor bunların başlıcalarıdır. Sodyum toksisitesi ve klorür yapraklara zarar vermektedir.

Park, bahçe gibi kentsel alanların sulanmasında, insanların çim ve bitkiler ile teması olabileceği için çok iyi kalitede sulama suyu gerekmektedir. Bu durumda, sulama

suyunda fekal koliform bulunmamalıdır ve mikrobiyolojik kalitesi çok iyi kontrol edilmelidir.

Atıksudaki çözünmüş tuzlar, bor, ağır metal ve benzeri toksik maddeler yörenin iklim şartlarına, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak ortamda birikebilmekte, bitkiler tarafından alınabilmekte veya suda kalabilmektedir. Bu nedenle, arıtılmış atıksuların arazide kullanılması ve bertarafı söz konusu ise suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler açısından öngörülen sınır değerlere uygunluğunun yanı sıra, bölgenin toprak özellikleri iklim, bitki türü ve sulama metodu gibi etkenler de dikkate alınmalıdır.

Atıksuların uygun bir strateji ile kontrollü olarak sulamada kullanılması, bu suların uzaklaştırılması için iyi ve yararlı bir yöntem sunmaktadır. Ayrıca, atıksuların kullanılması, iyi kaliteli suların sulama dışındaki kullanım amaçları için korunmasını da sağlamaktadır. Kentsel atıksuların uygun stratejilerle yeniden kullanımı ile yerüstü su kaynaklarının kirlenmesi önlenmiş olur. Bu sayede sadece temiz su kaynakları korunmakla kalmaz aynı zamanda, atıksuların içerdiği bitki besin maddeleri bitki yetiştiriciliğinde avantaj sağlar.

Evsel atıksu, sulama için faydalı olan nütrientleri içermektedir. Geri kazanılmış atıksuda bulunan üç ana nütrient; azot, fosfor ve potasyumdur. Azot ve fosfor, arıtılmış atıksuda yeterli miktarlarda bulunurken, bitki büyümesini etkilemektedir. Bununla birlikte, potasyum konsantrasyonu düşük olduğundan bitki büyümesini daha az etkilemektedir.

Atıksu yeniden kullanımı için seçilecek teknoloji tipini etkileyen faktörler; atıksuyun nerede kullanılacağı, atıksu karakteristikleri, yeniden kullanılacak atıksuyun kalitesi, ağır metallerin miktarı, prosesin esnekliği, işletme, enerji ve personel ihtiyacıdır.

Merkezi atıksu yönetim sistemlerinde kullanılan arıtma teknolojisi genel olarak ızgara, çöktürme, çeşitli teknolojilerin kullanıldığı biyolojik ve kimyasal proseslere dayanmaktadır. Endüstrileşmiş ülkelerde en yoğun kullanılan teknoloji klasik aktif çamur teknolojisidir. Doğal arıtma sistemleri ile kıyaslandığında daha kısa sürede ve daha az alanda biyolojik arıtma süreçleri ile kirleticilerin giderilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca ileri arıtma ile dezenfeksiyon ve nütrient giderimi yapılabilmektedir. Arazinin değerli olduğu, yoğun nüfuslu kentlerde finansal açıdan daha uygun olabilmektedir.

Ancak daha çok enerjiye, daha karmaşık inşa, işletme ve bakım prosesleri ve maliyet gerektirmektedir.

Kentsel atıksular askıda veya çözünmüş halde organik ve inorganik maddeler içerirler. Atıksularda bulunan organik maddeler arasında; karbonhidratlar, lignin, yağlar, sabun, sentetik deterjanlar, proteinler ve bunların ayrışmasından oluşan ürünler ile çeşitli doğal ve sentetik organik kimyasallar yer almaktadır. Kanalizasyon sistemleriyle toplanan kentsel atıksular içerisinde, gerek evsel gerekse endüstriyel kaynaklı çeşitli inorganik maddeler bulunmaktadır. Özellikle endüstriyel atıksuların kanalizasyon sistemine verilmesi durumunda arsenik, kadmiyum, krom, bakır, kurşun, cıva, çinko gibi toksik etkiye sahip inorganik maddeler içerebilirler. Toksik kimyasalların konsantrasyonu insan sağlığını etkilemeyecek düzeyde olsa bile, bitkiler üzerinde toksik etkide bulunabilirler.

Evsel atıksularda patojenik mikroorganizmaların neredeyse tamamı sadece siyah su olarak tanımlanan tuvalet sularında bulunmaktadır. Klasik merkezi atıksu sistemlerinde atıksuyun tamamı taşınmaktadır. Böylece patojen organizma içeren atıksu miktarı çoğaltılmakta hatta birleşik sistemlerde yağmursuyu ile birleşerek büyük hacimlerde patojenik atıksu oluşturmaktadır. Mevcut tesislerin kapasiteleri, büyüyen şehirlerin artan nüfusları karşısında yetersiz kalmaktadır.

Bu durumlar göz önüne alındığında merkezi atıksu toplama ve arıtma tesisleri modern şehirlerin değişmez tek alternatifi olmaktan çıkmaktadır. Merkezi olmayan sistemler bugünün ihtiyaçları ve koşulları karşısında tekrar değerlendirilmekte, ciddi bir seçenek olarak gündeme gelmektedir. Peyzaj sulama için planlı olarak kullanılan merkezi olmayan atıksu yeniden kullanım sistemleri su gereksinimini azaltır. Sulamada yeniden kullanım için dizayn edilen merkezi olmayan atıksu arıtma sistemleri, bitkiler için uygun oranda arıtılmış su ve nütrient uygulamak için kullanılır. Genellikle damla sulama gibi yüzeysel atıksu dağıtım yöntemleri kullanılır.

Doğal arıtma sistemleri, lagünler, stabilizasyon havuzları, septik sistemler, yapay sulak alanlar gibi mekanik olmayan, doğal bozunma proseslerine dayanan sistemlerdir. Daha az inşa maliyeti ve düşük işletme bakım masrafı gerektirmektedir. En büyük

dezavantajları daha büyük alana ihtiyaç duymalarıdır. Ancak arazi fiyatlarının düşük olduğu yerleşimler için uygundurlar. Kurak ve yarı kurak yerlerde çıkış suları sulamada kullanılabilmektedir.

Merkezi olmayan atıksu yönetim sistemlerinde, atıksu yönetimi, toplanması, arıtımı, deşarjı ya da yeniden kullanımı atıksu kaynağının yakınında yapılması esasına dayanır. Tarihsel olarak atıksu yönetimi foseptik, septik tank gibi yerinde yönetim sistemlerine dayanmaktadır. Son 20 yılda merkezi olmayan teknolojilere yeniden ilgi artmaya başlamıştır. Dünya Bankasına göre "Su ve sıhhi sektördeki en büyük açılım önümüzdeki 20 yılda düşük maliyetli ve aynı zamanda arıtılmış suyun tarım ve endüstride yeniden kullanımına olanak veren arıtma teknolojilerinin kurulacak" olmasıdır. Bu noktada atıksu yönetimindeki hijyen ve hastalıkların önlenmesi amacının yanında suyun ve besin maddelerinin yeniden kullanımı suretiyle temiz su kaynaklarına olan talebin de azaltılması hedeflenmektedir (Volkman 2003).

Türkiye'de turistik yapılaşmanın ve yatırımların yoğunlaştığı Ege ve Akdeniz Bölgeleri'nde zamanla ortaya çıkan arıtma ihtiyaçları sonucu kurulan arıtma tesislerinin çıkış suları, son yıllarda sulamada değerlendirilmeye başlanmıştır. Söz konusu atıksuların bir bölümü site yerleşimlerinde bahçelerin ve parkların sulanması için kullanılırken, bir bölümü ise stabilizasyon havuzlarında biriktirilerek tarımsal amaçlı kullanılmaktadır. Atıksuların yeniden kullanılmasındaki teknoloji seviyesi, suyun kullanılma maksatları ile doğru orantılıdır. Biyolojik arıtma çıkış suları uygun bir dezenfeksiyon işlemi sonrasında tarımsal veya yeşil alan sulamasında kullanılabilir.

Diğer ülkelerdeki uygulamalara baktığımızda küçük yerleşim yerlerinde yerinde arıtma uygulamalarının yapıldığı görülmektedir. Örneğin ABD'de tek bir aileye ait evsel atıksuların septik tank ve yapay sulak alan sistemleriyle arıtıldığına dair yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Bu sistemlerin uygun işletimiyle birlikte EPA çıkış yükü değerlerine uygunluk elde edilmiştir.

Klasik septik sistem planlamasında en önemli iki konu; uygun toprak yapısı ve arıtım için yeterli alanın olmasıdır. İlk alan değerlendirmesi yetersiz olan, toprak koşulları

dikkate alınmadan planlanan, düzenli bakımı yapılmayan sistemler sağlıksız koşullar doğurmakta, su kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır.

Septik sistemler uygun planlanıp kurulduğunda ve düzenli bakımı yapıldığında düşük yoğunluklu yerleşimler için basit, düşük maliyetli aynı zamanda da çevre dostu bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Uygun dezenfeksiyon yönteminin seçildiği septik sistemlerde atıksuların yeniden kullanımı mümkün olmaktadır.

Atıksuların sulamada yeniden kullanılmasında UV ile dezenfeksiyon işlemi tercih edilen bir yöntemdir. Diğer dezenfektanlardan farklı olarak, UV radyasyonu mikroorganizmaları bütünüyle kimyasal etkileşimlerle imha etmez. Diğer bir deyimle, UV radyasyonu kimyasal değil fiziksel bir dezenfeksiyon prosesidir. Bu açıdan UV'nin diğer kimyasal dezenfektanlara göre (klor, ozon, klordioksit, kloraminler gibi) en önemli avantajları kimyasal kalıntı bırakmaması ve sudaki doğal organik maddelerle kimyasal dezenfektanların reaksiyonu sonucu oluşan mutajenik, karsinojenik veya toksik etkileri olan dezenfeksiyon yan ürünleri oluşturmamasıdır.

UV ile dezenfeksiyon bakteri ve virüsleri etkin bir şekilde inaktif hale getirir. UV'nin genel olarak klor ve kloraminlere göre mikroorganizmaları inaktive etme gücünün daha fazla olduğu birçok çalışmada tespit edilmiştir.

Ülkemizde atıksuların sulamada kullanılmasına yönelik yapılan çalışmaların çoğunda kentsel atıksu arıtma tesislerinden çıkan sular kullanılmıştır. Oysaki merkezi olmayan atıksu arıtma tesislerinde yeniden kullanım uygulamaları yapılarak sorunu kaynağında çözme yoluna gidilmelidir. Özellikle septik sistemler gibi işletimi kolay olan düşük maliyetli sistemler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sistemler uygun dezenfeksiyon yöntemleriyle geliştirilip, arıtılmış evsel atıksuların yeniden kullanımı sağlanmalı ve bu konudaki teşvikler arttırılmalıdır.

KAYNAKLAR

Abas, S.N.A., Ismail, M.H.S., Kamal, M.L. and Shamsul Izhar, S. 2013. Adsorption Process of Heavy Metals by Low-Cost Adsorbent: A Review. World Applied Sciences Journal, 28, 1518–1530.

Akçın, G., Kürüm, Z., Dereli, K. 2008. The Progress Of Turkish Pilot Plant Project Title: Efficient Management of Wastewater, Its Treatment and Reuse in the Mediterranean Countries – EMWater. Gelişme Raporu.

Akkaya, C., Efeoğlu, A., Yeşil, N. 2006. Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ve Türkiye'de Uygulanabilirliği. In: TMMOB Su Politikaları Kongresi Bildirileri Kitabı, 21-23 Mart 2006, Ankara 195-204.

Al-Jayyousi, O. R. 2003. Greywater Reuse: Towards Sustainable Water Management Desalination (156): 18 l-l 92.

Al-Lahham, O., El Assı, N.M., Fayyad, M. 2003. Impact of Treated Wastewater Irrigation on Quality Attributes and Contamination of Tomato Fruit. Agricultural Water Management (61): 51-62.

Alonso E., Santos A. , Solis G.J., Riesco P. 2001. On the feasibility of urban wastewater tertiary treatment by membranes : a comperative assessment, Desalination, 141, 39-51.

Ammary, B. Y. 2007. Wastewater Reuse in Jordan: Present Status and Future Plans. Desalination (211): 64–176.

Andreadakis, A., Gavalaki, E., Mamais, D., Tzimas, A. 2001. Wastewater Reuse Criteria in Greece. 7th Conference on Environmental Science and Technology, 3 -6 September 2001, Ermoupolis, Syros Island, Greece. Global Nest: the Int. J. Vol 5, No 1: 9-14.

Angelakis, A.N., Bontoux L., and Lazarova V. 2003. Challenges and prospectives for water recycling and reuse in EU countries. Water Science and Technology: Water Supply Vol 3 No 4 pp 59–68, IWA Publishing 2003.

Angın, İ. 2002. Erzurum Kentsel Atıksuları ile Sulanan Tarımsal Alanlarda Ortaya Çıkan Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Atatürk Üniv, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Anonim 1989. WHO, 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. WHO Tech. Report Series No. 77, WHO; Geneva, Switzerland

Anonim 1996. USEPA, 1996. Ultraviolet Light Disinfection Technology in Drinking Water Application-An Overview EPA 811-R-96-002, Office of Ground Water and Drinking Water Cincinnati, OH.

Anonim 1999a. USEPA, Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual, EPA 815-R-99-014, Office of Water Cincinnati.

Anonim 1999b. USEPA, Wastewater Technology Fach Sheet-UV Disinfection EPA 832-F-99-064 Office of Water Cincinnati.

Anonim 2000a. EEA, Water Stres, 2000. http://reports.eea.eu.int/92-9157-202-0/en/3.5.pdf

Anonim 2000b. EC, The Environmental Impacts of the Irrigation in the European Union, 2000. A report to the Environment Directorate of the European Commission by the Institute for European Environmental Policy, London in Association with the Polytechnical Univercity of Madrid and the Univercity of Athens, March 2000.

Anonim 2002. USEPA, Onsite Wastewater Treatment Systems Manual, February 2002.

Anonim 2004a. EPA, 2004. Guidelines for Water Reuse. U.S. Environmental Protection Agency, EPA/625/R-04/108, Washington.

Anonim 2004b, TS EN 12255-3, 2004. Atıksu Arıtma Tesisleri - Bölüm 3: Ön Arıtma

Anonim 2005. Avrupa Komisyonu, MEDAWARE Projesi, 2005.

Anonim 2006. TS EN 12566-1, 2006. Küçük atıksu arıtma sistemleri - Nüfusu 50 eşdeğer nüfusa (EN) kadar olan yerler için - Bölüm 1: Ön yapımlı septik tanklar, 02.03.2006.

Anonim 2010. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 20 Mart 2010 tarih ve 27517 sayılı Resmi Gazete.

Anonim 2012a. Devlet Su İşleri Bakanlığı, 2012. Faaliyet Raporu, Ankara.

Anonim 2012b. Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi, 2012. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Sf 77-92.

Anonim 2013a. http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/sub.pdf, (Erişim tarihi: Nisan 2013).

Anonim 2013b. http://www.jrs-inspections.com/septicworks.html, (Erişim tarihi: Nisan 2013).

Anonim 2014. Atıksu Arıtımı Eylem Planı (2014-2023). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2014.

Anonim 2015a. http://ufdc.ufl.edu/IR00003105/00001,2015 (Erişim tarihi: Mayıs 2015).

Anonim 2015b. http://www.microbelibrary.org/library/biofilm/2700-a-naturally-occurring-biofilm-from-a-septic-system-,(Erişim tarihi: Aralık 2015).

Anonim 2015c. http://schroederseptic.com/mound-septic-systems/,2015 (Erişim tarihi: Aralık 2015).

Anonim 2016a. http://inspectapedia.com/septic/altmedia.htm,2016 (Erişim tarihi: Mart 2016).

Anonim 2016b. http://inspectapedia.com/septic/biomat.htm,2016 (Erişim tarihi: Mart 2016).

Anonim 2016c. http://inspectapedia.com/septic/Effluent_Disinfection_Septic.htm,2016 (Erişim tarihi: Nisan 2016).

Anonim 2016d. http://www.eco-nomic.com/indexsdd.htm, 2016 (Erişim tarihi: Nisan 2016).

Arceivala, S. J. 2002. Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Tata McGraw – Hill Publishing company limited.

Arslan-Alaton I., Gürel M., Eremektar G., Övez S., Tanık A. ve Orhon D. 2005. Türkiye'de Sürdürülebilir Atıksu Yönetimi: Mevcut Durum, Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımsal Sulamada Kullanılması Çalıştayı.

Arslan-Alaton, I., Tanık, A., Ovez, S., İskender, G., Gürel, M., Orhon, D. 2007. Reuse Potential of Urban Wastewater Treatment Plant Effluents In Turkey : A Case Study on Selected Plants,Deselination 215, Sf. 159-165.

Aşık, Ş., Avcı, M., Balcı, A. 1997. Atık Suların Sulamada Kullanım Stratejileri. In: 6. Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirileri Kitabı, 5-8 Haziran 1997, Bursa, 564-576.

AWWA ve ASCE, 1990. Water Treatment Plant Design, 2nd edition, McGraw-Hill, Inc, New York.

AWWA, 1991. Guidance Manual for Compliance with the Filtration and Disinfection Requirements for Public Water Systems Using Surface Water Sources, Denver, CO.

Ayvaz, Z. 2000. Evaluation of Sewage Sludge. Ekoloji 9 (35): 3-12.

Bahri, A., Brıssaud, F. 1996. Wastewater Reuse in Tunisia: Assessing a National Policy. Water Science and Technology, Vol.33, No.10-11, s: 87-94.

Baruth, E. E. 2005. Water Treatment Plant Desing, McGraw-Hill.

Başkan, T. 2006. Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımda Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran.

Bazza, M. 2003. Wastewater Recyling And Reuse In The Near East Region: Experience and Issues, Water Science and Technology: Water Supply, Vol 3, No 4, Sf. 37-50, FAO.

Bilstad, T. 1997. Membrane Operations. Wat. Sci. Tech. Vol. 36, No.2-3, 17-24.

Bixio, D., Thoeye, C., Koning, J.D., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., Melin,T. 2006. Wastewater Reuse In Europe, Deselination 187, Sf. 89-101.

Blatchley, E.R. 1997. Numerical Modelling of UV Intensity:Application to Collimated-Beam Reactors and Continuous-Flow Systems,Water Research, 31/9:2205-2218.

Blatchley, E.R. ve Hunt, B.A. 1994. 'Bioassay for Full-Scale UV Disinfection Systems',Water Science and Technology, 30/4:115-123.

Blumenthal U.J., Duncan Mara D., Peasey, A., Ruiz-Palacios G. and Stott R. 2000b. Guidelines for the Microbiological Quality of Trated Wastewater Used in Agriculture: Recommendations for Revising WHO Guidelines. Bulletin of the World Health Organization, 78 (9): 1104-1116.

Blumenthal, Ursula J; Mara, D. Duncan; Peasey, Anne; -Palacios, Guillermo Ruiz; Stott, Rebecca. 2000a. Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. World Health Organization 2000, Bulletin of the World Health Organization, 2000, 78.

Breck, D. W., 1974. Zeolite Molecular Sieves, John Wiley, New York, 771.
Campbell, A.T., Robertson, L.J., Snowball, M.R. ve Smith, H.V. 1995. Inactivation of Oocysls of Cryplosporidium Parvum by Ultraviolet Radiation, Water Research, 29/11:2583-2586.

Candela, L., Fabregat, S., Josa, A., Surıol, J., Vıgués, N., Mas, J. 2007. Assessment of Soil and Groundwater İmpacts by Treated Urban Wastewater Reuse. A Case Study: Application in a Golf Course (Girona, Spain). Science of the Total Environment (374): 26–35.

Carr R.M., Blumenthal U.J. and Duncan Mara D. 2004b. Guidelines for the Safe Use of Wastewater in Agriculture: Revisiting WHO Guidelines. Water Science and Technology Vol. 50 (2): 31-38.

Cazurra, T. 2008. Water Reuse of South Barcelona's Wastewater Reclamation Plant. Desalination (218): 43–51.

Ceylan, A., Ertem, M., Ilcın ve Ozekinci, T. 2003. A Special Risk Group for Hepatitis E Infection: Turkish Agricultural Workers Who Use Untreated Waste Water for Irrigation. Epidemiol. Infect. J., 131: 753-756.

Chang,N. B., Wanielista, M., Daranpob, A., Xuan, Z. And Hossain, F. 2010. New Performance-Based Passive Septic Tank Underground Drainfield for Nutrient and Pathogen Removal Using Sorption Media. Department of Civil, Environmental, and Construction Engineering, University of Central Florida, Orlando, Florida.
Chiu, K., Lyn, D.A., Savoye, P. ve Blatchley, E.R. 1999. Effect of System Modifications on Disinfection Performance: Pilot Scale Measurements and Model Predictions. Journal of Environmental Engineering, 125/5:459-469.

Christensen, GL. 1987. Lime Stabilization of Wastewater Sludge. In: Gutschick KA (ed), Lime for Environmental Use in ASTM-STP 931. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 78-94.

Cicelsky, A. 2006. Kibbutz Lotan Center for Creative Ecology, NATO ASI Course presentation on Integrated Water Resources Management and Security in the Middle East, Eilat, Israel.

Cirelli, G.L., Consoli, S., Di Grande, V., Milani, M., Toscano, A. 2006. Subsurface Constructed Wetlands For Wastewater Treatment And Reuse in Agriculture-Five Years of Experiences in Sicily, Italy. 10th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, September 23-29, 2006 Lisbon, s:375.

Clancy, J.I,., Hargy, T.M., Marshall, M.M. ve Dyksen, J.E. 1997. Inactivation of Cryptosporidium Parvum Oocysts in Water Using Ultraviolet Light, Proc. of AWWA International Symposium on Cryptosporidium and Cryptosporidiosis, Newport Beach, CA.

Combs, R. ve McGuire, P. 1989. Back to Basics-The Use of Ultraviolet Light for Microbial Control. Ultrapare Water Journal, 6/4;62-68.

Cooper. P.F., Job. G.D., Greeen. M.B. 1996. Shutes. R.B.E. Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment.

Crites, R. ve Tchobanoglous, G. 1998. Small and Decentralized Wastewater Management System, McGraw-Hill, USA.

Çakır, R., Gidirişlioğlu, A., Tok, H.H., Avşar, F., Ekıncı, H., Yüksel, O. 1997. Kirli Nehir Sularının Entisol Ordosuna ait Toprağın Bazı Özelliklerine ve Ayçiçeği Bitkisinin Gelişimine Etkileri. Trakya Toprak ve Mühendisliği Dergisi.

Çay, Ş. 2013. Konya Kentsel Atık Sularının Tarımsal Sulamada Kullanılması ve Mısır Bitkisi Yetiştiriciliğine Etkileri, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Çetin, M., Kırda, C., Efe, H., Topçu, S. 2008. Düsük Kaliteli Suların Sulamada Kullanılmasının Neden Olabilecegi Olası Tuzluluk Sorununun Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında İrdelenmesi. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi. Ankara

Çiftçi. H., Kaplan.Ş., Köseoğlu. H., Karakaya. E., Kitiş, M. 2007. Ecologic life and wasteweter treatment in constructed wetlands Pp .23 (1-2):149 -160.

D.W. Breck,1974. Zeolites Moleculer Sieves, John Wiley&Sons NewYork, p. 771.

Deere, D., Stevens, M., Davison, A., Helm, G. and Dufour, A. 2001. Management Strategies. Pages 259–288, in Water Quality: Guidelines, Standards and Health; Assessment of Risk and Risk Management for Water-related Infectious Disease. Fewtrell L. and Bartram J. (Eds). International Water Association (IWA) on behalf of the World Health Organization, London, UK.

DeMers, L.D. ve Renner, R.C. 1992. Alternative Disinfection Technologies For Small Drinking Water Systems AWWARF, CO.

DOĞAN, M., 2003. Şanlıurfa'da Karakoyun Deresi Atık Suları İle Sulanan Soğanda (Allium cepa L.) Toksik Element Birikimi Üzerine Bir Araştırma. Ekoloji Dergisi 12(48):1-3.

Duran, M. ve Demirer, G.N. 1997. Su Arıtımında Temel İşlemler, TMMOB.

Erdoğan, A. O. 2004. Türkiye'de Optimum Maliyete Dayalı Atıksu Arıtma Tesisi Tasarımı, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.

Erdoğan, A.O., Zengin, G.E., Orhon, D. 2005. Türkiye'de Evsel Atıksu Oluşum Miktarları ve Karakterizasyonu, itüdergisi/e Su Kirlenmesi Kontrolü, Cilt:15, Sayı:1-3, 57-69.

Eremektar, G., Tanık, A., Alaton, İ., Gürel, M., Övez, S., Orhon, D. 2005. Türkiye'de Doğal Arıtma Uygulamaları ve Projeleri. Medaware Projesi. Ankara.
Fatta, D. 2005. Good Practice Examples on the Utilization of Treated Wastewater for Irrigation Purposes, University of Cyprus Civil and Environmental Engineering Department, Israel.

FDEP, 2002. Reuse Inventory. Florida Department of Environmental Protection. http://www.dep.state.fl.us/water/reuse/

Filiz, E. 2007. Doğal Kaynaklardan Elde Edilen Adsorbanlarla Sulardan Ağır Metal Giderimi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Forster, C. F. 2003. Wastewater Treatment and Technology, Thomas Telford.

Fytili, D., Zabaniotou, A. 2008. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods. A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (1): 116-140.

G. Gottardi. 1976. Mineralogy and Chrystal Chemistry of Zeolites, Natural Zeolites; Occurence, Properties, Use, A selction of papers presented at Zeolites'76, an International Conference on the Occurence, Properties, and Utilization of Natural Zeolites, Arizona, USA, pp. 31-44.

Gidirişlioğlu, A., Çakır, R. 1996. Ergene Nehri ve Kollarının Evsel ve Endüstriyel Atıklarla Kirlenmesinin Tespiti ve Toprak Üzerine Etkileri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Atatürk Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Kırklareli, 102, 70s.

Güneş, S. 2002. Arıtılmış Atıksuyun ve Arıtma Çamurlarının Geri Kazanımı, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, s:180-181.

Gür, K., Uyanöz, R., Zengin, M. 1996. Konya'da Kentsel Atık Sularla Sulanan Tarım Topraklarında Mikrobiyal Kirlenme. Tarım- Çevre İlişkileri Sempozyumu Doğal Kaynakların Sürdürebilir Kullanımı Mersin Üniv. Mühendislik Fak. 13-15 Mayıs 1996, Mersin, s 43-51.

Havelaar, A.II., Meulemans, C.C.E., Pot- Hogeboom, W.M. ve Koster, J. 1990. Inactivation of Bacteriophage MS2 in Wastewater Effluent with Monochromantic and Polychromantic Ultraviolet Light, Water Research, 24/11:1387-1393.

Hazen ve Sawyer. 1992. Disinfection Alternavites for Safe Drinking Water; Van Nostrand Rcinhold, NY.

Heidarpour, M., Mostafazadeh-Fard, B., Abedı Koupaı, J., Malekıan, R. 2007. The effects of Treated Wastewater on Soil Chemical Properties Using Subsurface and Surface Irrigation Methods. Agricultural Water Management (90): 87-94.

Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, C. M., Marias, G. 1995. Activated sludge model No:2, IAWQ Sci and Tech report No:3, London, England.

IRC, 2005. Wastewater Reuse in Latin America: Quality Issues Need Attention. http://www.irc.nl/page/26895

İbrikçi H, Karnez E., Oguz H., Çetin M., Öztekin E., Dingil M., Kırda C., Topçu S., Efe H. 2008. Aşağı Seyhan Ovası Akarsu Sulama Sahası Taban Sularında Nitrat Konsantrasyonu ve Oluşturacağı Çevresel Risk Potansiyeli. Sulama ve Drenaj

İleri, R. 2000. Çevre Biyoteknolojisi, Değişim yayınları, Adapazarı, 268-351

Jacobs, LW., McCreary, DS. 2001. Utilizing Biosolids on Agricultural Land. Extension Bulletin, E 2781. Michigan State University Extension, USA.

Jimenes, C., Orhon, D., Tilche, A., 1995. Wastewater Reuse to Increase Soil Productivitiy. Water Sci. And Tech. 32 (12):156-159.

Joseph, A., Salvato, Nelson L., Nemerow, Franklin, J. Agardy. 2003. Environmental Engineering. 5th ed. Wiley.

Joubert, L., Flinker, P. 2004. Creative Community Design and Wastewater Management-Final Report, National Decentralized Water Resources Capacity Development Project, Rhode Island: University of Rhode Island Cooperative Extension Kingston.

Kadlec, R., Brix, H. 1995. Wetland Systems for Water Pollution Control, Water Science and Tecnology.Vol.32,No3.

Kalavrouzıotısa, I.K., Apostolopoulos, C.A. 2007. An Integrated Environmental Plan for the Reuse of Treated Wastewater Effluents from WWTP in Urban Areas. Technical Note. Building and Environment (4): 1862–1868.

Kanber, R., Ünlü, M. 2008. Türkiye'de Sulama ve Drenaj Sorunları: Genel Bakış. Sulama – Drenaj Konferansı. DS_ VI. Bölge Müdürlügü. Adana.

Karajeh, F., Mills, Richard A., BenJemaa, F., Prillwitz, Marsha. 2004. Issues Confronting Water Recycling In California. California Department of Water Resources P. O. Box 942836, Sacramento, CA 94236-0001, USA.

Karanis, P. 1992. UV Sensitivity of Protozoan Parasitcs, J. Water Supply Res. Technol. Aqua, 41/2:95.

Karatas, B. S., Akkuzu E., Asık S. 2005. İzmir Kentsel Arıtılmıs Atık Sularının Sulamada Kullanım Olanaklarının İncelenmesi. Ege Üniv. Ziraat. Fak. Dergisi, 2005, 42(3):111-122

Kavaklı, M., Civan, Z. 1997. Türkiye'de Su Kullanımı, Atıksuları Geri Kazanma ve Yeniden Kullanma Uygulamaları, Su ve Çevre Sempozyumu 97, 2-5 Haziran, İstanbul.

Kendirli, B., Benli, B. 2001. Türkiye'de Su Kalitesinin İzleme ve Değerlendirilmesi. Ziraat Mühendisligi Dergisi, Sayı: 331, Ankara, s. 14-24.

Khouri, Nadim., Kalbermatten, John M., Bartone, Carl R. 1994. Reuse of Wastewater in Agriculture: A Guide for Planners UNDP-World Bank Water and Sanitation Program The World Bank Washington, DC.

Kitiş, M., Soroushian, F., Başbuğ, M., Köksal, A., Ekinci, F.Y. 2003. Arıtma Süreçlerinde Ultraviyole Radyasyonu ile Dezenfeksiyon,Çevre Bilim&Teknoloji Cilt 1, Sayı 4, Sayfa 4-17.

Koç, H., Kandemir, N. 1996. Yeşilırmak'ın Almus-Erbaa Kolu Üzerinde Bulunan Yerleşim Yeri ve Sanayiye Ait Sıvı Atıkların Bazı Kültür Bitkilerinde Çimlenme, Bitki Boyu ve Bitki Ağırlığına Etkisi. Ekoloji Çevre Dergisi 20:21-25.

Kretschmer, N., Ribbe, L., Gaese, H. 2002. Wastewater Reuse for Agriculture. Technology Ressource Management & Development - Scientific Contributions for Sustainable Development, Vol. 2

Kruithof, J.C. 1989. Summaries, Proc. of Wasser Berlin 89, International Ozone Association, Europcan Committee, Paris.

Kukul, Y.S., Calışkan, A.D.U., Anac, S. 2007. Arıtılmış atık suların tarımda kullanılması ve insan sağlığı yönünden riskler. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 44 (3): 101-116.

Kumbur, H., Gündoğdu, E. 1998. Evsel Atıksularının Tarımsal Amaçla Değerlendirilmes, Kayseri I. Atıksu Sempozyumu, 22-24 Haziran 1998, 160-166, Kayseri.

Kurt, U. 2007. Fenton ve Elektrokimyasal Yöntemlerle Evsel Atıksuların Arıtılabilirliğinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kurtkulak, H. 2014. Kentsel Atıksuların Geri Kazanımı ve Yeşil Alanların Sulanmasında Yeniden Kullanımı: Konya Kenti Örneği Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Lallana C., Krinner W., Cedex T. Estrela, 2001. Sustainable water use in Europe Part 2: Demand management S. Nixon, Water Research Centre J. Leonard, J. M. Berland, IOW ETC/IW Leader: T. J. Lack

Lazarova, V. 1999. Wastewater Reuse: Technical Challenges and Role in Enhancement of Integrated Water Manegement. G.I.N. International, Dec. 99, s: 40-47.

Lindenauer, K. Ve Darby, J. 1997. Estimating Effective Germicidal Dose from Medium-Pressure UV Lamps, Journal of Environmental Engineering, 123:1142-1149.

Liphin, C., Pallant, E., Saranga, D., Amster, A. 2007. Integrated Water Resources Management and Security in the Middle East, Publication of NATO Science for Peace Series.

Lubello, C., Gori, R., Nicese, F.P., Ferrini, F. 2004. Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation, Water Research, 38, 2939-2947.

Lyn, D.A., Savoye, P. ve Blatchley, E.R. 1999. Effect of System Modifications on Disinfection Performance: Pilot Scale Measurements and Model Predictions. Journal of Environmental Engineering, 125/5:459-469.

Malley Jr., J.P, Shaw, J.P. ve Ropp, J.P. 1995. Evaluations of Byproducts by Treatment of Groundwaters with Ultraviolet Irradiation, AWWARF and AWWA, Denver, CO.

Mara, D. and Cairncross, S. 1989. Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 187 p.

Merz, K. 2000. Guidelines for using free water surface constructed wetlands to treat municipal sewage.

Metcalf & Eddy, 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill internationalEditions, Third Edition.

Metcalf & Eddy, 2003. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, USA.

Metcalf & Eddy, 2006. Water Reuse: Issues, Technologies and Applications.

Miller, G.W. 2006. Integrated Concepts in Water Reuse: Managing Global Water Needs, Deselination 187, Sf. 65-75.

Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y.S. and Pittman, Jr.C.U. 2014. Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent: A critical review. Bioresource Technology, 160, 191–202.

Moshiri, G.A. 1993. Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. p632.

Mulamoottil, G., Mcbean, E., Rovers, F. 1998. Constructed Wetlands for the Treatment of Landfill Leachates s.281.

Munoz J.I, Mendoza - Roca J.A.., Iborra - Clar A., Bes-Pia A., Fajardo – Montanana V. Martinez- Francisco F.J., Bernacer - Bonora I., 2008. Study of different alternatives of tertiary treatments for wastewater reclamation to optimize the water quality for irrigation reuse, Desalination, 222, 222-229.

Muslu, Y. 1998. Çevre Mühendisliğinin Esasları, 1. Baskı, İstanbul İTÜ.

MWA 1998. Guidelines for Developers: Seweage Treatment Plants 2nd Edition, Volume IV. Malaysian Water Association, Ministry of Housing and Local Government, Sewerage Services Department, Malaysia.

National Water Research İnstitute (NWRI) 1993. UV Disinfection Guidelines for Wastewater Reclamation in California and UV Disinfection Research Needs Identifications, Prepared for the state of California Department of Health services.

Neal, J. 1996. Wastewater Reuse Studies and Trials in Canberra. Desalination Vol. 106, Issues (1-3): 399-405.

Odegaard, H. 1989. Appropriate Technology for Wastewater Treatment in Coastal Tourist Areas, Water Science and Tech., vol. 21, No. 21, pp. 1-17.

Orhon, D., Ateş, E., Sözen, S., Çokgör, E. U. 1997. Characterisation and COD fractionation of domestic wastewater, Environmental Pollution, 95, 2, 191-204.

Orhon, D., Sözen, S., Artan, N., Babuna, F. G., Eremektar, G., İnsel, G., Görgün, E., Taşlı, R., Çokgör, E. U., Ateş, E., Avcıoğlu, E. 2000. Evsel Atıksularda Azot Gideren Tek Kademeli Aktif Çamur Sistemlerinin Tasarımı İçin Standart Oluşturulması, TÜBİTAK Projesi, No: YDABÇAG- 584/Ü-7.

Orhon, D., Tünay, O., Germirli, F., Artan, N., Sözen, S., Taşlı, R., Çokgör, U. E., Görgün, E. 1996. Hassas Bölgelerde Atıksu Karakterizasyonu ve Arıtılabilirliği, Hassas Bölgelerde En Uygun Arıtma Teknolojileri ve Atıksu Yönetimi Sonuç Raporu, Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı.

Orsam 2011. Su Araştırmaları Programı, Türkiye'de ve İsrail'de Yapay Sulak Alanlar ile Atıksu Arıtımı ve Atıksuyun Sulama Amaçlı Olarak Tekrar Kullanımı Rapor No:8, Eylül.

Öğüt, A. A. 2011. Mevsimsel Nüfus Farklılıklarının Gözlendiği Turizm Alanlarında Sürdürülebilir Su ve Atıksu Yönetimi: Bodrum Yarımadası Örneği, Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Müh. Anabilim Dalı, İstanbul.

Özaydın, S. 2005. Doğal Klinoptilolitlerin Türkiye'deki kullanım olanakları ve Gördes klinoptilolitlerinin ısıl özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Ana Bilim dalı, İzmir 165 pp.
Özlem, H.Ö. 2006. Mağusa İçin En Uygun Biyolojik Arıtma Teknolojisinin Seçimi ve Tasarımı. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U. 2005. Atıksu Arıtımının Esasları, Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü.

Papaiacovou, I. 2001. Case Study - Wastewater reuse in Limassol as an alternative water source, Desalination, 138, 55-59.

Parker, J.A. ve Darby, J.L. 1995. Particle-associated Caliform in Secondary Effluents: Shielding From Ultraviolet Light Disinfection, Water Environment Research, 67/7:1065-1075.

Parrotta, M.J. ve Bekdash, F. 1998. UV Disinfection of Small Groundwater Supplies, Jaurnal of AWWA, 90/2:71-81.

Parten, S. M. 2010. Planning and Installing Sustainable Onsite Wastewater Systems.

Pescod, M.B. 1992. Wastewater Treatment and Use in Agriculture. Irrigation and Drainage Paper, No. 47, FAO, Rome. 125 p.

Petala, M., Tsiridis, V., Samaras, P., Zouboulis, B., Sakellaropoulos, G.P. 2006. Wastewater reclamation by advanced treatment of secondary effluents, Desalination, 195, 109-118.

Petri, M.P., Fang, G., Malley, J.P. Moran, D.C. ve Wright, H. 2000. Groundwater UV Disinfection: Chellenges and solutions, Proc of the AWWA Water Quality Technology Conference.

Phillips, R. 1983. Sources and Application of Ultraviolet Radiation, Academic Press, NY.

Ponse, M. N., Spanjers, H., Baetens, D., Nowak, O. 2001. Wastewater characteristics in Europe, a survey, Cost 624.

Qualls, R., Flynn, M. ve Johnson, J. 1983. The Role Of Suspended Particles in Ultraviolet Disinfection. J. Water Pollution Control Fed., 55/10:1280-1285.

Qualls, R.G., Dorfinan, M.H. ve Johnson, J.D. 1989. Evaluation of the Efficiency of Ultraviolet Disinfection Systems, Water Research, 23/3:317-325

Reddy, K. R., Angelo, E. M. 1997. Biogeochemical Indicators to Evaluate Pollutant Removal Efficiency in Constructed Wetland. Water Science and Tech. 35(5) pp 1–10.

Reed, S.C., Crıtes, R.W., Mıddlebrooks, E.J. 1995. Natural Systems for Waste Management and Treatment. p 576.

Rubin, L.B., Menshonkova, T.M., Simukova, N.A. ve Budowsky, E.I. 1981. The Effects of High Intensity UV Radiation on Nucleic Acids and Their Components-1. Thymine, Photochem. Photobiol.

Salem, S.S.A. 1999. Overview of The Water And Wastewater Reuse Crises In The Ara World.

Salgot M., Veres C. and Angelakis A.N. 2003. Risk Assessment in Wastewater Recycling and Reuse. Water Science and Technology: Water Supply, 3 (4):301-309.

Salgot, M. 2001. Hygienic Aspects of Desar: Water Circuits. Pages 469-484, in Decentralized Sanitation and Reuse. Integrated Envir. Tech. Series, IWA Publishing, London, UK.

Sand, L.B. and Mumpton, F.A. 1978. Natural Zeolites, occurrence, properties, use. Washington, DC. Pergamon Press, New York, Mineralogical Society of America, 4, 451 p.

Scheible, O.K. ve Bassell, C.D. 1981. Ultraviolet Disinfection of A Secondary Wastewater Treatment Plant Effluent, EPA-600/2-81-152, PB81-242125, USEPA, Cincinnati, OH.

Scott, C.A., Zarazua, J.A., Levıne, G. 2001. Urban-Wastewater Reuse for Crop Production in the Water-short Guanajuato River Basin, Mexico. http://www.iwmi.cgiar.org/pubs/pubs041/body.htm

Severin, B.F., Suidan, M.T. ve Engelbrecht, R.S. 1983a. Effects of Temperature on Ultraviolet Light Disinfection, Environmental Science and Technology, 17/12:717-721.

Severin, B.F., Suidan, M.T. ve Engelbrecht, R.S. 1983b. Kinetic Modeling of UV disinfection of Water, Research, 17/11:1669-1678.

SFWMD, 2002. South Florida Water Management District. Water Reuse: A Safe and Effective Way to Save Water, Florida.

Shahalam, A. and Jaradat A., 1998. Wastewater Irrigation Effect on Soil, Crop and Environment: A Pilot Scale Study at Irbid, Jordan. Water, Air and Soil Pollution, 106.

Shetty, S. 2005. Treated Wastewater Use in Tunisia: Lessons Learned and The Road Ahead. http://www.idrc.ca/en/ev-68343-201-1-DO_TOPIC.html

Shuval, H.L. 1990. Wastewater Irrigation in Developing Countries. Summary of World Bank Technical Paper Number 51, Washington, USA.

Sivrioğlu, Ö., Kestioğlu, K. 2010. Yapay Sulak Alanlarla Evsel Atıksuların Arıtılması, 500 Kişilik Bir Köy İçin Uygulama Örneği, İTÜ X. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu.

Slade, J.S., Harris, N.R. ve Crisholm, R.G. 1986. Disinfection of Chlorine Resistant Enteroviruses in Groundwater by Ultraviolet Radiotion, Water Science and Technology, 189/10:115-123.

Snicer, G.A., Malley, J.P., Margolin, A.B. ve Hogan, S.P. 1996. Evaluation of Ultraviolet Technology in Drinking Water Treatment,Proc. of AWWA Water Quality Technology Conference, Boston, MA.

Snider, K.E., Darby, J.L Tchobanoglous, G. 1991. Evaluation of Ultraviolet Disinfection for Wastewater Rense Applications İn Colifornia, Department of Civil Engineering , University of California- Davis, CA.

Sobotka, J. 1993. The Efficiency of Water Treatment and Disinfection by Means of Ultravioled Radiation, Water Science and Technology, 27/(3-4):343-346.

Soroushian, F. 1997. Use of High-Intersity UV Systems for Disinfecting Wastewater, Proc. of WEF Annual Conference- Disinfection Workshop.

Soroushian, F., Noesen, M., Tchobanoglous, G. ve Hultquist, R. 1996. Comparison of Horizontal and Vertical UV Systems for Meeting California Wastewater Reclamation Criteria, Proc. of the Water Pollution Control Federation, Disinfection of Wastewater for Discharge and Reuse Specialty Conference.

Soroushian, F., Norman, J., Patel, M., Leslic, G. Ve Tchobanoglous, G. 1999. Is There a Standard Method for Comparing Ultraviolet Disinfection Technologies?, Proc. of Water Environment Federation 72nd Annual Conference.

Sort, X. and Alcaniz, J.M. 1999. Modification of Soil Porosity After Application of Sewage Sludge. Soil & Tillage Research, 49.

Steer, D., Fraser, L., Body, J., Seıbert, B. 2002. Efficiency of Small Constructed Wetlands for Subsurface Treatment of Single-Family Domestic Effluent. Ecological Engineering (18): 429–440.

Syed R.Qasım, 1999. Wastewater Treatment Plants, Planning, Design, and Operation, Technomic publication.

Şengül, F. ve Küçükgül, E.Y. 1997. Çevre Mühendisliğinde Fiziksel – Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler, DEÜ- MMF Yayınları, İzmir.

Tchobanoglous, G. 1997. UV Disinfection: An Update, Proc. Of Sacramento Municipal Utilities District Electrotechnology Seminar Series, Sacramento, CA.

Toprak, H. 2000. Aktif Çamur Sürecinin Tasarımı, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir.

Toze, S. 2006. Reuse of Effluent Water-Benefits and Risks. J. of Agricultural Management, 80:147-159.

Tsaragis, K.L., Dialynas, G.E., Angelakis, A.N. 2004. Water Resources Management in Crete (Greece) Including Water Cycling and Reuse and Proposed Quality Criteria. Agricultural Water Management, (66):35-47.

Tuna, A.L., Burun, B., Yokas, İ. 2012. Kireçle İşlem Görmüş Kentsel Atık Suların Toprağın pH, EC ve Elementel Kapsamı ile Mısır Bitkisinin (Zea mays) Beslenme Durumu, Bazı Fizyolojik Özellikleri ve Verimi Üzerine Etkileri, Ekoloji 21, 84, 66-73.

Tuna, A.L., Bürün, B. 2003. Mısırda Mineral Beslenme ve Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Kentsel Atık Suların Etkisi. Dumlupınar Üni. Fen Bilimleri Dergisi, 4:7-15.

UNEP, 2005. International Source Book on Environmentally Sound Technologies for Wastewater and Stormwater Management.

Urkiagaa, A., De Las Fuentesa, L., Bisb, B., Chiruc, E., Bodod, B., Hernandeze, F., Wıntgensf, T. 2006. Methodologies for Feasibility Studies Related to Wastewater Reclamation and Reuse Projects. Desalination (187): 263–269.

Uyanöz, R. 2000. Konya'da Sulama Suyu Olarak Kullanılan Atık Suların Tarım Topraklarının Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özelliklerine Etkileri. Doktora Tezi. Selçuk Üniv. Konya, 100s.

Vandevivere, P. and Baveye, P. 1992. Saturated Hydraulic Conductivity Reduction Caused by Aerobic Bacteria in Sand Collumns. Soil Sci. Soc., 56.

Vinten A., Mingelgrin, U. and Yaron, B. 1983. The Effectof Suspended Solids in Wastewater on Soil Hydraulic Conductivity: I. Suspended Solids Labelling Method. Soil. Sci., 47.

Volkman,S., Candidate, MS. 2003. Sustainable Wastewater Treatment and Reuse in Urban Areas of the Developing World.

Von Sonntag, C. ve Schuchmann, H. 1992. UV Disinfection of Drinking Water and By-Product Formation-Some Basic Considerations, J. Water SRT-Aqua, 41/2:67-74.

Vymazal, J., Brıx, H., Cooper, P.F., Haberl, R., Perfler, R., Laber, J. 1998. Removal Mechanisms and Types of Constructed Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe. Backhuys Pub, Leiden, pp. 18–66.

Westcot, D.W. 1997. Quality Control of Wastewater for Irrigated Crop Production, Water Reports, No. 10, FAO, Rome. 86 p.

Whitby, G.E. ve Palmateer, G. 1993. The Effect of UV Transmission, Suspended Solids and Photoreactivation on Microorganisms in Wastewater Treated with UV Light, Water science Technology.

White, G.C. 1992. Handbook of Chalorinetion and Alternative Disinfectants, Van Nostrand Reinhold, NY.

Wolfe, R.L. 1990. Ultraviolet Disinfection of Potable Water, Environmental Science and Technology,24/26:768-773.

Yalçuk, A. 2007. Katı Atık Depolama Alanlarından Oluşan Sızıntı Sularının Arıtımında Yapay Sulak alanların Kullanımı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Yetik, S. 2008. Atık suların Yapay Sulak Alanlarda Arıtımının İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sf 1-9.

Yiğit, N. Ö. 2007. Membran Biyoreaktörü ile (MBR) Evsel Atıksu Arıtımı. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Müh. Anabilim Dalı, Isparta.

Yip, R.W ve Konascwich, D.E. 1972. Ultravioalet Sterilization of Water-Its Potential and Limitations. Water Pollut Control (Canada), 14:14-18

Yurtseven, E., Çakmak, B., Kesmez, D., Polat, E. 2010. Tarımsal Atıksuların Sulamada Yeniden Kullanılması, Turkiye Ziraat Muhendisliği 7. Teknik Kongresi.

Zielgelmayer, T. 2004. Reclaimed Water Project (RWP). German Technical Cooperation (GTZ), Umman, Jordan, 1sf.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Keziban FESLİYEN
Doğum Yeri ve Tarihi : Yalova, 11.01.1989
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Yalova Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı), 2006
Lisans : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 2011
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 2017

Çalıştığı Kurum ve Yıl : İçişleri Bakanlığı, 2012-
İletişim (e-posta) : kezbanfesliyen@gmail.com