

**T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**T.C.
Orman ve Su İşleri
Bakanlığı**



**ATIKSU ARITMA TESİSLERİ
TASARIM REHBERİ**

2013

**T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**



**ATIKSU ARITMA TESİSLERİ
TASARIM REHBERİ**

Hazırlayanlar

**Prof. Dr. İsmail KOYUNCU
Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK
Prof. Dr. Ali Fuat AYDIN
Prof. Dr. Kadir ALP
Doç. Dr. Osman A. ARIKAN
Doç. Dr. Güçlü H. İNSEL
Y. Doç. Dr. Mahmut ALTINBAŞ
Arife ÖZÜDOĞRU**

Düzenleyenler

**Dr. Yakup KARAASLAN
Tuğba Canan OĞUZ**

2013

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
1. GİRİŞ	1
2. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN PLANLAMA, TASARIM VE İNŞAATI İLE İLGİLİ GENEL İHTİYAÇLAR VE ŞARTLAR.....	2
2.1. PLANLAMA DÖNEMİNDEKİ GENEL İHTİYAÇLAR	2
2.1.1. Proje Başlangıcı ve Tasarım Yılları.....	3
2.1.2. Tesisin Hizmet Alanı	4
2.1.3. Yer Seçimi.....	4
2.1.4. Tasarıma Esas Nüfus.....	5
2.1.5. Yasal Çerçeve ve Deşarj Standartları.....	5
2.1.6. Atıksu Karakteristikleri	7
2.1.7. Arıtma Derecesi	7
2.1.8. Arıtma Prosesi Seçenekleri ve Karşılaştırmalı Analizi	7
2.1.9. Ekipman Seçimi	8
2.1.10. Tesis Yerleşimi ve Hidrolik Profil	8
2.1.11. Enerji ve Kimyasal Madde İhtiyacı	8
2.1.12. Tesis Maliyeti	9
2.1.13. ÇED ve Halkın Katılımı	9
2.2. TASARIM FAALİYETLERİ	9
2.2.1. Ön Etüt Raporu	9
2.2.2. Fizibilite Raporu	9
2.2.2.1. Temel Verilerin Belirlenmesi	10
2.2.2.2. Planlama Değişkenleri	11
2.2.2.3. Seçenek Analizi	12
2.2.3. Kavramsal Tasarım (veya bazı hallerde Avan Proje)	13
2.2.3.1. Teknik Rapor	13
2.2.3.2. Mühendislik Hesapları.....	13
2.2.3.3. Planlama Dokümanları	14
2.2.4. Uygulama Projesi	15
2.2.4.1. Atıksu Arıtma Tesisi Uygulama Projesi Açıklama Raporu.....	16
2.2.4.2. Atıksu Arıtma Tesisi Uygulama Projesi Ek Dökümanları.....	16
2.2.4.3. Keşif, Metraj ve İhale Dosyaları.....	18
2.2.4.4. İş Sonu (As-Built) Projeleri.....	18
2.3. İNŞAAT İLE İLGİLİ GENEL HUSUSLAR.....	18
2.3.1. İnşaata Hazırlık, Genel İnşaat Kontrolü ve Proje Yönetimi	18
2.3.1.1. Örgütsel Planlama	19
2.3.1.2. İhale İçin İhtiyaçların Belirlenmesi	19
2.3.1.3. İhale Prosedürü	19
2.3.1.4. İnşaat Sırasında İzleme	21
2.3.2. İnşaat Denetimi.....	21
2.3.3. Testler ve Teknik Ekipmanın İncelenmesi.....	21
2.3.4. İşletmeye Alma.....	21
2.3.5. Kesin Kabul.....	21
2.4. KAYNAKLAR	24
3. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN TASARIMI İÇİN GEREKLİ VERİLER.....	25
3.1 NÜFUS TAHMİNLERİ	25

3.1.1. Nüfus Tahmin Yöntemleri ile Hesap.....	26
3.1.1.1. Aritmetik Artış Metodu	26
3.1.1.2. Geometrik Artış Metodu.....	27
3.1.1.3 Lojistik Eğri Metodu	30
3.1.1.4. Grafik Metot	30
3.1.2. Nüfus Yoğunluğundan Hareketle Hesap	31
3.1.3. Nüfus Tahmini Uygulaması	32
3.1.3.1. Nüfusun alt bileşenleri	32
3.1.3.2. Nüfus Tahmini Senaryolarının Mukayesesi	33
3.1.3.3. Türkiye için Nüfus Tahmini Çalışması.....	35
3.2. ATIKSU MİKTAR VE ÖZELLİKLERİ	36
3.2.1. Atıksu Akımları	36
3.2.1.1 İstatistiki Analiz Yoluyla Hesap.....	37
3.2.1.2. Önceki Tecrübelerle Göre Hesap	39
3.2.1.3 Eşdeğer Nüfus	40
3.2.1.4. Atıksu Debi ve Kirlilik Yüklerinin Geleceğe Dönük Tahmini	42
3.2.2. Tasarıma Esas Verilerin Eldesi (ATV 198-E'den özetlenmiştir.).....	42
3.2.2.1. Veri Toplama	43
3.2.3. Atıksu Akımlarının (Debi) Değişimi (Qasim, 1999).....	52
3.2.4 Önceki Tecrübelerle Göre Debi Hesabı İçin Diğer Bir Yaklaşım	56
3.2.5. Atıksu Bileşenleri	61
3.2.6.1. Evsel/Kentsel Atıksu Bileşimi.....	61
3.2.6.2. Evsel/Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Geri Dönüş ve Harici Atıksu Akımları	64
3.2.6.3. Yük ve Konsantrasyon Salınımları.....	67
3.3. ATIKSU VE BİYOKÜTLE KARAKTERİZASYONU	67
3.4. ATIKSU ANALİZ VE KARAKTERİZASYON YÖNTEMLERİ	68
3.4.1. Askıda Katı Maddeler	68
3.4.1.1. Çökebilen Katı Maddeler.....	69
3.4.2. Organik Madde.....	69
3.4.3. Azot.....	79
3.4.4. Fosfor.....	80
3.4.5. Alkalinite	80
3.4.6. Çamur Hacmi İndeksi (SVI).....	81
3.4.7. Oksijen Tüketim Hızı (OUR).....	81
3.5. KAYNAKLAR	82
4. ATIKSU ARITIMINDA SİSTEM SEÇİMİ.....	84
4.1. ÖN ARITMA MAKSATLI SEÇİM	84
4.1.1. Kum ve Yağ Tutucu.....	84
4.1.2. Ön Çökeltim Ünitesi	84
4.2. FARKLI NÜFUS GRUPLARI İÇİN SİSTEM SEÇİMİ.....	84
4.2.1. Nüfusun 500 ile 2000 Arasında Olduğu Yerleşim Birimlerinde Sistem Seçimi	85
4.2.2. Nüfusun 2000 ve 10000 Arasında Olduğu Yerleşim Birimlerinde Sistem Seçimi	85
4.2.2.1. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Dışındaki Alanlar	85
4.2.2.2. Az Hassas Alanlar	87
4.2.2.3. Hassas Alanlar.....	87

4.2.3. Nüfusun 10.000'nin Üzerinde Olduğu Yerleşim Birimlerinde Sistem Seçimi .	95
4.2.3.1. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Dışındaki Alanlar	95
4.2.3.2. Az Hassas Alanlar	95
4.2.3.3. Hassas Alanlar	95
4.3. ÇAMUR STABİLİZASYONU	95
4.4. ÖZEL DURUMLAR	96
4.4.1. Turizm Bölgelerinde Uygulanacak Esaslar	96
4.4.2. Arazinin az ve kıymetli olduğu yerlerde uygulanacak teknik esaslar	96
4.4.3. Arazinin kolay temin edilebildiği yerlerde uygulanacak teknik esaslar	96
4.4.4. İklim şartlarına göre uygulanacak teknik esaslar	97
5. BİRİNCİ KADEME (ÖN) ARITMA	98
5.1. IZGARALAR VE ELEKLER	98
5.1.1. Izgaraların Genel Tanıtımı ve Amacı	98
5.1.2. Izgara Tipleri ve Ünite Sayıları	99
5.1.2.1. Çubuk Izgaralar	99
5.1.2.2. Döner Izgaralar	100
5.1.3. Genel Beklentiler	100
5.1.3.1. Izgaralar Arası Açıklık	101
5.1.3.2. Eğim ve Hız	101
5.1.3.3. Kanal Sayısı	102
5.1.3.4. Düşü	102
5.1.3.5. Izgara Atıkları ve Uzaklaştırılması	102
5.1.3.6. Izgara Temizleme Aralığı	102
5.1.3.7. Ulaşım ve Havalandırma	103
5.1.3.8. Mekanik Dayanım	103
5.1.4. Izgaraların tasarım kriterleri	103
5.2. POMPA İSTASYONLARI	106
5.2.1. Pompa İstasyonlarının Genel Tanıtımı ve Amacı	106
5.2.2. Pompa İstasyonu Tipleri	106
5.2.3. Pompa İstasyonlarının Planlanması ve Boyutlandırılması	108
5.2.3.1. Giriş Atıksuyu	108
5.2.3.2. Pompa Statik Yüksekliği	108
5.2.3.3. Basma (Terfi) Hattı Çapı ve Debisi	109
5.2.3.4. Manometrik Terfi (Basma) Yüksekliği ve Sistem Karakteristik Eğrisi	109
5.2.3.5. Pompa Karakteristik Eğrisi	110
5.2.3.6. Pompa Sayısının Belirlenmesi	111
5.2.3.7. Terfi İstasyonundaki Pompaların Çalışma Döngüsü ve Emme Haznesinin Boyutlandırılması	114
5.2.3.8. Kaviteasyon	116
5.2.3.9. Kapasite Artırımı	116
5.3. KUM VE YAĞ TUTUCULAR	116
5.3.1. Genel Tanıtımı ve Amacı	116
5.3.2. Kum ve Yağ Tutucu Tipleri ve Ünite Sayıları	117
5.3.3. Kum ve Yağ Tutucuların Tasarım Kriterleri	117
5.3.4. Kum ve Yağ Tutucuların Proses Tasarımı	118
5.3.4.1. Yatay Akışlı Kum Tutucular İçin Proses Tasarımı	118
5.3.4.2. Havalandırılmalı kum tutucular için proses tasarımı	119
5.3.4.3. Dairesel Kum Tutucular için Proses Tasarımı	122

5.4. DEBİ ÖLÇÜMÜ.....	122
5.4.1. Debi Ölçüm Birimlerinin Genel Tanıtımı	122
5.4.2. Debi Ölçüm Birimlerinin Yeri.....	122
5.4.3. Debi Ölçüm Yöntemleri.....	123
5.4.4. Debi Ölçüm Birimlerinin Projelendirilmesi	125
5.4.4.1. Parshall Savakları	125
5.4.4.2. Savaklar	128
5.4.4.3. Manyetik Akım Ölçerler	132
5.5. DENGELEME.....	133
5.5.1. Dengeleme Havuzlarının Genel Tanıtımı	133
5.5.2. Dengeleme Birimlerinin Yerleşimi.....	134
5.5.3. Dengeleme Birimlerinin Tipleri	134
5.5.4. Dengeleme Birimlerinin Boyutlandırma Kriterleri	134
5.5.5. Dengeleme Birimlerinin İşletilmesi.....	135
5.6. ÖN ÇÖKELTİM.....	135
5.6.1. Ön Çökeltim Genel Tanıtımı.....	135
5.6.2. Ön Çökeltim Havuzu Tipleri.....	136
5.6.2.1. Dairesel Ön Çökeltim Havuzları.....	136
5.6.2.2. Dikdörtgen Ön Çökeltim Havuzları.....	136
5.6.3. Ön Çökeltim Havuzlarının Tasarım Kriterleri.....	136
5.6.4. Ön Çökeltim Havuzları İçin Yapısal Kriterler	137
5.6.5. Ön Çökeltim Havuzlarının Bakım ve İşletimi	137
5.7. KAYNAKLAR	138
6. BİYOLOJİK ARITMA	139
6.1. AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİ.....	139
6.1.1. Biyolojik Arıtmanın (İkinci Kademe Arıtma) Genel Tanıtımı	139
6.1.2. Genel İhtiyaçlar	139
6.1.3. Aktif Çamur Sistemi Tipleri ve Ünite Sayıları.....	139
6.1.3.1. Biyolojik Azot Giderimi Prosesleri.....	140
6.1.3.2. Aşırı Biyolojik Fosfor Giderimi (A ² O).....	145
6.1.4. Aktif Çamur Sistemi Boyutlandırma Kriterleri.....	145
6.1.5. Aktif Çamur Prosesi Genel Tasarım Esasları	146
6.1.5.1. Arıtma Tesisi Kütle Dengesi	146
6.1.5.2. Proses Tasarımı.....	147
6.1.5.3. Tesise Geri Dönen Akımlarda Kontrol.....	147
6.1.6. Son Çökeltim Havuzları	148
6.1.6.1. Genel Esaslar	148
6.1.7. Aktif Çamur Sistemlerinin Tasarım Yöntemi	149
6.1.8. Biyolojik Proses (Organik Karbon, Azot Giderimi) Hesabi Adımları (ATV-A131E KOİ Bazlı Yönteme Göre).....	158
6.2. LAGÜN SİSTEMLERİ.....	167
6.2.1. Lagünlerin Genel Tanıtımı ve Amacı	167
6.2.2. Genel İhtiyaçlar	168
6.2.3. Lagünlerin Tipleri ve Ünite Sayıları.....	169
6.2.4. Lagünlerin Boyutlandırma Kriterleri	169
6.2.4.1. Çökeltim Lagünleri.....	170
6.2.4.2. Stabilizasyon Lagünleri	170
6.2.4.3. Havalandırılmalı Lagünler	171

6.2.4.4. Olgunlaştırma Havuzları.....	172
6.2.4.5. Diğer Sistemlerle Birleştirilmiş Lagünler.....	173
6.2.5. Çökeltim Lagünleri için Proses Tasarımı	173
6.2.5.1. Havasız Lagünler.....	174
6.2.5.2. Havalandırılmalı Lagünler (Arceivala, 2002).....	174
6.2.5.3. Olgunlaştırma Havuzları.....	176
6.3. BİYOFİLM SİSTEMLERİ	176
6.3.1. Damlatmalı Filtreler.....	176
6.3.1.1 Damlatmalı Filtrelerin Genel Tanıtımı ve Amacı.....	176
6.3.1.2. Genel İhtiyaçlar.....	177
6.3.1.3. Damlatmalı Filtrelerin Tipleri ve Ünite Sayıları	179
6.3.1.4. Damlatmalı Filtrelerin Boyutlandırma Kriterleri.....	179
6.3.2. Döner Biyodiskler	195
6.3.2.1. Döner Biyodisklerin genel tanıtımı ve amacı.....	195
6.3.2.2. Genel ihtiyaçlar.....	195
6.3.2.3. Döner Biyodisklerin tipleri ve ünite sayıları.....	196
6.3.2.4. Döner Biyodisklerin boyutlandırma kriterleri.....	196
6.4. KAYNAKLAR	200
7. KİMYASAL ÇÖKTÜRME İLE FOSFOR GİDERİMİ	203
7.1. GENEL TANITIM	203
7.1.1. Kimyasal Çöktürmede Fosfor Kimyası.....	203
7.1.1.1. Kalsiyum ile Çöktürme	203
7.1.1.2. Alüminyum ve Demir Tuzları ile Çöktürme	204
7.2. PROSES İHTİYAÇLARI	205
7.2.1. Fosfor Çöktürücü Kimyasallar	205
7.2.2. Kimyasal Madde Depolama ve Dozlama	207
7.2.3. Arıtma Prosesleri	208
7.3. KİMYASAL ÇÖKTÜRME TÜRLERİ.....	209
7.3.1. Doğrudan Çöktürme	209
7.3.2. İlk Çökeltim Öncesi Çöktürme.....	209
7.3.3. Eşzamanlı Çöktürme.....	210
7.3.4. Sonda Çöktürme	211
7.3.5. Destekleyici İlave Arıtma Sistemleri.....	211
7.3.5.1. Temas Filtrasyonu.....	211
7.3.5.2. Toprak Lagünler.....	211
7.3.5.3. Sızdırma Havuzları.....	212
7.4. FOSFOR GİDERİMİ İÇİN ARITMA TESİSİ TASARIMI	212
7.5. FOSFORUN TOPRAKTA BAĞLANMASI	218
7.6. KİMYASAL ÇÖKTÜRME VE YUMAKLAŞTIRMANIN ATIKSU ARITIMI VE ÇAMUR OLUŞUMUNA ETKİLERİ	219
7.6.1. Kimyasal Yöntemlerle Fosfor Gideriminin Biyolojik Proseslere Etkisi	219
7.6.2. Fosfor Gideriminin Çamur Oluşumuna Etkileri	219
7.6.2.1. Katı Madde Yüğü.....	219
7.6.2.2. Çamur Hacimleri	220
7.7. FOSFOR GİDEREN ARITMA TESİSLERİNİN İŞLETİLMESİ.....	220
7.7.1. Güvenlik Sorunları.....	220
7.7.2. Mekanik Ekipman ve Ölçme Sorunları.....	220
7.7.3. Proses Sorunları	221

7.8. KAYNAKLAR	222
8. ATIKSU FİLTASYONU	223
8.1. Giriş	223
8.2. FİLTRE ÇEŞİTLERİ	224
8.3. PROSES TİPLERİ	224
8.3.1. Aşağı Akışlı Filtreler	225
8.3.2. Yukarı Akışlı Filtreler	226
8.4. FİLTRE EDİLEBİLİR MADDELERİN KUM FİLTRELERİ İLE UZAKLAŞTIRILMASI.....	227
8.5. FOSFOR GİDERME (ATV STANDART A 202 'YE GÖRE).....	228
8.6. ÇÖZÜNMÜŞ MADDELERİN VE NİTRİFİKASYON KALINTILARININ GİDERİMİ	228
8.7. ATIKSU FİLTRELERİNİN BOYUTLANDIRILMASI VE İŞLETİLMESİ	228
8.7.1. Boyutlandırma	228
8.7.2. Filtrelerin Temizlenmesi.....	229
8.8. ATIKSU FİLTRELERİNİN PROSES TASARIMI.....	232
8.9. KAYNAKLAR	235
9. DEZENFEKSİYON.....	236
9.1. Giriş	236
9.2. ATIKSU DEZENFEKSİYONUN ESASLARI	237
9.3. GÖLLER VE NEHİRLERE DEŞARJ EDİLEN ARITILMIŞ ATIKSU DEŞARJLARININ SAĞLIK ETKİLERİ	238
9.4. ATIKSU DEZENFEKSİYON YÖNTEMLERİ	239
9.4.1. UV Işınımı.....	239
9.4.1.1. Genel Esaslar	239
9.4.1.2. Tasarım ve İşletme	240
9.4.1.3. UV Işını Yan Etkileri ve Emniyet Tedbirleri	242
9.4.2. Ozonlama.....	243
9.4.2.1. Genel Esaslar	243
9.4.2.2. Tasarım ve İşletme.....	243
9.4.2.3. Ozonlamanın Yan Etkileri ve Emniyet Tedbirleri	245
9.4.3. Klrlama	246
9.4.3.1. Temel İhtiyaçlar	246
9.4.3.2. Tasarım ve İşletme	248
9.4.3.3. Klrlamanın Yan Etkileri ve Emniyet Tedbirleri.....	249
9.4.4. Membran Filtrasyonu.....	249
9.4.4.1. Genel Esaslar	250
9.4.4.2. Tasarım ve İşletme	251
9.4.4.3. Membran Filtrasyonunun Yan Etkileri ve Emniyet Tedbirleri.....	252
9.4.5. Olgunlaştırma Havuzları	252
9.5. ATIKSU DEZENFEKSİYONUNDA GENEL İHTİYAÇLAR	252
9.5.1. Proses Kontrolü	252
9.5.2. Yapısal Tasarım	253
9.5.3. Sağlık ve Güvenlik.....	253
9.6. KAYNAKLAR	254
10. ÇAMUR ARITMA VE UZAKLAŞTIRMA.....	255
10.1. ÇAMUR KAYNAKLARI, ÖZELLİKLERİ VE MİKTARLARI.....	255
10.1.1. Çamur Kaynakları.....	255
10.1.2. Çamur Özellikleri.....	255

10.1.3. Çamur Miktarı.....	259
10.1.3.1. Çamurda Hacim-Özgül Ağırlık İlişkileri	261
10.2. ÇAMUR VE KÖPÜK İLETİMİ	262
10.2.1. Pompa Tipleri	262
10.2.1.1. Mono Pompa	262
10.2.1.2. Santrifüj Pompalar.....	262
10.2.1.3. Tork-Akışlı (Yüksek Devirli Santrifüj) Pompalar	263
10.2.1.4. Diyafram Pompalar	263
10.2.1.5. Yüksek Basınçlı Piston Pompalar	263
10.2.2. Çamur Tipine Göre Pompa Seçimi	265
10.2.3. Yük Kaybı Hesabı.....	265
10.2.3.1. Basitleştirilmiş Yük Kaybı Hesabı.....	268
10.2.3.2. Yük Kaybı Hesabında Çamurun Reolojik Özelliklerinin Dikkate Alınması	270
10.2.4. Çamurun Borularla İletimi.....	271
10.3. ÇAMUR ARITIM SİSTEMLERİ AKIŞ ŞEMASI.....	273
10.3.1. Çamur Öğütme.....	273
10.4. ÖN İŞLEMLER	275
10.4.1. Kum Ayırma.....	276
10.4.2. Çamur Karıştırma.....	276
10.4.3. Çamur Depolama	276
10.5. ÇAMUR YOĞUNLAŞTIRMA	277
10.5.1. Çamur Yoğunlaştırıcı Tipleri.....	277
10.5.1.1. Yerçekimli Yoğunlaştırma	278
10.5.1.2. Flotasyonlu (Çözünmüş Hava Yüzdürmeli) Yoğunlaştırma	279
10.5.1.3. Santrifüjle Yoğunlaştırma	280
10.5.1.4. Bantlı Yoğunlaştırma	280
10.5.1.5. Tambur (Döner) Elekli Yoğunlaştırma	281
10.6. BOYUTLANDIRMA KRİTERLERİ	281
10.6.1. Yerçekimli Yoğunlaştırıcının Boyutlandırılması	281
10.6.1.1. Flotasyonlu Yoğunlaştırıcının Boyutlandırılması.....	282
10.6.1.2. Santrifüj Yoğunlaştırıcının Boyutlandırılması.....	283
10.6.1.3. Bantlı Yoğunlaştırıcıların Boyutlandırılması	283
10.6.1.4. Döner Tambur Yoğunlaştırıcıların Boyutlandırılması.....	284
10.7. ÇAMUR STABİLİZASYONU (ÇAMUR ÇÜRÜTME)	284
10.7.1. Kireç Stabilizasyonu	285
10.7.1.1. Kireçle Ön Stabilizasyon.....	285
10.7.1.2. Kireçle Son Stabilizasyon	285
10.7.2. Isıl Arıtma	286
10.7.3. Havasız Çürütme.....	286
10.7.3.1. Havasız Çamur Çürütücü Tipleri.....	287
10.7.4. Havasız Çamur Çürütmede Boyutlandırma ve Proses Kontrolü.....	288
10.7.4.1. Çürütücü Hacminin Hesabı	289
10.7.4.2. Isıtma ve Sıcaklık Kontrolü	290
10.7.4.3. Çürütücü Çatısı.....	291
10.7.4.4. Çürütücünün Karıştırılması	292
10.7.4.5. Biyogaz Üretimi ve Kullanımı.....	294
10.7.4.6. Çürümüş Çamur Suyu Özellikleri.....	295
10.7.4.7. Çamurun Stabilizasyon Derecesi ve Süzülebilirliği	296

10.7.5. Havalı çürütme	297
10.7.6. Kompostlaştırma	300
10.7.6.1. Kompostlaştırma Metotları.....	303
10.8. ÇAMUR SUSUZLAŞTIRMA.....	305
10.8.1. Başlıca Susuzlaştırma Teknikleri	306
10.8.1.1. Çamur Kurutma Yatakları.....	306
10.8.1.2. Çamurun Mekanik Yöntemlerle Susuzlaştırılması.....	308
10.8.2. Çamur Lagünleri	310
10.9. TERMAL KURUTMA (ATV-DVWK-M 379E, 2004)	311
10.9.1. Temashlı Kurutucular	312
10.9.1.1. Disk Tipi Kurutucular	312
10.9.1.2. İnce Filmlı Kurutucular.....	313
10.9.1.3. İnce Filmlı ve Disk Tipi Kurutucuların Kombinasyonu	314
10.9.1.4. Dönen Borulu Kurutucular.....	314
10.9.2. Konveksiyon Tipli Kurutucular.....	315
10.9.2.1. Tambur Tipli Kurutucular	315
10.9.2.2. Akışkan Yataklı Kurutucular.....	315
10.9.2.3. CENTRIDRY Prosesi	317
10.9.2.4. Bantlı Kurutucular	317
10.9.3. Solar Kurutma.....	318
10.10. KAYNAKLAR.....	319
11. TESİS YERLEŞİMİ VE YARDIMCI TESİSLER.....	321
11.1. KORUMA KUŞAKLARI	321
11.2. YERLEŞTİRME KRİTERLERİ.....	321
11.3. ALAN İHTİYAÇLARI	321
11.4. YARDIMCI TESİSLER	322
11.4.1. Su Temini ve Yıkama Suyu.....	322
11.4.2. Sıhhi Üniteler	322
11.4.3. Yol ve Ulaşım.....	324
11.4.4. Drenaj.....	325
11.4.5. Çit ve Güvenlik.....	325
11.4.6. Peyzaj.....	325
11.4.7. Aydınlatma.....	325
11.4.8. Atölye	325
11.4.9. Yedek Parça Deposu	325
11.4.10. Numune Alma ve İşleme/Depolama Üniteleri.....	325
11.4.11. Trafo.....	326
11.4.12. Emniyet.....	326
11.5. KAYNAKLAR	326
12. ATIKSU ARITMA SİSTEMLERİNDE BORULAMA.....	327
12.1. MALZEME SEÇİMİ	327
12.1.1. Düşük Karbonlu Çelik Boru Hatları.....	327
12.1.1.1. Genel	327
12.1.1.2. Düşük Karbonlu Çelik Boruların İşlenmesi.....	327
12.1.1.3. Kaynak denetimi.....	327
12.1.2. Paslanmaz Çelik Boru Hatları	328
12.1.2.1. Genel	328
12.1.2.2. Paslanmaz Çelik Boru Hatlarının Korozyona Dayanımı	333

12.1.2.3. Paslanmaz Çelik Boru Hatlarının İşlenmesi.....	333
12.1.3. Demir Dışı Metal Boru Hatları	333
12.1.4. Plastik Boru Hatları	334
12.1.4.1. Genel	334
12.1.4.2. Plastik Boru Hatlarının Yapımı.....	339
12.2. BORU HATLARININ BOYUTLANDIRILMASI	339
12.2.1. Akış Hızları ve Minimum Nominal Çaplar.....	340
12.2.2. Viskoz Sıvıların Taşınımında Basınç Kayıpları	341
13. PROSES KONTROLÜ VE OTOMASYON.....	342
13.1. PROSES KONTROLÜNÜN UYGULAMA ESASLARI VE GENEL ŞARTLAR.....	342
13.1.1. PROSES ÖLÇÜM PARAMETRELERİ VE ÖLÇÜM NOKTALARININ SEÇİMİ	342
13.1.2. KONTROL SİSTEMİNİN YAPILANDIRILMASI.....	344
13.1.3. KONTROL EDİLECEK EKİPMANLARIN ÖZELLİKLERİ.....	344
13.1.4. İŞLETME ŞARTLARINDA GEREKLİ BİLGİLER.....	344
13.1.5. PROSES KONTROL PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ.....	345
13.1.5.1. Havalandırma Sistemi.....	345
13.1.5.1.1. Basınçlı hava ile havalandırma	346
13.1.5.1.2. Mekanik Havalandırma Sistemi Kontrolü.....	347
13.1.6. Biyolojik Azot ve Fosfor Giderimi	347
13.1.6.1. Ölçüm Yöntemleri	347
13.1.6.2. Proses Kontrolü	347
13.2. OTOMASYON SİSTEMLERİ	348
13.3. KAYNAKLAR	349
14. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE KOKU KONTROLÜ	350
14.1. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE KOKU KAYNAKLARI	350
14.2. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE KOKUNUN TESPİTİ VE ÖLÇÜMÜ.....	351
14.2.1. Olfaktometrik Teknik.....	353
14.2.2. Elektronik Burun	353
14.2.3. Analitik Koku Ölçümü.....	354
14.3. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE KOKU KONTROLÜ.....	354
14.3.1. Tasarım Safhasında Alınacak Tedbirler.....	355
14.3.2. İşletme Sırasında Koku Azaltımı	356
14.3.3. Endüstriyel Deşarjların Kontrolü.....	356
14.3.4. Kimyasal Madde İlavesi.....	356
14.3.5. Maskeleye	357
14.4. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN KAYNAKLANAN KOKULU GAZLARIN TOPLANMASI VE ARITILMASI	357
14.4.1. Kokulu Gazların Toplanması.....	357
14.4.2. Kokulu Gazları Arıtma Yöntemleri	358
14.4.2.1. Adsorpsiyon	359
14.4.2.2. Absorpsiyon	359
14.4.2.3. Termal Yöntemler	360
14.4.2.4. Termal Olmayan Yöntemler.....	360
14.4.2.5. Biyolojik Yöntemler	361
14.5. BİYOLOJİK KOKU GİDERİM YÖNTEMLERİ TASARIM KRİTERLERİ	363
14.6. KOKU ŞİKAYETLERİNİN YÖNETİMİ	371
14.7. KOKU POTANSİYELİ VE KOKU YAYMA KAPASİTESİ	373
14.8. KOKU YAYMA HIZININ ÖLÇÜLMESİ	374

14.9. KAYNAKLAR	378
15. ATIKSU ARITMA SİSTEMLERİNDE GÜVENLİK KURALLARI.....	380
15.1. KAPALI ALANLARDAKİ TEHLİKELER VE UYARI SİSTEMLERİ	380
15.1.1. Kapalı Alanlar	380
15.1.2. Tehlikeler	380
15.1.3. İnsan Güvenliği Uyarı Sistemleri	381
15.2. ARAÇLAR VE YAYALAR İÇİN ULAŞIM YOLLARI	381
15.3. SABİT MERDİVENLER, KONTROL BACASI BASAMAKLARI VE MERDİVENLERİ	382
15.4. KONTROL BACALARI	383
15.5. DÜŞMEYİ ÖNLEYİCİ TEDBİRLER VE KAPAKLAR.....	383
15.6. ACİL DURUM ÇIKIŞLARI	384
15.7. ÇALIŞMA YERLERİ, ÇALIŞMA VE BAKIM PLATFORMLARI	384
15.8. KALDIRMA TEÇHİZATI	384
15.9. HAVALANDIRMA	385
15.10. PATLAMA RİSKİ BULUNAN ALANLAR	385
15.11. HİJYENİK KOŞULLARI SAĞLAYAN TESİSLER	386
15.12. GENEL UYARI İŞARETLERİ.....	386
15.13. ÖZEL ŞARTLAR	387
15.13.1. Izgara, Elek, Kum/Yağ Tutucular.....	387
15.13.2. Atıksu Pompa İstasyonları	387
15.13.3. Havalandırma Havuzları	388
15.13.4. Çürütme Tankları, Düşük Basıncı Gaz Depoları	388
15.13.5. Çürütme Tankının Gaz Boruları	389
15.13.6. Kükürt Giderme Tesisleri	389
15.13.7. Gaz Motor Odaları ve Gaz Motorları.....	390
15.13.8. Gaz Yakıcılar	390
15.13.9. Çamur Kurutma	390
15.13.10. Kimyasal ve Tehlikeli Maddeler Depolama ve Hazırlama Tesisleri	391
15.14. KAYNAKLAR.....	391
16. KÜÇÜK ARITMA SİSTEMLERİ.....	392
16.1. YERİNDE ARITMA SİSTEMLERİ.....	392
16.1.1. Yerinde arıtma sistemlerinin tanıtımı ve amacı	392
16.1.2. Yerinde arıtma sistemlerinin genel ihtiyaçları	396
16.1.3. Yerinde arıtma sistemleri tipleri ve ünite sayıları.....	397
16.1.4. Yerinde arıtma sistemlerinin boyutlandırma kriterleri	401
16.1.5. Yerinde Arıtma Sistemlerinin Proses Tasarımı	405
16.2. MERKEZİ ARITMA SİSTEMLERİ	408
16.2.1. Merkezi arıtma sistemlerinin tanıtımı ve amacı	408
16.2.2. Merkezi arıtma sistemlerinin genel ihtiyaçları.....	414
16.2.3. Merkezi arıtma sistemlerinin tipleri ve ünite sayıları	416
16.2.4. Merkezi arıtma sistemlerinin boyutlandırma kriterleri	417
16.3. KAYNAKLAR	425
EK 1 GENEL TANIM VE TERİMLER.....	427

1. GİRİŞ

Atıksu arıtma tesislerinin planlanması, tasarımı ve inşaatı ile ilgili temel esasların özetlendiği bu kılavuz, özellikle atıksu yönetimi alanında hizmet veren kamu ve özel sektör teknik elemanları, mühendis ve müşavirler, Çevre ve İnşaat Mühendisliği Bölümü öğrencileri tarafından kullanılabilir yardımcı bir temel kaynak olarak hazırlanmıştır. Bu kılavuz ile atıksu arıtma tesislerinin ulusal/uluslararası standart ve normlara uygun olarak boyutlandırılması ve yapımı mümkün olabilecektir. Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi'nde, aşağıdaki bölümler yer almaktadır.

Bölüm 1	Giriş
Bölüm 2	Atıksu Arıtma Tesislerinin Planlama, Tasarım ve İnşaatı ile İlgili Genel İhtiyaçlar ve Şartlar
Bölüm 3	Atıksu Arıtma Tesislerinin Tasarımı İçin Gerekli Veriler
Bölüm 4	Atıksu Arıtımında Sistem Seçimi Esasları
Bölüm 5	Birinci Kademe (Ön) Arıtma
Bölüm 6	Biyolojik Arıtma
Bölüm 7	Kimyasal Çöktürme ile Fosfor Giderimi
Bölüm 8	Atıksu Filtrasyonu
Bölüm 9	Dezenfeksiyon
Bölüm 10	Çamur Arıtma ve Uzaklaştırma
Bölüm 11	Tesis Yerleşimi ve Yardımcı Tesisler
Bölüm 12	Atıksu Arıtma Sistemlerinde Borulama
Bölüm 13	Proses Kontrolü ve Otomasyon
Bölüm 14	Atıksu Arıtma Tesislerinde Koku Kontrolü
Bölüm 15	Atıksu Arıtma Sistemlerinde Güvenlik Kuralları
Bölüm 16	Küçük Arıtma Sistemleri

Bu doküman, 645 sayılı Orman ve Su İşleri Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname'nin 9 uncu maddesinin (1) bendinde geçen "İçme ve kullanma suyu arıtma tesislerinin tasarım esaslarını, normlarını ve kriterlerini belirlemek, projeleri onaylamaya yetkili kurum ve kuruluşları tespit etmek, tesisleri işletecek elemanların eğitimlerini temin etmek, sertifikalarını vermek." ifadesine ve 644 sayılı Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname'nin 8 inci maddesinin birinci fıkrasının (1) bendinde geçen "Atıksu arıtma tesislerinin tasarım esaslarını ve kriterlerini Orman ve Su İşleri Bakanlığı ile birlikte belirlemek, onay işlemlerini yürütmek." görevine istinaden hazırlanmıştır."

Bu dokümanın hazırlanmasında başlıca; ilgili ulusal/uluslararası norm ve standartlar (Alman DIN normları, Alman ATV Standartları, ÇOB (ÇŞB) Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, ABD 10 Eyalet Atıksu Arıtma Tesisi Tasarım Kılavuzu, TSE standartları, Malezya Su Birliği Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarımı Kılavuzu), temel teknik kitaplar (Metcalf ve Eddy (2003), Muslu (1996), Qasım (1999), Henze v.d. (2002), Eroğlu (2002), Öztürk (2007), Filibeli (1998), Samsunlu (2006), WEF (2009)) ve ilgili ulusal yönetmeliklerden geniş ölçüde faydalanılmıştır. Bu vesile ile anılan eserlerin yazarları ve yayınevleri ile T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı'na teşekkürü borç biliriz. Daha detaylı bilgi ve uygulama örnekleri için mutlaka ilgili kaynaklara başvurulması gerekecektir. Yakın gelecekte atıksu arıtma tesisleri tasarımında, Türkiye'ye özgü gerçek veri tabanından elde edilen büyüklüklerin belirlenerek uygulamaya konması temenni edilmektedir.

2. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN PLANLAMA, TASARIM VE İNŞAATI İLE İLGİLİ GENEL İHTİYAÇLAR VE ŞARTLAR

Prof. Dr. İsmail KOYUNCU

Bu bölümde atıksu arıtma tesislerinin planlama, tasarım ve inşaatı ile ilgili genel ihtiyaçlar ve temininde izlenecek yol hakkında bilgi verilmiş (ATV-A 106 E), ayrıca inşaat aşamasında uyulması gereken genel şartlar açıklanmıştır.

Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan tanım ve terimler detaylı bir şekilde Ek 1'de verilmiştir.

2.1. Planlama Dönemindeki Genel İhtiyaçlar

Atıksu arıtma sistemlerinin planlama, tasarım ve işletimi oldukça kapsamlı ve karmaşık bir konudur. Bu konu politik, sosyal ve teknik hususların birlikte dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu yüzden deşarj standartlarının sağlanması yanında, iyi bir atıksu arıtma ve uzaklaştırma sistemi ile birçok olumsuz çevresel şartların ortaya çıkması da önlenmiş olacaktır. Söz konusu çevresel olumsuzluklar başlıca;

- Koku ve gürültü kirliliği,
- Su kaynaklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik atıklarla kirlenmesi,
- Sucul ekosistemin zarar görmesi,
- Alıcı su ortamı kalitesinin bozulması,
- Doğal suların çeşitli maksatlarla yararlı kullanımının ortadan kalkması,
- Arıtılmamış atıksu ve biyokatıların zirai kullanımı dolayısıyla hastalıkların yayılması,
- Arazi değerinin düşmesi

gibi riskler olarak sıralanabilir. İdeal durumda bir arıtma tesisinin deşarj suyu ve biyokatıların (arıtma çamurları) faydalı kullanımını teşvik etmesi beklenmektedir.

Bu bölümde bir atıksu arıtma tesisi ile ilgili planlama süreci başında mutlaka göz önünde tutulması gereken temel tasarım faktörleri ana hatlarıyla ortaya konacaktır.

Söz konusu temel tasarım faktörleri;

- Başlangıç ve tasarım yılları
- Tesisin hizmet alanı
- Tesis yeri seçimi
- Tasarım nüfusu
- İlgili mevzuat ve deşarj standartları
- Atıksu karakteristikleri
- Arıtma derecesi
- Arıtma prosesi seçenekleri ve karşılaştırmalı analizi
- Ekipman seçimi
- Tesis genel yerleşimi ve hidrolik profili
- Enerji ve kimyasal madde ihtiyacı

- Atıksu arıtma maliyeti
- ÇED ve halkın katılımı süreci

olarak sıralanabilir. Aşağıda söz konusu temel tasarım bileşenlerinin kısa bir değerlendirmesi yapılmaktadır (Qasim, 1999).

2.1.1. Proje Başlangıcı ve Tasarım Yılları

Atıksu arıtma tesislerinin planlama, tasarım ve yapımı genellikle 2~5 yıllık bir süreçte tamamlanmaktadır. Tesisin çeşitli bileşenlerinin boyutlandırılmasında söz konusu planlama ve işletmeye alma döneminde geçen sürenin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu yüzden atıksu arıtma tesisi tasarımında başlangıç yılı, yapımı tamamlandıktan sonra tesise atıksu verilir ve işletmeye başlandığı yıl olarak esas alınır. Tasarım ve planlama yılı ise tesisin öngörülen tasarım kapasitesine ulaştığı yıl olarak tanımlanır. Tasarım yılının seçimi kolay olmayıp, tesisin hizmet vereceği atıksu havzasındaki nüfus ve toplumun sosyo ekonomik gelişme eğilimlerinin dikkate alınarak gerçekçi ve mantıklı bir değerlendirme sürecinden geçirilmesini gerektirmektedir. Tesisin tasarım dönemleri veya kademe yılları belirlenirken başlıca aşağıdaki hususlar göz önünde tutulmalıdır:

- Arıtma tesisi birimlerinin hizmet ömürleri
- Tesisin tevsiinin kolay ya da zor oluşu
- Büyük kapasiteye göre boyutlandırılmış tesis üniteleri veya bileşenlerinin işletmeye açılmayı izleyen ilk dönemdeki verim durumları
- Hizmet alanının gelecekteki nüfusu, ticari ve endüstriyel faaliyetler, göç, turizm ve su temini durumu
- Piyasa faiz oranı, mevcut ve gelecekteki yapım bedelleri ve finansman temini

Tasarım süresi, arıtma tesislerinin bileşenlerine göre farklılık gösterebilir. Örneğin kanal, toplayıcı, sifon, terfi merkezi vb. yardımcı tesislerin tevsi durumu kolay olamayacağı için tasarım süresi genelde 50 yıl alınır. Arıtma tesisi birimleri, proses ekipmanları, pompalar ile çamur işleme ve uzaklaştırma tesisleri ise aşırı büyük tasarımı önlemek üzere, daha kısa dönemlere göre tasarlanırlar. Böyle durumlarda, sonraki büyütme faaliyetleri dolayısıyla farklı tasarım kademelerindeki tesis birimleri için ihtiyaç duyulacak ek alanın arıtma tesisi yerinde önceden ayrılması sağlanmalıdır. Planlama döneminde öngörülen atıksu debileri ve finansman temin şartları dikkate alınarak tasarım süresi 10, 15 ve 20 yıllık kademelere ayrılır. Proje tasarım süresinde tesis büyütülmesi için önerilen kademe süreleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Arıtma tesisleri ile ilgili tevsi (genişleme) faaliyetleri için önerilen kademe süreleri

<i>Debi Artış Oranı (Tasarım Debisi/İlk Yıllardaki Debi)</i>	<i>Kademe Süresi (yıl)</i>
<1,3	20
1,3~1,8	15
>1,8	10

2.1.2. Tesisin Hizmet Alanı

Hizmet alanı, planlanan atıksu arıtma tesisine bağlı atıksu kanal şebekesinin atıksuların toplandığı bölgenin alanı olarak tarif edilir. Bu alan doğal (atıksu toplama alanı) / idari sınır(lar) veya her ikisini birden kapsayabilir. Proje/tesis hizmet alanı, mevcut ve gelecekteki kentsel gelişme (mücvir) alanlarında oluşacak atıksuları da kapsamalıdır. Ekonomik, çevresel ve teknik gereklilikler dolayısıyla terfili olarak atıksu toplama sistemine bağlanabilen civar yerleşimler veya ticari/endüstriyel işletmeler de gerektiğinde atıksu toplama havzasına dahil edilir. Atıksu arıtma tesisi planlamasını yapan mühendis ve teknik ekip, tesisin hizmet vereceği atıksu toplama havzasına çok iyi hakim olmalı, bölgeyi özel ayrıntıları ile birlikte tanımalıdır. Bu kapsamda saha incelemeleri ve sahanın topografik, jeolojik, geoteknik, hidrolojik, meteorolojik, ekolojik ve sosyo-ekonomik özellikleri ile ilgili mevcut veri tabanı çok iyi değerlendirilmelidir.

2.1.3. Yer Seçimi

Atıksu arıtma tesisi yer seçimi bölgenin arazi kullanımı ve imar planı ile sosyal, çevresel ve mühendislik kriterleri dikkate alınarak yapılmalıdır. Arıtma tesisi yer seçiminde, yakında ikamet eden halkın sosyal, ekonomik ve politik isteklerinin karşılanması gerektiği unutulmamalıdır. Bu yüzden yer seçimi sürecine halkın katılımının sağlanması kritik önem taşımaktadır.

Atıksu arıtma tesisi için seçilebilecek muhtemel tüm yer seçenekleri, topografik durum, çevresel etkiler ve atıksuların toplama ve arıtma ekonomisi göz önünde tutularak değerlendirilmelidir. Belirtilen hususları, gerektiği ölçüde değerlendirmek üzere ilgili bütün disiplinlerin temsil edildiği bir uzmanlar grubu yer seçimi çalışmalarını yürütmek üzere görevlendirilmelidir. Yer seçeneklerinin değerlendirilmesi sürecinde başlıca aşağıdaki temel prensipler dikkate alınır:

- Arıtma tesisi yeri toplanan atıksuların cazibe ile getirilebileceği düşük kotlu bir arazi olmalıdır.
- Tesis yeri, mevcut ve planlanan meskûn mahallerden olabildiğince uzak tutulmalıdır. Tesisler estetik unsurlar ve koku oluşum riski gözetilerek tasarlanmalıdır.
- Olabildiğince büyük bir alan seçilerek, gelecekteki gelişme alanları ve koruma bandı ihtiyaçları da karşılanmalıdır.
- Arıtma tesisi yeri taşkın etki alanında yer almamalı ve asgari 100 yıllık taşkından tam korunmuş olmalıdır. Gerekli koruma önlemleri alınmadan taşkın etki alanlarından yer seçimi kati suretle önlenmelidir.
- Tesis yerine yıl içinde her zaman kolayca ulaşım mümkün olacak yol bağlantısı bulunmalı, enerji, haberleşme ve içme suyu bağlantıları kolay yapılabilir olmalıdır.
- Tesis yeri arıtılmış atıksuların deşarj edilebileceği büyük bir su kütlesi ve/veya sulama yapılabilecek tarım arazilerine yakın olmalıdır.
- Tesis yerindeki zeminin taşıma gücü, pahalı ıslah ve temel mühendisliği işleri gerektirmeyecek ölçüde yeterli olmalıdır.
- Mümkünse orta derecede eğimli bir saha, özellikle uygun (cazibeli akışlı) bir hidrolik profile imkân vereceği için tercih edilmelidir.

- Saha doğal, tarihi ve arkeolojik sit alanlar ile ekolojik bakımdan hassas koruma alanları içinde yer almamalıdır.
- Yer seçiminde, meskûn mahallerdeki kıyı alanlarının korunması ve etkilenmemesine öncelikle özen gösterilmelidir.
- Seçilen yerde mümkünse arazi kamulaştırma ihtiyacı asgari düzeyde olmalıdır.

2.1.4. Tasarıma Esas Nüfus

Bir yerleşim yerinde açığa çıkan atıksu miktarı, nüfusa ve nüfus başına düşen atıksu debisine bağlıdır. Bu yüzden tesis tasarımına esas nüfusun, tasarım dönemindeki değişiminin hesabı gerekmektedir. Hassas bir nüfus tahmini oldukça güçtür. Zira kentsel gelişme, endüstrinin gelişme durumu, ulaşım sistemine olan uzaklık, arazi, hammadde ve su kaynakları temini, vergi ve teşvik mekanizmaları, göç eğilimleri vb. pek çok faktörden etkilenmektedir.

Nüfus sayımı istatistikleri Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) temin edilebilir. TÜİK adrese dayalı nüfus kayıtları esaslı nüfusları, kentsel (belediyeler) ve kırsal (belediyeler dışı) nüfuslar olarak yıllık olarak yayınlamaktadır. Nüfus tahmininde başlıca 2 yaklaşım, kontrol maksatlı olarak, eşzamanlı uygulanmaktadır:

- Nüfus tahmini yöntemleriyle tahmin
- Nüfus yoğunlukları ile İmar Planı üzerinden tahmin

Nüfus tahmin yöntemleri olarak genelde, Aritmetik Artış, Geometrik Artış, Lojistik Eğri ve Benzer Şehirlerle Mukayese (Grafik Metod) yöntemleri kullanılır. Nüfus yoğunlukları ile İmar Planı üzerinden tahmin yönteminde ise ticari ve endüstriyel alanlar ile kamuya açık alanlar için öngörülen hektar başına yoğunluk değerleri, İmar Planlarında bu tür faaliyetler için ayrılmış alt alanlarla çarpılıp elde edilen her bir kısmın nüfusunun toplanması suretiyle, İmar Planında öngörülen toplam nüfus (doygunluk nüfusu) bulunabilir. Daha sonra bu doygunluk nüfusu esas alınarak geriye dönük, proje tasarım kademe yıllarındaki nüfuslar hesaplanabilir.

Nüfus tahminleri konusu, ileride Bölüm 3'de daha ayrıntılı olarak verilmiştir.

2.1.5. Yasal Çerçeve ve Deşarj Standartları

Türkiye Cumhuriyeti Anayasasınının 56. Maddesine göre: "herkes sağlıklı, dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Doğal çevrenin gelişmesini sağlamak ve çevrenin kirlenmesini önlemek devletin ve vatandaşların görevidir."

Türkiye'de kentsel atıksuların arıtımıyla ilgili aşağıdaki sıralanan kanun, yönetmelikler ve tebliğler incelenebilir:

- Türk Ceza Kanunu (12/10/2004 R.G. No: 25611)
- Çevre Kanunu (11/08/1983 R.G. No: 18132)
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (31/12/2004 R.G. No: 25687)
- Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliği (09/01/2006 R.G. No: 26048)
- Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (08/01/2006 R.G. No:26047)

- Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği (26/11/2005 R.G. No: 26005)
- Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirilenmiş Sahalara Dair Yönetmelik (08/06/2010 R.G. No: 27605)
- Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (03/08/2010 R.G. No:27661)
- Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği (17/07/2008 R.G. No: 26939)
- Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (03/07/2009 R.G. No: 27277)
- Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27/06/2009 R.G. No: 27271)
- Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (20/03/2010 R.G. No: 27527)
- Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (05/07/2008 R.G. No: 26927)
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14/03/2005 R.G. No: 25755)
- Çevre Kanununun 29. Maddesi Uyarınca Atıksu Arıtma Tesislerinin Teşvik Tedbirlerinden Faydalanmasında Uyulacak Usul ve Esaslara Dair Yönetmelik (01/10/2010 R.G. No: 27716)
- Atık Ara Depolama Tesisleri Tebliği (26/04/2011 R.G. No: 27916)

Kentsel atıksuların arıtımı ile ilgili deşarj standartları Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliklerince düzenlenmiş olup bu konudaki deşarj limitleri tabloları (yönetmeliklerdeki tablo numaraları esas alınarak) aşağıdaki Tablo 2.2'de topluca verilmiştir.

Tablo 2.2. Kentsel atıksuların arıtımı ile ilgili deşarj standartları

<i>Tablo No</i>	<i>İlgili Yönetmelik</i>	<i>Konu/Açıklama</i>
<i>Tablo 21.1</i>	<i>Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Değişik: RG-13/2/2008-26786)</i>	<i>-Eysel nitelikli atıksular için alıcı ortama deşarj standartları -EN= 84-2000 BOİ, KOİ, AKM ve pH standartları -Köylerde, tabloda verilen deşarj limitleri için en az %60 arıtma verimi uygulanacaktır.</i>
<i>Tablo 21.2</i>	<i>Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Değişik: RG-13/2/2008-26786)</i>	<i>-Eysel nitelikli atıksular için alıcı ortama deşarj standartları -EN= 2000-10000 -BOİ, KOİ, AKM ve pH standartları</i>
<i>Tablo 21.3</i>	<i>Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği</i>	<i>-Eysel nitelikli atıksular için alıcı ortama deşarj standartları -EN= 10000-100000 -BOİ, KOİ, AKM ve pH standartları</i>
<i>Tablo 21.4</i>	<i>Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği</i>	<i>-Eysel nitelikli atıksular için alıcı ortama deşarj standartları -EN > 100000 -BOİ, KOİ, AKM ve pH standartları</i>
<i>Tablo 21.5</i>	<i>Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Değişik: RG-13/2/2008-26786)</i>	<i>-Eysel nitelikli atıksular için alıcı ortama deşarj standartları -Eşdeğer nüfusun ne olduğuna bakılmaksızın doğal arıtma (yapay sulak alan) ve stabilizasyon havuzları sistemiyle ikinci kademe (biyolojik) arıtma yapan kentsel atıksu arıtma tesisleri için -BOİ, KOİ, AKM ve pH standartları --Köylerde, tabloda verilen deşarj limitleri için en az %60 arıtma verimi uygulanacaktır.</i>

<i>Ek IV-Tablo 2</i>	<i>Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği</i>	<i>-Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ileri arıtıma ilişkin deşarj limitleri -EN= 10000-100000 -EN > 100000 -TP ve TN standartları -Minimum arıtma verimleri</i>
----------------------	---	---

2.1.6. Atıksu Karakteristikleri

Atıksu karakteristikleri, debi ve kimyasal özellikler ile ifade edilir. Atıksu karakteristiği meskûn bölgedeki evsel, endüstriyel ve ticari/kurumsal su tüketimine bağlı olarak değişim gösterir. Yağışlı dönemlerde, atıksu kanalizasyon sistemine önemli oranda sızma debisi ve doğrudan yağmur suyu (bacalardan) akımı da dahil olur. Bu yüzden, atıksu karakteristiği de değişir. Sızma ve doğrudan yağmur suyu debisi miktarı, kanalizasyon sisteminin durumu (yaş, kanallardaki çatlaklar, kusurlu boru birleşimleri ve bacalar), izinsiz çatı ve temel/hazne dren bağlantıları, yüksek yeraltı suyu seviyesi vb. etkenlere göre değişir.

Mevcut atıksu arıtma tesisleri girişindeki debi ve kirlilik parametresi izleme/ölçüm kayıtlarının analizi yapılarak atıksu karakteristiği belirlenebilir. Mevcut tesis verilerinin olmadığı durumlarda ise atıksu karakteristikleri ile ilgili veriler nüfus tahminleri, su tüketimi ve endüstriyeldeşarjlar dikkate alınarak tahmin edilebilir. Burada literatür verileri de dikkate alınabilir.

Tesis tasarımı için başlangıçtaki ve tasarım kademeleri sonlarındaki atıksu karakteristiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu atıksu karakteristikleri verisi, minimum, ortalama ve maksimum kurak hava akımları, pik yağışlı hava akımları, süreli maksimum akımlar ve başlıca kirletici parametrelerini (BOİ₅, KOİ, AKM, pH, TKN, Top P, zehirli kimyasallar vb.) ihtiva etmektedir.

Atıksu karakteristikleri ile ilgili detaylı bilgiler ileride Bölüm 3’de verilmiştir.

2.1.7. Arıtma Derecesi

Gerekli arıtma derecesi, ham atıksu karakteristikleri ile istenilen arıtılmış su kalitesine bağlı olarak belirlenir. Arıtılmış suların yüzeysel sularadeşarjı halinde Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği veya SKKY evsel atıksudeşarj limitleri, arıtılmış atıksuların zirai sulamada kullanımı durumunda Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Bölüm 7’de sulama suları için öngörülen kalite kriterleri ve sahil sularınadeşarj halinde ise Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliğideşarj limitleri esas alınmalıdır. Dolayısıyla arıtma derecesi,deşarj ortamının faydalı kullanım maksadına göre, ilgilideşarj limitleri dikkate alınarak belirlenmelidir.

2.1.8. Arıtma Prosesi Seçenekleri ve Karşılaştırmalı Analizi

Atıksu arıtma tesislerinde, istenen kalitede arıtım sağlayabilmek için bir seri temel arıtma prosesinin kullanımı gerekmektedir. Tasarımcı, arıtma süreci seçiminde, çeşitli başka faktörleri de dikkate almak durumundadır. Bu faktörlerin başlıcaları; arıtılan kirleticiler,deşarj standartları, yaklaşık alan ihtiyacı, hidrolik gereklilikler, çamur uzaklaştırma, enerji ihtiyacı ve sistem maliyeti olarak sıralanabilir. Çeşitli temel arıtma

proseslerinin birbirleriyle uyumlu ve mantıklı bir biçimde entegre edilerek elde edilen bütünleşik proses veya sisteme, *proses akım şeması* veya *proses şeması* adı verilir.

Uygun temel prosesleri birleştirerek tesisin akım şemasının oluşturulması kolay değildir. Bu iş için temel işlem ve proseslerin iyi anlaşılması, muhtemel işletme sorunlarının önceden düşünülmesi ve çeşitli arıtma bileşenlerinin çevresel etkilerinin iyi öngörülmesi gerekmektedir. Önemli oranda endüstriyel atıksu deşarjı katılımı olan kentsel atıksu toplama sistemleri sonunda yer alan atıksu arıtma tesislerinin tasarımında, tasarım öncesi laboratuvar ve pilot ölçekli arıtılabilirlik çalışmaları ile düşünülen proses seçeneklerinin muhtemel performanslarının test edilmesi gerekebilir.

2.1.9. Ekipman Seçimi

Arıtma tesislerinde çeşitli mekanik ve elektro-mekanik donanım ve ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Tesis birimlerinin tasarımında kullanılacak ekipman ve donanımın montajı da dikkate alınmalıdır. Uygun proses ve ekipmanın seçimi tasarım mühendisi sorumluluğundadır. Bu maksatla, tasarım standartları ve yöntemi, temel kabuller, tasarım ön hesapları ile imalatçı firma katalog ve dokümanlarında öngörülen hususlar dikkatle gözden geçirilmelidir. Daha sonra, ekipman üreticileri ve yerel mümessillerden ihtiyaç duyulan teknik bilgiler istenmelidir. Ekipman seçiminin doğru yapılabilmesi için, proje mühendisinin ekipman temsilcileriyle olabildiğince yakın çalışarak, ekipmanla ilgili olabildiğince doğru ve güvenilir veriler elde etmesi gerekmektedir. Ekipman seçimi sürecinde, mutlaka birden fazla ekipman üreticisi ile temas kurulmalı ve çalışan arıtma tesislerinde, seçilmiş ekipmanlarla ilgili işletme tecrübelerinden yararlanılmalıdır. Pompa, havalandırıcı, çamur yoğunlaştırıcı vb. ekipmanlar seçilirken, ilk yatırım maliyetleri değil hizmet ömrü süresince ortalama yıllık toplam maliyetler dikkate alınmalıdır.

2.1.10. Tesis Yerleşimi ve Hidrolik Profil

Planlama çalışmaları başlangıcından itibaren, arıtma tesisi için seçilmesi düşünülen sahanın mevcut durumu dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir. Bu kapsamda, topografik durum, mevcut sahanın büyüklüğü, meskûn alanlara olan mesafe, yol ve enerji nakil durumu, taşkın yapısı, tevsî (genişleme) imkânları, mevcut hidrolik yük, maliyet durumu vb. etkenler dikkate alınmalıdır. Seçilen alanın büyüklüğü, planlama sürecinde gerekli bütün ana ve yardımcı arıtma birimleri, tesis ile yakındaki evler arasında bırakılacak emniyet/koruma kuşakları için gerekli alan ihtiyacını karşılamalıdır. Tesis yerleşimi olabildiğince cazibeli veya minimum terfi enerjisi ile akımın sağlanabileceği bir hidrolik profile imkân vermelidir.

2.1.11. Enerji ve Kimyasal Madde İhtiyacı

Planlama ve tasarımda öncelikle enerji verimliliğini sağlayacak enerji ekonomisi tedbirlerinin uygulandığı gösterilmelidir. Seçilen arıtma prosesi ile tesisin doğrudan ve dolaylı enerji/kimyasal madde kullanımında ekonomik verimlilik sağlanmalıdır. Düşük işletme ve bakım maliyetli yenilikçi arıtma proses seçenekleri dikkate alınmalı ve tesisin arıtılan KOİ veya bağlı eşdeğer nüfus başına enerji tüketimi (enerji ayak izi) hesaplanarak, mevcut iyi arıtma uygulamalara göre durumu gösterilmelidir.

2.1.12. Tesis Maliyeti

Tasarımı yapılan atıksu arıtma tesisinin yapım, işletme/bakım maliyetlerinin makul ve karşılanabilir olduğu ortaya konmalıdır. Tesisin öngörülen hizmet ömrü boyunca, yıllık yatırım, işletme/bakım ve toplam maliyetleri uygun mühendislik ekonomisi yöntemleriyle hesaplanarak, arıtılan atıksu (m³) ve/veya eşdeğer nüfus başına birim maliyetler belirlenip benzer kapasitedeki mevcut tesis verileriyle kıyaslanmalıdır.

2.1.13. ÇED ve Halkın Katılımı

ÇED Yönetmeliğine göre kentsel atıksu arıtma tesisleri EK I listesine tabi olup öncelikle Proje Tanıtım Dosyası hazırlanarak, yatırım ön izni alınabilen faaliyetler kapsamındadır. Bu kapsamda, öncelikle tesis alanı yakınında yaşayanlar, tesis planlama sürecinden zamanında ve doğru biçimde haberdar edilerek, görüş ve önerileri dikkate alınmalıdır. Tesis tasarımında, yakında yaşayanları çevre ve halk sağlığı bakımından koruyacak her türlü teknik ve idari tedbirler de detaylı olarak ortaya konmalıdır.

2.2. Tasarım Faaliyetleri

2.2.1. Ön Etüt Raporu

Ön etüt raporunun amacı, proje ile ilgili istek ve ihtiyaçların tanımlanması, projeden etkilenecek veya projeyi etkileyecek kişi ve kurumlar (paydaşlar) ile projeye özgü istek, ihtiyaç ve imkânlarının ortaya konulmasıdır.

Ön etüt çalışması ile;

- Proje fikri ya da fikirlerinin kapsamlı bir fizibilite etüdü gerektirip gerektirmediği,
- Hangi konuların (Örneğin teknoloji, deşarj standartları, yatırım maliyetleri vb.) daha dikkatli bir araştırma ve inceleme gerektirdiği,
- Arıtma tesisine bağlı nüfus/eşdeğer nüfus ve debinin yaklaşık değerleri,
- Arıtma alternatifleri ve proses akım şemaları ve parametrik değerlendirme/mukayese tablosu,
- Takribi alan ihtiyacı ve muhtemel yer alternatifleri, muhtemel yer, teknoloji ve maliyetlerle ilgili takribi görüş ve tahminler,

ortaya konulur. Bütün bu soruların cevapları ile oluşan nihai değerlendirme, bir ön etüt raporu ile işin sahibi kurum/kuruluşa sunulur.

2.2.2. Fizibilite Raporu

Fizibilite etütleri kesin veya avan projenin hazırlanmasından önce yapılan *teknik*, *ekonomik* ve *mali* etütlerdir. Fizibilite çalışması kapsamında aşağıdaki iş paketleri yer alır:

- Mevcut durum tespiti
 - ✓ Ekonomik durum ve maddi kaynaklar
 - ✓ Finansman imkan ve kaynakları: Öz kaynak, hibe, kredi
 - ✓ Kurumsal yapı: örgütlenme ve eleman kalitesi

- Atıksu arıtma sistemi alternatiflerinin belirlenmesi
 - ✓ Deşarj ve/veya yeniden kullanım seçenekleri
 - ✓ Arıtma tesisi için proses/teknoloji alternatifleri
 - ✓ Arıtma ihtiyaçları (her parametre için)
 - ✓ Proses alternatiflerinin kavramsal tasarımı ve maliyet mukayesesi
- En uygun sistemin seçimi
- Seçilen sistemin kavramsal tasarımı ve maliyet tahmini
 - ✓ Bu kapsamda arıtma tesisi kavramsal tasarım projesinin yapılması ile coğrafi konum ve bilgiler, enerji temini, ulaşım durumu, taşkın riski, inşaa maliyeti, arazi/zemin ıslah maliyeti, gelecekte tesisin genişletilebilme imkânları vb. hususların belirlenmesi
 - ✓ Detaylı maliyet analizi (ilk yatırım ve işletme/bakım maliyetlerinin $\pm\%20-30$ yaklaşımla tahmini)
 - ✓ Finans kaynakları ve en uygun finansman seçeneğinin belirlenmesi (Öz kaynaklar, Dünya Bankası, Avrupa Yatırım Bankası, İller Bankası kredisi, Dünya Bankası, Avrupa Yatırım Bankası, İslam Kalınma Bankası, AB Fonları, Uluslararası/Ulusal hibeler, vb)
 - ✓ Tarife önerisi (halkın ödeme kapasitesi ve istekliliği de dikkate alınarak uygun tarife önerisi sunulması)

Bir fizibilite raporu aşağıdaki içerikte hazırlanmalıdır:

- Yönetici Özeti
- Rapordaki terimler, kısaltmalar
- Tablo, Şekil, Çizim ve Ekler Listesi
- Çalışmanın amacını anlatan bir giriş
- Tasarım kriter ve ihtiyaçları
- Proses teknolojisi/proses seçenekleri
- Teknik, mali ve ekonomik analizler
- Sonuçlar ve alınan kararlar
- Nihai çözümle ilgili tavsiyeler
- Faydalanılan kaynaklar
- Ekler (varsa)

Fizibilite çalışmalarında ele alınan hususlar aşağıda daha detaylı olarak verilmektedir.

2.2.2.1. Temel Verilerin Belirlenmesi

Ön Bulguların Değerlendirilmesi

Atıksu ve çamur arıtımı prosesleri, gerekli arıtılmış atıksu kalitesi, yağmursuyu etkileşimi, işletme güvenliği, arıtma tesisi yerinin durumu (zemin özellikleri, taşkın riski, yeraltı suyu seviyesi durumu vb) ve çevreye etkileri gibi hususlar ön etüt aşamasında elde edilen verilerden hareketle belirlenmelidir. Zemin özellikleri (bilhassa taşıma gücü), arıtma birimlerinin yerleştirilmesi ve genel yerleşim planının oluşturulması bakımından özel önem taşımaktadır.

Arıtma Prosesi Alternatifleri

Atıksu arıtma prosesleri seçiminde nüfus, atıksu özellikleri ve miktarı ile gerekli arıtma derecesi ve yerel özellikler dikkate alınır. Kentsel atıksuların arıtımında en yaygın teknoloji, biyolojik arıtma (ikinci kademe arıtma) prosesidir.

Endüstriyel ve evsel atıksuların birlikte arıtılması durumunda, yüksek miktarda kirletici, zararlı ve zehirli maddeler içeren endüstriyel atıksuların (kanalizasyon sistemine deşarj öncesi) ayrıca arıtılması gerekmektedir. Bu gibi atıksuların evsel atıksularla birlikte arıtımı durumlarında, güvenilirliği ve başarısı kanıtlanmış standart arıtma prosesleri seçilmelidir.

Çamur Arıtımı

Çamur arıtım proseslerine karar verilirken çamur özellikleri ve atık çamurun nihai olarak uzaklaştırılacağı yerin durumu önem taşımaktadır. Seçilecek çamur işleme/arıtma proseslerinin daha önceden denenmiş ve kararlı prosesler olması gerekmektedir.

Atık Maddelerin Bertarafı

Arıtma sonrası geride kalan atık maddelerin bertarafında; T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik ve Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik esaslarına uyulmalıdır.

İşletme Emniyeti

İşletme hatalarına karşı, tesis işletme el kitabı ile İş Sağlığı ve İş Güvenliği Tüzüğü'nde belirtilen önlemler alınmalıdır.

Genişleme (Tevsi)

Öngörülen planlamada, tesisin gelecekte ne şekilde genişleyeceği göz önüne alınmalıdır. Nitrifikasyon, denitrifikasyon ve hızlı kum filtrasyonu yanında, fosfor giderimi için biyolojik ve kimyasal prosesler gerekliyse, bunlar da planlama/tasarım sürecinde özellikle dikkate alınmalıdır.

2.2.2.2. Planlama Değişkenleri

Teknik, ekonomik ve ekolojik olarak güvenilir bir planlama, genellikle çözüm değişkenleri olmadan elde edilemez. Aşağıda planlama aşamasında incelenen esas değişkenler özetlenmiştir.

Yapılacak Tahminler

Atıksu arıtma tesisi yapılarının boyutlandırılması, debiler, yüzey yükleri, çamur yaşı, bekletme süreleri gibi proses tasarımı parametrelerine göre yapılır.

Genel Plan

Atıksu arıtma tesisinin genel yerleşimi ve peyzaj düzenlenmesi, genel yerleşim planı esas alınarak yapılır.

Hidrolik Profil

Hidrolik profil, arıtma tesisine gelen ana atıksu kollektör kotu, alıcı ortam maksimum su seviyesi, arıtma tesisi içerisindeki yük kayıplarından ve yeraltı suyu seviyesinden büyük oranda etkilenir. Atıksu arıtma tesisinin hidrolik profili ilk yatırım ve işletme maliyetini etkileyen en önemli husustur. Atıksu kotunun gereksiz yere 1 m fazla yükseltilmesi bile, önemli ekonomik kayıplara yol açacaktır.

Tesis İlk Yatırım ve İşletme Maliyetleri

İlk yatırım maliyeti tahminleri, boyutlandırma verilerine ve planlama dokümanlarına göre yapılmalıdır. Ayrıca, işletme maliyetlerinin de proseslere özgü yaklaşık tahmini yapılmalıdır.

Seçeneklerin Ekonomik Mukayesesi

En uygun çözüm, alternatiflerin detaylı olarak değerlendirilmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bazı durumlarda, ilk yatırım maliyeti yüksek olabilir. Ancak, işletme maliyeti düşük ise bu dengelenebilir. Dolayısıyla, alternatif proseslerin hem ilk yatırım hem de işletme maliyetleri proje hizmet ömrü sürecinde detaylı bir şekilde ele alınarak en ekonomik seçeneğin belirlenmesi önem taşımaktadır.

2.2.2.3. Seçenek Analizi

En uygun çözüm önerisi, ilgili kuruluşlar ve yetkili uzmanlarca uygun bulunan değişkenlerin değerlendirme kriterleri ışığında varılan sonuca göre belirlenir. Seçilen alternatif, çevre mühendisliği, ekonomik ve ekolojik açıdan en uygun çözüme karşı gelmeli ve bu yüzden fizibilite raporu ve uygulama projelerine temel teşkil etmelidir.

Alternatiflerin değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasında, yüklerdeki değişkenler, tesisin genişleme (tevsii) olasılıkları, atıksu çamuru bertarafı, işletme emniyeti, ilk yatırım ve işletme maliyeti, çevreye uyumluluk (gürültü kirliliği, koku ve kirlilik emisyonları vb.) gibi hususlar dikkate alınmalıdır. Seçenek analizi çalışması:

- Açıklama raporunu
- İlgili proses ve hidrolik hesaplarını
- Tesisin imar planındaki yerini
- Genel yerleşim planını
- Yapıların genel tanıtımını (bina maketleri)
- Yaklaşık maliyet hesabını

içermelidir.

2.2.3. Kavramsal Tasarım (veya bazı hallerde Avan Proje)

Fizibilite çalışması sonucunda karar verilen arıtma prosesi için kavramsal tasarım projesi hazırlanır. Kavramsal tasarım, Fizibilite Raporu'nda seçilen en uygun prosesin Teknik Raporu ile avan proje veya prensip projesini içermelidir. Kavramsal proje veya prensip projesi genelde, tesis yerleşim planı, borulama planı, hidrolik profil, P&I Diyagramı ile bazı yapı ve ünitelerin 1/100~1/200 ölçekli prensip çizimlerini içerir. Ancak bazı durumlarda kavramsal proje yerine, avan proje detayında proses ve mimari çizimleri (betonarme hariç) de istenebilmektedir.

2.2.3.1. Teknik Rapor

Kavramsal tasarım teknik raporu, fizibilite çalışmasında elde edilen bir takım bilgileri içermelidir. İhtiyaca bağlı olarak raporun amacı ve kapsamı, proje alanı hakkında bilgi, su ve atıksu altyapısı hakkında bilgi, su kalitesi, deşarj ve tasarım kriterleri, proses seçimi, kavramsal tasarım (arazi ve saha, inşaat ve işletme aşamaları, önerilen tesisin yerleşimi ve kavramsal tasarımı, çamurun bertarafıyla ilgili hususlar, atıksu arıtma tesisi proses hesapları, önerilen atıksu arıtma tesisi ünite detayları ile atıksu arıtma tesisinde kullanılacak ekipman listesi) ve eklerini içermelidir. Eklerde; kaynaklar, atıksu arıtma tesisi hidrolik hesapları, maliyet tahminleri, atıksu arıtma tesisi çizimleri (avan veya kavramsal proje düzeyinde) yer almalıdır. Raporda ayrıca, tesis işletimine ait bilgiler, işletme ve bakım için ihtiyaç duyulan personelin nitelikleri ve sayısı hakkındaki gerekli bilgiler de verilmelidir.

2.2.3.2. Mühendislik Hesapları

Proses Hesapları

Proses hesapları, atıksu arıtma tesisinin farklı birimleri için yapılmalıdır:

- Varsa karıştırma ve dengeleme tankları
- İlk arıtma birimleri (ızgara, pompa istasyonları ve kum tutucular)
- Birinci kademe arıtma yapıları (ilk arıtma + ön çökeltim havuzları, çamur yoğunlaştırma, stabilizasyon ve susuzlaştırma üniteleri)
- İkinci kademe arıtma yapıları (birinci kademe arıtma + biyolojik arıtma+dezenfeksiyon)
- İleri biyolojik atıksu arıtma birimleri (biyolojik N, P giderimli ikinci kademe arıtma)
- Üçüncü kademe arıtma (ileri biyolojik arıtma + hızlı filtrasyon, membran proseslerle geri kazanım amaçlı arıtma)

Atıksu arıtma tesisi üniteleri tasarımında esas alınan tasarım kriterlerinin nasıl seçildiği açıklanmalıdır. Arıtma sistemine ait ünitelerin tasarımında esas alınan yaklaşımlar, tasarım parametreleri, kabuller ve kullanılan formüller ve hesaplamalar açıkça belirtilmelidir. Her bir ünite için bulunan boyutlar bir tablo halinde verilmelidir.

Hidrolik Hesaplar

Hidrolik hesaplar, kavramsal tasarım teknik raporunda detaylı bir şekilde yer almalıdır. Hidrolik profile, bütün havuzlardaki (planlama dönemleri için kurak ve yağışlı hava debileri dikkate alınarak) maksimum ve minimum su kotları, havuz taban kotları, savak kotları verilir. Bazı durumlarda havuzlardan bir kısmının devre dışı kalması gibi durumlar için ilave hesaplamalar da yapılır.

İlk Yatırım ve İşletme Maliyeti

İlk yatırım maliyetinde, inşaat ve mekanik ekipman maliyetlerine ilaveten, tasarım dönemi etüt ve mühendislik hizmetleri bedelleri ile yapım dönemi mühendislik ve müşavirlik masrafları, peyzaj, personel maaşları, zemin araştırması ve diğer (yapı izni gibi) maliyetler, kapsama dahil edilmelidir. Toplam sistem maliyeti, kişi başına ve birim arıtılmış atıksu başına düşen maliyet olarak ayrı ayrı verilmelidir.

İşletme maliyetine dahil bileşenler, işletme ve bakım (her durumda personel ve malzeme maliyetleri ayrı olacak şekilde) maliyetleridir. Toplam yıllık maliyet, kişi başına ve arıtılan birim atıksu miktarı başına hesaplanmalı, yıllık enerji tüketimi değerleri, kWh/kg BOİ₅, kWh/N ve kWh/m³ atıksu olarak verilmelidir.

Atıksu Arıtma Tesisi Skada ve Otomasyon Bilgileri

Tesisin kontrol edilmesinde kullanılacak Veri Tabanlı Kontrol ve Gözetleme Sistemi (Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA) ve otomasyon konusunda ayrıntılı bilgi verilmelidir.

Kullanılacak Mekanik Ekipman Bilgileri

Kullanılacak mekanik ekipman listesi, özellikleri ve seçilme nedenleri konusunda detaylı bilgi verilmelidir.

İşletme ve Bakım Talimatları

Tesis birimlerine ait işletme ve bakım talimatları ile acil durum talimatları hazırlanmalıdır.

2.2.3.3. Planlama Dokümanları

Çevre Düzeni, Havza Koruma veya (varsa) Nehir Havzası Yönetim Planları

1:25000 veya 1:10000 ölçekli Çevre Düzeni ve Havza Planları, şu içeriğe sahip olmalıdır:

- Karar verilmiş ve planlanmış su koruma alanları, ayrıca mevcut ve planlanan atıksu arıtma tesisleri,
- Sit alanları,
- Atıksu arıtma tesisi civarındaki sel alanları (isimleri, suyun akış yönü, resmi nehir ikâme alanı),
- Diğer atıksu deşarj noktaları,

- Havza içerisindeki diğer atıksu arıtma tesisleri,
- Havza ile ilgili var olan ve planlanan pompa istasyonları ve ana kolektörler,
- Yağmursuyu taşkınları ve yağmur suyu tankları,
- Kanalizasyon planları

Atıksu arıtma tesisi yerinin vaziyet planı

Atıksu arıtma tesisi yerinin genel planı, 1:2500, 1:1000 veya 1:500 ölçekli haritalarda gösterilmelidir. Özellikle, ortalama deniz seviyesinin üstündeki yükseklikler, atıksu arıtma tesisinin ana boyutları, güzergâh ağı, olası genişleme bölgeleri, alıcı ortam deşarjları ile birlikte tapu kaydı planları ve mal sahibi yönlendirmeleri vaziyet planı üzerinde gösterilmelidir.

Atıksu arıtma tesisinin yerleşim planı

Atıksu arıtma tesisi yerleşim planı, 1:500 veya 1:100 ölçekli olabilir. Yerleşim planı, atıksu arıtma tesisinin yerleştirileceği alanın detaylı planını, arıtma tesisi birimlerini, yardımcı birimleri ve ara borulamaları göstermelidir.

Hidrolik profil

Atıksu arıtma tesisinin en başından en sonuna kadar olan boyuna kesiti, 1:100 ölçekli olarak verilebilir. Yatay ve düşey ölçek farklı olabilir. Yatay ölçek, düşey ölçeğin 1/5'i olabilir.

P&I Diyagramı

Arıtma sistemine ait ünitelerde yer alan elektro-mekanik ekipmanlar ve borulama elemanları P & I diyagramında gösterilmelidir.

Tesis birimlerinin plan ve kesitleri

Tesis birimlerinin plan ve kesitleri, büyük tesisler için 1:200 veya 1:100, küçük tesisler için ise 1/50 veya 1/20 ölçekli olabilir. Bütün önemli binalar üstten görünüşte (plan) ve bazı yan kesitlerde gösterilmelidir (enine ve boyuna kesitler). Yükselteler bina yüzeylerine eklenmelidir.

Atıksu arıtma tesisi tasarımının hesap raporları ve taslak çizimleri, arıtma tesisi projesini onaylayacak kuruma belirli sayıda sunulur. Rapor ve çizimler üzerinde mutlaka projeyi yapan ve çizenlerin isim ve imzaları yer almalıdır.

2.2.4. Uygulama Projesi

Kavramsal tasarım (veya avan proje) projesinin onaylanmasının ardından, uygulama projesi yapılır. İdareler, uygulama projesini kendileri hazırlayarak veya hazırlatarak inşaat ihalesine bu uygulama projesi ile çıkabilirler. Bir diğer alternatif ise işin kavramsal tasarım projesi üzerinden ihale edilmesi ve inşaat işini alan firmanın uygulama projesini gerçekleştirmesidir. Uygulama projesinde, proses hesapları ve

çizimlere ilave olarak, elektrik, otomasyon, mekanik ve betonarme hesap ve çizimleri de bulunmalıdır.

Atıksu arıtma ve çamur uzaklaştırma birimleri ile civarındaki makine ve elektrik mühendisliği kurulumlarının her türlü sorulardan arındırılmış bir şekilde yerleşim planında gösterilmesi gerekmektedir. Özel ekipmanların, örneğin güç jeneratörü, ısıtma ve havalandırma sistemleri vb prosesler için konunun uzmanı olan mühendisler projeye dâhil edilmeli ve ilgili projeler hazırlanmalıdır.

Atıksu arıtma tesisi uygulama projesi ile arıtma tesisleri ünitelerinin konumları ve esas boyutları, farklı uygulamaya meydan vermeyecek, ihaleye, metraj ve keşfin hazırlanmasına zemin teşkil edecek şekilde detaylı hazırlanmalıdır.

Bir atıksu arıtma tesisi uygulama projesi aşağıdaki rapor ve ekleri içermelidir.

2.2.4.1. Atıksu Arıtma Tesisi Uygulama Projesi Açıklama Raporu

Bu raporda, arıtma tesisini oluşturan her bir ünitenin boyutlandırılma ve projelendirilme esasları, bu sırada yapılan kabuller, kabullerin dayandırıldığı kaynaklar ve işletilme şartları ve hizmet gerekçeleri açıklanmalıdır. Betonarme ve elektrik - mekanik hesaplamalar da ayrıca verilmelidir.

2.2.4.2. Atıksu Arıtma Tesisi Uygulama Projesi Ek Dökümanları

a) Bölgesel konum planları

1/25.000 veya 1/5.000 ölçekli veya mevcut altyapı tesisleri ile yapılacak tesisleri toplu halde gösterebilecek ölçekte olmalıdır. Planda, mevcut ve yapılacak yeraltı ve yerüstü tesislerini, borulama planları, arazi sınırları, yol durumu, enerji temini, drenaj sistemi ve deşarj yapılacak yerler ayrıca gösterilecektir.

b) Genel yerleşim planı

1:200 veya 1/100 ölçekli planlanan arıtma tesisi ve yardımcı üniteleri, yollar, bekçi kulübesi, çitler, ana giriş kapısı, aydınlatma direkleri, vb. gösterilecektir.

c) Borulama planı

1:200 veya 1/100 ölçeklidir. Genel vaziyet planındaki arıtma üniteler arasında ve tesis içlerinde planlanan bütün boru ve açık kanalların hem hat tanımları yapılacak ve hem de P&I projelerinde kullanılacak KOD ve SEMBOL'ler ile adlandırılacaktır.

d) Hidrolik profil

Tesise ait hidrolik profil, ünitelerin boy kesitlerini de gösterecek şekilde çizilecektir. Hidrolik profil giriş yapısı ile varsa depolama yapılarını da içine almalıdır.

e) P&I diyagramı

Hem hat tanımları ve hem de P&I projelerinde kullanılan kod ve semboller kullanılarak tesise ait P&I diyagramları verilecektir.

f) Tesisin ve her bir ünitenin mimari plan ve kesitleri : 1/100 veya 1/50 ölçekli

g) Üniteleri yeteri derecede tanımlayacak mimari detaylar: 1/20, 1/5, veya 1/1 ölçekli

h) Tesis yerinin tesviye edilmiş tesviye eğrili haritası ve buna dayalı kazı ve dolgu planları ve kesitleri: 1:500 veya 1:100 ölçekli

i) Arıtma tesisi yeri ve ünitelerinin yeraltı suyu ve temel (zemin) drenaj planları ve bunların tahliye ayakları plan ve kesitleri (Drenaj Projesi): 1/50 ölçekli

Arıtma tesisinin ve her bir ünitesinin taban temel drenajı projeleri verilecektir. Bu proje kapsamında detaylar ve özellikle deşarj noktası detayları verilecek feyezan durumlarında sistemin davranışı açıklanacaktır. Sistemin boyutlandırılması ile ilgili açıklamalar proje raporunda verilecektir.

i) Kalıp ve donatı planları: 1/100 veya 1/50 ölçekli, inşaatın projesine uygun yapılabilmesi için kâfi miktarda ve sayıda noktasal detay resimleri

Her bir üniteye ait betonarme projeleri,

- 1)Perde, kolon, köşe donatısı detayları (1:50-1:25 ölçekli),
- 2)Çatı döşemesi donatı detayları (1:50-1:25 ölçekli),
- 3)Temel donatı planı ve kesitleri (1:50 ölçekli),
- 4)Perde betonu donatı detayları (1:25),
- 5)Kiriş ve delik donatı detayı (1:25),
- 6) Donatı metraj listesinden oluşabilir.

j) Mekanik donanım planları: 1/25 ölçekli kullanılan bütün ekipmana ait plan ve detaylar

Mekanik donanım planları,

- 1)Pompa odası tesisat yerleşim planı (1:25 ölçekli),
- 2)Pompa odası tesisat yerleşim kesitleri (1:25 ölçekli),
- 3)Genel tesisat detaylarından oluşabilir.

k) Arıtma Tesisi yardımcı ünitelerinin ve gerekirse çevreyi kapsayan elektrik ve aydınlatma projeleri

Pompa istasyonu, diğer bütün birimler ve gerekirse çevreyi kapsayan elektrik-aydınlatma projeleri:

- 1)Elektrik projeleri (1:100 ölçekli),
- 2)Elektrik donanımı ve detaylarından oluşabilir.

l) Zemin sondaj kuyularının röperli haritaları ve logları

m) İdarece gerekli görülen diğer plan, kesit, görünüş, detay, hesap ve bilgiler (içme suyu, atıksu, yağmursuyu şebekeleri v.b.)

2.2.4.3. Keşif, Metraj ve İhale Dosyaları

a) Metraj

Projede yer alan farklı yapıların her birisi için ayrı ayrı metraj listeleri hazırlanacaktır. Metraj listelerinde, işin tamamlanması için gereken iş kalemleri birim fiyat poz no.larına göre sıralanmalıdır.

b) Keşif

Analize esas rayiçler, projenin idare'ye verildiği yıla ait olacaktır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve ilgili idarece geçerli kabul edilen diğer kuruluşların rayiç, analiz ve birim fiyatları kullanılacaktır. Birim fiyatları bulunmayan iş cinsleri için % 25 oranında yüklenici kârı ve genel masraf karşılığı düşünülerek gerekli pozların analizi yapılacaktır. Hesap sonuçları yuvarlatılır.

Keşif cetvelleri metrajlar esas alınarak hazırlanır. Keşif cetvellerinde poz.nosu, kısaca işin tanımı, ölçü birimi, miktarı, birim fiyatı, tutarı gösterilir. Keşif cetvellerine, gerekirse belgelendirilmiş kamulaştırma bedelleri ilave edilir. Ayrıca keşif özeti verilir. Fiyat farklarının verilip verilmeyeceği, verilecek ise verilme şartları açıklanmalıdır.

c) İhale Dosyaları

İnşaat ihalesine esas teklif alma şartnamesi, sözleşme gibi standart dokümanlar idare'ce yükleniciye verilir. Yüklenici (müteahhit veya proje birimi), özel teknik şartnameleri, standartları, malzeme listelerini v.b. dokümanları hazırlayacaktır.

2.2.4.4. İş Sonu (As-Built) Projeleri

Uygulama projeleri, idareye onaylatıldıktan sonra uygulamaya aktarılır. Uygulama sırasında projede yapılan zorunlu değişiklikler projeye işlenmelidir. Uygulama sırasındaki değişikliklerin işlendiği nihai projelere, İş sonu (As-Built) projeleri adı verilir.

2.3. İnşaat İle İlgili Genel Hususlar

2.3.1. İnşaata Hazırlık, Genel İnşaat Kontrolü ve Proje Yönetimi

İnşaat projesinin yürütülmesi işi koordinasyonundan, inşaat kontrol birimi sorumludur. İnşaata başlamasından, yetkili birimlerce kabulüne kadar bu birimin görevi devam eder. Proje kontrolü, inşaat sahibi kurum/kuruluşun görevidir. Bunun için (çoğu zamanda olduğu gibi) bir mühendis görevlendirebilir. Özel firmalar tarafından yaptırılan inşaatlarda kontrollük görevi için gerekirse, inşaat yapı denetim firmaları da görevlendirilebilir.

2.3.1.1. Örgütsel Planlama

Tesis yapım işinin gerçekleştirilmesi için aşağıdaki işlerin yapılması gerekmektedir:

- İnşaat ve işletmeye alma için iş planlarının yapılması,
- İş planlarının sınırlarının belirlenmesi,
- Süre ve maliyet planı hazırlanması

2.3.1.2. İhale İçin İhtiyaçların Belirlenmesi

İhale için bazı ihtiyaçların belirlenmesi gerekmektedir. Aşağıda bunlar sıralanmıştır:

- Sözleşme ve teknik şartlara karar verme,
- Miktarlara karar verme (Gerekli yenilemeler ve giderleri içerecek şekilde),
- Performans tanımını düzenleme

İhale için hazırlanacak ihtiyaç dokümanları (şartnameler), genel, özel ve ek sözleşme durumlarını, ayrıca genel teknik yönetmelikleri ve performans tanımlarını kapsamaktadır.

2.3.1.3. İhale Prosedürü

İhaleler, Kamu İhale Kanunu (KİK) veya uluslararası projeler için uluslararası ihale prosedürlerine göre yürütülür.

a) Kamu İhale Kanunu (KİK)

Bu kanunun amacı, kamu hukukuna tâbi, kamunun denetimi altında bulunan veya kamu kaynağı kullanan kurum ve kuruluşlarının yapacakları ihalelerde uygulanacak esasları belirlemektir. 4734 sayılı kanunda belirtildiği şekilde devlet ihalelerinde Kamu İhale Kanunu geçerli olmaktadır. İhaleler aşağıda verildiği şekilde yapılmaktadır:

Açık ihale usulü: Bütün isteklilerin teklif verebildiği ihale usulüdür. Açık ihale usulü tüm isteklilerin katılımına imkân sağlayan bir ihale usulü olması nedeniyle, ihaleler için tercih edilmesi beklenen bir yoldur.

Belli istekliler arasında ihale usulü: Ön yeterlik değerlendirmesi sonucunda idare tarafından davet edilen isteklilerin teklif verebildiği ihale usulüdür.

Pazarlık usulü: 4734 Sayılı Kamu İhale Kanununda belirtilen hallerde kullanılabilen, ihale sürecinin koşullara göre aşamalı olarak gerçekleştirildiği ve bazı hallerde idarenin ihale konusu işin teknik detayları ile gerçekleştirme yöntemlerini ve belli hallerde fiyatı isteklilerle görüştüğü ihale usulüdür.

Doğrudan Temin: 4734 sayılı Kamu İhale Kanununun 22 nci maddesinde belirtilen hallerde ihtiyaçların, piyasada fiyat araştırması yapmak suretiyle doğrudan temin edilebildiği usuldür.

İstisna: 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu kapsamındaki idarelerin bu Kanunun 3. maddesinde yapılan düzenlemelere göre gerçekleştirdikleri mal ve hizmet alımları ile yapım işlerine ilişkin alımlardır.

b) Uluslararası İhaleler

4734 sayılı Kamu İhale Kanunu'nda "Uluslararası anlaşmalar gereğince sağlanan dış finansman ile yaptırılacak olan ve finansman anlaşmasında farklı ihale usul ve esaslarının uygulanacağı belirtilen mal veya hizmet alımları ile yapım işleri bu kanuna tabi değildir" maddesi de yer almaktadır.

Uluslararası inşaat sözleşmelerinde çeşitli standart kurallar kullanılmaktadır. Bunlardan en önemlisi ve yaygın kullanılanı FIDIC kurallarıdır. "Federation Internationale des Ingenieurs Conceils" in baş harflerinden oluşan FIDIC, Türkçe'de "Müşavir Mühendisler Uluslararası Federasyonu"na karşılık gelmektedir. FIDIC kapsamında çeşitli ihale yöntemleri mevcuttur. Bunlar aşağıda özetlenmektedir. İşin sahibine "işveren", projeyi gerçekleştirene de "yüklenici" denilmektedir.

Kırmızı Kitap (Red Book): Sözleşme, projenin veya tasarımın iş sahibi tarafından hazırlatıldıktan sonra ihale edilen projelerde kullanılmaktadır. Yüklenici, iş sahibi tarafından hazırlanmış olan tasarımlar doğrultusunda işin yapılmasında görevlidir. Yapılan işin mühendislik riskleri tamamen işverene aittir. Yapılacak işle ilgili olarak yüklenicinin alternatif çözümleri değerlendirmeye alınmamaktadır.

Sarı Kitap (Yellow Book): Projelendirmenin yüklenici tarafından yapıldığı işlerde kullanılmaktadır. Yüklenici riskin büyük kısmını üstlenmektedir. Kırmızı kitabın tersine tasarımı gerçekleştiren yüklenici, yaptığı işte geçmiş tecrübe ve birikimlerini de kullanarak kendi tasarımını kullanma imkânı bulmaktadır. İşveren, tasarım ve projeyi yükleniciden talep eder. Uygulamaya başlamadan önce de işverenin tasarımı onaylama veya reddetme yetkisi bulunmaktadır.

Yeşil Kitap (Green Book): Bu kitabın adı "Kısa Sözleşme Formu" (Short Form of Contract) olup toplam sözleşme bedeli 500.000 ABD Dolarından küçük ve/veya süresi 6 ayı geçmeyen projelerde kullanılmaktadır. Sözleşme, iş sahibinin yapmış olduğu bir tasarımın veya kararlaştırmış olduğu bir projenin yüklenici tarafından gerçekleştirilmesini kapsayan işler için kullanılmaktadır. Ayrıca, bu projelerde genelde müşavir yoktur, işveren temsilcisi vardır.

Gümüş Kitap (Silver Book): Yüklenicinin mühendislik, tedarik, yapım işlerinin tümünü üstlendiği anahtar teslimi projelerde kullanılmakta olup riskin neredeyse tamamı üstlenilmektedir. Genellikle müşavir kullanılmaz ve kontrollüğü işveren kendisi yapar. Yüklenicinin işletmecilik de yapacağı ve dolayısıyla tasarımın uygunluğunun kendisi açısından da önem taşıdığı Yap-İşlet-(Devret) vb projelerde kullanılması tercih edilir.

Turuncu Kitap (Orange Book): İnşaat, çizim ve tasarımlarının yüklenici tarafından hazırlanan, inşaatlarda işveren-yüklenici aralarındaki ilişkinin bir müşavir ile kontrol edilen ve genellikle finansmanı yüklenici tarafından sağlanan projelerde uygulanır. İşveren, yükleniciye çizimler ve hesaplar ile taleplerini bildirmek yerine, yükleniciden beklentilerini "işveren istekleri" adında bir belge hazırlayarak ve sözleşmeye ekler.

Özellikle müşavirin denetim ve kontrollerinde bu belge esas alınır. Özellikle uluslararası kredi kuruluşları ilave taleplerle karşılaşmamak için bu sözleşmeyi kullanmaktadır.

Beyaz Kitap (White Book): Beyaz Kitap taraflar arasında yapılacak müşavir mühendislik sözleşmesinin esaslarını ortaya koymak bakımından bağlayıcı olmayan ancak yol gösterici mahiyette bir kaynaktır.

2.3.1.4. İnşaat Sırasında İzleme

İnşaatin uygulanması sırasında, inşaat kontrolörlerinin eşliğinde çeşitli yükleniciler tarafından sözleşmenin teknik hizmetlerinin uygulanması, tarih, maliyetler ile ilgili hususların yerine getirilip getirilmediğinin izlenmesi gerekmektedir. Betonarme, mekanik ve elektrik işleri, karşılıklı olarak birbirlerini etkileyebilirler.

2.3.2. İnşaat Denetimi

İnşaat denetimcisi (idarenin veya özel kuruluşun görevlendirdiği kontrolör) (gerekli ise uygun bir uzman ile birlikte), inşaatin teknik şartnameye uygun olarak uygulanması için müteahhidin ve alt taşeronlarının çalışmalarını izler. İnşaat sahasındaki farklı müteahhit iş paketlerini koordine eder, performans ve zaman planlarını izler. Ara onaylar, inşaat denetimcisi tarafından yapılmaktadır. Sonuçlar, bir protokol ile kayıt altına alınmalıdır.

İnşaat denetimcisi ayrıca, müteahhitler ile birlikte performans ölçütlerini inceler ve bunların hesaplamalarını denetler.

Bütün inşaat süresi boyunca inşaattan sorumlu olan bir şantiye şefi görevlendirilir.

2.3.3. Testler ve Teknik Ekipmanın İncelenmesi

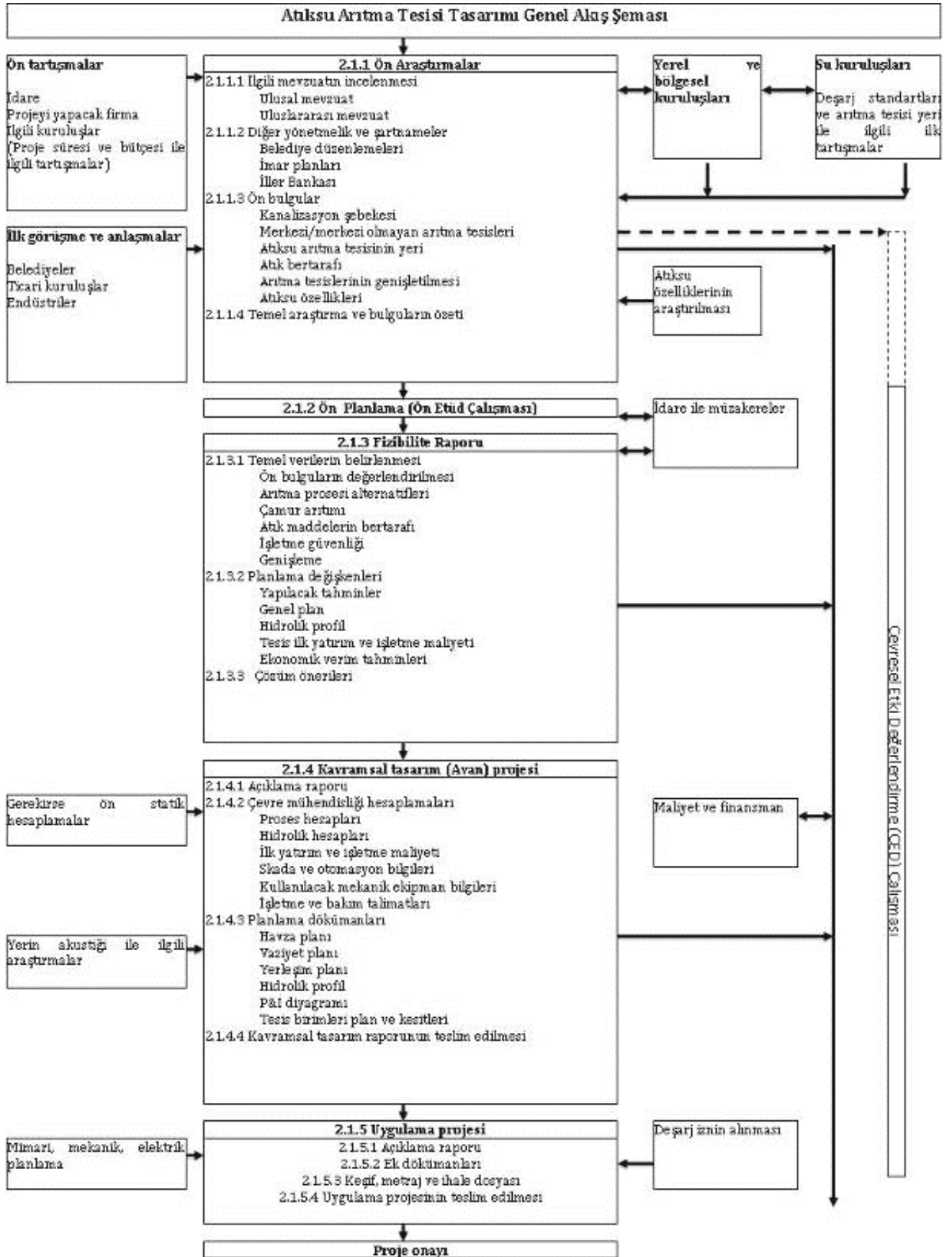
Performans doğrulamaları ile ilgili yöntemler ve kapsamı önceden belirlenmelidir. Kabuller, genel kabul görmüş kurallara uygun olmalıdır.

2.3.4. İşletmeye Alma

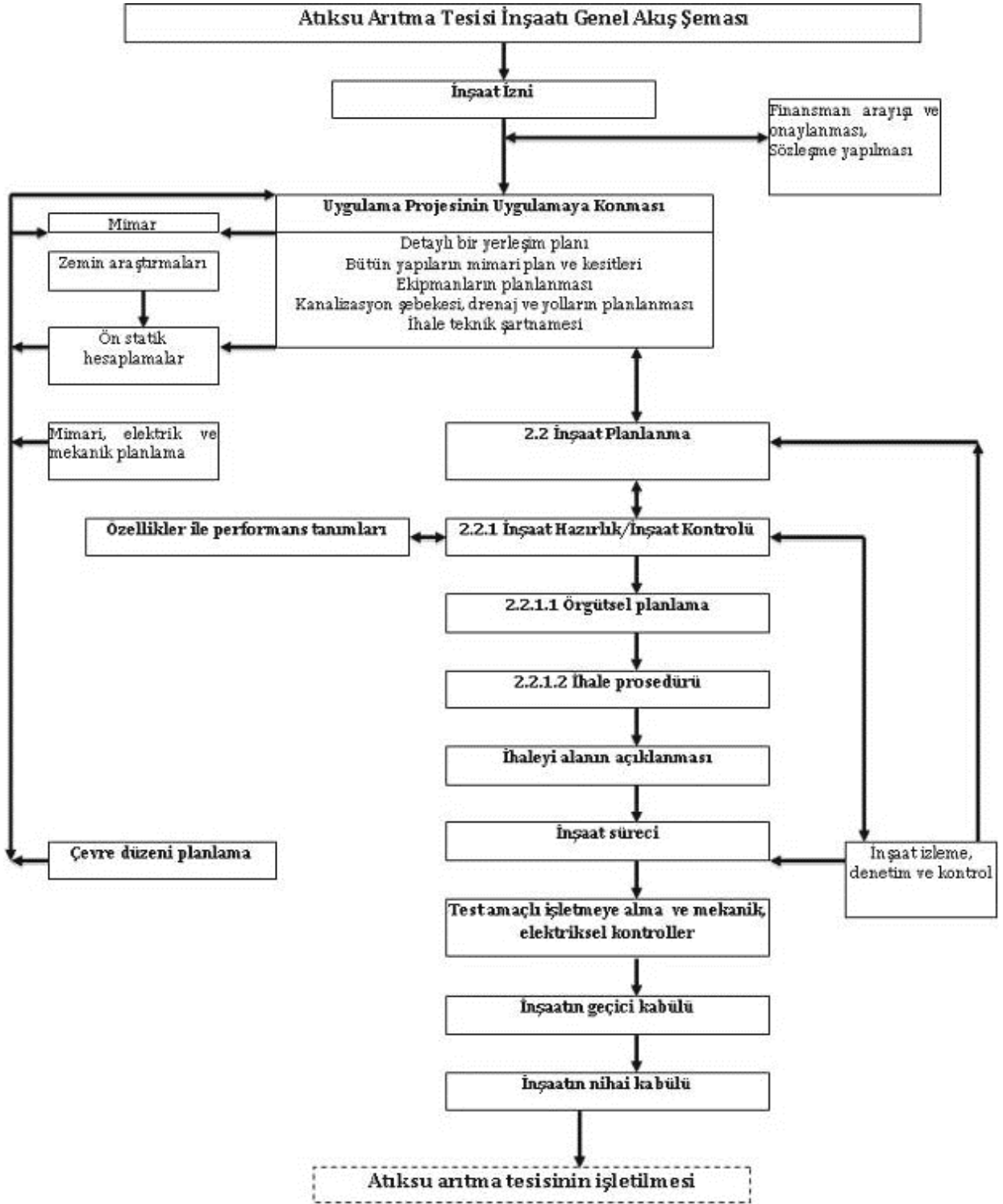
Atıksu arıtma tesisinin devreye alınması, inşaat denetçisi, müteahhit firma ve ekipman tedarikçileri ve ilgili idari kurumların yakın işbirliği ile yapılır. İşletme personeli, gerekli ölçüm, kontrol ve veri kaydetme gibi işler için eğitilmelidir. Envanter planları ve işletme talimatları eksiksiz bir biçimde olmalı ve ilgili yerlere asılmalıdır. Envanter planları, özellikle onaylanmış planlar ve inşaat sırasında yapılmış değişikliklerin hepsini, işletme talimatları ise çeşitli çalışma koşulları, acil durumlar ve sistem arızaları gibi durumları içermelidir.

2.3.5. Kesin Kabul

Kesin kabul, ihale teknik şartnamesinde belirtilen hususların tamamlanmasından sonra, idari kurum yetkilileri ve müteahhidin hazır bulunduğu ortamda yapılır. Atıksu arıtma tesislerinin tasarım ve inşaat aşamaları, aşağıda akış diyagramı şeklinde Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Atıksu arıtma tesisi tasarımı ile ilgili genel akış şeması



Şekil 2.2. Atıksu arıtma tesisi inşaatı ile ilgili genel akış şeması

2.4. Kaynaklar

ATV-A 106 E (1995) Design and Construction Planning of Wastewater Treatment Facilities, German ATV Rules And Standards.

DIN EN 12255-1 (2002) Wastewater treatment Plants Part 1: General Construction Principles English Version of DIN EN 12255-1.

TSE EN 12255-1 (2006) Atıksu Arıtma Tesisleri - Bölüm 1: Genel Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü.

Qasim, S.R. (1999). Wastewater Treatment Plants; Planning, Design and Operation, Technomic Publishing Co. Inc.

3. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN TASARIMI İÇİN GEREKLİ VERİLER

Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK

Bu bölümde, Atıksu Arıtma Tesisleri tasarımına ilişkin temel teknik veriler ve esaslar özetlenmiştir.

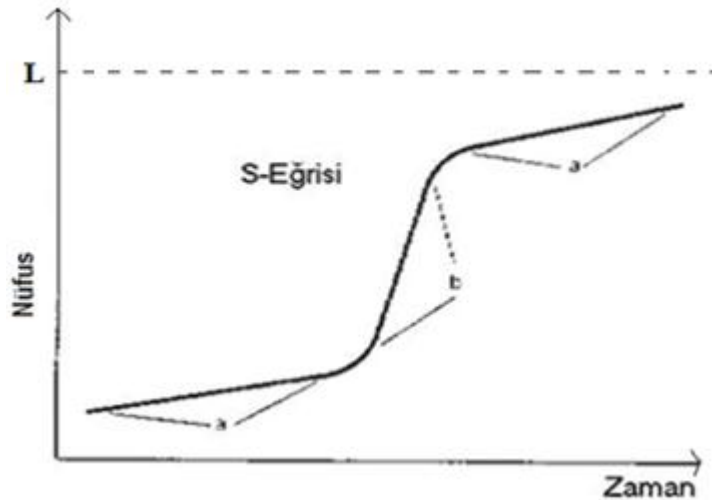
3.1 Nüfus Tahminleri

Nüfus projeksiyonları, sosyal ve ekonomik politikaları yansıtan ve sayısallaştıran, yardımcı bir araç niteliğini taşımaktadır. Nüfus projeksiyonu doğum, ölüm ve göç hareketlerinin ilerdeki eğilimleri ile ilgili belli varsayımlara dayanarak, nüfusun gelecekteki değişimi ile ilgili tahminler yapılması olarak tanımlanır. Nüfus projeksiyonları amaca göre ülke geneli, bölge ve il yanında değişik nüfus büyüklüğüne sahip yerleşmeler veya idari birimler bazında olmak üzere farklı ölçeklerde yapılabilmektedir.

Çevre Mühendisliği yapılarının tasarımı için en önemli faktörlerden birisi gelecekteki nüfus değeridir. Bununla beraber nüfusa bağlı ihtiyaçların da tahmin edilmesi gerekmektedir. Nüfus tahminleri talebi karşılayacak kapasitede projelendirme ve boyutlandırma yapılmasını sağlar.

Bir meskûn bölgede yaşayan nüfus hakkında en iyi bilgi kaynağı resmi nüfus sayımlarıdır. Ülkemizde nüfus sayımları Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yapılmaktadır.

Nüfus doğumlarla artar, ölümlerle azalır. Göçler her iki yöne de tesir eder. Toprak ilhaki da nüfusu arttırır. Bu dört bileşen, sosyal ve ekonomik faktörlerin etkisi altında bulunur. Yıllara göre nüfus değişimi çoğunlukla S şeklinde bir eğriye uyar (Şekil 3.1). Nüfus artışı hızı başlangıçta çok yavaştır. Bu hız, zamanla artar ve en büyük değerine ulaşır. Dönüm noktasından itibaren nüfus artış eğrisine çizilen teğetin eğimi, yani nüfus artış hızı azalır. Neticede nüfus bir L doygunluk değerine asimptot olur. Benzer bir S-eğrisi, bakteri kültürlerinde, mikroorganizma sayılarının izlenmesi (çoğalma) sırasında gözlenmektedir (Muslu, 1996).



Şekil 3.1. S-eğrisi

Bir yerleşimin nüfus sayım neticeleri aritmetik bir grafik kağıdı üzerinde noktalanırsa, bu eğrinin çeşitli kısımları farklı matematiksel fonksiyonlarla ifade edilebilir. Yeni kurulan bir iskân bölgesinde artan hızlı bir nüfus gelişimi gözlenebilir. Aksine, bir büyükşehirde, yeni binaların yapılması için gerekli arsa azaldığından, fiziki bir sınırlama, yahut iş ve ticaret hayatının ve yaşama şartlarının bozulması sebebiyle sosyal kısıtlar büyümeyi sınırladığında, azalan hızlı bir nüfus artışı ile karşılaşılabilir. Nüfus artış eğrisinin doğru çizgi halini aldığı meskûn bölgeler de mevcuttur.

3.1.1. Nüfus Tahmin Yöntemleri ile Hesap

Bir bölgenin gelecekteki nüfusunu tahmin etmek için kullanılan başlıca hesap yöntemleri;

- Aritmetik Artış
- Geometrik Artış
- Lojistik Eğri Metodu
- Benzer Şehirlerle Karşılaştırma (Grafik Metot)Metodu

olarak sayılabilir. Söz konusu nüfus tahmin yöntemleri aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.1.1.1. Aritmetik Artış Metodu

Bu metot, her iki eksenini de aritmetik ölçekli bir grafik kağıdına işaretlenen geçmiş nüfus değerlerinin doğru çizgi halini aldığı durumu ifade eden matematik bir modeldir. Bu halde eğrinin teğet eğimi, yani nüfus artış hızı sabittir; burada k_a 'ya aritmetik artış hızı sabiti denir (Muslu, 1996).

$$dy/dt = k_a \quad (3.1)$$

Buna göre birim zamandaki nüfus artışı $k_a = Q_N/Q_t$ şeklinde ifade edilebilir. Bu denklem de N nüfus, t zaman, k_a aritmetik nüfus artışı hızını göstermektedir. Bu denklem ilk (y_i) ve son (y_s) nüfus sayımları arasındaki entegre edilirse,

$$\int_{y_1}^{y_2} y = k_a \int_{t_1}^{t_2} t \quad (3.2)$$

$$y_s - y_i = k_a (t_s - t_i) \quad (3.3)$$

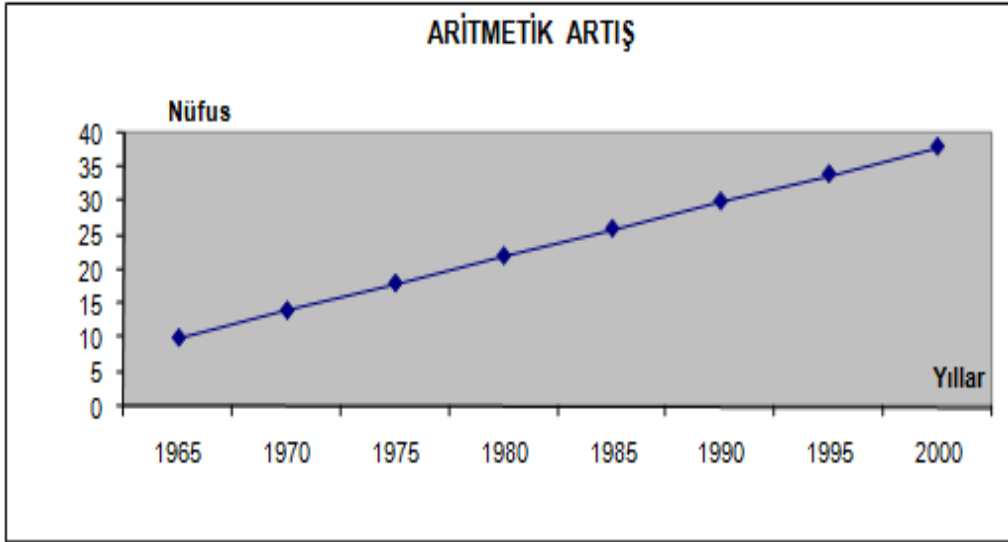
$$k_a = (y_s - y_i) / (t_s - t_i) \quad (3.4)$$

elde edilir.

Burada t_i ve t_s nüfus sayımının yapıldığı yılları gösterir.

Yerleşim biriminin geçmiş yıllardaki nüfus sayımları ikiden fazla ise birden fazla artış hızı hesaplanarak ortalama bir nüfus artış hızı bulunabilir. Aritmetik artış metodunda

nüfusun zamanla değişimi Şekil 3.2' deki gibi bir doğru gösterir. Bu yöntem genelde 5 yılı geçmeyen zaman aralıkları için uygulanır.



Şekil 3.2. Aritmetik Artış Grafiği

3.1.1.2. Geometrik Artış Metodu

Bu metotta, nüfusun birim zamandaki artışının mevcut nüfus ile orantılı olduğu kabul edilir. Buna göre nüfusun birim zamandaki değişimi; $d_y/d_t=k_g y$, şeklinde yazılabilir (Muslu, 1996). Burada k_g geometrik artış hız sabitidir. Bu denklem bilinen iki nüfus sayımı (y_i ve y_s) için entegre edilirse;

$$\int_{y_i}^{y_s} \frac{dy}{y} = k_g \int_{t_i}^{t_s} dt \quad (3.5)$$

$$\ln \frac{y_s}{y_i} = k_g (t_s - t_i) \quad (3.6)$$

Eşitliği elde edilir. Bu eşitlik yardımıyla geometrik artış hız sabiti;

$$k_g = (\ln y_s - \ln y_i) / (t_2 - t_1) \quad (3.7)$$

olarak hesaplanır .

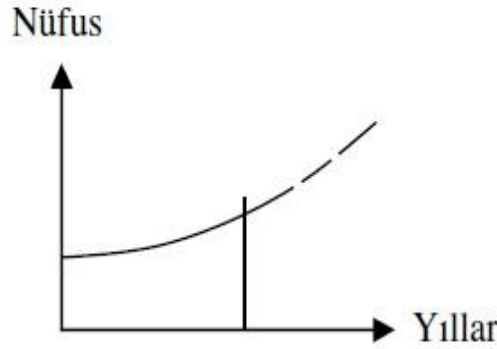
İlgili yerleşim merkezinin gelecekteki bir t_g yılı için nüfusu y_g ise;

$$y_g = y_i \cdot \exp (k_g(t_g - t_i)) \quad (3.8)$$

ile hesaplanabilir.

Herhangi bir yerleşim merkezinin gelecekteki nüfusunu hesaplamak için, aritmetik veya geometrik metotlardan birini seçmeden önce, söz konusu yerleşim merkezinin geçmiş nüfuslarının zamana göre grafiği çizilir. Grafik yaklaşık bir doğru gösteriyorsa aritmetik

metot, konkav bir eğri gösteriyorsa geometrik metot seçilebilir (Şekil 3.3). Geometrik artış yönteminin bazı özel halleri aşağıda ayrıca verilmektedir.



Şekil 3.3. Geometrik Artış Grafiği

a) Sabit Hızlı Geometrik Artış Yöntemi (İller Bankası Metodu)

İller Bankası Genel Müdürlüğü içme suyu talimatnamesine göre, yerleşim merkezlerinin İller Bankası'nca finanse edilen içme suyu ve kanalizasyon projelerinin hazırlanmasında esas alınacak gelecekteki nüfusların aşağıdaki ifadeye göre hesaplanması öngörülmektedir (Muslu, 1996):

$$y_g = y_s * \left(1 + \frac{\zeta}{100} \right)^{30+5+g} \quad (3.9)$$

Burada;

- y_g : gelecekteki nüfusu,
- y_s : son nüfus sayım nüfusunu,
- ζ : Çoğalma katsayısını,
- g : son nüfus sayımından itibaren planlama başlangıç yılına kadar geçen süreyi,
- 30: proje hizmet süresini (yıl),
- 5: planlama, tasarım, ihale, yapım ve işletmeye alma faaliyetleri için geçen süreyi (yıl)

göstermektedir.

Çoğalma katsayısı da aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\zeta = \left(\sqrt[a]{\frac{y_y}{y_e}} - 1 \right) * 100 \quad (3.10)$$

Burada;

- y_e : ilk (1945 yılı) nüfus sayımı
- a : y_y ve y_e sayımlarının yapıldığı yıllar arasındaki fark ($y_y - y_e$) dir.

- $1 < \zeta < 3$ ise ζ için bulunan değeri
- $\zeta < 1$ ise $\zeta = 1$
- $\zeta > 3$ ise $\zeta = 3$

alınması öngörülmektedir. Çoğalma katsayısı genelde mevcut ilk ve son nüfus sayımları arası 5 yıllık dilimlere ayrılarak her bir dilim için ayrı ayrı hesaplanan ζ değerlerinin ortalaması olarak alınmaktadır.

İller bankası yöntemi aslında sabit hızlı geometrik artış yöntemi olup genelde yüksek yönde tahminlere yol açmaktadır. Bu yüzden özel sebepler dışında mevcut haliyle kullanılması uygun değildir.

b) Azalan Hızlı Geometrik Artış Metodu

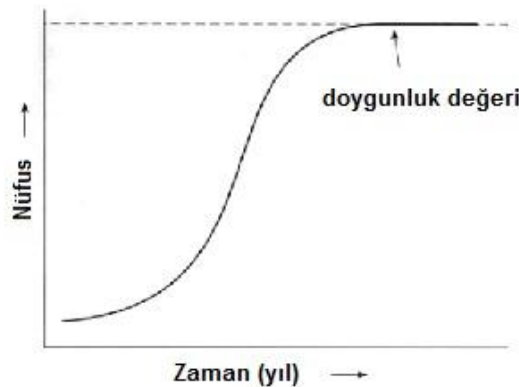
Bu metotta, nüfusun birim zamandaki artışının mevcut nüfus ile orantılı olduğu, ancak söz konusu artışın azalan hızlarla gerçekleştiği kabul edilir. Gelecekteki nüfus değeri;

$$y_g = y_y * (1 + k_d)^y \quad (3.11)$$

ifadesinden bulunabilir. Burada; k_d : nüfus artış hızını, y : planlama süresini (yıl) göstermektedir.

Buradaki k_d parametresi nüfus artış hızı katsayısıdır. Herhangi iki nüfus sayımı için bu değer, eski nüfus sayımlarının işaret ettiği geçmiş nüfus değişim katsayıları da dikkate alınarak, tercihen 5 yılda bir kademeli olarak azalacak şekilde seçilir ve formüldeki yerine yazılır.

Bu metotla hesaplanan tahmini nüfus değerlerinin zamana göre grafiği çizildiğinde, tercihen S-eğrisi ortaya çıkmalıdır (Şekil 3.4). Gelecekteki doyumluk değeri S-eğrisinin eğiminin bittiği (çok düştüğü) yerden okunarak İmar Planı doyumluk değeri ile mukayese edilir. Gerekirse ilk yaklaşımda kullanılmış olan azalan hızlı nüfus artış hızı katsayıları geçmiş nüfusların devamı ve doyumluk değerine göre değiştirilerek, yeni değerler seçilmek suretiyle deneme/yanılma yöntemiyle en uygun eğri ve doyumluk değerine erişim elde edilmelidir. Azalan hızlı artış katsayıları için ilk yaklaşımda TÜİK ve UNDP tarafından Türkiye için önerilen tipik değerler kullanılabilir (Türkiye için Nüfus Tahmini Çalışması).



Şekil 3.4. Azalan Hızlı Geometrik Artış Grafiği

3.1.1.3 Lojistik Eğri Metodu

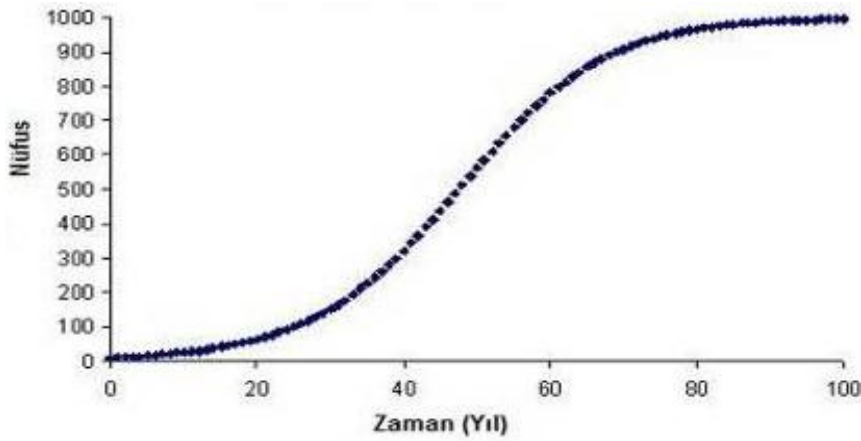
Gelecekteki nüfus değeri aşağıdaki ifadeyle hesaplanır (Muslu, 1996):

$$y_s = y_i + (L - y_i)x \left[1 - e^{-k_d \cdot (t_s - t_i)} \right] \quad (3.12)$$

Buradaki k_d parametresi nüfus artış hızı katsayısıdır ve herhangi iki nüfus sayımı için bu değer;

$$k_d = \frac{\ln \left(\frac{L - y_2}{L - y_1} \right)}{t_2 - t_1} \quad (3.13)$$

olarak hesaplanır ve formülde yerine yazılır. Formüldeki L nüfusun doyumluk değerini göstermektedir. Doyumluk değeri olarak genelde imar planında öngörülen nihai (doyumluk nüfusu) nüfus esas alınır. Lojistik artış metoduna ilişkin örnek eğri Şekil 3.5'de verilmektedir.

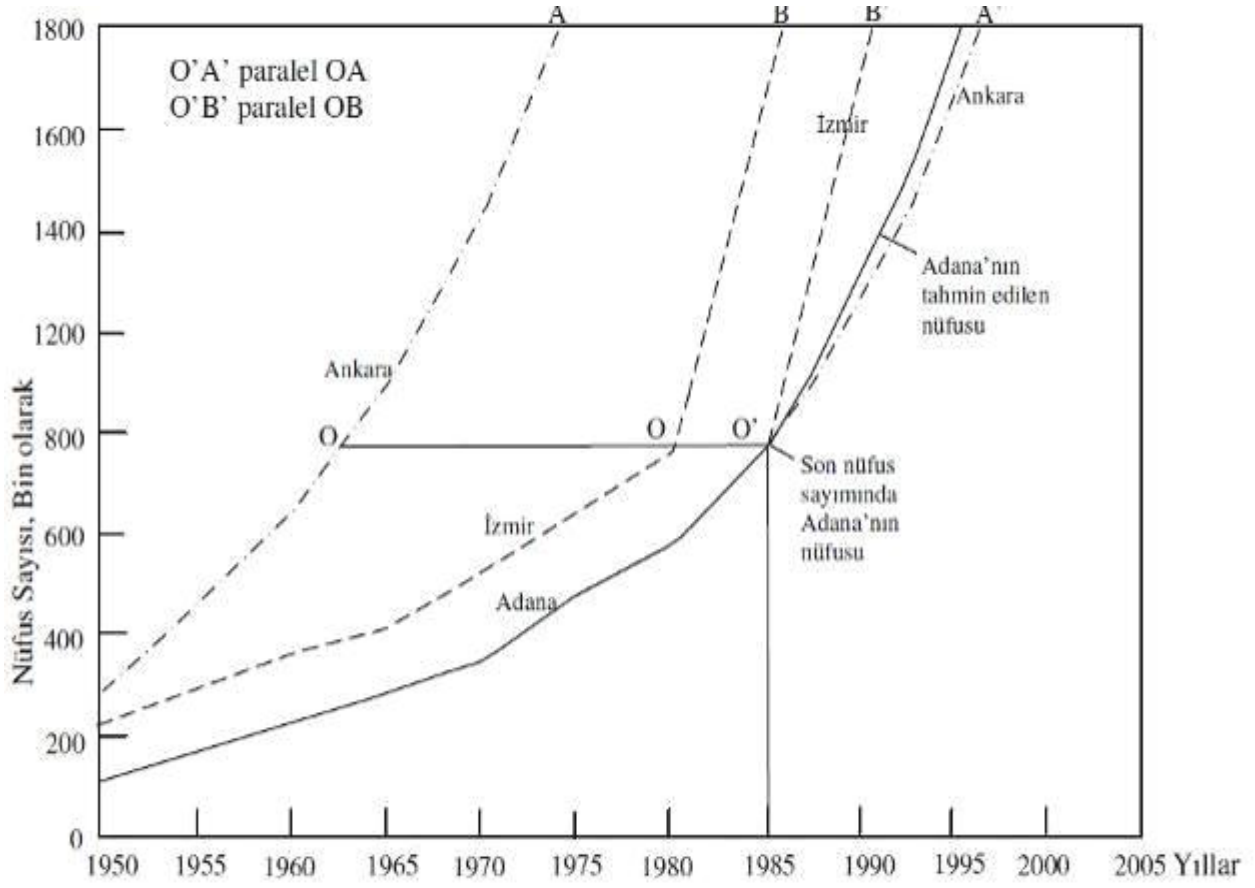


Şekil 3.5. Lojistik Eğri Metodu Grafiği

3.1.1.4. Grafik Metot

Zaman apsis olmak üzere, nüfusları ordinatta göstererek çizilen grafikler genellikle gözle kolaylıkla görülen eğimleri açığa vururlar ve nüfusu tahmin etmek üzere eğrilerin geleceğe doğru uzatılmasına imkân verirler. Bu işleme, nüfus projeksiyonları da denir. Nüfus eğrisini geleceğe doğru uzatırken, sosyo-ekonomik gelişmesi incelenen yerleşime benzeyen, fakat ondan daha büyük nüfuslu şehirlerin nüfus artışlarını gösteren eğrilerden yararlanır. Bu metotta, söz konusu şehrin gelecekteki büyümesinin, kıyaslanan şehirleri geçmişteki büyümesine benzer şekilde gerçekleşeceği kabul edilir (Muslu, 1996).

Bu metot yardımıyla örnek olarak Adana ili için yapılan hesap tahminleri Şekil 3.6' da özetlenmiştir.



Grafik metotla Adana'nın gelecekteki nüfusunun tahmini

Şekil 3.6. Grafik Metot

3.1.2. Nüfus Yoğunluğundan Hareketle Hesap

İskân durumuna göre yerleşim birimlerinin çeşitli bölgelerin sınıflandırılması ve tipik nüfus yoğunlukları Tablo 3.1' de verilmiştir. İmar planındaki farklı yoğunluklu alanlar, ilgili nüfus yoğunlukları ile çarpılıp elde edilen kısmi nüfuslar toplanmak suretiyle toplam yerleşik nüfus hesaplanabilir. Böylece imar planı için öngörülen doyguluk nüfusu (L) elde edilebilir. İstenirse, doyguluk nüfusuna hangi yılda ulaşılabacağına bağlı olarak, gelecekteki nüfuslar da Lojistik Eğri veya Azalan Hızlı Geometrik Artış yöntemlerine göre hesaplanabilir.

Tablo 3.1. Meskûn bölgelerde nüfus yoğunlukları (Muslu, 1996)

Sınıf	İskan şekli	Nüfus yoğunluğu kişi/ha
I	Çok kesif iskan	500-700
II	Kesif iskan	400-600
III	Orta kesif ve kapalı iskan	300-400
IV	Kırsal alanlar	150-300
V	Bahçeli dış mahalleler	60-150
VI	Şehrin mücavir alanları	10-60

3.1.3. Nüfus Tahmini Uygulaması

3.1.3.1. Nüfusun alt bileşenleri

Detaylı analizlere dayalı nüfus tahminlerinde;

- ilçe bazlı tahmin yapılması,
- her bir ilçenin kentsel ve kırsal nüfusları için ayrı ayrı değerlendirilmesi
- her bir ilçenin kentsel ve kırsal nüfusu için ayrı ayrı yaz ve kış dönemi nüfus farklılıklarının dikkate alınması ile farklı nüfus senaryoları için (düşük, orta, yüksek nüfus artışı/büyüme) nüfusların hesabı sağlanmalıdır.

Bu kapsamda, nüfus sayımı değeri kentsel kış nüfusu değerine tekabül eder ve hesap tablosuna önce o işlenir. Daha sonra alta doğru yıllara göre kentsel kış nüfusları hesaplanır.

Yaz değerinin artışı ile ilgili güvenilir veri yoksa, kış nüfusunun belli bir katı olarak alınabilir. (Örn. % 120'si, % 75'i). Özel bir durum olmadığı takdirde, kırsal nüfusun yazın değişmediği kabul edilerek yazlık nüfus sadece kentsel nüfusa işlenebilir.

Eşdeğer nüfus, kış ve yaz nüfuslarının aylara göre ağırlıklı ortalamasıdır. Aksi belirtilmedikçe yaz dönemi 4 ay (Mayıs-Eylül), kış dönemi 8 ay (Ekim-Nisan) kabul edilebilir.

Tüm tahmin ve senaryo sonuçları mutlaka farklı grafiklere işlenerek, gerçek yapı detaylı olarak da incelenmelidir. (Örn. ilçenin 1960-2040 kentsel nüfus değişimi, havzanın yıllara göre eşdeğer nüfus değişimi vb.)

Hesap tablosunda kullanılacak İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından geliştirilmiş bir format, Rehber niteliğinde Şekil 3.7' de verilmektedir. Kullanılmış olan örnek nüfus artış hızı (p katsayısı) değerleri de Tablo 3.2' de verilmiştir.

Yıllar	Merkez İlçe						
	Kentsel			Kırsal	Toplam		
	Kış	Yaz	Eşdeğer		Kış	Yaz	Eşdeğer
2000	195.699	156.559	179.391	177.335	373.034	333.894	356.726
2001	200.024	160.019	183.355	177.210	377.233	337.228	360.565
2002	204.444	163.555	187.407	177.084	381.528	340.639	364.491

A_1	$B_1 = N \times (\text{yaz/kış})$	$C_1 = (A \times \text{kış} + B \times \text{yaz}) / 12 \text{ ay}$	D_1	$E_1 = A_1 + D_1$	$F_1 = B_1 + D_1$	$G_1 = C_1 + D_1$
$A_2 = A_1 \times (1 + p)$	$B_2 = N_2 \times (\text{yaz/kış})$	$C_2 = (A \times \text{kış} + B \times \text{yaz}) / 12 \text{ ay}$	$D_2 = D_1 \times (1 + p)$	$E_2 = A_2 + D_2$	$F_2 = B_2 + D_2$	$G_2 = C_2 + D_2$

Şekil 3.7. İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü hesap sayfası örneği

Tablo 3.2. Yıllara göre değişen nüfus artış hızı değerleri örnekleri

Yıllar	Nüfus Artış Hızı (%)	
	Merkez İlçe	
	Kentsel	Kırsal
2000-2005	3,000	2,600
2005-2010	2,600	2,300
2010-2015	2,300	2,000
2015-2020	2,000	1,800
2020-2025	1,800	1,600
2025-2030	1,500	1,400
2030-2035	1,300	1,000
2035-2040	1,000	0,800

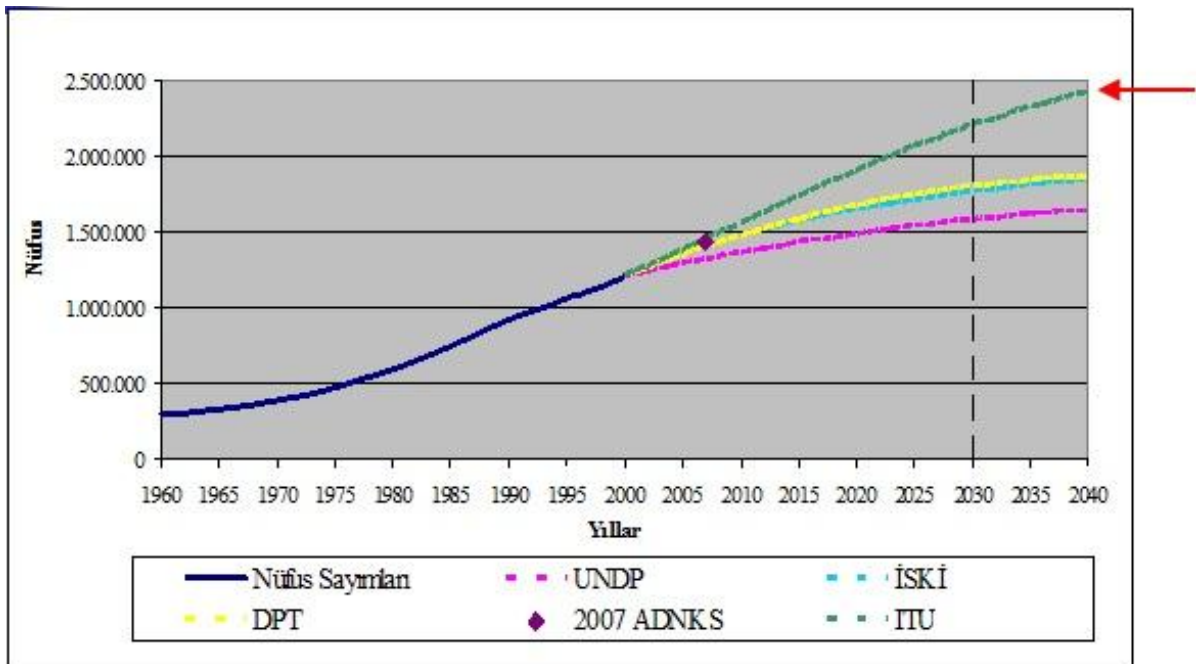
3.1.3.2. Nüfus Tahmini Senaryolarının Mukayesesi

Nüfus tahmininde yukarıda verilen tahmin metotlarından uygun olan seçilerek kullanılmalıdır. Gerçeğe en yakın durumun genelde azalan hızlı geometrik artış metodu ile elde edilebileceği düşünülmektedir. Öncelikle bu yöntem denenmelidir.

Nüfus tahmin senaryoları oluşturulurken farklı yöntemlerin hesap sonuçları grafik üzerine işlenebileceği gibi, seçilen tek bir yöntem için zaman içerisinde değişen nüfus artış hızları kullanılarak da farklı alternatifler çizilebilir. Bunun için senaryoların her birinde, nüfus artış hızları 5'er yıllık olarak tanımlanabilir. (Örn. 2005-2010, 2010-2015, vb.)

Tüm senaryolar tek bir grafik üzerine işlendiğinde, yerleşimin daha önceki nüfus değişim yapısını da yansıtan, S-eğrisine en uygun olan, tercihen en düşük artışa karşı gelmeyen eğri/senaryo seçilmelidir.

Nüfus tahmini senaryolarının mukayesesi örnek bir grafik Şekil 3.8' de sunulmaktadır.



Şekil 3.8. Nüfus tahmini senaryolarının mukayesesi örnek bir grafik

Geçmişteki (2007 öncesi) Nüfus Sayımları ile Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sisteminin (ADNKS) karşılaştırılması

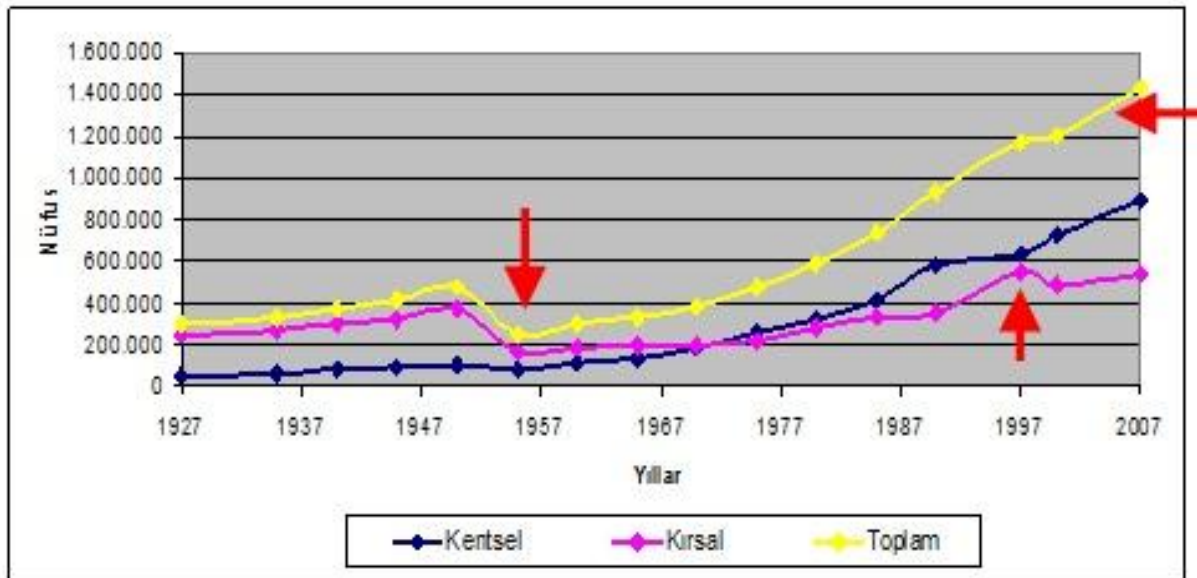
Nüfus tahminleri için temel fonksiyonlar; yerleşimlerin gelecek yıllardaki nüfus değişimini olabildiğince gerçekçi şekilde tahmin etmek ve proje kapsamında yapılacak tüm hesaplamalarda onaylı tek nüfus projeksiyonunu kullanmaktır. Bu amaçla kullanılan resmi nüfus sayımları zaman içerisinde yöntem değişikliğine uğramıştır. Nüfus sayımlarının doğru şekilde değerlendirilebilmesi için aşağıda belirtilen metot uygulanabilir.

1960 yılından itibaren sağlıklı Nüfus Sayımı sonuçlarına ulaşılabilir. Buna rağmen farklı kaynaklar (TÜİK vb.) kimi zaman farklı değerler verebilir, bu konuda yerel yetkililer ile görüşülerek en uygun olan seçilmelidir. Ara bir nüfus sayımı olan 1997 Nüfus Sayımı değeri, grafiklerde süreklilik göstermeyebilir.

2007 yılında yeni metodolojili sayım sistemine geçilmesiyle (Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi: ADNKS), eski ve yeni nüfus değerlerinin devamlılığını tek grafikte vermek güçleşmiştir. Örneğin nüfus-zaman eğrilerinde keskin çıkışlar veya inişler gözlenebilmektedir.

Benzer şekilde, 2008 yılında değişen Belediye yapısı ile yerleşimlerin sürekliliğini tek grafikte vermek güçleşmiştir. Bu tarihe dek Belde Belediyeleri kırsal nüfus olarak anılırken, yeni yapıda kaldırılmalarıyla nüfusları kentsel veya kırsal nüfusa yedirilmiştir. Bu durumda yerel olarak yöre ile ilgili doğru bilgi edinilmesi gerekmektedir.

Zaman içerisinde gözlenebilecek bu kırılmalar, 3 farklı yerleşim yeri için gerçek veriler kullanılarak bir nüfus projeksiyonu grafiği üzerinde örnek olarak verilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. 3 farklı yerleşim yeri için örnek projeksiyon

Bu kapsamda sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

- 1960-2000 yılı nüfus sayımlarının sürekli tek eğri üzerine konması

- ADNKS değerinin sadece toplam nüfus grafiğinde ayrı bir nokta olarak grafiğe yerleştirilmesi
- Nüfus tahminlerinin 2000-2040 dönemi için yapılması ve toplam nüfus değerinin mümkün olduğunca ADNKS noktalarından geçirilmeye çalışılması

TÜİK tarafından, geçmiş nüfus artış hızlarına dayanılarak geliştirilen Türkiye için gelecekteki nüfus artış hızı değerleri Tablo 3.3' de verilmiştir.

Tablo 3.3. TÜİK nüfus artış hızı değerleri ve projeksiyonu

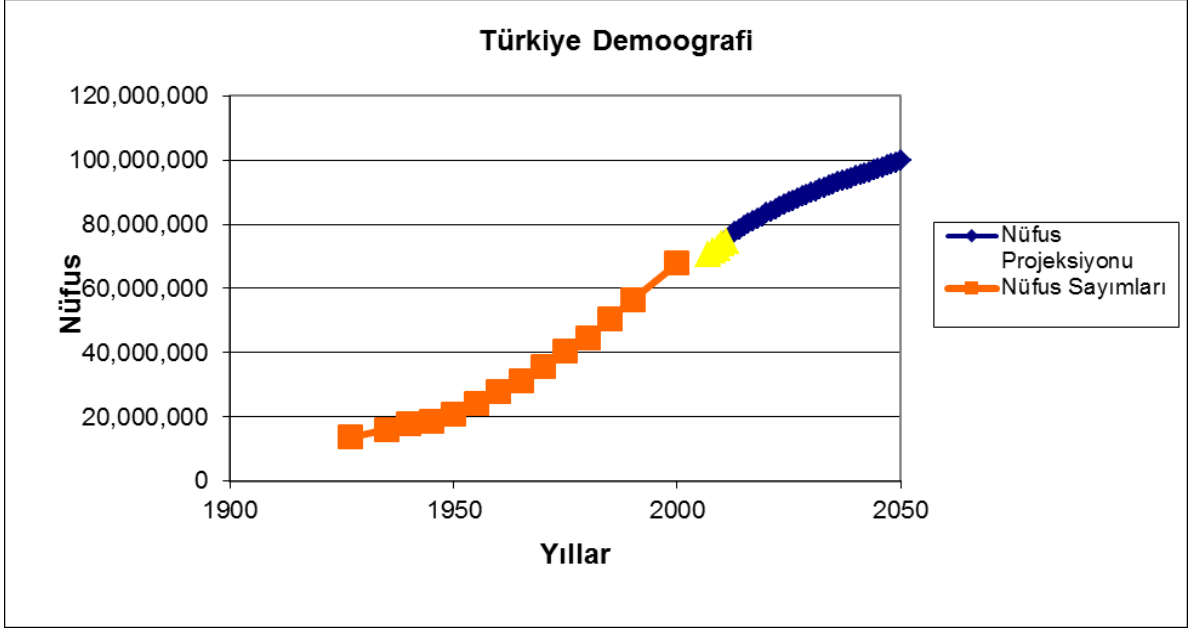
Yıl	Yıllık nüfus artış hızı (%)	Yıl	Yıllık nüfus artış hızı (%)	Yıl	Yıllık nüfus artış hızı (%)
1986	17,2	2001	13,5	2016	11,1
1987	17,1	2002	13,2	2017	10,8
1988	17,2	2003	12,8	2018	10,2
1989	17,2	2004	12,4	2019	9,9
1990	17,0	2005	12,2	2020	9,7
1991	16,6	2006	11,9	2021	9,4
1992	16,3	2007	11,7	2022	9,1
1993	16,0	2008	13,4	2023	8,3
1994	15,7	2009	13,3	2024	8,0
1995	15,4	2010	13,0	2025	7,7
1996	15,0	2011	12,8		
1997	14,7	2012	12,5		
1998	14,4	2013	11,8		
1999	14,1	2014	11,7		
2000	13,8	2015	11,4		

3.1.3.3. Türkiye İçin Nüfus Tahmini Çalışması

Tablo 3.3' e dayanarak geliştirilen nüfus tahminleri Tablo 3.4'de verilmekte olup özet grafik Şekil 3.10'da da yer almaktadır.

Tablo 3.4. Türkiye nüfus projeksiyonu

Yıllar	Kentsel	Yıllar	Kentsel
2010	74.724.269	2030	89.829.942
2011	75.620.960	2031	90.368.922
2012	76.528.412	2032	90.911.135
2013	77.446.753	2033	91.456.602
2014	78.376.114	2034	92.005.342
2015	79.316.627	2035	92.557.374
2016	80.109.793	2036	93.020.161
2017	80.910.891	2037	93.485.261
2018	81.720.000	2038	93.952.688
2019	82.537.200	2039	94.422.451
2020	83.362.572	2040	94.894.563
2021	84.029.473	2041	95.369.036
2022	84.701.709	2042	95.845.881
2023	85.379.322	2043	96.325.111
2024	86.062.357	2044	96.806.736
2025	86.750.856	2045	97.290.770
2026	87.358.112	2046	97.777.224
2027	87.969.618	2047	98.266.110
2028	88.585.406	2048	98.757.441
2029	89.205.504	2049	99.251.228
		2050	99.747.484



Şekil 3.10. Türkiye için nüfus sayımları ve nüfus tahminleri

3.2. Atıksu Miktar ve Özellikleri

3.2.1. Atıksu Akımları

Atıksu akımları kararlı veya tekdüze olmayıp saatlik, günlük, aylık ve yıllık değişimler gösterir. Atıksu arıtma tesisi tasarımında, atıksu debisi yanında mevcut durumda ve gelecekteki değişiminin de bilinmesi gerekir. Doğru bir tasarım için atıksu miktar ve özelliklerinin en gerçekçi biçimde öngörülmesi kritik önem taşır. Bu kapsamda atıksu akımlarının ölçülmesi gerekir. Ölçüm imkânının olmadığı durumlarda ise önceki tecrübeler ışığında atıksu akımları ile ilgili olabildiğince gerçeğe yakın tahminler yapılmaya çalışılır.

Ölçüm ve İzleme

Atıksu akımları ile ilgili debi ve kirletici parametre ölçümleri grafik veya tablolar halinde ifade edilebilir. Bir atıksu arıtma tesisi girişinde 7 gün süreyle ölçülen debi, KOİ ve AKM ölçümleri Şekil 3.11'deki gibi ifade edilebilir (Henze vd., 2002). Şekildeki debiler evsel, endüstriyel ve kurumsal atıksu akımları ile atıksu kanal şebekesinde içeriye veya dışarıya sızan yeraltı suyu/yağmursuyu akımlarının toplamıdır. Ancak atıksu akımlarının bileşenleri ve değişimleri ile ilgili bir tahmin yapılması durumunda, söz konusu bileşenlerin alt havzalar bazında ayrıştırılarak her birinin ayrı ayrı analiz edilip muhtemel değişimleri de öngörülmalıdır. Toplam akımla ilgili durum ise alt bileşen tahminlerinin toplamı olarak ifade edilmelidir.

Atıksu arıtma tesislerindeki numune alma ve ölçüm faaliyetleri kolay olmayıp özel itina gerektirir. Özellikle çamur yoğunlaştırma, çürütme ve susuzlaştırma birimlerinden gelen geri dönüş akımları ham atıksuya ızgara ve kum tutucu birimleri öncesi katılabileceği için debi ve kirletici konsantrasyonlarının doğru ölçümünü güçleştirir.

Şekil 3.6 benzeri bir grafik ile, ölçüm yapılan zaman aralığındaki en yüksek günlük (20.000 m³/gün) ve saatlik (1.100 m³/sa) debiler belirlenebilir. Elde yeterince uzun bir

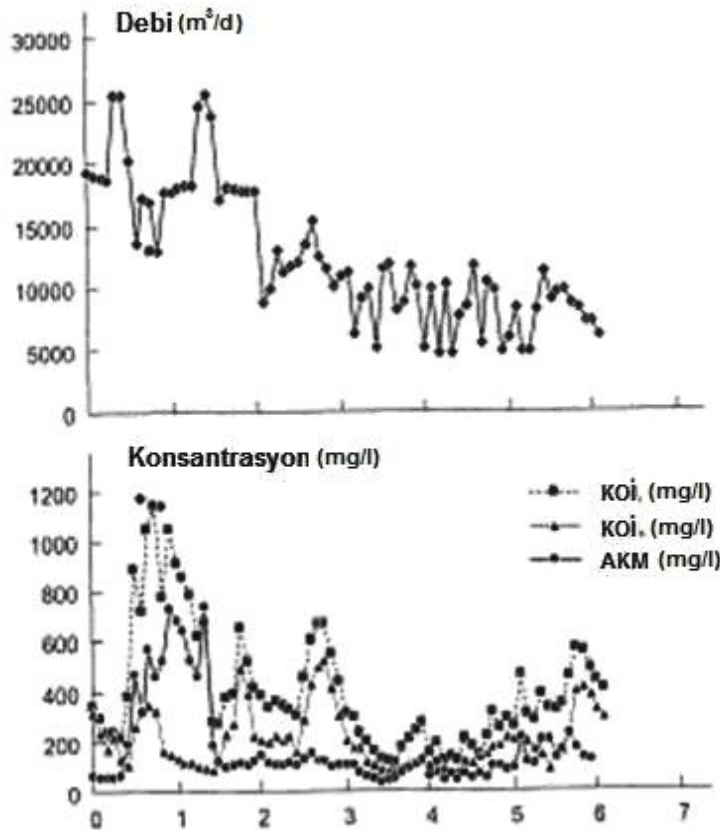
dönemi kapsayan günlük akım ölçümleri bulunduğu takdirde, arıtma tesisi tasarımında kullanılan iki temel akım hesaplanabilir:

$Q_{h,max}$: Ortalama en yüksek (maksimum) saatlik akım (her bir güne ait en yüksek saatlik akımların ortalaması), m^3/sa

$Q_{h,ort}$: Ortalama saatlik akım (mevcut saatlik akımların tamamının ortalaması), m^3/sa

$Q_{h,max}$, kanal ve havuzların hidrolik kapasitesinin belirlenmesi bakımından önemlidir.

Ortalama saatlik akım ($Q_{h,ort}$) özellikle işletme maliyetlerinin hesabı bakımından kritiktir.



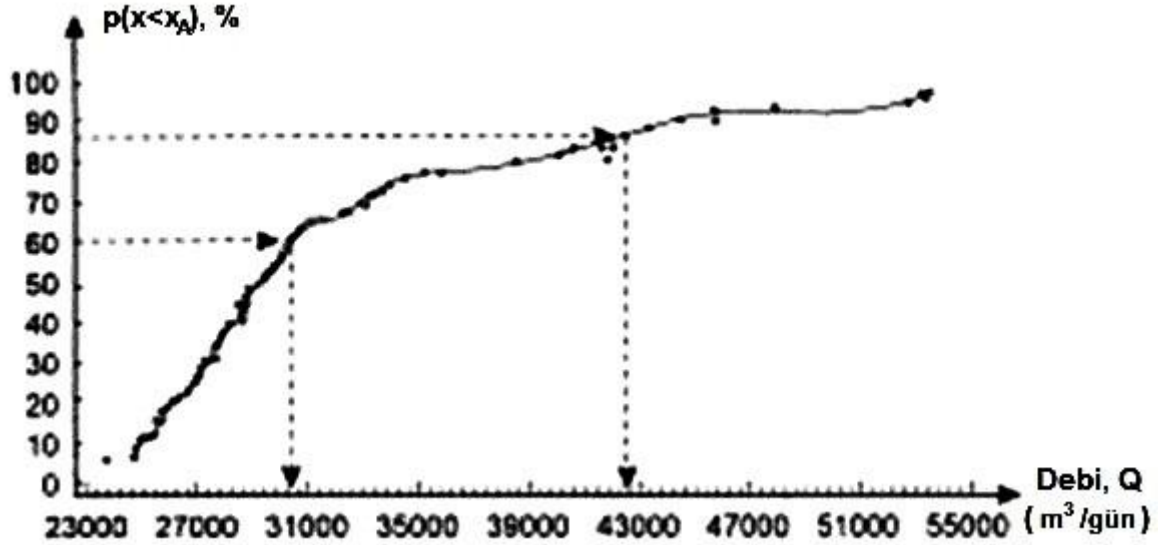
Şekil 3.11. Bir atıksu arıtma tesisi girişinde 7 gün süreyle ölçülen debi, KOİ ve AKM ölçümleri (Henze vd., 2002)

3.2.1.1 İstatistikî Analiz Yoluyla Hesap

Mevcut verilerin istatistikî analizi ile atıksu akımları ve kirlilik seviyelerinin değişimi hakkında daha kapsamlı değerlendirme imkanı sağlanır. Atıksu akımlarının ihtimal dağılımı genelde Normal veya log-Normal dağılıma uyar. Genel bir prensip olarak saatlik, maksimum/minimum günlük ve günlük akımlar log-Normal dağılıma, haftalık, 15 günlük, aylık ve yıllık ortalama akımlar ise, Merkezsel Limit Teoremi gereği, Normal dağılıma uyar. Atıksu akımları ve kirlenici seviyeleri ile ilgili mevcut veri tabanı genelde sınırlı sayıda veriyi içerdiğinden söz konusu verilerin özel olarak analizi gerekir (Henze vd., 2002).

Eklenik ihtimal (yüzdeler) grafikleri arıtma tesisi tasarımında önemli bir istatistikî değerlendirme aracıdır. Bu tür bir diyagram Şekil 3.12'de verilmiştir (Henze vd., 2002).

Genellikle %60'lık değer ortalama, %85'lik değer ise maksimum tasarım büyüklüğü olarak esas alınır.



Şekil 3.12. Danimarka Lundtofte Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi'nde 1984-89 dönemi atıksu akımlarının %'lik grafiği - $Q_{g,ort}=Q_{0,60}=30.400 \text{ m}^3/\text{gün}$, $Q_{g,max}=Q_{0,85}=42.500 \text{ m}^3/\text{gün}$ (Henze vd., 2002)

Atıksu verilerindeki anormal ve düzensiz veriler, eldeki verilerin kronolojik sıra ile bir zaman serisi olarak grafiksel değerlendirilmesi yoluyla kolayca belirlenebilir. Söz konusu düzensizlikler sıçrama, trend veya haftalık/mevsimlik değişimler halinde ortaya çıkabilir.

Mevcut veri seti küçükten büyüğe doğru sıralanıp Weibull eşitliği, $P(X \leq X_0) = m/(n-1)$ veya uygun diğer bir eşitlik esas alınarak oluşturulan eklenik ihtimal dağılım fonksiyonu logaritmik ihtimal grafiği kağıdında işaretlenerek, normal veya log-normal dağılıma uygunluk kolayca belirlenebilir. Weibull ifadesinde, m veri seti sıra numarasını (en küçük veride $m=1$), n ise toplam veri sayısını gösterir. Normal dağılıma uyan bir veri setinin eklenik dağılım fonksiyonu x eksenini aritmetik olan normal ihtimal grafiği kağıdında bir doğruya karşı gelir. Benzer olarak, log-normal dağılıma uyan bir veri setinin eklenik fonksiyonu da x eksenini logaritmik olan normal ihtimal grafiği kağıdında bir doğruya karşı gelir. Normal ve log-normal dağılım grafikleri yardımıyla incelenen veri setinin ortalama (X_{ort}) ve standart sapması (S_x) bulunabilir:

$$X_{ort} = X_{0,50}$$

$$S_x = X_{0,84} - X_{0,50} = X_{0,50} - X_{0,16}$$

Ancak, log-normal dağılımda ortalama değer %50 ihtimale karşı gelmez ve dağılımın özelliğinden faydalanılarak Tablo 3.5'deki formülle hesaplanabilir (Henze vd., 2002).

Atıksu verilerinin istatistiksel analizi ile ilgili daha detaylı bilgi için Henze vd. (2002) Bölüm 1, ATV 198-E ve Metcalf & Eddy (2003) Bölüm 3.3 ve 15.2'ye başvurulabilir.

Tablo 3.5. Normal ve log-normal dağılım parametrelerinin (X_{ort} ve S_x) grafik yolla hesabı

<i>Normal dağılım (veriler x eksenini aritmetik olan normal ihtimal grafisinde doğru üzerine düşer)</i>	<i>Log-normal dağılım (veriler x eksenini logaritmik olan logaritmik ihtimal grafisinde doğru üzerine düşer)</i>
<i>Ortalama: $X_{ort} = X_{0,50}$</i>	<i>$\log X_{ort} = \log (X_{0,50} + 1,15135)$</i>
<i>Standart sapma: $S_x = X_{0,84} - X_{0,50} = X_{0,50} - X_{0,16}$</i>	<i>$S_x = \log (X_{0,84} - X_{0,50}) = \log (X_{0,50} - X_{0,16})$</i>

3.2.1.2. Önceki Tecrübelerle Göre Hesap

Arıtma tesislerine gelmesi beklenen toplam atıksu debisi evsel, ticari/kurumsal, endüstriyel atıksular ile havza dışından taşınan (varsa $Q_{diğer}$: fosseptik, katı atık sızıntı suyu v.b.) ve sızma debisinin toplamıdır (Eroğlu, 2002):

$$Q = Q_{ev} + Q_{end} + Q_{sızma} + Q_{diğer} \quad (3.14)$$

Evsel debi, kişi başına günlük maksimum su tüketiminin nüfusla çarpımı ile ifade edilen değer atıksu kanal şebekesine intikal eden (ulaşan) kısmıdır. Kişi başına günlük maksimum su tüketimi (yaz aylarındaki günlük ortalama su tüketimi), yıllık ortalama tüketimin ~1,5 katıdır. Tüketilen suyun % 75~95'inin atıksu kanal şebekesine ulaşacağı kabulü ile yaz aylarındaki maksimum günlük evsel atıksu debisi;

$$Q_{ev, max} = \alpha \times Q_{max} \times N \quad (3.15)$$

ifadesiyle bulunabilir. Burada;

$Q_{ev, max}$: Yazlık evsel su tüketimini (sarfiyatı), $m^3/gün$
α	: Kullanılan içme suyunun atıksu kanal şebekesine intikal (ulaşım) oranını, %
Q_{max}	: Kişi başına yazlık su tüketimini, $m^3/N.gün$
N	: Yerleşim biriminin tasarıma esas nüfusunu, kişi

göstermektedir. Buna göre arıtma tesisi tasarımı bakımından önem taşıyan toplam debiler aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$Q_h = Q_{ev, max}/n_1 + Q_{san}/n_2 + Q_{sızma}/24 + Q_{diğer}/24 \quad (3.16)$$

$$Q_{24} = (Q_{ev, max} + Q_{san} + Q_{sızma} + Q_{diğer}) / 24 \quad (3.17)$$

$$Q_{min} = (Q_{ev, ort}/n_3 + Q_{san}/n_4 + Q_{sızma} / 24) \quad (3.18)$$

Burada;

Q_h	: Arıtma tesisi (proses) tasarım hesap debisini, m^3/sa
Q_{24}	: Günlük ortalama debiyi, m^3/sa
Q_{min}	: Günlük minimum debiyi, m^3/sa
n_1, n_2, n_3 ve n_4	: debi sabitlerini

göstermektedir.

n_1 , gün içindeki atıksu debisi salınımlarını temsil eder ve yerleşim biriminin nüfusuna bağlı olarak değişir (Tablo 3.6 ve (ATV 198-E)).

Tablo 3.6. Nüfusa bağlı olarak n_1 sabitinin değişimi (Eroğlu, 2002)

Nüfus	<1000	1.000-10.000	10.000-100.000	100.000-1.000.000	>1.000.000
n_1	10	12	14	16	18-20

n_2 , sanayi tesislerinin vardiya sayısı ile alakalıdır. Tek vardiya halinde $n_2=5-6$ saat, çift vardiya için $n_2=12-14$ saat, üç vardiya için ise $n_2= 24$ saat alınabilir.

n_3 , 37~40 saat aralığında değişir ve kanalizasyon şebekesinden minimum debinin geçtiği dönemi karakterize eder. Tek veya iki vardiyalı çalışan sanayi tesislerinden gelen debiler toplam minimum atıksu debisi hesabında dikkate alınmaz. Üç vardiya çalışan tesislerde ise $n_4= 24$ alınır.

3.2.1.3 Eşdeğer Nüfus

Atıksu debi ve kirlilik yükleri bazı durumlarda eşdeğer nüfus (EN) olarak belirtilir. Eşdeğer nüfus, birim atıksu debisi veya BOİ'ye bağlı olarak ifade edilebilir. Dünya genelinde yaygın biçimde aşağıdaki iki tanım kullanılır:

1. Eşdeğer nüfus (EN) = 60 g BOİ₅/gün
2. Eşdeğer nüfus (EN) = 0,2 m³/gün

Bu iki tanımda ülkeden ülkeye değişmeyen sabit büyüklükler esas alınır. Kanalizasyon şebekesine bağlı bir yerde yaşayan bireylerin kirlilik yükleri önemli ölçüde değişim gösterebilir (Tablo 3.7). söz konusu farklılıklar oturlan evin durumu ve konumu, kişilerin sosyo-ekonomik ve ekolojik hayat tarzı ile evlerde kullanılan alet/sistemler (mutfak öğütücüleri vb.) vb. etkenlere bağlıdır. Eşdeğer nüfus ve kişi başına kirlilik yükü kavramlarının yanlış anlaşılmasının dikkatli bir biçimde kullanılmaları gerekir. EN ve birim kirlilik yükü atıksu arıtma tesislerine gelen ortalama kirlilik yükünün ifade edilmesi bakımından pratik kolaylık sağlar. Türkiye şartlarında kullanılacak birim debi ve kirlilik yükleri için Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde (ÇOB, 2010) önerilen değerler kullanılabilir. Çeşitli ülkelerdeki kişi başına yıllık kirlilik yükleri Tablo 3.8'de verilmiştir (Henze vd., 2002).

Tablo 3.7. Kişi başı kirlilik yükü değişimleri (Henze vd., 2002)

BOİ (g/kişi-gün)	15-80
KOİ (g/kişi-gün)	25-200
N (g/kişi-gün)	2-15
P (g/kişi-gün)	1-3
Atıksu (m³/kişi-gün)	0,05-0,40

Tablo 3.8. Çeşitli ülkelerde kişi başına yıllık kirlilik yükleri (Henze vd., 2002)

Kirletici	Danimarka	Brezilya	Mısır	Hindistan	İtalya	İsveç	Türkiye	Uganda	ABD	Almanya
<i>BOİ (kg/kişi-yıl)</i>	20-25	20-25	10-15	10-15	18-22	25-30	10-15	20-25	30-55	20-25
<i>AKM (kg/kişi-yıl)</i>	30-35	20-25	15-25	-	20-30	30-35	15-25	15-20	30-55	30-55
<i>Top N (kg/kişi-yıl)</i>	3-5	3-5	3-5	-	3-5	4-6	3-5	3-5	5-7	4-6
<i>Top P (kg/kişi-yıl)</i>	1,5-2	0,6-1	0,4-0,6	-	0,6-1	0,8-1,2	0,4-0,6	0,4-0,6	1,5-2	1,2-1,6
<i>YAM (yüzey aktif maddeler) (kg/kişi-yıl)</i>	0,8-1,2	0,5-1	0,3-0,5	-	0,5-1	0,7-1,0	0,3-0,5	-	0,8-1,2	0,7-3
<i>Fenol (gr/kişi-yıl)</i>	10-20	-	3-10	-	3-10	-	3-10	-	-	-
<i>Hg (gr/kişi-yıl)</i>	0,1-0,2	-	0,01-0,2	-	0,02-0,04	0,1-0,2	0,01-0,02	-	-	-
<i>Pb (gr/kişi-yıl)</i>	3-10	-	5-10	-	5-10	5-10	3-10	-	-	-
<i>Cr (gr/kişi-yıl)</i>	2-4	-	2-4	-	2-4	0,5-1,5	2-4	-	-	-
<i>Zn (gr/kişi-yıl)</i>	15-30	-	15-30	-	15-30	10-20	15-30	-	-	-
<i>Cd (gr/kişi-yıl)</i>	0,2-0,4	-	-	-	-	0,5-0,7	-	-	-	-
<i>Ni (gr/kişi-yıl)</i>	2-4	-	-	-	-	0,5-3	-	-	-	-

3.2.1.4. Atıksu Debi ve Kirlilik Yüklerinin Geleceğe Dönük Tahmini

Atıksu arıtma tesislerinin yeniden tasarımı veya büyütülmesi çalışmalarında gelecek 10~30 yıllık nüfus, debi ve kirlilik yükü tahminlerine gerek duyulur. Daha önceleri (1950-60'lı yıllar) dünyanın çoğu ülkesinde özgül atıksu debilerindeki artış nispeten kararlı iken, özellikle 1970'li yıllarda ortaya çıkan teknolojik gelişmeler dolayısıyla atıksu debileri kararlı (evsel) veya azalan (endüstriyel) değerler almaktadır. Su ve atıksu tarifelerinin debi ve kirlilik yüküne bağlı olarak uygulanması, özellikle sanayi işletmelerini kirlilik önleme ve su kullanımını azaltmaya zorlamıştır. Kanalizasyon şebekelerinin iyileştirilmesi de özellikle sızıntı suyu debilerinin önemli oranda azalmasını sağlamıştır. Debi ve kirlilik yükü tahminlerinde, imar planlarında öngörülen nüfus ve sanayi üretimi artışları dikkate alınır. Atıksu arıtma tesisi projelerinde mevcut ile 10, 20 ve 30 yıl sonraki nüfus, su/atıksu debileri ve kirlilik yükleri tahmin edilmelidir (Henze vd., 2002).

3.2.2. Tasarıma Esas Verilerin Eldesi (ATV 198-E'den özetlenmiştir.)

Çalışma alanındaki atıksu debileri, meteorolojik veriler (yağışlı ve kurak günler), atıksu sıcaklığı ve arıtılan atıksuyla ilgili temel kirlenici konsantrasyonları vb. mevcut verilerin öncelikle derlenmesi sağlanmalıdır. Bu tür veriler yardımıyla kanalizasyon sisteminden deşarj edilen atıksu debisi ve atıksu arıtma tesisine gelmesi beklenen kirlilik yükü hesaplanabilir. Ancak atıksu kanalizasyon şebekesi ve arıtma tesisinin gerektiği şekilde doğru işletilip işletilmediği tahkik edilerek elde edilen verilerin gerçek durumu ne ölçüde temsil ettiği gösterilmelidir. Bu yüzden başlangıçtaki durumun doğru tanımlanması en önemli önceliktir.

Başlangıçtaki mevcut durumu ortaya koymak üzere başlıca aşağıdaki hususlar incelenmelidir:

- Mevcut verilerin tutarlılık ve doğruluğunun kontrolü
- Verilerin haftanın tamamını içine alan bir zaman serisi özelliği taşıyıp taşımadığı
- Analizlerin güvenilir veya akredite laboratuvarlarda yapıp yapılmadığı
- Numunelerin standart 2 veya 24 saatlik kompozit numune olup olmadığı
- Numune alma yerlerinin uygun seçilip seçilmediği

Yukarıda sıralanan hususlardan bir veya daha fazlasının sağlanmadığının belirlenmesi durumunda, eksik veriler ilave ölçümlerle tamamlanmalı ya da ampirik hesap yöntemleri ile tahmin yoluna gidilmelidir.

Ampirik yöntemlerle hesaplanan değerler, sınırlı sayıda bile olsa, ölçüm sonuçları ile kıyaslanıp düzeltilerek kullanılmalıdır. Atıksu debileri olabildiğince ölçüm verilerine dayalı olarak belirlenmelidir.

Kirlenici konsantrasyonları değişimi atıksu akımındaki saatlik salınımları yansıtır. Ayrıca, yağmur suları ve/veya sızma suları ile seyrelme ve kanalda önceden çökelen maddelerin yeniden askıda hale gelmesi vb. sebepler dolayısıyla konsantrasyon değerlerinde önemli değişimler gözlemlenebilir. Dolayısı ile ortalama konsantrasyonlar,

ilgili debilerin geçtiği zaman aralıklarında alınmış temsili kompozit numunelerde yapılmış ölçümlere dayanmalıdır.

3.2.2.1. Veri Toplama

a) Debi Ölçümü

Debi ölçümleri öncesi ölçüm cihazının son kalibrasyon tarihi kontrol edilmelidir. Gerekliğinde yeni kalibrasyon yapılmalıdır. Mevcut veri seti gerektiğinde uygun biçimde düzeltilerek yeni verilerle uyumlu (homojen) hale getirilmelidir.

Günlük debi ile birlikte gün içi akım salınımları da otomatik debi ölçer kayıtları ile 5 dakika veya 1 saatlik ortalama ölçümler halinde elde edilmelidir. 1 ve 2 saatlik ortalama debiler arıtma tesislerine gelen atıksu akımının gün içindeki salınımlarının ortaya konması bakımından anlamlıdır.

b) Kirlilik Yüklerini Belirlemek için Numune Alma

Atıksu arıtma tesislerinin herhangi bir noktasında atıksuların tipik parametrelerin sürekli ölçümü günümüz imkânları ile pek mümkün değildir.

Günlük kirlilik yükü, herhangi bir kirleticinin (örneğin C_{K01}) 24 saatlik kompozit numunede ölçülmüş değeri ile aynı günün atıksu debisi Q_d ($m^3/gün$)'nin çarpımıdır. Günlük kirlilik yüklerinin hesabında tekil /anlık numunelerde ölçülmüş kirletici konsantrasyonları esas alınmamalıdır.

Gün içindeki saatlik debi değişimlerini de karakterize etmek üzere atıksu numuneleri hacim veya debi ile orantılı, zaman orantılı otomatik numune alma cihazları veya elle alınan eşit hacimli numunelerle oluşturulan 2 saatlik kompozit numuneler olarak hazırlanarak günlük ortalama değerler söz konusu 12 adet ölçümün ortalaması ile elde edilmelidir.

Tekil/anlık numuneler genelde çamur akımları için kullanılır. Gün içinde alınmış birkaç tekil numuneden elde edilecek ölçümlerin ortalaması alınarak çamur yoğunlaştırma/susuzlaştırma birimlerinden gelen geri dönüş akımlarının kirlilik yükleri karakterize edilebilir.

Atıksu arıtma tesisi ile ilgili ölçüm ve numune alma noktaları tesisin akım şeması üzerinde açıkça işaretlenmelidir.

c) Tasarım İçin Gerekli Veriler

Debiler

Atıksu arıtma tesisi tasarımı için ortalama ve pik debilerin belirlenmesi gerekir. Ortalama debiler belli bir zaman aralığı esas alınarak (günlük kurak dönem debisi $Q_{DW,d}$ ($m^3/gün$) veya yıllık ortalama kurak dönem debisi $Q_{DW,aM}$ (L/s) gibi) ifade edilir. Pik debiler ise 1 veya 2 saatlik maksimum akım değerleri olarak verilir.

Prensip olarak atıksu arıtma tesisi veya kanalizasyon şebekesinde aşağıdaki debilerin ölçülerek belirlenmesi gerekir:

- Yıllık ortalama kurak dönem debisi, $Q_{DW,d,am}$ ($m^3/gün$) veya $Q_{DW,am}$ (L/s)
- Maksimum aylık ortalama infiltrasyon (sızma) debisi, $Q_{inf,Mm,max}$ (L/s) ve yıllık ortalama sızma debisi, $Q_{inf,am}$ (L/s)
- Gece ölçümleri ile belirlenmiş ortalama sızma debisi, $Q_{inf,am}$ (L/s), mevcut ise yıllık ortalama atıksu debisi, $Q_{WW,am}$ (L/s)
- Maksimum 1 veya 2 saatlik debiler, $Q_{h,max}$ veya $q_{2h,max}$ (L/s)
- Maksimum veya minimum ortalama saatlik kurak dönem debileri (1 veya 2 saatlik), $Q_{DW,h,max}$ veya $Q_{DW,2h,max}$ ve $Q_{DW,h,min}$ veya $Q_{DW,2h,min}$ (L/s)

Ayrık sistem kanalizasyon sistemleri sonundaki arıtma tesislerinin hidrolik tasarımında aşağıdaki debileri esas alınır:

- Maksimum kurak dönem debisi : $Q_{DW,h,max}$ (L/s)
- 1~3 yıllık bir dönemde ölçülmüş maksimum saatlik ayrık sistem debisi: $Q_{sep,h,max}$ (L/s)
- Minimum kurak dönem debisi : $Q_{DW,2h,min}$ (L/s)

Burada Q_{WW} , günlük kurak dönem akımları $Q_{DW,d}$ ($m^3/gün$) serisinden hesaplanan %85'lik akım değeridir.

Ön (ilk) çökeltim havuzlarının tasarımında aşağıdaki debiler dikkate alınır:

- Maksimum 2 saatlik ortalama kurak dönem debisi : $Q_{DW,2h,max}$ (m^3/sa)
- Maksimum yağışlı dönem debisi : Q_{comb} (m^3/sa)
- Maksimum ayrık sistem debisi : $Q_{sep,h,max}$ (m^3/sa)

d) Konsantrasyon ve kirlilik yükünün belirlenmesi

Kirlilik yükü ve kirlenici konsantrasyonları çeşitli maksatlarda kullanılacak verileri oluşturmak üzere gerçekleştirilir.

Atıksu Arıtma Tesisi Tasarım Kapasitesini Belirlemek için

Atıksu arıtma tesisi tasarım kapasitesi, arıtma tesisi girişindeki kurak dönem BOI_5 (veya KOI) konsantrasyonu değerleri serisindeki % 85'lik değer ile kurak dönem debisinin çarpımı sonucu bulunacak kirlilik yükü ($B_{d,BOI in}$, kg/gün) ile ifade edilir.

Tasarım kapasitesi, arıtma tesisi içindeki bazı birimlerden tesis başına verilen geri dönüş akımlarının kirlilik yüklerini içermez.

İlk çökeltim havuzları çıkışında ölçülmüş BOI_5 (veya KOI) değerleri ile çalışılması gerektiğinde, mevcut tesis içi geri dönüş akımlarının etkisi düşüldükten sonraki kurak dönem BOI_5 (veya KOI) konsantrasyonları serisinin % 85'lik değeri de ikinci kademe (biyolojik) arıtma birimlerinin tasarım kapasitesi hesabı için kullanılabilir. % 85'lik değer kurak dönemi temsilen derlenmiş asgari 30 BOI_5 (veya KOI) ölçümünü içeren 24 saatlik kompozit numunelerden elde edilmiş veri serisinden hesaplanmalıdır.

İkinci kademe (biyolojik) arıtma birimi kapasitesinin ayrıca hesaplanmak istenmesi durumunda, aktif çamur sistemi için 2 veya 3 haftalık ortalama BOI_5 (veya KOI), damlatmalı filtreler için ise 2 saatlik ortalama BOI_5 (veya KOI) değerleri esas alınmalıdır.

Bileşik Sistem Taşkın Kontrol Yapılarının Tasarımı için

Bileşik sistem taşkın kontrol yapılarının tasarım kapasitesi, arıtma tesisi girişindeki kurak dönem KOI konsantrasyon değeri ($C_{KOI,In,aM}$) ile ifade edilir.

Tasarım kapasitesi hesabı için, ortalamaları, 600 mg/L'nin altında kalan kurak dönem KOI konsantrasyon değeri ölçümlerini içeren numunelerden elde edilmiş veri serisi kullanılmalıdır.

Atıksu Arıtma Tesislerinin Tasarımı için

Azot ve fosfor gideriminin yapıldığı aktif çamur sistemlerinin boyutlandırılmasında;

- Atıksuyun yıllık sıcaklık değişimleri ve biyolojik reaktör çıkışındaki en yüksek ve en düşük sıcaklıklar (iki yıl boyunca gözlenen ve ~2 hafta süren)
- En fazla 2 ya da 4 haftalık eş zamanlı ortalama günlük koi yükü (kg/gün) ve S_{koi}/C_{koi} oranı

öne çıkmaktadır.

İki ya da 4 haftalık ortalama günlük KOI yükü değerleri, genel veri serisi ile orantılı olmadığı takdirde, söz konusu bu değerlerin % 85'lik seri dışında kaldığı söylenebilir ve hesaplamalara dahil edilmez.

Bu sebeple, oluşturulacak veri serisi, üç yıllık bir süre üzerine eşit aralıklarla dağıtılmış en az 40 günlük yükleri içermelidir. İlgili yük hesapları, küçük atıksu arıtma tesisleri için, ampirik formüller kullanılarak yapılmaktadır.

Kirletici yüklerin mevsimsel değişiminin tespiti ve % 85'lik değerlerin oluşturulabilmesi için, en az 2 x 40 günlük yük verisi gerekir. Maksimum veya minimum aylık ortalama yük değerinin, yıllık ortalama değerden \pm % 20 değişim göstermesi durumunda mevsimsel yük değişiminden bahsedilebilir.

Atıksu arıtma tesisleri tasarımında, gerekli oksijen miktarı hesabı için öngörülen pik faktör, günlük maksimum 2 saatlik TKN yükünün ($B_{2h,TKN,max,InB}$, kg/sa) günlük ortalama TKN yüküne ($B_{h,TKN,dM,InB}$, kg/sa) oranıdır.

Tasarıma esas oluşturan çamur hacim indeksi değeri, üç yıllık bir süre içerisinde alınan 2 haftalık veri serisi üzerinden ya da son iki yıla ait %85'lik değer esas alınarak hesaplanmalıdır.

Damlatmalı filtreler ve döner biyodisklerin boyutlandırılması için aşağıdaki yük bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır;

- BOI_5 , ($B_{d,BOI,InB}$, kg/gün)

- Azot ($B_{d,TKN,InB}$, kg/gün)

Bu değerlerden kullanılabilir olanlar zamanın %85'inde görülebilir olanlarıdır (%85'lik değeri aşmayan). İlgili veri serilerinin oluşturulabilmesi için, 1 ile 3 yıllık sürede görülen en az 40 değere ihtiyaç duyulmaktadır. Tasarıma esas serilerde yer alacak BOI_5 ve azot yüklerinin eş-zamanlı olması önem arz etmektedir.

Biyofiltrasyon (damlatmalı filtre vb.) gibi bazı belli başlı biyolojik prosesler kısa süreli bekleme süreleri esas alınarak tasarlanır. Günlük maksimum 2 saatlik KOI ($B_{2h,KOI,max,InB}$, kg/sa) ve TKN ($B_{2h,TKN,max,InB}$, kg/sa) yükleri bu değerlere verilebilecek olan örneklerdendir.

Çamur arıtma birimlerinin boyutlandırılması için günlük çamur hacmi, $Q_{Sl,d}$ ($m^3/gün$), katı madde konsantrasyonu, DR_{Sl} (kg/m^3) ve organik katı madde yüzdesi, oDR_{Sl} (%) verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çamur yükü ortalamasının ise birkaç haftalık kuru ve ıslak hava değerleri üzerinden hesaplanması önerilmektedir.

Atıksu arıtma tesisleri bünyesinde, bertaraf edilmesi gereken atık grupları;

- Kaba/ince ızgarada tutulan maddeler
- Kum tutucu konteynerlerinde biriktirilen maddeler

olarak öne çıkmaktadır. Bu madde miktarlarının, tasarıma esas ortalama değerleri de çamur yükünde olduğu gibi, birkaç haftalık verilere dayandırılarak hesaplanabilmektedir. Birleşik kanalizasyon sistemleri sonunda yer alan atıksu arıtma tesislerinde ise söz konusu madde miktarları büyük değişimler gösterebilmektedir.

Mevcut Duruma İlişkin Verilerin Belirlenmesi

Genel Bilgiler

Atıksu arıtma tesislerinin tasarımında, boyutlandırmanın yanı sıra, tesise gelecek kirletici yükünü karakterize eden bilgiler de önem taşımaktadır. Bu bilgileri aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür;

- İlgili mevzuatta yer alan çıkış suyu kalitesi
- Bölgeye ait bilgiler (toprak ve yeraltı suyu durumu, yüzey sularının seviyeleri, imar/çevre düzeni planları ve ilgili diğer envanter)
- Tesis alanına dair bilgiler (borulama/kablolama vb. için)

Deşarj Verilerinin Belirlenmesi

Su Tüketim Verileri

Tüketilen içme/kullanma ve proses suları ile sanayice kuyulardan temin edilen toplam su miktarı, yaklaşık olarak oluşan atıksu miktarına denk gelmektedir. Fakat bir kütle dengesi oluşturulduğunda, tüketilen tüm suyun atıksuya dönüşmediği net bir şekilde görülür. Bazı arıtılmış atıksular tarımda kullanılabilir ve bu yönlü bir kullanım suyu atıksu (deşarj edilen su) olmaktan çıkarır.

Yağış ve sızma debilerinin dahil edildiği, yıllık su tüketim verilerine dayalı bir hesap yaklaşımı, yıllık kurak dönem debisi serilerinin kullanıldığı bir tasarım debisi hesabından daha emniyetli neticeler verebilmektedir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, havzada, kanalizasyona (AAT'ye) bağlı nüfus ile su hizmeti alan nüfusun örtüşmesidir. Bu iki hizmet alanının farklı olması durumunda, tüketilen su miktarı hesabında, kanalizasyona bağlı nüfusa, haricen su hizmeti alan nüfus da dahil edilmelidir.

Su hizmet alanı ve atıksu havzasının farklı olması durumunda;

- Olası seriyi belirlemek için son 5 (iyi ihtimalle 10) yıla ait, sanayilerin kuyulardan temin ettiği suyun da dahil edildiği, su temini miktarları
- Sanayice kuyulardan temin edilen suyu da içeren, günlük su tüketiminin mevsimsel değişimi

bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Su tüketim verileri zamana göre çok farklılık göstermemekle birlikte, mevcut veri olmadığında, önceki yıla ait değer üzerinden, sanayi kullanımına yönelik bir azaltımda bulunularak mevcut tüketim için bir tahmin yapılabilir. Su tüketiminin ($W_{d,aM}$) 100-150 L/gün normal aralığını aştığı değerler için ise bunun sebepleri belirtilmelidir.

Kanalizasyon Debisi Verisi

Tasarım Debisinin Hesabı

Kanalizasyon debisi hesabı bir (az miktarda sızma debisi ile) ya da daha iyi ihtimalle 3~5 yıllık (yüksek miktarda sızma debisi ile) veri serilerine dayandırılmalıdır. Sadece bir yıla ait yağış değerleri gibi genel durumu yansıtmaktan uzak veriler hatalı sonuçlara yol açabilir.

İlk olarak aşağıdaki veriler hesaplanmalı/temin edilmelidir:

Kurak dönem gün sayısı; havzaya ait kayıtlı yağış verileri içerisinde, 1 (büyük havzalarda 2) gün süreyle görülen ve 1mm/gün yağış yüksekliği altında kalan yağışların görüldüğü günler dikkate alınarak oluşturulmuş bir veri serisi kullanılmalıdır. Kar erime dönemleri ve büyük su havzalarında yer altı suyu akışının gözlendiği yağışsız günler, kurak dönem olarak nitelendirilmemektedir.

Günlük kanalizasyon (atıksu) debisi, $Q_{gün}$ ($m^3/gün$)

Günlük kurak dönem debisi, $Q_{DW,d}$ ($m^3/gün$)

Kurak döneme ait en az 21 günlük debi verisi; söz konusu dönem (21 gün) verilerinden \pm % 20 farklılık gösteren değerler de dahil edilerek bir veri serisi oluşturulur.

Maksimum ve minimum kurak dönem pik ya da saatlik debileri ($Q_{DW,max}$, $Q_{DW,min}$ (L/s) - $Q_{DW,h,max}$, $Q_{DW,h,min}$ (L/s, m^3/sa))

Maksimum ve minimum ortalama 2-saatlik kurak dönem debileri ($Q_{DW,2h,max}$, $Q_{DW,2h,min}$ (m^3/sa))

Tasarım kolaylığı açısından (salınımların rahatça gözlemlenebilmesi için), ayrıca, zamana bağlı günlük atıksu debi ve zamana bağlı kurak dönem atıksu debi ölçüm grafiklerinin hazırlanması önerilmektedir.

Yıllık Ortalama Kurak Dönem Debisinin Belirlenmesi

Kirlilik yüklerinin belirlenmesinde kullanılan yıllık ortalama kurak dönem debisi, $Q_{DW,aM}$ (L/s), günlük kurak dönem debilerinin, $Q_{DW,d,aM}$ ($m^3/gün$), aritmetik ortalaması alınarak hesaplanır.

$$Q_{DW,aM} (L/s) = \frac{Q_{DW,d,aM} (m^3/gün)}{86,4}$$

Atıksu Debisinin Belirlenmesi

Yıllık ortalama atıksu debisinin ($Q_{ww,aM}$, L/s) hesabı iki farklı yöntemle dayalı olarak yapılmaktadır;

Gece ölçümlerine dayalı hesaplanan yıllık ortalama sızma debisi ($Q_{Inf,aM}$), yıllık kurak dönem debisinden çıkarılarak yıllık ortalama atıksu debisi elde edilir:

$$Q_{ww,aM} = Q_{DW,aM} - Q_{Inf,aM}$$

Yıllık ortalama atıksu debisi ($Q_{ww,aM}$, L/s), su tüketimine dayalı olarak hesaplanır. Su tüketim değerleri mevsimsel değişiklikler gösteriyorsa, anlık kurak dönem debilerine dayalı hesaplama yapılır.

Su tüketim verilerinin mevcut olduğu durumlarda, yıllık evsel ($Q_{DW,aM}$) ve endüstriyel ($Q_{Ind,aM}$) su kullanımları toplanarak ya da birim su tüketimi üzerinden yıllık ortalama atıksu debisi ($Q_{ww,aM}$, L/s) hesaplamaları yapılabilir:

$$Q_{ww,aM} = Q_{D,aM} - Q_{Ind,aM}$$

$$P \cdot \frac{W_{ww,d,aM}}{86400} + A_{C,Ind} \cdot q_{Ind} (L/s)$$

Burada,

P = Nüfusu, N

$A_{C,End}$ = Endüstriyel alanı, ha

Q_{End} = Birim endüstriyel alanda oluşan atıksu miktarını, L/s.ha

ifade etmektedir.

Hesaplanan bu değerle kıyaslanmak üzere, atıksu arıtma tesisinin yıllık ortalama debisinin raporlanması önerilmektedir. Böylece, gerekirse, tasarım ile ilgili hesaplamalar bir düzeltme faktörü kullanılarak rahatlıkla yeniden gözden geçirilebilecektir.

Sızma Debisinin Belirlenmesi

Sızma debisi ($Q_{Inf,aM}$, L/s) hesabı gece yapılan ölçümlerin analizine ya da atıksu debisi ile kurak dönem debisi arasındaki farka dayalı olarak hesaplanabilmektedir. Gece ölçümlerine dayalı yapılan hesaplamalarda iki husus öne çıkmaktadır:

- Sızma debisi ölçümleri, Cumartesiye Pazara bağlayan gecenin son dörtte birlik dilimi içinde (su tüketiminin minimum olduğu zaman dilimi) yapıldığında en gerçekçi neticeleri vermektedir.
- Gece ölçümleri ile belirlenen sızma debisi hesaplamalarında, her yıla ait en az 6 ayın değerlendirildiği 3 yıllık bir veri setine ihtiyaç duyulmaktadır.

Günlük Pik ve Gecelik (saatlik) Minimum Debilerin Belirlenmesi

Günlük pik ve saatlik minimum debilerin ($Q_{WW,max}$, $Q_{WW,min}$ - $Q_{WW,h,max}$, $Q_{WW,h,min}$) belirlenmesinde aşağıdaki hususlar dikkate alınır:

Kısa aralıklarla (5 dk, 1 sa vb.) alınan kurak dönem debilerinden oluşturulan seriler kullanılmaktadır.

Akım hızının pompa istasyonu çalışmalarından etkilenmediği kabulü yapılır.

Anlık sızma debisi değerleri kullanıldığı takdirde, söz konusu sızma debisinin yeterli sayıda veri analizi ile tayin edilmiş olması gerekmektedir.

AAT ile Sonlanan Birleşik Kanalizasyon Sistemlerinin Tasarımı

Birleşik sistem debisi, atıksu debisinin iki katına sızma debisi ilave edilerek hesaplanır.

$$Q_{Birleşik} = 2 \cdot Q_{WW} + Q_{Inf,aM}$$

Buradaki atıksu debisi (Q_{WW}), kurak dönem debisinin ($Q_{DW,d}$, m³/gün) % 85'lik değerine karşı gelmektedir.

Küçük yerleşim yerleri için %85'lik değer yıllık ortalamaya oranı $Q_{WW,d,85}/Q_{WW,aM} = p$. 1,5 olup pik değeri bölen, $x_{Qmaks}=8$ 'dir. $Q_{WW}/Q_{WW,maks,85} = (1,5 \times 24/8) Q_{WW,aM} = 4,5 Q_{WW,aM}$ ve $2 Q_{WW,maks,85} = 9 Q_{WW,aM}$ 'dir.

Büyük yerleşimler için $p \approx 1,15$ ve $x_{Qmaks}=16$ için $Q_{WW,d,85}/Q_{WW,aM}$ oranı uygulanabilir.

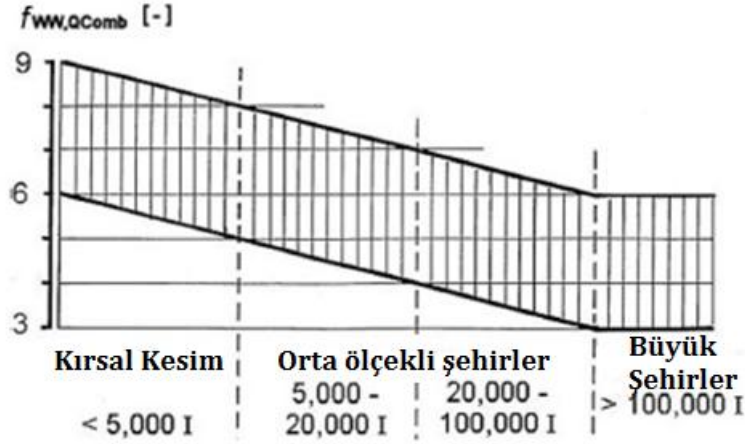
Buna göre, $2 Q_{WW,maks,85} = 3,5 Q_{WW,aM}$ olur.

Birleşik atıksular (atıksu+sızma debileri) için;

$$Q_{Birleşik} = 6 \times Q_{WW,aM} + Q_{Sızma,aM} [Q_{Sızma,pM} \text{ düzeltme faktörü}]$$

Yukarıdaki denklemdeki 6 sabiti yerine, hesaplamalarda atıksu akımı $f_{WW,QWC}$ kullanılacaktır (Şekil 3.13.). Grafikten sabit değer okunarak çıkarılan birleşik atıksu akımı Q_{CW} formülü aşağıdaki gibidir:

$$Q_{\text{Birleşik}} = f_{WW,QWC} \times Q_{WW,aM} + Q_{\text{Sızma,aM}}$$



Şekil 3.13. Yıllık ortalama atıksu akımına göre atıksu arıtma tesisine gelen optimum birleşik atıksu akımı hesaplamaları için $f_{WW,QWC}$ faktörünün aralığı

Ampirik Değerlere Dayanan Akım Verisi

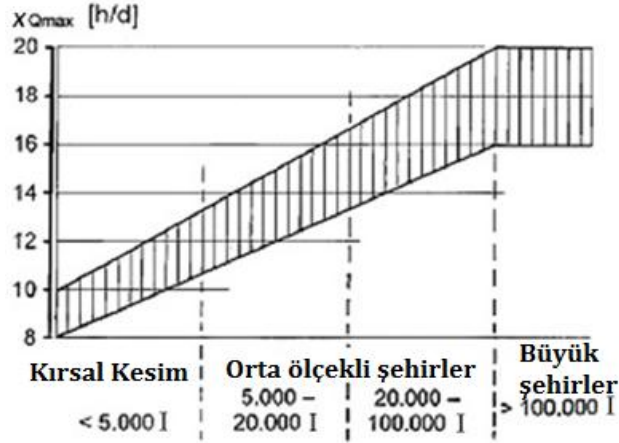
Yıllık atıksu akışı olan l/s birimli Q_{WW} , bölgede ikamet edenlere özgü atıksu debisi olan $I(L/gün)$ birimli $W_{WW,d}$ 'ye dayandırılarak tahmin edilebileceği gibi, alana özgü ticari ve/veya endüstriyel atıksu deşarj oranını ifade eden $I(s.ha)$ birimli q_{End} 'ye göre de hesaplanabilir:

$$Q_{WW,aM} = \frac{P \cdot W_{WW,d}}{86400} + A_{C,End} \cdot q_{End} \text{ (l/s)}$$

Su tüketimine ilişkin herhangi bir veri mevcut değil ise, bölgede ikamet edenlere özgü birim atıksu debisi $W_{WW,d}=100-150 I(N.d)$ olarak kabul edilebilir. Alana özgü endüstriyel/ticari atıksu deşarj miktarı ise, düşük miktarda atıksu üreten firmalar için çalışan sayısı baz alınarak, gerektiğinde bu değere turist (hareketli nüfus) sayısı da dahil edilerek, hesaplanır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, aynı yörede ikamet eden çalışanların hem firma görevlisi hem de yöre sakini olarak iki defa sayılma hatasına düşülmemesidir. Yoğun su kullanılan tesisler de (örneğin yiyecek işleme tesisleri) yerleşim alanında mevcut ise, su tüketim verileri ve/veya atıksu debi değerleri dikkate alınmalıdır. Toplam debi, sızma debisi de ayrıca dikkate alınmalıdır.

Ölçüm verisi mevcut değil ise, atıksu akımı x_{Qmaks} (debi faktörü) yardımıyla Şekil 3.14 kullanılarak hesaplanabilir. Alt çizgi $Q_{WW,maks}$ veya $Q_{WW,h,maks}$ 'a, üst çizgi ise $Q_{WW,2h,maks}$ 'a tekabül eder. Kuru hava şartlarında günlük pik değer aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$Q_{DW,maks}, Q_{DW,h,max} \text{ resp. } Q_{DW,2h,max} = \frac{24 \cdot Q_{WW,aM}}{x_{Qmaks}} + Q_{giriş,aM} \text{ (l/s)}$$



Şekil 3.14. Yerleşim alanının büyüklüğüne (ikamet edenlerin sayısına) bağlı olarak X_{Qmaks} (debi faktörü)

Daha detaylı bilgi ile boyutlandırma için kullanılabilecek uygulama örnekleri, ATV-DVWK Standartları'nda yer almaktadır.

Ampirik değerlere dayanan kirlilik yükü ve konsantrasyonların tahmini

%85'lik değer dahi tahmin edilmesine imkan vermeyen veri eksikliği ve ilave yeni veri temininin güç/pahalı olduğu durumlarda, kirlilik yüklerinin tahmini için aşağıdaki yaklaşımlar uygulanabilir:

Benzer şehir metodu (nüfus veya yapı bakımından) kullanılarak, elde mevcut benzer kirlilik yükü değerlerinin yöreye adapte edilmesi, Yörede ikamet eden kişi sayısına bağlı olarak kişi başına düşen kirlilik yükleri ile birleşik ticari ve/veya endüstriyel alanların üretime özgü değerleri yardımıyla tahkik.

Burada en kullanışlı metot, kişi başına düşen yük hesabıyla kirlilik yükünün kontrolü olup önerilen birim yük değerleri Tablo 3.9'da da özetlenmiştir.

Tablo 3.9. Kişi başına kirlilik yükleri $g(N.d)$, % 85'in altında kalan günler için

Parametre	Ham atıksu	Birincil çökeltim sonrası	$Q_{DW,2h,maks}$ bekleme süresi ile
BOI_5	60	45	40
KOI	120	90	80
AKM	70	35	25
TKN	11	10	10
P	1,8	1,6	1,6

BOI_5 , KOI , AKM , azot, fosfor ve gerekirse diğer parametreler için, boyutlandırmaya özgü değerlerin ayrı ayrı tahkiki büyük önem taşır (örn: $EN_{KOI,120} = 25.000$ |, $EN_{BOI5,60} = 15.000$ |). Ticari/endüstriyel bölgelerde kanalizasyon sisteminin boyutlandırması aşamasında, alana özgü atıksu akımı debisi çoğunlukla $q_{End} = 0,5$ l/(s.ha) olarak alınır. Bu, kanalizasyon ve drenaj sistemlerinin boyutlandırması için saatlik pik değerleri temsil eder.

Burada önemli olan, bu değerlerin yıllık atıksu akımının tahkikine elverişli olmayışı ve uygun şekilde azaltılmaları gerekliliğidir. Ayrıca, ticari alanlar için nüfus eşdeğerlerinin tahmini atıksu akımı üzerinden hesaplanması ve buradan yük tahkikine geçilmesi yapılamaz. Yol göstermesi açısından, bölgede çalışan tahmini kişi sayısının kullanılarak bir minimum değere ulaşılabilir.

Uygun yöntemlerle hesaplanan kirletici konsantrasyonları, kuru hava şartlarındaki ölçüm değerleri ile mukayese edilmeli ve büyük sapmaların gözlenmesi durumunda, uygun bir $Q_{d, kons}$ değeri seçilmelidir. Hesaplanan KO_1 ve BO_5 konsantrasyonlarının, ölçülen konsantrasyonlardan daha yüksek olacağı dikkate alınmalıdır. Bunun sebebi, Tablo 3.9'daki kişi başına düşen kirlilik yükleri ile yapılan hesaplamalarda, ortalama değerler yerine % 85'lik değerlerin kullanılmasıdır.

Tahmin Verisi

Mevcut durumda, özgül su tüketimi genel olarak sabit kalmakta olup, genelde ileriki yıllarda azalmaktadır.

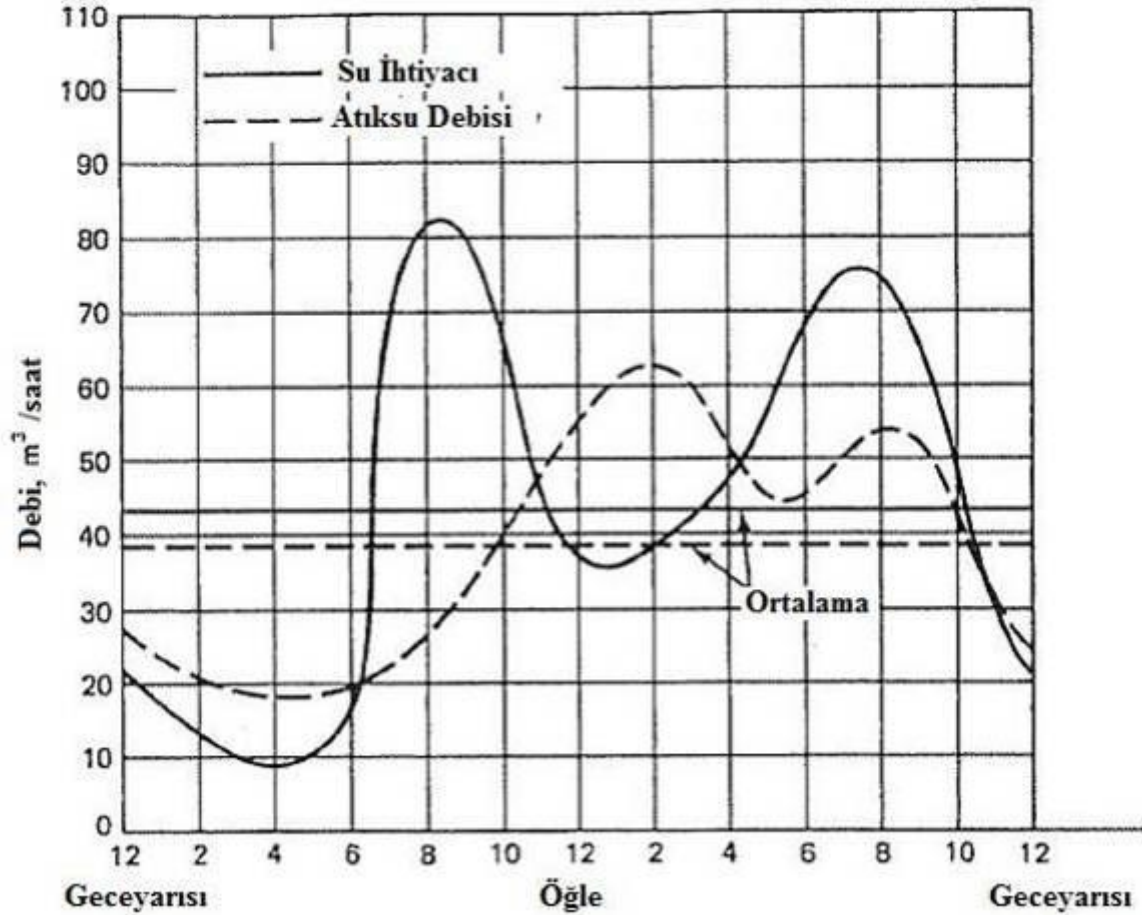
Kurum ve kuruluşlar, artan oranlarda su sarfiyatını azaltan önlemler almaktadır. Dolayısıyla, bu tarz tesislerden oluşan atıksu miktarı ve kirlilik yüklerinin artması genelde ancak yeni üretim hatlarının ilavesi ile mümkündür

İmar planlarında çoğunlukla, yeni kurulacak iskân ve ticari alanlar için önceden tahsis veya tanımlamalar yapılmış bulunmaktadır. Bu noktada imar planı doygunluk değeri önem kazanır. Ticari alanlar için de, su tüketimleri düşük ve yüksek olan tesisler ayrıştırılarak, atıksu hesabı her birinin özelinde yapılmalıdır. Yeni kurulacak endüstriyel tesisler için önceden kayıtlı veri mevcut değil ise, atıksu arıtma tesislerinin boyutlandırılmasında temel bir kural olarak orta derecede tipik su tüketimi esas alınarak hesap yapılır.

Atıksu arıtma tesisleri ve ayrıca birleşik kanalizasyon sistemlerinin boyutlandırılmasında esas alınan veriler, büyük su havzalarında birbirinden farklılık gösterebilmektedir.

3.2.3. Atıksu Akımlarının (Debi) Değişimi (Qasim, 1999)

Su ihtiyacındakine benzer tarzda atıksu akımlarında da, mevsimine, hava şartlarına, haftanın günlerine ve günün saatlerine bağlı değişimler gözlenir. Kurak hava şartlarında, günlük atıksu debileri gün içinde saatlik değişimler gösterir. Su ihtiyacı ve atıksu debilerinin günlük içerisindeki tipik değişimi Şekil 3.15'deki gibidir (Qasim, 1999). Kentsel yerleşimlerin su temin sistemine verilen içme/kullanma suyu debilerinin tipik değişim oranları Tablo 3.10'daki gibidir. Atıksu akımların grafiği, birkaç saatlik gecikme su ile ihtiyacı eğrisine paralellik gösterir. Atıksu akımlarındaki pikler, kanalizasyon şebekesinin depolama/biriktirme kapasitesi ve atıksuyun arıtma tesisinde depolanması için geçen süre dolayısıyla, su ihtiyacı eğrisi piklerine göre daha düşüktür. Ticari, kurumsal ve endüstriyel atıksu deşarjları da atıksu akımı piklerini düşürür.



Şekil 3.15. Su ihtiyacı ve atıksu debilerinin günlük değişimi (Qasim, 1999)

Tablo 3.10. Kentsel yerleşimlerin su temin sistemine verilen içme/kullanma suyu debilerinin tipik değişim oranları (Qasim, 1999)

Durum	Yıllık ve günlük ortalama içme/kullanma suyu debileri	
	Aralık	Tipik Değer
1 yıl içerisinde gözlenen en yüksek günlük debi	1,5-2,2	1,80
Maksimum debinin gözleendiği haftadaki günlük ortalama	1,3-1,6	1,40
Maksimum debinin gözleendiği aydaki günlük ortalama	1,1-1,4	1,20
Günlük pik	2,7-4,0	2,70*

*Günlük maksimumun 1,5 katı

Atıksu arıtma tesisi tasarımında göz önünde tutulması gerekli debi türleri aşağıdaki gibidir (Qasim, 1999):

Günlük ortalama debi: Ortalama debi yıllık atıksı akımı verilerine dayalı olarak hesaplanır. Kurak hava şartlarındaki 24 saatlik ortalama debiye karşı gelir. Bu debi, arıtma tesisi kapasitesini, debi değişimlerini ve organik yükü hesaplamak; biyokatı (çamur) üretimini ve kimyasal madde ihtiyacını belirlemek ile terfi ve birim arıtma maliyetlerini bulmak üzere kullanılır.

Maksimum kurak hava debisi: Bu debi günlük kurak hava akımları grafiğinin maksimum (pik) noktasına karşı gelir (Şekil 3.16). Gün içinde kısa bir süre gözlenen bu debi

kanalizasyon şebekesindeki çökeltilerin süpürülerek yıkanmasını sağlar. Arıtma tesislerinin bazı birimleri mutlaka bu debiye göre tahkik edilmelidir.

Pik yağışlı hava debisi: Bu debi şiddetli yağışlar esnasında veya sonrasında oluşur. Pik, yağışlı hava debisi genellikle 2 yıl tekerrürlü ve 24 saat süreli bir yağış dolayısıyla arıtma tesisi girişinde kaydedilen maksimum 2 saatlik debi olarak ifade edilir. Atıksu kanalizasyon sisteminde, pik debi/ortalama debi oranı 3,5 civarında alınır. Saatlik pik debi (veya en yüksek 2 saatlik debi) atıksu ana toplayıcıları, arıtma tesisindeki boru ve kanallar, terfi merkezleri, debi ölçme sistemleri, ızgara ve kum tutucular, çökeltim ve dezenfeksiyon birimleri ve giriş/çıkış yapılarının hidrolik tasarımında esas alınır:

Minimum saatlik debi: Tipik günlük kurak hava akımları grafiğinin en düşük akımına karşı gelir (Şekil 3.16) Minimum saatlik debi ortalama debinin %30~%70'i aralığında değişir. Minimum saatlik debi, debimetreler, kimyasal madde dozlama ekipmanları ve pompa seçiminde kritik önem taşır.

Uzun süreli ekstrem akımlar: Yılın belli dönemlerinde toplumun özel günleri ve faaliyetleri (fuarlar, turizm mevsimi, festivaller, dini/millî bayramlar, ramazan ayı, tatil dönemleri vb.) sonucu olarak, birkaç gün süreyle oluşan ekstrem maksimum veya minimum akımlardır. Uzun süreli ekstrem akımlar düşük veya yüksek değerler olarak gözlenebilir. Arıtma tesislerinin havuz ekipmanlarını ekstrem organik ve hidrolik şoklara karşı direncini test etmek üzere söz konusu veriler dikkatle değerlendirilmelidir. Maksimum ve minimum 5 gün süreli debiler ortalama debinin sırası ile ~2,5 ve ~0,40 katıdır. Maksimum ve minimum 10 günlük debilerin ortalama debiye oranları da sırası ile 1,7 ve 0,2'dir (Metcalf&Eddy, 2003).

Elde uzun süreli ve güvenilir atıksu akım kayıtlarının mevcut olmadığı durumlara yukarıda tanımlanan debilerin hesabında, mühendislere aşağıdaki yaklaşımlar uygulanmaktadır:

- Öncelikle nüfus, endüstriyel ve ticari faaliyetlerin planlanan atıksu arıtma tesisi için öngörülen hizmet ömrü boyunca gelişimi uygun tekniklerle olabildiğince dikkatli ve itinalı biçimde belirlenir.
- Halihazır durumdaki kişi başına su tüketimleri ve gelecekteki muhtemel seyri dikkate alınarak, proje süresindeki ortalama su ihtiyaçları tahmin edilir. Bu maksatla, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Bölüm II dikkate alınabilir.
- Ortalama su tüketimi fatura edilen su miktarı ve teknik olmayan kayıp/kaçaklar dikkate alınarak belirlenebilir. Bu şekilde belirlenen içme/suyu miktarının ~%70-90'nı (sızma/bacalardan girişler hariç) kentsel atıksu debisine karşı gelir. Büyük tekil endüstriler ile varsa mücavir alanlardan gelen fosseptik deşarjları ile katı atık depolama tesisleri sızıntı suyu miktarları da ayrıca dikkate alınır.
- Pik ve minimum kurak hava debileri literatürde önerilen çeşitli grafikler veya eşitlikler yardımıyla ortalama debiye bağlı olarak hesaplanır.

Kurak hava şartlarında ekstrem atıksu akımlarının ortalama debiye oranı olarak ifade edile pik faktörleri için nüfusa bağlı olarak geliştirilen Şekil 3.16'daki grafik veya aşağıdaki ampirik eşitlikler kullanılabilir (Qasim, 1999):

$$m = 1 + (14/4 N^{1/2})$$

$$m = 5 / N^{0,167}$$

Burada;

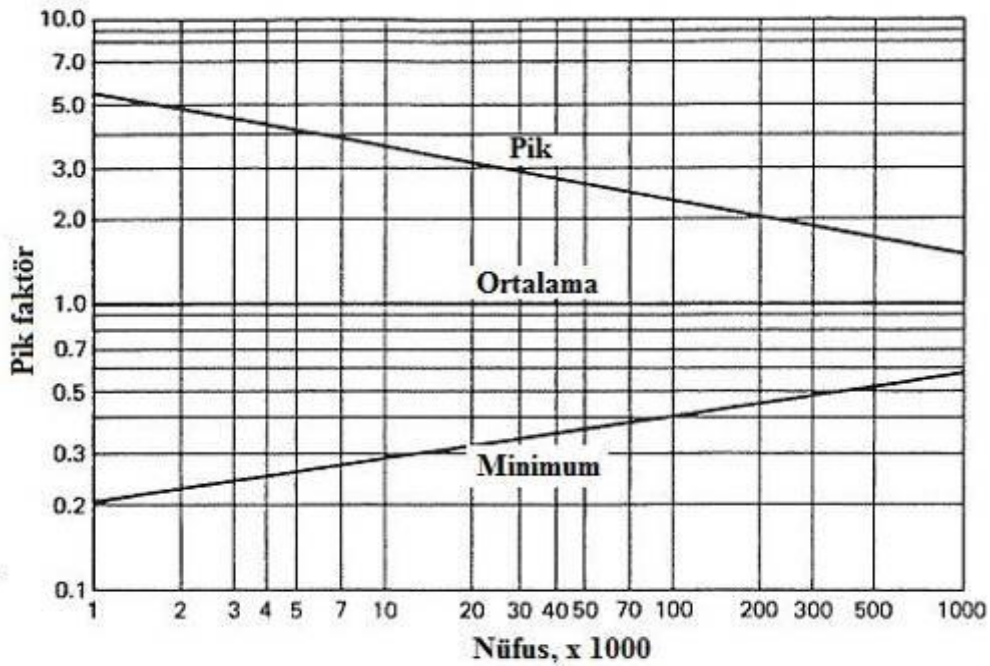
N: x 1000 olarak nüfusu (5000 kişilik bir yerleşimde, N=5)

m: Q_{maks}/Q_{ort}

oranını göstermektedir.

$$Q_{maks} = 3,2 Q_{ort}^{0,833}$$

Minimum debiler de küçük ve orta büyüklükteki yerleşimlerde, günlük ortalama kurak hava debisinin sırasıyla %33 ve %50'sine eşit alınabilmektedir.



Şekil 3.16. Kurak hava şartlarında ekstrem atıksu akımlarının ortalama debiye oranı (Qasim, 1999)

Bazı yerleşimlerde ise atıksu kanalizasyon sistemi tasarımında, sızma ve bacalardan giren yağmur suları da dahil olmak üzere, 250 L/ N-gün gibi belirli sabit bir atıksu debisi işe tasarım yapılması yoluna gidilebilmektedir.

Atıksu debilerini azaltıcı önlemler:

Banyo/duş sularının bina içinde yeniden kullanımı su tüketimini %30-40 oranında azaltmaktadır. Kanalizasyon sisteminin yeni malzemeler kullanılarak ve/veya mevcut malzemelerle özenle tekniğine uygun yapımı sağlanarak, bilhassa sızma atıksularının önemli oranlarda azaltımı mümkün olabilmektedir.

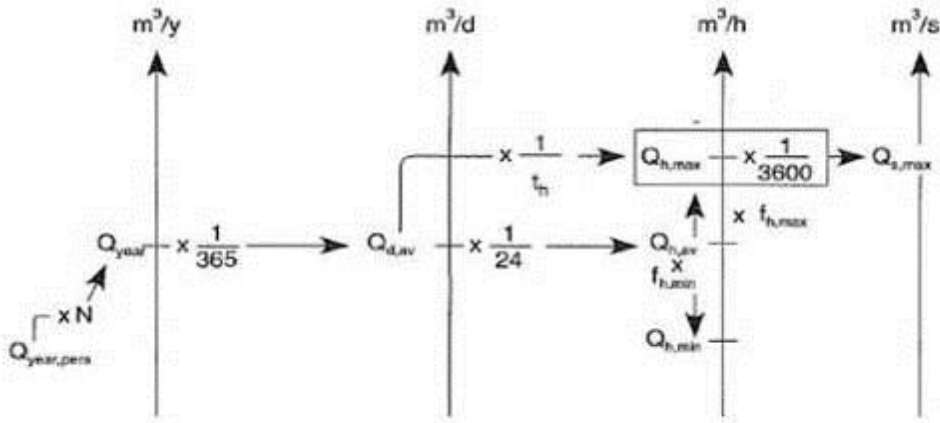
3.2.4 Önceki Tecrübelerle Göre Debi Hesabı İçin Diğer Bir Yaklaşım

Atıksu akımları ile ilgili yeterli sayıda güvenilir verinin mevcut olmadığı durumlarda önceki tecrübelerle dayalı tahmin ve hesap yöntemi uygulanır. Bu maksatla atıksu akımı başlıca;

- Evsel atıksu
- Endüstriyel ve ticari/kurumsal atıksu
- Sızıntı suyu

bileşenlerine ayrılarak her bir bileşene özgü hesap ve tahminler yapılır (Henze vd., 2002).

Evsel atıksu akımı hesabı Şekil 3.17’de belirtildiği üzere yapılır. Hesapta nüfus ve Tablo 3.11’de özetlenen kişi başına yıllık atıksu üretimi ($q_{y,atıksu}$) esas alınır. Kişi başına yıllık ortalama evsel atıksu oluşumu verilerinden hareketle günlük ve saatlik ortalama, minimum ve maksimum debiler hesaplanır (Henze vd., 2002).

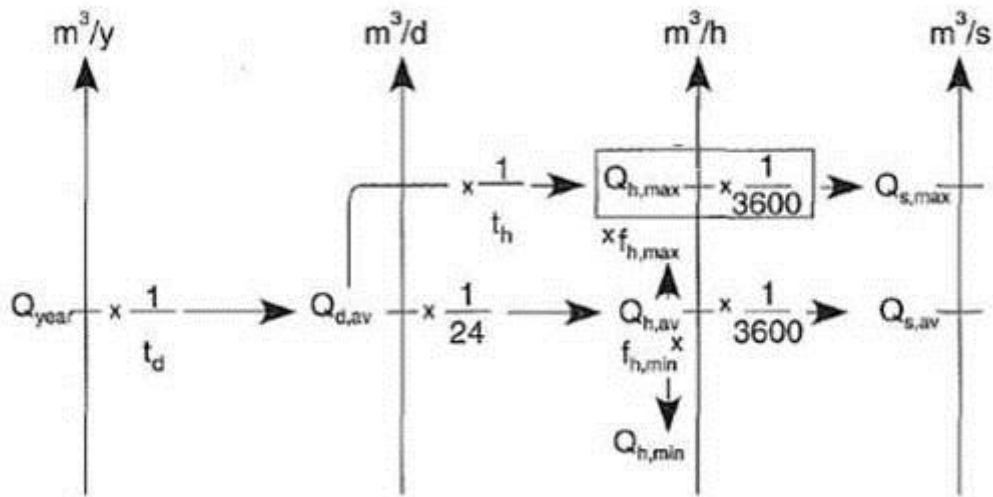


Şekil 3.17. Evsel atıksu debilerinin hesabı

Endüstriyel ve ticari/kurumsal atıksuların hesabı da Şekil 3.18’de belirtilen yöntemle yapılır. Bu kapsamda endüstriyel atıksu debileri, ilgili endüstri de birim üretim başına yıllık ortalama atıksu deşarjı (özgül atıksu debisi) esas alınarak bulunur. Örneğin yılda 10^6 hL (10^6 m³) bira üreten bir endüstrinin tipik atıksu üretimi, özgül atıksu debisi 0,6 m³ atıksu/hL bira alınarak, $0,6 \times 10^6$ m³/yıl bulunur. Endüstriyel ve ticari/kurumsal faaliyetler dolayısıyla oluşacak atıksu debilerinin hesabında esas alınabilecek tipik özgül debiler Şekil 3.18. ile Tablo 3.12 ve Tablo 3.13’de verilmiştir (Henze vd., 2002). Organize sanayi bölgeleri için özgül atıksu debisi 0,5-1,0 L/s.ha alınabilir. Küçük sanayi sitelerinin özgül atıksu debisi ise $\sim 0,2-0,5$ L/s.ha alınabilir.

Tablo 3.11. Kişi başına yıllık ortalama evsel atıksu üretimi (Henze vd., 2002)

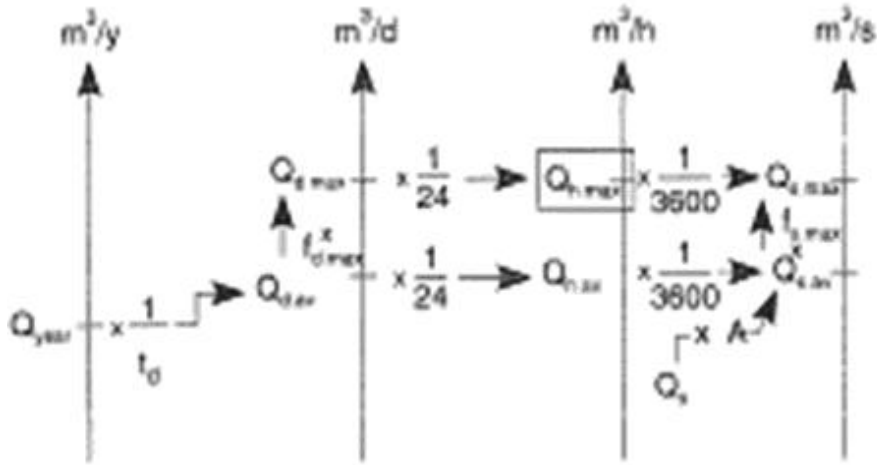
Ülke	Yıl	m ³ /N.yıl (sızma hariç)	m ³ /N.yıl (sızma dahil)
Arnavutluk	1977		60
Cezayir	1977	40	
Avustralya	1981		90
Avusturya	1969	50	
Belçika	1969	30	
Brezilya	1975		90
Danimarka	1982	55	
Mısır	1977	55	
Finlandiya	1973		210
Fransa	1975		75
Fransa	1976	35	
Yunanistan	1975	60	
İtalya	1970	85	
İtalya	1972	80	
Norveç	1978	55	
İsveç	1969	100	
İsveç	1976	95	
İspanya	1969	90	
İspanya	1977	50	
İsviçre	1970	85	
İsviçre	1976	75	
İsviçre	1978	85	
Suriye	1977	35	
Hollanda	1970	35	
Hollanda	1976	50	
Tunus	1977	30	
Türkiye	1977	50	
İngiltere	1969	60	
İngiltere	1976		70
ABD	1977	140	
Batı Almanya	1970	40	
Batı Almanya	1976	55	

**Şekil 3.18.** Endüstriyel ve ticari/kurumsal atıksuların hesabı

Tablo 3.12. Ticari/kurumsal faaliyetler için özgül atıksu debileri (Henze vd., 2002)

Tür	Hacim (m ³ /yıl)	birim başına
Okul	8-10	kişi
İşyerleri	15-20	çalışan
Kamp alanları	25-30	günlük kişi
Kulübeler	40-60	ev
Askeri tesisler	50-60	daimi sakin
Hastaneler	15-20	çalışan
Hastaneler	150-200	yatak
Bakımevleri ve sanatoryumlar	100-150	yatak
Oteller ve konukevleri	60-100	yatak
Restoranlar	100-150	çalışan
Hamam ve havuzlar	50-60	ziyaretçi

Sızma (infiltrasyon) debisi hesaplama yaklaşımı da Şekil 3.19'da özetlenmiştir. Sızma debisi atıksu kanal şebekesi yaşı, uzunluğu, yapım kalitesi ve bölgedeki yeraltı suyu seviyesine bağlı olarak değişir. Özgül sızma debisi genellikle birim alandan gelen debi (L/s.ha), birim kanal çapı x uzunluğu veya birim kanal uzunluğu başına debi (m³/gün.mm x km) cinsinden ifade edilir (Metcalf & Eddy, 2003). Uygulamada sızma debisi genellikle infiltrasyona maruz (yeraltı suyu seviyesi yüksek düşük kotlu kesim) alanın birim sızma debisi ile çarpımı yoluyla bulunur. Sızma debisine, muayene bacalarının kapaklarından şiddetli yağış dönemlerinde şebekeye giren debiler de (~ 0,4 m³/baca.gün) ayrıca ilave edilir.

**Şekil 3.19.** Sızma (infiltrasyon) debisi hesaplama yaklaşımı

En basit fakat hataya açık tahmin yöntemi ise sızma suyu debisinin atıksu debisinin belli bir yüzdesi (% 50~100) olarak alınmasıdır.

Kurak ve sıcak iklimli yerleşimlerde sızma negatif değerler de alabilir (kaçma). Kaçma (eksfiltrasyon) kanal şebekesi yapım kalitesine bağlı olarak toplam atıksu debisinin %50'si seviyelerine ulaşabilir.

Tablo 3.13. Endüstriler için özgül debiler ve kirlilik yükleri, 1kg BOİ₇=0,85 kg BOİ₅ (Henze vd., 2002)

<i>Endüstri/Üretim</i>	<i>Su Tüketimi</i>	<i>Birim Atıksu Üretimi</i>	<i>Birim Kirlilik Yükü</i>	<i>Çıkış Suyu Kirlilik Yükü</i>
<i>Süt ve Süt Ürünleri</i>				
<i>Süt Üretimi</i>	0,7-2,0 m ³ /ton	0,7-1,7 m ³ /ton	0,4-1,8 kg BOİ ₇ /ton	500-1500 g BOİ ₇ /m ³
<i>Peynir Üretimi</i>	0,7-3,0 m ³ /ton	0,7-2,0 m ³ /ton	0,7-2,0 kg BOİ ₇ /ton	1000-2000 g BOİ ₇ /m ³
<i>Karışık Üretim</i>	0,7-2,5 m ³ /ton	0,7-2,0 m ³ /ton	0,7-2,0 kg BOİ ₇ /ton	1000-2000 g BOİ ₇ /m ³
<i>Hayvan Kesimi Yan Ürünleri İşleme ve Benzeri Tesisler</i>				
<i>Hayvan Kesimi:</i>		3-8 m ³ /ton üretim	7-16 kg BOİ ₇ /ton üretim	500-2000 g BOİ ₇ /m ³ 10-20 g TP/m ³
<i>Hayvan Kesimi ve Yan Ürün İşleme:</i>		3-12 m ³ /ton üretim	10-25 kg BOİ ₇ /ton üretim	500-2000 g BOİ ₇ /m ³
<i>Yan Ürün İşleme:</i>		1-15 m ³ /ton üretim	6-15 kg BOİ ₇ /ton üretim	500-1000 g BOİ ₇ /m ³
<i>İçecek Sanayii</i>				
<i>Bira ve Alkolsüz İçecekler</i>	3-7 m ³ /m ³ *	3-7 m ³ /m ³ *	4-15 kg BOİ ₇ /ton üretim	1000-3000 g BOİ ₇ /m ³
<i>Konserve İmalat Sanayii</i>				
<i>Patates (kuru soyma)</i>	2-4 m ³ /ton		3-6 kg BOİ ₇ /ton	1000-2000 g BOİ ₇ /m ³
<i>Patates (ıslak soyma)</i>	4-8 m ³ /ton		5-15 kg BOİ ₇ /ton	2000-3000 g BOİ ₇ /m ³
<i>Pancar kökü</i>	5-10 m ³ /ton		20-40 kg BOİ ₇ /ton	3000-5000 g BOİ ₇ /m ³
<i>Havuç</i>	5-10 m ³ /ton		5-15 kg BOİ ₇ /ton	800-1500 g BOİ ₇ /m ³
<i>Bezelye</i>	15-30 m ³ /ton		15-30 kg BOİ ₇ /ton	1000-2000 g BOİ ₇ /m ³
<i>Karışık üretim</i>	20-30 m ³ /ton konserve			
<i>Balık</i>	8-15 m ³ /ton	4-8 m ³ /ton	10-50 kg BOİ ₇ /ton	5000-10000 g BOİ ₇ /m ³
<i>Tekstil Endüstrisi</i>				
<i>Karışık üretim:</i>	100-250 m ³ /ton	100-250 m ³ /ton		100-1000 g BOİ ₇ /m ³
<i>Pamuk:</i>		100-250 m ³ /ton	50-100 kg BOİ ₇ /ton	200-600 g BOİ ₇ /m ³
<i>Yün:</i>		50-100 m ³ /ton	70-120 kg BOİ ₇ /ton	500-1500 g BOİ ₇ /m ³
<i>Sentetik elyaf:</i>		150-250 m ³ /ton	15-30 kg BOİ ₇ /ton	100-300 g BOİ ₇ /m ³
<i>Deri Endüstrisi</i>				
<i>Karışık üretim:</i>	20-70 m ³ /ton	20-70 m ³ /ton	30-100 kg BOİ ₇ /ton 1-4 kg Cr/ton	1000-2000 g BOİ ₇ /m ³ 30-70 g Cr/m ³
<i>Post üretimi:</i>	20-40 m ³ /ton	20-40 m ³ /ton	0-100 kg S ²⁻ /ton	0-100 g S ²⁻ /m ³
<i>Kürk üretimi:</i>	60-80 m ³ /ton	60-80 m ³ /ton	10-20 kg TN/ton	200-400 g TN/m ³
<i>Çamaşırhane</i>	20-60 m ³ /ton	20-60 m ³ /ton	20-40 kg BOİ ₇ /ton 10-20 kg TP/ton	300-800 g BOİ ₇ /m ³ 10-50 g TP/m ³
<i>Galvenizleme</i>	20-200 l/m ²	20-200 l/m ²	3-30 g hm/m ²	150 g hm/m ³
		<1m ³ /h*	2-20 g CN/m ²	100 g CN/m ³
		max. 10 m ³ /h		1-10 g hm/m ³ 0,1-0,5 g CN/m ³

Tablo 3.13. Endüstriler için özgül debiler ve kirlilik yükleri, 1kg BOİ₇=0,85 kg BOİ₅ (Henze vd., 2002) (Tablo 2.3' ün devamı)

Endüstri/Üretim	Su Tüketimi	Birim Atıksu Üretimi	Birim Kirlilik Yükü	Çıkış Suyu Kirlilik Yükü
<i>Elektrik Devreleri Sanayii</i>	<i>0,5-1,5 m³/m²</i>	<i>0,5-1,5 m³/m²</i>	<i>100-200 g Cu/m²</i> <i>0-5 g Sn/m²</i> <i>0-5 g Pb/m²</i>	<i>100-200 g Cu/m²</i> <i>0-5 g Sn/m²</i> <i>0-5 g Pb/m²</i>
<i>Fotoğrafçılık</i>	<i>0,5-1,5 m³/m²</i>	<i>0,5-1,5 m³/m²</i>	<i>200-400 g BOİ₇/m²</i>	<i>400-700 g BOİ₇/m³</i> <i>50-100 g EDTA/m³</i>
<i>Matbaa/Ozalit</i>	<i>30-40 m³/gün</i>	<i>30-40 m³/gün</i>	<i>7 kg Zn/gün</i> <i>0,04 kg Ag/gün</i> <i>0,03 kg Cr/gün</i> <i>0,01 kg Cd/gün</i>	<i>170-230 g Zn/m³</i> <i>1,0-1,3 g Ag/m³</i> <i>0,8-1,0 g Cr/m³</i> <i>0,2-0,3 g Cd/m³</i>
<i>Oto Tamir/Yıkama</i>				
<i>otomobil: 400 l (db)</i>	<i>400 l (db)</i>			
<i>otomobil: 200 l (yb)</i>	<i>200 l (yb)</i>			
<i>kamyon: 1200 l (yb)</i>	<i>1200 l (yb)</i>			

3.2.5. Atıksu Bileşenleri

Atıksu bileşenleri Tablo 3.14' deki gibi gruplandırılabilir. Aşağıda, önemli ölçüde endüstriyel atıksu deşarjı içermeyen tipik evsel ve kentsel atıksuların bileşimleri ile ilgili bilgiler özetlenmiştir (Henze vd., 2002).

Tablo 3.14. Atıksu Bileşenleri (Henze vd., 2002)

<i>Bileşen</i>	<i>İlgi Alanı</i>	<i>Çevresel Etki</i>
<i>Mikroorganizma</i>	<i>Patojenik bakteri, virüs ve kurtçuk yumurtaları</i>	<i>Yüzme suyunda ve kabuklu su canlılarının tüketiminde risk</i>
<i>Biyobozunur organik madde</i>	<i>Akarsu, göl ve fiyortlarda oksijen tüketimi</i>	<i>Sucul hayatta değişiklikler (daha az çeşitlilik vb)</i>
<i>Diğer organik maddeler</i>	<i>Deterjanlar, pestisitler, yağ, gres, renklendiriciler solventler, fenoller, siyanür</i>	<i>Toksik etki, estetik mahzurlar, biyo-birikim</i>
<i>Nutrientler</i>	<i>Azot, fosfor, amonyak</i>	<i>Ötrofikasyon, oksijen tüketimi, toksik etki</i>
<i>Metaller</i>	<i>Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni</i>	<i>Toksik etki, biyo-birikim</i>
<i>Diğer inorganik maddeler</i>	<i>Asitler ve bazlar</i>	<i>Korozyon, toksik etki</i>
<i>Termal etki</i>	<i>Sıcak su</i>	<i>Flora ve fauna için değişen yaşam koşulları</i>
<i>Koku (ve tat)</i>	<i>Hidrojen sülfür</i>	<i>Estetik mahzurlar, toksik etki</i>
<i>Radyoaktivite</i>	<i>Radyoaktif maddeler</i>	<i>Toksik etki, birikim</i>

3.2.6.1. Evsel/Kentsel Atıksu Bileşimi

Evsel/kentsel atıksuların bileşimi mekân ve zamana göre önemli değişimler gösterebilir. Burada kısmen deşarj edilen maddelerin miktarındaki değişimler etkilidir. Bununla birlikte, atıksu bileşimindeki değişimlerin esas sebebi su tüketimi, sızma ve kaçmadır. Evsel ve kentsel atıksuların tipik bileşimi Tablo 3.15-Tablo 3.19'da verilmiştir (Henze vd., 2002). Konsantre (kuvvetli) atıksu özelliği düşük su tüketimi ve/veya sızma halini karakterize eder. Seyreltik (zayıf) atıksu özelliği ise yüksek su tüketimi ve/veya sızma durumuna karşı gelir.

Tablo 3.15. Evsel atıksuyun tipik ortalama organik madde içeriği (Henze vd., 2002)

<i>Parametreler</i>	<i>Farklı atıksu tiplerindeki konsantrasyonlar</i>			
	<i>(gr/m³ = gm/L = ppm)</i>			
	<i>Konsantre</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Seyreltik</i>	<i>Çok seyreltik</i>
<i>Biyolojik oksijen ihtiyacı, BOİ</i>				
<i>-nihai</i>	530	380	230	150
<i>-7 günlük</i>	400	290	170	115
<i>-5 günlük</i>	350	250	150	100
<i>-çözünmüş</i>	140	100	60	40
<i>-çözünmüş, kolay ayrışabilen</i>	70	50	30	20
<i>-2 saatlik çökme sonrası</i>	250	175	110	70
<i>Kimyasal oksijen ihtiyacı, KOİ</i>				
<i>(dikromat ile)</i>				
<i>-toplam</i>	740	530	320	210
<i>-çözünmüş</i>	300	210	130	80
<i>-askıda</i>	440	320	190	130
<i>-2 saatlik çökme sonrası</i>	530	370	230	150

-inert, toplam	180	130	80	50
-çözünmüş	30	20	15	10
-askıda	150	110	65	40
-biyobozunur, toplam	560	400	240	160
-çok kolay ayrışabilir	90	60	40	25
-kolay ayrışabilir	180	130	75	50
-zor ayrışabilir	290	210	125	85
-heterotrofik biyokütle	120	90	55	35
-denitrifiye biyokütle	80	60	40	25
-ötrofik biyokütle	1	1	0,5	0,5
Kimyasal oksijen ihtiyacı, KOİ _p (permanganat ile)	210	150	90	60
-toplam	250	180	110	70
Toplam organik karbon (TOK)	40	25	15	10
-karbonhidrat	25	18	11	7
-protein	65	45	25	18
-yağ asitleri	25	18	11	7
Yağ ve gres	100	70	40	30
Fenol	0,1	0,07	0,05	0,02
Fitalat				
-DEHP	0,3	0,2	0,015	0,07
-DOP	0,6	0,4	0,3	0,15
Nonilfenol (NPE)	0,08	0,05	0,03	0,01
Poli-aromatik hidrokarbonlar (PAH) – mg/m ³	2,5	1,5	0,5	0,2
Deterjanlar, anyon (LAS)	15	10	6	4

Tablo 3.16. Evsel atıksudaki tipik besi maddesi seviyeleri (Henze vd., 2002)

Parametreler	Farklı atıksu tiplerindeki konsantrasyonlar (gr/m ³)			
	Konsantre	Ortalama	Seyreltik	Çok 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
Kjeldahl azotu	80	50	30	20
Toplam fosfor	14	10	6	4
Orto-fosfat	10	7	4	3
Poli-fosfat	0	0	0	0
Organik fosfat	4	3	2	1

Tablo 3.17. Evsel atıksudaki tipik metal içerikleri (Henze vd., 2002)

Parametreler	Farklı atıksu tiplerindeki konsantrasyonlar (mg/m ³)			
	Konsantre	Ortalama	Seyreltik	Çok seyreltik
Alüminyum	1000	650	400	250
Arsenik	5	3	2	1
Kadmiyum	4	2	2	1
Krom	40	25	15	10
Kobalt	2	1	1	0,5
Bakır	100	70	40	30
Demir	1500	1000	600	400
Kurşun	80	65	30	25
Mangan	150	100	60	40
Cıva	3	2	1	1
Nikel	40	25	15	10

Gümüş	10	7	4	3
Çinko	300	200	130	80

Tablo 3.18. Evsel atıksudaki çeşitli parametrelerin durumu (Henze vd., 2002)

Parametreler	Farklı atıksu tiplerindeki konsantrasyonlar (mg/m ³)			
	Konsantre	Ortalama	Seyreltik	Çok seyreltik
Askıda katı madde (gr/m ³)	450	300	190	120
Uçucu askıda katı madde (gr/m ³)	320	210	140	80
2 saatlik çökelti (ml/L)	10	7	4	3
2 saatlik çökeltide askıda katı madde (gr/m ³)	320	210	140	80
2 saatlik çökeltide uçucu askıda katı madde (gr/m ³)	220	150	90	60
2 saat sonra askıda katı madde (gr/m ³)	130	90	50	40
Koliform (No/100 ml)	10 ⁸	10 ⁸	10 ⁸	10 ⁸
Viskozite (kg/m ^s)	0,001	0,001	0,001	0,001
Yüzey gerilimi (dyn/cm ²)	50	55	60	65
İletkenlik (mS/m)	120	100	80	70
pH	7-8	7-8	7-8	7-8
Alkalinite (eşd/m ³)	3-7	3-7	3-7	3-7
Sulfit (gr/m ³)	0,100	0,100	0,100	0,100
Siyanür (gr/m ³)	0,050	0,035	0,020	0,015
Klorür (gr/m ³)	500	360	280	200
Bor (gr/m ³)	1,0	0,7	0,4	0,3

Tablo 3.19. Evsel atıksudaki mikroorganizmalar, adet/100 ml (Henze vd., 2002)

Mikroorganizma (sayı)	Ham atıksu	Biyolojik olarak arıtılmış atıksu
<i>E. Coli</i>	1.000	100
<i>C. perfringens</i>	10.000	3-100
Fekal streptokok	10.000.000	100.00
<i>Salmonella</i>	200	1
<i>Kampilobakter</i>	5-10.000	5-100
<i>Listerya</i>	5-1.000	50
<i>Stafilokok aureus</i>	5-10.000	5-100
<i>Kolifaj</i>	100.000	100
<i>Giardia</i>	1.000	20

<i>Yuvarlak kurtçuk</i>	<i>10</i>	<i>0,1</i>
<i>Enterovirus</i>	<i>5.000</i>	<i>500</i>
<i>Rotavirus</i>	<i>50</i>	<i>5</i>
<i>Askıda madde (mg/ml)</i>	<i>30</i>	<i>2</i>

Atıksudaki çeşitli bileşenler arasındaki oran artırma prosesi seçimini etkiler. Evsel atıksu bileşenleri arasındaki tipik oranlar Tablo 3.20’de verilmiştir. Yüksek KOİ/BOİ₅ oranı zor ayrışan organik maddelerin varlığını gösterir. Yüksek KOİ/TKN oranı etkin denitrifikasyonun lehine, yüksek UKM/AKM oranı ise AKM bünyesindeki UKM’nin yüksek olduğunu gösterir.

Tablo 3.20. Evsel atıksulardaki temel kirletici parametreler arasındaki tipik oranlar (Henze vd., 2002)

Oran	Düşük	Tipik	Yüksek
<i>KOİ/BOİ</i>	<i>1,5-2,0</i>	<i>2,0-2,5</i>	<i>2,5-3,5</i>
<i>KOİ/TN</i>	<i>6-8</i>	<i>8-12</i>	<i>12-16</i>
<i>KOİ/TP</i>	<i>20-35</i>	<i>35-45</i>	<i>45-60</i>
<i>BOİ/TN</i>	<i>3-4</i>	<i>4-6</i>	<i>6-8</i>
<i>BOİ/TP</i>	<i>10-15</i>	<i>15-20</i>	<i>20-30</i>
<i>KOİ/UAKM</i>	<i>1,2-1,4</i>	<i>1,4-1,6</i>	<i>1,6-2,0</i>
<i>UAKM/AKM</i>	<i>0,4-0,6</i>	<i>0,6-0,8</i>	<i>0,8-0,9</i>
<i>KOİ/TOK</i>	<i>2-2,5</i>	<i>2,5-3</i>	<i>3-3,5</i>

Atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksular sadece tesisin hizmet verdiği atıksu havzasından toplanan atıksular değildir. Tesis içi geri dönüş akımları ve bazı harici atık akımlarının da atıksu arıtma tesislerinde evsel atıksularla birlikte arıtımı gerekir. Bu tür akımların başlıcaları;

- çamur çürütücü üst faz akımları
- çamur yoğunlaştırıcı üst faz akımları
- çamur susuzlaştırma birimi drenaj/yıkama suları
- septik tanklardan vidanjörlerle çekilen çamurlar
- katı atık düzenli/düzensiz depolama tesisleri sızıntı sularıdır.

Bu tür atıksular ve ayrıca, tuvalet, mutfak ve banyo/duş gibi farklı kaynaklar itibari ile tipik atıksu akımı alt bileşenleri ve kirletici içerikleri ile gri ve siyah tipik su özellikleri ilgili detaylı değerlendirme aşağıda verilmiştir.

3.2.6.2. Evsel/Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Geri Dönüş ve Harici Atıksu Akımları

Atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksular sadece tesisin hizmet verdiği atıksu havzasından toplanan atıksular değildir. Tesis içi geri dönüş akımları ve bazı harici atık akımlarının da atıksu arıtma tesislerinde evsel atıksularla birlikte arıtımı gerekir. Bu tür akımların başlıcaları;

- çamur çürütücü üst faz akımları
- çamur yoğunlaştırıcı üst faz akımları
- çamur susuzlaştırma birimi drenaj/yıkama suları

- septik tanklardan vidanjörlerle çekilen çamurlar
- katı atık düzenli/düzensiz depolama tesisleri sızıntı sularıdır.

Septik tank muhtevaları genelde vidanjörle taşınır. Katı atık depolama tesisi sızıntı suları ise vidanjörle taşınır veya pompa ile kanal şebekesine ya da arıtma tesisine basılır. Söz konusu geri dönüş akımları ve havza dışı atıksular atıksu arıtma tesislerinin kirlilik yükünün önemli oranda (özellikle N, P yükleri) arıtmasına yol açabilir. Septik tank muhtevası ve katı atık sızıntı suyu ile ilgili tipik kirlilik seviyeleri Tablo 3.21’de verilmiştir. Tablo 3.22 tipik çamur yoğunlaştırıcı ve çürütücü üst suyu bileşimlerini özetlemektedir (Henze vd., 2002).

Tablo 3.21. Katı atık sızıntı suyu ve septik tank muhtevasının tipik bileşimleri (Henze vd., 2002)

Bileşen	Sızıntı suyu		Septik tank		Birim
	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	
Toplam BOİ	12000	300	30000	2000	gr/m ³
Çözünmüş BOİ	11900	290	1000	100	gr/m ³
Toplam KOİ	16000	1200	9000	6000	gr/m ³
Çözünmüş KOİ	15800	1150	2000	200	gr/m ³
Toplam azot	500	100	1500	200	gr N/m ³
Amonyum azotu	475	95	150	50	gr N/m ³
Toplam fosfor	10	1	300	40	gr P/m ³
Orto-fosfat	10	1	20	5	gr P/m ³
Askıda katı madde	500	20	100000	7000	gr/m ³
Uçucu askıda katı madde	300	15	60000	4000	gr/m ³
2 saat sonraki çökelti	~0	~0	900	100	ml/L
Klorid	2500	200	300	50	gr/m ³
Sulfit	10	1	20	1	gr/m ³
pH	7,2	6,5	8,5	6	-
Alkalinite	40	15	40	10	esd/m ³
Kurşun	300	20	30	10	mg/m ³
Demir	600	50	200	20	gr/m ³
Kadmiyum	10	1	4	1	mg/m ³
Civa	1	0,1	2	1	mg/m ³
Krom	600	50	40	10	mg/m ³
Fekal koliform	200	5	10 ⁸	10 ⁶	No/100 mL

Tablo 3.22. Tipik üst su bileşimleri (Henze vd., 2002)

Bileşen	Yoğunlaştırıcı üst fazı		Çürütücü üst fazı		Birim
	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	
Toplam BOİ	1000	300	4000	300	gr/m ³
Çözünmüş BOİ	900	100	1000	100	gr/m ³
Toplam KOİ	2500	700	9000	700	gr/m ³
Çözünmüş KOİ	1500	650	2000	200	gr/m ³
Toplam azot	300	50	800	120	gr N/m ³
Amonyum azotu	60	30	500	100	gr N/m ³
Toplam fosfor	25	5	300	15	gr P/m ³
Orto-fosfat	10	4	20	5	gr P/m ³
Askıda katı madde	1000	100	10000	500	gr/m ³
Uçucu askıda katı madde	650	65	6000	250	gr/m ³
2 saat sonraki çökelti	200	10	100	5	ml/L
pH	7,5	6,0	8,0	6	-

<i>Hidrojen sülfür</i>	5	0,2	20	2	<i>gr S/m³</i>
<i>Alkalinite</i>	7	2	40	3	<i>esd/m³</i>

Mekanik susuzlaştırma süzöntü ve bant filtre yıkama suyu tipik özellikleri de Tablo 3.23'de verilmiştir. Arıtma tesisi içinden gelen geri dönüş akımları ve havza dışından getirilen harici atıksular tesisin kirlilik yükünü önemli derecede arttırabilir (Tablo 3.24).

Tablo 3.23. Çamur susuzlaştırma süzöntü ve bant filtre yıkama suyu tipik özellikleri (Henze vd., 2002)

<i>Bileşen</i>	<i>Çamur susuzlaştırma</i>		<i>Yıkama suyu</i>		<i>Birim</i>
	<i>Yüksek</i>	<i>Düşük</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Düşük</i>	
<i>Toplam BOİ</i>	1500	300	400	50	<i>gr/m³</i>
<i>Çözünmüş BOİ</i>	1000	250	30	10	<i>gr/m³</i>
<i>Toplam KOİ</i>	4000	800	1500	300	<i>gr/m³</i>
<i>Çözünmüş KOİ</i>	3000	600	200	40	<i>gr/m³</i>
<i>Toplam azot</i>	500	100	100	25	<i>gr N/m³</i>
<i>Amonyum azotu</i>	450	95	10	1	<i>gr N/ m³</i>
<i>Toplam fosfor</i>	20	5	50	5	<i>gr P/m³</i>
<i>Orto-fosfat</i>	5	1	5	1	<i>gr P/m³</i>
<i>Askıda katı madde</i>	1000	100	1500	300	<i>gr/m³</i>
<i>Uçucu askıda katı madde</i>	600	60	900	150	<i>gr/m³</i>
<i>pH</i>	7,5	6,0	8,0	6,5	-
<i>Alkalinite</i>	10	-	10	2	<i>esd/m³</i>
<i>Toplam demir</i>	600	50	50	5	<i>gr/m³</i>
<i>Sülfid</i>	20	0,2	0,1	0,01	<i>gr S/m³</i>

Tablo 3.24. Dahili ve harici akımların atıksu arıtma tesisi kirlilik yüküne katkıları -tipik değerler için (Henze vd., 2002)

<i>Yükler</i>	<i>Ham atıksu akımındaki %</i>	<i>Ham atıksu BOİ yükündeki %</i>
<i>Sızıntı suyu</i>	0,1-5	1-40
<i>Septik çamur</i>	0,1-5	1-60
<i>Yoğunlaştırıcı üst faz</i>	1-2	5-10
<i>Çürütücü üst fazı</i>	0,5-2	5-15
<i>Çamur susuzlaştırma</i>	0,2-0,5	1-2
<i>Yıkama suyu</i>	5-10	10-20

Alternatif ve ekolojik yerleşimlerin geliştirilmesi atıksu akımının atıksuyun oluşturduğu yere göre farklı alt bileşenlere ayrılmasına imkan verir. Tuvalet, mutfak ve banyo/duş gibi farklı kaynaklar itibari ile tipik atıksu akımı alt bileşenleri ve kirlenici içerikleri Tablo 3.25'de özetlenmiştir.

Tablo 3.25. Evsel atıksu akımının kaynak bazında alt bileşenleri ve tipik kirlilik yükleri (Henze vd., 2002)

<i>Bileşen</i>	<i>Birim</i>	<i>Tuvalet</i>		<i>Mutfak</i>	<i>Banyo & yıkama</i>	<i>Toplam</i>
		<i>Toplam</i>	<i>İdrar</i>			
<i>Su</i>	<i>m³/yıl</i>	19	11	18	18	55
<i>BOİ</i>	<i>kg/yıl</i>	9,1	1,8	11	1,8	21,9
<i>KOİ</i>	<i>kg/yıl</i>	27,5	5,5	16	3,7	47,2
<i>N</i>	<i>kg/yıl</i>	4,4	4,0	0,3	0,4	5,1
<i>N</i>	<i>kg/yıl</i>	0,7	0,5	0,07	0,1	0,87
<i>P</i>	<i>kg/yıl</i>	1,3	0,9	0,15	0,15	1,6

Evsel atıksuların bileşiminin yıllar boyu aynı kalması beklenemez. Atıksu bileşimi bina içi sıhhi tesisat ve donanımın durumu, kişilerin alışkanlıkları ve hayat standardına bağlı olarak zamanla değişir. Tuvalet sularının diğer sulardan ayrımı, gri ve siyah su olarak isimlendirilen iki ayrı atıksu akımına yol açar. Söz konusu gri ve siyah su akımlarının tipik özellikleri Tablo 3.26'da verilmiştir.

Tablo 3.26. Gri ve siyah tipik su özellikleri (Henze vd., 2002)

<i>Bileşen</i>	<i>Gri atıksu</i>		<i>Siyah atıksu</i>		<i>Birim</i>
	<i>Yüksek</i>	<i>Düşük</i>	<i>Yüksek</i>	<i>Düşük</i>	
<i>Top BOİ</i>	400	100	600	300	<i>gr O₂/m³</i>
<i>Top KOİ</i>	700	200	1500	900	<i>gr O₂/m³</i>
<i>Top N</i>	30	8	300	100	<i>gr N/m³</i>
<i>Top P</i>	7	2	40	20	<i>gr P/m³</i>
<i>Potasyum</i>	6	2	90	40	<i>gr K/m³</i>

Düşük değerler yüksek su kullanım veya yaşayanlardan bir kısmının günün bir kısmında yer değiştirmesinden kaynaklanabilir. Su kullanımının az veya mutfaktan gelen aşırı kirlilik yüksek kirlilik konsantrasyonlarının ana sebebidir.

3.2.6.3. Yük ve Konsantrasyon Salınımları

Atıksu arıtma tesislerinin tasarım ve işletiminde günlük, haftalık, aylık debi, yük ve konsantrasyon salınımlarının bilinmesi kritik önem taşır. Günlük faaliyetlere bağlı olarak genelde atıksu arıtma tesislerine gelen atıksuyun kirlilik yüklerinde haftalık salınımlar gözlenebilir. Örneğin KOİ/TKN oranı genelde Cumartesi ve Pazar günleri diğer günlere göre daha düşüktür. Bu durum özellikle denitrifikasyonla ilgili işletme sorunu oluşturabilir. Kurban bayramlarındaki debi, KOİ, AKM ve TKN yüklerinde anormal artışlar yaşanabilir. Bazı atıksu arıtma tesislerinde Kurban Bayramı şokunun 3~4 hafta süreyle olumsuz etkilerinin gözleendiği belirtilmektedir (Henze vd., 2002). Atıksuyun sıcaklığı da yıl boyunca salınım gösterir. Bu durum arıtma (özellikle N giderimi) ve oksijen transfer verimlerini önemli ölçüde etkiler.

3.3. Atıksu ve Biyokütle Karakterizasyonu

Aktif çamur proses tasarımında, havalandırma havuzu hacmi, çamur oluşum miktarı, oksijen ihtiyacı ile önemli parametrelerin çıkış konsantrasyonlarının belirlenmesi hedeflenir. Bir aktif çamur prosesinin doğru tasarımı için atıksu karakterinin ortaya konması en önemli adımdır. Atıksu karakteristiklerinin biyolojik besi maddesi (N, P) giderimi proseslerinin performans değerlendirilmesinde kritik önem taşır. Atıksu karakterizasyonu, benzer şekilde, mevcut tesislerin performans değerlendirmesi ve optimizasyonu ile faydalı arıtma kapasitesi tespitinde de dikkate alınır (Metcalf&Eddy, 2003).

Atıksu ve biyokütle karakterizasyonu için parametrelere özgü farklı analitik yöntemler kullanılmaktadır. Bunların çoğu, arıtma tesisleri ve arıtma prosesleri için özel olarak geliştirilmiştir. İleriki bölümlerde analiz ve karakterizasyon yöntemlerinden bazıları detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.4. Atıksu Analiz ve Karakterizasyon Yöntemleri

Atıksu ve biyokütle karakterizasyonu için parametrelere özgü farklı analitik yöntemler kullanılmaktadır. Bunların çoğu, arıtma tesisleri ve arıtma prosesleri için özel olarak geliştirilmiştir. Aşağıda analiz ve karakterizasyon yöntemlerinden bazıları detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.4.1. Askıda Katı Maddeler

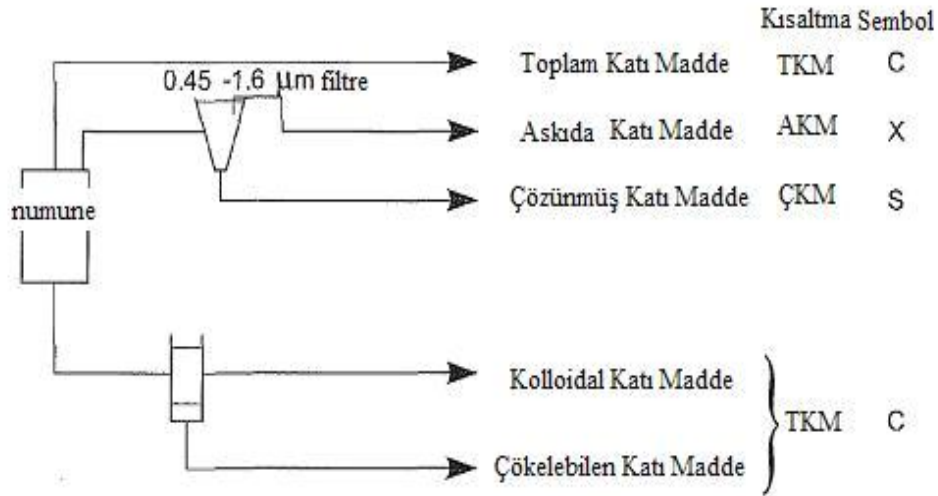
Atıksu bünyesindeki kirletici maddeler, çözünmüş ve askıda katı maddeler olarak ikiye ayrılır.

Çözünmüş ve askıda katı maddeler arasındaki ayrım konusunda kesin bir mutabakat yoktur. Birçok ülkede askıda katı maddeleri ayırmak için gözenek büyüklüğü 1 µm (GF/C) veya 0,45 µm olan filtreler kullanılmaktadır. Danimarka'da gözenek büyüklüğü 1,6 µm (GF/C) olan filtreler kullanılmaktadır. Gözenek büyüklüğü küçük olan filtreler, büyük olanlara göre daha az askıda katı maddenin geçmesine imkan vermektedir (Henze vd., 2002).

Bir filtreden geçen katı maddeler; çözünmüş katı maddeler (S), filtrede tutulanlar ise askıda katı maddeler (X) olarak tanımlanır (Şekil 3.20).

Katı maddelerin tamamı (toplam katı madde) için C ifadesi kullanılır.

$$C = S + X \quad (3.19)$$

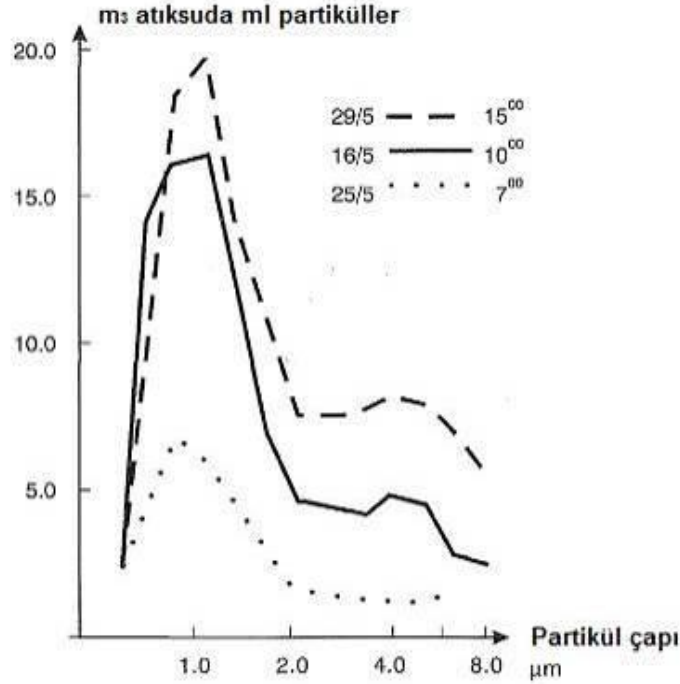


Şekil 3.20. Askıda katı madde ve çözünmüş madde ayrımı, Danimarka Standardı (Henze vd., 2002)

Partikül boyutu 0,1 µm ve daha büyük çaptaki katı maddeler kimyasal yöntemlerle çöktürülebilmektedir. Dolayısıyla 0,1 µm gözenekli filtrelerin kullanıldığı bir süzme setinde yürütülen askıda katı madde miktarı tayininin daha fonksiyonel olduğu bilinmektedir.

Atıksuyun partiküler madde dağılımı, ayırma ve çökeltim prosesleri için kritik önem taşır. Partiküler madde dağılımları özeldir ve her atıksu için farklılık göstermektedir. Şekil 3.21’de bir kentsel atıksuya ait partiküler madde dağılımı örneği verilmiştir. Söz konusu grafik üç gün boyunca partiküler madde dağılımının değişkenlik gösterdiği bir atıksuya aittir.

Atıksularda çözünmüş madde oranı (çözünme indeksi) S/C olarak ifade edilir.



Şekil 3.21. Lundtofte (Danimarka) Arıtma Tesisi – ham atıksu partikülleri dağılımı
(Henze vd., 2002)

3.4.1.1. Çökebilen Katı Maddeler

Çökebilen katı maddeler, normalde 2 saatlik bir çökme sürecinde çökler. Çökelebilen katı maddeler, atıksuyun arıtılmamış kısmında bulunan toplam katı madde içeriği ile 2 saatlik çökme süresinin ardından su sütununun üst kısmında kalan toplam katı madde içeriği arasındaki farktır (Henze vd., 2002).

3.4.2. Organik Madde

Atıksu bünyesinde binlerce farklı organik madde bulunmaktadır. Söz konusu her bir organik bileşenin ölçümü imkânsızdır. Bu nedenle organik maddelerin belirli bir kısmını içeren kombine analiz yöntemleri uygulanmaktadır (Henze vd., 2002).

Organik maddenin oksitlenmesi halinde, harcanan oksijen miktarı (BOİ, KOİ, TOİ analizleri ile) veya üretilen karbondioksit (TOK analizi ile) miktarı ölçülebilir.

Farklı ölçüm yöntemleriyle farklı sonuçlar elde edilir ve bu nedenle aynı organik madde miktarı ölçümünü hedefleyen farklı yöntemler tam olarak birbirinin yerine geçemez.

Tablo 3.27, iki farklı atıksu türü için kullanılan farklı ölçüm yöntemlerindeki örnek analiz değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.27. Atıksu numuneleri için organik içeriğini karakterize eden kombine parametreler ve birbirleriyle ilişkileri (Henze vd., 2002)

Sembol	Bileşen	Tipik Konsantrasyonlar (g O ₂ /m ³)	
		Ham Atıksu	Biyolojik AAT Çıkkışı
$C_{KOİp}$	KOİ değeri (potasyum permanganat deneyi ile edinilen)	180	30
$C_{BOİ}$	5 günlük BOİ değeri	280	25
$C_{BOİ7}$	7 günlük BOİ değeri	320	30
$C_{BOİu}$	Nihai BOİ değeri	400	35
$C_{KOİ}$	KOİ değeri (potasyum dikromat deneyi ile edinilen)	600	100
$S_{SKOİ}$	Kolay Ayrışabilir KOİ değeri	60	5
$X_{SKOİ}$	Yavaş Ayrışabilir KOİ değeri	200	10
$C_{TOİ}$	Toplam Oksijen İhtiyacı değeri	800	230
$C_{TOİ(teorik)}$	Toplam Teorik Oksijen İhtiyacı değeri*	850	270
C_{TOK}	Toplam Organik Karbon değeri	200**	35**
$C_{TOK(teorik)}$	Toplam Teorik Organik Karbon değeri*	200**	35**

*Tüketilen organik madde miktarı üzerinden sitokiyometrik olarak hesaplanır.

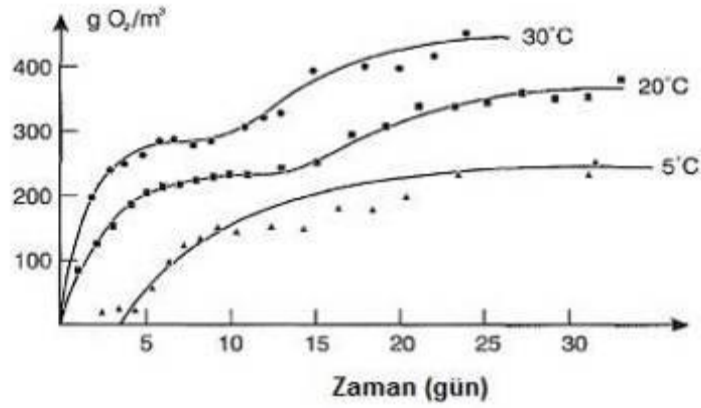
**birim: g C/m³

Analiz parametreleri seçimi, her zaman tartışma konusu olmuştur. Genellikle kimyasal analizlerin çok hızlı olduğu bilinmektedir; ancak, bunlar her zaman ilgili tüm değerlerin ölçümü için yeterli olmaz. Biyokimyasal analizler ($C_{BOİ}$, S_{SCOD} , X_{SCOD}) daha fazla zaman alıcıdır; fakat çoğu zaman arıtma süreci tasarımı ve işletimine ışık tutan kritik temel değerlerdir.

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, BOİ (BOİ₅)

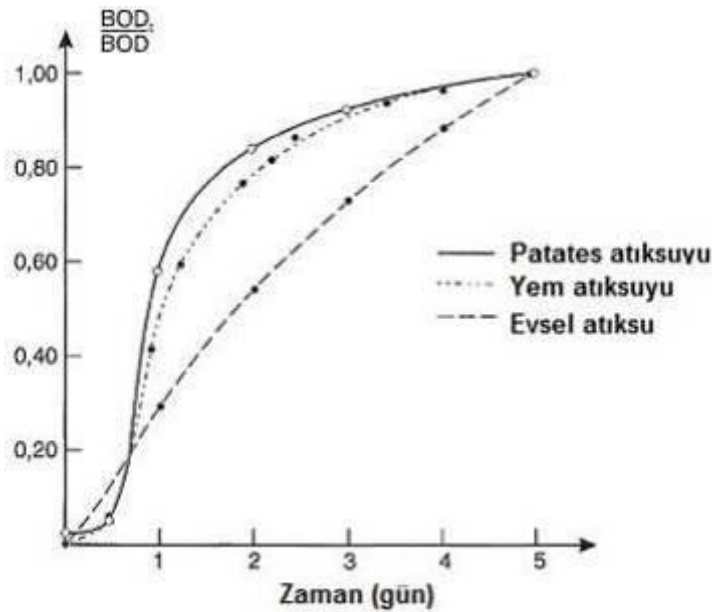
BOİ₅, 5 günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacını ifade eder. BOİ analizi, bu yüzyıla girilmeden kısa bir süre önce İngiltere'de geliştirilmiştir. Analiz fikri, kirli suda mikroorganizmaların ihtiyaç duyduğu oksijen ihtiyacına dayanmaktadır. Gerekli oksijen ihtiyacı, kirliliğin düzeyini ölçmek için kullanılmıştır. Oksijen ihtiyacı arttıkça, sıcaklık ve tepkime süresi de arttığından (Şekil 3.22), dünya üzerinde standartlaşmaya gidilmiştir ve standart değer olarak 65°F (yaklaşık 18°C) ile 5 gün değerlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Şimdilerde ise standart sıcaklık değeri 20°C olarak belirlenmiştir (Henze vd., 2002).

BOİ analizi, karbonlu organik madde ve amonyumun oksidasyonu için mikroorganizmaların oksijen ihtiyacını tayine yarayan bir metottur. 5 günlük süre içinde biyobozunur maddenin büyük bir kısmı oksitlenecektir; söz konusu değer Şekil 3.22'de bulunan 20°C'lik eğrinin ilk platosuna denk gelmektedir.



Şekil 3.22. Tipik BOİ deneyi eğrileri (Henze vd., 2002)

Oksijen ihtiyacı normalde yalnızca 5. gün sonunda ölçüldüğünden, Şekil 3.22’de gösterilen eğri formuna dair herhangi bir yorumda bulunmak pek mümkün değildir. Eğrinin biçimi, Şekil 3.23’de belirtilenden önemli derecede farklılık gösterebilir. BOİ₅ analizi, oksitlenen biyobozunur madde ve amonyum bileşenlerinin ayrı ayrı belirlenebilmesi mümkün değildir.

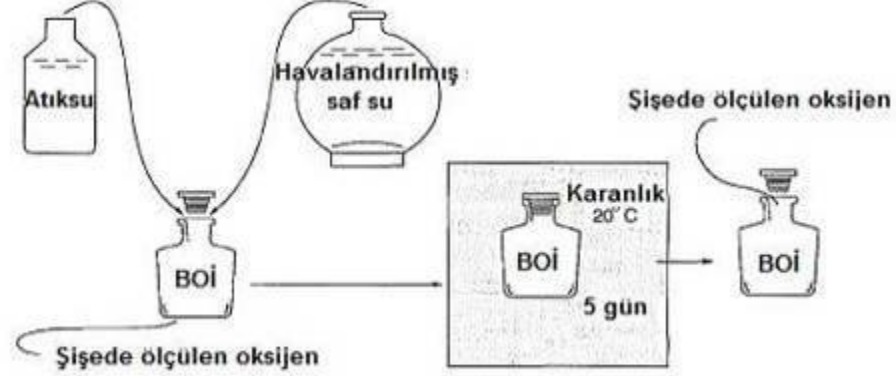


Şekil 3.23. Endüstriyel ve evsel atıksular için farklı biyolojik bozunma hızları (Henze vd., 2002)

Farklı organik maddeler için, gram organik madde başına farklı oksijen ihtiyaçları söz konusudur. Bu yüzden, BOİ analizi ile yalnızca oksitlenen organik maddenin ağırlığı baz alınarak, oksijen ihtiyacı ile ilgili yaklaşık bir tahminde bulunulabilir.

BOİ ölçümü, Şekil 3.24’de belirtildiği şekilde gerçekleştirilmektedir. Klasik seyreltme yönteminde atık su, taze, havalandırılmış temiz suyla karıştırılır. Bu karışım, sıvı üzerinde hiçbir hava kabarcığının kalmaması için ağzı kapalı bir şişeye konulur. Kirli suda bulunan mikroorganizmalar karışımdaki oksijeni tüketir. Bu ölçümdeki kritik

husus, 5 gün boyunca ağzı kapalı deney şişelerinde oksijen bulunmasını sağlamaktır. Oksijenin tükenmesi veya konsantrasyonunun sıfıra yakın değerlere düşmesi halinde, ölçüm sonucu kullanılamaz. Bu nedenle, 5 günün ardından içinde yeterli miktarda oksijen içeriği bulunan en az bir şişenin bulunabilmesi için deneyler farklı seyreltmelerin uygulandığı bir seri özel şişede yürütülmelidir.



Şekil 3.24. BOİ analiz aşamaları

BOİ, 5 günlük oksijen ihtiyacına ve deney şişesindeki su hacmine bağlı olarak hesaplanabilir. Ölçüm Birimi, g/m³ veya mg/l'dir.

Tipik evsel atıksularda tayin için seyreltme sayısı ~100'dür. BOİ analizi, atıksu arıtma tesisi tasarımları için geliştirilmiş bir metot olmamasına rağmen önceleri tesis tasarımlarında kullanılmakta idi. Günümüzde ise atıksu arıtma tesisi tasarımlarında gelişmiş bilgisayar modelleri ile hesaplanabilen KOİ bileşenleri değerleri kullanılmaktadır.

BOİ değeri, biyobozunur maddenin yalnızca bir kısmını temsil etmektedir. Dolayısıyla arıtma tesislerine gelecek atıksu karakterizasyonu için yapılan organik madde miktarı hesaplamalarında yalnızca BOİ'nin kullanılması tavsiye edilmemektedir. Analiz süresinin 5 günden, 15 ile 20 gün arasında bir süreye çıkarılması halinde daha iyi bir değer elde edilebilir. Ham atıksu için bulunan bu değer nihai BOİ (BOİ_U), genellikle BOİ₅ değerinden yüzde 40-50 daha fazla olacaktır. BOİ₅/BOİ_U oranları 0,6-0,7 aralığında değişmektedir. Ancak, BOİ₅/BOİ_U oranı büyük farklılıklar gösterebilir ve BOİ yükü ikinci kademe (biyolojik) arıtma ile giderilebilir (Henze vd., 2002).

Daha kısa sürede sonuç veren otomatik-analiz cihazları da bulunmaktadır. Bu yöntemler, bir atıksu numunesinin (genellikle seyreltme olmadan), hava sıvının üzerinde kalacak şekilde, doğrudan özel bir kaba konulması prensibine dayanmaktadır. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, kapalı kaptaki oksijen harcandığında ortaya çıkan basınç düşüşü ile veya bu basıncı korumak için kaba beslenen oksijen miktarı ile ölçülmektedir. Otomatik analizörlerden elde edilen sonuçlar, seyreltme yöntemi sonuçlarından büyük farklılık gösterebilir. Örneğin, atıksudaki zehirli maddeler oksidasyon sürecini etkileyerek, seyreltilmemiş numunelerde daha düşük BOİ değerlerine neden olabilir. Bu da farklı BOİ analiz metotlarının birlikte kullanımını güçleştirmektedir. Zira kimi zaman aynı

laboratuar/laboratuar asistanı tarafından aynı veya farklı BOİ analiz yöntemleri kullanıldığında sonuçlar arasında tutarsızlıklar söz konusu olabilmektedir.

Tadil Edilmiş (Modifiye) BOİ

BOİ deneyinde organik madde ve amonyum oksidasyonu kademeleri birbirinden ayrılarak, tadil edilmiş (modifiye) bir BOİ analizi gerçekleştirilebilir. Bu maksatla BOİ deney kabına amonyum oksidasyonunu inhibe eden, ancak karbonlu organik madde oksidasyonunu etkilemeyen bir inhibitör madde (örneğin Thiourea) eklenir. BOİ için bilinen analiz prosedüründe bir değişiklik yapılmaksızın elde edilen analitik sonuç, yalnızca karbonlu organik maddenin oksitlenmesi için gerekli Biyokimyasal Oksijen İhtiyacını ifade eder (Henze vd., 2002).

Tadil edilmiş BOİ analizi, ikinci kademe (biyolojik) arıtma tesislerindeki biyobozunur karbonlu organik madde tayininde kullanılabilir.

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİp ve KOİ)

Bu analiz yöntemi için iki farklı kimyasal oksitleyici kullanılır: potasyum permanganat ve potasyum dikromat.

Potasyum permanganat, kimyasal oksijen ihtiyacını (KOİp) belirlemek için kullanılır. Bu organik maddenin tamamlanmamış oksitlenmesidir ve bu nedenle, sadece BOİ analizindeki gerekli seyreltmeleri tahmin etmek üzere kullanılabilir.

Potasyum dikromat ile daha iyi bir oksidasyon sağlanır. Söz konusu oksidasyona farklı inorganik maddelerin oksitlenmesi de dahildir (NO^- , S^- , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, Fe^{2+} , SO_3^{2-}). Organik azotun oksidasyonu ile açığa çıkan amonyum ve amonyak oksitlenmez. Balık sanayiine ait atıksuda görülen trimetilamin gibi bazı azot içeren bileşenler ile piridin gibi çevrimsel azot bileşenleri, KOİ analizi sırasında oksitlenmemektedir. KOİ analizi genel olarak evsel atıksudaki organik madde miktarı için doğru bir tahmin sunar ve bu tahmin, atıksuda mevcut organik maddelerin tam oksidasyonu sonucu elde edilecek teorik oksijen ihtiyacının % 90 – 95'i civarındadır (Henze vd., 2002).

KOİ analizi, BOİ analizlerinden daha hızlı gerçekleştirilmektedir (1-2 saat) ve değerleri arıtma tesislerindeki kütle dengesi hesaplamaları için daha uygundur.

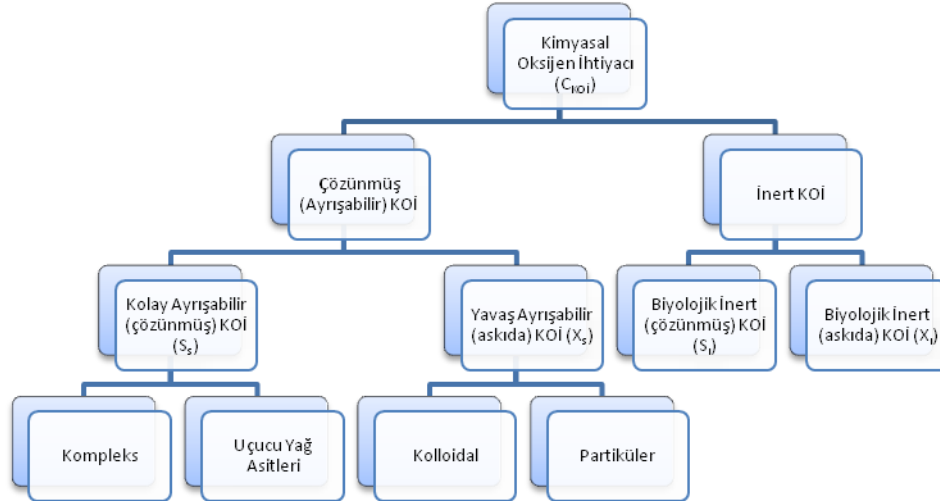
KOİp ve KOİ değerleri O_2/m^3 birimi ile ifade edilir. Bunun anlamı, potasyum permanganat veya potasyum dikromat tüketiminin eşit düzeyde bir oksijen ihtiyacına (oksidasyonun oksijen kullanımı ile gerçekleşmesi halinde harcanacak oksijen miktarı) dönüştürülmüş olduğu anlamına gelir.

KOİ bileşenleri

KOİ parametresi, farklı biyolojik özelliklere sahip bir dizi organik madde içerir. İkinci kademe (biyolojik) arıtma tesislerinde yapılacak proses hesapları için, KOİ başlıca aşağıdaki bileşenlere ayrılabilir (Şekil 3.25);

$$C_{KOI} = S_S + S_1 + X_S + X_1 + X_B \quad (3.20)$$

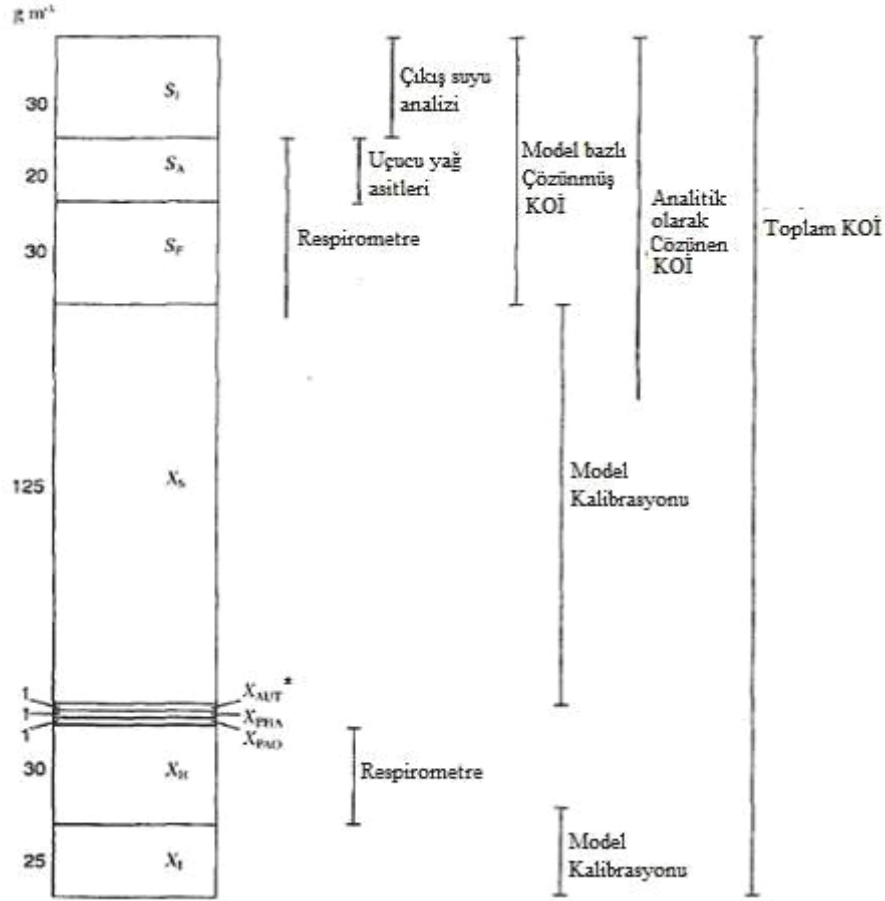
- S_S : (çözünmüş) kolay ayrışabilir
 S_1 : (çözünmüş) biyolojik inert
 X_S : (askıda) yavaş ayrışabilir
 X_1 : (askıda) biyolojik inert
 X_B : biyokütle



Şekil 3.25. KOİ bileşenleri

Bu bileşenler, farklı maksatlarla duyulacak ihtiyacın karşılanmasında yeterli değildir. S_S , X_S ve X_B organik maddeleri, gerekli hallerde aşağıda belirtildiği şekilde ilave alt bileşenlere ayrılabilir. Atıksu karakterizasyonuna ilişkin ana tartışma konusu, çözünmüş ve askıda alt maddeler (S_S ve X_S) arasındaki ayrımdır. Biyolojik işlemler için bu ayrım önemli değildir; ancak, çökeltme açısından önem arz edebilir. Biyobozunur alt bileşenler için kullanılan S_S ve X_S sembolleri, KOİ'nin ana bileşenlerini göstermektedir. Partiküler maddenin kolayca bozunduğu (S_S), çözünmüş organik maddelerin ise daha yavaş bozunduğu (X_S) unutulmamalıdır. Atıksuda çeşitli miktarlarda bulunan biyokütle X_B , arıtma proseslerindeki biyokütle yapısını etkileyecektir. Sisteme atıksu akımı ile biyokütle girişi (aşılama), proses için faydalı olabildiği gibi belirli sorunlara da sebep olabilir. Söz konusu sorunlar, özellikle aşılama ile ipliksi veya köpük oluşturan mikroorganizmaların prosese girmesi halinde ortaya çıkar (Henze vd., 2002).

Aşağıda bağımsız KOİ fraksiyonlarının nasıl belirleneceğine dair özet bilgiler verilmektedir.



Şekil 3.26. KOİ fraksiyonları - Sütun: tipik bir atıksu organik madde dağılımını gösterir (Henze vd., 2002)

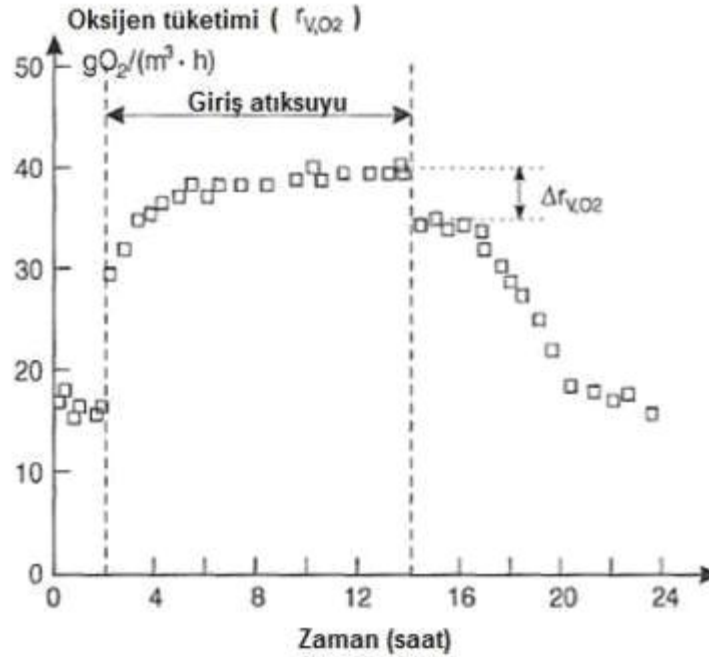
¹Doğrudan ölçülemeyip model yardımıyla hesaplanabilen, azot/fosfor üretimi/tüketimi gerçekleştiren mikroorganizmalardır.

- Çözünmüş inert organik madde (S1), aktif çamurla karıştırılmış atıksuyun 15-20 gün süre sonra oksitlenmesinin ardından çözünmüş olarak kabul edilir. Aktif çamurla paralel testler yapılmalıdır.
- Kolay ayrışabilen organik madde (Ss), respirasyon testi ile belirlenir. Söz konusu teste ilişkin bir örnek, Şekil 3.27'de gösterilmektedir. İnert kısmın belirlenmesinin ardından YH, Ss bileşenleri, oksijen kütle dengesi kullanılarak öngörülebilir

$$r_{vo2} V = Q \cdot S_s \cdot (1 - Y_H) \quad (3.21)$$

$$S_s = r_{vo2} \cdot \theta / (1 - Y_H) \quad (3.22)$$

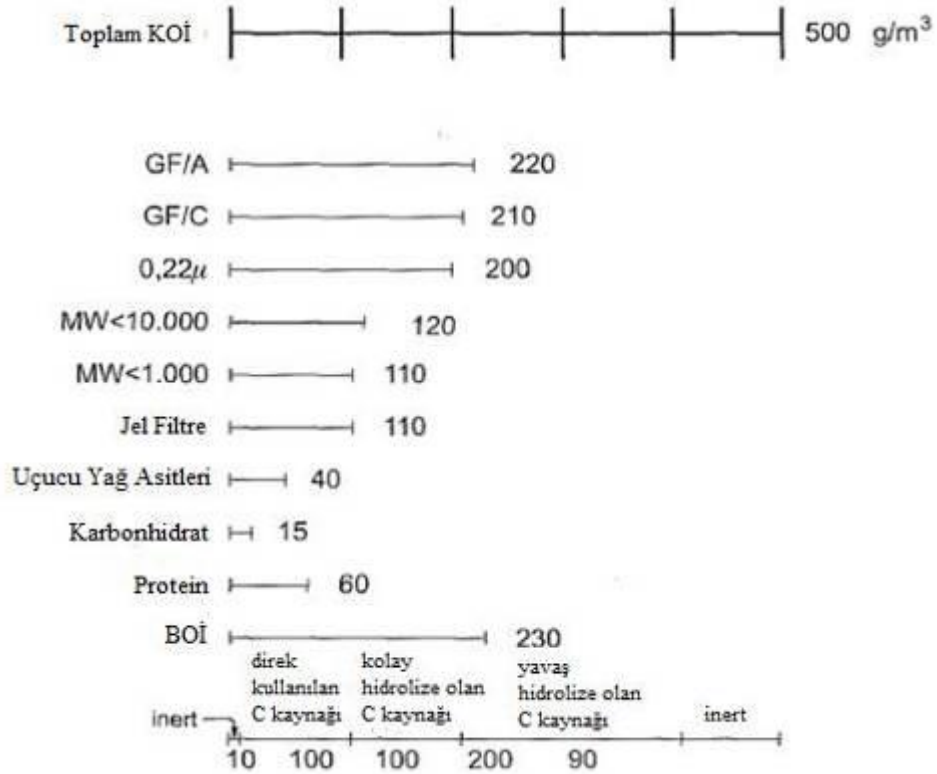
(1-Y_H) kolay ayrışabilen organik maddenin oksitlenen parçasını, Y_H biyokütleyle dönüşen parçasını, θ ise hidrolik bekleme süresini ifade etmektedir. Bir BOİ eğrisinin "ilk" kısmı S_s olarak kabul edilebilir ya da S_s hakkında bir tahminde bulunmak için de kullanılabilir.



Şekil 3.27. Kolay ayrışabilen organik madde- r_{v,O_2} , S_s ifadeleri kullanılmıştır. (Henze vd., 2002)

- Fermantasyon ürünleri SA, kolay ayrışabilen organik maddenin bir parçasıdır. Önemli bir kısmını asetik asit oluşturmaktadır ve gaz kromatografi, iyon kromatografi vb. yöntemlerle miktarı belirlenebilir. Bu bileşenin büyük bir kısmını, moleküler ağırlığı 800-1000'den az olan maddeler oluşturmaktadır. fermantasyon yan ürünleri miktarının tayini, fosfor üreten biyokütleler ile fosfat salınım testleri aracılığıyla yapılabilmektedir. Anaerobik koşullar altında fosfat salınımı mevcut S miktarı ile orantılıdır.

Evsel atıksularda öncelikli kirletici KOİ'dir. Çeşitli analitik yöntemlerle şekil üzerinde belirtilen KOİ fraksiyonları analiz edilebilir. Yalnızca XI, çamur üretim modelleri kullanılarak tayin edilebilmektedir. X_s ise oksijen tüketim hızı / azot tüketim hızı (OUR/NUR) modellenmesi kullanarak bulunur (Henze vd., 2002).



Şekil 3.28. Lyngby (Danimarka) Eysel Atıksu Arıtma Tesisi organik madde konsantrasyonları - Karakterizasyon için farklı analiz metodları kullanılmıştır. (Henze vd., 2002)

- Fermente olabilir organik maddenin (SF) ölçülmesi zordur. Örneğin 2-6 gün süreyle anaerobik bir ortamda oluşan asetatın ölçülmesini içeren bir VFA potansiyel testi kullanılabilir.
- Farklı çamur yaşlarına sahip inert organik madde (askıda) ile yapılan testlerle çamur üretim oranı esas alınarak belirlenir. X1, matematiksel bir yöntemlerle (eğri adaptasyonu yoluyla) belirlenebilir. X1, uzun süreli aerobik çamur stabilizasyonu esas alınarak da tahmin edilebilir.
- Kolay ayrışabilen aksıda organik madde (Xs), toplam KOİ'den diğer bileşenlerin çıkarılmasıyla elde edilir;
- $X_S = CKOİ - XI - SA - SS - SI$
- XB konsantrasyonu, respirasyon testleri esas alınarak hesaplanabilir. Bu testlerde, 1 kg bakterinin 20°C'deki respirasyonu, örneğin 200 g O₂/h olarak belirlenebilir. Denitrifikasyon bakterileri, nitratın elektron alıcısı olduğu paralel bir respirasyon testi ile belirlenebilir (~ 70 g NO⁻³/N(kg bakteri -h)).

Bakteri konsantrasyonu, sayım, ATP ölçümleri, dehidrojenaz ölçümleri vb. ile de tahmin edilebilir.

Tablo 3.28. Çeşitli organik maddelere ait Karbon, TOİ, BOİ ve BOİ₂₀ değerleri
(Henze vd., 2002)

<i>Madde</i>	<i>Karbon (%)</i>	<i>TOİ</i>	<i>BOİ gr O₂ / gr madde</i>	<i>BOİ₂₀</i>
<i>Metan</i>	75	4	-	-
<i>Etan</i>	80	3,74	-	-
<i>Hekzan</i>	84	3,54	-	-
<i>Etilen</i>	86	3,42	-	-
<i>Asetilen</i>	92	3,07	-	-
<i>Triklorometan</i>	10	0,36	-	-
<i>Tetraklorometan</i>	8	0,21	-	-
<i>Etil eter</i>	65	2,59	-	-
<i>Aseton</i>	62	2,21	0,54	-
<i>Formik asit</i>	26	0,35	0,09	0,25
<i>Asetik asit</i>	40	1,07	0,70	0,90
<i>Propiyonik asit</i>	49	1,52	1,30	1,40
<i>Butirik asit</i>	55	1,82	1,15	1,45
<i>Valerik asit</i>	59	2,04	1,40	1,90
<i>Palmitik asit</i>	75	2,88	1,68	1,84
<i>Stearik asit</i>	76	2,93	1,13	1,59
<i>Okzalik asit</i>	27	0,18	0,10	0,12
<i>Suksin asit</i>	41	0,95	0,64	0,84
<i>Maleik asit</i>	41	0,83	-	-
<i>Laktik asit</i>	40	1,07	0,54	0,96
<i>Tartarik asit</i>	31	0,53	0,35	0,46
<i>Sitrik asit</i>		0,75	0,46	0,67
<i>Glisin</i>	37	0,96**	0,55	-
<i>Alanin</i>	31	1,35**	0,94	-
<i>Valin</i>	40	1,84**	-	-
<i>Glutanik asit</i>	51	1,14**	-	-
<i>Tirozin</i>	41	1,81**	-	-
<i>Metanol</i>	60	1,50	0,96	1,26
<i>Etanol</i>	37	2,09	1,35	1,80
<i>Izopropanol</i>	52	2,40	1,47	-
<i>Amil alkol</i>	60	2,73	1,27	1,73
<i>Glikol</i>	39	1,29	0,49	-
<i>Gliserin</i>	39	1,22	0,72	0,94
<i>Mannitol</i>	40	1,14	0,68	0,94
<i>Glikoz</i>	40	1,07	0,64	0,95
<i>Laktoz</i>	42	1,12	0,61	0,91
<i>Dekstrin</i>	45	1,19	0,52	0,84
<i>Nişasta</i>	45	1,19	0,68	0,90
<i>Benzin</i>	92	3,07	-	-
<i>Tolüen</i>	91	3,13	-	-
<i>Naftalin</i>	94	3,00	-	-
<i>Fenol</i>	77	2,39	1,70	2,00
<i>o-Krezol</i>	78	2,52	1,60	1,80
<i>α-Naftol</i>	83	2,56	0,93	1,60
<i>Pirokatekol</i>	65	1,89	0,90	0,90
<i>Benzoik asit</i>	69	1,97	1,25	1,45
<i>Salisilik asit</i>	61	1,62	0,95	1,25
<i>Benzil alkol</i>	78	2,52	1,55	1,95
<i>Anilin</i>	77	2,66**	1,49	-
<i>Pridin</i>	76	2,53**	1,15	-
<i>Kinolin</i>	84	2,66**	1,71	-

* Teorik olarak hesaplanmıştır.

** Nitrat oksidasyonu dahil

Toplam oksijen ihtiyacı (TOİ)

Yüksek sıcaklıkta uygun bir katalizör kullanımı ile belirlenen toplam KOİ, TOİ (Toplam Oksijen İhtiyacı) değeri olarak da ifade edilebilir. Bu analiz ile KOİ analizinde oksitlenemeyen bazı organik bileşenler ile amonyum da oksitlenebilir. TOİ değerleri, KOİ değerlerinden biraz daha yüksektir.

Toplam organik karbon (TOK)

Bu analizde organik madde yakılarak karbondioksite dönüştürülür. Oksitlenmeden önceki ve sonraki karbondioksit konsantrasyonları arasındaki fark, TOK hesaplaması için kullanılır.

TOK, karbon atomu miktarını belirttiğinden organik maddelere ilişkin diğer parametrelerle bir bağlantısı yoktur ve oksitlenme durumu hakkında bilgi vermemektedir.

Tablo 3.17 birçok bileşen için TOİ, BOİ ve BOİ₂₀ değerleri yer almaktadır (Henze vd., 2002).

3.4.3. Azot

Atıksularda bulunan azot da organik maddeye benzer şekilde alt bileşenlere ayrılmaktadır.

$$C_{TN} = S_{NOX} + S_{NH4} + S_{I.N} + S_{C.N} + X_{I.N} \quad (3.23)$$

- C_{TN} : toplam azot
 S_{NOX} : nitrit + nitrat oksijen.
 S_{NH4} : amonyum + amonyak azotu
 $S_{I.N}$: çözülmüş sabit organik madde.
 $X_{S.N}$: (askıda) kolay ayrışabilen organik azot
 $X_{I.N}$: (askıda) sabit (organik) azot

Azot bileşenleri (Kjeldahl azotu, nitrit, nitrat, amonyum azotu), geleneksel analiz teknikleriyle belirlenir. Genellikle KOİ bileşenlerindeki azot içeriğinin farklı atıksular için sabit olduğu kabul edilir. Azot miktarı aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanabilir:

$$S_{I.N} = f_{S.I.N} \cdot S_{I.COD} \quad (3.24)$$

$$X_{I.N} = f_{X.I.N} \cdot X_{I.COD} \quad (3.25)$$

$$X_{S.N} = f_{X.S.N} \cdot X_{S.COD} \quad (3.26)$$

$f_{S.I.N}$, $f_{X.I.N}$, $f_{X.S.N}$ genellikle 0,04 - 0,08'dir. Çözülmüş inert azot ($S_{N.I}$) konsantrasyonu, evsel atıksularda büyük değişkenlikler gösterebilir (1-4 g N/m³) ve bu durum ilgili arıtma çıkışı azot değerlerine ulaşılması açısından önem arz etmektedir (Henze vd., 2002).

Tablo 3.29, evsel atıksulardaki organik maddenin azot ve fosfor içeriği açısından durumunu göstermektedir.

Tablo 3.29. Evsel atıksudaki azot ve fosfor yüzdeleri (Henze vd., 2002)

Sembol	Bileşen	Tipik Aralık	
		N	P
S_S	Hızlı ayrışabilir substrat	2-4	1-1,5
S_A	Uçucu asitler (asetat)	0	0
S_I	Biyolojik olarak ayrışamayan organikler	1-2	0,2-0,8
X_I	Biyolojik olarak ayrışamayan organikler	0,5-1	0,5-1
X_S	Yavaş ayrışabilen substrat	2-4	1-1,5
X_H	Heterotrofik biyokütle	5-7	1-2
X_{PAO}	Fosfor birikimli organizmalar	5-7	1-2
X_{PHA}	Depolanmış polihidroksi alkanoat	0	0
X_A	Ötrofik, nitrifiye biyokütle	5-7	1-2

3.4.4. Fosfor

Atıksudaki fosfor, aşağıdaki bileşenlere ayrılmaktadır;

$$C_{TP} = S_{PO4} + S_{p-P} + S_{org,P} + X_{org,P} \quad (3.27)$$

- C_{TP} : toplam fosfor,
 S_{PO4} : çözülmüş inorganik ortofosfat,
 S_{p-P} : çözülmüş inorganik polifosfat,
 $S_{org,P}$: çözülmüş organik fosfor,
 $X_{org,P}$: askıda organik fosfor.

Çoğunlukla daha detaylı bir fosfor alt ayırımına gerek duyulmamaktadır. Bu bileşenlerin analizi, bilinen laboratuvar yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilir.

3.4.5. Alkalinite

Atıksu alkalinitesi, ortamdaki asit/baz salınımlarının tamponlanması bakımından önemlidir. Alkalinite, 4,5 değerinde bir son pH elde etmek üzere geleneksel asit titrasyonu ile ölçülür. Değer ne kadar yüksekse, tamponlama kapasitesi de o kadar büyüktür.

Atıksu arıtımında kullanılan nitrifikasyon, denitrifikasyon ve kimyasal çöktürme gibi prosesler alkaliniteyi etkiler. Normalde alkalinite değeri 5 eqv/m³ üzerinde olan evsel atıksular, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve eşzamanlı çökeltme açısından herhangi bir sorun oluşturmaz. Düşük alkalinite pH'da düşüşe neden olabilir. Çökeltme öncesi ve sonrasındaki düşük alkalinite değeri, istenilen pH değerinin elde edilmesi için daha az miktarda kimyasal madde gerekli olacağından, fayda sağlar (Henze vd., 2002).

3.4.6. Çamur Hacmi İndeksi (SVI)

Çamur hacmi indeksi, aktif çamurun topaklanma ve çökme özellikleri hakkında bilgi verir. Ölçülü silindir veya beherde 30 dk.'lık bir çökmenin ardından ölçülür (Henze vd., 2002).

$SVI = 1 / X_{0,5}$ (birim normalde ml/g SS)

$X_{0,5}$, 0,5 saatlik bir çökmenin ardından ölçülen çamur konsantrasyonudur.

Çamur hacmi indeksi ne kadar düşükse, topaklanma ve çökme özellikleri de o kadar iyidir. Çökme sırasında ölçülü silindir yavaşça karıştırılarak karıştırılmış, çamur hacim indeksi de belirlenebilir. Bu değer, "klasik su" değerinden daha düşüktür.

Yüksek SVI'lar için (>200 ml/g SS), seyreltilmiş SVI (DSVI) faktör 2 seyreltmesi ile ölçülür. DSVI, aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanır;

$$DSVI = f_n \cdot \frac{1}{X_{0,5}} \quad (f_n, \text{seyreltme faktörüdür}) \quad (3.28)$$

100 mL/g SVI değerleri, genellikle aktif çamur tesislerinin iyi bir şekilde işlemlerini sağlanması açısından yeterli kabul edilir.

Çamur yoğunluk indeksi (SDI), 30 dakikalık bir çökmenin ardından (= $X_{0,5}$) ölçülen çamur konsantrasyonudur.

Çamur yüzdesi, 30 dakikalık çökmenin ardından başlangıç miktarına kıyasla belirtilen çamur yüzdesidir.

3.4.7. Oksijen Tüketim Hızı (OUR)

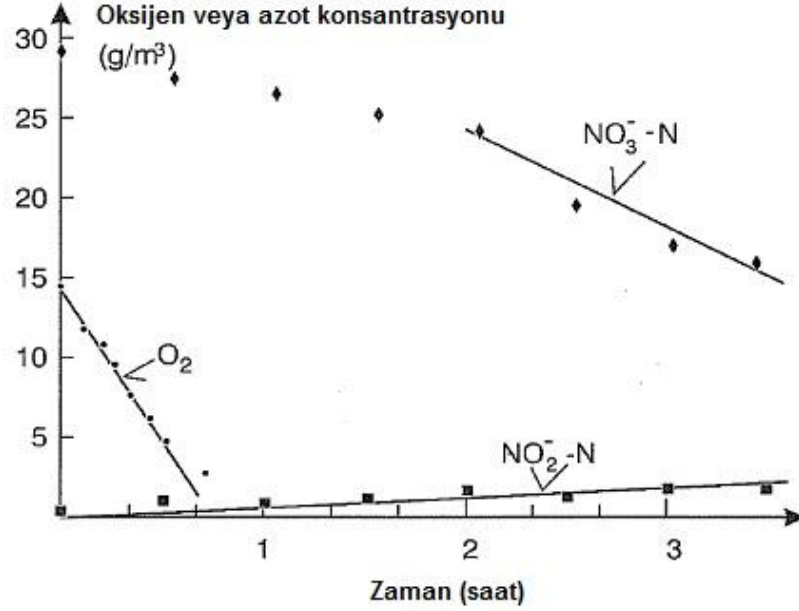
Aktif çamurun oksijen tüketim hızı (OUR) (veya azot tüketim hızı-NUR), çamurun durumu (aktivitesi) hakkında önemli bilgiler verebilir. Şekil 2.25, bir respirasyon deneyi sonucunu göstermektedir. Bu deneyde ham atıksu, oksidasyona tabi tutulmaktadır (8-12 g/m³). Bir süre sonra atıksu çalkalanmaya başlanır ve oksidasyon işlemine son verilir. Ham atıksularda çamur OUR hesaplamak için kuru çamurun KOİ, AKM veya UAKM ölçümlerine ilişkin eğri eğimleri kullanılabilir. Bu değer genellikle 20-40 g O₂/kg UAKM.sa'dir. Bu aralıktaki bir çamur solunum aktivitesi, çamurun aktif olduğunu (çok sayıda canlı mikroorganizma içerdiğini) ve yeterli miktarda biyobozunur bileşen (organik madde) içerdiğini ifade etmektedir. Düşük bir solunum aktivite (OUR) hızı (5-10 g O₂/(kg UAKM.sa) ise çamurun;

- toksik etkilere maruz bulunduğunu,
- kolay ayrışabilen organik madde içermediğini,
- inert yapıda (stabilize durumda) olduğunu

gösterir.

Denitrifikasyon bakterileri oranı (n_g) da, azot tüketim hızı için yapılan bir ölçüm ile aşağıdaki şekilde bulunabilir (Şekil 3.29);

$$n_g = \text{Azot tüketimi (m e eqv/sa)} / \text{Oksijen tüketimi (m e eqv/sa)}$$



Şekil 3.29. Ham atıksudaki respirometre testleri – Oksijen tüketim hızı (OUR), Nitrat tüketim hızı (NUR) (Henze vd., 2002)

Oksijen ve azotun elektron eşdeğerlerine dönüştürülmesi işlemi, dönüşüm faktörleri ile gerçekleşir:

$$32 \text{ g O}_2 = 1 \text{ mol O}_2 = 4 \text{ e eqv}$$

$$14 \text{ g NO}_3^- \text{- N} = 1 \text{ mol NO}_3^- \text{- N} = 5 \text{ e eqv}$$

Amonyum tüketim hızı (AUR), nitrifikasyon bakterisi (ototrof bakteri) miktarını değerlendirmek için kullanılmaktadır (Henze vd., 2002).

3.5. Kaynaklar

ATV-DVWK-A 198E. Standardisation and Derivation of Dimensioning Values for Wastewater Facilities, German ATV-DVWK-Rules and Standards.

ÇOB (2010). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, TC Çevre ve Orman Bakanlığı (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı), Resmi Gazete Tarih: 20.03.2010, Sayı: 27527.

Eroğlu, V. (2002). Atıksuların Tasfiyesi, Su Vakfı Yayınları.

Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J. C., Arvin, E. (2002). Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes. Springer-Verlag Publishing.

Metcalf & Eddy (2003). Wastewater Engineering, Disposal and Reuse, Mc Graw Hill Publishing.

Muslu, Y. (1996). Atıksuların Arıtılması, Cilt II, İTÜ Matbaası.

4. ATIKSU ARITIMINDA SİSTEM SEÇİMİ

Prof. Dr. İsmail KOYUNCU

Bu bölümde atıksu arıtma sistemi seçimi konusunda sırasıyla, ön arıtma maksatlı ve farklı nüfus grupları için uygun sistem seçimi ile çamur stabilizasyonu konusunda karar verme sürecinde dikkate alınması gereken hususlar ele alınmıştır.

4.1. Ön Arıtma Maksatlı Seçim

4.1.1. Kum ve Yağ Tutucu

- Biyolojik arıtma öncesinde atıksu ile birlikte gelen kum, silt gibi malzemelerin mümkün olduğunca tutulması (atıksu akımından ayrılması) gerekmektedir. Ayrıca kum, silt gibi malzemelerin ilgili proses birimlerinden sürekli uzaklaştırılabilmesini sağlayacak şekilde tasarım yapılmalıdır,
- Üniteye tutulan yağ ise yağ/gres haznesinde toplanarak uygun şekilde bertaraf edilmeli, atıksu akımına tekrar karıştırılmamalıdır.

4.1.2. Ön Çökeltim Ünitesi

- Ön çökeltme ünitesi sonrasındaki aktif çamur ünitesinin hacmini düşürmek ve birincil çamurdan enerji geri kazanımı için uygulanmalıdır,
- Ön çökeltme ünitesinde bekletme süresi istenilen organik madde giderim verimine göre seçilmelidir,
- Biyolojik arıtmanın deşarj standartlarını gün içinde bozmadan çalışmasına imkân vermelidir,
- Ön çökeltmenin, özellikle biyolojik azot ve fosfor gideriminin olumsuz etkilendiği durumlarda, by-pass imkânı olmalıdır,
- Debinin geniş aralıkta değişkenlik göstermesi durumunda ön çökeltme verimi tahkik edilmelidir,
- Biyolojik azot giderimi için tasarlanan aktif çamur tesislerinde kum tutucu sonrası KOİ/TKN oranı 7'nin altında olduğunda ön çökeltme uygulanmamalıdır,
- Ön çökeltme havuzları özellikle azot ve fosfor giderimi için ön fermantasyon havuzu olarak da kullanılabilir. Bunun için aktif çamur geri devrinin belli bir kısmının ön çökeltme havuzu başına yönlendirilmesi planlanabilir,
- Hassas olmayan alıcı ortamlara derin deniz deşarjı atıksu boşaltımı durumunda deşarj öncesi, belli bir zaman süreci için hizmet görmek üzere, ızgara, kum/yağ tutucu ve/veya ön çökeltim birimlerini ihtiva eden bir mekanik ön arıtma uygulanabilmektedir.

4.2. Farklı Nüfus Grupları için Sistem Seçimi

Atıksu arıtma tesislerinde sistem seçimi, arıtılmış suyun deşarj edileceği ortamın "Hassas Alan", "Az Hassas Alan" veya "Hassas ve Az Hassas Alan Dışında Kalan Alan" sınıflarında değerlendirilmesine göre yapılmaktadır. Arıtılmış su deşarj limitleri için nüfusun 500'ün üzerinde olduğu durumlarda, "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği"nde

belirtilen deşarj kriterlerine, nüfusun 2000'in üzerinde olduğu yerleşim yerlerinde ise "Kentsel Atıksuların Arıtılması Yönetmeliği"nde belirtilen deşarj limitlerine uyulmalıdır.

4.2.1. Nüfusun 500 ile 2000 Arasında Olduğu Yerleşim Birimlerinde Sistem Seçimi

Nüfusun 500'ün üzerinde olduğu durumlarda, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen deşarj kriterlerine uyulması gerekmektedir. 500 ile 2000 nüfus aralığında kullanılan arıtma sistemleri küçük arıtma sistemleri sınıfında olup, bu tür yerleşim yerlerinde uygulanabilecek arıtma sistemleri, üç değişik tipte toplanmıştır. Bunlar;

- a) Doğal arıtma sistemleri,
- b) Geleneksel arıtma sistemleri,
- c) Her ikisinin birlikte uygulandığı sistemlerdir.

Bu sistemlerden birine karar verirken, kişi başına düşen arazi miktarı en önemli kriterdir. Kişi başına düşen arazi miktarına göre bir arıtma sistemi tipi karar verme ağacı, Şekil 4.1'de verilmiştir. Doğal arıtma sistemleri, biyofilmliler ve askıda büyüyen sistemlerin birlikte kullanıldığı sistemlerdir. Askıda büyüyen sistemler olarak doğal lagünler ve havalandırılmalı lagünler(stabilizasyon havuzları), biyofilm sistemleri olarak ise yüzeysel akışlı ve yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanlar kullanılabilir. Klasik arıtma sonrasında, doğal arıtma sistemleri de destekleyici ileri arıtma amacıyla uygulanabilir.

Geleneksel arıtma sistemleri olarak;

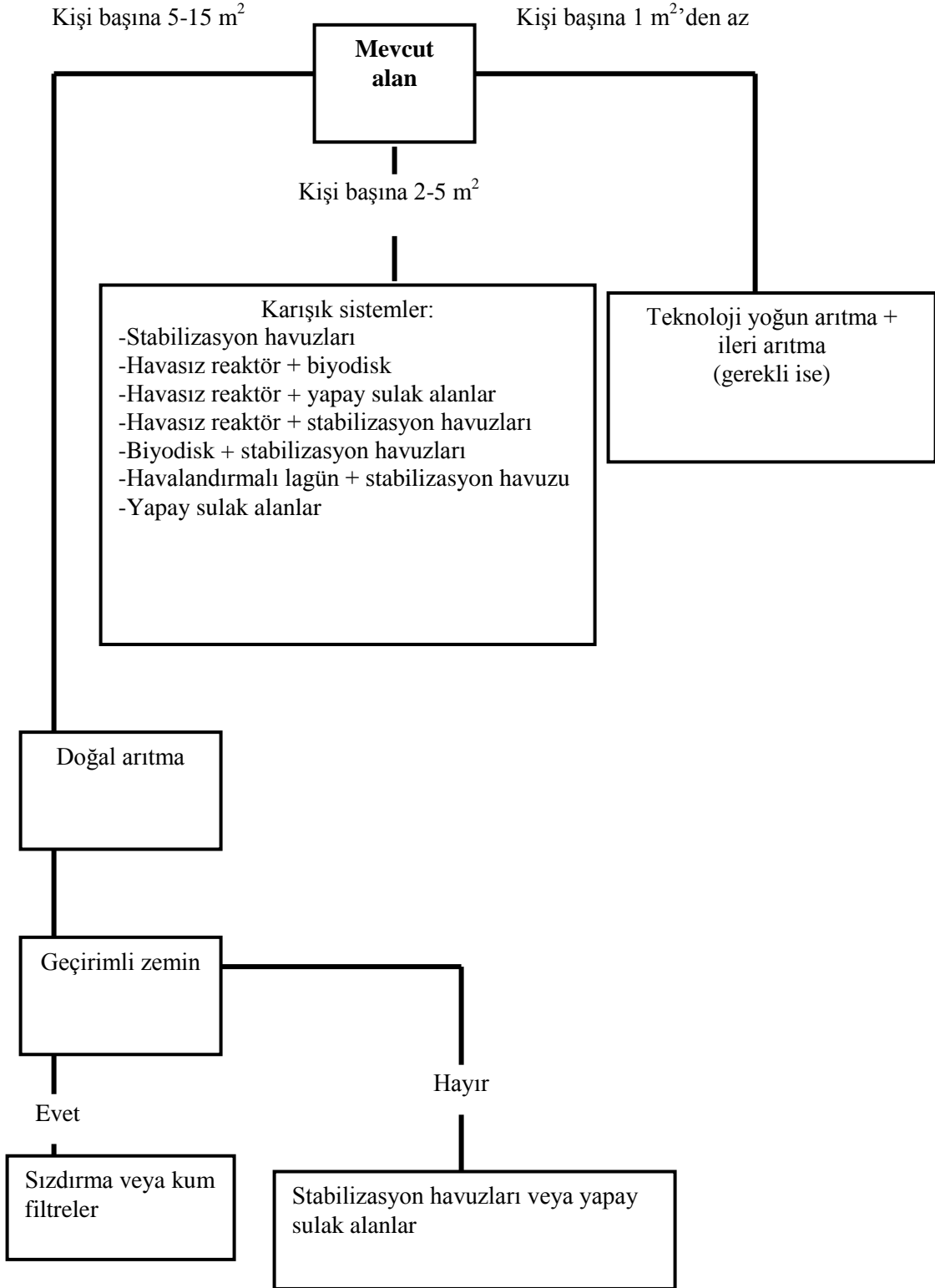
- a) Uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemleri,
- b) Oksidasyon hendekleri,
- c) Ardışık kesikli reaktörler (AKR),
- d) Havasız (Anaerobik) reaktörler,
- e) Damlatılmalı filtreler ve
- f) Döner biyodisk sistemleri

kullanılabilir.

4.2.2. Nüfusun 2000 ve 10000 Arasında Olduğu Yerleşim Birimlerinde Sistem Seçimi

4.2.2.1. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Dışındaki Alanlar

Bu alanlarda ikincil arıtma veya eşdeğeri alternatif arıtma uygulanmalıdır. Bu durumlarda sadece karbon giderimi yeterlidir. 500-2000 nüfus aralığında belirtilen ve yönetmelik şartlarını sağlayan arıtma yöntemleri bu yerleşim birimleri için de kullanılabilir. Yer temini sorununun olduğu durumlarda, aktif çamur sistemleri ve tadil edilmiş tipleri, arazinin yeterli olduğu yerlerde ise doğal arıtma sistemleri tercih edilir.



Şekil 4.1. Nüfusu 500 ile 2000 arasında olan yerleşim yerleri için arıtma tesisi tipi karar verme sistemi (ÇOB, 2010)

Askıda büyüyen aktif çamur sistemlerinin çeşitli konfigürasyonları Şekil 4.2'de verilmiştir. Küçük yerleşimler için aktif çamur prosesi ön çökeltmesiz olarak uygulanır. Şekil 4.3'de ise yüzeyde büyüyen sistemlere ait (damlatmalı filtreler, döner biyolojik disk ve dolgu reaktörler) akış diyagramları verilmiştir.

4.2.2.2. Az Hassas Alanlar

Kentsel atıksuların arıtımı yönetmeliğine göre, 2000 ila 10000 E.N.'li yerleşimlerden az hassas su kütlelerine yapılan kentsel atıksu deşarjlarında birincil artımdan daha düşük düzeyde bir arıtmaya izin verilmemektedir. Ancak, böyle durumlarda alıcı ortamda yeterli seyreltme kapasitesinin bulunduğu ayrıntılı mühendislik çalışmaları sonucunda kanıtlanması ve deşarjların çevreyi olumsuz yönde etkilemeyeceğinin ilişkin atıksu karakterizasyonu ve alıcı ortamın taşıma kapasiteleri ile kullanım planları da göz önüne alınarak ayrıntılı bilimsel araştırmalarla ortaya konması gerekmektedir.

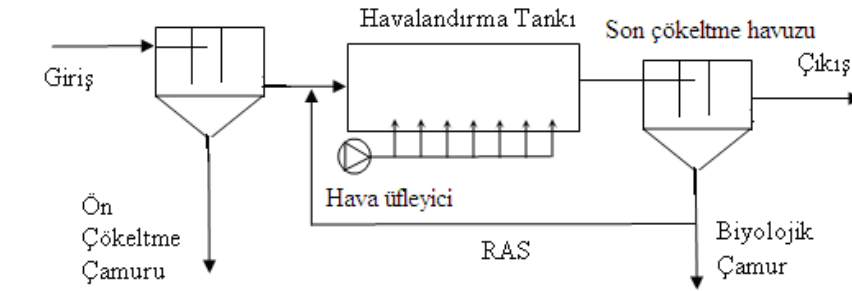
4.2.2.3. Hassas Alanlar

Hassas alanlara yapılacak deşarjlarda karbon giderimi yanında, azot ve/veya fosfor giderimi yapılması gerekmektedir. Biyolojik azot ve fosfor giderimi yapan aktif çamur sistemleri kısa ve/veya uzun süreli değişken çevresel koşullara ve kirlilik yüklerine maruz kaldığından en uygun giderim veriminin sürdürülebilirliğinin sağlanması için bu sistemlerin uygun ve yerinde ölçüm cihazları, proses kontrol ekipmanları ve otomasyon sistemleri ile donatılması gerekmektedir.

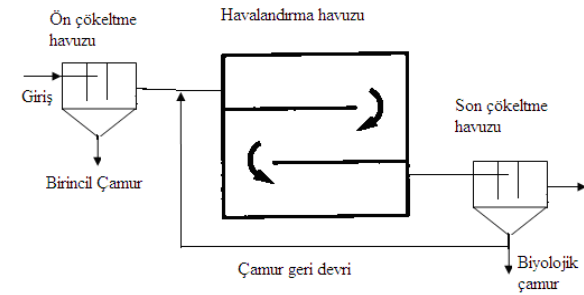
Biyolojik azot ve fosfor giderimi için;

- Tasarıma öncelikle nitrifikasyon prosesinden başlanmalı ve sistemin olumsuz çevresel koşullar altında verimli çalışması için gerekli önlemler alınmalıdır,
- İkinci adımda denitrifikasyon prosesi için gerekli olan hacimler belirlenmelidir,
- Son olarak biyolojik fosfor giderimi için gerekli tasarım kriterleri oluşturularak tank hacimleri hesaplanmalıdır.

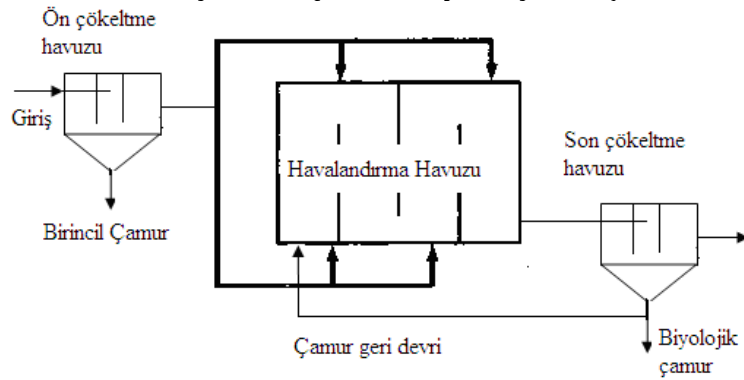
Biyolojik nutrient (azot, fosfor) giderimi için tasarlanan aktif çamur sistemi seçimi atıksu karakterizasyonuna ve çevresel koşullara bağlıdır. Bunun yanında endüstriyel katılımların yüksek olduğu kentsel atıksular tipik evsel atıksu karakterizasyonundan çok büyük farklılık gösterebileceğinden, yukarıda bahsedilen genel tasarım kriterlerinin uygulanmasında sorun yaşanabilir. Özellikle endüstriyel atıksu oranı yüksek kentsel atıksularda ayrışabilen organik madde miktarı, türleri ve ayrışma hızlarının yanında azot ve fosfor parametreleri de farklılık gösterebileceğinden, biyolojik azot-fosfor giderimi açısından prosesin uygunluğunun tasarım öncesi detaylı olarak araştırılması gerekmektedir.



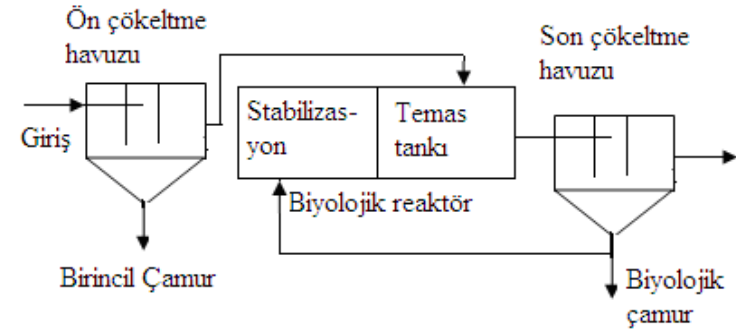
a) Klasik (konvansiyonel) aktif çamur sistemi



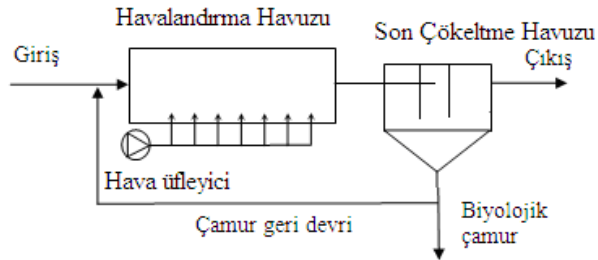
b) Piston akımlı aktif çamur sistemi



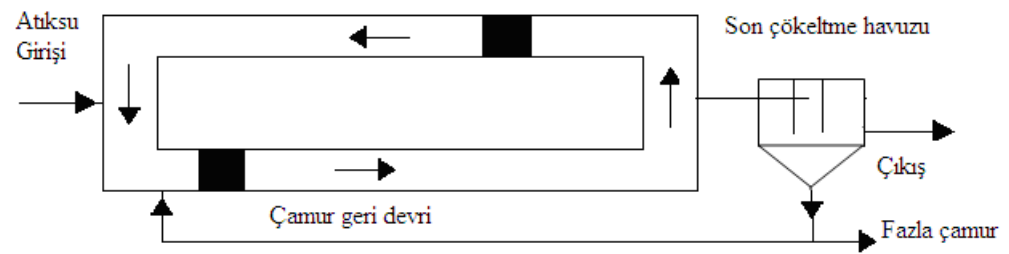
c) Kademeli beslemeli aktif çamur sistemi



d) Temas stabilizasyonlu aktif çamur sistemi
Havalandırma

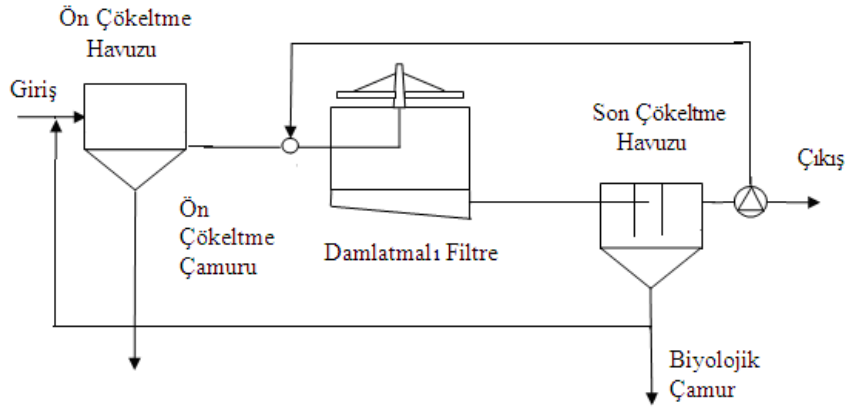


e) Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi

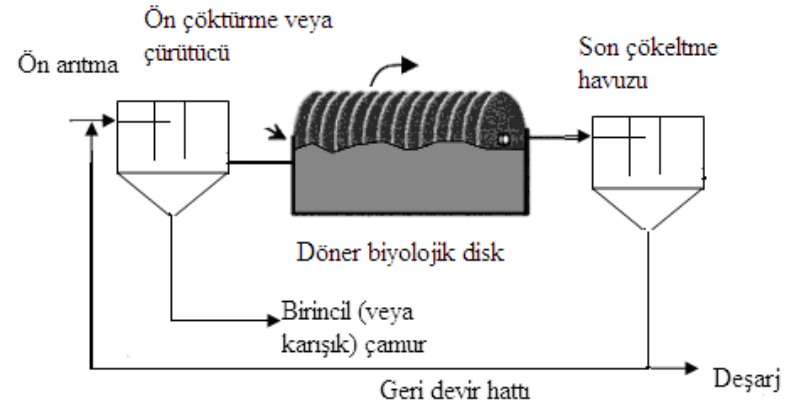


f) Oksidasyon Hendeği

Şekil 4.2. Aktif çamur sistemlerinin çeşitli konfigürasyonları (ÇOB, 2010)



a) Damlatmalı filtre



b) Döner biyolojik disk

Şekil 4.3. Mikroorganizmaların yüzeyde tutunduğu damlatmalı filtreler ve döner biyolojik disk sistemlerinin şematik gösterimi (ÇOB, 2010)

Biyolojik fosfor giderim verimi atıksudaki uçucu yağ asidi (UYA) potansiyeline bağlıdır. Yüksek konsantrasyonlarda UYA, biyolojik fosfor giderimi için biyolojik azot gideriminden önce konulacak havasız reaktörlerin daha küçük hacimde projelendirilmesini sağlayacaktır. Örneğin, UYA içeriği yüksek olan atıksular için %5 civarında bir (anaerobik/toplam) hacim oranı yeterli olacaktır. Öte yandan, UYA içeriği düşük atıksular için fermantasyon prosesinin verimli olmasını sağlamak üzere daha yüksek havasız hacim oranlarına (% 15-% 25) ihtiyaç duyulacaktır. Dolayısıyla havasız reaktörün hidrolik bekletme süresi 90 dakika mertebesine ulaşabilecektir. Atıksularda UYA potansiyelini arttırabilmek için ön fermantasyon prosesi uygulanabilir. Bunun için örneğin ön çökeltme ve/veya çamur yoğunlaştırma birimleri fermantasyon havuzu olarak kullanılabilir.

Atıksuda nispeten düşük KOİ/TKN, KOİ/ΔP seviyelerinde biyolojik fosfor giderimi için UCT, VIP tipi aktif çamur sistemleri tercih edilmelidir. Bunun sebebi havasız tanka geri devir ile (içsel geri devir ve çamur geri devri) giren nitrat ve oksijen yükünün azaltılmasını sağlamaktır. Evsel atıksular için KOİ/TP değerinin düşük olması durumunda UCT, VIP tipi aktif çamur sistemleri biyolojik fosfor giderimi açısından A²O sistemine göre daha avantajlı olmaktadır. Ancak, UCT ve VIP sistemlerinde daha yüksek havasız hacim oranlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Farklı evsel atıksu karakterizasyonları için önerilen biyolojik nutrient gideren aktif çamur sistemleri Tablo 4.1'de özetlenmiştir. Tabloda ΔP, aktif çamur tesisi girişindeki toplam fosfor (TP) ile çıkışındaki çözünmüş fosfor arasındaki farkı ifade etmektedir. Evsel ve Kentsel atıksu arıtma tesisi girişindeki KOİ/BOİ₅ oranı ortalama 2 olduğu kabulü ile aşağıda verilen tablodaki değerler 2 ile çarpılabilir. Aşırı biyolojik fosfor giderimi için ayrıca UYA potansiyelinin ölçümü de gereklidir.

Tablo 4.1. Farklı BOİ₅/ΔP ve KOİ/ΔP seviyeleri için önerilen sistemler (ÇOB, 2010)

<i>Proses</i>	<i>BOİ₅/ΔP mg BOİ₅/mg P</i>	<i>KOİ/ΔP mg KOİ/mg P</i>
<i>VIP*, UCT**</i>	<i>15-20</i>	<i>26-34</i>
<i>A²O*** AO****</i>	<i>20-25</i>	<i>34-43</i>
<i>Bardenpho</i>	<i>>25</i>	<i>>43</i>

* Virginia Sistemi (ABD)

* Capetown Üniversitesi Sistemi (Güney Afrika)

** Anaerobik-Anoksik-Aerobik

*** Anoksik-Aerobik

Atıksudaki yavaş ayrışan organik madde konsantrasyonu yüksek ise biyolojik arıtma ünitesinden önce çamur yaşı 3-5 gün olan ön fermantasyon tankları eklenebilir. Bunun yanı sıra ön çökeltme tanklarında çamur örtüsü belirli bir seviyede tutularak (aktif çamurun bir kısmı geri devrettirilerek) ön fermantasyon işlemi için kullanılabilir. Çamur yaşının 4-5 günden fazla olması metanojenik aktivitenin artmasına ve biyolojik nutrient giderimi için gerekli UYA potansiyelinin kaybolmasına yol açmaktadır.

Heterotrofik bakteriler çoğalma sırasında nutrient ihtiyacı olarak fosforu bünyelerine almaktadır. Bu durumda fosfor giderimi %10-30 mertebesinde olmaktadır. Ancak, biyolojik aşırı fosfor gideriminde, fosfor depolayan mikroorganizmalar fosfatı nutrient

ihtiyacından daha fazla miktarda depolamakta olup sistemin fosfor giderimi %85-95 mertebesine kadar ulaşmaktadır. Fosfor depolayabilen heterotrofik mikroorganizmalar nitrat ve çözünmüş oksijenin bulunmadığı havasız koşullarda, atıksudaki uçucu yağ asitlerini depolayarak bünyesinde tuttuğu fosforu hücre dışına salmaktadır. Bunu takip eden anoksik ve/veya havalı koşullarda ise depolama ürünlerini hücre sentezinde kullanarak saldığı fosfordan daha fazlasını bünyesinde depolamaktadır. Biyolojik aşırı fosfor giderimi için biyolojik denitrifikasyonun yapıldığı anoksik reaktörlerin önüne havasız reaktörler de eklenmelidir. Diğer aktif çamur ünitelerinden geri devir akımları (içsel geri devir ve çamur geri devri) ile havasız reaktörlere dönen nitrat ve oksijen konsantrasyonları minimum seviyede tutulmalıdır.

Biyolojik aşırı fosfor giderimi için giriş suyundaki kolay ayrışabilen organik madde miktarı (fermente olabilen maddeler, uçucu yağ asitleri vb.) büyük önem taşımaktadır. Özellikle düşük konsantrasyonda kolay ayrışabilen organik madde içeren atıksular için uygun proses konfigürasyonu seçilmesi gerekmektedir. Biyolojik çamur stabilizasyonunun biyoreaktör içinde gerçekleştirildiği uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri yalnız biyolojik aşırı fosfor giderimi için uygulanmamalıdır. Fosfor içeriği yüksek biyolojik çamura, stabilizasyon (havalı, havasız) işlemi uygulandığında çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma ünitelerinden arıtma tesisine geri dönen tüm geri devir akımlarındaki nutrient yükleri kütle dengesi ile belirlenerek etkileri dikkate alınmalıdır. Gerekli görüldüğünde arıtma tesisine dönen çamur geri devir akımlarında uygun ilave arıtma işlemleri (kimyasal çöktürme vb.) de uygulanmalıdır.

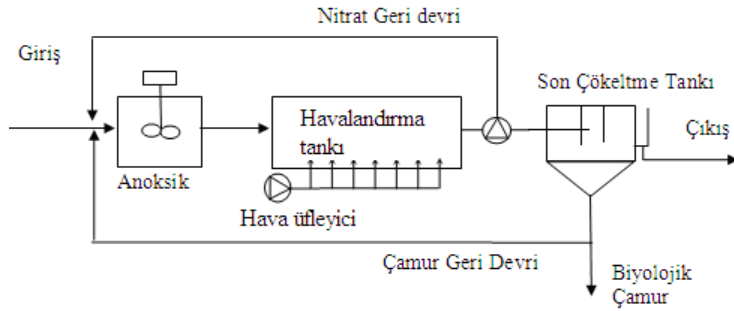
Evsel atıksularda biyolojik azot giderim verimi biyolojik arıtmaya giriş atıksuyundaki KOİ/TKN oranına bağlıdır.

KOİ/TKN<10 olması durumunda ön denitrifikasyon sistemleri etkin olarak kullanılabilir. Oranın (KOİ/TKN) 10'dan büyük olması halinde ise sonda denitrifikasyon uygundur. Bu durumda birden fazla anoksik reaktöre sahip; önde ve sonda denitrifikasyon sistemlerinin avantajlarının birleştiği Bardenpho tipi aktif çamur sistemi kullanılabilir.

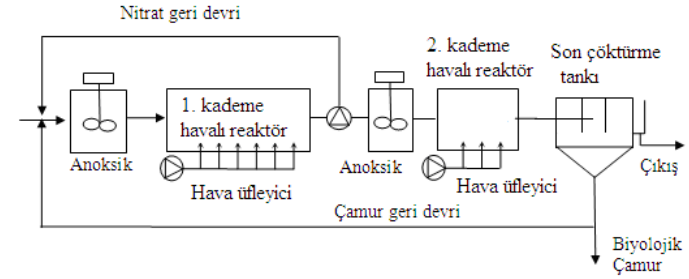
Girişteki karbonlu organik madde konsantrasyonunun yüksek olması çıkışta düşük nitrat konsantrasyonu elde edilmesini sağlar. Ayrıca, birlikte simültane (eş zamanlı nitrifikasyon ve denitrifikasyon) azot giderimi de alternatif çözüm olarak kullanılabilir.

Evsel atıksulardan biyolojik azot giderimi, havalı ve anoksik koşulların mevcut olduğu aktif çamur sistemi konfigürasyonları ile sağlanmaktadır. Öncelikle havalı şartlarda amonyum azotu nitrata dönüştürülür. Oluşan nitrata denitrifiye etmek için anoksik reaktöre geri devrettirmek (nitrat geri devri) ve atıksudaki organik madde ile tam karışmasını sağlamak gerekmektedir.

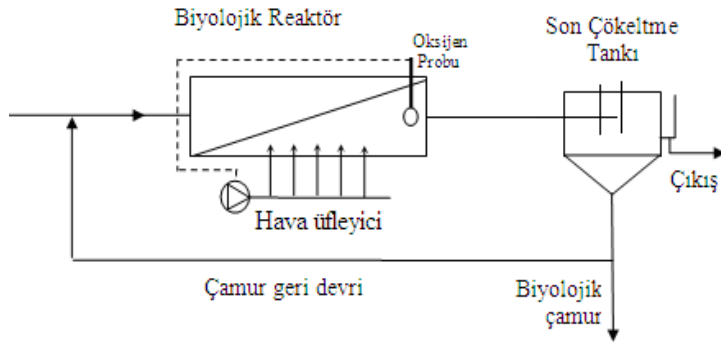
Biyolojik karbon ve azot giderimi yöntemleri Şekil 4.4'de detaylı olarak verilmiştir.



a) Önde denitrifikasyonlu aktif çamur sistemi



b) Bardenpho tipi aktif çamur sistemi



c) Simültane Nitrifikasyon Denitrifikasyon tipi aktif çamur sistemi

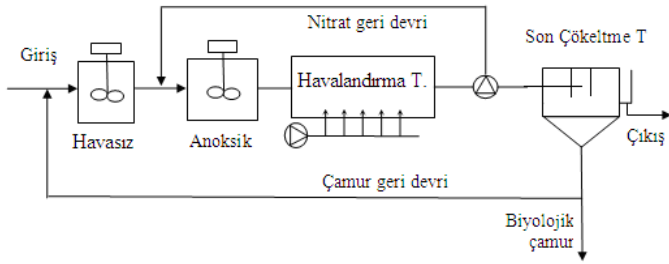
Şekil 4.4 Biyolojik karbon ve azot giderimi yöntemleri (ÇOB, 2010)

Şekil 4.4a'da verilen sistem ön denitrifikasyon prosesidir. Bu proseste denitrifikasyon havalı tankın öncesine yerleştirilen anoksik reaktörde sağlanmaktadır. Proses sırasında çözülmüş oksijenin geri devir akımı ile birlikte anoksik reaktöre girişi minimize edilmelidir. Şekil 4.4b'de ise iki anoksik reaktörün kullanıldığı Bardenpho tipi iki kademeli aktif çamur sistemi gösterilmektedir. Birinci kademedeki havalı tankı takip eden 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 çözülmüş oksijen seviyesinin reaktör içinde etkin olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. 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 4.4c).

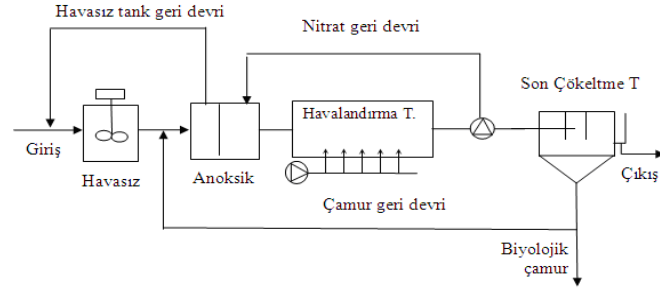
Atıksulardan biyolojik azot giderimi ile birlikte fosfor giderimi için; havasız, anoksik ve havalı koşulların sağlandığı aktif çamur sistemi konfigürasyonları gerekmektedir. Yukarıda bahsedilen biyolojik azot giderimi prosesine ek olarak fosfor depolayan bakteriler için havasız şartların da sağlanması gerekmektedir. Şekil 4.5a'da verilen A²O (Havasız (Anaerobik)-Anoksik-Oksik) prosesi ön denitrifikasyon prosesi önüne bir havasız reaktörünün eklenmesi ile elde edilmiştir. Burada nitrat geri devri anoksik reaktöre, çamur geri devri ise son çökeltim tankından havasız reaktöre yapılmaktadır. Havasız koşulların sağlanması için geri devir akımlarındaki nitrat ve oksijenin minimize edilmesi gerekmektedir. Şekil 4.5b'de görüldüğü gibi, havasız reaktöre nitrat geri devrinin azaltılabilmesi için havasız tank geri devri anoksik reaktörden yapılmaktadır. Nitrat geri devri havalı tanktan anoksik tanka, çamur geri devri ise son çökeltim tankından anoksik tanka yapılmaktadır.

Şekil 4.5c'de 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 çökeltim tankından anoksik tanka yapılmaktadır. Havasız tanka yapılan nitrat geri devri seyreltik olduğundan havasız reaktörün bekletme süresinin uzun seçilmesi daha uygundur.

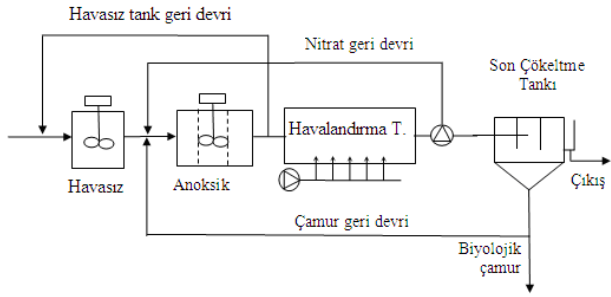
Şekil 4.5d'de biyolojik azot ve fosfor gideren 5 Kademeli Bardenpho prosesi gösterilmiştir. Bu sistemde, biyolojik azot giderimi yapan 4 Kademeli Bardenpho prosesinin başına havasız reaktörün eklenmesi ve çökeltmiş çamurun bu reaktöre geri devrettirilmesi ile biyolojik fosfor giderimi sağlanmaktadır. 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 4.5e'de verilmiştir. Biyolojik azot ve fosfor giderimi için seçilen konfigürasyonda son çökeltme havuzu yerine membran biyoreaktör (MBR) sistemleri de kullanılabilir.



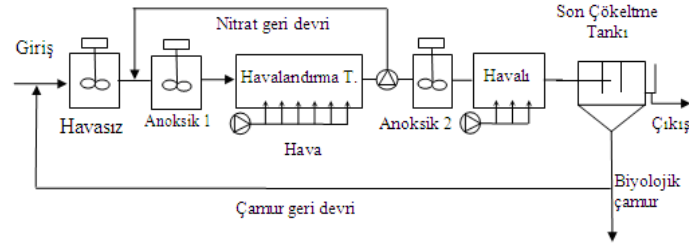
a) A²O tipi aktif çamur sistemi



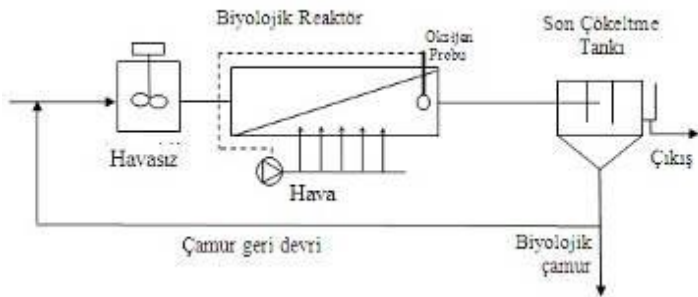
b) UCT (Capetown Üniversitesi) tipi aktif çamur sistemi



c) VIP (Virginia Tesisi) tipi aktif çamur sistemi



d) Modifiye Bardenpho tipi aktif çamur sistemi



e) Biyolojik fosfor gideren Simültane Nitrifikasyon Denitrifikasyon tipi aktif çamur sistemi

Şekil 4.5. Biyolojik karbon, azot ve fosfor giderimi yöntemleri (ÇOB, 2010)

Fosforun kimyasal olarak da arıtılması mümkündür. Alüminyum ve demir tuzları ya da kireç kimyasal madde olarak kullanılabilir. Kimyasal çöktürmede, fosfat metal-fosfat tuzları halinde çöktürülerek uzaklaştırılmaktadır. Fosfor giderimi için eklenen kimyasal maddeler arıtma tesisi ön ve son çökeltim tankları öncesinde uygulanabileceği gibi arıtılmış suya da uygulanabilmektedir. Ancak kimyasal madde eklenmesinden sonra mutlaka bir çöktürme işlemi gerekmektedir. Kimyasal madde eklenmesi durumunda arıtma tesisinin alkalinite dengesinin de kontrol edilmesi gerekmektedir.

Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği'ne göre, hassas su alanında yer alan tüm kentsel atıksu arıtma tesisleri kirlilik yüklerinin, toplam fosforda minimum % 75 ve toplam azotta minimum % 75 giderim veriminin sağlanması durumunda, ilgili idarelerce alternatifli olarak her bir münferit arıtma tesisi için azot ve fosfor giderimi şartı aranmamaktadır.

4.2.3. Nüfusun 10.000'nin Üzerinde Olduğu Yerleşim Birimlerinde Sistem Seçimi

4.2.3.1. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Dışındaki Alanlar

Hassas ve az hassas su alanları dışındaki alanlar için ikincil veya eşdeğer düzeyde bir arıtma gerekmektedir. Bu durumlarda sadece organik karbon giderimi yeterlidir. Şekil 4.2'de verilen askıda büyüyen aktif çamur sistemlerinin çeşitli konfigürasyonları ve yüzeyde büyüyen sistemlere bu maksatla (damlatmalı filtreler, döner biyolojik disk ve dolgulu reaktörler) kullanılabilir.

4.2.3.2. Az Hassas Alanlar

Kentsel Atıksuların Arıtılması Yönetmeliği'ne göre, 10000 ila 150000 E.N.'a sahip kentsel alanlardan az hassas kıyı sularına yapılan kentsel atıksu deşarjları birincil artımdan daha düşük olmamak şartıyla alıcı ortamda yeterli seyreltme kapasitesinin bulunduğu ayrıntılı mühendislik çalışmaları sonucunda kanıtlanması halinde ve bu gibi deşarjların çevreyi olumsuz yönde etkilemediğine ilişkin atıksu karakterizasyonu ve alıcı ortamın taşıma kapasiteleri ile alıcı ortamın kullanım planları da göz önüne alınarak ayrıntılı bilimsel araştırmalar yapılması şartıyla, kentsel atıksuların derin deniz deşarjıyla bertarafına izin verilebilir.

4.2.3.3. Hassas Alanlar

Hassas alanlara yapılacak deşarjlarda ise karbon giderimi yanında, azot ve fosfor giderimi de yapılması gerekmektedir. Şekil 4.5'de verilen sistemler bu maksatla uygulanabilir. Fosfor giderimi için ilave olarak kimyasal madde ilavesi de gerekebilir.

4.3. Çamur Stabilizasyonu

Atıksu deşarj standartlarına ek olarak arıtma tesisinden çıkan çamurun stabilizasyonunun da gerekli olması durumunda, atıksu arıtma sistemlerinin çamur arıtma teknolojileri ile birlikte ele alınması gerekmektedir. Özellikle havalandırma havuzu girişindeki karbon/azot oranı ayrı bir çürütücü yapımına karar vermede etkilidir. Pratik olarak,

$$(BO\dot{I}_5)_{HGiri\dot{s}i} < 5x[(TKN)_{HGiri\dot{s}i} - 10]$$

(4.1)

olması durumunda çürütücü yapımı biyolojik besi maddesi giderimini olumsuz olarak etkilemektedir (Metcalf&Eddy, 2003). Ancak bu tür kentsel alanlarda mutfak öğütücüleri ile evlerdeki organik atıkların atıksu akımına verilmesi, gıda endüstrisi atıksularının doğrudan kanalizasyon sistemine kabulü, lokanta/pastane atıklarının arıtma tesisine (özellikle çürütücüye) kabulü vb. tedbirlerle arıtmada enerji minimizasyonu maksadıyla çamur çürütücüler kullanılabilir. Bazı ülkeler enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kazanımının artırılması maksadıyla, EN>10.000 olan yerleşimlerde çamur çürütücü zorunluluğu getirmişlerdir. Enerjide çok büyük oranda ithal doğalgaz ve kömüre bağlı ülkemiz açısından da ilk etapta: EN≥50.000 olan kentsel atıksu arıtma tesislerinde havasız çamur stabilizasyonu, mutfak/lokanta atıkları ve benzeri gıda/tarım atıkları ile birlikte anaerobik arıtma konsepti ile değerlendirilmelidir. Atıksu arıtma tesisi yan akımlarında P, N giderimi de atıksu arıtma tesisindeki KOİ/TKN dengesizliğini gidermek üzere kullanılabilir.

4.4. Özel Durumlar

Özel durumlarda uygulanacak sistem seçimi esasları aşağıda özetlenmiştir (ÇOB, 2010).

4.4.1. Turizm Bölgelerinde Uygulanacak Esaslar

Turistik yörelerde, su kullanımının fazla olması ve turistik bölgelerin ekonomik ve ekolojik açıdan önem arz etmesi nedeni ile Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği hükümleri geçerlidir.

Merkezi arıtma tesisinden uzak küçük tatil siteleri ve otellerde, atıksuların bir toplama sistemi ile toplanıp en yakın arıtma tesisine ulaştırılması veya uygun bir arıtma ile bertarafı esastır.

4.4.2. Arazinin az ve kıymetli olduğu yerlerde uygulanacak teknik esaslar

Arazinin kısıtlı ve pahalı, alıcı ortam olarak denizin kullanılabileceği Karadeniz ve Boğazlar gibi yerlerde atıksular, mekanik arıtma sonrasında, denize deşarjların çevreyi olumsuz yönde etkilemediğinin ayrıntılı bilimsel araştırmalarla kanıtlanması şartıyla, derin deniz deşarjı yapılabilir.

Membran biyoreaktör (MBR) sistemleri, daha az yer kaplamaları dolayısıyla, özellikle hassas alanlarda kullanılabilecek bir biyolojik arıtma yöntemidir. Oluşan çamur miktarının az ve ayrıca stabil olması, çamur uzaklaştırma için ilave alan ihtiyacını azaltmaktadır. MBR çıkışı, UV ile dezenfeksiyon sonrasında sulamada kullanılabilir.

4.4.3. Arazinin kolay temin edilebildiği yerlerde uygulanacak teknik esaslar

Arazinin kolay temin edilebildiği İç Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgesi gibi yerlerde daha çok alan kaplayan doğal arıtma sistemleri ile Anaerobik Arıtma Sonrası Stabilizasyonu Havuzları veya Havalandırmalı Lagünler kullanılabilir. Bu sistemler tek başlarına veya birbirini takip eden seri sistemler olarak da kullanılabilir.

4.4.4. İklim şartlarına göre uygulanacak teknik esaslar

Soğuk iklimlerde, biyolojik arıtmada uygulanan havalandırma tipi büyük önem taşımaktadır. Uygulanacak havalandırıcı, havalandırma havuzunu soğutmaktan ziyade, ısıtıcı vazife görmelidir. Bu yüzden, soğuk iklimlerde, difüzörlü havalandırıcılar kullanılmalıdır. Ayrıca, tesislerin üzerinin kapatılması veya ilave bir ısıtıcının kurulması da alternatifler arasındadır.

Biyolojik arıtmada çamur yaşı, sıcak iklimlerde daha düşük, soğuk iklimlerde ise daha yüksek seçilmelidir. Soğuk iklimlerde dikkat edilmesi gereken bir diğer husus, biyolojik arıtmadaki çökeltim havuzunun bekletme süresinin uygun seçimidir. Sıcaklık düştükçe bekletme süresi artırılmalıdır.

Havalandırılmalı lagünlerde, düşük sıcaklıklarda mikroorganizmaların performansının azalması ve buz oluşumundan dolayı, sıcaklık etkisi dikkate alınmalıdır. Bu havuzlarda da yüzeysel havalandırıcı yerine difüzörlü sistemler tercih edilebilir. Buz oluşumu halinde, reaktör derinliği artırılarak bu etki minimize edilebilir. Soğuk mevsimlerde lagünler seri halde, sıcak mevsimlerde ise paralel olarak çalıştırılabilirler. Seri halde çalıştırmada, birinci reaktöre havalandırıcı yerleştirilirken, ikinci reaktöre havalandırıcı yerleştirilmez ve buz oluşumuna müsaade edilir. Benzer işletme prensibi, yapay sulak alanlar ve stabilizasyon havuzları için de geçerlidir.

4.5. Kaynaklar

ÇOB (2010). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, TC Çevre ve Orman Bakanlığı (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı), Resmi Gazete Tarih: 20.03.2010, Sayı: 27527.

Metcalf & Eddy (2003). Wastewater Engineering, Disposal and Reuse, Mc Graw Hill Publishing.

5. BİRİNCİ KADEME (ÖN) ARITMA

Prof. Dr. İsmail KOYUNCU

Atıksu arıtma tesislerinde birinci kademe arıtma (birincil arıtma) birimleri prosesin en önemli bileşenlerini oluşturmaktadır. Birinci kademe arıtma, kaba maddelerin atıksulardan uzaklaştırılması, askıda ve de çökebilen maddelerin giderimi, yağ ve gres gibi yüzeyde birikebilen maddelerin ortamdan sıyrıcılar vasıtasıyla uzaklaştırılması, akımın dengelenmesi ve debinin ölçülmesi gibi işlemleri kapsamaktadır. İyi planlanmış birinci kademe arıtma kademesine sahip bir arıtma tesisine girecek atıksu akımı dengelenmeli ve sonraki arıtma birimleri debi dalgalanmalarından zarar görmeyecek biçimde tasarlanmalıdır (TS EN 12255-3, DIN EN 12255-3).

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 sıyrıcıları ile donatılmalıdır (TS EN 12255-3, DIN EN 12255-3).

Arıtma tesislerinin planlanma ve boyutlandırılma safhalarında çalışmakta olan benzer tesislerin tasarım kriterlerinin olabildiğince dikkate alınması gerekmektedir. Yapılan planlamalarda esas alınacak tasarım kriterleri atıksu karakteristiği ve arıtma tesisi büyüklüğü ile teknik ve ekonomik şartlar göz önünde bulundurularak düzenlenmelidir (TS EN 12255-3, DIN EN 12255-3).

Atıksu birinci kademe arıtma prosesleri aşağıdaki şartları sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır (TS EN 12255-3, DIN EN 12255-3):

- 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 ayırımının sağlanması,
- Arıtma proseslerinin güvenli çalışması için gerekli şartların sağlanması,
- Ekipman ve donanımın korunmasının sağlanması.

Kentsel atıksu arıtma tesislerinde yer alan birinci kademe arıtma birimleri aşağıda özetlenmiştir.

5.1. Izgaralar ve Elekler

5.1.1. Izgaraların Genel Tanıtımı ve Amacı

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.

5.1.2. Izgara Tipleri ve Ünite Sayıları

Izgaralar, ızgara açıklığı bakımından kaba ve ince ızgara olarak ikiye ayrılır.

Kaba ızgaralar, pompa çarklarını aşınma, tıkanma vb. etkilere karşı korumak amacı ile terfi merkezlerinin girişine yerleştirilmektedir. Kaba ızgaraların çubuk aralığı 30~50 mm olabilir. Atıksu arıtma tesisi girişinde kollektör akar kotları çok derinde (5,0 – 10,0 m) olabilir. Dolayısıyla, tesis girişine kurulan kaba ızgaralar da zemin yüzeyinden oldukça derinlere yerleştirilebilir. Derindeki bu tür ızgaralarda boy uzun olacağından tırmığın bir devri, yani su seviyesi üzerindeki konak yerinden su akar kotuna inerek, tekrar su seviyesinin üzerindeki ilk konuma gelmesi, 2 ile 3 dakika alabilir ve bu esnada ortalama hız 0,15 – 0,20 m/sn olabilir. Kaba ızgaraları elle veya otomatik olarak temizlemek mümkündür.

İnce ızgaralar, kum tutucu ve ön çökeltim havuzu gibi yapıların yükünü azaltmak maksadı ile kullanılmaktadır. Atıksularda kullanılacak ince ızgaralarda çubuk aralığı 10~30 mm alınabilir. İnce ızgaralar genelde, mekanik temizlemeli yapılırlar ve tırmık sıyırma hızı 0,10-0,15 m/sn alınabilir. Tırmığın bir tur yapması (çalışma devresi), ızgara boyuna bağlı olarak 2 ile 5 dakika arasında değişmektedir.

Izgaralar, çalışma prensibi bakımından aşağıdaki şekilde sınıflandırılır:

- Sabit çubuklu ızgaralar: Bunlar genellikle mekanik ekipmanla teçhiz edilmişlerdir.
- Döner ızgaralar: Bunlar genellikle basınçlı su ile temizlenirler.
- Öğütücüler: Bunlar tuttukları atıkları öğüterek suya tekrar karıştırdıkları için temizlenmelerine gerek yoktur.

5.1.2.1. Çubuk Izgaralar

Dik Çubuklu Izgaralar

Kanalların derinde olması halinde tercih edilmektedir. Derin kanallarda tırmıklama süresi uzayacağından ızgaralar yukarıya çekilerek temizlenir. Bu halde bir ızgara yukarıya çekilirken yedek olan diğer ızgara aşağıya salınmaktadır. Bu tür ızgaralarda her kanala iki ızgara yerleştirilmektedir.

Eğimli Çubuk Izgaralar

Bu tür ızgaralar mansaba doğru yatık kurulmaktadır. Elle temizlenenlerde derinliğe göre yatayla 30-60 derece açı verilebilir. Mekanik temizlemelilerde bu açı 70-80 derece olmaktadır. Izgaralar, kollu tırmık veya sonsuz zincirli tarak düzenleri ile temizlenirler. Bu ızgaraların uygulama alanları ve çeşitleri oldukça fazladır.

Radyal Izgaralar

Su derinliği 2,5 m'ye kadar olan kanallarda kullanılır ve genelde sığ kanallar için tavsiye edilir.

Kesici Izgaralar (Barminatörler)

Bunlar ızgarada tutulan iri çöpleri kesip ufalamakta ve tekrar suya bırakmaktadırlar. Böylece atıksuyun kirlilik yükünün belli oranda artmasına yol açmaktadırlar.

5.1.2.2. Döner Izgaralar

Bu gruba tambur elekler ve bant ızgaralar girmektedir.

Tambur Izgaralar (Elekler)

Büyük debiler için kullanılır. Genellikle 12 mm altındaki parçacıkları tutmak üzere kurulur. Burada ham su iki yandan ortaya girmektedir. Çöpler tamburun iç yüzeyinde tutulmakta, iri parçalar buradan içerdeki bir oluğa dökülmektedir. İnce çöpler dışarıdan su püskürtülerek oluğa dökülmektedir.

Bant Izgaralar

Kapasitesi yüksek olup, özellikle lifli olmayan maddeleri tutmaya elverişlidir. Göz açıklığı 3 mm'ye kadar inebilen oldukça ince ızgaralardır. Bantları özel yapıda patentli imalatlardır. Montajları kolay olup eski (mevcut) kanallara da yerleştirilebilirler.

5.1.3. Genel Beklentiler

Izgaraların tasarımında, su derinliği, çubuklar arasındaki açıklık, tarama sıklığı, müsaade edilen yük kaybı, serbest akış alanı, yaklaşım kanalının şekli, ızgara kanalının göz sayısı, tutulacak çöp miktarı ve türü, kapaklar önünde oluşacak su yükü ve ızgaradan sonraki arıtma prosesi dikkate alınmalıdır.

Proje mühendisi çeşitli firmaların ızgaralarını incelemeli ve ihtiyaca en uygun olana karar verdiğinde ilgili firma ile detayları (boyutları, kapasitesi, maliyeti) görüşerek projesini kesinleştirmelidir. Bir ızgara yapısını projelendirebilmek için;

- Izgaradan geçecek pik ve ortalama debilerin,
- Izgara yapısına giriş yapan atık su kanalı akar kotunun

bilinmesi gerekmektedir. Nüfusa bağlı ihtiyaçlar, Tablo 5.1'de sınıflandırılmıştır.

Tablo 5.1. Nüfusa bağlı ihtiyaçlar

<i>N < 2.000</i>	<i>2.000 < N < 10.000</i>	<i>N > 10.000</i>
<i>El ile temizlemeli</i>	<i>El ile veya mekanik temizlemeli</i>	<i>Mekanik temizlemeli</i>
<i>Sepet veya çubuk ızgara</i>	<i>Birinci ızgara el ile temizleniyorsa, ikincisi mekanik temizlenebilmeli</i>	<i>Otomatik konveyör gerekir.</i>
<i>Izgara, yüzeye çıkartılabilir olmalı</i>	<i>Birinci ızgara mekanik temizleniyorsa, ikincisi el ile temizlenebilmeli</i>	<i>Mekanik ekipmana ait motor, en yüksek su seviyesinin de üzerinde olmalı</i>
<i>Sepet ızgara yerleştirilirse, yüzeye çekildiğinde aşağıda sabit bir çubuk ızgara olmalı</i>	<i>Bakım ve işletme için ızgara odasına merdiven ile ulaşım olmalı. Dikey merdiven yerine, basamaklı merdiven kullanılmalı. Merdiven korozyona karşı dirençli olmalı</i>	
<i>Bakım ve işletme için ızgara odasına merdiven ile ulaşım olmalı. Dikey merdiven yerine, basamaklı merdiven kullanılmalı. Merdiven korozyona karşı dirençli olmalı</i>	<i>Mekanik ekipmana ait motor, en yüksek su seviyesinin de üzerinde olmalı</i>	

Aşağıda ızgaralar ile ilgili genel beklentiler verilmiştir

5.1.3.1. Izgaralar Arası Açıklık

Izgaranın veya paralel halde çalışacak ızgaraların serbest açıklığı, maksimum debiyi (hatta biraz daha fazlasını) geçirebilecek büyüklüğe sahip olmalıdır.

Izgaralar, ızgara açıklığına göre üçe ayrılır:

- 20 mm ila 50 mm arasındaki ızgara açıklığı: Tesise büyük maddelerin girmesinin önler ve oluşabilecek tıkanıklık problemini minimize eder (kağıt, tekstil ürünü gibi büyük çaplı maddeler).
- 10 mm ila 20 mm arasındaki ızgara açıklığı: Orta derecedeki açıklık olup büyük maddelerin tesise girmesini önleyerek diğer üniteleri korur ve tıkanıklık problemini minimize eder.
- 2 mm ila 10 mm arasındaki ızgara açıklığı: İnce ızgara veya elek diye adlandırılır. Çamur ünitesinde birikecek katı madde yükünün azaltılmasını sağlar.

5.1.3.2. Eğim ve Hız

- Genelde ızgara çubuklar arasındaki ortalama su hızı 0,75 m/sn, maksimum su hızı 1,25 m/sn olmalıdır. Daha büyük hızlar tutulan çöpleri sürükleyeceği için istenmemektedir. Yaklaşım kanalındaki hız ise çökelmeye meydan vermeyecek seviyede olmalıdır. Aksi halde bu hız, hiç değilse günde en az bir defa 0,6 m/sn değerine ulaşmalıdır.
- Taban yatay (eğimsiz) yapılırsa da kanala doğru eğim verilmesi döşemenin kuru kalmasını sağlamaktadır. Izgara kanalı ızgaraya dik konumda olursa, çöpler ızgaraya eşit düzeyde yayılmaktadır. Izgara kanalına belirli bir eğim verilerek ağır tanelerin çökmesi önlenmelidir.
- Izgara kanallarında bekleme süresi 2 dk'yi geçmemelidir.

5.1.3.3. Kanal Sayısı

- Büyük tesislerde bir tek ızgara kanalı yerine daha fazla kanal düşünölmelidir. Bu suretle hem arıza riski azaltılmış ve hem de en uygun genişlik/derinlik oranı sağlanmış olmaktadır.
- Izgaraların yedekli yapılması faydalıdır. Arıza sırasında yedek devreye girer. Her iki ızgara maksimum debiye (pik debiye) göre boyutlandırılmalıdır.
- Rutin bakımlarını yapabilmek için, ızgara kanalındaki su akışının kesilerek suyun boşaltılması gerekmektedir.
- Giriş ve çıkış yapıları, hidrolik yük kayıplarını azaltmak için, genişleyen ve daralan koni biçiminde yapılmalıdır. Izgaradaki yük kaybına ilaveten giriş, genişleme, daralma, dönüş ve çıkış kayıpları da ayrı ayrı hesaplanmalıdır.
- Yedek kanalı olmayan ızgaralarda bir yanal taşkın kanalı bulunmalıdır. Bu taşkın kanalının tabanı maksimum su seviyesi hizasında olmalıdır.
- Atıksu arıtma tesisleri giriş yapılarında bulunan ızgaralarda taşma olasılığına karşın bir rezerv alan bulunmalıdır.
- Giriş kanalları, debiyi eşit dağıtacak şekilde tasarlanmalıdır.

5.1.3.4. Düşü

- Izgara kanalı akar kotu, atıksu ana toplayıcısı akar kotundan 75 mm-150 mm daha aşağıda olmalıdır.

5.1.3.5. Izgara Atıkları ve Uzaklaştırılması

- Izgaralarda katı maddeler yeterli seviyede tutulmalıdır.
- Tutulan katı maddeleri kaldıran ve uzaklaştıran kaldırma sistemi bulundurulmalıdır.

5.1.3.6. Izgara Temizleme Aralığı

- Izgaralar giriş-çıkış su seviyeleri arasındaki fark belirli bir değere ulaştığı zaman temizlenmelidir.
- Seviye farkına ulaşınca kadar uzun bir süre geçerse, bu halde ızgara üzerindeki çöpler kuruyarak otomatik temizleme sisteminde sorun çıkartabilir. Bu sebeple, ızgaraların temizleyicileri hem seviye farkına hem de zamana göre devreye girebilmelidir.
- Izgaraların temizleme düzenini kontrol etmek için çeşitli prensipler kullanılmaktadır. Önce, ızgaralarda temizleme kolu bekleme konumunda su üstünde durmalıdır. Bunun için ızgara tırnığı temizleme işini tamamlayıp duracağında veya dur komutunu aldığında, ızgaranın neresinde olursa olsun mutlaka hareketine devam ederek maksimum su seviyesinin üzerine çıkmalı ve ondan sonra bekleme pozisyonuna geçmelidir.
- Izgaraların temizleme sıklığı aşağıda açıklanan prensiplerden biri veya birkaçı ile ayarlanmalıdır:
 - Izgara memba tarafındaki su seviyesi, belirlenen en üst kota ulaştığı zaman devreye girer ve su kotu en düşük seviyeye indiği zaman devreden çıkarak bekleme konumuna geçer. Bu yöntem basit ve ekonomik olup küçük tesislerde kullanılır. Burada atıksu debisindeki değişimler dikkate alınmaz.

- Bir zaman süresine bağlı olarak belirlenen saatle devreye girer, belirlenen süre devrede kalarak temizlemesini yapar ve bu sürenin sonunda beklemeye geçer. Bu yöntemde ucuz ve basit olduğu için küçük tesislerde kullanılır.
- Izgara, memba ve mansap su seviyeleri arasındaki farkın belirli bir değerin üzerine çıkması halinde devreye girer ve alt değerin altına inmesi halinde beklemeye geçer. Izgaralarda en çok kullanılan yöntemdir. Memba ve mansap su seviyeleri ölçümü daha çok ultrasonik yöntemlerle yapılmaktadır. Her iki taraf arasındaki su seviyesi farkı 5 cm'den 15 (maks. 25 cm) cm'ye kadar ayarlanabilir olmalıdır.
- Konveyörlerin ve presin çalışması ızgaraların çalışması ile eş zamanlı olmalıdır. Izgaraların çubukları, kayma ve deşarj plakaları paslanmaz çelikten yapılmalıdır. Izgaralar mümkünse çift konmalı (gereğinde ikisi de çalıştırılabilir), tek yapılacak ise tamir ve bakım sırasında kullanılmak üzere muhakkak çevirme (by-pass) kanalı ile birlikte planlanmalıdır. Bu kanalın baş tarafına elle temizlemeli bir kaba ızgara konulmalıdır.

5.1.3.7. Ulaşım ve Havalandırma

- Izgara kanalı, açık kanal şeklinde tasarlanmalı ve gerekli havalandırma yapılmalıdır.
- Açık kanal derinliği 1,2 m'den büyük olmalıdır.
- Izgara odası, tesisteki diğer ekipman ve ofislerin bulunduğu binadan izole bir alanda olmalıdır.
- Ayı bir temiz hava girişi olmalıdır.
- Saatte en az 12 tam hava değişimi sağlanmalıdır. Personelin çalıştığı durumda ise kesikli olarak en az 30 tam hava değişimi sağlanmalıdır.
- Havalandırma sistemi, ışık sistemi ile ilişkilendirilmeli ve ışık açıldığında yukarıdaki şartlar sağlanmalıdır.

5.1.3.8. Mekanik Dayanım

- İşçilerin çalıştığı, konteynerlerin konulduğu veya pres makinesinin yerleştirildiği platformlarda birim alan yükü 500 kg/m² alınabilir.
- Izgara tırmıklarındaki yük 1kN/m², ızgara açıklıklarında ise en az 0,6 kN/m² olmalıdır.
- Ekipmanlar mekanik ve elektriksel yüklemelere karşı korunmalıdır.

5.1.4. Izgaraların tasarım kriterleri

Izgaraların detaylı tasarım kriterleri, Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Çubuk ızgaralar için tasarım kriterleri (Qasim, 1999)

<i>Tasarım elemanları</i>	<i>Elle temizlenen</i>	<i>Mekanik temizlenen</i>
<i>Izgara çubukları arasında hız m/sn</i>	<i>0,3-0,6</i>	<i>0,6-1,0</i>
<i>Çubuk kesiti (kalınlık/genişlik) (mm)</i>	<i>(4-8) / (25-50)</i>	<i>(8-10) / (50-75)</i>
<i>Çubuklar arası temiz açıklık (mm)</i>	<i>25-75</i>	<i>10-50</i>
<i>Yataya nazaran ızgara eğimi (derece)</i>	<i>45-60</i>	<i>75-85</i>
<i>Müsaade edilir yük kaybı (tıkalıda)(mm)</i>	<i>150</i>	<i>150</i>
<i>Maksimum yük kaybı (tıkalı halde)(mm)</i>	<i>250</i>	<i>250</i>

<i>Kanalın yan duvarında montaj çukuru (mm)</i>	<i>150-250</i>	<i>150-250</i>
<i>Izgara kanalı tabanının giriş borusu akarından düşüklüğü (mm)</i>	<i>70-150</i>	<i>70-150</i>
<i>Izgara kanalı akarının ızgaraya doğru eğimi</i>	<i>1/200-1/500</i>	<i>1/200-1/500</i>

Çubuk Iızgaralarda Yük Kaybı Hesabı

Iızgaradan geçiş sırasında meydana gelen yük kayıpları aşağıdaki formüllerle hesaplanabilmektedir:

Chain Belt firması formülü (Temiz ve az tıkalı ızgaralar için);

$$h_l = \frac{V^2 - v^2}{2g} \left(\frac{1}{0,7} \right) \quad (5.1)$$

Kirschmer formülü (Tamamen temiz ızgaralar için);

$$h_l = \beta \left(\frac{W}{b} \right)^{4/3} h_v \sin \theta \quad (5.2)$$

Orifis Formülü (İnce ızgaralar için);

$$h_l = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{CA} \right)^2 \quad (5.3)$$

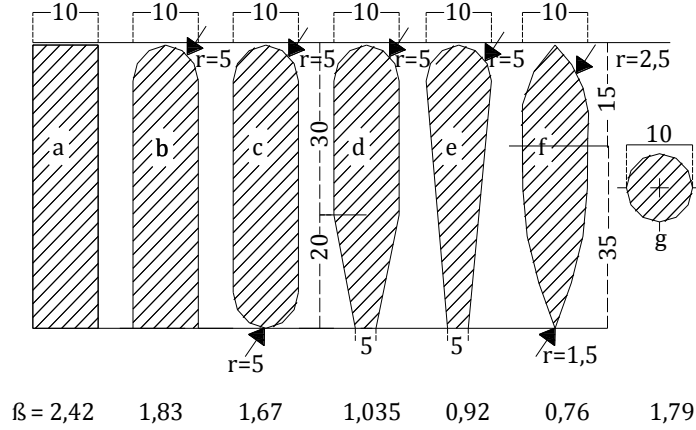
Burada;

- h_l : Iızgarayı geçişteki yük kaybı (m)
- V : Iızgara çubukları arasındaki hız (m/sn)
- v : Iızgara yaklaşım kanalındaki hız (m/sn)
- g : 9.81 m/sn²
- W : Akıma dik doğrultuda maks. çubuk genişliği veya çubuk kalınlığı (m)
- b : Çubuklar arasındaki min. temiz açıklık (m)
- h_v : Yaklaşım hızı yüksekliği = $\frac{v^2}{2g}$ (m/sn)
- θ : Iızgaranın yatayla açısı (derece)
- Q : Iızgaradan geçen debi (m³/sn)
- A : Etkin (batmış açık) alan (m²)
- C : Deşarj katsayısı (Temiz ızgaralar için 0,6)
- β : Çubuk biçim katsayısı (Temiz ızgaralar için Tablo 5.3'de verilmiştir.)

anlamına gelmektedir. Kapaklar, arkalarındaki su basıncı sayesinde daha iyi/sık kapanmakta (pozitif basınç) ve ızgara odasına sızma önlenmektedir. Suyun arkada kabarıp kapağın üzerinden ızgara odasına sızması ihtimali varsa kapağın üstten bir (C) perdesine dayanması gerekmektedir. Bu perdeler yapıyı biraz büyütse de çok güvenlidir. Kapağın (D) duvarı yüzüne montajı da mümkündür. Bu halde negatif basınca çalışır ve sızdırır. Kapağın sızdırmaması için özel kamalı bastırma düzenine sahip olması gerekir, bu da kapak maliyetini artırır. Çubuk tipleri ve bunlara ait biçim katsayısı Şekil 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.3. β çubuk biçim katsayısı (yük kaybı faktörü)

Çubuk tipi	β
İnce dikdörtgen	2.42
Dikdörtgen akışa bakan ucu yarım daire	1.83
Daire	1.79
Giriş ve çıkış ucu yarım daire olan dikdörtgen	1.67
Gözyaşı damlası şeklinde	0.76

**Şekil 5.1.** Çubuk dik kesit biçimleri ve şekil katsayıları

Elle temizlenen ızgaralarda sıyrılan çöplerin dökülüp toplandığı yerin delikli bir plaka şeklinde olması faydalıdır. Burada sular deliklerden tekrar kanala süzülmekte ve çöpler nispeten daha kuru hale gelmektedir. Bu delikli levhanın paslanmaz çelikten yapılması tercih edilmelidir.

Çubuk Iızgaralarda Kanal Genişliği

Çubuk ızgaralarda kanal genişliği;

$$B = W \cdot n + e \cdot (n+1) \quad (5.4)$$

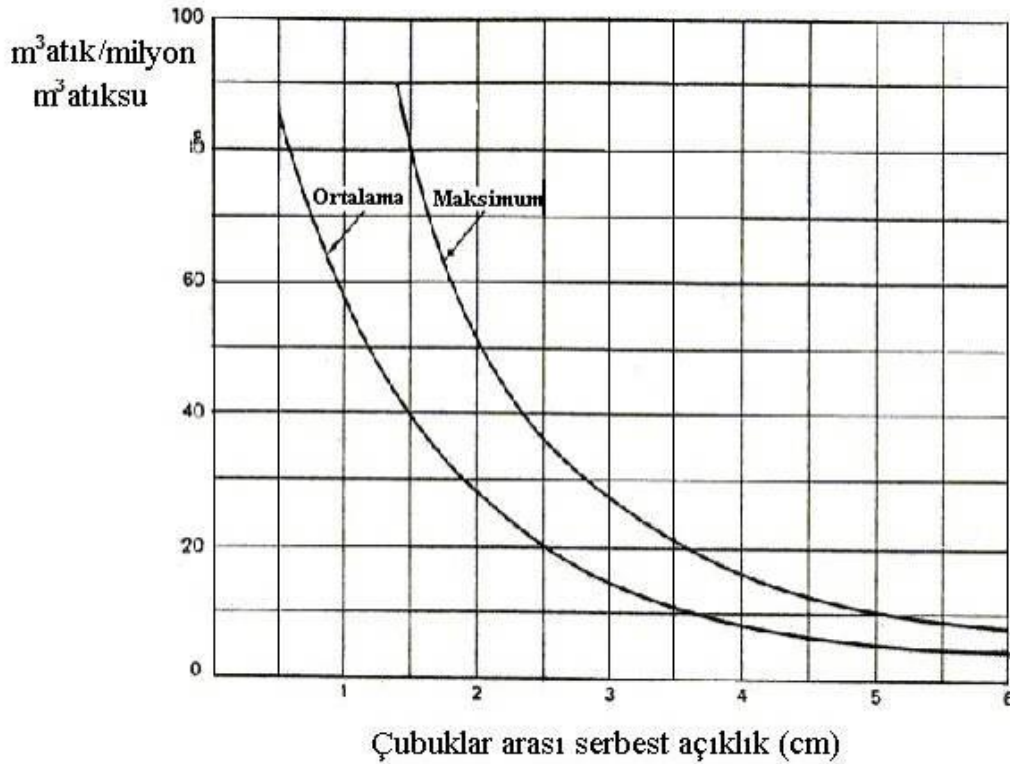
formülü ile hesaplanmaktadır. Burada, B, kanal genişliği, W, ızgara çubuğu genişliği ve b ise ızgara çubukları arası mesafedir.

Tutulan Çöp Miktarı ve Bileşimi

Izgaralarda tutulan çöpün miktarı ve bileşimi atıksuyun cinsine, bağlı nüfusun sosyo ekonomik durumuna, coğrafi bölgeye, ızgaranın tipine ve çubuk aralığına bağlıdır. Izgaralarda tutulan yıllık çöp miktarı ızgaradan geçen her milyon m^3 atıksu başına 3,5-80 m^3 kadar ise de ortalama 20 $m^3/10^6 m^3$ atıksu mertebesindedir. Çubuk aralığına (cm) bağlı olarak ızgaralarda oluşacak çöp miktarı (m^3 çöp/ $10^6 m^3$ atıksu) Şekil 5.2'de verilmiştir. Izgarada toplanan katı maddeler, en fazla 7 gün depolanmalı, sonrasında atık depolama alanına gönderilmelidir.

Izgaralarda tutulan evsel çöplerde kuru madde oranı (TKM) ~% 20'dir. Bu TKM'nin % 13'ü mineral (inert) maddeler, % 87'si organik ve uçucu maddelerden oluşur. Bu çöplerin takribi ısı değeri 5000 kcal/kg kuru maddedir.

Izgara artıkları kokulu ve sinekleri cezbedici olduğundan muhakkak kapaklı kaplarda muhafaza edilmelidir. Genelde çöpler atık depolama alanlarına taşınır veya yakma tesislerinde bertaraf edilir.



Şekil 5.2. Mekanik ızgaralarda atıksudan tutulan çöp hacimleri

5.2. Pompa İstasyonları

5.2.1. Pompa İstasyonlarının Genel Tanıtımı ve Amacı

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.

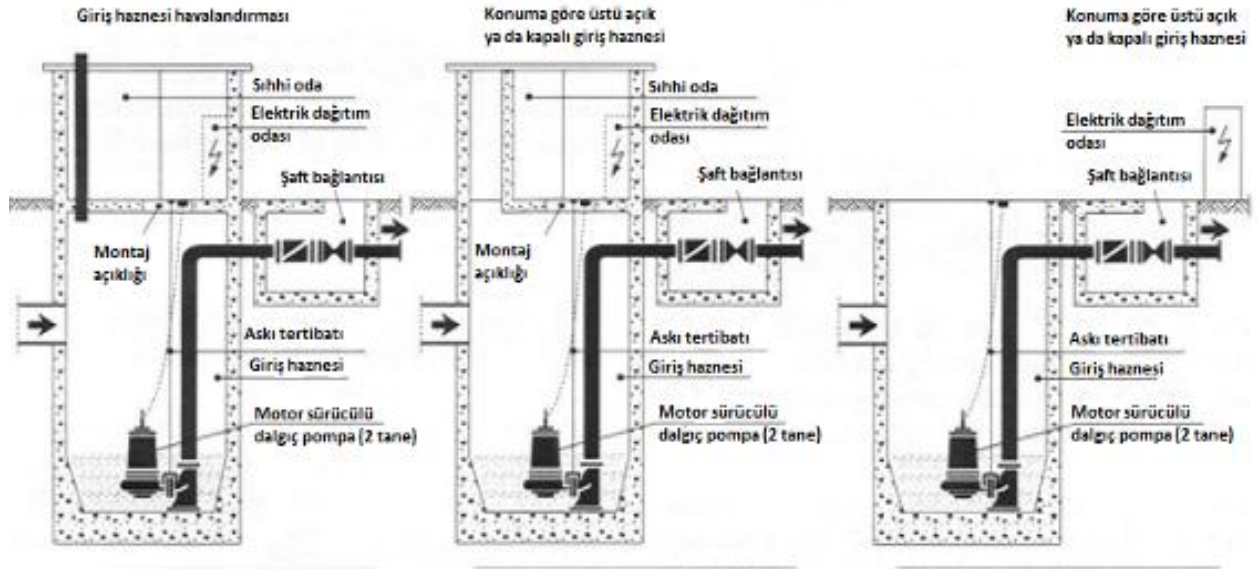
5.2.2. Pompa İstasyonu Tipleri

Pompa istasyonları kuru ve ıslak hazneli olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Islak hazneli pompa istasyonları, dalgıç pompalar (Şekil 5.1) ve motoru askıda pompalar için kullanılmaktadır. Kuru hazneli pompa istasyonları kuru tip veya kendinden emişli santrifüj pompalar için kullanılır (Şekil 5.2). Pozitif emmenin mümkün olabilmesi için pompa eksenini emme haznesindeki suyun alt seviyesi hizasında olmalıdır.

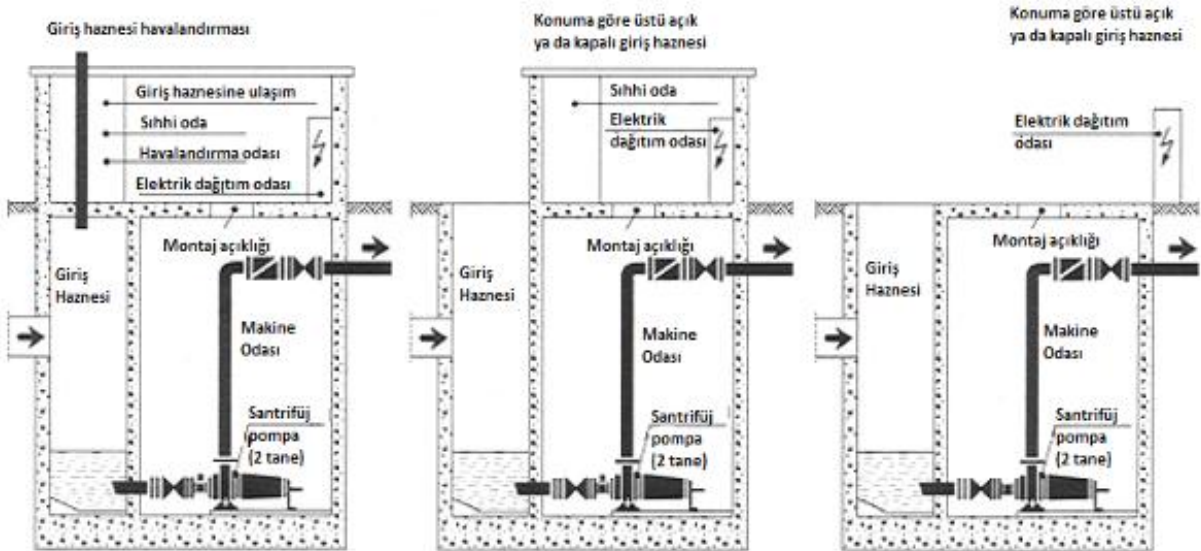
Pompa istasyonlarının yapısı ve yapının boyutları, pompaj işi, pompanın montajı (ıslak veya kuru hazne), yardımcı ünitelerin konumlandırıldığı yerler (değişim odası, sabit vinç, ısıtma ve soğutma tesisleri vb.) ve elektromekanik ekipman göz önüne alınarak yapılmalıdır (ATV-DVWK-A 134E). Pompa istasyonunda en az iki pompa bulunması gerekir.

Islak ya da kuru hazneli tiplere karar vermeden önce, planlamayı yapan kişi daha sonradan işletimde oluşabilecek farkları da göz önüne almalıdır. Kuru hazneli tip seçildiğinde taşkınlara karşı alınan önlemler özellikle dikkate alınmalıdır. Taşkın bölgelerindeki pompa istasyonu, taşkın anında su altında kalmayacak şekilde tasarlanmalıdır.

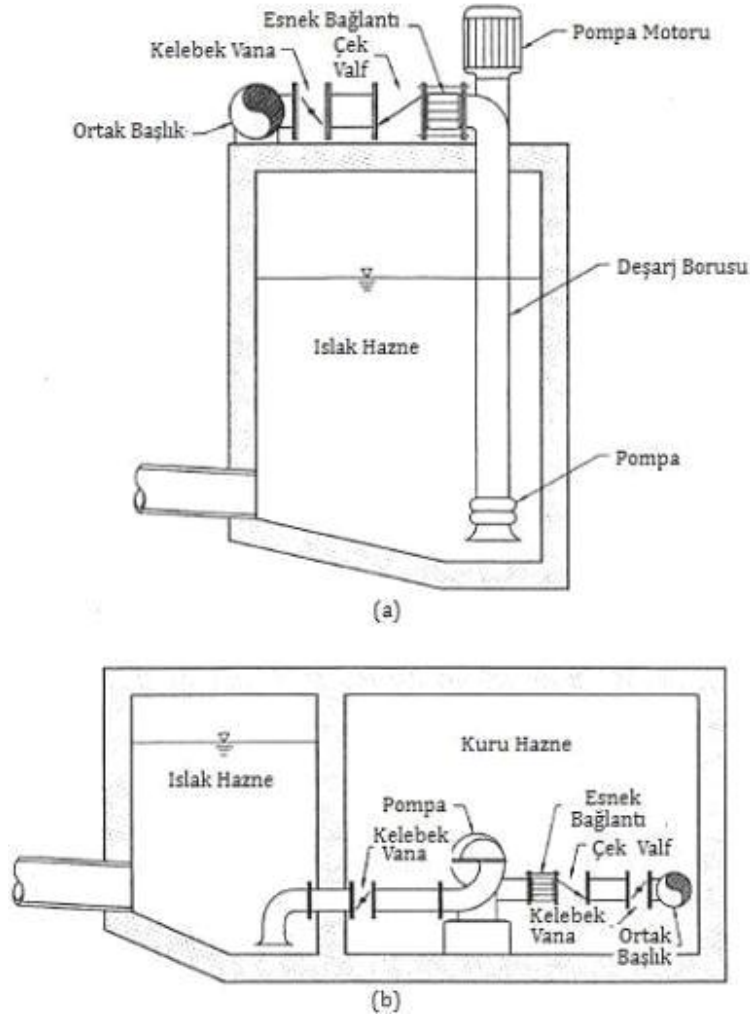
Pompa istasyonlarına yerleştirilen pompaların emme ve basma boruları üzerinde Şekil 5.3'de verildiği üzere, vana ve geri tepme klapeleri (çek valfler) yerleştirilir.



Şekil 5.1. Islak hazneli pompa istasyonu tertip örnekleri (ATV-DVWK-A 134E)



Şekil 5.2. Kuru hazneli pompa istasyonu tertip örnekleri (ATV-DVWK-A 134E)



Şekil 5.3. Pompa istasyonlarına yerleştirilen pompaların emme ve basma boruları üzerindeki vana ve çek valfler (Qasim, 1999)

5.2.3. Pompa İstasyonlarının Planlanması ve Boyutlandırılması

Pompa istasyonlarının boyutlandırılmasında iki temel husus önem taşır: pompaların ve pompa odasının boyutlandırılması, emme haznesinin boyutlandırılması. Seçilen pompanın otomatik çalışan ve tamir durumlarında işletimi engellemeyecek özellikte olması istenir. Uygun yer seçimi veya detayları, TS EN 752’de verilmiştir.

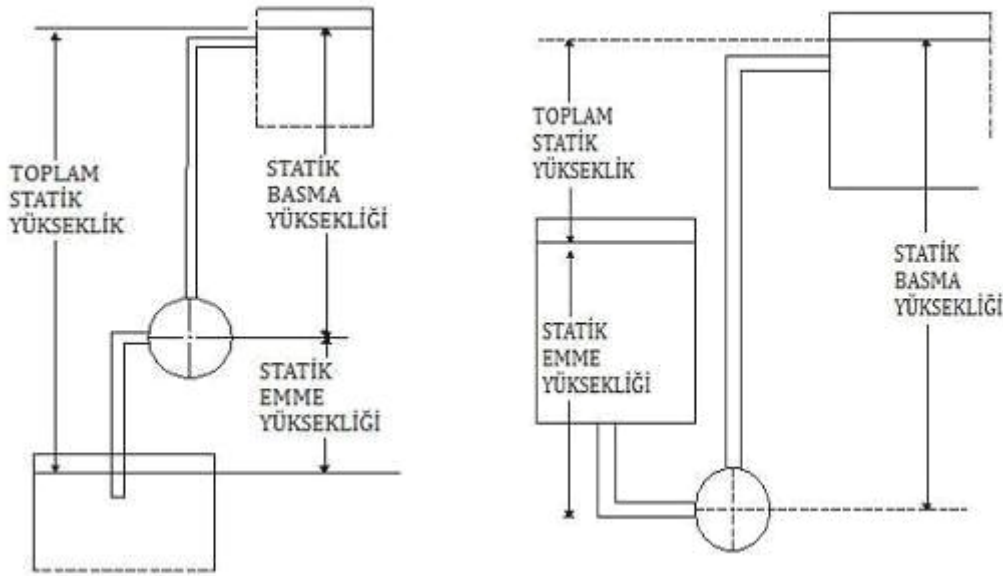
5.2.3.1. Giriş Atıksuyu

Pompa istasyonunun boyutlarını belirlemek için ilk olarak tesise gelen günlük atıksu miktarı belirlenmelidir. Bu konuda Bölüm 3’de detaylı bilgi verilmiştir.

5.2.3.2. Pompa Statik Yüksekliği

Bir pompa istasyonunun boyutlandırılmasında tesise gelen atıksu kanalının akar kotu, pompaların açık ve kapalı olma konumları, terfi kotu, manometrik terfi yüksekliği önem taşımaktadır. Emme haznesi su kotu ile pompa basma yüksekliği arasındaki kot farkına toplam statik (geometrik) yükseklik adı verilmektedir (Şekil 5.4.).

Terfi yüksekliği, ana iletim (basma) hattının uzunluğu, çapı, sürekli ve yersel yük kayıpları ve statik terfi kotuna göre oluşan kot farkları dikkate alınarak bulunur.



Şekil 5.4. Pompa toplam statik yüksekliği

5.2.3.3. Basma (Terfi) Hattı Çapı ve Debisi

Basma hattı kapasitesi (debisi) belirlenirken aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

En düşük su hızı 0,5-1 m/sn aralığında değişmelidir. Düşük hızlarda boru hattı içerisinde birikmeler olabilir. Bu yüzden, 500 m uzunluğa kadar olan boru hatlarında Tablo 5.4'deki hız limitleri kullanılabilir. 2,5 m/s'den büyük hızlardan kaçınılmalıdır.

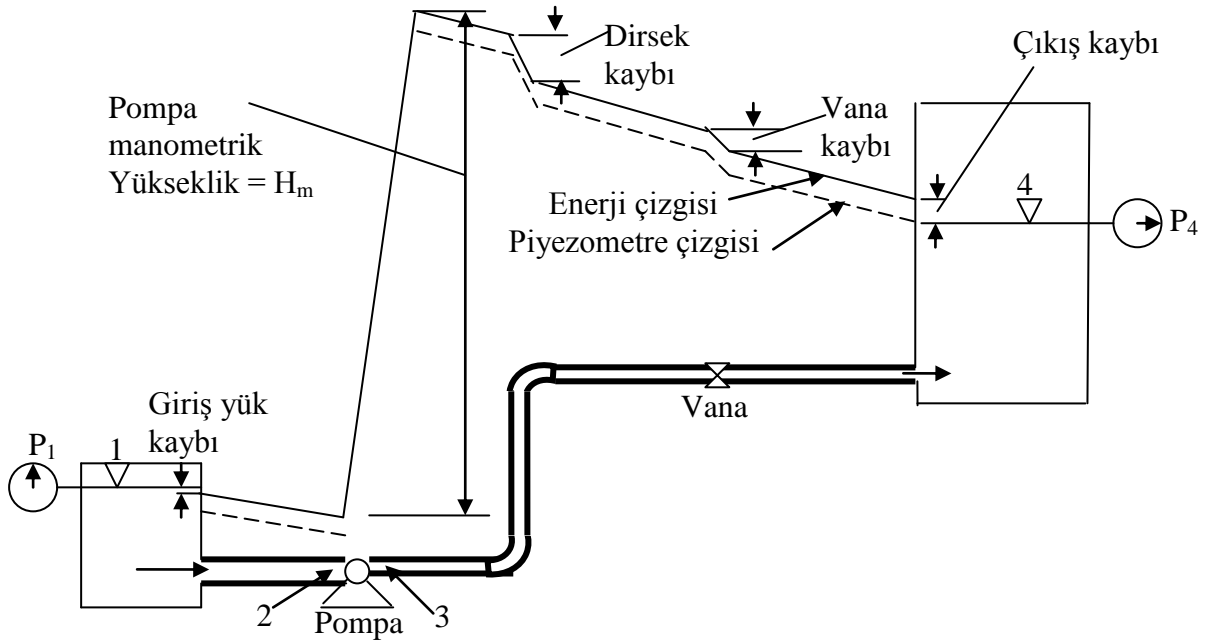
Tablo 5.4. Terfi merkezi hız limitleri (ATV-DVWK-A 134E)

İç çapı (mm)	80	100	150	200
Hız (m/s)	2,0	2,0	2,2	2,4
Debi (L/s)	10	16	40	75

Ayrıca, 500 m'den uzun boru hatlarında, pompa arızaları sonucu oluşabilecek aşırı basınç dalgalanmalarını (su darbesi) önlemek için çok yüksek hızlardan kaçınılmalıdır.

5.2.3.4. Manometrik Terfi (Basma) Yüksekliği ve Sistem Karakteristik Eğrisi

Manometrik terfi yüksekliği, bir referans düzlemine göre suyun pompa ile kazandığı yüksekliktir veya birim ağırlıktaki sıvının pompa girişi ile çıkışı arasında kazandığı enerjidir. Bir pompanın sıvıyı yükseltebileceği basma yüksekliği olan yükseklik mss (metre su sütunu) olarak ölçülür. Pompanın manometrik terfi yüksekliği (H_m), statik (geometrik) yükseklik (H_{geo}) ile emme ve basma hattındaki yük kayıplarının (sürekli (H_s) ve yersel (H_y)) toplamıdır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Pompanın manometrik yüksekliği (Topacık ve Koyuncu, 2006)

$$H_m = H_{geo} + H_s + H_y \quad (5.5)$$

$$H_m = H_{geo} + L \cdot (V^2/2g) \cdot (f/D) + k \cdot (V^2/2g) \quad (5.6)$$

$$H_m = H_{geo} + (L \cdot (f/D) + k) \cdot (V^2/2g) \quad (5.7)$$

Hız değeri de debi cinsinden yazılarak ($V = (4 \cdot Q / 3,14 \cdot D^2)$) yukarıdaki ifadeler için;

$$H_m = H_{geo} + (L \cdot (f/D) + k) \cdot (v^2/2g) = H_{geo} + (L \cdot (f/D) + k) \cdot ((4 \cdot Q / 3,14 \cdot D^2)^2) / (2 \cdot g) \quad (5.8)$$

$$H_m = H_{geo} + (L \cdot (f/D) + k) \cdot (4 / (3,14 \cdot D^2)^2) / (2 \cdot g) \cdot Q^2 \quad (5.9)$$

elde edilir.

Burada, $(L \cdot (f/D) + k) \cdot (4 / (3,14 \cdot D^2)^2) / (2 \cdot g)$ terimi k olarak ve formül tekrar düzenlenirse;

$$H_m = H_{geo} + k \cdot Q^2 \quad (5.10)$$

şeklini alır. Bu formülde, Q yerine değer verilirse (k değeri sabit değerlerden hesaplanan bir katsayıdır) H_m değeri belirlenir. Q değerleri ile hesaplanan H_m değerleri bir grafik üzerinde gösterilirse, sistem (boru) karakteristik eğrisi adı verilen ve Şekil 5.6'da gösterilen grafik elde edilir.

5.2.3.5. Pompa Karakteristik Eğrisi

Sabit devirde çalışan bir santrifüj pompanın ürettiği yük (h_p) ile debi (Q) arasındaki münasebet pompa karakteristik eğrisi veya kısaca pompa eğrisi olarak adlandırılmaktadır. Şekil 5.7'de pompa eğrisi ile isale hattı karakteristik eğrisi birlikte

gösterilmiştir. Pompa eğrisi ile boru karakteristik eğrisinin (sistem eğrisi) kesim noktası işletme noktasıdır. Bu nokta her zaman en verimli işletme şartlarında olmayabilir. Bundan dolayı, pompa gücü ve veriminin incelenmesi gerekmektedir. Bir pompa için yük-debi, verim-debi ve güç-debi eğrileri mevcuttur. Bu eğriler, pompa karakteristik eğrileri olarak adlandırılmaktadır (Şekil 5.8.). Söz konusu eğriler, pompa üreticileri tarafından pompa deneylerinden elde edilmekte, pompa ile birlikte piyasaya sürülmekte veya istek halinde hazırlanabilmektedir. Pompa yüksekliği eğrisinin şekli pompa seçimi açısından önemlidir. Santrifüj pompalarda, motor hızı (N) ve pompanın çarkı (D) değiştirilerek pompa özellikleri de (Debi, manometrik yükseklik ve güç) değiştirilebilmektedir. Aşağıda bu ilişkiler verilmiştir:

$$Q \propto N.D^3 \quad (5.11)$$

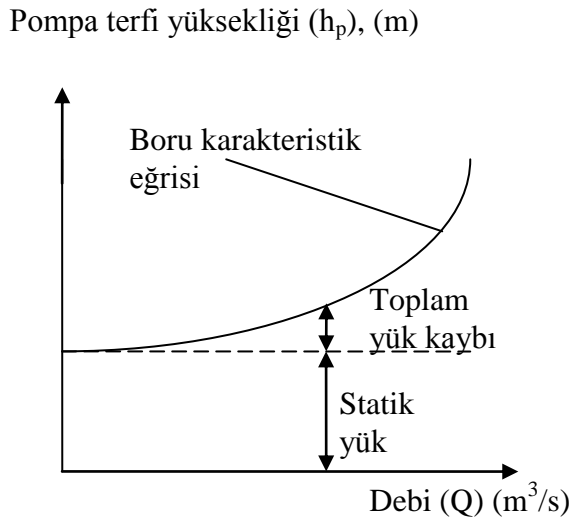
$$H_m \propto N^2.D^4 \quad (5.12)$$

$$P_w \propto N^3.D^5 \quad (5.13)$$

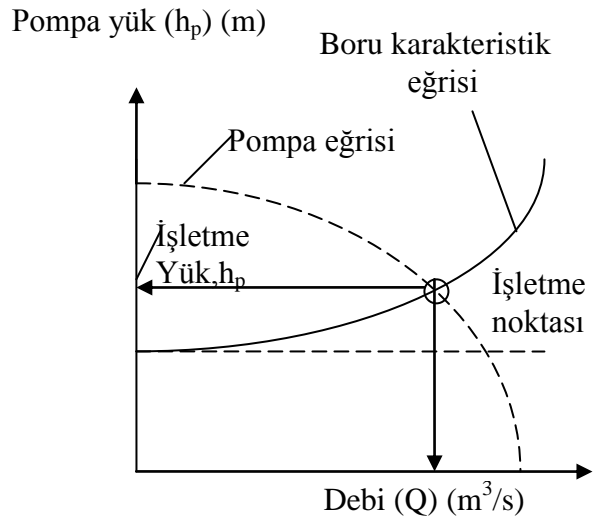
5.2.3.6. Pompa Sayısının Belirlenmesi

Pompalar paralel veya seri bağlanarak, birlikte çalıştırılır. Pompaların paralel bağlanması (Şekil 5.9.a) ile debi artışı, seri bağlanması (Şekil 5.9.b) ile ise basma yüksekliği artışı sağlanır.

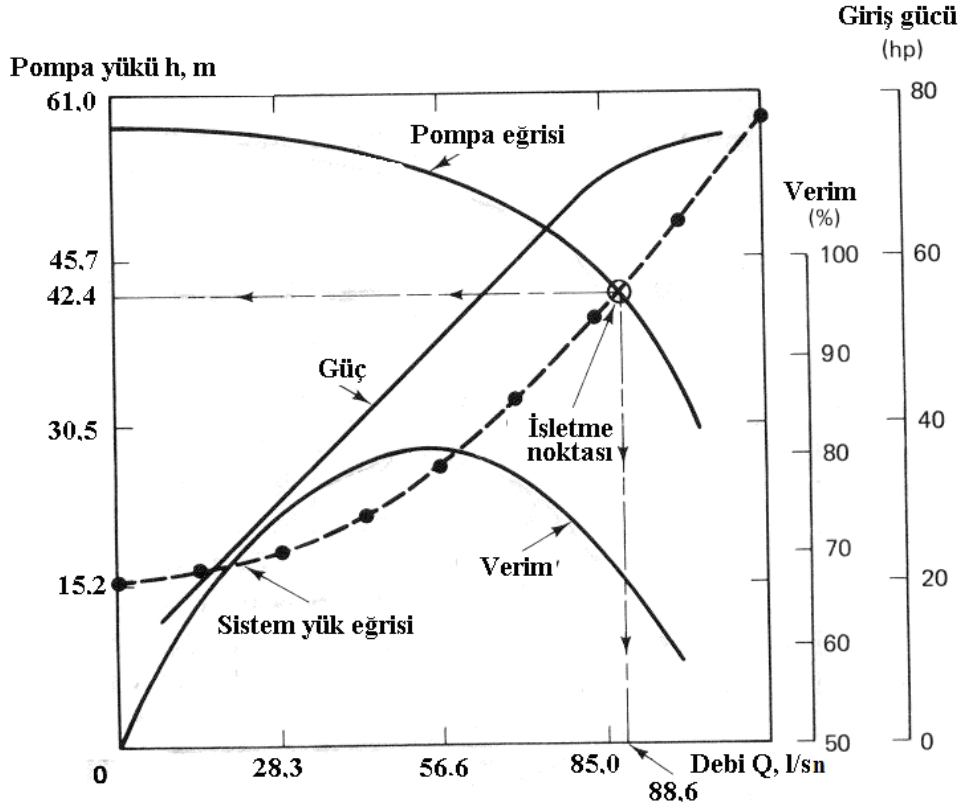
Bir pompanın terfi debisi ve yüksekliği, boru hattı (sistem) karakteristik eğrisi ile pompa karakteristik eğrisinin kesişimi ile elde edilir (Şekil 5.10). Birden fazla pompa gerekmesi halinde işletme noktası ise Şekil 5.11'deki gibi paralel bağlı pompaların karakteristik eğrisinin boru hattı (sistem) karakteristik eğrisi ile kesiştirilerek elde edilir. Pompaların paralel bağlanması halinde basılan toplam debi, pompaların ayrı ayrı debileri toplamından daha düşük olur.



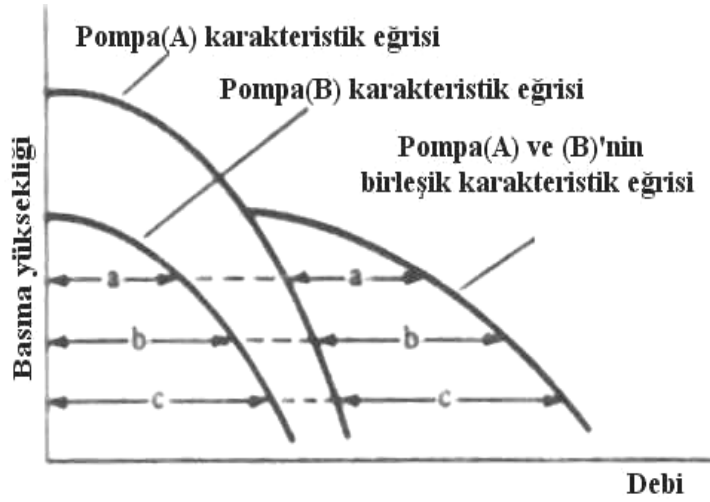
Şekil 5.6. Tipik boru karakteristik eğrisi



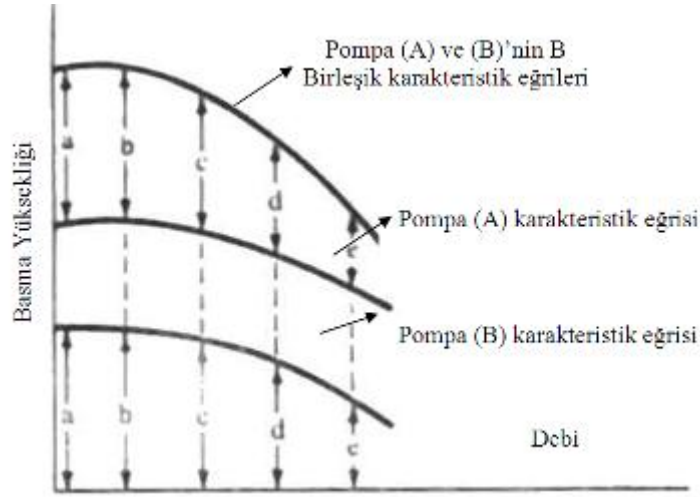
Şekil 5.7. Tipik pompa eğrisi



Şekil 5.8. Sistem karakteristik eğrisi (Topacık ve Koyuncu, 2006)

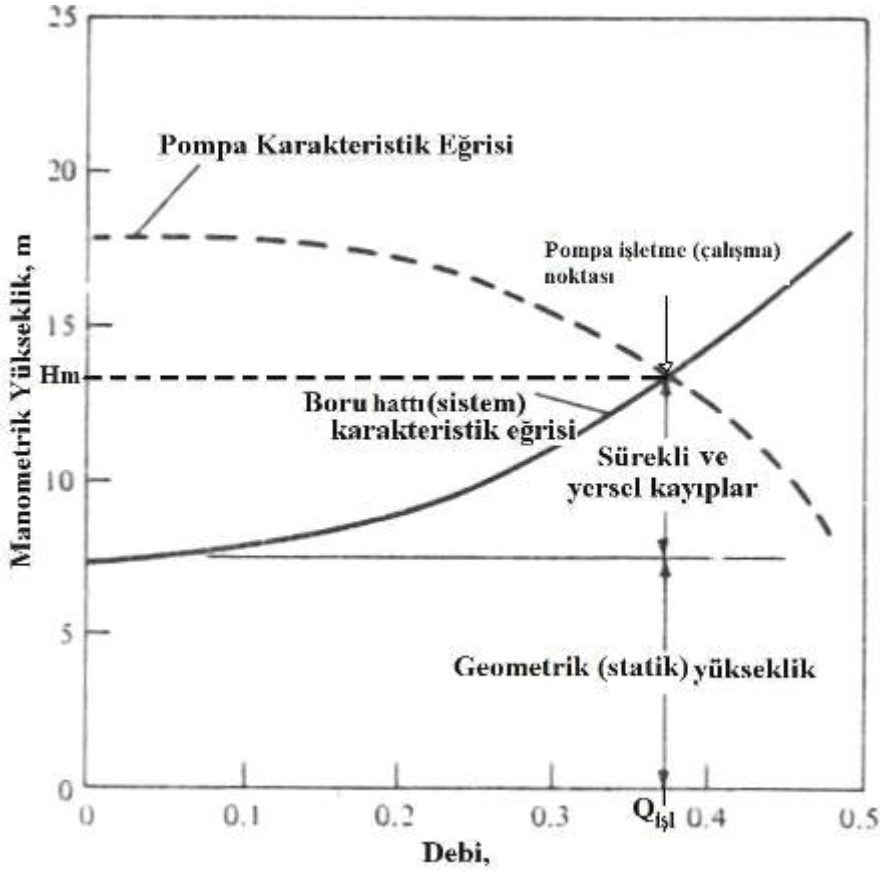


a. Paralel bağlama

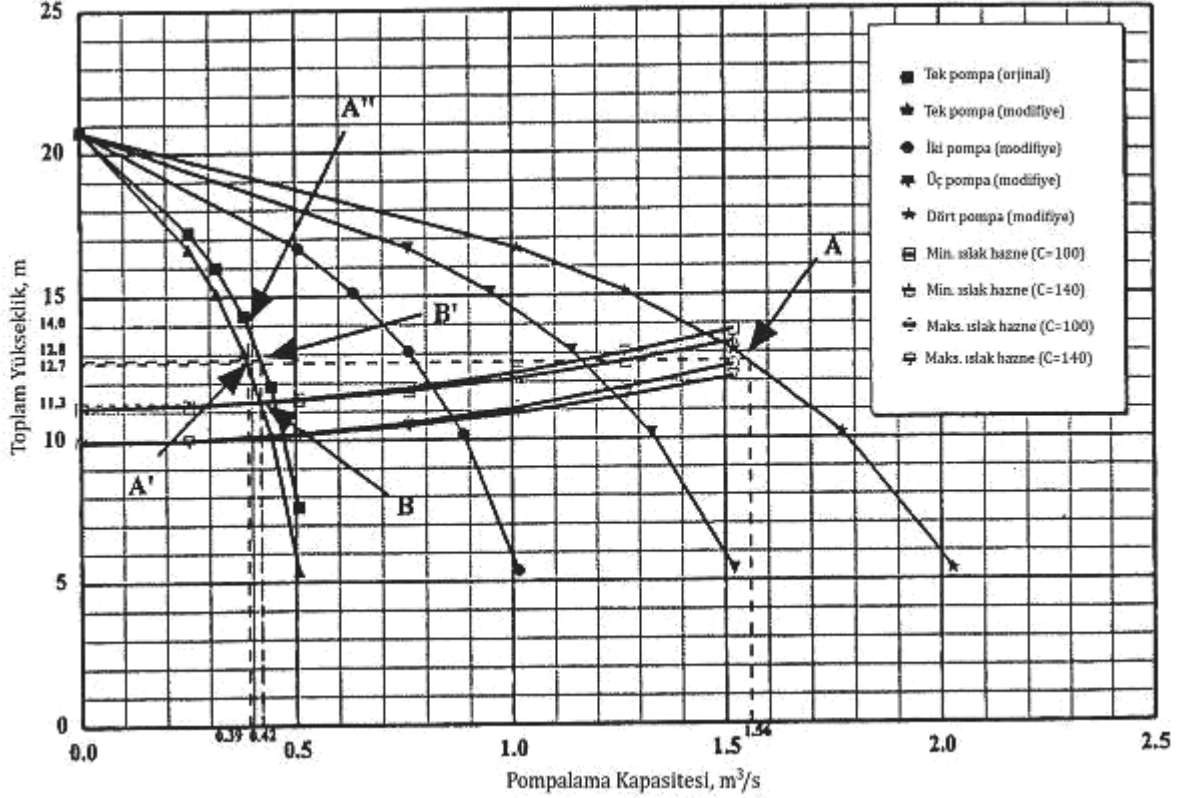


b. Seri bağlama

Şekil 5.9. Pompaların paralel ve seri bağlanması (Topacık ve Koyuncu, 2006)



Şekil 5.10. Pompa çalışma noktası



Şekil 5.11. Pompaların paralel bağlanması halinde müşterek ve tekil çalışma noktalarının elde edilmesi

5.2.3.7. Terfi İstasyonundaki Pompaların Çalışma Döngüsü ve Emme Haznesinin Boyutlandırılması

Gerekli aktif emme haznesi hacmi (V), pompaların başlama ve durma seviyeleri arasındaki aktif hacimdir. Emme haznesinin faydalı hacmi, içerisindeki sabit devirli pompanın çalışır ve kapalı durumlarına göre aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Muslu, 1989).

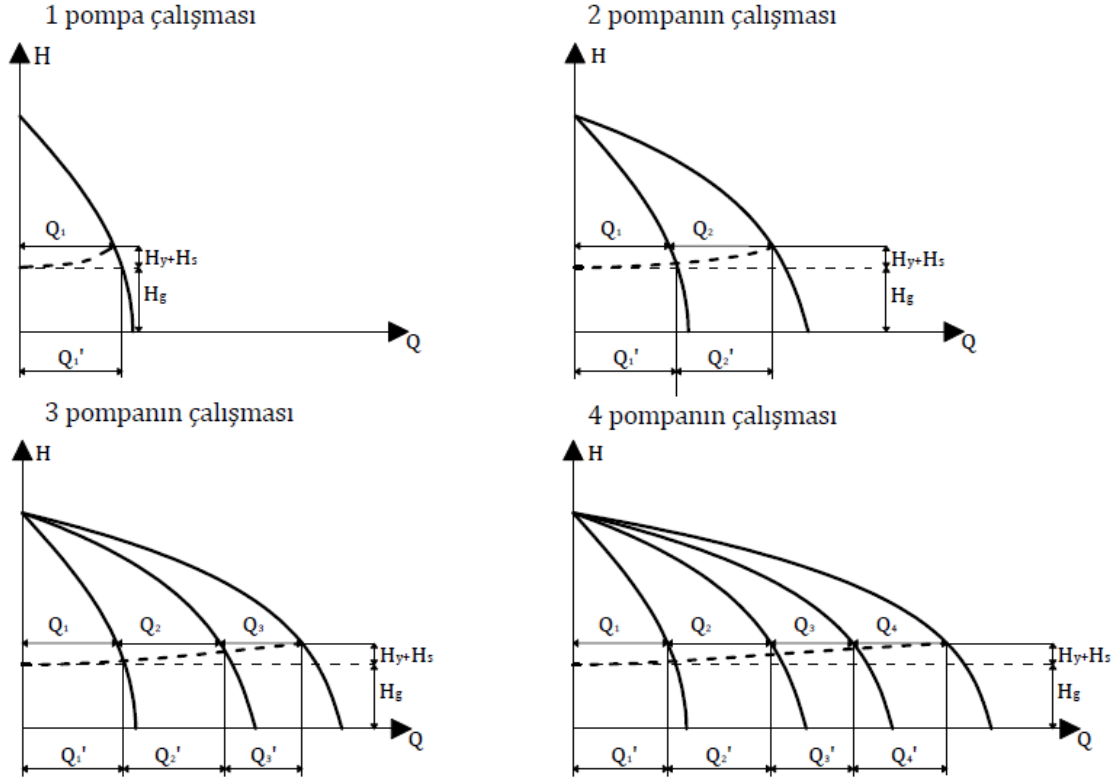
$$V = Q / (4i) \quad (5.14)$$

V : Hacim (m³)

Q : Ortalama pompa debisi (L/s)

i : Şalt sayısı (Bir saatteki stop (durma) veya start (başlama) sayısı) (frekans) (1/saat)

Saat başına en fazla 15 döngü yapılmalıdır. Döngü salt sayısı, mekanik dayanıklılık ve elektrik motorları gibi elektrik teçhizatlarına bağlıdır. Uzun terfi hatlarına atıksu basan ve çok sayıda paralel pompa içeren pompa istasyonlarında, her bir pompa devreye girdiğinde, devrede olan pompaların debileri birlikte değişmekte ve eşitlenmektedir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Pompaların devreye girme durumuna göre debideki değişim

Pompaların çalışma durumuna göre emme haznesinin hacmi de değişmektedir. Emme haznesinin toplam hacmi,

$$V_t = Q_t / (4i) \quad (5.15)$$

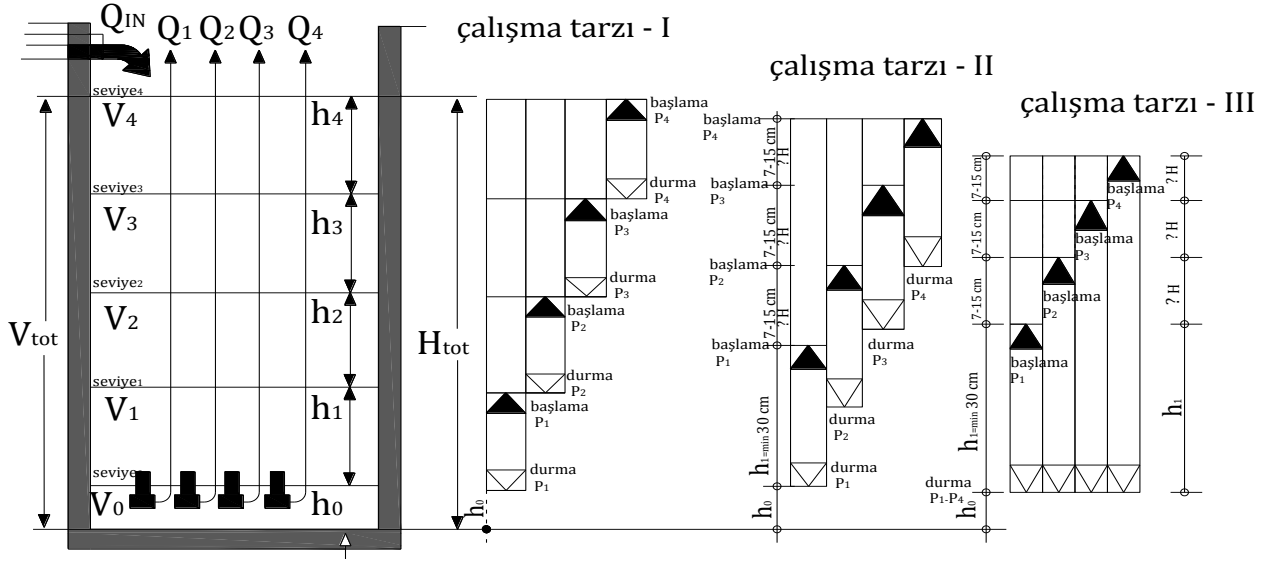
ile hesaplanmaktadır. Şekil 5.12’de verilen her bir pompanın devreye girmesi durumuna göre emme haznesi hacmi sırasıyla bir, iki, üç ve dört pompa devrede iken;

$$V_1 = Q_1 / (4i) \quad V_2 = Q_2 / (4i) \quad V_3 = Q_3 / (4i) \quad V_4 = Q_4 / (4i) \quad (5.16)$$

şeklinde olmaktadır. V_0 , emme haznesinin altındaki ölü hacim olarak kabul edilirse, toplam emme haznesi hacmi,

$$V_t = V_0 + V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad (5.17)$$

olarak hesaplanır. Pompaların başlama ve durma noktalarına göre emme haznesinin hacmi Şekil 5.13’de verildiği gibi değişmektedir.



Şekil 5.13. Pompaların başlama ve durma noktalarına göre emme haznesi hacmi

5.2.3.8. Kaviteasyon

Kaviteasyon, malzemenin zamanla aşınmasıdır. Pompa çarklarında da zamanla aşınma görülebilir. Pompalarda kaviteasyonu önlemek için kaviteasyon davranışı incelenmelidir.

Kaviteasyon davranışını ölçmek için NPSH (net pozitif emme basıncı) değeri bulunur. Tesisin NPSH değeri ($NPSH_P$)pompanın değeri ($NPSH_R$) ile karşılaştırılır. Her durum için $(NPSH_P) > (NPSH_R)$ olmalıdır. $NPSH_R$ değeri pompa üreticisi tarafından verilir. Oran, kaviteasyonu önleme açısından aşağıdaki gibi olmalıdır:

$$\frac{(NPSH_P)}{(NPSH_R)} \geq 1,3 \quad (5.18)$$

Daha detaylı bilgi için DIN 24260 Bölüm 1 "Rotodinamik pompalar ve rotodinamik pompa sistemlerine başvurulmalıdır.

5.2.3.9. Kapasite Artırımı

Planlama yapılırken zamanla kapasite artışına gidilip gidilmeyeceği de düşünülmelidir. Böyle durumlar için, gerekli tedbirler alınmalıdır. Kayış kasmak ile pompanın devir sayısının artırılması, pompa dişlilerinin genişletilmesi veya yeni bir sistem kurulmasına imkân verecek boş bir yerin bırakılması alınabilecek tedbirlerden bir kaçıdır. Bunların yanında ek bir boru hattının döşenmesi de gerekebilir.

5.3. Kum ve Yağ Tutucular

5.3.1. Genel Tanıtımı ve Amacı

Kum tutucu, atıksudaki kum ve yağlardan ileri gelen problemlerin azaltılması için önemli bir proses bileşenidir. Kum gibi küçük partiküller, biyolojik olarak

ayrıştırılmamakta 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 (MWA, 1998).

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

Birleşik sistem kanalizasyon şebekeleri, yol ve yaya kaldırımları ile sel yataklarından sisteme giren önemli miktarda kumu ihtiva eder. Ayrık kanalizasyon sistemleri ise özellikle sahil veya kumsal alanlardan gelen kumları içerir.

Zararlı etkileri nedeniyle gres, çözünmeye veya dağılmaya başlamadan önce uzaklaştırılmalıdır. Oteller, restoranlar ve gıda işleme tesislerinden yapılan tahliyeleri ihtiva eden evsel ve kentsel atık suların bulunduğu yerlerde arıtma tesislerinin tasarımında bir gres ve yağ tutma kademesi olmalıdır. Gres uzaklaştırmaya alternatif olarak, kum ve gres/yağ tutmanın tek bir birim içerisinde veya birinci çöktürme tankında bir ayırma kademesi gibi birleştirilmesi mümkün olabilir.

Atık sulardan uzaklaştırılan gres ve yağ, DIN EN 12255'da belirtilen sağlık ve güvenlik şartlarına uygun olarak bertaraf edilmelidir. Gres ayırıcının tasarımı, ayrılabilir katılar, gres ve yağın güvenli ve etkili uzaklaştırılmasını kolaylaştıracak şekilde olmalıdır.

5.3.2. Kum ve Yağ Tutucu Tipleri ve Ünite Sayıları

Kum tutucu tipleri aşağıda verilmiştir:

- Dikdörtgen planlı yatay akışlı kum tutucular,
- Havalandırmalı kum tutucular,
- Dairesel kum tutucular

Birleşik sistem kanalizasyon şebekelerinde kum tutucu ünite sayıları, çevirme kanalını da içerecek şekilde en az iki olmalıdır. Küçük tesislerde ise ünite sayısı bir olabilir. Ayrık sistem kanalizasyon şebekelerinde ise kum tutucular çevirme hattı ile birlikte bir üniteli olarak teşkil edilebilirler.

5.3.3. Kum ve Yağ Tutucuların Tasarım Kriterleri

Kum tutucular, en az 0,3 mm çaplı kum taneciklerini ayıracak ve 0,30 m/s'li bir çökeltme hızı sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Yatay akışlı, havalandırmalı ve dairesele kum tutucular için önerilen tasarım kriterleri Tablo 5.5'de verilmiştir.

Havalandırmalı kum tutucularda yatay akış hızı 0,2 m/s'yi geçmemelidir. Daha düşük değerler de olabilir. Nüfusa bağlı olarak kum tutucuların tip seçimi ile ilgili bilgiler Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.5. Yatay akışlı, havalandırılmalı ve dairesel kum tutucular için önerilen tasarım kriterleri

<i>Projelendirme kriterleri</i>	<i>Yatay akışlı kum tutucular</i>	<i>Havalandırılmalı kum tutucular</i>	<i>Dairesel kum tutucular</i>
<i>Yatay hız, m/s</i>	<i>0,25-0,4</i>	<i>0,2</i>	<i>Giriş:0,75-1,00 Çıkış < 0,8 m/s Dönme: 0,3</i>
<i>Yüzey yükü, m/st</i>	<i>17-36</i>	<i>20-25</i>	
<i>Bekletme süresi, dk</i>	<i>0,75-1,5</i>	<i>2-20</i>	
<i>En kesit şekli</i>	<i>Dikdörtgen veya parabolik</i>	<i>Parabolik</i>	<i>Konik</i>
<i>Temizleme şekli</i>	<i>Mekanik, elle</i>	<i>Mekanik</i>	<i>Mekanik</i>
<i>Hız kontrolü</i>	<i>Orantılı, Parshall, dikdörtgen savak</i>	<i>Orantılı, Parshall, dikdörtgen savak</i>	

Tablo 5.6. Kum tutucular için tasarım kriterleri (MWA, 1998)

<i>Tanım</i>	<i>Birim</i>	<i>N<5.000</i>	<i>5.000<N<10.000</i>	<i>N>10.000</i>
<i>Kum tutucu birimi</i>				
<i>Kum temizliği</i>	-	<i>El ile</i>	<i>Mekanik (pompa)</i>	<i>Mekanik (konveyör)</i>
<i>Kum tutucu tipi</i>	-	<i>Yatay akışlı veya dairesel planlı</i>	<i>Mekanize yatay akışlı veya dairesel planlı</i>	<i>Havalandırılmalı veya dairesel planlı</i>
<i>Minimum bekletme süresi, (Q_{pik})</i>	<i>dak.</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
<i>Kum yıkama ve susuzlaştırma</i>		<i>Yok</i>	<i>Var</i>	<i>Var</i>
<i>Yağ ayırma birimi</i>				
<i>Yağ ayırma Tank tipi</i>		<i>Basit el ile Dikdörtgen</i>	<i>Önleyici levha Perdeli tank</i>	<i>Mekanik Havalandırılmalı</i>
<i>Minimum bekletme süresi, (Q_{pik})</i>	<i>dak.</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
<i>Kum ve yağ depolama süresi</i>	<i>gün</i>	<i>30</i>	<i>7</i>	<i>7</i>

5.3.4. Kum ve Yağ Tutucuların Proses Tasarımı

Kum ve yağ tutucu ünitelerin tasarımı ile ilgili temel bilgiler aşağıda verilmiştir.

5.3.4.1. Yatay Akışlı Kum Tutucular İçin Proses Tasarımı

Yatay hız seçilir ve bu hıza bağlı olarak en kesit alanı belirlenir.

$$A(m^2) = \frac{Q \left(\frac{m^3}{s} \right)}{V \left(\frac{m}{s} \right)} \quad (5.19)$$

Derinlik (h) ve genişlik (b) oranı seçimi yapılır. Bu orana bağlı olarak;

$$A(m^2) = hxb \quad (5.20)$$

hesabı ile yükseklik ve genişlik hesaplanır. Parabolik en kesit halinde en kesit alanı;

$$A(m^2) = \frac{2}{3} xhxb \quad (5.21)$$

formülü ile hesaplanır.

Yüzey yükü (çökme hızı) (S) seçimi yapılır. Bu seçime bağlı olarak;

$$A_{yüzey}(m^2) = \frac{Q\left(\frac{m^3}{st}\right)}{S\left(\frac{m}{st}\right)} \quad (5.22)$$

önce $A_{yüzey}$ hesaplanır. Daha sonra ise;

$$A_{yüzey}(m^2) = Lxb \quad (5.23)$$

hesabı ile L ve b uzunlukları da belirlenir.

5.3.4.2. Havalandırmalı kum tutucular için proses tasarımı

Seçilecek olan değerler seçilir. W_{kum}/h_{sf} oranı, W_{kanal} genişliği, $W_{yağ}/W_{kum}$ oranı, α açısı, kum toplama bölgesi açısı, Q_{kum} değerleri seçilir .

Kum toplama bölgesi genişliği hesabı;

$$W_{kanal} = W_{kum} + W_{yağ} \quad (5.24)$$

şeklindedir. Eşitlikte W_{kanal} , $W_{yağ}/W_{kum}$ oranı daha önceden seçilmektedir. $W_{yağ}$ yerine, $W_{yağ}/W_{kum}$ oranına bağlı olarak hesaplanan W_{kum} ifadesi yazılır ve sonuçta, W_{kum} değeri hesaplanır.

Yağ toplama bölgesi genişliği hesabı;

$$W_{yağ} = W_{kanal} - W_{kum} \quad (5.25)$$

ifadesinden hesaplanır.

Kum ve yağ tutucu derinliği hesabı;

$$h_{sf} = \frac{W_{kum}}{h_{sf}} \quad (5.26)$$

ifadesinden h_{sf} değeri hesaplanır.

Kum ve yağ tutucu uzunluğu hesabı;

$$L(m) = 10xW_{kanal} \quad (5.27)$$

ifadesinden hesaplanır.

Eğimli duvarların geometrisinin hesabı;

$$W_1 = \frac{0,3}{\tan \alpha} \quad (5.28)$$

$$W_2 = \frac{0,6}{\tan \alpha} \quad (5.29)$$

$$W_3 = W_{kanal} - (W_1 + 2xW_2 + 0,5) \quad (5.30)$$

ifadelerinden W_1 , W_2 ve W_3 değerleri hesaplanır.

Yağ toplama bölümünün derinliğinin hesabı;

$$h_{taban} = W_3x(\tan \alpha) \quad (5.31)$$

$$h_{üst} = h_{sf} - h_{taban} \quad (5.32)$$

ifadeleri ile h_{taban} ve $h_{üst}$ değerleri hesaplanır.

Yağ toplama bölümüne gelen hidrolik yükün kontrolü;

$$GSL\left(\frac{m}{saat}\right) = \frac{Q_{pik}/n}{W_{yağ}xL} \quad (5.33)$$

hesabı ile yapılır. Bu değer 25 m/saat değerinin altında olmalıdır.

Hidrolik bekletme süresi kontrolü;

Öncelikle havuz en kesiti hesaplanır.

$$A_{enkesit}(m^2) = (h_{sf}xW_{kanal}) - \left(\frac{h_{taban}xW_3}{2}\right) - \left(\frac{0,3xW_1}{2}\right) \quad (5.34)$$

Daha sonra hidrolik kalış süresi;

$$t(dak) = \left(\frac{A_{enkesit}xL}{Q/n}\right) \quad (5.35)$$

ile hesaplanır. (5.35) ifadesinden hesaplanan bu değer ortalama debi için 20 dakikanın altında olmalıdır.

Gerekli hava debisi hesaplamaları;

$$A_{enkesit} < 3 m^2 \text{ ise } Q_{hava} = 0,8 Nm^3/saat/m^3 \quad (5.36)$$

$$A_{\text{en kesit}} > 3 \text{ m}^2 \text{ ise } Q_{\text{hava}} = 1,3 \text{ Nm}^3/\text{saat}/\text{m}^3 \quad (5.37)$$

olarak seçilir. Toplam hava miktarı;

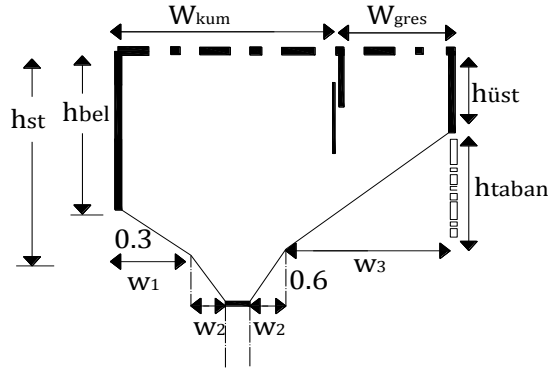
$$Q_{\text{Top. hava}} = Q_{\text{hava}} \times \text{Havuz Hacmi} = Q_{\text{hava}} \times (A_{\text{en kesit}} \times L) \quad (5.38)$$

ile hesaplanır. Hesaplanan bu hava debisi için bir blower (hava körüğü) seçimi yapılır.

Yatay hız kontrolü;

$$V_{\text{yatayhva}} (\text{m/s}) = \left(\frac{Q_{\text{pik}} / n}{A_{\text{enkesit}}} \right) \quad (5.39)$$

ile hesaplanır. Bu değer 0,2 m/s değerinin altında olması gerekmektedir. Havalandırmalı kum tutucular için enkesit ve boyutlandırma kriterleri Şekil 5.14 ve Tablo 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.14. Havalandırmalı kum tutucu (yağ tutma birimi dahil) en kesiti ve boyutlandırma kriterleri (ATV, 1998)

Tablo 5.7. Havalandırmalı kum tutucu boyutlandırma kriterleri (MWA, 1998)

Parametre	Tavsiye Edilen Değer
Yatay hız	< 0,2 m/s
Genişlik derinlik ilişkisi $w_{\text{kum}}/w_{\text{yağ}}$	
Kuru hava debisinde	< 1,0
Yağışlı hava debisinde	> 0,8
En kesit alanı (Yağ bölmesi hariç)	1-15 m ²
Uzunluk	En az 10 m – Maksimum 50 m
Bekletme süresi (ort)	Yaklaşık 10 dk
Bekletme süresi (min)	Yaklaşık 5 dk
Bekletme süresi (maks) (yüksek kum giderme verimlerinin istendiği durumlarda)	Yaklaşık 20 dk
Sol taraftaki eğimli bölmenin yüksekliği ($h_{\text{sf}} - h_{\text{bel}}$)	Kum toplama havuzunun üst seviyesinin üzerinde 30 cm
Taban eğimi	35-45°
Hava ihtiyacı (Havuz hacmine bağlı olarak belirlenir)	0,5-1,3 m ³ /m ³ .st $A_{\text{en kesit}} < 3 \text{ m}^2$ $Q_{\text{hava}} < 0,8 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{st}$

	$A_{\text{en kesit}} > 3 \text{ m}^2$ $Q_{\text{hava}}, 0,8-1,3 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{st}$ aralığında
Yağ tutma bölümü genişliği, $w_{\text{yağ}}$	0,2 - 0,5 w_{kum}
W_{kanal}	2,5-7 m
Q_{kum}	5-200 m^3 kum / 10^6 m^3 atıksu

5.3.4.3. Dairesel Kum Tutucular İçin Proses Tasarımı

Bekletme süresi seçilir. Bu süreye bağlı olarak kum tutucu hacmi belirlenir.

$$V(\text{m}^3) = t(s) \times Q \left(\frac{\text{m}^3}{s} \right) \quad (5.40)$$

Derinlik (h) ve çap oranı (D) oranı seçimi yapılır (Genellikle, $h/D=1/2$). Ayrıca, taban eğimi de belirlenmelidir (Genellikle, 1:1 alınır.). Buradan çap ve derinlik belirlenir.

5.4. Debi Ölçümü

5.4.1. Debi Ölçüm Birimlerinin Genel Tanıtımı

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

5.4.2. Debi Ölçüm Birimlerinin Yeri

Atıksu arıtma tesislerinde debi ölçüm cihazlarının konulabileceği yerler aşağıda sıralanmıştır:

- Kanal üstü ve kontrol bacası,
- Arıtma tesisinin girişi,
- Çubuk ızgaranın, kum tutucunun veya ön çökeltiminin çıkışı,
- Pompa istasyonunun ana terfi hattı,
- Alıcı ortama deşarj öncesi

Bu hususlardan her birinin fayda ve mahzurları vardır. Bu yüzden, bazı özel şartlar göz önüne alınarak ölçüm cihazının yerleştirebileceği konuma karar verilir. Genellikle farklı

yerlere birden fazla debi ölçüm cihazı yerleştirilir. Tablo 5.8' de akım ölçüm cihazlarının arıtma tesisindeki konumlarına göre işletme özellikleri karşılaştırılmıştır.

5.4.3. Debi Ölçüm Yöntemleri

Atıksu debisinin ölçümünde kullanılan yöntemler iki ana başlıkta toplanır:

- Basınçlı borularda,
- Açık kanallarda

Tablo 5.9' da akışkanın hız ölçümünde kullanılan farklı yöntemler ve ölçme cihazları sınıflandırılmıştır.

Debi ölçüm yöntemi seçiminde dikkate alınması gereken hususlar şu şekilde özetlenebilir:

- Akım hızı aralığı,
- Akım şartları (sürekli veya kesikli),
- Maksimum işletme basıncı ve basınç düşmesi,
- Atık suyun yapısı (katı, yağ, aşındırıcı madde vb. içeriği),
- Bakım yöntemleri ve sıklığı,
- Ölçme yönteminin kolay ölçülebilir tek bir parametreye bağlı olması

Tablo 5.8. Debi ölçüm cihazlarının uygulama yerine göre işletme özelliklerinin kıyaslaması

<i>Debi ölçüm cihazının Konumu</i>	<i>Ölçüm, akımdaki dalgalanmalardan etkileniyor mu?</i>	<i>Ölçüm, arıtılan ortalama debi miktarını temsil ediyor mu?</i>	<i>Ölçüm, katı parçacıklardan etkileniyor mu?</i>	<i>Ölçüm, kum ve diğer çökelebilen katılardan etkileniyor mu?</i>	<i>Ölçüm, tesis işletmesinde yararlı mı?</i>	<i>Ölçüm, deşarjın yapılacağı alıcı ortam için yararlı mı?</i>
<i>Kanalların kesişme noktası veya kontrol bacası</i>	<i>Evet</i>	<i>Hayır</i>	<i>Evet</i>	<i>Evet</i>	<i>Evet</i>	<i>Hayır</i>
<i>Arıtma tesisinin girişi</i>	<i>Evet</i>	<i>Hayır</i>	<i>Evet</i>	<i>Evet</i>	<i>Evet</i>	<i>Hayır</i>
<i>Kaba ızgara mansabı</i>	<i>Evet</i>	<i>Hayır</i>	<i>Hayır</i>	<i>Evet</i>	<i>Evet</i>	<i>Hayır</i>
<i>Kum tutucu veya çökeltim çıkışı</i>	<i>Hayır</i>	<i>Hayır</i>	<i>Hayır</i>	<i>Hayır</i>	<i>Evet</i>	<i>Hayır</i>
<i>Deşarj öncesi</i>	<i>Hayır</i>	<i>Evet</i>	<i>Hayır</i>	<i>Hayır</i>	<i>Hayır</i>	<i>Evet</i>

Tablo 5.9. Su ve atıksu debisi ölçümünde kullanılan cihazlar

Debi Ölçüm Cihazı	Ölçüm Prensibi
Basınçlı borularda	
<i>Venturi metre</i>	<i>Basınç değişimi ölçülür.</i>
<i>Ölçüm ağızı (nozzle)</i>	<i>Basınç değişimi ölçülür.</i>
<i>Orifis metre</i>	<i>Basınç değişimi ölçülür.</i>
<i>Elektromanyetik metre</i>	<i>Manyetik alan oluşturulur voltaj ölçülür.</i>
<i>Türbin metre</i>	<i>Türbin kullanılır.</i>
<i>Akustik esaslı debimetre</i>	<i>Hız ve akışkan seviyesini ölçmede ses dalgası kullanılır.</i>
Açık kanallarda	
<i>Kanal</i>	<i>Kanalda kritik derinlik ölçülür.</i>
<i>Savak</i>	<i>Savak arkasındaki su yüksekliği ölçülür.</i>
<i>Derinlik ölçümü</i>	<i>Akımın derinliğini ölçmede yüzgeç kullanılır.</i>
<i>Akustik esaslı debimetre</i>	<i>Hız ve sıvı seviyesini ölçmede ses dalgası kullanılır.</i>
Açık akışlı enjektör (Kennison enjektörü veya Kaliforniya boru yöntemi)	<i>Serbest düşme ucundaki akış derinliği ölçülür.</i>

Ölçümde kullanılan cihazın özelliklerine bağlı olarak debi hesabı yapılır. Aşağıda, basınçlı boru ve açık kanal akımında debi ölçümünde kullanılan bazı cihazların hesap esasları hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

5.4.4. Debi Ölçüm Birimlerinin Projelendirilmesi

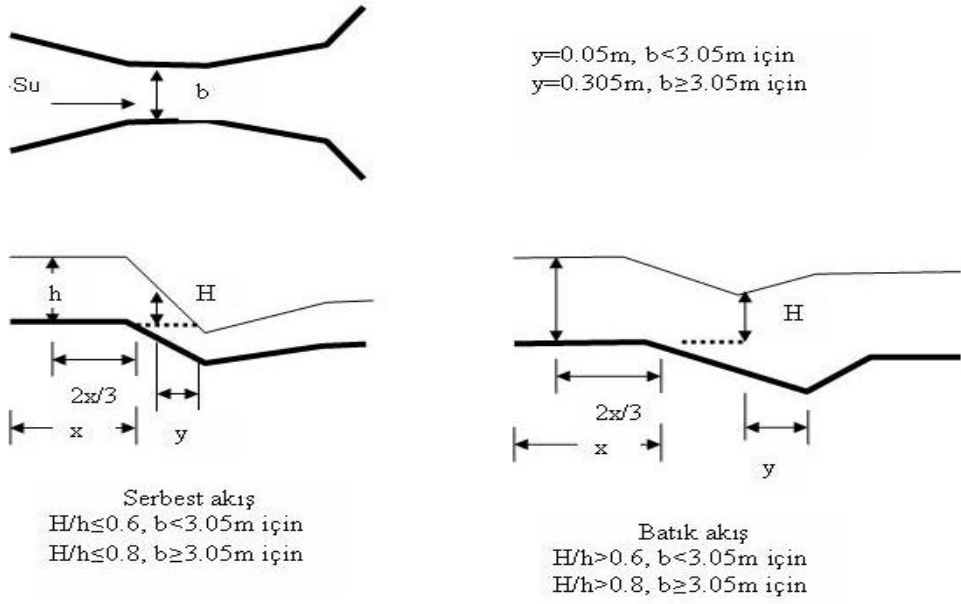
5.4.4.1. Parshall Savakları

Bu tür savak, savaklar en geniş kullanımlı olanıdır ve 1930'larda tasarlanmasından bu yana kanal ölçümlerinde standart olmuştur. Parshall kanalının en önemli üstünlüğü yük kaybının düşük olması ve kendi kendini temizleme özelliğidir. Parshall kanalı üç bölümden oluşur: daralma bölümü, boğaz ve genişleme bölümü. Serbest akışlı ve batmış olmak üzere iki tipi mevcuttur (Şekil 5.14). Parshall kanalı boyutlandırması için ISO 9826 (10) ve ASTM D1941 (1991) standartları yayınlanmıştır.

Kanallar sıvı akışını, kritik altından süper kritik akım şartlarına geçirmek üzere tasarlanmıştır. Parshall kanalı durumunda ise bu geçiş boğaz kısmında daralma ve düşüş ile sağlanır. Bu düşüm akımın kanal boğazında kritik bir derinlikten geçmesine neden olur. Kritik derinlikte enerji minimuma iner. Kritik derinlik akış hızına bağlıdır ve hızın kesin yerinin tespit zorluğu nedeniyle bu derinliğin ölçümü fiziksel olarak çok zordur. Diğer taraftan boğaz öncesi derinlik kütle korunumu nedeniyle kritik derinlik ile ilişkilidir. Bu nedenle akış hızı boğaz öncesi derinliğin ölçümü ile hesaplanır.

Serbest Akışlı Parshall Kanalında Debi Hesabı

Bu halde boğaz kısmında hidrolik sıçrama gözle net olarak fark edilir. Yani boğaz sonrası su seviyesi, boğaz öncesi su seviyesinden belirgin derecede fark edilecek kadar düşük seviyededir.



Şekil 5.14. Parshall kanalının şematik görünümü (Öztürk ve diğ., 2006)

Serbest akışlı Parshall kanalında debi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

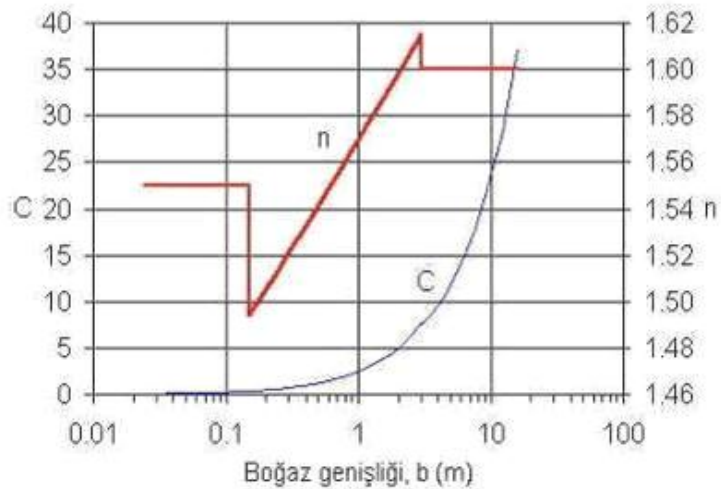
$$Q = C h^n \quad (5.41)$$

Burada;

- Q : Hacimsel hız, debi, m³/saniye
- h : Boğaz öncesi derinlik, m
- C : Parshall kanalı sabiti, ampirik
- n : Parshall kanalı üs sabiti, birimsiz
- B : Boğaz genişliği, m

olarak verilmektedir.

C ve n sabitleri Şekil 5.15'deki grafikten bulunabilir.



Şekil 5.15. Parshall kanalı sabitleri (Öztürk ve diğ., 2006)

Batmış akışlı Parshall kanalında debi hesabı

Bu halde boğaz kısmında hidrolik sıçrama gözle fark edilemeyecek, yani boğaz sonrası su seviyesinin, sıçramanın fark edilemeyeceği kadar yüksek olduğu akış şartları hakimdir. Batmış akışlı Parshall kanalında debi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$Q = C h^n - Q_e \quad (5.42)$$

Burada;

Q_e : Batmışlığın debiyi azaltma payı, m^3/sn 'dir.

$b < 3.05$ m için (5.43) bağıntısındaki Q_e için aşağıdaki bağıntı verilmektedir:

$$Q_e = 0,07 b^{0,815} \left[\left(\frac{h}{0,305 \left(\left(\frac{1,8}{H/h} \right)^{0,8} - 2,46 \right)} \right)^{4,57-3,14H/h} + H/h \right] \quad (5.43)$$

Burada;

H : Boğaz sonrası ölçülen su seviyesi, m, (sadece kanal batmışsa gerekir)

H/h : Batmışlık oranı, ($b < 3.05$ için $H/h > 0.6$ veya $b \geq 3.05$ için $H/h > 0.8$ ise kanal batmıştır)

$b \geq 3.05$ m için Q_e :

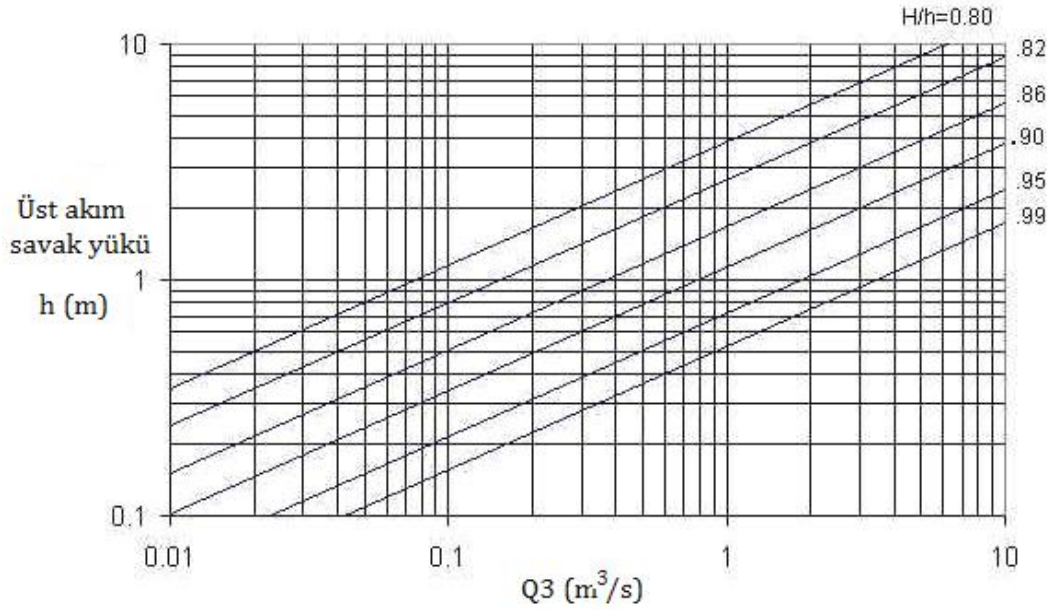
$$Q_e = C_s Q_3 \quad (5.44)$$

$$C_s = (0.3281) b \quad (5.45)$$

Burada;

Q_3 : Q_e 'yi hesaplamak için akış faktörü, m^3/sn ($b \geq 3,05$ için)'dir.

Batmış Parshall kanalı için C ve n sabitleri Şekil 5.15.'deki grafikten, Q_3 , ise H/h 'nin ve h 'nin fonksiyonu olarak Şekil 5.16'daki grafikten bulunabilir.



Şekil 5.16. Genişliği 3,05 m'den büyük batmış Parshall kanalı için Q_3 sabiti (Öztürk ve diğ., 2006)

5.4.4.2. Savaklar

Savaklar açık kanallarda debi ölçümünde kullanılırlar. Bu bölümde uygulamada en yaygın olarak kullanılan dikdörtgen, üçgen savaklarla ilgili bağıntılar verilmiştir.

Dikdörtgen Savak

Dikdörtgen savaklarda temel prensip, debinin su derinliğiyle (h , Şekil 5.16'da savak yükü) doğrudan ilişkili olmasıdır. Dikdörtgen savaklar, "bastırılmış", "kısmen daraltılmış" veya "tamamen daraltılmış" olabilirler. "Bastırılmış" dikdörtgen savaklarda daralma yoktur, bu savaklarda $(b) = (B)$ 'dir. Diğer bir deyişle çentik yoktur, savak dümdüzdür. "Tamamen daraltılmış" savaklarda, $(B-b) > 4h_{\max}$ (h_{\max} savakta beklenen en yüksek su seviyesidir). "Kısmen daraltılmış" savakta ise $0 < (B-b) < 4h_{\max}$ 'dir. Savaklarda daraltma, su akışının savağa doğru sıkıştırılması amacıyla yapılır.

ISO (1980), ASTM (1993) ve USBR (1997) bastırılmış, kısmen daraltılmış veya tamamen daraltılmış dikdörtgen savaklar için Kindsvater-Carter denklemini (5.46) önermektedirler:

$$Q = C_e \frac{2}{3} \sqrt{2g} (b + K_b)(h + K_h)^{3/2} \quad (5.46)$$

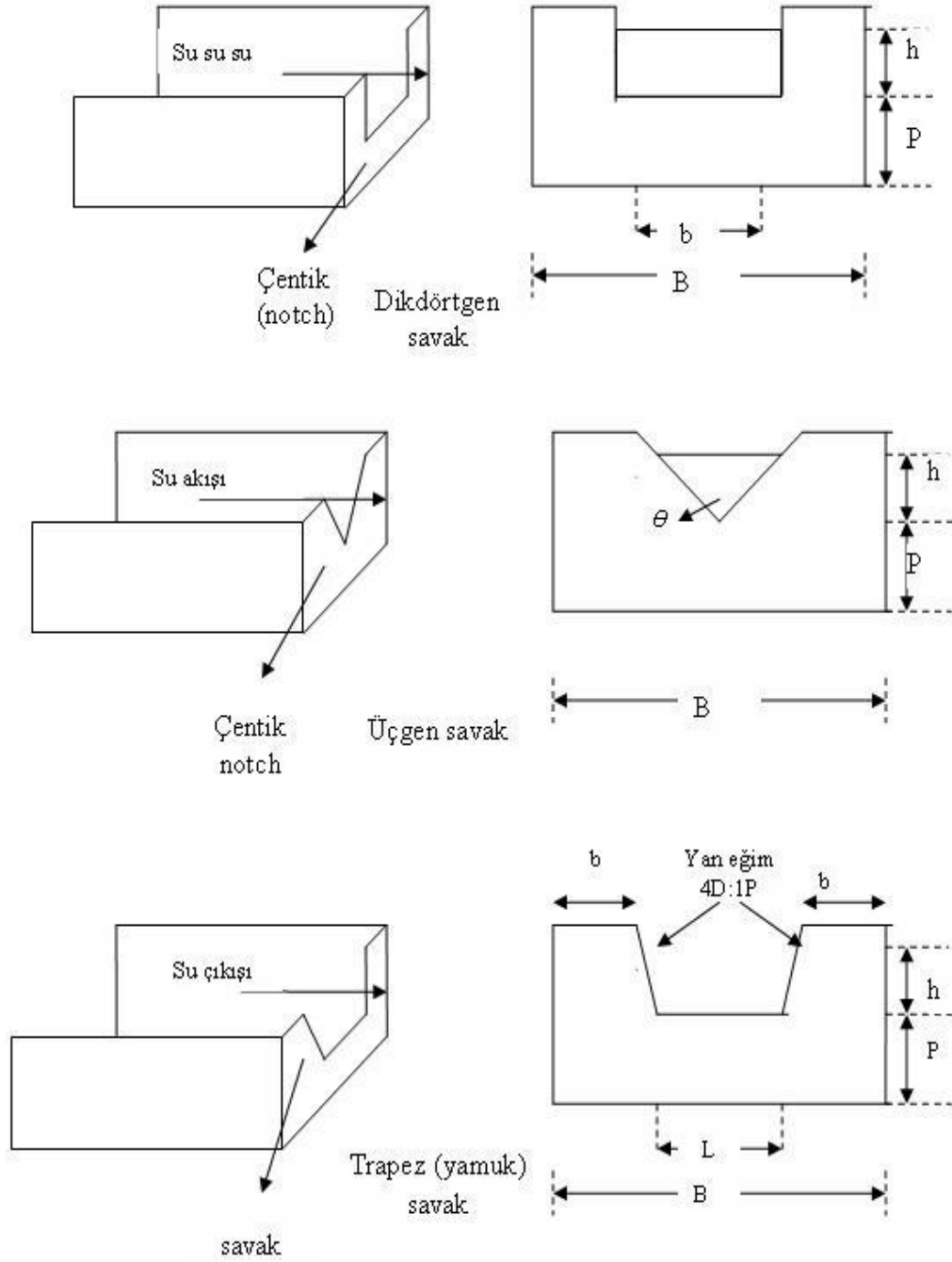
Burada;

- Q : Debi, m^3/sn
- C_e : Deşarj katsayısı, boyutsuz
- g : Yerçekimi ivmesi, m/sn^2
- b : Çentik genişliği, m
- h : Su seviyesi, metre
- K_b ve K_h : Viskozite ve yüzey geriliminin etkisi, m

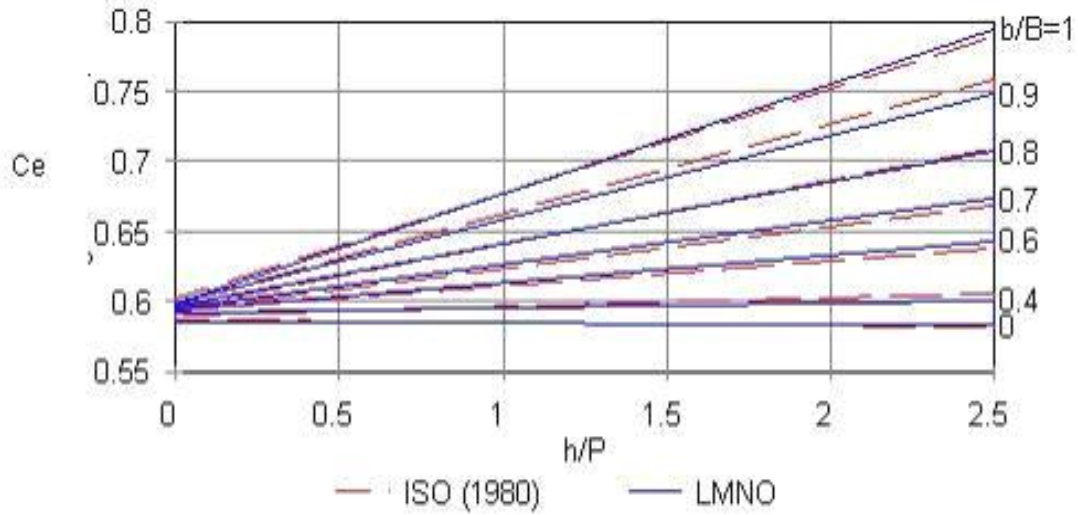
$(b+K_b)$ toplamı “etkin genişlik”, $(h+K_h)$ toplamı ise “etkin savak yükü” olarak adlandırılır. $g = 9,8066 \text{ m/sn}^2$, $K_h = 0,001 \text{ m}$ 'dir. C_e , b/B ve h/P 'nin fonksiyonu; K_b , b/B 'nin fonksiyonudur. Nümerik çözümler için çeşitli b/B oranlarında K_b değerleri ise Şekil 5.17'de verilmiştir.

Önerilen montaj şartları ve denklemin uygulaması;

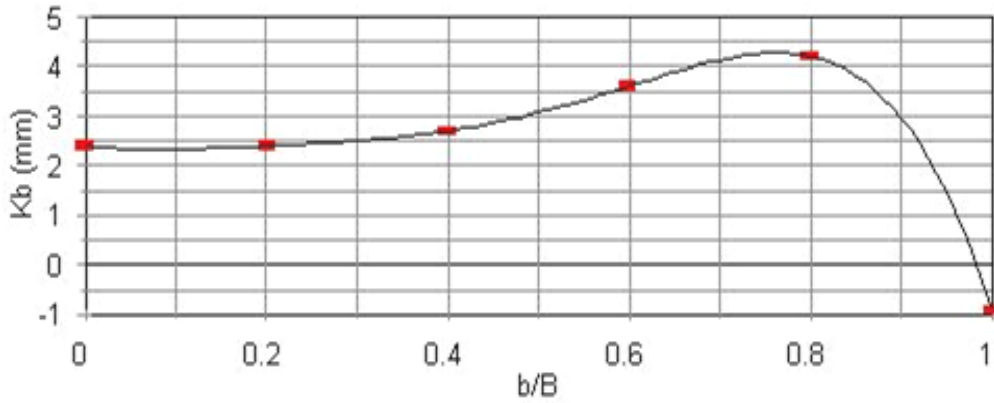
- h , savak öncesi, savaktan maksimum savak yükünün 4-5 katı uzaklıkta ölçülmelidir.
- Savağın kalınlığı önemli değildir, ancak eşiğin suyun geçtiği bölümünün kalınlığı önemlidir ve 1-2 mm'yi geçmemelidir.
- Savak sonrası su yüzeyi, kretin (savak çentiği tabanı) en az 6 cm altında olmalıdır.
- Ölçülen su seviyesi, $h \geq 0,03 \text{ m}$ olmalıdır.
- P , savak öncesi kretten itibaren ölçülmeli ve $P \geq 0,1 \text{ m}$ olmalıdır (0,1-10.000m).
- Çentik genişliği $b \geq 0,15 \text{ m}$, ve savak genişliği $B \geq 0,15 \text{ m}$ (0,15-10.000) olmalıdır,
- $0 < b/B \leq 1$ ve $0 < h/P \leq 2,5$ olmalıdır.
- $b < B$ (daraltılmış savaklarda) ise $(B-b) \geq 0,2 \text{ m}$ olmalıdır.



Şekil 5.17. Dikdörtgen, V ve trapez savakların şematik görünümü (Öztürk ve diğ., 2006)



Şekil 5.18. Dikdörtgen savaklarda debi katsayısı (Öztürk ve diğ., 2006)



Şekil 5.19. Dikdörtgen savaklarda K_b katsayısı (Öztürk ve diğ., 2006)

Üçgen (V- çentikli) Savak

Üçgen savaklarda temel prensip, deşarjın üçgenin tabanından itibaren su yüksekliği ile orantılı olmasıdır. Bu mesafe su seviyesi (h) olarak adlandırılır (Şekil 5.16). Üçgen savaklarda deşarjdaki küçük değişimler derinlikte büyük değişimlere neden olduğundan dikdörtgen savaklara kıyasla daha hassas savak yükü ölçümlerine olanak tanır.

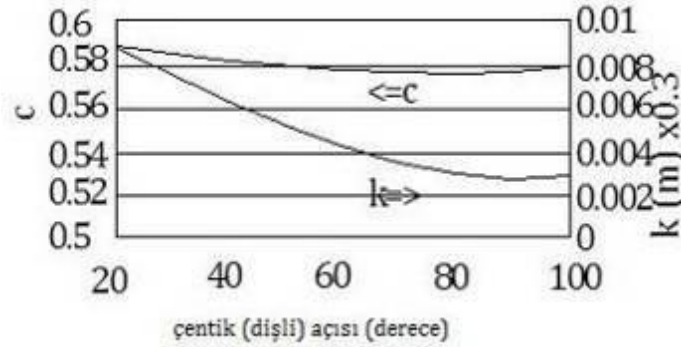
ISO (1980), ASTM (1993) ve USBR (1997) üçgen savaklar için Kindsvater-Carter denklemini önermektedirler:

$$Q = 76.98 C \tan (\theta/2) (h+k)^{5/2} \quad (5.47)$$

Burada;

- Q : Debi, m^3/sn
- C : Deşarj katsayısı, boyutsuz
- θ : Üçgen savak açısı, derece
- h : Savak yükü, m
- k : Su seviyesi düzeltme faktörü, m

C ve k'nın açığa karşı çizilmiş grafiği Şekil 5.20.'deki grafikte verilmiştir. Otomatik hesaplamalar için geliştirilmiş olan C ve k denklemleri 5.44 ve 5.45'de verilmiştir:



Şekil 5.20. Üçgen savaklarda C ve k sabitleri (Öztürk ve diğ., 2006)

$$C = 0.607165052 - 0.000874466963 \theta + 6.10393334 \times 10^{-6} \theta^2 \quad (5.48)$$

$$k (m) = 4.41655 \times 10^{-3} - 1.03495 \times 10^{-4} \theta + 1.00529 \times 10^{-6} \theta^2 - 3.23745 \times 10^{-9} \theta^3 \quad (5.49)$$

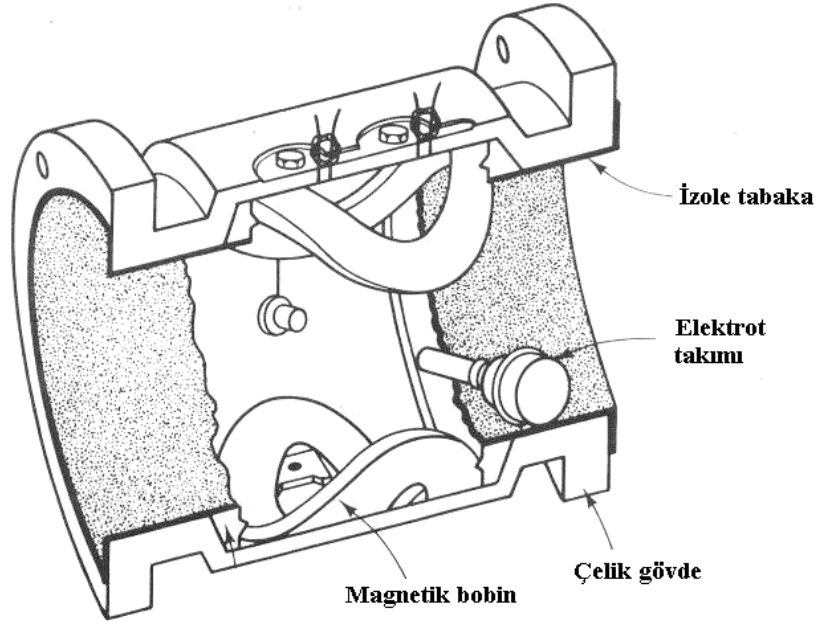
Önerilen montaj şartları ve denklemin uygulaması;

- h, savak öncesi savaktan 4h uzaklıkta ölçülmelidir.
- Savağın kalınlığı önemli değildir, ancak suyun eşiğın V kısmından geçtiği bölümünün kalınlığı önemlidir ve V kısmının kalınlığı 0,8-2 mm aralığında olmalıdır.
- Savak sonrası su yüzeyi, V'nin alt kısmından en az 6 cm aşağıda olmalıdır (böylece suyun serbest akışı sağlanır).
- Bağıntılar $h < 38\text{cm}$ ve $h/P < 2,4$ için geliştirilmiştir.
- Bağıntılar tam daraltılmış üçgen savaklar için geliştirilmiştir ($h/B \leq 0,2$ olmalıdır).
- Daralma bölümü ortalama genişliği (B) > 91 cm olmalıdır.
- V'nin tabanı savak öncesinin dibinden en az 45 cm yukarıda olmalıdır.

Savak yukarıda belirtilen şartların bazılarını karşılamıyorsa söz konusu savak "kısmen daraltılmış" üçgen savak olabilir. Bu durumda $h/B \leq 0,4$ olması; V'nin tabanının savak öncesinde dipten 10 cm yukarıda olması; daralma bölümünün 61 cm genişliğinde olması; $h < 38$ cm yerine 61 cm'ye kadar olabilmesi yeterlidir. Bu durumda C için farklı grafik vardır.

5.4.4.3. Manyetik Akım Ölçerler

Manyetik akımölçerler, Şekil 5.21.'de görüldüğü gibi bir manyetik bobin seti ile bir elektrot bağlantısından meydana gelmektedir.



Şekil 5.21. Manyetik akımölçer (Topacık ve Koyuncu, 2006)

5.5. Dengeleme

5.5.1. Dengeleme Havuzlarının Genel Tanıtımı

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 çökeltmenin önlenmesi amacıyla karıştırma uygulanır. Karıştırma ve havalandırma ile yükseltgenen 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

Akış ölçmelerinde, akış dengeleme gerekebilir. Daha sonraki kademelerin tasarım kapasitesini aşan akışlar, akış dengeleme tankı içerisine yönlendirilmelidir. Bu işlem, ızgaradan geçirme ve kum tutma süreçlerinden sonra olmalıdır.

Bütün akış dengeleme ve akış bölme tertibatları, kolay temizlenecek şekilde tasarlanmalıdır. Yan geçişe müsaade edilmediğinde, arıtma tesislerinde giriş akımını dengeleyecek bir düzen bulunmalıdır.

Dengeleme tanklarında biriken katıların uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Organik katıların arıtma tesisindeki akışa geri döndürülmesi önemlidir. Anaerobik şartlar ve

rahatsız edici kokulardan kaçınmak amacıyla dengeleme tanklarının havalandırılması için gerekli tedbirler alınmalıdır.

5.5.2. Dengeleme Birimlerinin Yerleşimi

Dengeleme tankının birinci kademe arıtmadan sonra, ikinci kademe (biyolojik) arıtmadan önce bir yerde olması uygundur. Debi dengeleme birimlerinin, ızgara ve kum tutuculardan sonra yerleştirilmesi en çok uygulananıdır. Birinci kademe arıtmadan hemen sonra dengeleme, çamur ve köpük problemlerini azaltacaktır. Ön çökeltimden ve biyolojik arıtmadan önce yapılacak dengeleme ünitelerinde, katı maddelerin çökmesini ve konsantrasyon dalgalanmalarını önlemek için yeterli karışım, koku problemine karşı da yeterli havalandırma sağlanmalıdır.

Dengeleme havuzu atıksu hattına yerleştirilebildiği gibi, hat dışına da yerleştirilebilir. Hat dışı dengelemede ortalama günlük debinin üzerindeki debi fazlası by-pass hattı üzerine yerleştirilmiş dengeleme havuzundan geçirilir, tesiste debi düşünce dengeleme havuzu suyu boşalmaya başlar. Atıksu hattına yerleştirildiğinde bütün debi bu havuzdan geçer. Bu yüzden konsantrasyon ve debi, hat dışı sisteme kıyasla büyük ölçüde dengelenir.

5.5.3. Dengeleme Birimlerinin Tipleri

Debi dengeleme birimi olarak ayrı olarak inşa edilen bir havuz veya boş havalandırma havuzu veya çökeltim havuzu gibi mevcut arıtma birimlerinden biri kullanılabilir. Dengeleme tankı inşasında dikkate alınacak hususlar, inşaatın yapıldığı malzeme, tank şekli ve teçhizatıdır. Mevcut bir havuz kullanılacaksa gerekli değişiklikler yapılır. Genellikle borulama ve yapısal değişiklikler gerekir.

Havuz şekli hat üstü veya hat dışı dengeleme kullanılması durumuna göre değişir. Hat üstü dengeleme uygulandığında, dengeleme havuzu mümkün olduğu kadar tam karışımli bir reaktör gibi tasarlanmalı, giriş ve çıkış mekanizmaları kısa devreyi en aza indirecek şekilde olmalıdır. Giriş akımının karıştırıcıya yakın bir yerde olması, birçok noktadan giriş ve çıkış olması, çoklu kademelendirme gibi uygulamalar gerekebilir.

5.5.4. Dengeleme Birimlerinin Boyutlandırma Kriterleri

Bütün dengeleme birimleri karıştırılmalı ve havalandırılmalıdır. Acil durumlar için deşarjı olmalıdır. Dengelenmesi gerekli hacim, sisteme gelen toplam akış hacminin zamana karşı çizilmesi (debi geçiş çizgisi) ile hesaplanır. Boyutlandırma kriterleri Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.10. Dengeleme tankları tasarım kriterleri (MWA, 1998)

Tanım	Birim	Kriter
Tank hacmi	m^3	<i>Pik debi için 1,5 saatlik bir bekletme süresi</i>
Karıştırma için enerji ihtiyacı	W/m^3 atıksu	4-8
Havalandırma	m^3 hava/saat/ m^3 atıksu	1

Dengeleme ünitesi tasarımında şu hususlar irdelenir:

- Dengeleme ünitesinin arıtma tesisi içindeki yeri,

- Dengelemenin hat üzerinde ya da hat dışında olması,
- Gerekli dengeleme havuzu hacmi

Ön çökeltim sonrası ve kısa bekletme süreli (iki saatten daha az) dengelemede havalandırma gerekmez.

5.5.5. Dengeleme Birimlerinin İşletilmesi

- Gerekli bakım işlemleri TS EN 12255-1'e göre yapılmalıdır.
- Havalandırma ve mekanik ekipmanlar yeterli karışımı sağlamalıdır. Çamur ve kum birikmesini önlemek için gerekli önlemler alınmalıdır.
- Havalandırma ekipmanı, havuzun her tarafında en az 1 mg/L'lik bir çözünmüş oksijen sağlayabilmelidir.
- Hava temin sistemi, diğer sistemlerden bağımsız olmalıdır.
- Giriş ve çıkış yapıları, ilave vana, savak veya akım kontrolünü sağlayan birimler ile teçhiz edilmelidir. Seviye ve debi sürekli olarak ölçülmelidir.
- Yapılan ölçümlerde askıda maddelerle etkileşim önlenmelidir.
- Dengeleme tankı için ayrı bir yer bulunmadığı durumlarda bu tanklar atıksu arıtma tesisleri ile birlikte planlanarak inşaa edilmelidirler.
- Dengeleme tankı tasarımına dahil edilmesi gereken işletme teçhizatı şunlardır: Havuz duvarlarında birikebilecek katı ve yağ temizleme düzeneği, pompa arızası durumuna karşı acil taşma savağı düzeneği, yüzer madde ve köpük için yüksek çıkış ve köpük problemi varsa havuzun kenarlarında köpük birikimini önlemek üzere su spreyi.

5.6. Ön Çökeltim

5.6.1. Ön Çökeltim Genel Tanıtımı

Ön çökeltim, çökebilir katıların ayrılmasıdır. Ham atıksudan katıların giderilmesi ile belli oranlarda askıda katı ve BOİ₅ 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 m³/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 BOİ₅, % 50-60 askıda katı madde giderimi sağlanır. Endüstriyel atıksu katkısının önemli oranlara ulaştığı kentsel atıksularda, atıksudaki çözünmüş BOİ₅ 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 BOİ₅ ve AKM giderimleri tipik değerlerin altına düşebilir.

5.6.2. Ön Çökeltim Havuzu Tipleri

Çökeltim havuzları dairesel veya dikdörtgen planlı olarak yapılırlar. Tip seçiminde, tesisin büyüklüğü, arazi şartları, mevcut birincil arıtma ekipmanları, ilgili mühendisin inisiyatifi, tesis sahibinin tercihi, yatırım ve işletme maliyeti gibi faktörler dikkate alınır.

5.6.2.1. Dairesel Ön Çökeltim Havuzları

Dairesel ön çökeltim havuzlarında atıksu beslemesi merkezden yapılır. Atıksu merkezden dış duvarlara doğru hareket eder ve dış çevre boyunca uzanan savaktan çıkış yapar. Çöken çamur, sıyrıcılarla merkeze doğru itilir. Üstte toplanan yüzer maddeler de çamur sıyrıcı ile birlikte çalışan döner konik sıyrıcı ile toplanarak bir haznede biriktirilir.

5.6.2.2. Dikdörtgen Ön Çökeltim Havuzları

Dikdörtgen ön çökeltim havuzlarında atıksu beslemesi bir uçtan (giriş tarafından) yapılır, atıksu uzun kenar boyunca hareket ederek öbür uçtan havuzu terk eder. Çöken çamur dip kısımda atık suyun aksi yönünde hareket eden sıyrıcılar vasıtasıyla çamur toplama haznesine itilir. Havuz yüzeyinde biriken köpük, yüzeydeki köpük sıyrıcısı ile havuzun çıkış tarafındaki köpük haznesine itilir.

5.6.3. Ön Çökeltim Havuzlarının Tasarım Kriterleri

- Ön çökeltim havuzları yüzey yüküne göre boyutlandırılırlar.
- Tasarımda hidrolik bekletme süresi, savak yükü, tipi ve boyutları, giriş ve çıkış yapıları, çamur sıyırma tertibatı gibi parametreler de ayrıca dikkate alınmalıdır. Tasarım kriterleri, Tablo 5.11’de verilmiştir.
- Yüzeysel hidrolik yük (yüzey yükü), geri devir akımları da dahil toplam giriş debisinin havuz yüzey alanına (çıkış akımı toplama olukları da dahil) oranıdır.
- Çamur günlük olarak uzaklaştırılabilir.
- Özel orifislerden oluşan çok delikli bir giriş yapısı olmalıdır.
- Çıkışta, savak önünde dalgıç perde yer almalıdır.

Tablo 5.11. Ön çökeltim havuzları için tasarım kriterleri

	<i>Aralık</i>	<i>Tipik</i>
Ön çökeltim		
<i>Bekletme süresi (Q_{pik}), saat</i>	1,5-2,5	2,0
Yüzey yükü, $m^3/m^2/gün$		
<i>Pik saatlik debi</i>	30-45	40
<i>Savak yükü, $m^3/m/gün$</i>	125-500	250
Aktif çamur geri devirli ön çökeltim*:		
<i>Bekletme süresi (Q_{pik}), saat</i>	1,5-2,5	2,0
Yüzey yükü, $m^3/m^2/gün$		
<i>Pik saatlik debi</i>	30-40	35
<i>Savak yükü, $m^3/m/gün$</i>	125-500	250

*Geri devrin ön çökeltim girişine verilmesi hali

5.6.4. Ön Çökeltim Havuzları İçin Yapısal Kriterler

Dikdörtgen ve dairesel ön çökeltim havuzlarının tipik yapısal boyutları Tablo 5.12’de verilmiştir.

Tablo 5.12. Dikdörtgen ve dairesel çökeltim havuzlarının yapısal boyutları

	<i>Aralık</i>	<i>Tipik</i>
<i>Dikdörtgen</i>		
<i>Derinlik, m</i>	3-4,5	3,7
<i>Uzunluk, m</i>	15-90	24-40
<i>Genişlik, m</i>	3-24	5-10
<i>Sıyırıcı hızı, m/dak</i>	0,6-1,2	0,9
<i>Dairesel</i>		
<i>Derinlik, m</i>	3-4,5	3,7
<i>Çap, m</i>	3-60	12-45
<i>Taban eğimi, mm/m</i>	62-167	83
<i>Sıyırıcı devir sayısı, dev/dak</i>	0,02-0,05	0,03

Ön çökeltim havuzlarının tasarım adımları aşağıda özetlenmiştir.

Yüzey yükü, savak yükü ve bekletme süresi seçilir.

Seçilen yüzey yüküne bağlı olarak yüzey alanı ($A_{yüzey}$) belirlenir.

$$A_{yüzey}(m^2) = Q (m^3/st) / S (m/st) \quad (5.50)$$

Dikdörtgen planlı havuzlarda uzunluk ve genişlik oranına bağlı olarak ve DIN 19552’deki genişlik değerleri de dikkate alınarak, genişlik ve uzunluk (L ve b) belirlenir.

$$A_{yüzey}(m^2) = (Lxb) \quad (5.51)$$

Dairesel planlı havuzlarda ise yüzey alınanından hareketle çap belirlenir ve DIN 19552’deki standart değer ile kontrol edilir. Hesaplanan çap değerine en yakın standart çap değeri alınarak, yüzey alanı tekrar hesaplanır.

En başta seçilen bekletme süresi değerine göre havuz hacmi ve buradan havuzdaki kenar su derinliği belirlenir.

Savak yüküne bağlı olarak gerekli savak uzunluğu ve sayısı bulunur.

Değişik havuz sayıları için bekletme süresi, yüzey yükü ve savak yükü değerleri kontrol edilir.

5.6.5. Ön Çökeltim Havuzlarının Bakım ve İşletimi

Ön çökeltim havuzunun iyi çalışmaması veya aşırı yüklenmesi durumunda sonraki arıtma kademesine düşen hidrolik yük ve kirlilik yükleri artmış olacaktır. Son çökeltim havuzlarının yeterince emniyetli tasarlanması durumunda herhangi bir sorun yaşanmayabilir. Aynı şekilde, aktif çamur veya damlatmalı filtre sistemlerinin de ortaya çıkan ilave organik yükü tolere edecek şekilde tasarlanması gerekir.

Savak yükünün ön çökeltim havuzun çökeltme verimi etkisi daha sınırlıdır. Savak yüklerinin 125-500 m³/m/gün aralığında olması önerilmektedir. Savaklara doğru aşırı yaklaşım hızını önlemek üzere, havuz kenar derinliği ve çıkış savağı kanalları arasındaki mesafelerin yeterli olması gerekir. Böylece dipte biriken çamurun hareketlenip suyla çıkış savağına sürüklenmesi önlenmiş olur.

Ortalama tasarım debisinde bekleme süresi 2,5 saati geçmemelidir. Uzun bekletme sürelerinde septik şartlar dolayısıyla çökeltim havuzu performansı düşer (oluşan gazlar çamurun çökmesini engeller) ve koku oluşur. İyi tasarlanmış çamur toplama hacmi sayesinde, tabanda toplanan çamurun uygun sürede boşaltılması sağlanarak çıkıştan kaçması önlenir. Tabandaki çamur kalınlığı, septik şartların oluşumunu ve uzun çamur bekletme sürelerini önlemek üzere minimize edilmelidir.

5.7. Kaynaklar

Aksoğan S. ve Topacık D. (2008). Su ve Çevre Mühendisliğinde Makina Bilgisi, Derya Mühendislik Yayınları.

ATV-DVWK-A 134 E (2000). Planning and Construction of Wastewater Pumping Stations.

DIN EN 12255-3 (2000) Wastewater Treatment Plants - Part 3: Preliminary treatment

DIN EN 12255-10 (2001). Wastewater Treatment Plants – Part 10: Safety Principles.

DIN 19554 (2002). Wastewater Treatment Plants - Screening Plant with Straight Bar Screens As Current And Counter Current Screen - Main Dimensions, Equipment.

MWA (1998). Guidelines for Developers: Sewage Treatment Plants 2nd Edition, Volume IV. Malaysian Water Association, Ministry of Housing and Local Government, Sewerage Services Department, Malaysia.

Qasim, S.R. (1999). Wastewater Treatment Plants; Planning, Design and Operation, Technomic Publishing Co. Inc.

TS EN 12255-3 (2004) Atıksu Arıtma Tesisleri - Bölüm 3: Ön Arıtma

6. BİYOLOJİK ARITMA

Doç. Dr. Güçlü H. İNSEL, Y. Doç. Dr. Mahmut ALTINBAŞ

Bu bölümde aktif çamur sistemleri, damlatmalı filtreler, biyodisk sistemleri ve lagünler konusu ele alınmıştır.

6.1. Aktif Çamur Sistemleri

6.1.1. Biyolojik Arıtmanın (İkinci Kademe Arıtma) Genel Tanıtımı

Atıksuların istenilen kaliteye getirilebilmesi için askıda veya yüzeye tutunmuş mikroorganizmaların kullanıldığı arıtma yöntemidir. Atıksular biyolojik arıtmaya tabi tutulduktan sonra arıtma fonksiyonunu gerçekleştiren mikroorganizmaların (biyokütlenin) arıtılmış sudan çeşitli yöntemlerle (son çökeltim, membran filtrasyonu vb.) ayrılması gerekir. Sistemin performansı, atıksuyun biyolojik olarak ayrışabilme özelliğine, seçilen prosese, aktif çamur havuzlarındaki biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar ile biyokütlenin arıtılmış sudan ayırma verimine bağlıdır. Biyolojik arıtmaya uygun tüm atıksular için aktif çamur sistemi uygulanabilir (Ten States Standard, 2004).

6.1.2. Genel İhtiyaçlar

Bir aktif çamur sistemindeki genel ihtiyaçlar aşağıda verilmiştir.

- Gerçekleştirilecek tasarım deşarj standartlarına ve bölgesel ihtiyaçlara uygun olmalıdır.
- Tanklarda ve haznelerdeki ölü bölgeler ve birikim önlenmelidir.
- Havalandırma ve/veya karıştırma donanımı tahkik edilmelidir.
- Son çökeltim tanklarının yüzey alanı, hacmi ve derinliği kontrol edilmelidir.
- Son çökeltim tanklarındaki çamur sıyırma ve toplama sistemi uygun seçilmelidir.
- Çamur geri devir ve fazla çamur tahliye donanımı seçilmelidir.
- Oluşan çamurun arıtılması ve son noktaya taşınması gerekir.
- Hidrolik yük kaybı minimum olmalıdır.
- Reaktördeki akışın şekli seçilen sürece bağlıdır. Değişik noktadan besleme olması durumunda (kademeli havalandırma vb.), orijinal akış düzeninde değişiklik yapılmasına izin veren teçhizat (vanalar, kapaklar gibi) sağlanmalıdır.
- Tesisin değişken koşullara uyum sağlamasına imkân verecek ve adaptasyon sürecini minimumda tutacak ölçme, otomasyon ve kontrol uygulanmalıdır.

6.1.3. Aktif Çamur Sistemi Tipleri ve Ünite Sayıları

Aktif çamur sistemi tipleri istenilen arıtma derecesine göre aşağıdaki gibi ayarlanmalıdır:

- Organik Karbon Giderimi
- Organik Karbon Giderimi + Nitrifikasyon
- Organik Karbon Giderimi + Nitrifikasyon + Denitrifikasyon (Biyolojik Azot Giderimi)
- Biyolojik Azot ve Fosfor Giderimi (Biyolojik Nutrient Giderimi)

İstenilen arıtma derecesine göre, dikkate alınması gereken en önemli parametreler, aktif çamur konsantrasyonu (AKM), besleme oranı (çamur yükü, F/M oranı), aerobik/toplam çamur yaşları ve çamur hacim indeksi (SVI)'dir. Kentsel atıksularda bu işletme parametrelerinin tipik değerleri, arıtma derecesine bağlı olarak Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Arıtma derecesine bağlı işletme parametreleri (DIN EN 12255-6)

<i>Arıtma Tipi</i>	<i>Proses</i>	<i>F/M oranı (kg BOİ/kg AKM.d)</i>	<i>Aktif Çamur Kons. (g/L)</i>	<i>Çamur Yaşı (gün)</i>
<i>Kısmi Arıtma -Organik Karbon, ^a</i>	<i>Çok Yüksek Hızlı</i>	<i>≥1.0</i>	<i>1.5-2.0</i>	<i>≤1.0</i>
<i>Organik Karbon, ^{b,e}</i>	<i>Yüksek Hızlı TP-Giderimi</i>	<i>0.25-0.5</i>	<i>2.0-3.0</i>	<i>2-4</i>
<i>Organik Karbon- Nitrifikasyon</i>	<i>Düşük Hızlı</i>	<i>0.10-0.15</i>	<i>3.0-5.0</i>	<i>7-12^c</i>
<i>Denitrifikasyon, ^{d,e}</i>	<i>TN-Giderimi TP-Giderimi</i>	<i>0.07-0.09</i>	<i>3.0-5.0</i>	<i>12-15</i>
<i>Uzun Havalandırma, ^a</i>	<i>Çok düşük hızlı-çamur stabilizasyonu</i>	<i>0.04-0.07</i>	<i>3.0-5.0</i>	<i>15-30</i>

a. İleri biyolojik fosfor giderimi uygulanmaz.

b. Nitrifikasyonun oluşmaması gerekir.

c. T≥10 °C proses sıcaklığı için uygulanır.

d. TN giderimi için reaktörün %20-50'si havalandırılmaz.

e. İleri Biyolojik fosfor giderimi için bekletme süresi 0.5-2.0 saat anaerobik selektör gerekir.

Ünite sayıları ve kademelendirmede dikkat edilecek hususlar aşağıda belirtilmiştir.

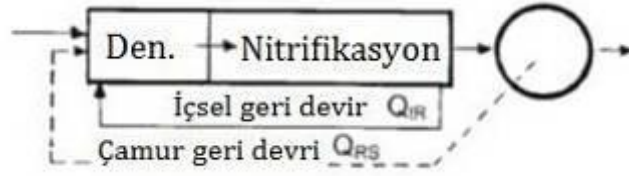
- Toplam havalandırma hacmi birbirinden bağımsız çalışabilecek en az 2 paralel hat şekilde tasarlanmalıdır.
- Bir veya daha fazla hattın/birimim devre dışı kalması durumunda, istenen nihaî çıkış suyu kalitesinin sürdürülebilirliğin sağlanması için, çoklu hatlar/birimler veya diğer teknik araçlar oluşturulmalıdır.
- Biyolojik arıtmada seçilen kademelendirme, kapasite artışlarında arıtma fonksiyonunu sorunsuz olarak gerçekleştirecek şekilde düzenlenmelidir.

6.1.3.1. Biyolojik Azot Giderimi Prosesleri

Biyolojik azot giderimi sistemleri aşağıda verilmektedir (ATV A-131, 2000; Metcalf & Eddy, 2003).

Ön Denitrifikasyon Sistemi

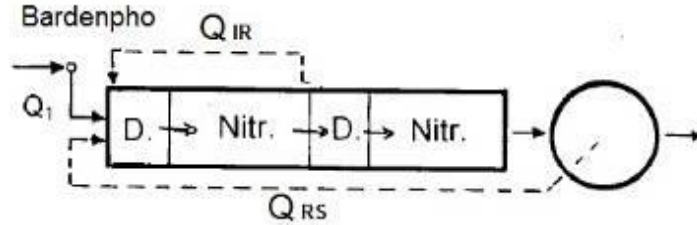
Ön denitrifikasyon prosesinde atıksu, çamur geri devri ve içsel (nitrat) geri devir, denitrifikasyon (anoksik) hacmine yapılmaktadır. Denitrifikasyon ve nitrifikasyon havuzları seri bağlı 2 havuz olarak yapılabilir. Değişken giriş koşulları altında işletme esnekliği sağlamak için denitrifikasyon hacminin son kısmı aerobik şartlara dönüştürülebilir. İçsel geri devirden gelecek oksijenin denitrifikasyon prosesini olumsuz etkilememesi için gerekli önlemler alınmalıdır. İçsel geri devir oranının giriş debisinin 4-5 katından daha fazla olması durumunda proses (konfigürasyon) değişikliği yapılmalıdır. Ön denitrifikasyon prosesinin akım diyagramı Şekil 6.1'de verilmektedir.



Şekil 6.1. Ön (ayrı) denitrifikasyon sistemi

Bardenpho Prosesi

Bardenpho prosesinde ön denitrifikasyona benzer şekilde atıksu, çamur geri devri ve içsel (nitrat) geri devir ilk denitrifikasyon (anoksik) hacminde birleşmektedir. Ancak, denitrifikasyon hacmi iki kısma ayrılmış olup nitrat geri devri ilk aerobik havuzdan birinci denitrifikasyon hacmine yapılmaktadır. Daha büyük hacimde seçilmesi gereken ikinci anoksik havuz ise ilk denitrifikasyon hacminde giderilemeyen nitratın giderilmesini sağlamaktadır. Son aerobik havuzda ise son çökeltim havuzu öncesi azot gazının su ortamından sıyrılması sağlanmaktadır. Bardenpho prosesinin akım diyagramı Şekil 6.2’de verilmektedir.

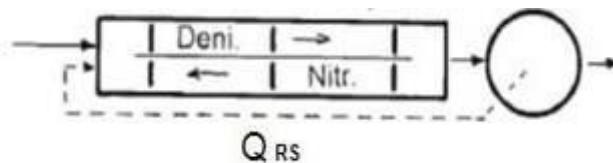


Şekil 6.2. Bardenpho sistemi

Eşzamanlı (Birlikte) Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon Prosesi

Bu proses iki farklı şekilde uygulanabilir: (1) yüksek geri devir oranlarının sağlandığı oksidasyon havuzlarında aerobik ve anoksik bölgeler oluşturulması ve/veya (2) bir hacimde çözülmüş oksijen konsantrasyonunun hem nitrifikasyon hem de denitrifikasyona yetecek seviyede kontrol edilmesi ile gerçekleştirilir (Insel, 2007).

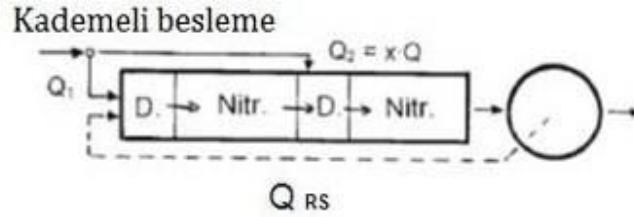
Oksidasyon havuzlarında aerobik bölgede üretilen nitrat anoksik bölgede denitrifiye edilebilmektedir. Bu proses yüksek oranda içsel geri devre sahip ön denitrifikasyon prosesi olarak nitelendirilebilir. Ancak, ön denitrifikasyona göre daha fazla organik maddeye ihtiyaç duymaktadır. Havuz içinde havalandırma ve oksijen dağılımının istenilen şekilde sağlanabilmesi için, gerektiğinde redoks potansiyeli, amonyum ve nitratın da ölçülerek proses veriminin kontrolü mümkündür. Yüksek içsel geri devir oranlarında bu havuzlar tam karışimli (hidrolik olarak) rejime yaklaşmaktadır. Çözülmüş oksijen hariç, tüm bileşenlerin konsantrasyonlarının havuz boyunca aynı olduğu kabul edilebilir. Bu sistemin akım diyagramı Şekil 6.3’de verilmektedir.



Şekil 6.3. Birlikte nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesi (oksidasyon havuzu)

Kademeli Besleme Sistemi

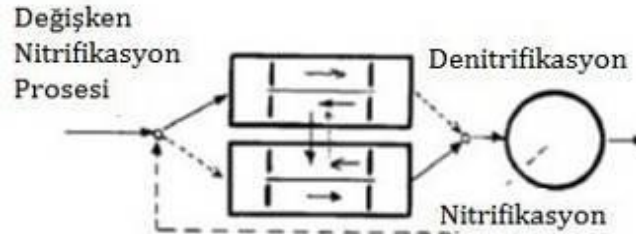
Bu sistem, birden fazla anoksik ve aerobik reaktörün birbiri ardınca sıralanmasını esas almaktadır. Organik karbon dağılımını sağlamak için anoksik koşullardaki denitrifikasyon hacimlerine atıksu beslemesi yapılmaktadır. Nitrat geri devri aerobik havuzdan anoksik havuza akışın sağlanması ile karşılanmaktadır. Tasarımda debinin dağıtım oranları ve denitrifikasyon hacimleri giriş atıksu karakterine göre seçilmektedir. Konfigürasyonda çamur geri devrinin yapıldığı havuzda aktif çamur konsantrasyonu daha yüksek olup reaktör boyunca seyrelmektedir. Bu sistemin akım diyagramı Şekil 6.4'de verilmektedir.



Şekil 6.4. Kademeli besleme sistemi

Değişken Denitrifikasyon Prosesi (BioDenitro)

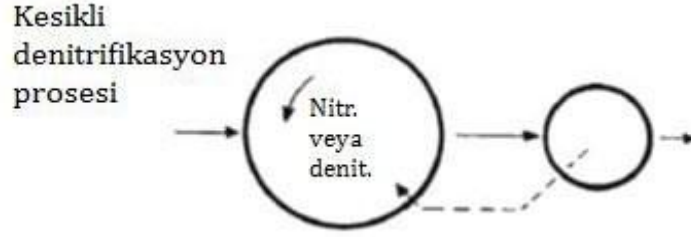
Bu sistemde, seri bağlı çalıştırılan tam karışimli aktif çamur prosesi dönüşümlü olarak beslenmekte ve dönüşümlü olarak anoksik ve aerobik çalıştırılmaktadır. Ham atıksu anoksik çalıştırılan reaktöre beslenmektedir. Denitrifikasyon ve nitrifikasyon prosesleri zaman ayarlı olarak kontrol edilmektedir. Ayrıca, redoks, nitrat ve amonyum konsantrasyonları ölçülerek değişim süresi ayarlanabilir. Bu sistemin akım diyagramı Şekil 6.5'de verilmektedir.



Şekil 6.5. Değişken Denitrifikasyon Prosesi

Kesikli Denitrifikasyon Prosesi

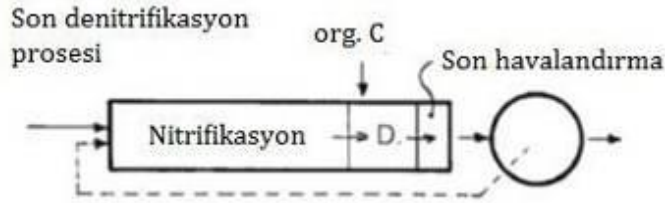
Tek bir aktif çamur havuzu içinde zamana bağlı olarak havalandırmanın açılıp kapatılması (kesikli havalandırma) ile nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri gerçekleştirilerek azot giderimi sağlanmaktadır. Sistemde çözülmüş oksijene ek olarak redoks, nitrat ve amonyum seviyeleri ölçülerek çevrim sürelerinin optimizasyonu yapılabilmektedir. Kesikli denitrifikasyonda 2 proses parametresi dikkate alınmaktadır: (1) Çevrim Süresi: anoksik ve aerobik sürenin toplam süresi ve (2) Anoksik Süre Oranı: anoksik sürenin toplam çevrim süresine oranı (Hanhan ve diğ. 2011). Aerobik sürenin sonunda elde edilecek oksijen seviyesinin anoksik zamana taşması denitrifikasyon verimini azaltacaktır. Dolayısı ile etkin bir çözülmüş oksijen kontrolünün yapılması gerekmektedir. Bu sistemin akım diyagramı Şekil 6.6'da verilmektedir.



Şekil 6.6. Kesikli denitrifikasyon prosesi

Son Denitrifikasyon Prosesi

Karbonlu organik maddenin yetersiz olduğu durumlarda anoksik havuza metanol gibi harici/ek organik karbon kaynağı eklenmektedir. Gerekli ek organik karbon kaynağı, giderilmesi istenen nitrat miktarına göre dışarıdan eklenmektedir. Denitrifikasyon prosesinde ortaya çıkan azot gazı havalandırma ile sıyrılarak son çöktim havuzunda aktif çamur çöktelmektedir. Bu sistemin akım diyagramı Şekil 6.7’de verilmektedir.



Şekil 6.7. Son denitrifikasyon prosesi

Ardışık Kesikli Reaktörler

Ardışık Kesikli Reaktörlerde (AKR) biyolojik azot giderimi kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Atıksu beslemesi ve havalandırma periyodunun ayarlanması ile proses esnekliği sağlanabilir. Ardışık kesikli reaktörlerin besleme düzeni ve sayısına göre dengeleme havuzu yapılmasına gerek duyulmaz (DWA-M 210, 2009).

AKR sistemleri, ön denitrifikasyon, kademeli besleme, birlikte nitrifikasyon ve denitrifikasyon tipi aktif çamur sistemlerine benzer şekilde çalıştırılabilmektedir. Uygun enstrümantasyon ve proses kontrolü ile (çözünmüş oksijen, ORP, nitrat, amonyum vb.) hedeflenen deşarj kalitesi elde edilebilmektedir. Aşağıdaki şekilde bir çevrim süresi içindeki doldurma, karıştırma, havalandırma, çöktim, boşaltma fazlarına bağlı olarak uygulanabilen işlemler biyolojik azot giderimi prosesi için iki örnek Tablo 6.2 ve Tablo 6.3’de gösterilmektedir.

Tablo 6.2. AKR sistemleri için çevrim örneği-1 (DWA-M 210, 2009)

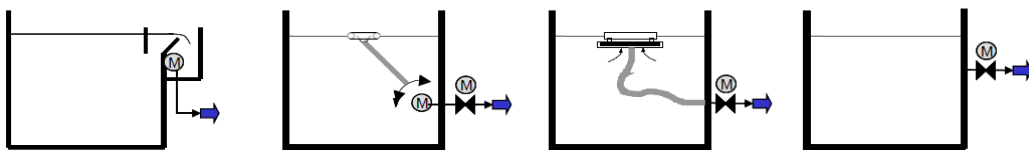
İŞLEM				
Doldurma				
Karıştırma				
Havalandırma				
Çöktim				
Boşaltma				

Tablo 6.3. AKR sistemleri için çevrim örneği-2 (DWA-M 210, 2009)

İŞLEM	
Doldurma	
Karıştırma	
Havalandırma	
Çökeltim	
Boşaltma	

Doldur-boşalt esasına göre çalıştırılan aktif çamur sistemleri Ardışık Kesikli Reaktör (AKR) olarak adlandırılmaktadır (Ten States Standards, 2004).

- Ardışık Kesikli Reaktörler Doldurma, Havalandırma, Çökeltim, Boşaltma fazlarını içermelidir. Gerek görüldüğü takdirde bu fazların sonuna ayrıca bekleme fazı eklenebilir.
- Bir AKR'de son çökeltim işlemi, reaktör içinde gerçekleştirilir ve çamur geri devir sistemine ihtiyaç yoktur.
- Tüm atıksuyun by-pass edilmeden arıtılabilmesine imkân tanınır.
- AKR sistemi dengeleme havuzlu veya dengeleme havuzu olmadan inşa edilebilir.
- "Havalandırma" ve "Çökeltim" fazları "Reaksiyon" fazı olarak dikkate alınmalı, diğer fazlarda reaksiyon olmayacağı kabul edilmelidir.
- Her durumda en az 2 paralel reaktör olacak şekilde planlanmalıdır. Büyük kapasiteli sistemlerde reaktör sayısı artırılabilir. Reaktörlerden biri devre dışı kaldığı durumda paralel reaktör(ler) giren tüm atıksuyu arıtılabilmelidir.
- Faz süreleri, havalandırma, karıştırma ve atıksu dozlama sistemi kontrol sisteminde birbirinden bağımsız programlanabilmelidir.
- Planlanan tasarım ve işletme ile istenilen deşarj standartları sağlanabilmeli, işletmeden dolayı karşılaşılabilecek kalite değişimleri minimize edilmelidir.
- Hacim saatlik ve mevsimlik debi değişimlerine cevap verecek şekilde seçilmelidir.
- Reaktördeki AKM ve UAKM konsantrasyonları minimum ve maksimum su seviyelerinde hesaplanmalıdır.
- Fazla çamur aerobik faz sonundan ya da boşaltma fazı sonundan çekilmelidir.
- Deşarj kriterlerini sağlamak üzere AKR sistemlerinde doldurma-karıştırma, sürekli besleme, kesikli havalandırmalı, kademeli beslemeli vb. sistemler seçilebilir. Ancak bu sistemlerin istenilen deşarj kriterlerini sağlayacağı kanıtlanmalıdır. Seçilen otomasyonun, giriş atıksu debisinin değiştiği koşullarda tüm sistemi sorunsuz çalıştırabilir halde tutması gerekir.
- Boşaltım Şekil 6.8'de verilen alternatiflere göre gerçekleştirilmelidir. Özellikle su seviyesine yakın dekantör uygulaması tercih edilmelidir. Boşaltım işlemi çökeltim fazı başladıktan en az 15 dakika sonra başlatılabilir.



Şekil 6.8. AKR sistemlerinde boşaltım alternatifleri (DWA-M 210, 2009)

- Karıştırma sistemi çalıştırılmaya başladıktan 5 dakika içinde tüm reaktör hacmi askıda tutulabilmelidir.

- Havalandırıcı kapasitesi hesabı, reaksiyonun sadece havalandırma fazında gerçekleşeceği dikkate alınarak düzeltilmelidir.
- Deşarj kriterlerinde mevcut ise, biyolojik fosfor gideriminin sağlanmadığı durumlar için kimyasal fosfor dozlama sistemi yedekte bulundurulmalıdır. Biyolojik fosfor giderimine imkân tanımak için öngörülen anaerobik ortama nitrat ve oksijenin girişi minimize edilecek şekilde bir işletme düzeni seçilmelidir.
- Biyolojik Azot ve Fosfor giderimine göre planlanan AKR sistemlerinde en azından ORP, pH ve çözünmüş oksijenin yerinde (anlık) ölçülmesi gerekir.
- Havalandırma fazında oksijen seviyesi istenildiği şekilde ayarlanabilmelidir. Reaksiyon fazında çökeltimi engelleyici önlemler alınmalıdır.
- Havalandırma sistemi difüzörlerin tıkanmasını minimize edecek şekilde planlanmalıdır.
- Biyolojik azot (ve fosfor) giderimi için tasarlanan Ardışık Kesikli Reaktörlerde Havalandırma kontrolünün anlık çözünmüş oksijen ölçümü ile sağlanması gerekir. Ayrıca ORP ölçümlerinin de anlık olarak izlenmesi gerekir.

6.1.3.2. Aşırı Biyolojik Fosfor Giderimi (A²O)

Biyolojik fosfor giderimi için biyolojik azot giderimi prosesinden önce anaerobik selektör havuzu (Bio-P) tasarlanmalıdır. Anaerobik selektör havuzuna nitrat ve oksijen geri devrinin minimum seviyede tutulması gerekir. Anaerobik havuz özellikle nitrat yükünün azaltılması için kademeli inşa edilmelidir (2 veya 3 seri bağlı reaktör). Biyolojik fosfor gideriminin yetersiz olduğu koşullarda, ayrıca kimyasal madde dozlaması yapılmalıdır. Kimyasal madde dozlaması havalandırma havuzu ile son çökeltim havuzu arasına yapılarak otomatik olarak kontrol edilmelidir. Aşırı biyolojik fosfor giderimi için gerekli minimum çamur yaşı 2-3 gün olmalıdır (ATV – A 131, 2000).

Ayrıca, yukarıda bahsedilen proseslerin haricinde atıksu karakterizasyonu ve çevresel koşullara göre UCT, Johannesburg, VIP, Phostrip vb. çeşitli özel/patentli prosesler de biyolojik azot ve/veya fosfor giderimi için uygulanabilmektedir (Henze v.d., 2008).

6.1.4. Aktif Çamur Sistemi Boyutlandırma Kriterleri

Aktif çamur sistemlerinin boyutlandırılmasında gözetilecek temel hususlar aşağıda belirtilmiştir (ATV- A 131E, 2000).

- Mevcutsa tasarıma esas oluşturacak atıksuyun yaz ve kış mevsimleri için 24 saatlik kompozit numune karakterizasyonu yapılmalıdır.
- Tasarımda atıksu sıcaklığının en düşük olduğu 15 günün ortalaması dikkate alınmalıdır.
- Tasarım ve ekipman seçiminde atıksu karakterizasyonu ile çevresel koşullardaki değişim dikkate alınmalıdır.
- Sistem seçimi tüm proses akımları dikkate alınarak gerçekleştirilmeli, tüm sistemler için geri dönüş akımlarından gelecek kirlilik yükleri de hesap edilmelidir.
- Proses seçiminde birim debi başına ve eşdeğer nüfus başına sarf edilecek enerji miktarı prosesin tümü dikkate alınarak hesap edilmelidir.

- Seçilen prosesin veriminin sürekli olması, arıtılacak atığın miktarı, tesis boyutu ve kademeleri, ilk yatırım ve işletme koşulları, bakım ile ilgili ihtiyaçlar ve uygulanacak esaslar belirlenmelidir.
- Tasarım kriterlerine bağlı olarak tesisin ortalama, minimum ve maksimum saatlik debilerdeki davranışı ortaya konmalıdır (proses ve hidrolik açısından).
- Debinin kademelendirmeye göre zamanla değişimine uyum sağlayacak planlama yapılmalıdır.
- Yağışlı havalarda tesisin hidrolik açıdan yeterli olduğu ispat edilmelidir.
- Tesise yağışlı havalarda pik debi üzerinde debi gelmesi durumunda tesisi koruyucu önlemler (çevirme yapısı) alınmalıdır.
- Borular ve mekanik ekipmanların donma sıcaklığının altında çalışmasına imkan verecek önlemler alınmalıdır.
- Gerekğinde havuz ve ekipmanların yalıtımı sağlanmalıdır.
- Kentsel arıtma tesisleri için endüstriyel katkının miktarı dikkate alınarak tasarım gerçekleştirilmelidir.
- Deşarj kriterlerinde adı geçen kirletici yüklere ait endüstriyel katkının tesis toplam yükünün %20'sinden fazla olması durumunda çıkış kalitesinin sağlanabilmesi için gerekli ek önlemler alınmalıdır.
- İlkbahar aylarında birleşik kanalizasyon sistemlerinde kar sularının proses sıcaklığına etkisi dikkate alınmalıdır.
- Atıksu arıtma tesisi enerji ihtiyacının nasıl karşılanacağı belirlenmelidir. Tesisin hizmet vereceği yerleşim için enerji açısından bir problem oluşturmaması gerekmektedir. Ayrıca enerji kesintisi olması durumunda hidrolik problem oluşturacak kritik üniteler için kesintisiz güç kaynağı planlanmalıdır.
- Konfigürasyon seçiminde atıksu, çamur ve yan akım prosesleri bir bütün olarak düşünülmelidir. Proses verimi için gerekli önlemler alınmak koşulu ile dışarıdan organik atıklar alınarak tesisin enerji verimliliğini arttıracak prosesler değerlendirilmelidir.

6.1.5. Aktif Çamur Prosesi Genel Tasarım Esasları

Aktif çamur sistemi genel tasarım esasları aşağıda ele alınmıştır.

6.1.5.1. Arıtma Tesisi Kütle Dengesi

Arıtma tesisi kütle dengesinin çıkarılmasında gözetilecek temel hususlar aşağıda belirtilmiştir (Metcalf & Eddy, 2003):

- Tesis tasarımında kullanılacak kritik parametreler için (KOİ, AKM, TP, TN vb.) kütle dengesi kurulmalıdır.
- Özellikle çamur akımlarından tesise geri dönen yüklerin etkisi proses hesaplarında dikkate alınmalıdır.
- Tesise dışarıdan alınacak atıklara (atıksu, çamur vd.) ait yükler de dikkate alınmalıdır.
- Özellikle anaerobik çamur çürütme sistemi olan arıtma tesislerinin çamur arıtma akımlarından tesise geri dönen yükler hesaplanmalıdır.
- Biyolojik azot ve fosfor giderimi yapılan arıtma sistemlerinin tasarımında bu yükler özellikle dikkate alınmalıdır.

6.1.5.2. Proses Tasarımı

- Aktif çamur sisteminin tasarımı çamur yaşına bağlı olarak yapılacaktır. Ayrıca tasarımda yükleme oranı F/M (besi maddesi/mikroorganizma) için kontrol yapılmalıdır.
- Nitrifikasyon prosesinin tasarımında sıcaklık, alkalinite, pH, havalandırma havuzundaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu dikkate alınmalıdır.
- Biyolojik azot gideriminin gerçekleştirileceği anoksik hacim (V_D/V_{AT}) oranı, hiç bir zaman % 50'yi geçmemelidir.
- Biyolojik azot giderimli ve aerobik çamur stabilizasyonlu ($Q_c > 20$ gün) aktif çamur prosesi, eşdeğer nüfusu 100.000 kişiden daha fazla olan yerleşimler için önerilmemektedir.
- Biyolojik arıtma giriş akımı ve geri dönüş akımları ile gelecek yükler de dikkate alınmaktadır.
- Aktif çamur reaktörlerinde AKM konsantrasyonu aksi belirtilmediği sürece 5000 mg/L'nin altında alınmaktadır. Bu konsantrasyonun üzerindeki değerlerde reaktör ve son çökeltim aşamasında bir problemle karşılaşılacağı verilerle kanıtlanmalıdır.
- Ön çökeltimli ve aerobik çamur stabilizasyonlu biyolojik besi maddesi giderimli aktif çamur sisteminin kullanıldığı durumlarda, ilave biyolojik fosfor giderimi için kimyasal madde ilavesi düşünülmelidir.
- Fiziksel/kimyasal ve biyolojik köpük oluşumunu minimize edecek şekilde muhtemel birikim noktalarının sayısı en aza indirilmelidir. Yüzen maddelerin ve/veya biyolojik köpüğün uzaklaştırılması ve taşınması için önlem alınmalıdır.
- Son çökeltim havuzlarının savaklarından kaçan 1 mg/L AKM'nin oluşturduğu ek kirlilik konsantrasyonları aşağıda parametreler bazında verilmiştir. Bu husus deşarj standartlarının sağlanmasında hesaplarda dikkate alınmalıdır.

$$BO_5: 0.3-1.0 \text{ mg/L} \quad (6.1)$$

$$KO_2: 0.8-1.4 \text{ mg/L} \quad (6.2)$$

$$N: 0.08-0.1 \text{ mg/L} \quad (6.3)$$

$$P: 0.02-0.04 \text{ mg/L} \quad (6.4)$$

- Daha iyi çıkış kalitesi sağlayan ileri teknolojiler (MBR vb.) gerektiğinde kullanılabilir.
- Anaerobik ve anoksik havuzlarda karıştırma enerjisi en az 5 Watt/m³ olarak alınmalıdır.

Aktif çamur sistemlerinin model destekli tasarımı için Orhon ve Artan (1994) ile Henze v.d. (2008)'e başvurulmalıdır.

6.1.5.3. Tesise Geri Dönen Akımlarda Kontrol

- Anaerobik çamur çürütme sonrası susuzlaştırmadan tesise geri dönen akımlardaki azot ve fosfor yükleri prosesi olumsuz etkilemeyecek şekilde kontrol edilmelidir.

- Biyolojik fosfor giderimli tesislerde atılan çamurun anaerobik şartlarda bekletilmeyerek susuzlaştırılması gerekir.
- Çamur susuzlaştırmanın günün belirli saatlerinde yapılması durumunda tesise geri dönen kısa zamanlı pik yüklerin etkisi dikkate alınmalıdır. Çıkış kalitesinin sürekliliğinin sağlanması açısından gerekli önlemler (dengeleme, çamur susuzlaştırmanın sürekli gerçekleştirilmesi vb.) planlanmalıdır.
- Geri dönen akımlar seçilen prosese göre birinci kademe arıtma ve/veya aktif çamur ünitesi girişine yönlendirilmelidir.
- Gerekli hallerde geri dönen azot ve fosfor yüklerini azaltabilmek için yenilikçi yan akım arıtma prosesleri (Nitritasyon-Deammonifikasyon; Amonyum-Fosfat geri kazanımı vb.) kullanılabilir.

6.1.6. Son Çökeltim Havuzları

Son çökeltim havuzları, aktif çamur yumaklarının çökmesi için yeterli yüzey alanı ve derinliği sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Ardışık kesikli reaktör ve membran biyoreaktör (MBR) tasarımında son çökeltim havuzu yapılmasına gerek yoktur (ATV-131E, 2000).

6.1.6.1. Genel Esaslar

- Tesise giriş bölgesinde, debinin düzgün ve simetrik dağılımı sağlanmalıdır.
- Çıkış yapısında suyun simetrik biçimde ve yavaş çekilmesi, yüzeyde biriken maddelerin kolaylıkla toplanması ve savaklara çamur taşınmasının engellenmesi sağlanmalıdır.
- Çamurun toplanması ve uzaklaştırılması, son çökeltim tanklarının tipine ve büyüklüğüne uygun planlanmalıdır.
- Çamur haznesi inşa edilen yerlerde, hazne kenarlarının yatayla yaptığı açı (eğim açısı) piramit yapılı hazneler için 60°den, konik yapılı hazneler için ise 50°den az olmamalıdır.
- Küçük birimler için çamur, oldukça yüksek eğimli (50°-60° gibi) ve mümkün olduğunca pürüzsüz yüzeylerde ve yer çekimi ile toplanabilmelidir.
- Biyolojik azot giderimli tesislerde çamurun son çökeltim havuzunda aşırı beklemesi engellenmelidir.
- Son çökeltim havuzları, havuz geometrisine göre merkezden veya kenardan çamur tahliyesi yapılacak şekilde tasarlanabilir.
- Atıksu arıtma kapasitesi 400 m³/gün'den daha fazla olan aktif çamur sistemleri için birden fazla son çökeltim havuzu planlanmalıdır. Havuzlardan biri devre dışı kaldığında diğer havuzlar maksimum saatlik debiyi geçirebilecek kapasitede olmalıdır.
- Birden fazla çökeltim havuzu olmayan sistemlerde sürekli arıtmayı sağlayacak önlemlerin belirtilmesi zorunludur.
- Son çökeltim havuzu iç çapının 50 m'yi geçmesi durumunda rüzgarın etkisini minimize edecek önlemler alınmalıdır.
- Kenar su derinliği askıda çoğalan sistemler için en az 3,7 m olmalıdır. Yüzeyde çoğalan sistemler için kenar su derinliği en az 3,0 m alınacaktır. Arıtma kapasitesi 100 m³/gün'den daha az (paket) arıtma sistemlerinde daha düşük kenar su derinliği tercih edilebilir.

- Son çökeltim havuzları için önerilen hidrolik ve katı madde yükleri Tablo 6.4'de özetlenmiştir. Katı madde yükünde atıksu debisi (Q) ve çamur geri devrinin (Q_{RAS}) maksimum saatlik debi süresince ulaştığı değerler dikkate alınmalıdır.
- Son çökeltim havuzu hava payı en az 0,3 m olmalıdır. Yan duvar üst kotu zemin kotundan en az 15 cm yukarıda olmalıdır.
- Çamur son çökeltim havuzundan, sıyırıcı sistemi ile toplanacak ise, çamur haznesine doğru taban eğimi 1÷15 (Düşey÷Yatay) olarak planlanmalıdır.

Tablo 6.4. Hidrolik yük ve katı madde yükü için sınır değerler (Metcalf & Eddy, 2003)

Arıtma Prosesi	Hidrolik Yük	Katı Madde Yükü
	Q/A [$m^3/m^2.gün$]	$(Q+Q_{RAS}).AKM/A$ [$kg/m^2.saat$]
Konvansiyonel AÇS		
Biyolojik Azot Fosfor (BNR)	49	10
Temas Stabilizasyon		
Uzun havalandırılmalı AÇS	41	7
2 Kademeli Nitritifikasyon	33	7
Kimyasal İlaveli AÇS	37	7

Q: Giriş Debisi; Q_{RAS} : çamur geri devir debisi; AKM: Aktif çamur konsantrasyonu

A: Son çökeltim havuzu yüzey Alanı

6.1.7. Aktif Çamur Sistemlerinin Tasarım Yöntemi

Aktif çamur prosesi tasarımında izlenmesi gereken yöntem aşağıda özetlenmiş ve akım şeması Şekil 6.9'da verilmiştir (ATV-131E, 2000).

Proje Bilgilerinin Toplanması: Tasarımda mevcut durum ve gelecekteki kademelere temel oluşturacak debiler ve kirlilik yükleri belirlenecektir.

Özellikle kapasitenin doğru belirlenmesi için atıksu debisinin ölçülmesi ve atıksu karakterizasyonunun gerçeği yansıtacak şekilde yapılması gerekir. Arıtılan suyun (deşarj ve/veya geri kazanım)deşarj standartlarının belirlenmesi gerekir. Aktif çamur sisteminin tüm ünitelerinin, çamur ve diğer arıtma prosesleri ile birlikte değerlendirilmesi gerekir.

Çevresel Faktörler: Zemin durumu, mevsimsel değişiklikler, alan durumu, hidrolik koşullar dikkate alınarak proses değerlendirmesi yapılacaktır.

Tasarımda kullanılacak atıksu miktar ve karakterizasyonu gerçek koşulları yansıtmalıdır. Özellikle debi ve atıksu karakterinin yıl içinde değiştiği bölgelerde tesisin planlanması ve teknoloji seçimi bu değişimi karşılayacak şekilde yapılmalıdır.

Atıksu Karakterizasyonu: Proses seçiminde atıksu karakterizasyonu dikkate alınmalıdır. Proses seçimine temel oluşturacak evsel/kentsel atıksular için atıksu karakterizasyonu aşağıda verilmektedir (ATV-131E, 2000).

Çözünmüş inert KOİ konsantrasyonu aşağıdaki formülle hesaplanarak arıtma çıkışında süzölmüş (çözünmüş) KOİ miktarı bulunmaktadır. Tipik evsel atıksularda çözünmüş inert KOİ (S_i), giriş KOİ değerinin $f_{si} = \%5$ 'i olarak alınmaktadır. Bu değer arıtılan atıksu karakterine uygun seçilmelidir.

$$S_I = f_{si} \cdot C_T \quad (6.5)$$

Giriş atıksuyunda inorganik olmayan sabit katılar ise aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır. Formülde B katsayısı atıksuyun özelliğine göre seçilmelidir.

$$X_F = B \cdot X_{SS} \quad (6.6)$$

Atıksuda inert partiküler organik madde konsantrasyonu:

$$X_I = A \cdot (C_T - S_T) \quad (6.7)$$

ifadesinden elde edilebilir. Atıksuda kolay (RBKOİ) ve yavaş ayrışabilen organik madde (SBKOİ) ise:

$$RBKOİ = S_T - S_I \quad (6.8)$$

$$SBKOİ = (C_T - S_T) - X_I \quad (6.9)$$

olarak hesaplanabilir.

Yukarıdaki formüllerde geçen A ve B katsayıları sırası ile 0,1-0,3 ve 0,2-0,3 aralığında alınabilir. Kanalizasyonun yapısı, yerel koşullar ve endüstriyel atıksu katkısının durumuna bağlı olarak 1, 2 ve 3 numaralı denklemlerde kullanılacak f_{si} , A ve B değerlerinin seçimine dikkat edilmelidir.

Biyolojik arıtmada giderilecek toplam ayrışabilen karbonlu organik madde miktarı:

$$BKOİ = RBKOİ + SBKOİ \quad (6.10)$$

formülü yardımıyla hesaplanabilir. Tablo 6.5'de, Türkiye için önerilen KOİ bileşenleri verilmektedir. Organik madde oranları bölgelere göre farklılık gösterebilmektedir. Proses tasarımı gerçekleştirilmeden önce KOİ bileşenlerinin deneysel olarak belirlenmesi önerilmektedir. Ayrıca, endüstriyel atıksu katkısının fazla olduğu durumlarda da tipik evsel atıksu karakterizasyonu için verilen oranlardan uzaklaşmaktadır.

Tablo 6.5. Türkiye için önerilen KOİ bileşen yüzdeleri (Orhon ve Çokgör, 1997)

KOİ BİLEŞENİ	Toplam KOİ'nin %'si
İnert Çözünmüş KOİ, S_I	3-10
İnert Partiküler KOİ, X_I	5-15
Kolay Ayrışan Organik Madde, RBKOİ	5-8
Yavaş Ayrışan Organik Madde, SBKOİ	60-85

Proses Seçimi: Proses seçiminde dikkat edilmesi gereken temel hususlar aşağıda verilmektedir:

Atıksu içinde ayrışan organik madde miktarının BOI_5 parametresi ile ifadesi yeterli değildir. Dolayısı ile organik madde gerektiren biyolojik azot ve fosfor giderimi proseslerinin veriminin belirlenmesinde BOI_5 parametresi yetersiz kalmaktadır. Kütle

dengelerinde ve proses hesaplarında organik madde miktarının tamamını yansıtan KOİ parametresinin kullanılması gerekir.

Atıksu karakterizasyonu Türkiye'ye göre farklılık göstermektedir. KOİ bazlı tasarımda, ayrışabilen organik madde miktarı yerel koşullara kolaylıkla adapte edilebilmektedir. Bunun için aktif çamur sistemi giriş KOİ bileşenlerinin saptanması veya gerçekçi şekilde kabulü gerekir.

Karakterizasyon ile ilgili herhangi bir verinin olmaması durumunda biyolojik azot ve fosfor giderimi için uygun proses seçimine yönelik KOİ bileşenlerinin belirlenmesi tavsiye edilmektedir.

İleri biyolojik fosfor giderimi (İBFG) uygulanacak durumlarda kolay ayrışan organik madde (uçucu yağ asidi, fermente olabilen organik madde) potansiyeli az olan atıksuların arıtılması için arıtma konfigürasyonunun seçiminde bu hususa dikkat edilmesi gerekmektedir (Henze v.d., 2008).

ATV-131E (2000) tasarım yönteminde aktif çamur için tasarlanan ve kolay ayrışabilen organik madde miktarı az olan atıksular için A²O prosesi yetersiz kalabilmektedir. Bu durumda ileri biyolojik fosfor giderimi prosesinin ve biyolojik azot prosesinin atıksu karakterizasyonuna göre uygun seçilmesi gerekir (Insel ve diğ., 2012).

Toplam azot giderimi gerektiğinde nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesi uygulanmalıdır. İleri biyolojik fosfor giderimi için anaerobik selektör daha önce belirtildiği şekilde planlanmalıdır.

Kütle Dengesi: Proses tasarımı için kütle dengesi yapılmalıdır (AKM, KOİ, toplam azot ve toplam fosfor). Azot giderimi için tasarlanan tüm tesislerde azot dengesi kurulmalıdır. Ortalama atıksu karakterizasyonuna göre tasarlanan aktif çamur sistemlerinde giriş atıksu karakterizasyon salınımının (günlük, mevsimsel vb.) verime etkisi irdelenmeli ve bunun için gerekli önlemler alınmalıdır. Bu değişimin tesisteki tüm atıksu ve çamur arıtma ünitelerinde de dikkate alınması gerekmektedir (Metcalf & Eddy, 2003).

Tasarımda kullanılacak tüm parametreler için kütle dengesi kurulmalıdır. Çamur prosesinden geri dönüş akımları, dışarıdan atık alınması durumları vb. gibi yükler de dikkate alınmalıdır.

Biyolojik arıtma öncesinde uygulanması öngörülen (ön çökeltim, kimyasal çöktürme vb.) arıtma yöntemlerinin biyolojik arıtma verimini etkilemeyecek şekilde planlanması gerekmektedir. Bu hususlar kütle dengesi ile birlikte değerlendirilmelidir.

Emniyet Faktörü (SF): Giriş yükünün günlük değişimi dikkate alarak emniyet faktörü seçilmelidir. Emniyet faktörü nitrifikasyon prosesi için aerobik çamur yaşının hesaplanmasında kullanılmalıdır. Emniyet faktörü aerobik çamur stabilizasyonu sistemlerinde kullanılmaz.

Emniyet faktörü hesaplarında öncelikle ölçüm değerleri dikkate alınmalıdır. Ölçüm değerlerinin mevcut olmaması durumunda ise ATV-131E (2000) standardına göre B_{d,BOI} yükü 1.200 kg/gün'e (20.000 EN) kadar olan tesislerde SF=1,8 alınması; B_{d,BOI} yükünün

6.000 kg/gün (100.000 EN)'den fazla olan durumlar için ise SF=1,45 alınması tavsiye edilmektedir.

Aerobik Çamur Yaşının Belirlenmesi: Nitrifikasyon prosesi için sıcaklığa ve emniyet faktörüne bağlı olarak aerobik çamur yaşı belirlenmelidir.

Aktif çamur prosesi tasarımında öncelikle minimum proses sıcaklığının (T_{min}) seçilmesi gerekir. Buna göre nitrifikasyon için gerekli aerobik çamur yaşı:

$$t_{ss,aer} = SF \cdot 3.4 \cdot 1.103^{(15-T_{min})} \quad (6.11)$$

şeklinde hesaplanabilir (ATV-131E, 2000).

Endüstriyel katılımin fazla olduğu kentsel atıksularda nitrifikasyon hızının ayrıca belirlenmesi önerilmektedir.

Denitrifikasyon Hacmi Oranı (V_D/V_{AT}) ve Toplam Çamur Yaşı: Hedeflenen azot giderim verimini sağlayacak anoksik hacim oranının (V_D/V_{AT}) seçilmesi gerekir. Toplam çamur yaşı, denitrifikasyon hacmi oranı dikkate alınarak hesaplanacaktır. Aerobik çamur stabilizasyonu ile birlikte planlanan biyolojik azot gideriminde anoksik hacim oranı giriş atıksu özellikleri ve sıcaklığa göre belirlenmelidir (ATV-131E, 2000).

Anoksik hacim oranı (V_D/V_{AT}), denitrifiye edilecek azot miktarına bağlı seçilmektedir. Dolayısı ile denitrifiye edilecek azot miktarı ($S_{NO3,D}$), aktif çamur üzerindeki azot kütle dengesinden yola çıkılarak hesaplanabilir:

$$S_{NO3,D} = C_N - S_{Org,EST} - S_{NO3,EST} - S_{NH4,EST} - X_{OrgN,BM} \quad (6.12)$$

Formülde $X_{OrgN,BM}$ biyokütlenin çoğalmada kullandığı azot nutrient ihtiyacı olarak dikkate alınmakta olup havalandırma havuzu giriş atıksu BOİ'sinin ortalama %3-2.5'a aralığındadır. Yukarıda (6.12) no'lu denklemde istenilen çıkış (deşarj) standardına göre çıkıştaki nitrat konsantrasyonu kabulü yapılmaktadır. Çıkışta inert organik azot, $S_{Org,EST}$ konsantrasyonu 1-2 mg N/L seviyesinde, amonyum azotu ise 0-1 mg N/L mertebesinde kabul edilmektedir.

Anoksik hacim oranı (V_D/V_{AT}) aşağıdaki formülden hesaplanabilir. Bu oranın $0.2 < V_D/V_{AT} < 0.5$ aralığının dışında seçilmesi önerilmemektedir. Denitrifikasyon kapasitesi 12 °C üzerinde her derece artışı için %1 oranında arttırılmalıdır.

$$\frac{2,9 \cdot Q_d \cdot S_{NO3,D}}{1000} = V_D \frac{0,75 \cdot OU_{d,c}}{V_{AT}} \quad (6.13)$$

Sistemin toplam çamur yaşı ise (6.14) no'lu denklemde elde edilmektedir. Hesaplanan toplam çamur yaşı (6.18) no'lu denklemde tekrar kullanılarak (6.13) işlemlerine iterasyon uygulanmalıdır.

$$t_{SS,dim} = \frac{t_{SS,aer}}{1 - \frac{V_D}{V_{AT}}} \quad (6.14)$$

Not: Hesaplanan anoksik hacim, denitrifikasyon için gerekli olan toplam hacmi yansıtmaktadır. Bardenpho, kademeli besleme vb. birden fazla anoksik hacme sahip aktif çamur sistemleri için anoksik hacim bölümlendirilerek (parçalanarak) kullanılabilir.

Çamur Hacim İndeksi (SVI) Seçimi: Çamur hacim indisi proses ve atıksu bileşimine ve reaktör karışım özelliklerine uygun olarak seçilecektir.

Çamur hacim indeksi doğru tahmini boyutlandırma için önemlidir. Biyolojik proses modifikasyonu olmaksızın sadece ikincil çökeltim tankının büyütülmesi gerektiğinde, boyutlandırmaya esas çamur hacim indisi için kritik mevsimlerdeki işletme kayıtları esas alınmalı veya zamanın en az %85 inde gözlenen değer kullanılmalıdır. SVI deneyinde yarım saat bekleme süresinden sonra çamur hacmi 250 mL/L'yi geçerse çamur sıvısı, tesis çıkış suyuyla seyreltilerek deney sonunda 100 ve 250 mL/L arasında bir çamur hacmi sağlanmalıdır. Seyreltme oranları hesaba katılarak seyrelmiş çamur hacmi (SÇH) elde edilir. Elde mevcut tesislerde üretilmiş veri olmaması durumunda, kritik işletme şartları hesaba katılarak yapılacak boyutlandırmada Tablo 6.6'daki değerlerin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Tablo 6.6. Çamur hacim indeksi için önerilen değerler (ATV-131E, 2000)

Proses	SVI (mL/g)	
	Uygun	Uygun olmayan
Nitrifikasyonsuz	100-150	120-180
Nitrifikasyonlu	100-150	120-180
Çamur	75-120	100-150

Yoğunlaştırma Süresi (t_{Th}): Son havuzu yoğunlaştırma süresi seçilen prosese, son çökeltim havuzu tabanındaki aktif çamur konsantrasyonu ve SVI parametresine göre seçilmelidir.

İkincil çökeltim tanklarının boyutlandırılmasında yoğunlaşma süresi t_{Th} 'ın özel bir önemi olmasından dolayı bu konuda, atıksu arıtmanın derecesine bağlı olarak, Tablo 6.7'deki değerlerin alınabileceği önerilmektedir (ATV-131E, 2000).

Tablo 6.7. Atıksu arıtma derecesine bağlı olarak tavsiye edilen yoğunlaştırma süreleri

Atıksu Arıtma Tipi	Yoğunlaştırma süresi t_{Th} (saat)
Nitrifikasyonsuz aktif çamur	1,5 – 2,0
Nitrifikasyonlu aktif çamur	1,0 – 1,5
Denitrifikasyonlu aktif çamur	2,0 – (2,5)

Geri Devir Akımı Çamur Konsantrasyonu (SSRS) ve Çamur Geri Devir Oranı (SSAT): Çamur geri devri ve sistemdeki aktif çamur konsantrasyonu seçimi, havalandırma havuzu ve son çökeltim havuzlarının boyutlarını etkilemektedir. Havalandırma havuzu AKM konsantrasyonunun artırılması reaktör hacmini azaltacak, ancak son çökeltim havuzu yüzey alanı ve derinliğini artıracaktır.

Dip (taban) çamurunda ulaşılması gereken AKM konsantrasyonu (SS_{BS}), çamur hacim indeksi (SVI) ve yoğunlaştırma süresine (t_{TH}) bağlı olarak aşağıdaki ifadeyle hesaplanabilir.

$$SS_{BS} = \frac{1000}{\dot{C}HI} * \sqrt[3]{t_{TH}} \quad (6.15)$$

Son çökeltim havuzlarında istenilen düzeyde bir çamur yoğunlaşmasını destekleyecek sıyrıcı palet geometrisi ve dönüş hızları için Tablo 6.8'deki değerler önerilmektedir.

Tablo 6.8. Çamur sıyrıcıları dönüş hızları (ATV-131E, 2000)

	Kısaltma	Birim	Dairesel	Dikdörtgen tanklar	
			Çamur	Çamur	Flight tip
Sıyrıcı palet	h_{SR}	m	0,4-0,6	0,4-0,9	0,15-0,30
Köprü Dönüş Hızı	V_{SR}	m/saat	72-144	Maks. 108	36-108

Son Çökeltim Havuzu Yüzey Alanı (A_{ST}): Yüzey alanı, öngörülen yüzey yükü (q_A) ve çamur (katı madde) yüküne (q_{SV}) göre belirlenecektir. Aktif çamur konsantrasyonu seçilip aktif çamur reaktörü ile birlikte son çökeltim havuzu da boyutlandırılacaktır. Son çökeltim havuzu boyutlandırılmasında yüzey yükü q_A , çamur yükü q_{SV} ve seyrelmiş çamur hacmi (DSV) kullanılarak hesaplanabilmektedir (ATV-131E, 2000):

$$q_A = \frac{q_{SV}}{DSV} = \frac{q_{SV}}{SS_{EAT} \cdot \dot{C}HI} \quad [\text{m/saat}] \quad (6.16)$$

Gerekli ikincil çökeltim tanklarının toplam yüzey alanı aşağıdaki gibi bulunur:

$$A_{ST} = \frac{Q_{WW,h}}{q_A} \quad [\text{m}^2] \quad (6.17)$$

Genellikle sadece yatay akışlı ikincil çökeltim tanklarında girişteki debi dağıtım yapısı için ilave alan gerekmektedir. Dağıtım yapısı uzunluğu yaklaşık olarak tankın yan duvarının derinliğine eşittir.

ATV-131E (2000)'e göre son çökeltim havuzlarının toplam derinliği 4 fonksiyonel bölgeden oluşmaktadır. Dairesel havuzun merkezinden 2/3 yarıçap ($2/3 \cdot R$) uzaklığındaki kesitteki su yüksekliği $h_{SU}=h_1+h_2+h_3+h_4$ olarak tanımlanır. Burada;

h_1 : temiz su bölgesi

h_2 : ayırma bölgesi/ geri devir bölgesi

h_3 : yoğun çamur akış ve depolama bölgesi

h_4 : yoğunlaştırma ve çamur ayırma bölgesi

olarak adlandırılmaktadır.

Fazla Aktif Çamur Üretimi (SP_d): Fosfor giderimi ve dış karbon dozlaması yapılması durumlarında oluşacak ek çamur miktarı da dikkate alınarak havalandırma havuzunda

tutulan çamur (MSS,AT) ve havuz sisteminin hacminin hesabında işlemlere dahil edilecektir.

Arıtılan atıksu debisi başına biyolojik arıtmada oluşan aktif biyokütle miktarı:

$$X_{KOl, BM} = \frac{Y_{H, Obs}}{(1 + b \cdot Ft \cdot t_{SS}) (RBKOİ + SBKOİ)} \quad (6.18)$$

formülü ile hesaplanabilir. Burada:

$Y_{H, OBS}$: Dönüşüm oranı (0,67 g hücre KOİ/g KOİ)
 b : İçsel solunum hızı (0,17 gün⁻¹)
 Ft : Sıcaklık düzeltme faktörü (1,072T-15)
 $t_{SS, dim}$: toplam çamur yaşı (gün)

İçsel solunum sonucu oluşan inert partiküler ürünler, X_P ise aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilebilir:

$$X_P = 0,2 \cdot b \cdot Ft \cdot t_{SS, dim} \quad (6.19)$$

Oluşan biyolojik çamur ise;

$$X_{WAS, KOI} = X_{KOI, BM} + X_I + X_P \quad (6.20)$$

formülünden hesaplanmaktadır.

Günlük toplam çamur miktarı ise;

$$SP_d = Q_d \left(\frac{X_{WAS, KOI}}{0,8 \cdot 1,45} + X_F \right) \quad (6.21)$$

formülünden hesaplanabilir. Fosfor giderimi için tasarlanan tesislerde kimyasal ve biyolojik fosfor gideriminden kaynaklanan fazla çamur ayrıca hesaba katılmalıdır.

Ek biyolojik fosfor giderimi için biyolojik olarak giderilen fosforun gramı başına 3 gr AKM hesaba katılabilir. Eşzamanlı (birlikte) çöktürmeden ileri gelen katı madde, kullanılan kimyasal madde türü ve dozuna bağlıdır. 1 kg demir başına 2,5 kg ve 1 kg alüminyum başına 4 kg çamur oluşumu (katı madde) esas alınabilir. Fosfor gideriminden oluşan çamur miktarı;

$$SP_{d, P} = Q_d \cdot (3 \cdot X_{p, BioP} + 6,8 \cdot X_{P, Prec, Fe} + 5,3 \cdot X_{P, Prec, Al}) / 1000 \quad (6.22)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

Çöktürme için kireç kullanılacaksa kg kalsiyum hidroksit (Ca(OH₂)) başına 1,35 kg AKM çamur oluşur.

Havalandırma havuzunda uygun AKM konsantrasyonu seçilerek nitrifikasyon/denitrifikasyon havuzu için gerekli toplam hacim aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$V_{AT} = \frac{P_{XT} \cdot t_{SSdim}}{SS_{EAT}} \quad (6.23)$$

Nitrat Geri Devri (İçsel Geri Devir): Denitrifikasyon prosesi için aerobik havuzdan anoksik havuza geri devretmesi gereken nitrat debisi hesaplanacaktır. Ayrıca kesikli denitrifikasyon şeklinde havalandırılan aktif çamurda çevrim süresine karar verilecektir (Çevrim süresi: aktif çamur havuzuna uygulanan aerobik ve anoksik süre toplamına eşittir; Bir çevrimin hidrolik bekletme süresi içerisinde tekrarlanma sıklığı nitrat geri devri ile doğru orantılıdır). Nitrat geri devrinde havalandırma havuzundan anoksik havuza girecek oksijenin minimize edilmesi gerekir.

Aerobik şartlarda üretilen nitratın, anoksik ortama taşınması için içsel geri devir gerekmektedir. İçsel geri devir oranı (RC) denitrifikasyon verimine (η_D) göre aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

Önde nitrifikasyon prosesi seçilmesi durumunda;

$$\eta_D = 1 - \frac{1}{1 + RC} \quad (6.24)$$

Kademeli besleme sisteminde;

$$\eta_D = 1 - \frac{x}{1 + RS} \quad (6.25)$$

Formüldeki 'x' değeri son reaktöre beslenen atıksu debisi oranını göstermektedir.

Eşzamanlı (birlikte) nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesi için:

$$t_T = t_R \cdot \frac{S_{NO3,EST}}{C_N} \quad (6.26)$$

ile hesaplanabilir. Formülde kullanılan t_R hidrolik bekletme süresidir. Çevrim süresi nitrifikasyon ve denitrifikasyon için geçen toplam süredir ($t_T = T_N + T_D$). Çevrim süresinin $t_T = 2$ saatten az olmaması gerekir.

Anaerobik Selektör (Bio-P) Havuzu: Aşırı biyolojik fosfor giderimi prosesi için anaerobik selektör tankı anoksik hacimden önce yerleştirilecektir. Anaerobik havuza çamur geri devri veya içsel geri devir sırasında nitrat yükünün minimum seviyede olmasına özen gösterilmelidir.

Oksijen İhtiyacı: Havalandırma havuzunun oksijen ihtiyacı belirlenerek uygun donanım ve oksijen kontrol sistemi seçilmelidir. Aktif çamur sisteminin oksijen ihtiyacı aşağıdaki ifadeler kullanılarak hesaplanmaktadır. Nitrifikasyon için gerekli günlük oksijen ihtiyacı;

$$OU_{N,d} = Q_d \cdot 4,3 \cdot (S_{NO3,EST} + S_{NO3,D})/1000 \quad [\text{kg/gün}] \quad (6.27)$$

Denitrifikasyon prosesinden kazanılan oksijen miktarı;

$$OU_{dN,d} = Q_d \cdot 2,9 \cdot S_{NO3,D}/1000 \quad (6.28)$$

Organik karbon giderimi için gerekli oksijen ihtiyacı;

$$OU_{C,d} = Q_d \cdot [\text{COD}_{in} - (S_I + X_{WAS-KOI})] / 1000 \quad (6.29)$$

Saatlik maksimum oksijen ihtiyacı (2.77), (2.78) ve (2.79) no'lu denklemler kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$OU_h = [f_C \cdot (OU_{C,d} - OU_{dN,d}) + f_N \cdot OU_{N,d}] \div 24 \quad (6.30)$$

Alkalinite Kontrolü: Aktif çamur sisteminde ammonifikasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon, fosfor giderimi için kimyasal dozlama, oksijen tüketimi ve difüzör derinliği dikkate alınarak alkalinite kontrol edilmelidir. Alkalinitenin yetersiz olduğu durumlar için gerekli önlemler alınmalıdır (denitrifikasyon oranının arttırılması veya dışsal alkalinite ilavesi vb.)

Nitrifikasyon ve fosfor çöktürmesi alkalinite tüketmekte, denitrifikasyon ise alkalinite kazancı sağlamaktadır. Buna göre reaktör içindeki alkalinite aşağıdaki formülle hesaplanabilir (ATV-131E, 2000).

$$S_{ALK, EAT} = S_{ALK, IAT} - [0,07 \cdot (S_{NH4,IAT} - S_{NH4,EST} + S_{NO3,EST} - S_{NO3,IAT}) + 0,06 \cdot S_{Fe3} + 0,04 \cdot S_{Fe2} + 0,11 \cdot S_{AL3} - 0,03 \cdot X_{P,Prec}] \quad (6.31)$$

[mmol/L]

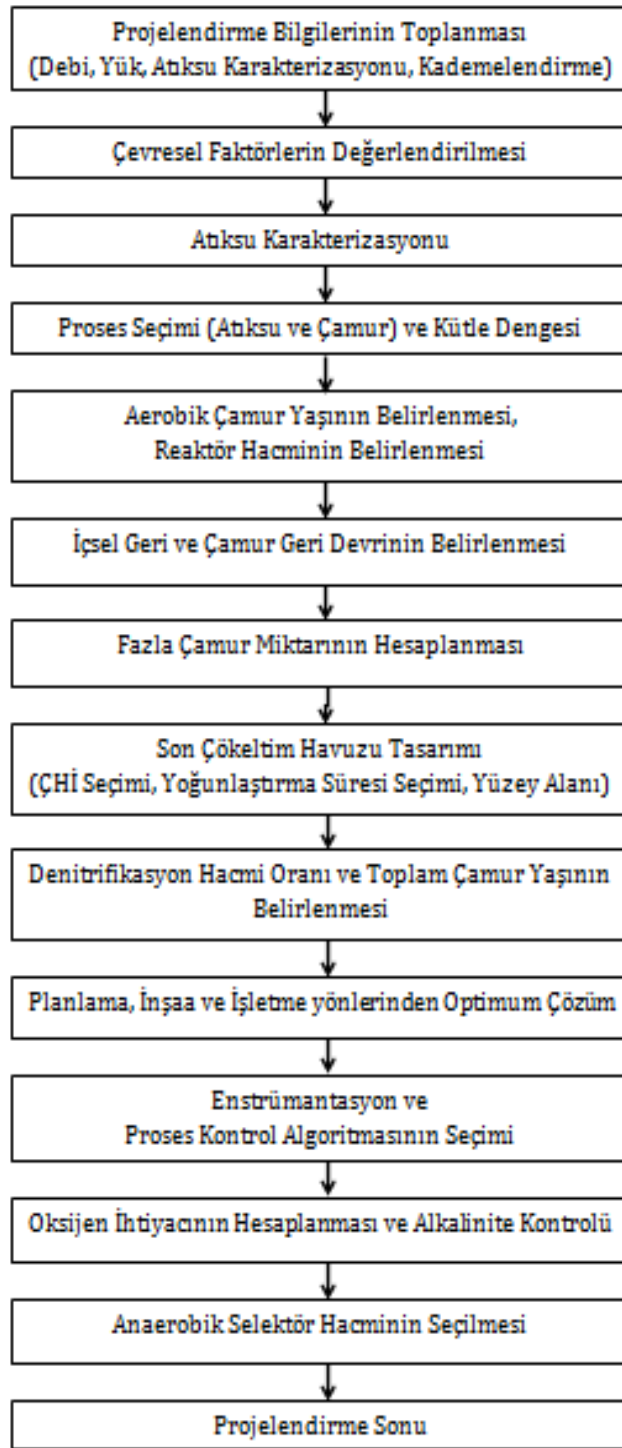
Alkalinite, $S_{ALK, EAT} = 1,5$ mmol/L değerinin altına düşmemelidir, aksi halde alkalinite ilavesi yapılmalıdır.

Selektörler: Çamurun çökeltme özelliğini arttırmak için gerektiğinde anaerobik/anoksik/aerobik selektör tasarlanabilir. Tasarım parametreleri, daha önce yapılmış model çalışmaları ve/veya deneyimler dikkate alınarak belirlenebilir. Mevcut tesiste yürütülen deneysel çalışmalardan da gerekli veriler elde edilebilmektedir.

Enstrümantasyon ve Proses Kontrolü: Kullanılacak ölçüm enstrümanlarının ve kontrol yönteminin seçilen proses ile uyumlu olması, değişken koşullar altında proses veriminin sürdürülebilirliğini sağlaması gerekir. Aktif çamur sistemi proses kontrolünün kısa süreli değişimlere uyumlu şekilde gerçekleştirilmesi ve gerekli enstrümantasyonun da buna göre belirlenmesi gerekmektedir (ATV-265E, 2000; DWA-M269E, 2008; MOP, 2007).

Proses konfigürasyonlarının değişken giriş ve çevresel koşullardaki veriminin belirlenmesi ve uygun proses kontrol alternatiflerinin değerlendirilebilmesi için simülasyon modelleri kullanılabilir. Simülasyon modelleri KOİ bileşenleri üzerinden gerçekleştirilmektedir. Dolayısı ile ilk tasarımın KOİ bileşenleri ile yapılması, proses

veriminin simülasyon modelleri ile kontrolünde kolaylık sağlamaktadır (Henze vd., 2008).



Şekil 6.9. Aktif çamur sistemi tasarım akış şeması (ATV-131E, 2000)

6.1.8. Biyolojik Proses (Organik Karbon, Azot Giderimi) Hesabi Adımları (ATV-A131E KOİ Bazlı Yönteme Göre)

Biyolojik proses hesabında azot-fosfor giderimi gerçekleştirecek bir A²O prosesinin tasarımı için ATV-A 131E yöntemi kullanılarak bir tasarım kılavuzu oluşturulmuştur. İlk olarak Tablo 6.9'da, bu yöntem için kullanılan sembol listesi ve birimleri verilmiştir.

Tablo 6.9. ATV-DVWK-A 131E yönteminde kullanılan sembol listesi

Sembol	Açıklama	Birim
$S_{NO_3, D}$	Günlük denitrifiye edilecek ortalama nitrat konsantrasyonu	mg/L
$C_{N, IAT}$	Giriş TKN konsantrasyonu	mg/L
$S_{orgN, EST}$	Çıkış organik azot konsantrasyonu	mg/L
$S_{NH_4, EST}$	Çıkış amonyum konsantrasyonu	mg/L
$S_{NO_3, EST}$	Çıkış nitrat konsantrasyonu	mg/L
$X_{orgN, BM}$	Hücre içine alınan azot konsantrasyonu	mg/L
$C_{COD, IAT}$	Aritma tesisi girişinde toplam KOİ konsantrasyonu	mg/L
$C_{BOI, IAT}$	Aritma tesisi girişinde BOİ konsantrasyonu	mg/L
V_D	Anoksik bölme hacmi	m^3
V_{AT}	Toplam reaktör hacmi (Anoksik + Aerobik)	m^3
$t_{SS, dim}$	Toplam çamur yaşı	gün
SF	Güvenlik faktörü	-
$X_{P, Prec}$	Çöktürülmesi gereken fosfor konsantrasyonunu	mg/L
$C_{P, IAT}$	Giriş fosfor konsantrasyonunu	mg/L
$C_{P, EST}$	Çıkış suyunda beklenen fosfor konsantrasyonunu	mg/L
$X_{P, BM}$	Heterotrofların çoğalmak amacıyla kullandıkları fosfor konsantrasyonunu	mg/L
$X_{P, BioP}$	Biyolojik olarak giderilecek fosfor konsantrasyonunu	mg/L
$SP_{d, C}$	Karbon giderimi sonucu oluşan çamur miktarı	kg/gün
Q_d	Ortalama kuru hava debisi	$m^3/gün$
$X_{COD, SP}$	Karbon giderimi sonucu üretilen çamurun KOİ eşdeğeri	mg/L
$X_{inorgSS, IAT}$	Aritma tesisi girişinde inorganik askıda katı madde konsantrasyonu	mg/L
$X_{COD, INERT, IAT}$	İnert partiküler giriş KOİ konsantrasyonu	mg/L
$X_{COD, BM}$	Oluşan biyokütlenin KOİ eşdeğeri	mg/L
$X_{COD, INERT, BM}$	İçsel solunum sonucu oluşan inert partiküler KOİ konsantrasyonu	mg/L
$S_{COD, IAT}$	Aritma tesisi girişinde çözünmüş inert KOİ konsantrasyonu	mg/L
$X_{COD, IAT}$	Aritma tesisi girişinde partiküler inert KOİ konsantrasyonu	mg/L
$C_{COD, deg, IAT}$	Aritma tesisi girişinde biyolojik olarak ayrışabilir KOİ konsantrasyonu	mg/L
$X_{SS, IAT}$	Aritma tesisi girişinde partiküler KOİ konsantrasyonu	mg/L
t_{ss}	Toplam çamur yaşı	gün
b	15 °C'de mikroorganizmalar için ölüm katsayısı	gün
Y	Mikroorganizma dönüşüm oranı	$g\ KOİ / g\ KOİ_{biyolojik}$ ayrışabilir
F_T	Sıcaklık düzeltme faktörü	-
T	Sıcaklık	°C
B	AKM'nin inert kısmı	-
$SP_{d, P}$	Fosfor giderimi sonucu oluşan çamur miktarı	kg/gün

Tablo 6.9 ATV-DVWK-A 131E yönteminde kullanılan sembol listesi
(Tablo 6.9'un devamı)

Sembol	Açıklama	Birim
$X_{P, BioP}$	Biyolojik olarak giderilen fosfor konsantrasyonu	mg/L
$X_{P, Prec, Fe}$	Demir kullanılarak çöktürülen fosfor konsantrasyonu	mg/L
$X_{P, Prec, Al}$	Alüminyum kullanılarak çöktürülen fosfor konsantrasyonu	mg/L
SP_d	Toplam günlük çamur miktarı	kg/gün
$M_{SS, AT}$	Biyolojik reaktör içinde gerekli olan AKM kütlesi	kg
SS_{BS}	Son çöktürme havuzu dip çamurunda AKM konsantrasyonu	kg/m ³
SVI	Çamur hacim indeksi	L/kg
t_{Th}	Son çöktürme havuzunda çamur yoğunlaştırma süresi	saat
SS_{RS}	Geri devir çamurundaki AKM konsantrasyonu	kg/m ³
Q_{RS}	Geri devir çamur debisi	m ³ /gün
RC	Toplam geri devir oranı	-
$S_{NH4, N}$	Nitrifiye edilecek amonyum konsantrasyonu	mg/L
$S_{NO3, EST}$	Çıkıştaki nitrat konsantrasyonu	mg/L
IR	İçsel geri devir oranı	-
RS	Aktif çamur geri devri	-
SS_{AT}	Reaktör içi biyokütle konsantrasyonu	kg/m ³
θ_h	Hidrolik bekletme süresi	saat
Q_d	Ortalama kuru hava debisi	m ³ /gün
$OU_{d, C}$	Karbon giderimi sonucu tüketilen oksijen miktarı	kg O ₂ /gün
$SCOD, inert, EST$	Çıkış çözülmüş inert KOİ konsantrasyonu	mg/L
$OU_{d, N}$	Nitrifikasyon sonucu tüketilen oksijen miktarı	kg O ₂ /gün
$S_{NO3, D}$	Denitrifiye edilecek nitrat konsantrasyonu	mg/L
$S_{NO3, IAT}$	Giriş nitrat konsantrasyonu	mg/L
$S_{NO3, EST}$	Çıkış nitrat konsantrasyonu	mg/L
$OU_{d, D}$	Denitrifikasyon sonucu açığa çıkan oksijen miktarı	kg O ₂ /gün
OU_h	Saatlik oksijen ihtiyacı	kg O ₂ /sa
f_C	Karbon için pik faktör	-
f_N	Azot için pik faktör	-
q_A	Yüzeysel yükleme hızı	m/sa
q_{SV}	Çamur hacim yükleme hızı	m/sa
DSV	Seyreltilmiş çamur hacim indeksi	L/m ³
SS_{EAT}	Son çöktürme havuzu girişinde AKM konsantrasyonu	kg/m ³
A_{ST}	Son çöktürme havuzu alanı	m ²
Q_{wwh}	Saatlik yağışlı hava debisi	m ³ /sa
h_1	Temiz su bölgesi	m
h_2	Ayrırma bölgesi/ geri devir bölgesi	m
h_3	Yoğun akış ve çamur depolama bölgesi	m
h_4	Yoğunlaştırma ve çamur ayırma bölgesi	m
h_{tot}	Toplam havuz derinliği	m

Adım: Denitrifikasyon kapasitesinin belirlenmesi

$$S_{NO_3, D} = C_{N, IAT} - S_{orgN, EST} - S_{NH_4, EST} - S_{NO_3, EST} - X_{orgN, BM} \quad (6.32)$$

$S_{NO_3, D}$: Günlük denitrifiye edilecek ortalama nitrat konsantrasyonu (mg/L)

$C_{N, IAT}$: Giriş TKN konsantrasyonu

$S_{orgN, EST}$: Çıkış organik azot konsantrasyonu

Eğer aktif çamur sisteminin dışında atık çamura başka bir işlem yapılmıyorsa 2 mg/L seçilir.

$S_{NH_4, EST}$: Çıkış amonyum konsantrasyonu

Güvenli tarafta kalmak için kural olarak 0 mg/L seçilir.

$S_{NO_3, EST}$: Çıkış nitrat konsantrasyonu

Azot için çıkış standardının 0.6 – 0.8'i arasında seçilir.

$X_{orgN, BM}$: Hücre içine alınan azot konsantrasyonu

Giriş KOİ konsantrasyonunun 0.02 – 0.025'i arasında kabul edilir.

Gerekli denitrifikasyon kapasitesi: $S_{NO_3, D}/C_{COD, IAT}$ oranına göre bulunur.

$$S_{NO_3, D}/C_{COD, IAT} = 0,5 \cdot (S_{NO_3, D}/C_{BOI, IAT}) \quad (6.33)$$

$C_{COD, IAT}$: Arıtma tesisi girişinde toplam KOİ konsantrasyonu, mg/L

$C_{BOI, IAT}$: Arıtma tesisi girişinde BOİ konsantrasyonu, mg/L

olarak kabul edilir. Bu oran sisteme giren KOİ başına ne kadar nitratın denitrifiye edileceğini gösteren bir orandır. Buna göre Tablo 6.10'dan gerekli V_D/V_{AT} (anoksik hacim/toplam hacim) oranı seçilir.

Tablo 6.10. 10 °C -12 °C kuru hava sıcaklığı için denitrifikasyon hacim oranının belirlenmesinde kullanılacak değerler (giriş kg BOİ₅ başına denitrifiye edilecek kg nitrat azotu), (ATV-A131E)

V_D/V_{AT}	$S_{NO_3, D}/C_{BOI, IAT}$	
	Önde denitrifikasyonu yapan sistemler ve benzer prosesler	Eşzamanlı ve kesikli denitrifikasyon yapan sistemler
0.2	0.11	0.06
0.3	0.13	0.09
0.4	0.14	0.12
0.5	0.15	0.15

12 °C'den yüksek sıcaklıklar için denitrifikasyon kapasitesi 1 °C başına %1 şeklinde artırılabilir.

$V_D/V_{AT} = 0.2$ 'den küçük ve $V_D/V_{AT} = 0.5$ 'ten büyük denitrifikasyon hacimleri boyutlandırma için tavsiye edilmez.

Hesaplanan $S_{NO_3, D}/C_{BOI, IAT}$ değerine göre V_D/V_{AT} oranı tablodan seçilir.

Adım: Toplam çamur yaşının belirlenmesi

Nitrifikasyon ve denitrifikasyon için gerekli olan çamur yaşı aşağıdaki formülle belirlenir.

$$t_{SS, dim} = SF \cdot 3.4 \cdot 1.103^{(15-T)} \cdot \frac{1}{1 - (V_D / V_{AT})} \quad (6.34)$$

$t_{SS, dim}$: Toplam çamur yaşı, gün

Aerobik çamur stabilizasyonun reaktörde yapılması durumunda çamur yaşı $t_{SS, dim} \geq 25$ gün olmalıdır.

SF: Güvenlik faktörü

Güvenlik faktörü (SF) seçiminde; maksimum büyüme hızında değişimlere yol açabilecek atıksudaki substratlar, kısa dönemli sıcaklık değişimleri ve pH'daki değişimler, ortalama çıkış amonyum konsantrasyonu ve girişteki nitrojen yükündeki değişimlerin çıkış amonyak konsantrasyonu üzerine etkileri gibi faktörler dikkate alınır. Daha önceki deneyimlere dayanarak KOİ yükünün 12000 kg/gün olduğu durumlarda güvenlik faktörünün 1,45 alınması tavsiye edilir. Böylece ortalama çıkış amonyum konsantrasyonu, maksimum büyüme hızını negatif olarak etkileyen bir faktör bulunmadıkça 1,0 mg/L civarında tutulabilir. KOİ yükünün 2400 kg/gün'den küçük olması durumunda SF değeri 1.8 alınır.

Adım: Biyolojik fosfor giderimi

$$X_{P, Prec} = C_{P, IAT} - C_{P, EST} - X_{P, BM} - X_{P, BioP} \quad (6.35)$$

$X_{P, Prec}$: Çöktürülmesi gereken fosfor konsantrasyonunu, mg/L

$C_{P, IAT}$: Giriş fosfor konsantrasyonunu, mg/L

$C_{P, EST}$: Çıkış suyunda beklenen fosfor konsantrasyonunu, mg/L

$X_{P, BM}$: Heterotrofların gelişim amaçlı kullandıkları fosfor konsantrasyonunu, mg/L

$X_{P, BioP}$: Biyolojik olarak giderilecek fosfor konsantrasyonunu, mg/L

$C_{P, EST}$: Fosfor çıkış standardının 0.6-0.7'si arasında alınır.

$X_{P, BM}$: Giriş KOİ konsantrasyonunun 0.005'i kabul edilir.

$X_{P, BioP}$: Giriş KOİ konsantrasyonunun 0.005-0.007'si arasında alınır.

Bu sonuca göre (sadece biyolojik fosfor giderimi halinde) fosfor için deşarj standardı değeri sağlanamaz ise, arıtma tesisinde fosfor giderimi için ilave kimyasal arıtma uygulanması gerekmektedir. Fosfor gideriminin gerekli olmadığı ve arıtılmış suyun sulama amaçlı kullanılacak olması durumunda kimyasal fosfor giderimi yapılmasına gerek olmayabilir. Fakat özellikle hassas alanlara deşarj yapan arıtma tesislerinde biyolojik fosfor gideriminin yetmediği durumlar için kimyasal fosfor giderimi yapılması gereklidir. Bu durumda oluşacak kimyasal çamur son işlemlerde (çamur susuzlaştırma ve çürütme) dikkate alınmalıdır.

Adım: Günlük oluşan çamur miktarı (SP_d)

Karbon giderimi sonucu oluşan çamur hesabı:

$$SP_{d,C} = Q_d \cdot \left(\left(\frac{X_{COD,SP}}{0,8 \cdot 1,45} \right) + X_{inorgSS,IAT} \right) / 1000 \quad (6.36)$$

SP_{d,C}: Karbon giderimi sonucu oluşan çamur miktarı, kg/gün

Q_d: Ortalama kuru hava debisi, m³/gün

X_{COD,SP}: Üretilen çamurun KOİ eşdeğeri, mg/L

X_{inorgSS,IAT}: Arıtma tesisi girişinde inorganik askıda katı madde konsantrasyonu, mg/L

X_{COD,SP} = X_{COD,INERT,IAT} + X_{COD,BM} + X_{COD,INERT,BM}

X_{COD,INERT,IAT}: İnert partiküler giriş KOİ konsantrasyonu, mg/L

X_{COD,BM}: Oluşan biyokütlenin KOİ eşdeğeri, mg/L

X_{COD,INERT,BM}: İçsel solunum sonucu oluşan inert partiküler KOİ konsantrasyonu, mg/L

Atıksudaki KOİ bileşenlerinin analizler sonucu belirlenmesi gereklidir. Farklı bölgelerdeki evsel atıksular için ve/veya kanalizasyona endüstriyel atıksu girişinin yoğun olduğu bölgeler için mutlaka atıksuya özgü KOİ bileşenlerinin analiz edilerek belirlenmesi gerekmektedir.

$$X_{COD,BM} = C_{COD,deg,IAT} \cdot Y \cdot \left(\frac{1}{1 + b \cdot t_{SS} \cdot F_T} \right) \quad (6.37)$$

C_{COD,deg,IAT}: Arıtma tesisi girişinde biyolojik olarak ayrışabilir KOİ konsantrasyonu, mg/L
t_{SS,dim} = t_{SS}

F_T = 1.072^(T-15)

b: 15 °C'de mikroorganizmalar için ölüm katsayısı (gün⁻¹)

Y: Mikroorganizma dönüşüm oranı (g KOİ/ g KOİ_{biyolojik ayrışabilir})

F_T: Sıcaklık düzeltme faktörü

T: Sıcaklık, °C

$$X_{COD,inert,BM} = 0.2 \cdot X_{COD,BM} \cdot t_{SS} \cdot b \cdot F_T \quad (6.38)$$

X_{inorgSS,IAT} = B · X_{SS,IAT}

B: AKM'nin inert kısmı: B değeri 0.2 ila 0.3 (%70 ila %80 organik) arasında alınabilir.

Eğer bu değer için hiçbir çalışma mevcut değilse ham atıksu için B = 0.3 ve birincil çöktürme tankından çıkış için B = 0.2 alınması tavsiye edilmektedir.

X_{SS,IAT}: Arıtma tesisi girişinde partiküler KOİ konsantrasyonu, mg/L

Fosfor giderimi sonucu oluşan çamur:

$$SP_{d,P} = Q_d \cdot (3 \cdot X_{P,BioP} + 6.8 \cdot X_{P,Prec,Fe} + 5.3 \cdot X_{P,Prec,Al}) / 1000 \quad (6.39)$$

SP_{d,P}: Fosfor giderimi sonucu oluşan çamur miktarı, kg/gün

X_{P,BioP}: Biyolojik olarak giderilen fosfor konsantrasyonu, mg/L

X_{P,Prec,Fe}: Demir kullanılarak çöktürülen fosfor konsantrasyonu, mg/L

X_{P,Prec,Al}: Alüminyum kullanılarak çöktürülen fosfor konsantrasyonu, mg/L

Biyolojik fosfor giderimi için biyolojik giderilen fosforun miligramı başına 3 mg AKM hesaba katılabilir. Kimyasal fosfor gideriminde ise; kimyasal olarak demir bileşikleri kullanılması durumunda mg giderilen fosfor başına 6.8 mg AKM ve kimyasal olarak alüminyum bileşikleri kullanılması durumunda mg giderilen fosfor başına 5.3 mg AKM oluşmaktadır.

Günlük oluşan toplam çamur miktarı (SP_d , kg AKM/gün):

$$SP_d = SP_{d,C} + SP_{d,P} \quad (6.40)$$

Adım: Biyolojik reaktör içinde gerekli olan AKM kütlesi ($M_{SS,AT}$):

$$M_{SS,AT} = t_{SS,dim} \cdot SP_d \quad (6.41)$$

Adım: Son çöktürme havuzu dip çamurunda AKM konsantrasyonu (SS_{BS}):

$$SS_{BS} = \frac{1000}{SVI} \cdot \sqrt[3]{t_{Th}} \quad (6.42)$$

SVI: Çamur hacim indeksi, L/kg

t_{Th} : Son çöktürme havuzunda çamur yoğunlaştırma süresi, saat

SVI ve t_{Th} değerleri için Tablo 6.11 ve Tablo 6.12'den yararlanılabilir.

Tablo 6.11. Çamur hacim indeksi için standart değerler

Arıtma hedefi	SVI (L/kg)	
	Uygun	Uygun olmayan
Nitrifikasyonsuz	100-150	120-180
Nitrifikasyon + denitrifikasyon	100-150	120-180
Çamur stabilizasyonu	75-120	100-150

Tablo 6.12. Atıksu arıtma derecesine bağlı olarak tavsiye edilen yoğunlaştırma süresi

Atıksu Arıtma Tipi	Yoğunlaştırma süresi t_{TH} (saat)
Nitrifikasyonsuz aktif çamur tesisleri	1.5 – 2.0
Nitrifikasyonlu aktif çamur tesisleri	1.0 – 1.5
Denitrifikasyonlu aktif çamur tesisleri	2.0 – (2.5)

Yoğunlaştırma süresinin 2 saati aşması biyolojik reaktörde çok ileri bir denitrifikasyon gerektirir. Bu yoğunlaştırma süreleri sadece düşük çamur hacim indeks değerleri ve küçük çamur geri devir oranına uygun olarak sağlanır.

Adım: Geri Devir Hesabı:

Geri devir çamurundaki AKM konsantrasyonu (SS_{RS}) hesabı:

Çöktürme havuzlarının tabanından çamur çekilirken oluşan kısa devre akımları sebebiyle havuz tabanındaki AKM konsantrasyonu geri devir çamuru içerisinde seyrelir. Çöktürme havuzlarında çamur toplama yöntemine göre SS_{RS} hesabı aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

$$\text{sıyırıcı üniteleriyle } SS_{RS} \sim 0,7 \cdot SS_{BS} \quad (6.43)$$

$$\text{emme üniteleriyle } SS_{RS} \sim 0,5 - 0,7 \cdot SS_{BS} \quad (6.44)$$

Geri devir oranı (RS) hesabı:

$$RS = Q_{RS}/Q \quad (6.45)$$

Q_{RS} : Geri devir çamur debisi

İçsel geri devir oranı:

$$RC = \frac{S_{NH_4,N}}{S_{NO_3,EST}} - 1 \quad (6.46)$$

RC: Toplam geri devir oranı

$S_{NH_4,N}$: Nitriye edilecek amonyum konsantrasyonu = $C_{N, IAT}$, mg/L

$S_{NO_3, EST}$: Çıkıştaki nitrat konsantrasyonu, mg/L

$$RC = IR + RS \quad (6.47)$$

IR: İçsel geri devir oranı

RS: Aktif çamur geri devri

Adım: Reaktör içi biyokütle konsantrasyonu (SS_{AT}):

$$SS_{AT} = \frac{RS \cdot SS_{RS}}{1 + RS} \quad (6.48)$$

Adım: Biyolojik reaktör hacmi (V_{AT}):

$$V_{AT} = \frac{SP_d}{SS_{AT}} \quad (6.49)$$

Buradan V_D/V oranı kullanılarak aerobik ve anoksik tank hacimleri hesaplanabilir.

Anaerobik reaktör hacmi hidrolik bekletme süresi (θ_h) seçilerek boyutlandırılmıştır.

$$\text{Anaerobik Hacim} = \frac{Q_d + Q_{RS}}{\theta_h} \quad (6.50)$$

Adım: Oksijen İhtiyacı:

Karbon giderimi sonucu tüketilen oksijen:

$$OU_{d,C} = Q_d \cdot (C_{COD,IAT} - S_{COD,inert,EST} - X_{COD,SP}) / 1000 \quad (6.51)$$

$OU_{d,C}$: Karbon giderimi sonucu tüketilen oksijen miktarı, kg O_2 /gün

$C_{COD, IAT}$: Giriş KOİ konsantrasyonu, mg/L

$S_{COD, inert, EST}$: Çıkış çözünmüş inert KOİ konsantrasyonu = $S_{COD, inert, IAT}$, mg/L

$X_{COD, SP}$: Karbon giderimi sonucu oluşan çamurun KOİ eşdeğeri, mg/L

Nitrifikasyon sonucu tüketilen oksijen:

$$OU_{d,N} = Q_d \cdot 4,3 \cdot (S_{NO3,D} - S_{NO3,IAT} - S_{NO3,EST}) / 1000 \quad (6.52)$$

$OU_{d,N}$: Nitrifikasyon sonucu tüketilen oksijen miktarı, kg O_2 /gün

$S_{NO3,D}$: Denitrifiye edilecek nitrat konsantrasyonu, mg/L

$S_{NO3,IAT}$: Giriş nitrat konsantrasyonu, mg/L

$S_{NO3,EST}$: Çıkış nitrat konsantrasyonu, mg/L

Denitrifikasyon sonucu açığa çıkan oksijen:

$$OU_{d,D} = Q_d \cdot 2,9 \cdot S_{NO3,D} / 1000 \quad (6.53)$$

$OU_{d,D}$: Denitrifikasyon sonucu açığa çıkan oksijen miktarı, kg O_2 /gün

Saatlik oksijen ihtiyacı (OU_h):

$$OU_h = \frac{f_C \cdot (OU_{d,C} - OU_{d,D}) + f_N \cdot OU_{d,N}}{24} \quad (6.54)$$

Oksijen ihtiyacının belirlenmesinde azot ve karbon yüklerindeki günlük salınımlar dikkate alınmalıdır. Bu amaçla karbon için f_C , azot için f_N pik faktörleri kullanılır. f_C ve f_N değerleri Tablo 13'e göre seçilir. Bu değerlerin belirlenmesi şu şekilde yapılabilir: İlk olarak, f_C değeri 1 kabul edilerek tasarıma esas çamur yaşına göre Tablo 6.13'den f_N değeri seçilir ve bu değerler kullanılarak OU_h hesaplanır. Bu adımdan sonra, f_N değeri 1 kabul edilerek tasarıma esas çamur yaşına göre Tablo 6.13'den f_C değeri seçilir ve bu değerler kullanılarak OU_h hesaplanır. Büyük olan OU_h sonucu saatlik hava debisi olarak kabul edilir.

Tablo 6.13. Oksijen ihtiyacı hesabında kullanılan pik faktörler

f_C ve f_N değerleri	Çamur yaşı (gün)					
	4	6	8	10	15	25
f_C	1.3	1.25	1.2	1.2	1.2	1.15
$BOI_{d,BOI,I}$ için $f_{N \leq 1200}$	1.1					
kg/gün	-	-	2.5	2.0	1.5	
$BOI_{d,BOI,I}$ için $f_{N > 6000}$			2.0	1.8	1.5	-
kg/gün						

Adım: Son çöktürme havuzu:

Yüzeysel yükleme hızı

$$q_A = \frac{q_{SV}}{DSV} = \frac{q_{SV}}{SS_{EAT} \cdot SVI} \quad (6.55)$$

q_A : Yüzeysel yükleme hızı, m/sa

q_{SV} : Çamur hacim yükleme hızı, m/sa

DSV : Seyreltilmiş çamur hacim indeksi, L/m³

SS_{EAT} : Son çöktürme havuzu girişinde AKM konsantrasyonu, kg/m³

Yatay akışlı çöktürme havuzlarında çıkış AKM konsantrasyonunun 20 mg/L'den düşük olabilmesi için $q_{SV} \leq 500 \text{ L/m}^2 \cdot \text{sa}$ olmalıdır.

Son çöktürme tankı yüzey alanı hesabı:

$$A_{ST} = \frac{Q_{wwh}}{q_A} \quad (6.56)$$

A_{ST} : Son çöktürme havuzu alanı, m^2

Q_{wwh} : Saatlik yağışlı hava debisi, m^3/sa

Bu yöntemde son çöktürme tankı derinliği 4 kısma ayrılmıştır.

h_1 : Temiz su bölgesi, m

min 0.5 m olmalıdır.

h_2 : Ayırma bölgesi/ geri devir bölgesi, m

$$h_2 = \frac{0.5 \cdot q_A \cdot (1 + RS)}{1 - DSV/1000} \quad (6.57)$$

h_3 : Yoğun akış ve depolama bölgesi, m

$$h_3 = \frac{1.5 \cdot 0.3 \cdot q_{SV} (1 + RS)}{500} \quad (6.58)$$

h_4 : Yoğunlaştırma ve çamur ayırma bölgesi, m

$$h_4 = \frac{SS_{EAT} \cdot q_A (1 + RS) \cdot t_{Th}}{SS_{BS}} \quad (6.59)$$

Toplam havuz derinliği = $h_{tot} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$

Bu derinlik çöktürme havuzunun merkezinden 2/3 yarıçap uzağındaki derinliktir ve en az 3 m olması istenir. Dairesel çöktürme havuzlarında kenar su derinliği 2.5 m'den büyük olmalıdır.

6.2. Lagün Sistemleri

6.2.1. Lagünlerin Genel Tanıtımı ve Amacı

Lagünler büyük hacimli atıksuların arıtılmasında kullanılan doğa ile uyumlu sistemlerdir. Özellikle geniş debi aralığına sahip atıksuların arıtılması için de uygundur. Ağırlıklı olarak evsel atıksuların arıtılmasında tavsiye edilen bir sistemdir.

Lagünlerin üstün yönleri;

- Doğaya uyumlu tasarım,
- Basit ve ucuz maliyet,

- Mekanik ekipmanların küçük ve az kullanılması,
- Bakım ihtiyacı oldukça az olması,
- Çamur temizleme sıklığı en az 1 yıldan başlayıp uzun yıllar sürebilmesi,
- Yağmur suyunu da içine alabilen yüksek tamponlama kapasitesi

Zayıf Yönleri;

- Geniş alan ihtiyacı,
- Mevsimsel ve hava şartlarına bağlı artıma verimindeki değişiklikler,
- Alg büyümesi,
- Çökeltim lagünleri ve havasız lagünlerden kaynaklanan koku oluşumu,

6.2.2. Genel İhtiyaçlar

Lagünler ile ilgili genel ihtiyaçlar aşağıda verilmiştir:

- İhtiyaç duyulması halinde ilave ön arıtma uygulanabilir (DIN EN 12255-3).
- Atıksu, havalandırmalı lagünlere girmeden önce ızgaralardan geçirilmelidir.
- Arıtma tesisleri (örnek, doğal lagünler) koku ihtimaline karşı herhangi bir yerleşim yerinden en az 200 m uzağa tesis edilmelidir.
- Ana rüzgâr istikameti, topografya, yer altı su vaziyeti, geoteknik şartlar, sel tehlikesi ve çevre düzenlemesi hesaplamalarda dikkate alınmalıdır (ATV-M 201E, 1989).
- Çamur tahliye ve bitki gelişiminin kontrolüne imkân verecek şekilde olmalı ve kenar bariyerlerinin bakımı için lagün etrafındaki herhangi bir noktaya, makine yanaştırılabilmelidir.
- Lagün tesisine giriş tel örgülerle engellenmelidir.
- Lagün kenar şevlerini erozyondan korumak ve yağmursuyu akışını lagünden uzaklaştırmak için gerekli önlemler alınmalıdır.
- Lagün tabanı ile yeraltı su seviyesi arasında minimum 1,2 m mesafe olmalıdır.
- Lagün tabanı ile kaya zemin arasında minimum 3 m mesafe olmalıdır.

Lagün tesislerinin tasarımında yukarıda verilere ilave olarak başlıca;

- Doğal şartlar altında kurulan lagünler için iklim şartları ile ilgili bilgiler,
- Özellikle çökeltim ve anaerobik lagünlerin hacim hesaplanmasında çökelebilen katılar için 1 m asgari derinlik,
- Giriş ve çıkış yapılarının uygun seviyede olması ve temizlenmek üzere girişe izin vermesi,
- Çamur uzaklaştırma sıklığı,
- Havalandırmalı lagünlerde, havalandırma ekipmanının tipi, boyutları ve havuz tabanının erozyondan korunması,
- Lagün girişi ve çıkışı arasında akımın hidroliğini bozacak etkenlerin en aza indirilmesi,
- Olgunlaştırma havuzlarında yoğun alg gelişimi ve alıcı ortama etkilerinin dikkate alınması,
- Çamur bertaraf yöntemi,
- Taşkın etkileri

dikkate alınmalıdır (ATV-M 201E, 1989).

6.2.3. Lagünlerin Tipleri ve Ünite Sayıları

Lagün tipleri aşağıda verilmiştir:

- Çökeltim lagünleri,
- Stabilizasyon lagünleri,
- Havalandırmalı lagünler,
- Olgunlaştırma havuzları,

Lagünler genellikle çevirme kanalı (by pass) da içerecek şekilde birden fazla hücreli teşkil edilmektedir. Havalandırmalı lagünler en az iki hücreli olmalı ve arkasından olgunlaştırma havuzu yer almalıdır. Bunun yanında toplam lagün alanı 2-3'e bölünerek seri halde de işletilebilir. Bu durumda genellikle ilk lagün çökeltim amaçlı kullanılmaktadır. Bazı durumlarda lagünler içi bölmelere ayrılarak piston akım hidroliğine yakın koşullar elde edilir (ATV-M 201E, 1989).

Çökeltim lagünün tek başına kullanılması geçici (kısa dönemli) çözümler için planlanır. Bu tür lagünler genellikle arıtma zinciri içerisinde ilk kademeyi oluşturur. Stabilizasyon lagünleri genellikle büyük alan ihtiyacından dolayı nüfusu 1.000 kişiden az olan küçük yerleşimler için uygundur. Havalandırmalı lagünler, stabilizasyon lagünün alan ihtiyacını azaltmak ve arıtma verimini artırmak üzere kullanılırlar. Genellikle nüfusu 5.000 kişiden az olan ve mevsimsel işletim gereken olan küçük yerleşim yerleri için uygundur (ATV-M 201E, 1989).

6.2.4. Lagünlerin Boyutlandırma Kriterleri

Lagünlerin boyutlandırmasında kullanılan parametrelere ait sembol listesi Tablo 6.14'de verilmiştir.

Tablo 6.14. Sembol listesi

Sembol	Birimi	Açıklaması
A_{I+PE}	$m^2/kışı$	Nüfus ve nüfus eşdeğeri başına lagün yüzey alanı
B_A	$g/(m^2.gün)$	BOI_5 yüzey yükü
B_R	$kg/(m^3.gün)$	BOI_5 hacimsel yük
$I+PE$	$kışı$	Toplam nüfus ve nüfus eşdeğeri
O_B	kg/kg	Spesifik oksijen kapasitesi/ BOI_5 hacimsel yük
t_R	$gün$	Hidrolik bekletme süresi
V_{I+PE}	m^3/L	Nüfus ve nüfus eşdeğeri başına lagün hacmi
W_R	W/m^3	Birim lagün hacmi başına geri devir pompasının veya havalandırıcının gücü

Lagünlerin boyutlandırmasında genellikle,

Özgül BOI_5 yükü ve evsel ve endüstriyel atıksu miktarı dikkate alınmalıdır (ATV-M 201E, 1989). Tesisin yapılacağı bölgenin özelliklerine göre, sızma debisi de ayrıca hesaplanıp toplam debiye dâhil edilmelidir.

Bir lagünün yüzey alanı en fazla 16 ha olabilir (Health Research, 2004). Tasarımda kullanılacak değerler (ATV-M 201E, 1989):

Donatılı eğimli yan duvarlar (şevler)	$\geq 1: 1,5$
Lagün uzunluk: genişlik oranı (havalandırmalı lagün haricinde)	$\geq 3: 1$
Lagün hava payı	$> 0,6$ m

Lagünlerin tasarımı ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

6.2.4.1. Çökeltim Lagünleri

Ham atıksudan çökelebilen maddelerin ayrılması ve çürütülmesi amacı ile yapılırlar. Genellikle birinci kademe arıtma gibi işlev görür. Boyutlandırma kriterleri hidrolik bekletme süresi, çamur miktarı ve çamurun temizlenme sıklığıdır. Yüksek organik yükleme ile anaerobik ortam doğal olarak oluşmaktadır. Koku emisyonları gözlenir. Lagünlerdeki çürüme Imhoff tanklarına benzer tarzda gerçekleşir (ATV-M 201E, 1989).

Nüfus ve nüfus eşdeğeri başına lagün hacmi, $0,15 \text{ m}^3/\text{kişi}$ 'lik çamur hacmi de dâhil olarak $V_{I+PE} \geq 0,5 \text{ m}^3/\text{kişi}$ olmalıdır. Kanal şebekesine olan yüksek sızma dikkate alınır, hidrolik bekletme süresi en az 1 gün olmalıdır. Evsel nitelikteki organik kirleticilerin giderme verimi %50 kabul edilebilir. Lagündeki çürümüş çamur miktarı $0,3.V_d$ alınabilir (ATV-M 201E, 1989).

Çökeltim lagününde düzenli olarak giriş ve çıkış yapılarının temizlenmesi, yüzebilen maddelerin toplanması ve yabancı otların giderilmesi gerekir. Tabanda biriken çamur ise şartlara göre değişmekle birlikte normal hallerde yılda bir temizlenmelidir (ATV-M 201E, 1989).

6.2.4.2. Stabilizasyon Lagünleri

Mekanik havalandırmanın yapılmadığı lagünlerdir. Arıtma zincirinin ilk kademesinde çökelebilir katıların giderimi için herhangi bir tesis yok ise bu havuzlarda çökelebilen katıların giderimi yapılır. Oksijen lagüne doğal yollarla girerken iklim ve meteorolojiye bağlı olarak miktarı değişkenlik gösterir. Boyutlandırma kriteri çamur yüküdür. Lagündeki üst tabaka aerobik olurken zaman zaman lagüne giriş alanında ve derin lagünlerin tabanı da aerobik koşullar gözlenebilir. Stabilizasyon lagünleri 1.000 eşdeğer nüfusun altındaki yerleşim yerlerine uygulanabilir.

Stabilizasyon lagünlerinin boyutlandırılması kişi başına alan esası ile hesaplanmakta ve $A_{I+PE} \geq 10 \text{ m}^2/\text{kişi}$ alınmaktadır. Bu değer tesise tarımsal kaynaklı deşarj yapılmaması halinde $8 \text{ m}^2/\text{kişi}$ alınabilir. Yağmur suyunun tesise alınmaması halinde ise $A_{I+PE} = 5 \text{ m}^2/\text{kişi}$ olabilir. Hidrolik bekletme süresi kuru hava debisi için ≥ 20 gün olmalıdır.

$A_{I+PE} \geq 5 \text{ m}^2/\text{kişi}$ değerinde değişik oranlarda nitrifikasyon ve kısmi oranda da denitrifikasyon gözlenebilir.

Lagünde oluşan alglerin çıkış akımına kaçmaması için fazladan $1 \text{ m}^2/\text{kişi}$ lik bir alanın ayrılması tavsiye edilir.

Stabilizasyon lagünlerin derinliği 1 m civarında seçilir. Çökeltim yapılmayan lagünlerde ise çökelebilen maddelerin ayrılması için ön işlem uygulanmalı veya bu tür maddeler çok kademeli lagünlerde birinci kademe giderilmelidir.

Bu tesisin bakım ihtiyacı daha azdır. Giriş ve çıkış yapılarının haftalık kontrolü ve gerekirse temizliği gerekir. Tabanda biriken çamur miktarı her yıl kontrol edilmeli ve havuz derinliğinin dörtte birine ulaşması durumunda temizlenmelidir. Temizleme gereksinimi genellikle uzun yıllar sürmektedir (ATV-M 201E, 1989).

6.2.4.3. Havalandırılmalı Lagünler

Mekanik havalandırıcılar ile atıksuya oksijen verilen lagünlerdir. Havalandırılmalı sistemde alan gereksinimi stabilizasyon lagünleri için gerekli olandan daha azdır. Ham atıksu veya mekanik birinci kademe arıtmadan geçen atıksuya uygulanabilir. Genellikle havalandırma için lagünlere özel tasarlanan havalandırıcılar kullanılır. Lagünde en az çözünmüş oksijen konsantrasyonu 2 mg/L olmalıdır (Health Research, 2004). Havalandırılmalı lagün sonrası olgunlaştırma havuzlarının düşünülmesi halinde gerekli hacim havalandırılmalı lagün hacminin en az %30'u olmalıdır.

Arıtma veriminin yüksek olması için biyokütlenin askıda tutulması oldukça önemlidir. Lagün çıkışı öncesi sakin bir bölge oluşturularak askıda katıların ayrılması sağlanır.

Boyutlandırma kriterleri karıştırmanın iyi yapıldığı düşünülerek BOİ₅'e bağlı hacimsel organik yüküdür. Çamur geri devri yapılacaksa ATV A126'da verilen kriterler dikkate alınmalıdır (ATV - A126E, 1993).

Havalı lagünler 5.000 eşdeğer nüfusun altındaki yerleşim yerlerine uygulanabilir.

Boyutlandırmada BOİ₅ hacimsel yük kullanılmakta olup $B_R \leq 25 \text{ g/(m}^3\cdot\text{gün)}$ seçilir. Alansa yük (B_A) üzerinden hesap yapılacak ise;

$$B_A = B_R \cdot h \quad (6.60)$$

esas alınır. Bu ifade $h = 1,5-3,5 \text{ m}$ su derinliği için kullanılır.

Özgül oksijen kapasitesi/BOİ₅ hacimsel yük, $OB \geq 1,5 \text{ kg/kg}$ olmalıdır. Lagün hacmi başına gerekli güç, $1-3 \text{ W/m}^3$ 'tür. Toplam hacmi, birbirine seri bağlı 2 lagüne bölmek verimi artırmaktadır. Havalandırılmalı lagün sonrası en az bir gün bekletme süreli ikincil biyolojik arıtma veya havasız lagün yerleştirilebilir.

Yukarıda verilen boyutlandırma verilerine göre nitrifikasyon az oranda gerçekleşir. Eğer gerekirse havalandırılmalı lagün sonrası biyolojik filtreler veya biyolojik diskler gibi sabit yataklı biyofilm sistemleri kullanılabilir.

Havalandırmadan dolayı tabanda biriken çamurun temizlenme sıklığı 4 ile 10 yıl arasında değişmektedir. Çamur üretimi $0,3 \text{ L/(kişi.gün)}$ alınabilir (ATV-M 201E, 1989).

Havalandırma Ekipmanı

Havalandırılmalı lagünlerde farklı tipte havalandırıcılar kullanılabilir. Bunlar, köprüye monte mekanik yüzey havalandırıcı, yüzer mekanik yüzey havalandırıcı, difüzörlü havalandırıcı ve havalandırma tüpleridir. Kışın sert geçtiği bölgelerde batık tipte olan difüzörlü havalandırıcılar tercih edilmelidir. Mekanik yüzey havalandırıcı kullanılırsa buzlanma durumuna karşı köprü bağlantı sistemine dikkat edilmelidir. Mekanik havalandırıcıların motor altı kısımlarının korozyona karşı korunmuş olması gerekir. Lagün içerisindeki katıların askıda tutulabilmesi için havalandırıcının yeterli güçte olduğundan emin olunmalıdır. BOI_5 yükü, arıtma seviyesi, sıcaklık ve lagündeki askıda katı madde konsantrasyonu havalandırıcı kapasitesinin belirlenmesinde kritik parametrelerdir. Üretici firma tarafından bu koşulların sağlanması garanti edilmelidir (MOE, 2008).

Havalandırma sisteminin istenilen ve güvenli bir işletim sağlayabileceğinden emin olmak için aşağıda verilen kriterlere dikkat etmek gerekir (MOE, 2008):

- Difüzörlü sistemde blower kapasitesi arıza durumları düşünülerek birden fazla ünitelerden oluşturulmalıdır.
- Yüzer veya sabit tipli havalandırıcılar da arıza durumları düşünülerek birden çok ünitelerden oluşmalıdır.
- Mekanik havalandırıcı her bir lagün için en az iki adet düşünülmalıdır.
- Mekanik havalandırıcıların motor ve karıştırıcı kısımlarına kolay ulaşılabilir olmalı ve ikisinden de birer yedek sistem tesiste muhafaza edilmelidir.
- Lagün üzeri ıslak bölge olacağı için ekipmanların suya karşı koruması ve sızdırmazlığı sağlanmalıdır.

6.2.4.4. Olgunlaştırma Havuzları

Bu havuzlara biyolojik veya eşit seviyede arıtılmış atıksular beslenir. Hijyenik özellikleri, inorganik besi elementleri, bakiye organikleri, askıda katıları iyileştirmek ve deşarj edilen atıksu kalitesini artırmak için uygulanan basit ve güvenilir bir sistemdir. Genellikle havalandırma teçhizatı yoktur. Boyutlandırma hidrolitik bekletme süresi esas alınır.

Derinlikleri 1 ile 2 m arasında olup hidrolitik bekletme süresi 1 ile 5 gündür. Daha kısa bekletme süreleri de çökelebilen maddelerin giderimi ve çıkış suyu kalitesinin dengelenmesi açısından etkilidir. Mikroorganizmaların giderimi açısından hidrolitik bekletme süresi en az 2 gün seçilmelidir. Alg çoğalması istenmiyorsa, hidrolitik bekletme süresi 2 gün ile sınırlandırılmalıdır.

Havuz içerisinde oluşabilecek kısa devreleri ve ölü bölgeleri önlemek için aşağıdaki öneriler dikkate alınmalıdır:

- Piston akımlı reaktör koşuluna yaklaştırmak için havuz içerisinde bölmelere ayrılması,
- Giriş yapısının akım düzenleyici özelliğinin incelenmesi ve gerektiği gibi düzenlenmesi,
- Rüzgar etkisini de dikkate alarak atıksuyu yönlendirici elemanların düşünülmesi,

- Çıkış yapısının akım düzenleyici özelliği olması (örnek: savak yapıları, aşağı akışa yönlendiren perdeler)

Tabanda çamur birikimi her yıl kontrol edilmelidir. Biriken çamur miktarı olgunlaştırma havuzu öncesindeki arıtma sistemi verimine bağlıdır. Genellikle çamur temizleme sıklığı 5 ile 10 yıl arasında değişmektedir (ATV-M 201E, 1989).

6.2.4.5. Diğer Sistemlerle Birleştirilmiş Lagünler

İleri arıtmaya ihtiyaç duyulan yerlerde veya kirlilik yükünün fazla olduğu durumlarda lagünler diğer sistemler (damlatmalı filtre, döner biyodisk vb.) ile birlikte inşa edilebilir (ATV A 257E, 1989). Kokunun çevreyi rahatsız edebileceği yerlerde stabilizasyon lagünleri yerine Imhoff tankları inşa edilebilir. İhtiyaç duyulması halinde ilave ön arıtma uygulanabilir (DIN EN 12255-3). Boyutlandırma kriterleri Tablo 6.15’de özetlenmiştir.

Tablo 6.15. Lagünler için boyutlandırma kriterleri (ATV-M 201 E, 1989)

Parametre	Birimi	Çökeltim Lagünü	Stabilizasyon Lagünü	Havalandırma Lagünü	Olgunlaştırma Havuzu
Hacim, V_{I+PE}	$m^3/kışı$	$\geq 0,5$			
Spesifik yüzey alanı, A_{I+PE}	$m^2/kışı$				
Ön çökeltim lagünü olmaksızın	$m^2/kışı$		≥ 10		
Ön çökeltim lagünlü	$m^2/kışı$		≥ 8		
Yağmursuyu ile birlikte	$m^2/kışı$		En fazla 5		
Kısmi nitrifikasyon	$m^2/kışı$		≥ 15		
Hacimsel yük, B_R	$g/(m^3.gün)$			≤ 25	
Nitrifikasyon için Katı yükü	$g/(m^3.gün)$			$B_A=B_R.h$	
Su derinliği, h	m	$\geq 1,5$	> 1	1,5 - 3,5	1 - 2
O_B	kg/kg			$\leq 1,5$	
Gerekli motor gücü	W/m^3			1 - 3	
Kuru hava debisinde hidrolik bekletme süresi, t_R	$gün$	≥ 1	≥ 20	≥ 5	1 - 5
Son çökeltim tankının hidrolik bekletme süresi, t_R	$gün$			≥ 1	

6.2.5. Çökeltim Lagünleri için Proses Tasarımı

$V_{I+PE} \geq 0,5 m^3/kışı$ olacak şekilde seçim yapılır. Bu seçime bağlı olarak lagün hacmi bulunur.

$$V_{lagün}(m^3) = V_{I+PE} \left(\frac{m^3}{kışı} \right) \times N(kışı) \quad (6.61)$$

Bekletme süresi kontrolü yapılır.

$$t (gün) = \frac{V (m^3)}{Q \left(\frac{m^3}{gün} \right)} \quad (6.62)$$

Bu değer 1 günün üzerinde olmalıdır.

Derinlik (h) ≥ 1,5 m olacak Şekilde seçilir. Lagün yüzey alanı bulunur.

$$A (m^2) = \frac{V (m^3)}{h (m)} \quad (6.63)$$

Uzunluk:genişlik ≥ 3:1 olacak Şekilde seçim yapılarak yüzey boyutları belirlenir.

BOİ₅ giderim verimi % 50 alınabilir.

6.2.5.1. Havasız Lagünler

A_{I+PE} ≥ 5 m²/kişi olacak Şekilde seçim yapılır. Bu seçime bağlı olarak lagün yüzey alanı bulunur.

$$A_{lagün} (m^2) = A_{I+PE} \left(\frac{m^2}{kişi} \right) \times N (kişi) \quad (6.64)$$

Derinlik (h) ≥ 1,0 m olacak Şekilde seçilir ve lagün hacmi belirlenir.

$$V_{lagün} (m^3) = A_{lagün} (m^2) \times h(m) \quad (6.65)$$

Bekletme süresi kontrolü yapılır.

$$t (gün) = \frac{V(m^3)}{Q \left(\frac{m^3}{gün} \right)} \quad (6.66)$$

Uzunluk: genişlik ≥ 3: 1 olacak Şekilde seçim yapılarak yüzey boyutları belirlenir.

BOİ₅ giderim verimi % 70-80 alınabilir.

6.2.5.2. Havalandırmalı Lagünler (Arceivala, 2002)

BOİ₅ hacimsel yük kullanılmakta olup B_R ≤ 25 g/(m³.gün) seçilir. Őayet alan yükü üzerinden hesap yapılacak ise;

$$B_A = B_R \cdot h \quad (6.67)$$

h = 1,5-3,5 m su derinliği için kullanılır.

Lagün hacmi;

$$V_{lagün} (m^3) = \frac{Q \left(\frac{m^3}{gün} \right) \times BOİ_5 \left(\frac{g}{m^3} \right)}{B_R \left(\frac{g}{m^3 \cdot gün} \right)} \quad (6.68)$$

Lagün derinliği seçilir. Buna göre yüzey alanı;

$$A_{\text{lagün}} (m^2) = \frac{V_{\text{lagün}} (m^3)}{h (m)} \quad (6.69)$$

Yüzey alanı yaklaşık kare olacak şekilde kenar boyutları belirlenir.

Hidrolik bekletme süresi belirlenir.

$$t (gün) = \frac{V (m^3)}{Q \left(\frac{m^3}{gün} \right)} \quad (6.70)$$

Kuru hava debisinde hidrolik bekletme süresi en az 5 gün olmalıdır.

Lagündeki atıksu sıcaklığı yaz ve kış ayları için belirlenir.

$$\frac{t (gün)}{h (m)} = \frac{T_i (°C) - T_w (°C)}{f \left(\frac{m}{gün} \right) \times (T_w (°C) - T_a (°C))} \quad (6.71)$$

T_i : Giriş atıksu sıcaklığı

T_w : Lagün içinde atıksu sıcaklığı

T_a : hava sıcaklığı

f : ısı değişim katsayısı, 0,49 m/gün alınır.

BOİ giderim katsayısı, k' (T), $k' (20°C) = 0,015$ alınarak lagündeki atıksu sıcaklığı (T)'na göre belirlenir.

$$k' (T) = k' (20°C) \theta^{T-20} \quad (6.72)$$

$\theta = 1,035$ alınır.

Kış ayı için lagün çıkış BOİ değeri;

$$BOI_{5, \text{ çıkış}} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{1 + K_d x t}{Y x k' x t} \quad (6.73)$$

K_d : içsel solunum katsayısı, 0,07 gün⁻¹ alınabilir.

Y : dönüşüm oranı, 0,5 g UAKM/g BOİ₅ alınabilir.

Bu değere göre lagünün BOİ₅ giderim verimi, E_{BOI5} hesaplanır.

Oksijen gereksinimi;

$$O_2 \left(\frac{kg}{gün} \right) = E_{BOI5} \left[1,4 \times BOI_{5, \text{ giriş}} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times Q \left(\frac{m^3}{gün} \right) \right] \quad (6.74)$$

Yüzey havalandırıcısının üretici firma değerleri kullanılarak, gerekli havalandırıcı gücü hesaplanır. Atıksu debisine bölerek W/m³ değeri elde edilir. Bu değer 1-3 W/m³ olması beklenir.

6.2.5.3. Olgunlaştırma Havuzları

Bekletme süresi seçilerek hacim belirlenir.

$$V_{lagūn} (m^3) = Q \left(\frac{m^3}{gūn} \right) \times t (gūn) \quad (6.75)$$

Derinlik seçilerek yüzey alanı belirlenir.

$$A_{lagūn} (m^2) = \frac{V (m^3)}{h (m)} \quad (6.76)$$

Uzunluk genişlik oranından yüzey ölçüleri belirlenir.

6.3. Biyofilm Sistemleri

Biyofilm sistemleri, mikroorganizmaların uygun bir destek ortamı üzerinde bir film tabakası halinde gelişmesi ve atıksu ile temas ettirilerek arıtmanın sağlanması prensibine dayalı sistemlerdir.

Suya batmamış halde işletilen Damlatmalı Filtreler (DF) ve Döner Biyodiskler (DBD) en yaygın kullanılan biyofilm sistemleridir. Biyofilm sistemlerinin en önemli üstünlükleri:

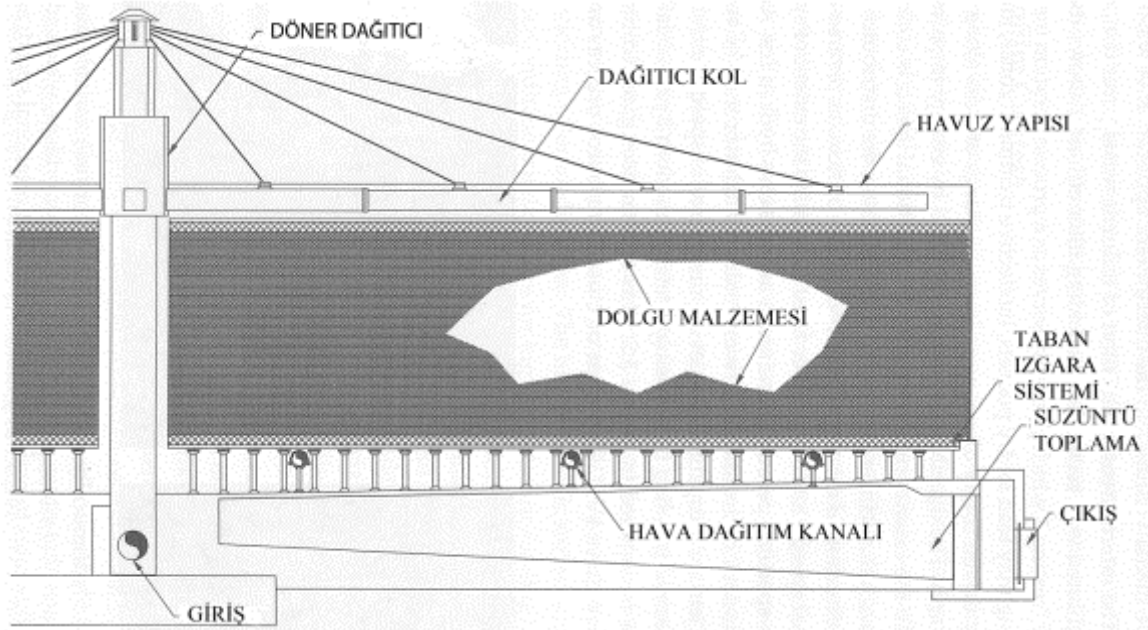
- İşletimleri genellikle kolay ve kararlıdır,
- Aktif çamur geri devrine gerek yoktur,
- Damlatmalı filtre ve biyodisk sistemleri uzun çoğalma süresine sahip mikroorganizmaların koloni oluşturmaya imkan vermektedir. Bu nedenle düşük yüklerde, ayrışması zor olan bileşiklerin giderilmesi mümkün olmaktadır,
- Genellikle enerji gereksinimleri düşüktür (WEF, 2011).

Bu bölümde tasarım yapılabilmesi için, damlatmalı filtrelerde karbon giderimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyonu; Döner Biyodisklerde ise karbon giderimi ve nitrifikasyonu esas alan standart teknik kurallar verilecektir. Bu esaslar, 50 eşdeğer nüfusun üzerinde evsel veya ticari, tarımsal amaçlara hizmet eden faaliyetler sonucu oluşan atıksulara uygulanabilir.

6.3.1. Damlatmalı Filtreler

6.3.1.1 Damlatmalı Filtrelerin Genel Tanıtımı ve Amacı

Damlatmalı Filtreler sabit yataklı biyofilm reaktörleridir. Atıksu, damlatmalı filtreye yatak üzerinde bulunan dağıtım sistemi ile beslenmektedir. Biyofilm yüzeyinden süzülen su aşağı doğru akarken, hava aşağı veya yukarı hareket ederek, akışkan sıvıya ve biyofilme difüzyon ile geçmektedir. Damlatmalı filtre sistemi bileşenleri, giriş atıksu dağıtım sistemi, taş veya plastik dolgu malzemesinin yer aldığı genelde dairesel kesitli havuz, süzüntü toplama (taban drenajı) yapısı ve havalandırma sistemidir (Şekil 6.9) (WEF, 2011).



Şekil 6.9. Damlatmalı Filtre en kesiti ve bileşenleri (WEF, 2011)

6.3.1.2. Genel İhtiyaçlar

Atıksuyun biyofilm sistemlerinde arıtılabilmesi için aşağıda verilen işlemler grubundan en az birisinden geçirilmiş olması gerekir:

- Birinci kademe arıtma
- Izgara ve/veya eleklerden geçirme
- İkinci kademe arıtma

Biyofiltreler aerobik veya anaerobik olarak işletilebilirler. Aerobik olarak işletilebilmeleri için aşağıdaki 4 koşulun sağlanması gerekir.

- Bakterinin filtre malzemesi veya yüzeyde çoğalacağı materyale tutunabilmesi için uygun koşulların sağlanması,
- Atıksuyun yüzeyde çoğalan biyokütle ile etkili bir şekilde temas ettirilmesi,
- Tıkanmaların olmaması için aşırı biyofilm büyümesinin kontrol altında tutulması,
- Oksijen gereksiniminin biyofilm çevresindeki havadan doğal yollarla karşılanmasına karşın ihtiyaç durumunda dışarıdan blower vasıtası ile atıksuya ilave oksijen sağlanabilmesi

Askıda çoğalan aerobik biyolojik prosesler ile arıtılabilen atıksular, damlatmalı filtre ve döner biyodiskler ile de arıtılabilir. Biyofilm sistemlerinde kullanılan destek ortamı yüzeyinde olması gereken özellikler aşağıda sıralanmıştır.

- Destek malzemesi dışarıdan gelecek mekanik etkilere karşı yeterli direnci göstermelidir,
- Hava şartlarına ve UV ışınlarına karşı dirençli olmalıdır,
- Atıksu içerisindeki kimyasal bileşiklere dirençli olmalıdır,
- Biyobozunur olmamalıdır,
- Biyofilmin yüzeye tutunabilmesi için uygun materyaller seçilmelidir,

- Biyofilm malzemesinin içindeki boşluklu yapılar (mikro porlar) korunmalıdır,
- Plastik dolgu malzemesi için üretici firma bilgilerinin uygulama öncesi tahkiki gerekir.

Biyofilm sistemlerinin planlanmasında aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır:

- Beslenen atık suyun özellikleri,
- Biyolojik reaktörün boyutları ve kapasitesi,
- Tanklarda ve kanallardaki zararlı birikimin etkileri ve ölü bölgelerin önlenmesi,
- Bir veya daha fazla hat/birim devre dışı kalırsa, gerekli nihai çıkış suyu kalitesini sürdürmeyi temin etmek üzere, çoklu hatlar/birimler veya diğer teknik tedbirlerin oluşturulması,
- Sonda kullanıldığında, son çökeltim tanklarının yüzey alanı, hacmi ve derinliği,
- Üretilen çamurun arıtımı ve nihai noktaya iletimi,
- Hidrolik kayıpların asgariye indirilmesi,
- Ölçme ve kontrol sistemi,
- Ortam özellikleri

Daha fazla bilgi için DIN EN 12255-1, DIN EN 12255-6, DIN EN 12255-10 ve DIN EN 12255-11'e başvurulmalıdır.

Damlatmalı filtrelerin verimli çalışabilmesi için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekir:

- Damlatmalı Filtre öncesinde köpük ve yağı da ayırıp yüzeyden toplama özelliğine sahip etkili bir çökeltim tankı veya diğer uygun birinci kademe arıtma sistemleri uygulanmalıdır,
- Filtre malzemesinin yapısal olarak uygun olması ve yerine kontrollü bir şekilde yerleştirilmesi gerekir. Bununla ilgili detaylar aşağıda belirtildiği üzere ve aynı zamanda DIN 19557'ye uygun olarak planlanmalıdır,
- Damlatmalı filtre üzerine atıksuyun yüzey orantılı ve homojen bir şekilde dağıtılması gerekir,
- Döner dağıtıcı buna göre tasarlanmalıdır. Filtre malzeme yüzeyinin atıksu ile tamamen ıslatıldığından emin olunmalıdır. Burada yeterli minimum yüzey yüklemesinin yapılabilmesi ve atıksuyun filtre yüzeyine küçük damlacıklar halinde verilebilmesi oldukça önemlidir,
- Minimum hidrolik yüklemenin sağlanabilmesi için atıksuyun geri devrine ihtiyaç duyulabilir,
- Atıksuyun engellenmeden süzülmesi sağlanmalı, diğer bir ifade ile filtre malzemesine temas etmeden akışına (kısa devre) izin verilmemelidir,
- Damlatmalı filtrede, aynı ortamda farklı yapıdaki malzemelerin kullanılmasına izin verilmemelidir. Biyofilm tabakasını korumak için atıksuyun düşey yönde akışından emin olmak gerekmektedir,
- Besleme ve geri devir pompalarının, minimum yüzey yükünün sağlanabilmesi için, debileri değiştirilebilir özellikte olmalıdır. Mümkün olduğunca sürekli besleme tercih edilmelidir,
- Damlatmalı filtreye dışarıdan hava girişini sağlamak için taban (çıkış) yapısına hava kanalları teşkil edilmelidir (denitrifikasyon yapan damlatmalı filtreler

hariç). Bu kanalların kesitlerinin, düşük hava sıcaklıklarında ısı kaybının önlenmesi için ayarlanabilir özellikte olması gerekir,

- Sert kış iklimine sahip bölgelerde filtre dış duvarlarına ısı yalıtımı uygulanması, yapının üzerinin kapanması ve pompaların bu koşullara uygun işletilmesi gerekir. Damlatmalı filtrelerde aynı zamanda hava üfleyiciler ile takviye gerekebilir, bu durumda filtre çıkış havasında koku giderimi yapılmalıdır,
- Standartlara uygun planlanan DF tesislerinin emniyetli olarak işletimi için yeter sayıda kalifiye işletme personelinin çalıştırılması sağlanmalıdır.

6.3.1.3. Damlatmalı Filtrelerin Tipleri ve Ünite Sayıları

Damlatmalı filtreler, dolgu malzemesine göre; taş dolgulu ve plastik dolgulu olarak tasarlanabilir.

Damlatmalı filtreler, yüzey yükünü sağlamak şartı ile, karbonlu organik madde giderimi için tek kademeli olarak tasarlanabilir. Deşarj standartlarına bağlı olarak seri bağlı birden fazla ünite de düşünülebilir. Nitrifikasyon yapılmak istenirse sistemin iki kademeli yapılması tavsiye edilmektedir.

6.3.1.4. Damlatmalı Filtrelerin Boyutlandırma Kriterleri

ATV-DVWK Standard A 198E'deki genel kurallar ile uyumlu tasarımda yer alan sembol listesi Tablo 6.7' de verilmiştir. Orijinal Almanca versiyondaki semboller köşeli parantez içerisinde gösterilmiştir.

Atıksu Yüğü

BOİ₅ yükü ($B_{d,BOI,In}$ kg/gün) atıksu arıtma tesisine gelen kuru hava yükünün zamanın % 85'inde gözlenen yük değeri dikkate alınarak hesaplanır. Bunun yanında ileriye dönük planlamada gerekli rezerv kapasite de bu değere eklenmelidir. Tasarım tesise bağlı nüfus üzerinden yapılacaksa ham atıksuyun nüfus başına BOİ₅ kirlilik yükleri Tablo 6.8' den seçilmelidir.

Boyutlandırma için başlıca aşağıda sıralanan verilerin bilinmesi gerekir (çamur arıtma biriminden gelecek akımların kirlilik yükleri de dikkate alınmalıdır):

- Organik yük ($B_{d, BOI}$) : Nitrifikasyon olmaksızın karbon giderimi için gerekli damlatmalı filtre hacmi veya Döner Biyodiskin yüzey alanını hesaplamak için gerekir,
- Organik yük ($B_{d, BOI}$) ve azot yükü ($B_{d, TKN}$): Karbon giderimi ile birlikte nitrifikasyon için gerekli damlatmalı filtre hacmi veya Döner Biyodiskin yüzey alanını hesaplamak için gerekir,
- Azot konsantrasyonu (C_N) ve organik madde konsantrasyonu (C_{BOI}) : Denitrifikasyon için damlatmalı filtre hacminin belirlenmesinde denitrifiye olacak nitrat miktarını (denitrifikasyon potansiyeli) belirlemek için gerekir,
- Günlük giriş atıksu debisi, Q_d ve en yüksek kuru hava debisi Q_{DW} : Damlatmalı filtrenin boyutlandırılması için gerekir,
- En yüksek kuru hava debisi $Q_{DW,2h}$ ve hesap debisi $Q_{ww,h}$: Son çökeltim tankının tasarımı için gerekir.

Günlük yük, hacimsel veya 24 saatlik debi orantılı alınan kompozit numuneler ile günlük debi üzerinden hesaplanır. Genel yük hesabı yağışlı hava debisinin de dahil edildiği rastgele günlerde yapılan ölçümlere göre belirlenir. Bu hesaplamada zamanın %85'inde gözlenen yük dikkate alınır. Bunun için en az 40 yük değerinin ölçüme dayalı olarak biliniyor olması gerekir.

2 saatlik ölçümlerde azot yükü değerleri günlük ortalama değer iki katından fazla ise pik debilerin dengelenmesi için düzenlemeler yapılmalıdır. Tasarımda aynı zamanda çamur arıtma biriminden gelecek yükler de dikkate alınmalıdır.

Giriş atıksu karakterizasyonunda veri eksikliği var ise yük ve konsantrasyonlar atıksu arıtma tesisine bağlı nüfusa ve diğer endüstriyel/ticari faaliyetlere göre (eşdeğer nüfus) hesaplanmalıdır.

Tablo 6.7. Sembol listesi (ATV -A 281 E, 2001)

Sembol (İngilizce)	Sembol (Almanca)	Birimi	Açıklaması
A	-	Adet	döner dağıtıcıdaki kol sayısı
A _{SST}	[A _{NB}]	m ²	Son çökeltim tankının yüzey alanı
A _{RC}	[A _{RT}]	m ²	Biyodiskin teorik yüzey alanı (Damlatma filtrede dolgu malzemesi yüzey alanı toplamı)
A _{RC,C}	[A _{RT,C}]	m ²	Karbon giderimi için biyodiskin teorik yüzey alanı
A _{RC,N}	[A _{RT,N}]	m ²	Nitrifikasyon için biyodiskin teorik yüzey alanı
A _{TF}	[A _{TK}]	m ²	Damlatmalı filtrenin yüzey alanı
B _{A,BOI}	[B _{A,BSB}]	g/(m ² .gün)	Biyodiskin BOI ₅ yüzey yükü
B _{A,TKN}		g/(m ² .gün)	Biyodiskin TKN yüzey yükü
B _{d,BOI,InB}	[B _{d,BBS,ZB}]	kg/gün	Biyolojik reaktöre günlük BOI ₅ yükü
B _{d,NO3,D}		kg/gün	Denitrifikasyonu yapılacak günlük nitrat-azotu yükü
B _{d,N,WS}	[B _{d,N,ÜS}]	kg/gün	Damlatmalı filtre veya biyodiskten çıkacak fazla çamur ile giderilen günlük azot yükü
B _{d,TKN,InB}	[B _{d,TKN,ZB}]	kg/gün	Biyolojik reaktöre günlük TKN yükü
B _{d,inorgN,InB}	[B _{d,anorgN,AN}]	kg/gün	Son çökeltim çıkışı günlük inorganik azot yükü
B _{d,orgN,SST}	[B _{d,orgN,AN}]	kg/gün	Son çökeltim çıkışı günlük organik azot yükü
B _{R,BOI}	[B _{R,BSB}]	kg/(m ³ .gün)	Damlatmalı filtrenin BOI ₅ hacimsel yükü
B _{R,TKN}		kg/(m ³ .gün)	Damlatmalı filtrenin TKN hacimsel yükü
D _{SST}	[D _{NB}]	M	Son çökeltim tankının çapı
PT _{xxx}	[EW _{xxx}]	I, E	Nüfus ve parametreye bağlı (örn: BOD ₅) nüfus eşdeğeri
h _{SST}	[h _{NB}]	M	Son çökeltim tankının derinliği
h _{TF}	[h _{TK}]	M	Damlatmalı filtre dolgu malzemesinin yüksekliği
N		1/sa	Döner dağıtıcının saatte yaptığı tur sayısı
q _{A,SST}	[q _{A,NB}]	m/sa	Son çökeltim tankının yüzey yükleme hızı
q _{A,TF}	[q _{A,TK}]	m/sa	Damlatmalı filtrenin yüzey yükleme hızı
q _{wo}	[q _ü]	m ³ /(m.sa)	Savak yükü
Q _{DW,d}	[Q _{T,d}]	m ³ /gün	Kuru hava atıksu debisi
Q _{Comb,h}	[Q _{M,h}]	m ³ /sa	Birleşik veya ayrı kanalizasyon sistemi için hesap debisi
Q _{SST}	[Q _{NB}]	m ³ /sa	Son çökeltim havuzu giriş hesap debisi
Q _{RF}		m ³ /sa	Geri devir debisi
Q _{DW,2h}	[Q _t]	m ³ /sa	2 saatlik ortalamalar ile belirlenen en yüksek kuru hava debisi
Q _{TF}	[Q _{TK}]	m ³ /sa	Damlatmalı filtre giriş debisi: Q _{DW} +Q _{RF}
RR _m	[RV _m]	-	Geri devir oranı Q _{RF} / Q _{Dim,In}
RR _{DW}	[RV _t]	-	Geri devir oranı Q _{RF} / Q _{DW,2h}
F _F	[SK]	mm/kol	Damlatmalı filtre geri yıkama dozu

Tablo 6.7.devamı. Sembol listesi (ATV -A 281 E, 2001)

Sembol (İngilizce)	Sembol (Almanca)	Birimi	Açıklaması
t_{SST}	$[t_{NB}]$	Sa	Son çökeltim tankı bekletme süresi
V_{SST}	$[V_{NB}]$	m^3	Son çökeltim tankı hacmi
V_{TF}	$[V_{TK}]$	m^3	Damlatmalı filtre hacmi
$V_{TF,C}$	$[V_{TK,C}]$	m^3	Karbon giderimi için damlatmalı filtre hacmi
$V_{TF,N}$	$[V_{TK,N}]$	m^3	Nitrifikasyon için damlatmalı filtre hacmi
$V_{TF,D}$	$[V_{TK,D}]$	m^3	Denitrifikasyon için damlatmalı filtre hacmi
Kirletici parametreler ve Konsantrasyonları			
C_{XXX}		mg/l	Homojen toplam numunede XXX parametresinin konsantrasyonu
S_{XXX}		mg/l	0.45 μ m membran filtreden süzölmüş numunede XXX parametresinin konsantrasyonu
X_{XXX}		mg/l	Filtre üzerinde kalan malzemenin konsantrasyonu, $X_{XXX} = C_{XXX} - S_{XXX}$
Numune alma yeri veya Numune alma amacını gösteren indisler			
In	[Z]		Atıksu arıtma tesisi girişinden alınan numune
InB	[ZB]		Biyolojik reaktörün girişinden alınan numune
EB	[AB]		Biyolojik reaktörün çıkışından alınan numune
ESST	[AN]		Son çökeltim tankının çıkışından alınan numune
WS	[ÜS]		Fazla çamurdan alınan numune
RF			Geri devir hattından alınan numune
MV	[ÜW]		Gözlem değeri [tanımlı numune alma yöntemi ile çıkış kriterlerinin kontrolü]
Sık kullanılan parametreler			
$C_{BOL,InB}$	$[C_{BSB,ZB}]$	mg/l	Geri devirsiz sistemde biyolojik reaktörün girişinde, ortalama Q_d günlük ve kuru hava debisinde BOI_5 konsantrasyonu
$C_{BOL,InB,TF}$	$[C_{BSB,ZB,RF}]$	mg/l	Geri devirli damlatmalı filtrede Q_d günlük kuru hava debisinde birleşik ortalama BOI_5 konsantrasyonu
$C_{N,InB}$	$[C_{N,ZB}]$	mg/l	Biyolojik reaktörün girişinden alınan homojen numunede toplam azot konsantrasyonu
$S_{inorgN,MV}$	$[S_{anorgN,ÜW}]$	mg/l	Çıkış numunesinde inorganik azotun gözlem değeri
$S_{NH4,ESST}$	$[S_{NH4,AN}]$	mg/l	Çıkış numunesinde amonyum azotun konsantrasyonu
$S_{NO3,ESST}$	$[S_{NO3,AN}]$	mg/l	Çıkış numunesinde nitrat azotun konsantrasyonu
$S_{NO3,D}$		mg/l	Denitrifiye edilecek nitrat azotunun konsantrasyonu
$S_{orgN,ESST}$	$[S_{orgN,AN}]$	mg/l	Son çökeltim tankı çıkışındaki organik azot konsantrasyonu
$X_{orgN,BM}$		mg/l	Biyokütlenin bünyesine geçen organik azot konsantrasyonu
$X_{SS,ESST}$	$[X_{TS,AN}]$	mg/l	Son çökeltim tankı çıkışındaki askıda katı madde konsantrasyonu

Tablo 6.8. Nüfusa bağlı yük değerleri (g/kişi.gün) (ATV -A 281 E, 2001)

Parametre	Ham atıksu	Ön çökeltim havuzundaki bekleme süresine bağlı yük	
		0.5 - 1.0 sa	1.5 - 2.0 sa
BOİ ₅	60	45	40
TKN	11	10	10
P	1.8	1.6	1.6

* Arıtma çamurunun işlenmesi sırasında oluşan süzüntünün arıtma girişine verilmesi dolayısıyla gelen ilave yükler dikkate alınmamıştır.

Yük ve konsantrasyon hesapları ile ilgili detaylara ATV -A 198E'den ulaşılabilir. Yükler tesise bağlı nüfus üzerinden yapılacaksa hesaplar ATV -A 198E standardında yer alan Tablo 1'e göre yapılabilir; atıksu debisi ise ATV -A 198E'den seçilebilir.

Çamur Süzüntü Suyundan Gelen Yük

Çürümüş çamurun yoğunlaştırılması ve susuzlaştırılması esnasında oluşan suyun amonyum konsantrasyonu oldukça yüksektir. Çamur çürütücüye giren organik azotun yaklaşık % 50'sinin amonyuma çevrildiği kabul edilebilir. Çamur süzüntü suyunun debisi kesikli ise; günde birkaç saat veya gün aşırı deşarj oluyorsa tesise düzenli bir akımda verebilmek için geçici depolamaya (dengeleme) ihtiyaç duyulur.

Süzüntü suyundan tesise gelen fosfor ve organik madde (BOİ₅ ve KOİ) yükü genellikle düşüktür. Bu nedenle hesaplarda dikkate alınmayabilir.

Birinci Kademe Arıtma

Damlatmalı filtre ve biyodisklerde tıkanmaları önlemek için çökelebilen katıların ve diğer sorunlu maddelerin sisteme beslenmeden önce olabildiğince atıksudan uzaklaştırılmaları gerekir. Bu nedenle birinci kademe arıtma ve ön çökeltim üniteleri zaruridir. Ön çökeltim tankları yerine ince elekler de kullanılabilir.

Arıtma ihtiyacına göre ön çökeltim tankının boyutlandırması da farklılık arz etmektedir. Sadece karbon giderimi ve nitrifikasyon düşünüyorsa Kuru hava debisinde ($Q_{DW, 2h}$) bekleme süresi 1.5-2 sa seçilir. Ön-denitrifikasyon yapılması düşünülürse yeterli organik karbonun sağlanabilmesi için bekleme süresinin 0.5-1 sa'te düşürülmesi gerekir.

Yağışlı hava debisi, Q_{Comb} için ön çökeltim tankında bekleme süresi 0.5 sa 'ten düşük olmamalıdır. Burada verilen değerler nüfusu 1000 kişiden az olan küçük ölçekli atıksu arıtma tesisleri için de geçerlidir.

Küçük tesislerde, ön çökeltim çamurlarının depolanması için yeterli hacim oluşturulmalıdır. Bunun için ayrı bir tank veya ön çökeltim tankı ile birleştirilmiş bir Imhoff Tankı da kullanılabilir.

Damlatmalı Filtrelerde arıtma verimi özellikle hacimsel organik yük (kg BOİ/m³.gün) ve yüzeyel hidrolik yüke (m/sa) bağlıdır.

Filtre Malzemesi

Damlatmalı filtrelerin en önemli bileşenlerinden olan dolgu malzemesi, mineral veya plastik malzemeden oluşur. Seçilen dolgu malzemesinin atıksuyun filtre malzemesi üzerine düzgün yayılmasını, aerobik işletilen damlatmalı filtrelerde havanın biyofilme ulaştırılmasını ve kopan biyofilmin atıksu ile uzaklaştırılmasını sağlamak gerekir. Filtre malzemesinin tıkanması arıtma veriminin düşmesine yol açabilir.

DIN 19557 filtre malzemesinin teorik, etkili ve biyolojik olarak aktif yüzey alanlarının ayrımını yapmaktadır. Etkili yüzey, işletme sırasında filtre malzemesinin ıslak yüzeyini ifade eder. Teorik yüzey ise filtre malzemesinin tüm yüzeyini ifade eder. Etkili yüzeyin teorik yüzeye oranı kullanma faktörü olarak tanımlanır. Biyolojik olarak aktif yüzey, metabolik verimliliğin tanımlanması için kullanılacak en doğru parametredir. Ancak bunu ölçmek mümkün değildir. Bu yüzden damlatmalı filtrelerin boyutlandırmasında hacimsel organik yük esas alınır.

Mineral dolgu malzemesi

Damlatmalı filtrelerde mineral dolgu malzemesi olarak kullanılan boyutları 40 ila 80 mm arasında değişen doğal taş, tabanda boşluk kalacak şekilde boyutları 80 ila 1500 mm arasında değişen destek malzemesinin üzerine yerleştirilir. Dolgu malzemesinin sahip olması gereken özellikleri, test yöntemleri ve filtrelere doldurulma yöntemleri DIN 19557'de verilmiştir.

Boyutları 40 ila 80 mm arasında değişen taş malzeme yaklaşık $90 \text{ m}^2/\text{m}^3$ teorik özgül yüzeye karşılık gelmektedir. Boşluk yüzdesi (yatak porozitesi) yaklaşık % 50'dir. Teorik özgül yüzeyin yaklaşık $2/3$ 'ü biyolojik olarak aktif yüzey kabul edilebilir.

Fiziksel Özellikleri

Dolgu malzemelerinin elde edilme, hazırlanma, taşınma, tesise yerleştirilme sırasında ve sonraki (kendi ağırlıkları ile son konumuna geldikleri zaman) işletme döneminde üzerinden atıksu geçtiğinde şekil ve konumunu koruması gerekir. Kumlanan, kırılan veya aşınan dolgu malzemeleri uygun değildir.

Malzeme yüzeyi mümkün olduğunca pürüzlü olmalıdır. Böylece biyokütle miktarı artarak atıksuyun filtreden geçiş süresi kısaltılabilir ve şok yükler esnasında performans kayıpları önlenir.

Dolgu malzemesi dane boyutlarının birbirine yakın olması gerekir. Böylece sarsıntıların etkisi ile küçük danelerin büyük daneler arasındaki boşlukları doldurarak su ve hava geçişini engellemesinin önüne geçilmiş olur. Yassı ve uzun şekilli daneler de uygun değildir.

Dolgu malzemesi mukavemetinin belirlenmesi için 40-80 mm'lik ortalama çaplı malzemeler kullanılarak basınç/ aşınma testi yapılır. Bu test ile alınan başlangıç numunesinin ne kadarının parçalandığı belirlenmektedir. Test sonrasında numune DIN ISO 3310-2'e göre 20 mm'lik elekten geçirilerek elek altına geçenlerin miktarı belirlenir. Bu miktarın % 5'i geçmemesi gerekir.

Dolgu malzemesinin kimyasal özellikleri ve mineral yapısı

Mineral dolgu malzemelerinde humus, kömür, biyofilm büyümesini engelleyen organik malzeme ile suda çözünen inorganik maddeler bulunmamalıdır. Ayrıca dolgu malzemesi üzerinde veya bünyesinde kum, silt, taş tozu, veya yıkanarak temizlenemeyen kirlilik ve safsızlıklar bulunmamalıdır.

Dane dağılımı

Dolgu malzemesinin dane grupları ve oranları Tablo 6.9' da verilmiştir.

Dolgu tabakasında en boy oranı 3:1'den fazla olan yassı dolgu malzemesinin tüm malzeme içerisindeki hacimsel oranı % 5'i aşmamalıdır.

Tablo 6.9. Dolgu malzemesinin dane grupları ve oranları (DIN 19557, 2004)

	<i>Dane boyut grubu</i>	<i>Büyük danelerin aşmaması gereken ağırlık oranı</i>	<i>Küçük danelerin aşmaması gereken dane oranı</i>
<i>Filtre Malzemesi</i>	16/40	10	5
	40/80		
<i>Filtre Destek Malzemesi</i>	80/150	-	

Çok fazla miktarda, yıkanarak uzaklaşabilecek, (hareket eden) dane olması halinde, bu tür maddeler filtre yatağında tıkanmalara neden olabileceği için ayrılıp uzaklaştırılmalıdır. Yıkanarak giden kısmın tüm hacimdeki malzemeye oranı % 0,5'ten daha az değildir. Ocaklardan alınan dolgu malzemeleri önce gözle kontrol edilir. Yıkanarak gidebilen madde oranı % 0,5'ten yüksek ise yıkama yapılmalıdır. Yıkama ile kaybedilen malzeme oranı çok yüksek ise malzemenin farklı bir yerden temin yoluna gidilmelidir.

Taşıma

Mümkün olduğunca az elleçleme yapılarak doğrudan tedarik yoluna gidilmelidir. Damperli kamyonla taşıma uygundur.

Yerleştirme

Dolgu malzemesinin depolama süresi kısa olmalı ve hemen filtredeki yerine yerleştirilmelidir. Don durumunda dolgu malzemesi yerleştirilmesi yapılmamalıdır. 80/150 olan destek tabakası elle yerleştirilmelidir. Taşlar dikey konumda yerleştirilmelidir. Dolgu malzemesi 500 mm'lik tabakalar halinde istenilen yükseklikte yerleştirilebilir.

Damlatmalı filtreler ile ilgili testler için numune alma prosedürü DIN EN 932-1'e göre, dane boyutunun belirlenmesinde kullanılacak yöntem ve basınç testi DIN ISO 3310-2'ye göre; dane şeklinin belirlenmesi DIN EN 933-4'e göre küçük boyuttaki parçaların belirlenmesi ve yıkanması DIN 19557'ye göre yapılmalıdır.

Plastik (Sentetik) Dolgu Malzemeleri

Plastik filtre malzemeleri çok farklı yapılara sahiptir. Bu nedenle teorik, etkili ve biyolojik olarak aktif yüzey oranları açısından oldukça farklılıklar gösterirler. Plastik filtre tedarikçileri teorik yüzey için hesap değerlerini de vermektedirler.

Fiziksel Özellikler

Dolgu malzemesinin gerekli taşıma kapasitesi işletmede ortaya çıkan şartlara göre belirlenmektedir. Bu parametreler dolgu malzemesinin kütlesi ile sistemdeki çamur ve atıksu miktarıdır. Her m² (birim) damlatmalı filtre yüzeyi için işletme yükü, dolgu yüksekliğinden bağımsızdır. İşletme yükü, organik yük, hidrolik bekletme süresi ve dolgu malzemesinin şekil ve yapısına göre belirlenir.

Dolgu malzemesinin Tablo 6.10' da gösterilen nitelikleri için ve uygun işletme şartlarında (sistem içinde çamur birikiminin olmaması) tecrübelerle göre işletme yükü 2 kN/m³ ile 5 kN/m³ arasında olmalıdır.

Dolgu malzemesinin taşıma gücü herhangi bir destek ünitesi olmaması ve en yüksek dolgu yüksekliği hali için üreticisi tarafından verilmelidir.

Her üretici/tedarikçi dolgu malzemesi için gerekli taşıma gücünü belirtmeli veya en azından aşağıdaki formüldeki taşıma gücü değerleri esas alınmalıdır.

$$T_{ert} = h \times A \times f \times s \quad (6.77)$$

Burada;

T_{erf} : gerekli en düşük taşıma gücü (kN/m²)

h : Dolgu yüksekliği (metre)

A : üretici tarafından belirtilen teorik özgül yüzey, (m²/m³)

s : emniyet faktörü

f: Biyofilmin kütleli yük faktörü - biyofilm kalınlığına bağlı olarak

Tablo 6.10. Biyofilm kalınlığına bağlı yük değişimi (DIN 19557, 2004)

Biyofilm kalınlığı (mm)	Kütleli yük (basınç) faktörü kN/m ²
1,5	0,015
2	0,02
≥3	≥0,03

30°C'nin üstündeki sıcaklıklarda malzeme yapısında değişimler (bozulmalar) söz konusu olabilmektedir (örn endüstriyel atıksular, kapalı yapı alanları). Bu tür durumların ortaya çıkabileceği koşullar malzemeyi üreten tarafından açıkça beyan edilmelidir.

Dolgu malzemeleri yapı tipine ve yapılan yüklemelerdeki oturmalara duyarlıdır. Dolgu yüksekliğinde 6 aylık düzenli yükleme ve işletme sonrası, işletmeye alınmadan önceki şartlara göre en fazla %1, düzensiz yükleme ve işletme altındaki tesislerde ise en fazla %3'lük bir değişime izin verilebilir. Malzemenin oturma kayıpları ilave malzeme takviyesi ile dengelenmelidir.

Kimyasal Özellikler

Dolgu malzemesi için kullanılan plastik malzemeler yanıcı niteliği sahiptirler.

Kullanım Özellikleri

Üretilen dolgu malzemeleri, şekillerine ve yapıldıkları malzemeye bağlı olarak kilogram başına farklı büyüklükte yüzey alanlarına sahip olmaktadır.

Üretici, ürettiği dolgu malzemesinin teorik özgül yüzey alanını belirtmeli ve doğruluğunu kanıtlamalıdır. Biyolojik olarak aktif yüzey alanı, göre işletme koşullarına göre filtre yüzey alanından değişiklik gösterir.

Yapı Gereksinimleri

Düzenli dizilişli dolgu malzemelerinde taşıyıcı tabakadaki maddelerin serbest geçiş alanları damlatmalı filtre taban alanının en az % 50'si olmalıdır. Atıksu ile biyofilm teması yatay düzlemde olacak şekilde işletilmelidir.

Düzensiz (rastgele) dizilişli dolgu malzemelerinde taşıyıcı tabakadaki maddelerin serbest geçiş alanları dolgu malzemesinin büyüklüğüne bağlıdır. Bu yüzden dolgu malzemelerinde taşıyıcı maddelerin akış alanları toplam damlatmalı filtre taban alanının en az % 25'i mertebesinde olmak zorundadır.

İnşaat esnasındaki değişikliklerde ve tıkanma tehlikesi olduğu durumlarda (dolgu malzemesindeki çeşitliliğe bağlı olarak) işletme yükünün 5kN/m³'ten büyük olması istenmez.

Yapı gereksinimi detaylarına DIN 19553'den ulaşılabilir.

Dolgu malzemesi özelliklerinin hiçbir şekilde değişmemesi 5 sene boyunca üretici firma tarafından garanti edilmelidir.

Damlatmalı Filtrede kullanılan dolgu malzemesinin özellikleri Tablo 6.11'de verilmiştir.

Tablo 6.11. Damlatmalı Filtrede kullanılan dolgu malzemesinin özellikleri (Metcalf & Eddy, 2003)

<i>Dolgu Malzemesi</i>	<i>İtibari Boyutu, cm</i>	<i>Yaklaşık Birim Hacim Ağırlığı, kg/m³</i>	<i>Yaklaşık Özgül Yüzey Alanı, m³/m²</i>	<i>Boşluk Oranı, %</i>	<i>Uygulama Alanları</i>
<i>Nehir taşı (küçük)</i>	2,5-7,5	1250-1450	60	50	N
<i>Nehir taşı (büyük)</i>	10-13	800-1000	45	60	C, CN, N
<i>Plastik-geleneksel</i>	61x61x122	30-80	90	>95	C, CN, N
<i>Plastik-yüksek spesifik yüzey alanı</i>	61x61x122	65-95	140	>94	N
<i>Plastik rastgele dolgu-geleneksel</i>	Değişken	30-60	98	80	C, CN, N
<i>Plastik rastgele dolgu- yüksek spesifik yüzey alanı</i>	Değişken	50-80	150	70	N

*Kaynak: Metcalf & Eddy, 2003

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

Karbon Giderimi için hacimsel yük değerleri

Minimum 100 m²/m³'lük teorik özgül yüzeye sahip mineral ve plastik dolgulu malzeme kullanılan damlatmalı filtrelerin boyutlandırılmasında tavsiye edilen yükleme:

$$\text{hacimsel BOI}_5 \text{ yükü, } B_{R,BOI} \leq 0,4 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{gün}) \quad (6.78)$$

Teorik özgül yüzeyi 100 m²/m³'den fazla olan plastik dolgulu damlatmalı filtrelerde 0,4 kg/(m³.gün) den yüksek hacimsel BOI₅ yükü seçmek mümkündür. Ancak bunun pilot tesislerde denenmiş olması gerekir. Teorik özgül yüzeyinin 150 m²/m³'den fazla ve hacimsel BOI₅ yükünün 0,6 kg/(m³.gün) den fazla olması önemli ölçüde verim artışı sağlamamaktadır. Teorik özgül yüzeyinin 150 m²/m³'den fazla olması durumunda, filtrede tıkanmalar da gözlenmektedir.

Nüfus eşdeğeri 50 ila 1000 kişi arasında değişen küçük ölçekli atıksu arıtma tesislerinde debi veya yük için gözlenecek pikler fazla olacağı için hacimsel BOI₅ yükünün 0,4 değerinden 0,2 kg/(m³.gün) değerine azaltılması tavsiye edilmektedir.

Nitrifikasyon için hacimsel yük değerleri

Nitrifikasyonlu damlatmalı filtrenin boyutlandırmasında, gerekli filtre hacmini karbon giderimi ve azot oksidasyonu için ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Mineral ve plastik dolgulu damlatmalı filtrelerde minimum 100 m²/m³'lik teorik özgül yüzeye sahip malzemelerin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Karbon giderimi için:

$$\text{BOI}_5 \text{ yükü, } B_{R,BOI} \leq 0,4 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{gün}) \quad (6.79)$$

Nitrifikasyon için:

$$\text{TKN yükü, } B_{R,TKN} \leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{gün}) \quad (6.80)$$

önerilmektedir.

Belirtilen bu değerlerin üzerine çıkılabilir. Ancak bunun pilot tesislerde denenmiş olması gerekir. Teorik özgül yüzeyinin 150 m²/m³'den yüksek hacimsel BOI₅ yükünün 0,6 kg/(m³.gün)'den ve hacimsel TKN yükü 0,15 kg/(m³.gün)'den fazla olması hallerinde belirgin verim (giderim) artışı gözlenmemektedir.

Nüfus eşdeğeri 50 ila 1000 kişi arasında değişen küçük ölçekli atıksu arıtma tesislerinde debi veya yük değerlerinde gözlenecek pik oranı fazla olacağı için hacimsel BOI₅ yükünün 0,4'den 0,2 kg/(m³.gün) değerine; hacimsel TKN yükü minimumda 0,1 değerinden 0,05 kg/(m³.gün) değerine azaltılması tavsiye edilmektedir.

Nitrifikasyon için iki kademeli damlatmalı filtre tasarımı yapılabilir. Bu durumda birinci kademede karbon gideriminin tamamlanacağı düşünülerek ikinci kademede hacimsel TKN yükü, mineral dolgulu sistemlerde 0,1 kg/(m³.gün)'e plastik dolgulu sistemlerde ise 0,2 kg/(m³.gün) 'e yükseltilebilir. Plastik dolgulu sistemlerde teorik özgül yüzeyi 200 m²/m³ olan malzemeler kullanılabilir. Bu tür tesislerde, azotun birinci kademede

biyokütle oluşumunda kullanılan kısmının emniyetli tarafta kalmak için hesaplarda dikkate alınmaması tavsiye edilmektedir.

Nitrifikasyonun alkalinite kısıtına girmemesi için çıkış akımındaki alkalitenin 0,5 mmol/L'den az olmaması gerekir. Bu nedenle alkalitenin işletme sırasında düzenli olarak ölçülmesi gerekir.

Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon için hacimsel yük değerleri

Denitrifikasyonun damlatmalı filtrede yapabilmesi için uygulanabilecek sistemler aşağıdaki gibidir:

- Nitrat içeren atıksuyun damlatmalı filtreye geri devri ile eş zamanlı denitrifikasyon yapılması
- Anoksik işletilen ön denitrifikasyon sistemi
 - Sabit yataklı reaktör (damlatmalı filtre)
 - Ara çökeltim tankı ile birlikte aktif çamur tankı
- Harici karbon kaynağı ilavesi ile son denitrifikasyon sistemi
 - Sabit yataklı reaktör
 - Aktif çamur tankı

Burada, en verimli sistem olan ön denitrifikasyonlu damlatmalı filtrenin tasarımı açıklanmıştır.

Anoksik damlatmalı filtreye hava girişini önlemek amacı ile filtre üzerinin ve süzüntü toplama bölgesindeki hava kanallarının kapanması gerekir. Böylece geri devir akımından gelen nitratın mekanik olarak arıtılan ham atıksu ile birlikte anoksik ortamda denitrifiye olması sağlanır.

Damlatmalı filtre dolgu malzemesinin kapalı hacme alınması tıkanma tehlikesi ile birlikte yapıda statik problemlere de yol açabilir. Denitrifikasyonlu damlatmalı filtre çıkışı ara çökeltim tankına verilebileceği gibi doğrudan nitrifikasyon yapan aktif çamur veya damlatmalı filtre reaktörüne de verilebilir.

Damlatmalı filtrede yapılacak denitrifikasyon için boyutlandırma kriterleri aşağıdaki gibidir:

- BOI_5 hacimsel yüke bağlı denitrifikasyon kapasiteleri Tablo 6.12'de verilmiştir. Bun göre ara çökeltim tankının yapılması BOI_5 giderim verimlerini artırmaktadır,
- Denitrifiye edilecek günlük ortalama nitrat konsantrasyonu:
$$S_{NO3,D} = C_{N,InB} - S_{orgN,ESST} - S_{NH4,ESST} - S_{NO3,ESST} - X_{orgN,BM}, \quad \text{mg/L} \quad (6.81)$$

Giriş azot konsantrasyonu, $C_{N,InB}$, olup ilgili diğer değerler $T=12^\circ\text{C}$ sıcaklık hali için alınmalıdır. Yıl içerisinde yüksek sıcaklıklar gözlenirse buna bağlı olarak $C_{N,InB}:C_{BOD,InB}$ oranı da yükselecektir. Bu nedenle farklı yükleme durumlarının göz önünde bulundurulması gerekir.

Tablo 6.12. Denitrifikasyon hacmi, VTF, D'nin belirlenmesi için tavsiye edilen değerler (ATV -A 281 E, 2001)

<i>BOİ₅ hacimsel yükü</i>	<i>Denitrifikasyon kapasitesi</i>	<i>BOİ₅ giderimi Ara çökeltimsiz</i>	<i>BOİ₅ giderimi Ara çökeltimli</i>
<i>kg/m³.gün</i>	<i>S_{NO3,D}/C_{BOD,InB}</i>	<i>%</i>	<i>%</i>
<i>0,2</i>	<i>0,14</i>	<i>60</i>	<i>80</i>
<i>0,6</i>	<i>0,10</i>	<i>45</i>	<i>65</i>
<i>1,0</i>	<i>0,08</i>	<i>40</i>	<i>60</i>

* Bu değerler $\geq 12^{\circ}\text{C}$ için geçerlidir. Denitrifikasyon yapan damlatmalı filtre çıkışındaki nitrat konsantrasyonu $\geq 2 \text{ mg/L}$ 'dir. Ara değerler enterpolasyon ile bulunabilir.

Tipik evsel atıksulardaki giriş nitrat konsantrasyonu genellikle ihmal edilebilecek seviyede düşüktür. Nitrat içeren yeraltı suyunun kanala sızması ile veya ticari, endüstriyel tesislerden özel olarak nitrat deşarjı varsa $S_{\text{NO3,InB}}$ 'yi $C_{\text{N,InB}}$ 'ye dahil etmek gerekir.

Anaerobik çamur çürütme ve mekanik susuzlaştırma birimleri olan tesislerde, bu tesislerden gelen ayrı bir akımda ayrıca bir arıtma yapılmıyor ise çamur süzöntü suyunun azot konsantrasyonu (yükü), $C_{\text{N,InB}}$, damlatmalı filtre giriş akımı yüküne dahil edilmelidir.

- Çıkış akımında organik azot değeri $S_{\text{orgN,ESST}} = 2 \text{ mg/L}$ olacak şekilde uygulanmalıdır. Azot içeriği yüksek bir deşarjın tesise gelmesi halinde bu değer daha yüksek seçilmelidir. Emniyetli tarafta kalmak için boyutlandırmada çıkış akımındaki amonyum içeriği $S_{\text{NH4,ESST}} = 0$ kabul edilmelidir. Biyokütle için gerekli azotun hesabı $X_{\text{orgN,BM}} = 0,03 \cdot C_{\text{BOD,InB}}$ şeklinde yapılmalıdır,
- Çıkış akımındaki nitrat konsantrasyonu günlük ortalama değere göre belirlenmelidir. Analizler rastgele zamanlarda alınan tekil numuneler veya 2 saatlik kompozit numunelerde yapılıyor ise gözlem değeri olarak (çıkış akımında inorganik azot, $S_{\text{InorgN,MV}}$) oldukça düşük konsantrasyonlar seçilmelidir. Giriş yükünün geniş aralıklarda değiştiği tesislerde düşük değerler seçilmekle birlikte pratikte $S_{\text{NO3,ESST}} = 0,6-0,8 \cdot S_{\text{InorgN,MV}}$ alınır,
- Yüzeysel hidrolik yük $q_{\text{A,TF}} \leq 3 \text{ m/sa}$,
- Damlatmalı filtreye çok yüksek oksijen transferinden kaçınılmalıdır. Bu nedenle geri devir oranı her seferinde optimize edilmeli ve $RR_{\text{DW}} = 3$ 'ü geçmemelidir.

Sonraki adımda (ikinci kademedede) yer alacak nitrifikasyon prosesinde içsel geri devrin doğrudan damlatmalı filtrenin çıkışından alınması halinde, çökeltim tankına gelecek hidrolik yük azaltılır. Ancak içsel geri devrin ön çökeltim tankı üzerinden yapılması daha faydalı olabilir. Böylece denitrifikasyon ön çökeltim tankında başlamış olur. Bu durumda ön çökeltim tankına gelecek ek hidrolik yükün de dikkate alınması gerekir.

Sonraki adımda (ikinci kademedede) yer alacak nitrifikasyonlu aktif çamur sisteminde içsel geri devir genellikle son çökeltim tankı çıkışından alınır. Son çökeltim tankının hesabında bu husus dikkate alınmalıdır.

Denitrifikasyonlu damlatmalı filtre tasarım veya işletiminde kapalı olan sistemin açılması ile oksijene maruz kalma süresi büyük önem arz etmektedir. Sistemin oksijeni tekrar tüketip eski performansına ulaşması zaman alacağı için bu hususa dikkat edilmelidir.

Farklı Damlatmalı Filtre Uygulamaları için Tasarım Kriterleri Tablo 6.13'de verilmiştir.

Tablo 6.13. Farklı Damlatmalı Filtre Uygulamaları için Tasarım Kriterleri (Metcalf & Eddy, 2003)

Tasarım Parametreleri	Düşük veya Standart Hızlı	Orta Hızlı	Yüksek Hızlı	Yüksek Hızlı	Pürüzlü
Dolgu Malzemesi	Taş	Taş	Taş	Plastik	Taş/plastik
Hidrolik Yükleme, m³/m².gün	1-4	4-10	10-40	10-75	40-200
Organik Yük, kg BOİ/m³.gün	0,07-0,22	0,24-0,48	0,4-2,4	0,6-3,2	>1,5
Geri Devir Oranı	0	0-1	1-2	1-2	0-2
Filtrede gözlenen uçucu canlılar	Çok	Değişken	Az	Az	Az
Biyofilmin kopması	Aralıklı	Aralıklı	Sürekli	Sürekli	Sürekli
Derinlik, m	1,8-2,4	1,8-2,4	1,8-2,4	3,0-12,2	0,9-6
BOİ Giderim Verimi, %	80-90	50-80	50-90	60-90	40-70
Nitrifikasyon	İyi	Kısmi	Yok	Yok	Yok
Gerekli Güç, kW/10³ m³	2-4	2-8	6-10	6-10	10-20

Damlatmalı filtrelere, tasarım maksadına bağlı olarak uygulanabilecek yükler ve beklenen çıkış suyu kalitesi Tablo 6.14'de verilmiştir.

Tablo 6.14. Damlatmalı filtreler için tipik tasarım yükleri ve beklenen çıkış suyu kalitesi (Metcalf & Eddy, 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	15-30
			TSS, mg/L	15-30
BOİ giderimi ve nitrifikasyonu birlikte yapan sistem	kg BOİ/m ³ .gün	0,1-0,3	BOİ, mg/L	<10
	g TKN/m ² .gün	0,2-1,0	NH ₄ -N, mg/L	<3
İkincil Arıtma Sonrası Nitrifikasyon	g NH ₄ -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

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 Filtre Dolgu Yüksekliği

Damlatmalı filtrelere uygulanan , özgül su yüksekliği S_k (uzunluk), aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$S_K = \frac{q_A \times 1000}{a \times n} \quad [\text{mm}] \quad (6.82)$$

q_A : Damlatmalı filtrelerde yüzeysel hidrolik yükü (yüzey yükü) (m³/m² saat)

a: Dağıtım kolu sayısı

n: Dağıtıcı dönme sayısı (saat⁻¹ cinsinden)

Damlatmalı filtrelerdeki özgül su yüksekliği dolmuş yüksekliği dağıtım kolu sayısına bağlı olarak değişmektedir.

Geri devir oranı ve yüzeysel yük

Döner dağıtıcıdaki BOİ₅ konsantrasyonu C_{BOI,InB,RF} 150 mg/L'den az olacak şekilde çıkış akımı geri devri sağlanmalıdır. Giriş debisindeki geniş salınımların kısmi olarak dengelenmesi için, giriş BOİ₅ ≤ 400 mg/L olduğu durumlarda geri devir oranının RR_{DW} ≤ 1 olması yeterlidir.

Damlatmalı filtre yüzey alanı ve dolgu yüksekliği;

$$A_{TF} = \frac{Q_{DW} \cdot (1 + RR_{DW})}{q_{A,TF}} \quad [m^2] \quad (6.83)$$

Filtre yüksekliği:

$$h_{TF} = \frac{V_{TF}}{A_{TF}} \quad [m] \quad (6.84)$$

ifadeleriyle hesaplanır.

Damlatmalı filtrede mineral dolgu malzemesi kullanılması halinde en uygun dolgu yüksekliği 4 m'dir. Plastik dolgu malzemesi halinde düşey yönde yüksek su iletimi sağlanacağından daha büyük dolgu yüksekliklerinin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Yüzey yükü, q_{A,TF}, Q_{DW}·(1+RR_{DW})'ye bağlıdır ve mineral malzemeli dolgularda 0,4 m/sa, plastik malzemeli dolgularda 0,8 m/sa olmalıdır. Dolgu yüksekliği en az 2 m olabilir. Bu durumda filtre dozlama ünitesinin beslemeyi küçük damlacıklar halinde yapması, filtre malzemesinin özenle seçilmesi ve yüzey yükünün en fazla 0,4 m/sa olması gerekir. Plastik dolgulu damlatmalı filtrelerde yükseklik boyunca daha iyi atıksu dağıtımı yapılabilmektedir.

Dozlama Hızı

Dozlama hızı, döner dağıtıcının damlatmalı filtre üzerinden her bir geçişinde filtreye beslenen atıksuyun su yüksekliği olarak ifade edilir. Dağıtıcının yüksek hızla dönmesi halinde dozlama hızı düşük olacaktır.

Daha önceleri, dağıtıcının bir tam devri için dönme hızı 0,5-2 dak alınırken, bu değer günümüzde 2 veya dört kollu dağıtıcı için 10-60 sn alınmaktadır (Metcalf & Eddy, 2003).

Yıkama (sürüklenme) hızı

Damlatmalı filtre yıkama (sürüklenme) hızının belirlenmesinde yüzey yükünde olduğu gibi döner dağıtıcı tasarımının da etkisi vardır.

$$F_F = \frac{q_{A,TF} \cdot 1000}{a \cdot n} \quad [mm/dağıtıcı \text{ kol}] \quad (6.85)$$

Etkili çamur giderimi (biyofilm sürüklemesi) için F_F değerinin 8 mm'de tutulması gerekir (Tablo 6.15). Yüksekliği fazla olan damlatmalı filtrelerde, filtre üst kısmındaki yoğun bakteri büyümesinden kaynaklanan tıkanmaları önlemek için daha güçlü yüksek yıkama dozları uygulanmalıdır. Plastik dolgu malzemeli sistemlerde özgül yüzey alanının artması ile uygulanacak yıkama hızının da artması gerekir.

Tablo 6.15. Damlatmalı filtre'de BOD yüklemesine bağlı olarak yıkama (sürükleme) hızları (Metcalf & Eddy, 2003)

<i>Organik yük, kg BOD/m³.gün</i>	<i>İşletme hızı, mm/geçiş</i>	<i>Yıkama hızı, mm/geçiş</i>
0,25	10-30	≥200
0,50	15-45	≥200
1,00	30-90	≥300
2,00	40-120	≥400
3,00	60-180	≥600
4,00	80-240	≥800

mm/geçiş: her bir dağıtma kolunun her geçişinde vereceği atıksu yüksekliği

Fosfor Giderimi

Sabit yataklı sistemlerde P giderimi sadece kimyasal çöktürme ile gerçekleştirilebilir. Çöktürme için kullanılacak kimyasalın son çökeltim ve/veya ön çökeltim tankı öncesinde verilmesi tavsiye edilir. Kimyasal dozu deneme yolu ile belirlenir. Ön çökeltim tankı öncesi uygulamada, kimyasal doz, mikrobiyal büyüme için atıksuda bulunması gerekli P miktarı da dikkate alınarak belirlenir.

Damlatmalı filtre ve döner biyodisklerin düşük pH değerlerine olan hassasiyeti olduğundan alkaliniteyi artırmak için herhangi bir işleme gerek yoktur. Ancak asidik P çöktürücülerinin kullanılması halinde son çökeltim tankı çıkışında yeterli alkanitenin kaldığından emin olmak gerekir. Bu durumda alkali çöktürücü veya nötralizasyon çözeltilerinin kullanılması gerekir.

Fazla Çamur Üretimi

Fazla çamur üretimi atıksuyun türüne, uygulanan yüke ve hidrolik şartlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Gözlenebilecek fazla çamur üretimi burada verilen yükleme değerlerine bağlı olarak 0,75 kg AKM/kg BO₅ alınabilir. Kimyasal çöktürme sonucu oluşan çamurun hesabı için ATV-A 202'ye (1992) bakılmalıdır.

Son Çökeltim Tankı

Aktif çamur sistemi son çökeltim tankı ile karşılaştırıldığında, damlatmalı filtre ve Döner Biyodisklerden çıkan çamur, miktarca daha az, çökebilirlik özelliği daha iyidir. Ancak biyofilmden kopan küçük partiküllerin çökmesi, sistem verimini belirlemektedir. Damlatmalı filtre ve döner biyodiskler çıkış akımında düşük (30-100 mg/L) AKM konsantrasyonu gözlenmekte olup genelde koagülasyon ve çöktürme işlemine gerek duyulmamaktadır. Ancak yüksek katı madde giderimi istendiğinde kimyasal destekli çökeltim uygulanabilir. Partikül konsantrasyonu ve koagülasyon etkisi çamurun geri devri ile önemli miktarda artırılabilir. Son çökeltimdeki katı madde giderimi organik polimerler ile de artırılabilir (ATV-M 274, 1999).

6.3.1.5. Damlatmalı filtrelerin proses tasarımı

Aşağıda verilen prosedür izlenerek pratik bir boyutlandırma yapılabilir.

Gerekli filtre hacmi, (V_{TF}), hedef arıtma seviyesine bağlı olarak belirlenir.

Damlatmalı filtre hacmi hesabında arıtma seviyesine bağlı olarak, karbonlu madde gideriminde hacimsel BOI_5 yük ve nitrifikasyon olması halinde ise hacimsel TKN yükü $kg/(m^3.gün)$ kullanılmalıdır.

Hacim hesabı, karbon giderimi için:

$$V_{TF,C} = \frac{B_{d,BOI,InB}}{B_{R,BOI}} \quad [m^3] \quad (6.86)$$

Nitrifikasyon için:

$$V_{TF,N} = \frac{B_{d,TKN,InB}}{B_{R,TKN}} \quad [m^3] \quad (6.87)$$

olmak üzere,

Gerekli toplam hacim:

$$V_{TF} = V_{TF,C} + V_{TF,N} \quad [m^3] \quad (6.88)$$

bulunur.

Geri devir olmaksızın döner dağıtıcıdaki ortalama BOI konsantrasyonu,

$$C_{BOI,InB} = \frac{B_{d,BOI,InB} \cdot 1.000}{Q_d} \quad [mg/l] \quad (6.89)$$

eşitliğinden bulunur.

Döner dağıtıcıda istenilen $C_{BOI,InB,RF}$ konsantrasyonunu sağlamak için gerekli devir oranının belirlenmesi ($C_{BOI,InB,RF} \leq 150 \text{ mg/l}$),

$$RR_{DW} \geq \left(\frac{C_{BOI,InB}}{C_{BOI,InB,RF}} \right) - 1 \quad (6.90)$$

ifadesinden bulunur.

Maksimum giriş kuru hava debisi ve geri devir oranını kullanarak maksimum filtre hidrolik yükü,

$$Q_{TF} = Q_{DW} \cdot (1 + RR_{DW}) \quad [m^3/sa] \quad (6.91)$$

Dolgu yüksekliğinin seçilmesi, h_{TF} (m).

Malzeme tipi ve yapısal gereklere göre seçilir.
Gerekli yüzey alanının belirlenmesi,

$$A_{TF} = \frac{V_{TF}}{h_{TF}} \quad [m^2] \quad (6.92)$$

Yüzey yükünün kontrolü,

$$q_{A,TF} = \frac{Q_{DW} \cdot (1 + RR_{DW})}{A_{TF}} \quad [m/sa] \quad (6.93)$$

Yüzey yükü 0,4 ila 0,8 m/sa arasında olmalıdır. Plastik dolgulu sistemde üst limit korunmalıdır. Bu limit değerler sağlanmıyor ise hesaplar yeni yükseklik ve yeni geri devir oranı değerleri seçilerek tekrarlanmalıdır.

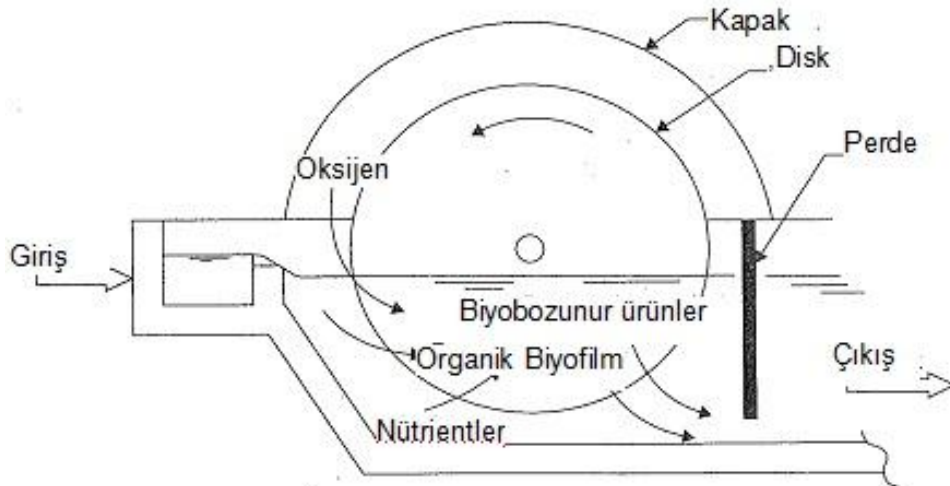
Yıkama (sürüklenme) hızını da sağlamak koşulu ile dağıtıcı kol sayısı belirlenmeli.

Gece saatleri boyunca da döner dağıtıcının sürekli çalıştırılması damlatmalı filtre malzemesi yüzeyinin homojen bir şekilde ıslak tutulması sağlanmalıdır.

6.3.2. Döner Biyodiskler

6.3.2.1. Döner Biyodisklerin genel tanıtımı ve amacı

Döner Biyodisklerde atıksuyun arıtımı, disk yüzeyinde tutunan biyokütle ile gerçekleşmektedir. Biyodiskler oluk şeklindeki yapıya gelen atıksuya kısmi olarak batırılarak ve yavaşça döndürülerek çalıştırılır. Bu dönüş esnasında biyodisk üzerindeki biyokütle, hava ve atıksuya dönüşümlü olarak temas ettirilir. (Şekil 6.10) (WEF, 2011).



Şekil 6.10. Döner Biyodisk en kesiti ve bileşenleri (WEF, 2011)

6.3.2.2. Genel ihtiyaçlar

Damlatmalı filtreler için verilen genel ihtiyaçlar döner biyodiskler için de geçerlidir. Bunun yanında aşağıda verilen koşulların da sağlanması gerekir:

- Disklerin atıksuya temas ettirilmesinden sonra su seviyesi üzerinde de hava ile temas etmesi gerekir,
- Hava ile temas sırasında havuz içerisinde biyofilmin atıksuya batmış durumunda aerobik koşullarda tutulması için yeterli oksijenin sağlanması gerekir. Bu koşulları sağlayabilmek için biyodisklerde gerekli minimum dönme hızı korunmalıdır,
- Dönüş esnasında yeterli oksijenin sağlanması ve nitrifikasyonda oksijenin kısıt olmaması için disk yüzeylerinin en az %40'ının suyun dışında kalması gerekir,
- Havuz içerisindeki atıksuda da aktif çamur sistemine benzer floklu yapıda oluşumlar gözlenebilir. Ancak boyutlandırmada arıtma performansını az miktarda etkileyeceği için bu tür mikrobiyal oluşum dikkate alınmaz,
- Havuz yapısında, biyodiskler ve/veya biyodiskin dönüş hızı uygun seçilerek çamurun çökmesini önleyici yeterli türbülans sağlanmalıdır,
- Üzeri açık biyodisklerin kış döneminde olası buzlanmaya karşı kapatılması gerekir. Kapalı durumda gaz formundaki metabolik ürünler sistemin hava boşluğunda birikirler. Gaz ürünlerinin birikimini önlemek için yeterli miktarda oksijenin sağlanması ve biyodiskin üzerindeki yeterli oranda değiştiğinden emin olmak gerekmektedir,
- En iyi verim kompakt biyodisk imalatı ile gerçekleştirilir,
- Sistemde yapıda fazla çamurun güvenli bir şekilde uzaklaştırılması, biyofilme oksijen transferinin temini ve enerji tüketiminin en az olmasının sağlanması gerekir.

6.3.2.3. Döner Biyodisklerin tipleri ve ünite sayıları

Döner Biyodiskler, biyofilm yüzeyine bağlı olarak diskli ve silindirik yapıda tasarlanabilir.

Üretici firma tarafından modüler olarak üretilen tek bir üniteye kısıtlı biyofilm yüzey alanı olacağı için seri bağlı kaskatlı yapıda çok sayıda ünitenin kullanımı gerekmektedir. Karbon giderimi için en az 2 seri bağlı ünite olması gerekirken, nitrifikasyon için en az 4 seri bağlı ünite tavsiye edilmektedir. Deşarj kriterlerine bağlı olarak kaskat sayısı artırılabilir.

6.3.2.4. Döner Biyodisklerin boyutlandırma kriterleri

Birinci kademe arıtma birimleri ve son çökeltim tankı için boyutlandırma kriterleri damlatmalı filtreler ile aynıdır.

Kaskat düzeni ile değişik yüzeysel veya hacimsel yükler ile farklı yoğunluktaki taşıyıcı biyofilm yüzeyinin seçilebilmesine imkân verilir.

Böylece her bir reaktör sisteminde atıksudaki kirletici maddenin giderim oranına bağlı olarak farklı biyofilm oluşumları gözlenir. Bunun yanında kaskat düzeni pik yüklerin etkisini de azaltır.

Kaskat düzeninde en sondaki biyodiskin çıkış akımı ön çökeltim tankının girişine geri beslenebilir. Böylece biyodisklerin tıkanma riski ve sisteme gelecek pik yükler azalır. Ancak bu durumda gözlenecek ek hidrolik yük dikkate alınmalıdır.

Biyofilm oluşumunun gözlemlendiği düz veya pürüzlü yüzeye sahip diskler bir şaft üzerine monte edilir. Diskler daire dilimlerden oluşmakta olup birbirlerine kırımlar ile bağlanabilmektedir. Diskler normalde düz veya oluklu yapıda da olabilir. Diskler arasındaki mesafe, mesafe koruyucu malzeme ile ayarlanabilir. Diskler arasındaki mesafe kaskat yapısındaki ilgili kademedeki organik yüzey yüküne bağlıdır. Disk yüzeyi yaklaşık olarak biyolojik aktif yüzeye karşılık gelir.

Pik yüklerin etkisini önlemek için teorik biyofilm yüzeyi 4 L/m^2 'nin altında olmamalıdır. Boyutlandırma için aşağıda verilenlerin belirlenmesi gerekir:

- Kaskat sayısı
- Kullanılan disk malzemesi ve disklerin teorik özgül yüzeyleri.
- Yüksek yüklemelerin kokuya yol açması durumunda kaskatın ilk kademesindeki yüzeysel BOI_5 yükünün $40 \text{ g/m}^2\cdot\text{gün}$ değeri ile sınırlandırılması tavsiye edilir.
- Döner biyodisklerde bir kademedeki yüzeysel BOI_5 yükü $\geq 20 \text{ g/m}^2\cdot\text{gün}$ ise diskler arası mesafe en az 18 mm olmalıdır. Teorik özgül yüzeyi $\leq 100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ olan silindirik biyodisklerde de aynı kriter uygulanabilir.

Diskli biyodisklerde bir kademedeki yüzeysel BOI_5 yükü $< 20 \text{ g/m}^2\cdot\text{gün}$ ise diskler arası mesafe 15 mm ve teorik özgül yüzeyi $\leq 150 \text{ m}^2/\text{m}^3$ tavsiye edilir.

Karbon giderimi ve nitrifikasyon reaktörleri arasına ara çökeltim tankı teşkili faydalı olabilir. Böylece karbon gideriminden gelen fazla çamur sistemden ayrılarak nitrifikasyonun verimi artırılabilir. Bu tür bir nitrifikasyon sisteminde diskler arası mesafe 10 mm 'ye düşürülebilir ve silindirlerin teorik özgül yüzeyi en fazla $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ olacak şekilde artırılabilir.

Yüzeysel BOI_5 yükü, B_A , arıtma hedefine bağlı olarak gerekli teorik yüzeyin belirlenmesinde en temel parametredir.

Teorik yüzeyin boyutlandırılması için 2 ila 4 kademeli kaskat sistemi kabul edilmiştir.

Disk yapısındaki döner biyodiskler için:

2 kademeli kaskat halinde:

$$B_{A,BOI} \leq 8 \text{ g/m}^2\cdot\text{gün} \quad (6.94)$$

3 ve 4 kademeli kaskatlar halinde:

$$B_{A,BOI} \leq 10 \text{ g/m}^2\cdot\text{gün} \text{ esas alınır.} \quad (6.95)$$

Küçük ölçekli atıksu arıtma tesisinde yüksek pik yük ve debiler gözleneceği için 50 ila 1000 nüfus eşdeğerinde yüzeysel BOI_5 yükü 8 ve $10 \text{ g/m}^2\cdot\text{gün}$ değerinden $4 \text{ g/m}^2\cdot\text{gün}$ değerine lineer şekilde azaltılarak (doğrusal enterpolasyon) kullanılmalıdır.

Nitrifikasyon için 3 veya 4 kademeli kaskat yapılması tavsiye edilmektedir. Teorik özgül yüzeyin hesabında aşağıdaki değerler kullanılmalıdır.

Disk yapısı dışındaki tiplerde döner biyodiskler için:

3 kademeli kaskat tesisler:

$$B_{A,BOI} \leq 8 \text{ g/m}^2 \cdot \text{gün ve } B_{A,TKN} \leq 1,6 \text{ g/m}^2 \cdot \text{gün} \quad (6.96)$$

4 kademeli kaskat tesisler:

$$B_{A,BOI} \leq 10 \text{ g/m}^2 \cdot \text{gün ve } B_{A,TKN} \leq 2 \text{ g/m}^2 \cdot \text{gün} \quad (6.97)$$

Küçük ölçekli atıksu arıtma tesisinde yüksek pik yükü ve debisi gözleneceği için 50 ila 1000 ila nüfus eşdeğerinde yüzeysel BOİ₅ yükü 8 ve 10 g/m².gün değerinden 4 g/m².gün değerine TKN yüzey yükü 1,6 ve 2 g/m².gün değerinden 1,2 g/m².gün değerine lineer şekilde azaltılarak kullanılmalıdır.

Biyofilm malzemesinin özgül biyolojik aktif yüzeyi, teorik özgül yüzeyin %70'inden daha fazla ise döner biyodisklerin boyutlandırmasında yukarıda verilen en yüksek yüzey yükü değerleri kullanılabilir.

Nitrifikasyonun alkalinite kısıtına girmemesi için çıkış akımındaki alkalitenin 0,5 mmol/L'den az olmaması gerekir. Bu nedenle işletme sırasında alkalitenin düzenli olarak ölçülmesi gerekir.

Tank hacmi, biyofilm yüzeyine bağlı olarak belirlenir. BOİ₅ konsantrasyonu 300 mg/L'ye kadar olan sistemlerde tank hacmi 4,9 L/m² biyofilm yüzeyi esası ile bulunur. Bu değerler üzerindeki tank hacimlerinde daha yüksek arıtma verimi sağlanamaz.

Hidrolik bekletme süresi karbon giderimi için 40-120 dk iken nitrifikasyon olması halinde 90-250 dk olmalıdır.

Döner biyodisklerin tipik tasarım kriterleri Tablo 6.16'da verilmiştir.

Tablo 6.16. Döner biyodisklerin tipik tasarım kriterleri (Metcalf & Eddy, 2003)

Parametre	Birim	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 Yük	g sBOD/m ² .gün	4-10	2,5-8	0,5-1,0
	g BOD/m ² .gün	8-20	5-16	1-2
Maksimum ilk kademe yükü	g sBOD/m ² .gün	12-15	12-15	
	g BOD/m ² .gün	24-30	24-30	
NH ₄ -N yükü	g N/m ² .gün		0,75-1,5	
Hidrolik Bekletme Süresi	sa	0,7-1,5	1,5-4	1,2-3
Çıkış BOİ	mg/L	15-30	7-15	7-15
Çıkış NH ₄ -N	mg/L		< 2	1-2

*Atıksu sıcaklığı 13°C'nin üzerinde olması halinde

6.3.2.5. Döner Biyodisklerin proses tasarımı

Gerekli teorik yüzey, A_{RC} seçilecek kaskat sayısına göre aşağıda verilen denklem ile bulunabilir.

$$A_{RC,C} = \frac{B_{d,BOI,InB} \cdot 1000}{B_{A,BOI}} \quad [\text{m}^2] \quad (6.98)$$

Nitrifikasyon için bu değer:

$$A_{RC,N} = \frac{B_{d,TKN,InB} \cdot 1000}{B_{A,TKN}} [m^2] \quad (6.99)$$

olur.

Gerekli toplam teorik yüzey reaktöre gelen BOI_5 yükü ve TKN yükünden hesaplanacağı gibi izin verilen yüzey yükü, $B_{A,BOD}$ ve $B_{A,TKN}$ 'den de hesaplanabilir.

$$A_{RC} = A_{RC,C} + A_{RC,N} \quad [m^2] \quad (6.100)$$

Üretici firmanın belirlediği standart biyodisk yüzey alanı seçilir. Buna göre birbirine paralel kaç ünitenin gerektiği hesaplanır.

Biyodisklerin yerleştirileceği tank hacmi belirlenir.

$$V_{tank} = 4,9 \frac{L}{m^2} \times A_{tek\ biyodisk} (m^2) / 1000 \quad [m^3] \quad (6.101)$$

Hidrolik bekletme süresi kontrol edilir.

Tek Kademeli Damlatmalı Filtre ve Döner Biyodiskler İçin Son Çökeltim Tankı Tasarımı

Tek kademeli damlatmalı filtre ve Döner biyodiskler için gerekli son çökeltim tankı tasarımında hidrolik kriterler olan yüzey yükü hızı (q_A) ve bekletme süresi (t_{SST}) kullanılacaktır.

Son çökeltim tankının yüzey yükü, tüm geri devir debileri de alınarak dikkate alarak çökeltim tankına gelen maksimum saatlik debi (Q_{SST}) nin son çökeltim tankının yüzey alanına (A_{SST}) bölünmesi ile bulunur. Bu nedenle yüzey yükü:

$$q_{A,SST} \leq \frac{Q_{SST}}{A_{SST}} \quad \left[\frac{m^3}{m^2 sa} \text{ veya } \frac{m}{sa} \right] \quad (6.102)$$

olmalı ve,

$$Q_{SST} = Q_{DW}(1 + RR_{DW}) \text{ veya } Q_{SST} = Q_{ww,h} \quad (6.103)$$

debilerine uygun olmalıdır.

Boyutlandırmada seçilen geri devir oranının aşılması sistem performansı açısından önemlidir. Bu oranı sağlayabilmek için geri devir pompaları ve vanalarının uygun bir sistem ile kontrol edilebilir olması gerekir.

Damlatmalı filtre ve Döner biyodiskler için uygulanacak son çökeltim tankının yüzey yükü, çökeltim AKM çıkışı $SS_e < 20$ mg/L olması için 0,8 m/sa'ti aşmamalıdır. Gerekli tank yüzey alanı:

$$A_{SST} = \frac{Q_{SST}}{\max q_{A,SST}} \quad [m^2] \quad (6.104)$$

Çökeltim tankındaki hidrolik bekletme süresi:

$$t_{SST} = \frac{V_{SST}}{Q_{SST}} \quad [sa] \quad (6.105)$$

bu değer 2,5 sa'ten az olmamalıdır.

Gerekli tank hacmi:

$$V_{SST} = t_{SST} Q_{SST} \quad [m^3] \quad (6.106)$$

Minimum su derinliği 2 m olmalıdır (dairesel kesitli tanklarda yarı çapın 2/3'ündeki derinlik).

Son çökeltim tankı giriş akımına fosfor çöktürmek üzere kimyasal veya polimer eklemesi yapılıyorsa ve minimum havuz derinliği $h_{SST} \geq 2,5$ m (dairesel kesitli tanklarda yarı çapın 2/3'ündeki derinlik) ise yüzey yükü 1 m/sa değerine yükseltilebilir.

Ara çökeltim tankı veya kısa bekletme süreli durumlarda (pik debiler için) yüzey yükü 1,5-2 m/sa seçilebilir. Son çökeltim tankında çökebilirlik için şartlar uygun değil ise (Q_{WW} debisinde ön çökeltim tankının $t_{SST} < 0,75$ sa, atıksu debisinin $2,2Q_{DW}$ 'den büyük olması, Q_{DW} 'de küçük geri devir oranları olması durumunda) tankın yüzey yükü % 20 oranında azaltılmalıdır.

6.4. Kaynaklar

ATV - A 126E (1993). German ATV Rules and Standards, Principles for Wastewater Treatment in Sewage Treatment Plants according to the Activated Sludge Process with Joint Sludge Stabilisation with Connection Values between 500 and 5.000 Total Number of Inhabitants and Population Equivalents.

ATV - A 257E (1989). German ATV Rules and Standards, Principles for the Dimensioning of Wastewater lagoons and In-line Biological Filters or Biological Contactors.

ATV - A 202 (1992). German ATV Rules and Standards, Processes for the Removal of Phosphorus from Wastewater.

ATV - A 131E (2000), German ATV Rules and Standards, Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants.

ATV - A 265E (2000), German ATV Rules and Standards, Advisory Leaflet: Regulation of Oxygen Transfer with the Activated Sludge Process.

ATV - A 198E (2003). German ATV Rules and Standards, Standardisation and Derivation of Dimensioning Values for Wastewater Facilities.

ATV - M 201 E, (1989). German ATV Rules and Standards, Principles for Dimensioning, Construction and Operation of Wastewater Lagoons for Communal Wastewater.

ATV – M 274 (1999). German ATV Rules and Standards, Employment of Organic Polymers in Wastewater Treatment

ATV 281 E (2001). German ATV Rules and Standards, Dimensioning of Trickling filters and Rotating Biological Contactors.

DIN 18202, Toleranzen im Hochbau Bauwerke, Deutsche Norm.

DIN 19553 (2002). Wastewater Treatment Plants, —Trickling Filter with Rotary Distributor Main Dimensions And Equipment, Deutsche Norm.

DIN 19557 (2004). Wastewater Treatment Plants,—Mineral Filter Media and Plastic Media For Percolating Filters –Requirements, Testing, Delivery, Placing, Deutsche Norm.
DIN 2501-1 1972). Flanges; Connecting Dimensions, Deutsche Norm.

DIN EN 12255-1 (2002). Wastewater Treatment Plants, Part 1: General Construction Principles, Deutsche Norm.

DIN EN 12255-10 (2001). Wastewater Treatment Plants, Part 10: Safety principles, Deutsche Norm.

DIN EN 12255-11 (2001). Wastewater Treatment Plants, Part 11: General data required, Deutsche Norm.

DIN EN 12255-3 (2001) Wastewater Treatment Plants, Part 3: Preliminary treatment, Deutsche Norm.

DIN EN 12255-6 (2008). Small Wastewater Treatment Systems for up to 50 Pt, Part 6: Prefabricated Treatment Units for Septic Tank Effluent, Deutsche Norm.

DIN EN 12255-7 (2002). Wastewater Treatment Plant, Part 7: Biological Fixed-Film Reactors, Deutsche Norm.

DIN EN 932-1 (1996). Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen — Teil 1: Probenahmeverfahren; Deutsche Fassung, Deutsche Norm.

DIN EN 933-4 (1999). Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen — Teil 4: Bestimmung der Kornform — Kornformkennungsanzahl; Deutsche Fassung EN 933-4:1999/Achtung: Übergangsfrist für DIN 52114 (1988-08) bis 2003-12 beachten, Deutsche Norm.

DIN ISO 3310-2 (1999). Analysensiebe — Anforderungen und Prüfung — Teil 2: Analysensiebe mit Lochblechen, Deutsche Norm.

DWA-M 210 (2009) Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb (SBR), DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Deutsche Norm.

DWA-M 269E (2008), German DWA Rules and Standards, Advisory Leaflet: Process Analysis Equipment for Nitrogen, Phosphorus and Carbon in Wastewater, Treatment Systems, DWA

Hanhan O., Insel G., Yagci N., Artan N. Orhon, D. (2011) Mechanism and design of intermittent aeration activated sludge process for nitrogen removal, Journal Env. Sci. Heal. Part A, 46 (1), 9-16.

Health Research, Inc. (2004). Recommended Standards for Wastewater facilities, NY.

Henze, M., Loosedrecht, M., Ekama, G., Brdjanovic, D. (2008). Biological Wastewater Treatment: Principles, Modeling and Design, IWA Publishing.

Insel G. (2007) Effects of design and aeration control parameters on simultaneous nitrification and denitrification (SNdN) performance for activated sludge process", Environ Eng. Sci., 24(5), 675-686.

Metcalf & Eddy. (2003). Wastewater Engineering, Disposal and Reuse, Mc Graw Hill Publishing.

MOE (2008). Design Guidelines for Sewage Works, Ontario, USA.

MOP (2005) Manual of Practice: Clarifier Design, Water Environment Federation, Alexandria, VA, ABD.

MOP (2007) Manual of Practice: Automation of Wastewater Treatment Plants, Water Environment Federation, Alexandria, VA, ABD.

Mueller J.A., Boyle W.C., Pöpel H.J. (2002) Aeration: Principles and Practice, CRC Press, Washington, ABD.

Orhon, D. ve Artan, N., (1994). Modelling of Activated Sludge Systems, Technomic Publishing Company.

Ten States Standards (2004) Recommended Standards For Wastewater Facilities; Health Research, Inc., Health Education Services Division., Albany, NY, ABD (<http://www.healthresearch.org/store>)

TS EN 12255-7 (2004). Atık Su Arıtma Tesisleri - Bölüm 7: Biyolojik Sabit Film Reaktörleri, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12555-5 (2002). Atıksu Arıtım Tesisleri - Bölüm 5: Lagün Prosesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

WEF (2011). Biofilm Reactors, Water Environment Federation Pres.

7. KİMYASAL ÇÖKTÜRME İLE FOSFOR GİDERİMİ

Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK

7.1. Genel Tanıtım

Kimyasal çöktürme ile fosfor giderimi prosesleri temelde askıda katı madde (AKM) giderimine dayanır. Bu bölümde, kimyasal çöktürmede fosfor kimyası, kimyasal fosfor çöktürme yöntemleri, metal tuzları ve polimerlerle fosfor giderimi ve kireçle fosfor giderimi konuları detaylı olarak incelenmektedir.

7.1.1. Kimyasal Çöktürmede Fosfor Kimyası

Fosfor bileşikleri metal iyonları ile çoğunlukla çözünürlüğü çok düşük olan tuzlar oluşturur. Kimyasal çöktürme ile fosfor gideriminde başlıca aşağıdaki tuzlar kullanılmaktadır:

- Alüminyum III tuzları, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$,
- Ca^{2+} tuzları, $Ca(OH)_2/CaO$,
- Demir (III) ve demir II tuzları, $FeCl_3 \cdot H_2O$, $FeCl(SO_4)$, $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$

Kalsiyum tuzları ile fosfor çöktürme işlemi, yapı itibariyle alüminyum ve demir tuzları ile fosfor çöktürme proseslerinden farklılıklar gösterir, bu yüzden ayrı alt başlıklar altında incelenecektir.

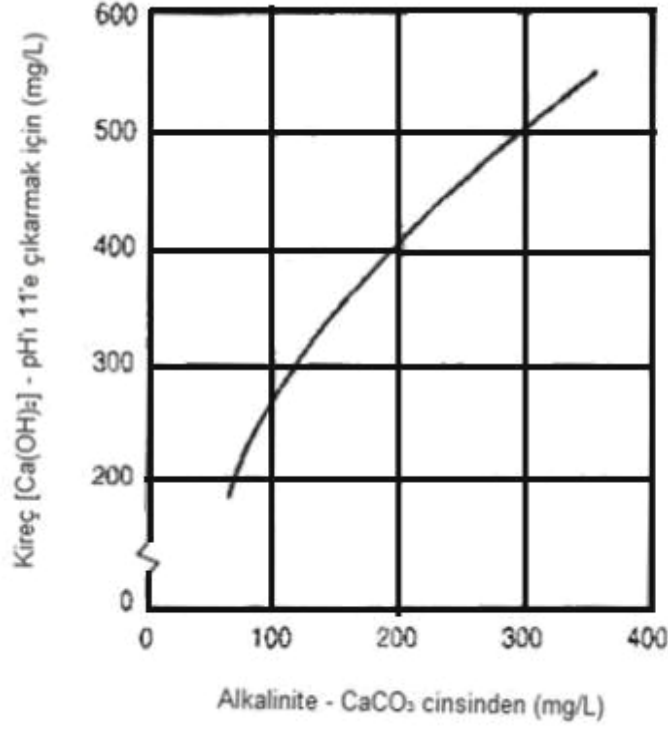
7.1.1.1. Kalsiyum ile Çöktürme

Kalsiyum ile fosfat çöktürülmesinde, kireç ($Ca(OH)_2$) ile ortama, hem Ca^{2+} hem OH^- iyonlarının girişi sağlanır. Böylece fosforun hidroksiapatit ve diğer kalsiyum fosfatlar halinde çöktürülmesi gerçekleştirilir.



Yüksek pH'larda (pH: 10-11), ortamda magnezyum hidroksit oluşumu gözlenir ve çökelme yardımcısı olarak iş gören bu kimyasal ile yüksek giderim verimi elde edilir. Ancak yüksek pH'larda çalışma durumunda, atıksuyun fosfor giderimi için gerekli kireç ihtiyacı, fosfor konsantrasyonundan çok suyun alkalitesi ve sertliği ile kontrol edilir (Şekil 7.1).





Şekil 7.1. Alkalinitesi belli atıksuyun pH'ını 11'e çıkarmak için kullanılması gerekli kireç (Ca(OH)₂) miktarları

Şekilde görüldüğü üzere, fosforun çöktürülmesi için gerekli kireç miktarı, mg/L CaCO₃ cinsinden ifade edilen toplam alkalinitenin ~ 1,4-1,5 katı mertebesindedir.

Deşarj öncesi ham atıksuya ya da son havalandırma havuzu çıkışına veya çökeltim tankı girişine kireç ilavesi ile yükselen pH'ı, deşarj standartlarına uygun hale getirmek üzere (pH: 6-9), CO₂ ile rekarbonizasyon işlemi uygulanması gerekebilir.

7.1.1.2. Alüminyum ve Demir Tuzları ile Çöktürme

Alüminyum ve demir tuzları ile fosfor çöktürme proseslerine temel teşkil eden reaksiyon denklemleri aşağıdaki gibidir.

Alüminyum ile fosfat çöktürmesi;

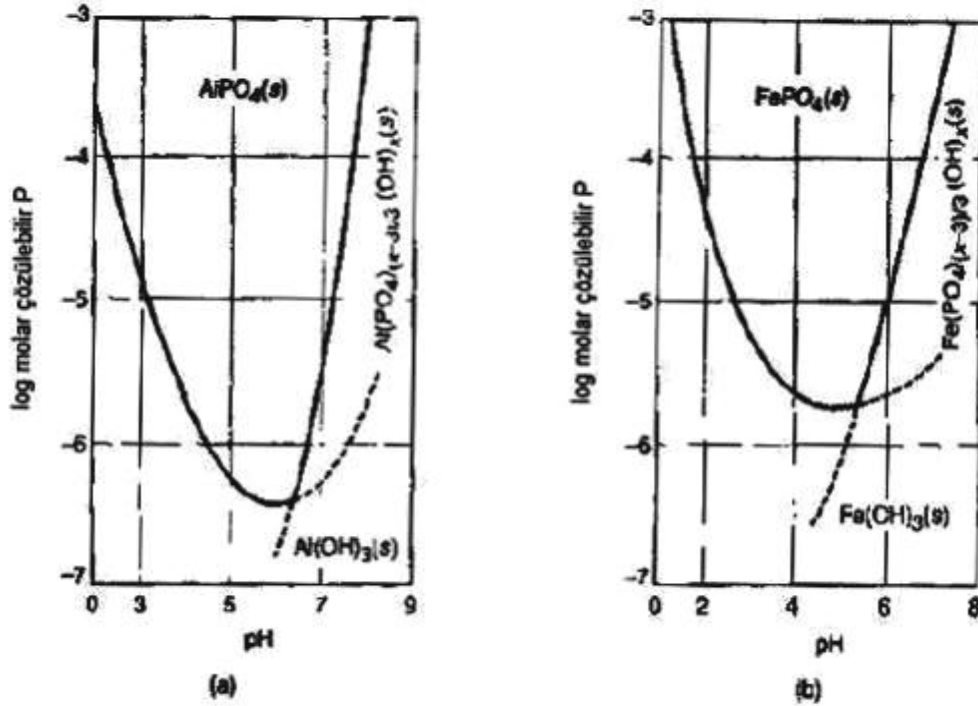


Demir ile fosfat çöktürmesi;



Yukarıdaki denklemlerden de görüleceği üzere, teorik olarak 1 mol fosfat çöktürmek için 1 mol alüminyum/demir gerekmektedir. Ancak atıksuyun pH'ı, alkalinitesi, içerdiği iz elementler vb. etkenler sebebiyle, gerekli dozaj hesabını sadece stokiometriyi esas alarak yapmak çoğunlukla doğru netice vermemektedir.

Şekil 7.2'de, eşit mollarda alüminyum (III), demir (III) ve fosfat içeren atıksular için çözünürlük eğrileri verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere, farklı pH'larda ortamda mutlaka bir miktar çözülmüş $AlPO_4$ ve $FePO_4$ bileşikleri bulunabilmektedir. Bu sebeple çöktürme işleminin kullanılacak kimyasallar için uygun pH aralığında yapılması kritik önem taşır.



Şekil 7.2. Alüminyum ve demir tuzları çökeltme eğrileri (Metcalf & Eddy, 2003)

7.2. Proses İhtiyaçları

7.2.1. Fosfor Çöktürücü Kimyasallar

Uygulamada, alüminyum, demir veya kalsiyum tuzları gibi nispeten az sayıda kimyasal çöktürücü kullanılmaktadır. Ekonomik sebeplerle kullanımı tercih edilen ticari kalite kimyasalların belli oranlarda çözünabilir ve çözünemez yapıda safsızlıklar içerdiği unutulmamalıdır. Sözü edilen kimyasal maddelerin belirli kombinasyonları, özellikle Ca^{++} Fe^{++} kullanımı yaygındır (Metcalf & Eddy, 2003).

Bunlara ilaveten, polimerize demir ve alüminyum tuzları da mevcut olup, bu tuzlar yan tepkimelerle hidroksit formunda bağlanarak ziyan edilen metal iyonları miktarının azaltımı ile organik madde giderimini arttırmaları. Polimerize alüminyum tuzunun genel formülü $Al_n(OH)_n(3-n)^{+}$ 'dir. Fosfor gideriminde kullanılan, başlıca kimyasalların bir listesi Tablo 7.1 ve Tablo 7.2'de verilmiştir.

Tablo 7.1. Başlıca çöktürücüler (Metcalf & Eddy, 2003)

Ürün açıklaması	Kimyasal formülü	Teslimat şekli ve yoğunluğu (t/m ³)	Depolama ve dozlama	P çöktürmesinde etkili katyon	Teslimat esnasında normal aktif madde içeriği (g/kg ve mL/kg)	Solüsyonun (doygun) pH değeri
Alüminyum klorür	$AlCl_3$	Solüsyon 1,3	Tank Aside dayanıklı pompa	Al^{3+}	58-60 2,2	1
Alüminyum-demir (III) klorür	$AlCl_3 + FeCl_3$	Solüsyon 1,15	Tank Aside dayanıklı pompa	Al^{3+} Fe^{3+}	19 10 0,9	1
Alüminyum sülfat	$Al_2(SO_4)_3$	Öğütülmüş Pudra 1 Solüsyon 1,27	Silo Vidalama Tank Pompa	Al^{3+}	40 1,5 24 0,9	3
Alüminyum-demir (III) sülfat	$[Al_2(SO_4)_3 + Fe_2(SO_4)_3] * n H_2O$	Öğütülmüş 0,95	Silo Vidalı Eksantrik pompa	Al^{3+} Fe^{3+}	82 10 3,2	2
Demir (II)-klorür	$FeCl_2$	Solüsyon 1,24-1,37	Tank Aside dayanıklı pompa	$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$	86-135 1,5-2,4	1
Demir (III)-klorür	$FeCl_3$	Solüsyon 1,41-1,43	Tank Aside dayanıklı pompa	Fe^{3+}	135-138 2,4-2,5	1
Demir (II)-klorür sülfat	$FeClSO_4$	Solüsyon 1,43-1,51	Tank Aside dayanıklı pompa	Fe^{3+}	123 2,2	1
Demir (II)-sülfat	$FeSO_4 * 7 H_2O$	Kalıntı (yeşil) Tuz 1	Havuzlama haznesi Pompa	$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$	178-195 3,2-3,5	2
Demir (II)-sülfat	$FeSO_4 * n H_2O$	Öğütülmüş 0,8	Silo Vidalı Eksantrik pompa	$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$	195 3,5	3
Demir (III)-sülfat	$Fe_2(SO_4)_3$	Solüsyon 1,5	Tank Aside dayanıklı pompa	Fe^{3+}	118 2,1	1

Tablo 7.2. Başlıca çöktürücüler (Metcalf & Eddy, 2003) - (tablonun devamı)

Ürün açıklaması	Kimyasal formülü	Teslimat şekli ve yoğunluğu (t/m ³)	Depolama ve dozlama	P çöktürmesinde etkili katyon	Teslimat esnasında normal aktif madde içeriği (g/kg ve mL/kg)	Solüsyonun (doygun) pH değeri
Kalsiyum hidroksit Sönmüş kireç (beyaz kireç hidratı) Stabilize kireç sütü (ağırlıkça 20%)	$Ca(OH)_2$	Pudra 0,45	Silo Vidalama Tank Eksantrik pompa	Ca^{2+}	376 9,4 75 1,9	12,5
Sodyum alüminat	$NaAl(OH)_4$	Solüsyon 1,3-1,5	Tank Pompa	Al^{3+}	62-105 2,3-3,9	14
Poli-alüminyum (hidroksit) - klorür (PAK)	$[Al(OH)_{3-x}Cl_x]_n$	Solüsyon 1,2-1,37	Tank Aside dayanıklı pompa	Al^{3+}	70-90 2,6-3,3	1-3
Poli-alüminyum (hidroksit) - klorür- sülfat	$[Al_x(OH)_yCl_z[SO_4]_c]$	Solüsyon 1,4	Tank Aside dayanıklı pompa	Al^{3+}	52-90 1,9-3,3	1
Poli-alüminyum Demir (III) - klorür	$[Al(OH)_{3-x}Cl_x]_n + FeCl_3$	Solüsyon 1	Tank Aside dayanıklı pompa	Al^{3+} Fe^{3+}	59 6-15 2,3-2,5	1

Çökeltme sayesinde, çözülmüş fosfatların katı fosfat formuna dönüştürülmesinin yanında yumaklaştırma da sağlanır. Bir sonraki alt prosesin (yumaklaştırma) organik polimerlerle ayrıca desteklenmesi de mümkündür. Normalde, katyonik (pozitif yüklü) veya iyonik olmayan (non-iyonik, nötr) polimerler kullanılmaktadır.

7.2.2. Kimyasal Madde Depolama ve Dozlama

Çöktürücüler, suya dayanıklı maddeler olup, katı, sıvı veya askıda formlarda olabilmektedirler. Depolamanın yanı sıra solüsyon hazırlama ve dozlama üniteleri de, teslimat sırasındaki koşullar, akışkanlık, topak oluşturma tehlikesi ve içerisindeki çözünmeyen bileşikler arasındaki sürtünme dikkate alınarak tasarlanmalıdır (ATV 202E, 2004).

Depolama konteynerleri çelik, beton ve plastikten yapılır. Çelik ve betonda, korozyon koruması için uygun ve onaylı kaplamalar tercih edilmelidir. Sıvı çöktürücülerin dozlanması doğrudan konteynerden yapılabilir, ancak katı çöktürücülerde solüsyon hazırlanması için ilave üniteler ve sönmemiş kireç için söndürme sistemlerinin planlanması gerekir. Borular, temel bir kural olarak, korozyona dayanıklı plastikten üretilir.

Tam teşekküllü ve kullanım kılavuzlu dozlama istasyonları, ilgili uzman firmalar ve çöktürücüler piyasa sürenler tarafından temin edilebilmektedir.

Depolama konteynerleri, silo veya tankın dolu hacminin tamamını içine alabilecek şekilde boyutlandırılmalıdır (>25 m³). Hafta sonları ve tatil dönemleri de dikkate alınarak, yeterli ek bir rezerv alanı bırakılmalıdır.

Çöktürme dozlamasının ayarlanması ve kontrolü, zamana bağlı olarak yürütülmeli, ölçülmüş hidrograf eğrileri (küçük ölçekli atıksu arıtma tesisleri) dikkate alınmalı, su miktarlarıyla (orta ölçekli atıksu arıtma tesisleri) veya fosfor yüküyle (büyük ölçekli atıksu arıtma tesisleri) orantılı olarak tasarlanmalıdır. Bunlara ilaveten, fosfat konsantrasyonuna bağlı olarak yürütülen dozlamalar da başarılı olmaktadır. Su miktarlarıyla orantılı olarak yapılan dozlamalarda, bir dozaj sınırı mevcut değil ise, birleşik atıksu akımlarıyla gözlenen artışlar aşırı dozlamaya sebebiyet verebilmektedir.

Kireçle çöktürmede dozlama, uygun pH değeri ayarlamasıyla yürütülmelidir.

Açıklayıcı kitapçık ATV-DVWK-M 206E (2001), depolama ve dozlama teknolojilerinin yanı sıra, sürekli ölçüm ve otomasyon tekniklerine de detaylı olarak yer vermektedir.

7.2.3. Arıtma Prosesleri

Kimyasal çöktürme sistemleri, arıtma prosesinde kimyasalların hangi aşamada eklendiğine göre Şekil 7.3'de gösterilen tiplere ayrılmıştır. Söz konusu prosesler birleştirilebilir ve arıtma sonrası lagünler, sızdırma birimleri, kum filtreleri ilave edilerek güçlendirilebilir. Uygulamada, kimyasal çöktürücü ile arıtma prosesleri birleştirilerek fosfor giderimi yapılan çeşitli yöntemlere rastlanmaktadır.

Doğrudan çöktürme, organik madde kaynaklı oksijen tüketiminin önemli bir etkisinin olmadığı büyük ve türbülanslı su kütlelerine deşarj durumlarında kullanılır. Yüksek oranda organik madde giderimi gerekli ise, doğrudan çöktürme, eşzamanlı çöktürme veya normal arıtma sonrası yöntemlerinin uygulanması daha yerinde olacaktır. Fosfor giderme yöntem ve performansları Tablo 7.3'de özetlenmiştir (Metcalf & Eddy, 2003).

Tablo 7.3. Fosfor giderme yöntemleri ve performansları

	<i>Ön çöktürme</i>	<i>Eşzamanlı çöktürme</i>	<i>Sonda çöktürme</i>	<i>Yumak filtrasyonu</i>
Gözlenebilir kontrol değeri *(mg/L) P	2	1	1	0,5
Dozlama noktası (noktaları)	<i>Birincil çökeltim tanklarından önce (örn. venturi, havalandırmalı kum tutucu vb.)</i>	<i>Havalandırma tankları öncesinde/ esnasında/sonrasında, biyolojik veya temas filtreleri</i>	<i>İkincil çökeltim tanklarından sonra</i>	<i>Eşzamanlı ve sonda çöktürmeye benzer olarak muzaaf</i>
Tam karışım	<i>Daha yüksek türbülansın olduğu noktalar</i>	<i>Daha yüksek türbülansın olduğu noktalar</i>	<i>Mikser (karıştırıcı)</i>	<i>Eşzamanlı ve sonda çöktürmeye benzer olarak muzaaf</i>
Yumakların ayrılma noktası	<i>Birincil çökeltim tankları</i>	<i>İkincil çökeltim tankları</i>	<i>İlave çökeltme veya yüzdürme tankları</i>	<i>1. aşama: mevcut ikincil çökeltim tankları 2. aşama: ilave filtreler</i>

* Optimum veya daha uygun işletme koşullarında, daha düşük değerler dahi gözlenebilir.

7.3. Kimyasal Çöktürme Türleri

Çöktürme için kullanılan kimyasal maddelerin seçiminde çöktürme yöntemi ve bu yöntemlerde kullanılacak kimyasallar Tablo 7.4'te verilmiştir.

Tablo 7.4. Çöktürme için kimyasal seçimi (DIN EN 12255-13)

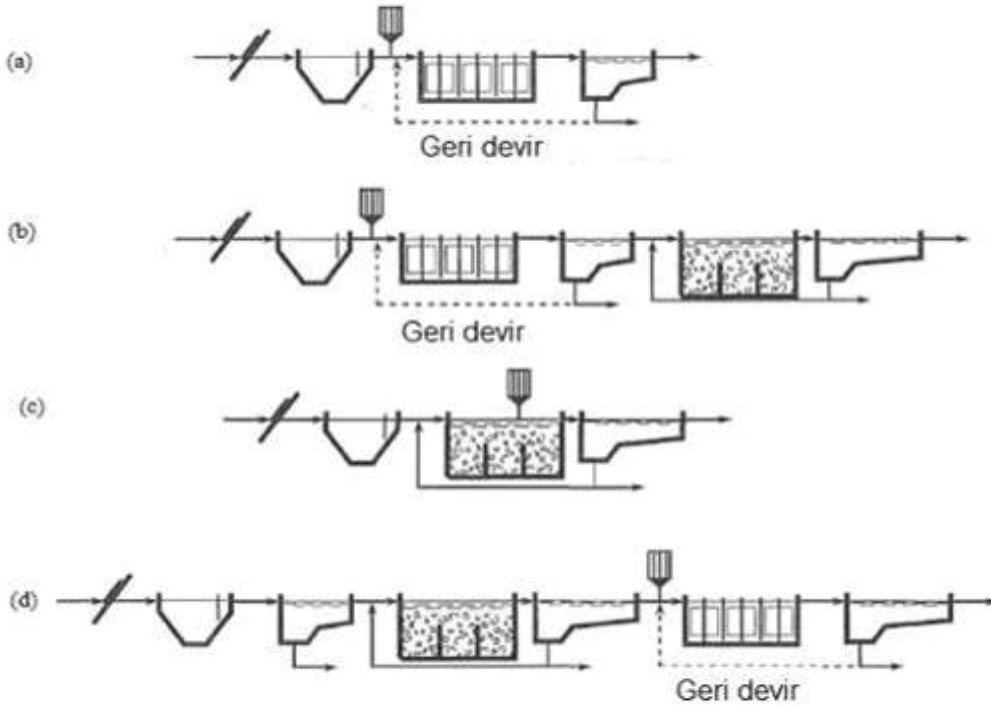
	<i>Alüminyum Sülfat</i>	<i>Polialüminyum klorür</i>	<i>Demir (II)sülfat</i>	<i>Demir (III)klorür</i>	<i>Kireç</i>
Doğrudan Çöktürme	+	+	-	+	+
Ön çöktürme	+	+	+	+	+
Eş zamanlı çöktürme	+	+	+	+	-
Son çöktürme	+	+	-	+	+
Çok noktalı çöktürme	+	+	+	+	+
Filtreler üzerinde çöktürme	+	+	+	+	-

7.3.1. Doğrudan Çöktürme

Genelde çöktürücü olarak, 8-10 arasındaki bir pH değerinde $Fe^{+++}Ca(OH)_2$ kullanılır. $Ca(OH)_2$ aynı zamanda tek başına da kullanılabilir, ancak bu durumda etkili yumaklaştırma elde edebilmek için pH'ın yaklaşık 11 civarında olması gerekir. $Ca(OH)_2$, atıksu debisinin % 3-5'i oranında deniz suyu ile birleşik de uygulanabilir. Deniz suyundaki magnezyum, pH'ın 9-10 değerinde destekleyici bir koagülan olarak rol oynar ve $Ca(OH)_2$ kullanımını azaltır (Metcalf & Eddy, 2003).

7.3.2. İlk Çökeltim Öncesi Çöktürme

Doğrudan çöktürme prosesi, biyolojik arıtma tesislerinin yükünü azaltmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kimyasal destekli çöktürme ile klasik mekanik arıtma (ön çökeltim) da elde edilen % 30'luk organik madde giderimi % 50-70 mertebesine çıkarılabilmektedir (Metcalf & Eddy, 2003).



Şekil 7.3. Fosfor çöktürmesi için arıtma tesisi düzeni örnekleri; (a) doğrudan çöktürme, (b) ilk çökeltim öncesi, (c) eş zamanlı çöktürme ve (d) sonda fosfor çöktürme prosesleri

Çöktürme, mevcut mekanik arıtma işlemi ile birlikte uygulandığında genellikle yumaklaştırma birimi kullanılmaz. Havalandırmalı kum tutucuların mevcut olduğu durumlarda ise, çöktürücü kimyasallar kum tutucu girişinde eklenebilir. Burada temel sorun, çamur oluşumundaki yüksek artış, dolayısıyla ilave çamur arıtma kapasitesi ihtiyacıdır. Fosfor/ AKM çöktürücü olarak, demir ya da alüminyum tuzları veya $Fe^{++}+Ca(OH)_2$ karışımı kullanılır. Fosfor gideriminin % 90'dan büyük olabilmesi için ilk yaklaşımda, mol Fe^{3+} veya Al^{3+} / mol çözülmüş P oranları > 2:1 olması önerilmektedir (Metcalf & Eddy, 2003).

7.3.3. Eşzamanlı Çöktürme

Bu proses özellikle fosfor giderimi için yaygın olarak uygulanmaktadır. Çöktürme alkalinite tüketen bir işlemdir; bu nedenle yumuşak sularda kireç formunda alkalinite ilavesi gerekebilir. Çöktürücü kimyasal, ilk çökeltim girişine, kum tutucuya veya doğrudan havalandırma havuzuna eklenebilir. Eşzamanlı çöktürmede yumaklaştırma üzerinde doğrudan bir kontrol yoktur, ancak genelde biyolojik çamurun yumaklaştırması yeterli olmaktadır. Eşzamanlı çöktürmeyi, ilk çökeltim öncesi ve/veya sonrada kimyasal fosfor giderimi işlemleri ile hızlı filtreye kombine biçimde uygulamak arıtmada daha büyük fayda (daha yüksek P giderimi) sağlayabilmektedir (Metcalf & Eddy, 2003).

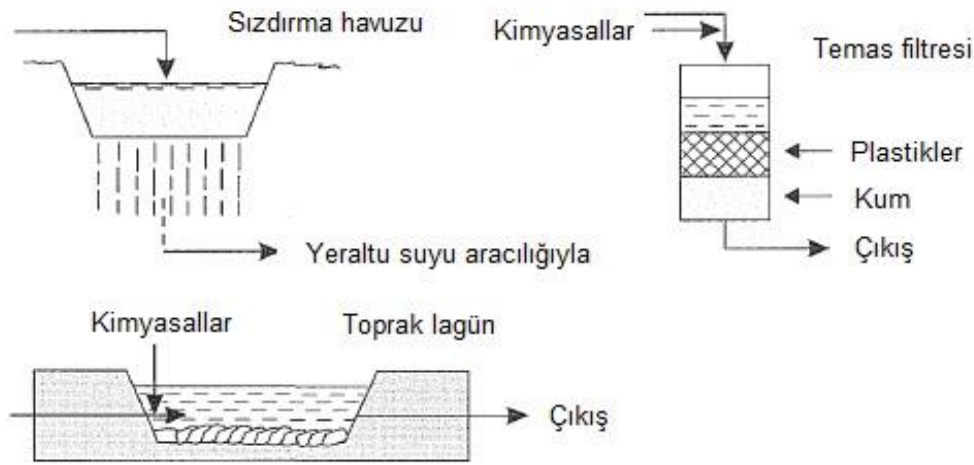
7.3.4. Sonda Çöktürme

Bu proseste, genelde alüminyum tuzları kullanılır. Burada organik maddenin etkileşimi olmaksızın net bir kimyasal çöktürme işlemi gerçekleşir. Prosesin sonucunda susuzlaştırması nispeten daha güç ve büyük hacimli bir kimyasal çamur oluşur (Metcalf & Eddy, 2003).

7.3.5. Destekleyici İlave Arıtma Sistemleri

7.3.5.1. Temas Filtrasyonu

Fosfor için çok düşük çıkış konsantrasyonlarına ulaşılması istendiğinde, atıksuyun son çökeltim sonrası temas yüzeyli filtrede ileri derecede arıtımı gerekir (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. Düşük fosfor konsantrasyonlarına ulaşabilmek için uygulanabilecek arıtma sonrası işlemler

Prensip olarak temas yüzeyli filtrasyon prosesi, giriş akımına fosfor çöktürücü kimyasalın ilave edildiği bir hızlı filtreden oluşur. Söz konusu çözünmüş fosfatın büyük kısmı, filtrede tutulan tanecikler içinde yer alır. Ayrıca arıtma tesisinde çökelemeyen parçacıklar da filtrasyonla giderilir. Filtrenin çok kısa sürede tıkanmasını önlemek üzere, üstte iri taneli plastik ve altta kum tabakalarından oluşan çift ortamli bir filtreler kullanılır. Plastik tabakanın büyük gözenek hacmi sayesinde, kombine işleyen bir plastik/kum filtresi klasik kum filtresine göre daha büyük hacimlerde fosforlu çamurun tutulmasını sağlayabilmektedir (Metcalf & Eddy, 2003).

Bir temas yüzeyli filtredeki çökeltme ve yumaklaştırma mekanizmaları, diğer çöktürme prosesleriyle teknik olarak aynıdır. Bu proseste, genellikle demir tuzları fosfor çöktürücü olarak kullanılmaktadır.

7.3.5.2. Toprak Lagünler

Bu proses, iyileştirme veya fosfor çöktürme işleminin ilk safhası olarak kullanılabilir. Prosesin verimi, toprak havuzun (lagün) boyutuna ve uygulanan kimyasal dozajına bağlıdır. Toprak bir havuz, uygun kimyasalların ilavesi ile oluşan floklar (yumak) için bir çöktürücü işlevi görür. Toprak havuz (lagün) yeterli büyüklükte yapılırsa, aynı zamanda

bir alg havuzu olarak da çalışır. Bu durumda, lagünün giriş akımına kimyasal madde ilavesine gerek kalmayabilir. Ancak, havuz çıkışı akımından algleri ayırmak üzere ilave bir kimyasal çöktürme tesisi kurulması gerekebilir (Metcalf & Eddy, 2003).

Lagünlerde, çöktürücü olarak demir ve alüminyum tuzları kullanılabilir. Kimyasal çamur, havuzun dibinden belirli aralıklarla sıyrılarak uzaklaştırılmalıdır.

7.3.5.3. Sızdırma Havuzları

Burada amaç toprağın süzme ve iyon değişim kapasitesini kullanarak fosfatı bağlamaktır. Bu prosesin etkin şekilde gerçekleşebilmesi için, organik madde içeriğinin büyük çoğunluğunun ayrıştırıldığı bir birinci kademe arıtma uygulanması gerekir. Sızdırma havuzları kesikli olarak işletilmekte olup bu süre sonunda 1-2 hafta dinlendirilir. Dinlendirme dönemlerinde havuzlar kuru kalır ve tabanın üstündeki tabaka okside olur; bu da tabanda biriken organik madde üzerinde üreyen mikroorganizmaların oluşturacağı tıkanmayı engeller (Metcalf & Eddy, 2003).

7.4. Fosfor Giderimi İçin Arıtma Tesisi Tasarımı

Arıtma tesisi tasarımı;

- Toplam fosfor,
- Çözünmüş fosfor ile askıda fosfor

türlerine bağlı olarak iki şekilde gerçekleştirilebilir. Bu iki yöntemden; toplam fosfora dayalı olarak yapılan tasarım daha kolay olmakla beraber, emniyeti düşüktür.

Toplam Fosfora Dayalı Tasarım

Hızlı sonuç veren ancak tam manasıyla güvenilir bir yöntem olmayan bu tür tasarımda, tesis çıkış suyunda ayrı ayrı hesaplanan çözünmüş ve askıda fosfor miktarları esas alınır.

Tablo 7.5’de, literatür verilerine göre toplam fosfor gideriminde kullanılan yöntemler, çöktürmede kullanılan metal tuzu konsantrasyonları ve ilgili optimum pH aralıkları verilmektedir (Henze vd., 2002).

Tablo 7.5. Toplam fosfor çıkış konsantrasyonlarını elde etmek için kullanılan yöntemler, çöktürmede kullanılan metal tuzu konsantrasyonları ve ilgili optimum pH aralıkları (MO: Mol oranı; giriş akımına ilave edilen metal tuzu iyonlarının toplam mol sayısı başına çöktürülen fosforun toplam mol sayısı)

Çıkış konsantrasyonu: 2-3 g P/m³	Biyolojik fosfor giderimi Eşzamanlı çöktürme, Fe ⁺⁺ veya Al ⁺⁺⁺ , MO=0,8 Ön çökeltim, Al ⁺⁺⁺ , MO=1
Çıkış konsantrasyonu: 1-2 g P/m³	Eşzamanlı çöktürme, Fe ⁺⁺ veya Al ⁺⁺⁺ , MO=1 Çöktürme, Ca ⁺⁺ + Fe ⁺⁺ , pH 8-9, MO (Fe)=1 Doğrudan çöktürme, Ca ⁺⁺ , pH 10-11 Doğrudan çöktürme, Al ⁺⁺⁺ , MO=1,5 Sonda çöktürme, Al ⁺⁺⁺ , pH 6,5-7,2, MO=1
Çıkış konsantrasyonu: 0,5-1 g P/m³	Eşzamanlı çöktürme, Fe ⁺⁺ veya Al ⁺⁺⁺ , MO=1,5 Eşzamanlı çöktürme + çökeltim veya toprak havuzlar, Fe ⁺⁺ veya Al ⁺⁺⁺ , MO=1,5

	Sonda çöktürme, Al ⁺⁺⁺ , pH 5,5-6,5, MO=2 Doğrudan çöktürme, Ca ⁺⁺ , pH 10-11 + deniz suyu Ön çöktürme, Ca ⁺⁺⁺ Fe ⁺⁺ , pH 9-10, MO (Fe)=1,5
Çıkış konsantrasyonu: 0,3-0,5 g P/m³	Eşzamanlı çöktürme, Fe ⁺⁺ veya Al ⁺⁺⁺ + temas filtrasyonu, Fe ⁺⁺ veya Fe ⁺⁺⁺ , her ikisi de MO=2 Sonda çöktürme, Al ⁺⁺⁺ , pH 5,5-6,0, MO=2 + temas filtrasyonu, Fe ⁺⁺ , MO=2

Tablo 7.6 ve Tablo 7.7’de ise, çift ortamlı (plastik ve kum tabakalı) temas yüzeyli filtrelerde, alüminyum ve demir tuzları ile fosfor giderimi için giriş ve çıkış suyu toplam fosfor değerleri ile mol oranları verilmiştir.

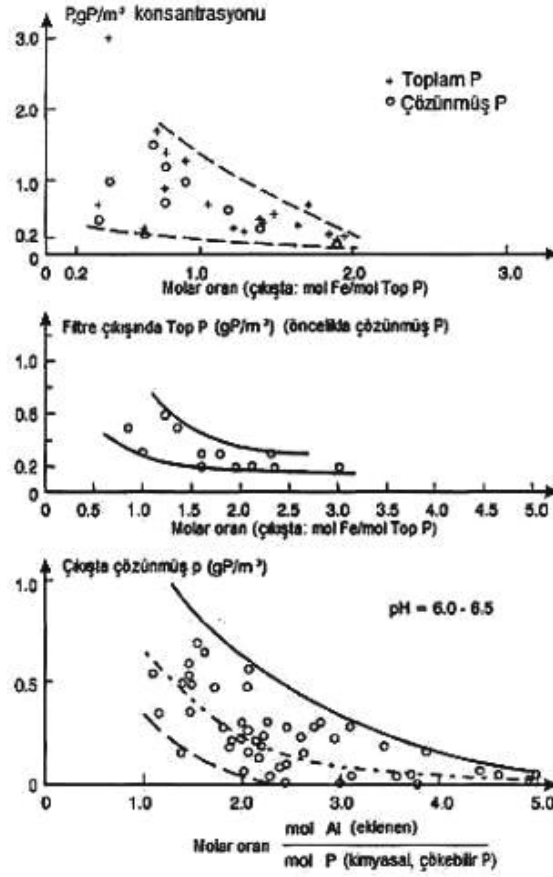
Literatürde, çıkış suyundaki toplam fosforun mol oranlarıyla (MO) ifade edildiği çok sayıda örnekle karşılaştırılır. Şekil 7.7.’da, fosfor gideriminin mol oranlarıyla gösterildiği eş zamanlı çökelme eğrileri verilmektedir.

Tablo 7.6. Temas filtrasyonu ile çöktürmede, Fe⁺⁺⁺, Fe⁺⁺ ve Al⁺⁺⁺ ile fosfor giderimi

Çöktürücü	Mol oranı çıkış suyunda Me/çözünmüş P	Giriş		Çıkış		Molar giderim Δmol P/mol Me
		Top. P gP/m ³	PO ₄ -P g P/m ³	Top. P g P/m ³	PO ₄ -P g P/m ³	
Fe ⁺⁺⁺	0,8	0,54	0,25	0,31	0,25	0,46
Fe ⁺⁺⁺	1,1	0,4	0,16	0,24	0,16	0,40
Fe ⁺⁺⁺	1,1	1,73	0,65	0,90	0,65	0,42
Fe ⁺⁺	1,2	3,87	1,55	1,71	1,55	0,44
Fe ⁺⁺	1,2	1,09	0,33	0,50	0,33	0,47
Fe ⁺⁺	5,5	1,37	0,22	0,44	0,22	0,13
Al ⁺⁺⁺	0,3	-	1,23	-	1,23	0,79
Al ⁺⁺⁺	1,1	-	0,83	-	0,83	0,47
Al ⁺⁺⁺	1,4	-	0,34	-	0,34	0,50
Al ⁺⁺⁺	6,9	-	0,05	-	0,05	0,11
Al ⁺⁺⁺	7,7	0,19	0,05	0,19	0,05	0,11

Tablo 7.7. Demir sülfat ile eşzamanlı çöktürmeyi takiben temas filtrasyonu çıkışındaki AKM ve fosfor değerleri

	AKM (g SS/m ³)	Askıda P (g P/m ³)
Eş Zamanlı çöktürme çıkışı (temas yüzeyli filtrasyon girişi)	10 ±3	0,44 ±0,18
Temas yüzeyli filtrasyon çıkışı	6 ±3	0,21 ±0,09



Şekil 7.5. Eşzamanlı çöktürme için giriş akımına ilave edilen metal tuzu miktarı ve metal/fosfor mol oranı arasındaki ilişki (ABD ve Danimarka'dan tesis örnekleri) (Henze vd., 2002)

7.4.1. Çözünmüş ve Askıda Fosfora Dayalı Tasarım

Toplam Fosfor (C_p) içeriği; Çözünmüş Fosfor (S_p) ve Askıda (partiküler) Fosfor'un (X_p) toplamı olarak ifade edilir (Henze vd., 2002):

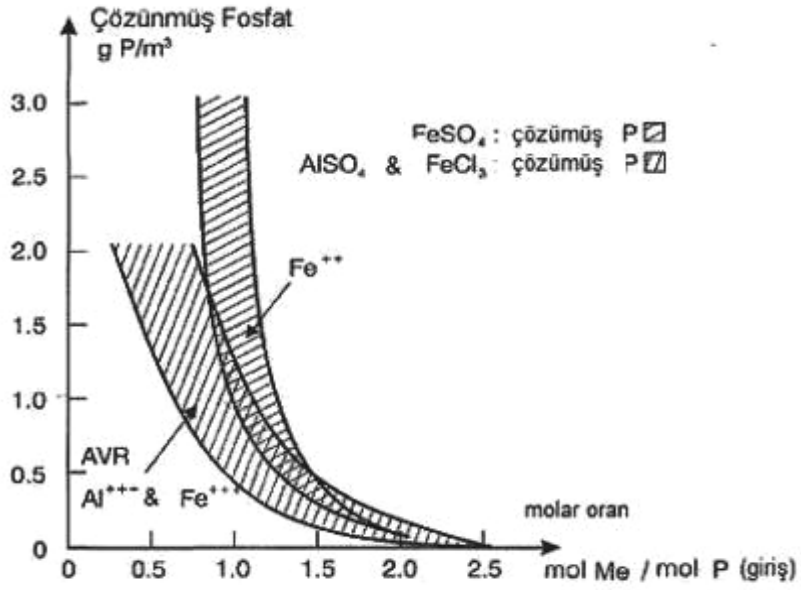
$$C_p = S_p + X_p \quad (7.9)$$

Kimyasal çöktürme sonrası çözünmüş fosfor (S_p) miktarı için yapılan teorik hesaplamalar net değildir. Söz konusu hesaplamalar için kullanılan, alternatif ampirik ifadeler mevcuttur.

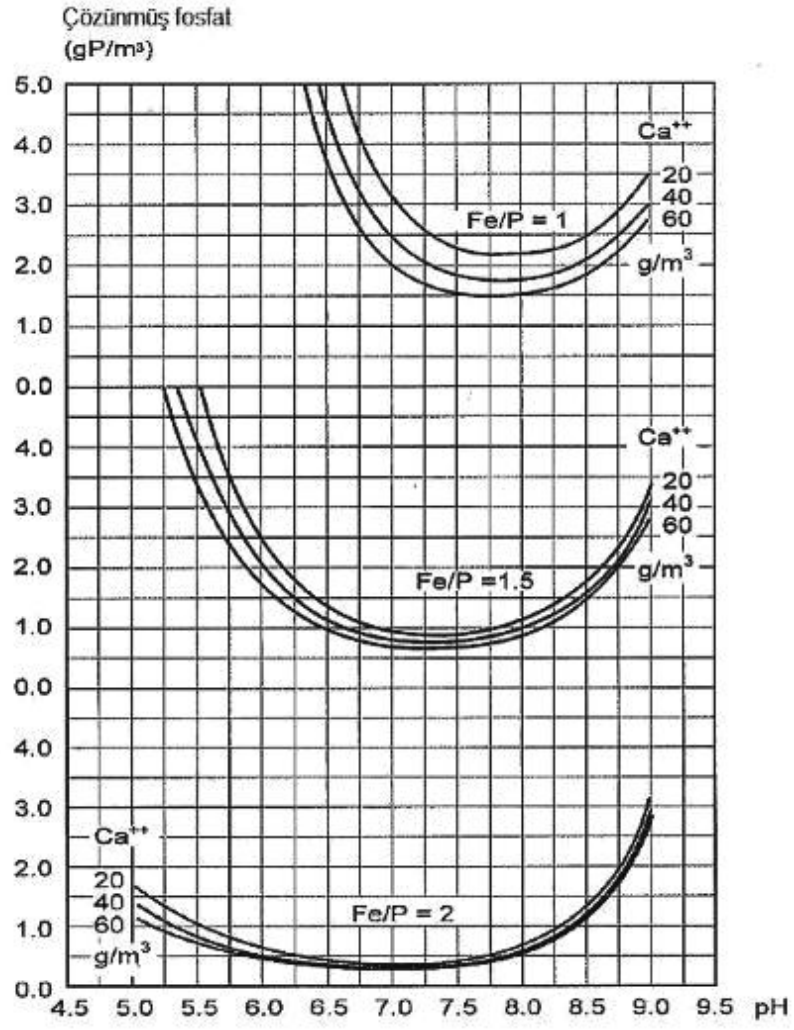
Fosfor konsantrasyonları genellikle, çöktürme işleminde kullanılan metal tuzu miktarı ile çökelen fosfor miktarının bir fonksiyonu olan mol oranı birimiyle ifade edilir. Bu oran, çökeltme işlemi sırasındaki kalsiyum miktarı, pH ve alkalinite değişikliklerini yansıtmalı özellik taşımamaktadır.

Aşağıdaki grafiklerde, farklı kimyasallarla giderim için, çözünmüş fosfor ile sırasıyla kullanılan metal tuzu dozajı, değişen kalsiyum miktarı, pH ve alkalinite ilişkisi gösterilmektedir (Şekil 7.6. , 7.7. ve 7.8.).

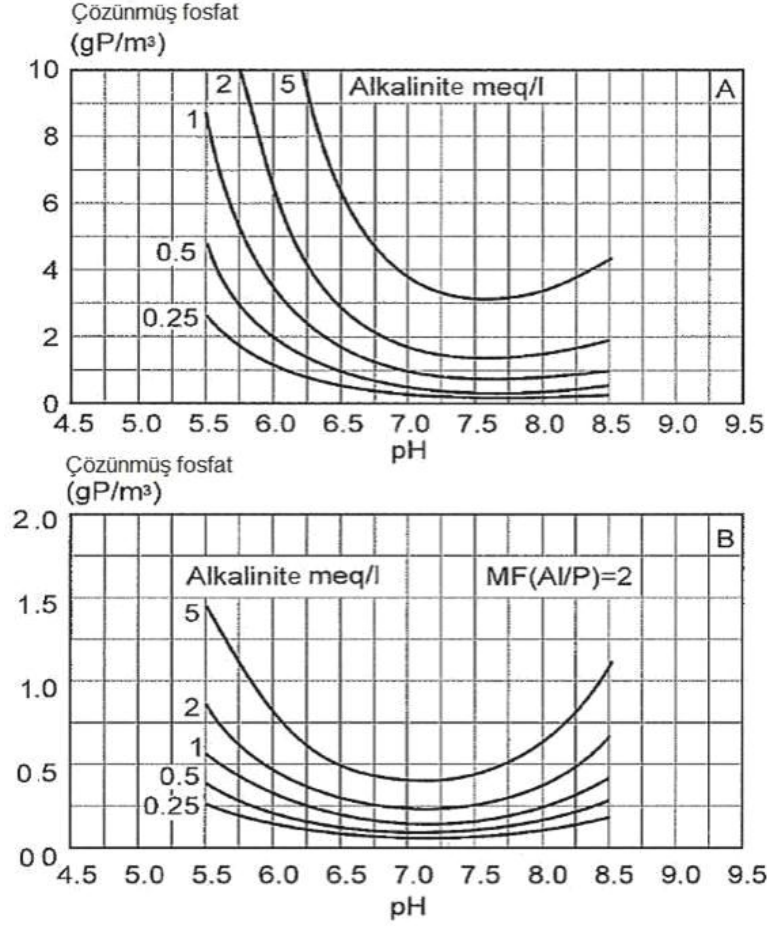
Askıda fosfor miktarı, yumaklaşma ve ikincil çökeltim işlemleri ile ilişkilidir.



Şekil 7.6. Metal dozlama (Me / P) ile eşzamanlı çöktürme prosesi çıkışında ortalama çözünmüş fosfat konsantrasyonu, S_p (pH ve kalsiyum değişimleri dikkate alınmamıştır; bunlar bir sonraki şekilde gösterilmiştir. Oksijen doygunluğu ise tipik olarak % 25'dir. Danimarka örnekleri) (Henze vd., 2002)



Şekil 7.7. Demir sülfat ve Fe (II) ile eşzamanlı çöktürme. Değişen Fe/P-mol oranlarında, pH ve kalsiyumun bir fonksiyonu olarak çözünmüş fosfat değerleri, 1,0/1,5/2,0 (Henze vd., 2002)



Şekil 7.8. Çöktürme sonrası Al (III) kullanımı.
 Çözünmüş fosfatın pH ve alkalinite ile değişimi.
 Kalsiyum aktivitesi = 40 g/m³. A: Al/P= 1 MR. B: Al/P=2 MR.
 Not: Y eksenlerindeki ölçekler farklıdır. (Henze vd., 2002)

Yumaklaştırma prosesi, Tablo 7.7.'de verilen ortalama değerler kullanılarak tasarlanır. Son çöktürme öncesi askıda katı madde giderimi yalnızca yumaklaştırma prosesi sırasında değil, bekletme süreleri ve askıda katı madde özelliğine bağlı olarak, ön çöktürme sırasında da gözlenebilmektedir.

Tablo 7.7. Ortalama hız gradyanı, G ve toplam hidrolik bekletme süresi

Çöktürücü	Birincil Çöktürme G (s ⁻¹)	İkincil Çöktürme G (s ⁻¹)	Son Çöktürme G (s ⁻¹)
Al ⁺⁺⁺	40-50	15-25	10
Ca(OH) ₂	30-40	15-20	10
Fe ⁺⁺ + Ca(OH) ₂	25-35	10-20	10
Al ⁺⁺⁺ + polimer	50-70	30-40	10
Çöktürücü	θ, Toplam hidrolik bekletme süresi, dk.		
Al ⁺⁺⁺	42		
Ca(OH) ₂	20		
Fe ⁺⁺ + Ca(OH) ₂	20		
Al ⁺⁺⁺ + polimer	30		

İşletme tecrübelerine dayalı olarak, farklı kimyasal fosfor giderim yöntemlerine yönelik hazırlanmış çıkış suyu askıda katı madde miktarları ve içerdikleri fosfor oranları, Tablo

7.8. kullanılarak, tesis çıkışındaki askıda fosfor (X_p) miktarını öngörmek mümkündür (Henze vd., 2002).

Tablo 7.8. Çökeltme tankı çıkışındaki AKM konsantrasyonu ve AKM içerisindeki fosfor bileşeni

<i>Tesis tipi</i>	<i>AKM g/m³</i>	<i>AKM'de P %</i>
<i>Çökeltim (birincil çökeltim çıkışı)</i>	<i>30-50</i>	<i>2-3</i>
<i>Çökeltim (ikincil çökeltim çıkışı)</i>	<i>10-20</i>	<i>1-2</i>
<i>Eşzamanlı çöktürme</i>	<i>10-20</i>	<i>2-4</i>
<i>Çökeltim sonrası</i>	<i>5-10</i>	<i>10-20</i>
<i>Temas yüzeyli filtrasyon</i>	<i>3-8</i>	<i>2-4</i>
<i>Eşzamanlı çöktürme sonrası toprak havuz</i>	<i>5-10</i>	<i>2-4</i>
<i>Biyolojik fosfor giderimi</i>	<i>10-20</i>	<i>2-5</i>

7.5. Fosforun Toprakta Bağlanması

Toprağın fosfor adsorplama kapasitesi ($X_{p,a,maks.}$), genellikle topraktaki su muhtevasında ölçülen anlık maksimum fosfor miktarı ile (örn. 5 g P/m³) ifade edilir.

Farklı toprak türlerinin adsorplama kapasiteleri büyük değişkenlik göstermektedir (örn. kumlu toprakta 20 mg P/m³, killi toprakta 5000 mg P/m³ vb.).

Tablo 7.9' da, Amerika New York'da 35 farklı toprak türü (üst toprak) için ortalama adsorplama kapasitesi değerleri verilmiştir. Bu değerler aynı zamanda "Katyon Değişim Kapasitesi (CEC)" hakkında da bilgi vermektedir. Katyon Değişim Kapasitesi, toprağın katyonları (NH_4^+ , K^+ , Ca^{++} , Fe^{+++} , Al^{+++} vb.) bağlama kapasitesini ifade eder (Henze vd., 2002).

Tablo 7.9. New York eyaletindeki 35 farklı toprak türü (üst toprak) için adsorplama kapasitesi sonuçları

<i>Derinlik (cm)</i>	<i>Toprak yoğunluğu (g/cm³)</i>	<i>$X_{p,a,maks.}$ (mg P/kg)</i>	<i>$X_{p,a}$ 5 g P/m³'de (mg P/kg)</i>	<i>Katyon Değişim Kapasitesi $m_{esd}/100$ g</i>
<i>15</i>	<i>1,3</i>	<i>457</i>	<i>305</i>	<i>18,7</i>
<i>70</i>	<i>1,6</i>	<i>429</i>	<i>334</i>	<i>8,8</i>
<i>94</i>	<i>1,7</i>	<i>189</i>	<i>122</i>	<i>6,3</i>

Yalnızca fosfor adsorpsiyonu veya toprakta iyon değişimi dikkate alınarak, bir başka deyişle daha yavaş gerçekleşen adsorbe edilen maddenin kimyasal olarak bağlanması veya fosfor iyon değişimi işlemleri göz ardı edildiğinde, nispeten daha emniyetli bir tahmin yapılmış olur. Tahminlerde deneysel kaynaklı birçok belirsizlik de söz konusu olabilmektedir; bu konuda ancak modeller kullanılarak daha yakın tahminlerde bulunulabilir.

7.6. Kimyasal Çöktürme ve Yumaklaştırmanın Atıksu Arıtımı ve Çamur Oluşumuna Etkileri

7.6.1. Kimyasal Yöntemlerle Fosfor Gideriminin Biyolojik Proseslere Etkisi

Organik maddelerin biyolojik olarak ayrışması ve biyo-kimyasal oksidasyonu ile azotun indirgenmesi aşağıdaki işlemlerden etkilenmektedir (ATV 202E, 2004):

- Ön çöktürme: N/BOI₅ oranının arttırılması ve atıksuyun asiditesinin değiştirilmesinin yanı sıra çamur yaşının arttırılması,
- Eşzamanlı çöktürme: çöktürme ve yoğunlaştırma özelliklerinin geliştirilmesinin yanı sıra, aktif çamurun inorganik kısmının artması, fazla çamur miktarının artması, asiditenin azalması ve çöktürücünün özelliğine bağlı olarak nitrifikasyonu tetikleyici veya engelleyici etkisi,
- Sonda çöktürme: bu üniteden tesis girişine çamur geri devrinin yok sayılabilecek kadar düşük etkisi

Burada dikkat edilmesi gereken husus, çöktürmenin hangi yöntemle uygulandığına bakılmaksızın, takip eden biyolojik arıtmaya yeterli fosfor sağlanması gereğidir (100 mg/L BOI₅ başına 0,7 mg/L P ~ 1 mg/L).

Asidite düşürülmesi, genellikle metal iyonlarının kilogramı üzerinden tanımlanmasına karşın, esasen çöktürücüdeki asit kalıntılarının muhteviyatına bağlıdır. Bu değer demir için 54 mol/kg, alüminyum için 111 mol/kg'dır. Nitrifikasyonun inhibe olmasının önüne geçebilmek için, güvenlik açısından 1,5 mmol/L'luk asidite sağlanmalıdır. Kritik durumlarda, tercihen sönmüş kireçle beraber, alkali bir çöktürücü kullanılır. Sönmüş kireç ile dozlamada pH değeri, ortamda çözünmüş alüminyum birikmesi ve kalsiyum karbonat çökmesinin önüne geçilebilmesi için hızlı (aşırı) arttırılmamalıdır (ATV 202E,2004).

Eşzamanlı çöktürmenin bir sonucu olarak, aktif çamurun inorganik kısmı artar. Tesisin boyutlandırmasında, oluşacak fazla çamur miktarı da dikkate alınmalıdır. Gerek ön, gerekse sonda çöktürmede, kimyasal çamur oluşum sürecine ilişkin işlemler aynı şekilde ilerlemektedir.

7.6.2. Fosfor Gideriminin Çamur Oluşumuna Etkileri

7.6.2.1. Katı Madde Yüğü

Çökebilir floklar içindeki çözünmüş ve askıda katı maddelerin taşınımı suretiyle, katı madde oranı artış gösterir. İlave katı madde yüğü ise eklenen çöktürücü, oluşan bileşikler ve ayrılan katı madde miktarlarına bağlı olarak değişim gösterir.

Uygulamada, çöktürücülerin oluşturduğu fosfatlar, hidroksitler ve diğer maddeler, demir cinsinden 2,5 g/g ve alüminyum cinsinden 4 g/g'lik kuru katı madde içerirler (ATV 202E, 2004).

Katı maddenin toplamındaki artış, yukarıdaki özgül değerler ve dozlanan aktif madde miktarı kullanılarak hesaplanır. Geliştirilmiş biyolojik fosfor giderimindeki katı madde yükünde, arıtılan fosfor cinsinden, yaklaşık 3 g/g'lik bir artış beklenmelidir.

Çöktürücü olarak sönmüş kireç ilavesiyle, katı madde miktarı dozlanan kireç miktarının 1,35 katı kadar artar. Katı maddenin artışı pH'ın ~9,5 olduğu durumlarda, 50 g/(kişi-gün) ve 11 civarında olduğu durumlarda 200 g/(kişi-gün) olarak gerçekleşir (ATV 202E, 2004).

7.6.2.2. Çamur Hacimleri

Fosfat giderimi sonucunda oluşan ilave çamur hacimleri, katı madde yükünün yanı sıra, su veya katı madde içeriğinden kaynaklanır. Daha yüksek katı madde muhteviyatı sağlanabilirse, çökeltme/yumaklaştırma reaksiyonunun katı madde veriminin artmasına karşın, çıkan çamur hacminin azalması mümkün olur (ATV 202E, 2004).

Oluşan flokların katı madde içeriğinde, seçilen işletme metodu (ön, eş veya sonda çöktürme) ile seçilen çöktürücünün tip ve miktarı etkilidir.

Ön çöktürme ile birincil çamurun katı madde içeriği, çöktürücü girdisinin artışıyla beraber artar. Eşzamanlı çöktürmede çamurun baştan düşük katı madde içerikli olması durumunda, artan dozlamalar sonucu cüzi artışlar söz konusu olur. Bu yolla çamur kabarmasının da önüne geçilir. Sonda çöktürmede, su muhtevası yüksek hidroksit flokları dozajın artmasıyla artar. Bunun neticesinde de, üçüncül çamurun katı madde muhteviyatı azaltılmış olur.

Makro flokların oluşumunda metal tuzlarının ($\beta > 2$) kullanıldığı durumlarda, hidroksit flok oluşumuna bağlı olarak katı madde içeriği düşer. Bu durum, metal tuzlarının yerine organik çöktürücülerin (poli-elektrolit) kullanılmasıyla tersine çevrilebilir (ATV 202E, 2004).

7.7. Fosfor Gideren Arıtma Tesislerinin İşletilmesi

Fosfor gideriminde kullanılan arıtma tesislerinin işletimi esnasında karşılaşılan sorunlar aşağıdaki başlıklar altında ele alınacaktır:

- Güvenlik sorunları,
- Mekanik ekipman ve ölçme sorunları,
- Proses sorunları

7.7.1. Güvenlik Sorunları

Kimyasal fosfor çöktürücüler, Fe^{+++} , Fe^{++} ve Al^{+++} gibi orta derecede güçlü asitler veya $Ca(OH)_2/CaO$ gibi nispeten kuvvetli bazlardan oluşur. Bu yüzden kimyasallar, göze ve cilde zarar verme tehlikeleri dolayısıyla oldukça dikkatli kullanılmalıdır. Sönmüş kireç $Ca(OH)_2$ ve sönmemiş kireç CaO için de geçerli olmak üzere, bu tarz pudramsı maddeler şiddetli toz oluşumuna yol açabilirler. Bu maksatla, gerektiğinde kimyasallar için kapalı dozlama sistemleri kullanılmalıdır.

7.7.2. Mekanik Ekipman ve Ölçme Sorunları

Demir ve alüminyum tuzları kullanırken korozyon sorunu ortaya çıkabilmektedir. Plastikler, boru ve konteynerlerin imali için uygun malzemelerdir.

Çöktürücüler, belli bir oranda çözünemeyen madde içeriğine sahip teknik (ticari) kalite ürünlerdir. Bu malzemeler, boru dirsekleri, vanalar vb. hassas noktalarda tıkanma ve pompalarda aşınmaya yol açabilirler. Örneğin alüminyum sülfat, alüminyum oksit içeren çok iyi ögütücü nitelikli bir maddedir. Bu sebeple borular ve benzeri yapılarda aşınma ve tıkanma sorunlarına dikkat edilmeli ve sürekli takip edilmelidir.

Kimyasal çöktürme sistemlerinde pH ölçümü, proses izleme ve/veya kontrolü için esastır. Burada dikkat edilmesi gerekli husus, pH elektrodunun üzerinin kaplanması dolayısıyla hatalı ölçümlere ve yanlış dozlamaya yol açabilme riskidir. pH ölçerlerde yaşananlara benzer sorunlara iletkenlik, bulanıklık oksijen ölçümlerinde de rastlanır.

7.7.3. Proses Sorunları

Burada proses sorunları olarak tanımlanan problemler, fosfor çıkış değerlerinin sağlanıp sağlanmadığı ile ilişkilidir. Çözünmüş ve askıda fosforun ayırt edilmesi oldukça önem taşımakta olup iki bileşen için alınacak önlemler farklılık gösterir.

Demir (genellikle Fe^{++}) ile eş zamanlı çöktürme esnasında, havalandırma havuzunda oksijen kontrolünün sağlanamaması ve havalandırma kaynaklı yüksek türbülans oluşumu olmak üzere iki temel problem ortaya çıkabilmektedir.

Organik madde ile eşzamanlı çöktürme uygulanan sistemlerde anaerobik şartlar oluşabilir. Bu durum, Fe^{+++} 'nin Fe^{++} 'ye indirgenmesi ve sudaki kalsiyum iyonlarının konsantrasyonuna bağlı olarak fosforun belirli oranda ortamda çözünmesi ile sonuçlanır. Bu çözünme özellikle pH'nın 7 veya daha düşük değerlerinde gözlenmektedir.

Tesiste aerobik koşullar, organik madde kaynağının azaltması veya havalandırma kapasitesinin artırılmasıyla yeniden sağlanabilir. Havalandırma kapasitesi, örneğin aktif çamur sistemlerinde, difüzör aracılığıyla daha fazla hava üflenmesi ile arttırılabilir. Ancak bu durumda da oluşan yüksek türbülans biyo-kimyasal flokları parçalayarak çıkış suyundaki fosfor konsantrasyonunun yükselmesine yol açabilir. Optimum yumaklaştırma, ortalama hız gradyanı $G = 10-50 s^{-1}$ seviyesinde sağlanır. Buna karşılık, bir aktif çamur sisteminin havalandırma havuzundaki G değeri optimum aralığın oldukça üstünde $100-200 s^{-1}$ olabilmektedir. Bu yüzden, tank içerisinde havalandırmanın mümkün olduğunca az türbülanslı şekilde yürütülmesi, gerektiğinde oksijen aktarımının kaba kabarcıklı yerine ince kabarcıklı difüzörler kullanılarak yapılması önem taşımaktadır.

Fe^{++} ile eşzamanlı çöktürmede, $B_x = 0,2-0,4 \text{ kg BOİ} / (\text{kg AKM} \times d)$ olan orta yüklü tesislerde, havalandırma tankındaki belirgin köpük problemi nedeniyle özellikle belirli bir tür mikroorganizmanın (aktinomisetler) gelişiminde artış gözlenmiştir Bu sorun düşük yüklü tesislerde gözlenmemektedir.

Al^{+++} kullanımında ise, anaerobik koşullarda fosfor çözünmesi ile ilgili herhangi bir sorun yaşanmayacaktır.

Eşzamanlı çöktürmede pH kontrolü işlemi düşük dozlarda, bir başka deyişle yaklaşık 1 mol oranlarında bilhassa önem taşır.

Demir ve alüminyum tuzları ile yapılan çöktürme sonrası işlemler ve temas filtrasyonunda karşılaşılan en temel sorun ise, düşük dozajlarda suyun alkalinitesinin kritik önem kazanmasıdır. Düşük alkalinite ve dolayısıyla düşük konsantrasyonlarda fosfat elde edebilmek için asit ilavesi gerekir. Bu, sülfürik asit, hidroklorik asit veya daha fazla kimyasal çöktürücü (asidik türde) ekleyerek yapılabildiği gibi, alkalinite tüketen bir işlem olan biyolojik proseste nitrifikasyon ile de sağlanabilir.

Fosfat konsantrasyonunu düşürmek için kullanılan diğer bir yöntem de, çöktürme sonrası işlemlerden biyolojik proseslere kimyasal çamurun geri devridir. Bu şekilde, eşzamanlı çöktürme ile çöktürme sonrası işlemler birleştirilmiş olup esasen fosfor bağlayıcı kapasiteye sahip olan bu çamurun daha etkin kullanımı sağlanır.

Son çöktürme sonrası kimyasal fosfor giderim işlemleri, çözünmüş fosfor açısından bazı sorunlar oluşturabilir; bunun en önemli sebebi prosesin optimum G değerinde yürütülmemiş olmasıdır. Türbülans koşullarını optimize etmenin yanı sıra, flokların mekanik gücünü arttıran organik polimer ilavesi yapılabilir. Ayrıca flok hacim oranını arttıracak şekilde, ikincil çökeltme tankından yumaklaştırma tankına kimyasal çamur da geri devrettirilebilir.

7.8. Kaynaklar

ATV - A 202E (2004). German ATV Rules and Standards, Chemical-Physical Methods for the Removal of Phosphorus from Wastewater.

ATV - A 206E (2001). German ATV Rules and Standards, Automation of Chemical Phosphate Removal.

DIN EN 12255-13 (2003). Chemical Treatment; Treatment of wastewater by precipitation/flocculation., Deutsche Norm.

Metcalf & Eddy. (2003). Wastewater Engineering, Disposal and Reuse, Mc Graw Hill Publishing.

Henze, M., Harremoes, P., Jansen, J. C., Arvin, E., (2002). Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes. Springer-Verlag Publishing.

8. ATIKSU FİLTRASYONU

Prof. Dr. Ali Fuat AYDIN

8.1. Giriş

Filtrasyon işleminin amacı, arıtma işlemine tabii tutulmuş sular içindeki askıda bulunan ince katı maddelerin mekanik filtrasyon yoluyla uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Filtrasyon sonrasında, filtrede tutulan askıda katı maddeler geri yıkama ile uzaklaştırılır. Bu işlemin ardından filtre tekrar hizmet vermeye devreye alınmaktadır. Granüler filtrelerin geri yıkama işlemi sadece su veya su ile basınçlı hava birlikte uygulanarak gerçekleştirilebilir. Filtrasyon işleminde geri yıkama sırasında suya basınçlı hava verilerek filtre malzemesi içinde tutulmuş katı maddelerin filtre yatağını terk etmesi kolaylaştırılır. Atıksu filtrasyonu ile ayrıca fosfor giderimi de sağlanabilmektedir.

Atıksu filtrasyonunun temel özellikleri ve proses tasarımına yönelik olarak hazırlanan bu bölüm için özellikle ATV-A 203E Alman Standardı esas alınmıştır.

Filtrasyonun etkisi:

- Filtre dolgu malzemesinin taneleri arasındaki elek etkisi ile büyük partikülleri tutulması
- Filtre yüzeyi üzerinde doğrudan ya da buna ilaveten çökeltme, yakalama, difüzyon, Van der Waals kuvvetleri ve sorpsiyon gibi nedenlerle taneciklerin üzerinde biriktirerek partiküllerin tutulması

gibi fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslere bağlıdır.

Filtrede tutulmuş olan partikül ve floklar filtrasyon süresince akıştan kaynaklanan kesme kuvveti etkisi ile istenmeyen bir durum olarak tekrar atıksuya ve çıkış suyuna da karışabilmektedir.

Filtrasyon işleminde atıksu içerisinde yer alan partiküler bileşenlerin ikinci kademe (biyolojik) arıtmadan önce kullanılarak uzaklaştırılması hedeflenmektedir. Uygulamada kabul gören bu metotlar fonksiyonlarına göre farklılıklar göstermektedir:

- *Atıksu filtrasyonu:* Yalnızca atıksu içerisinde bulunan filtrelenebilir bileşenleri uzaklaştırabildiği için sınırlı bir uygulamadır.
- *Flokülasyon filtrasyonu:* Çöktürme/floklaştırma katkıları ve/veya ileri fosfor gideriminde tercih edilen flokleştirmeye yardımcı katkı malzemeleri eklenerek filtrelenebilir maddelerin üretildiği uygulamalardır.
- *Biyolojik olarak yoğunlaştırılmış filtrasyon:* Filtrelenmeye uygun maddelere yardımcı bir uygulamadır. Yeterli oksijen karşılandığında atıksu içerisindeki organik maddelerin azaltılmasına ve bazı durumlarda nitrifikasyona yardımcıdır.

Her bir durumda maliyet, performans ve çevresel uyumluluk açısından farklılık gösterse de karbon gibi elektron vericilerin eklenmesiyle filtrelerde denitrifikasyonun gerçekleştirilmesi de mümkündür.

8.2. Filtre Çeşitleri

Atıksu filtrasyonunda kullanılan filtreler ikiye ayrılmaktadır:

- Boşluklu filtreler: Genel olarak filtrelerin yatak boyu 1-2.5 m'dir (Tüm filtre yatağı boyunca askıda tutulması esas alınmaktadır).
- Yüzey filtreleri: Filtre yüzey yüksekliği 30 cm'e kadar olan bez filtreler veya ince tanecik filtreleri kullanılır (yoğunlaştırılmış biyolojik etki olmadan filtre yüzeyinde askıda tutulma esas alınmaktadır).

Boşluklu (gözenekli) filtrelerinin test prosedürleri ATV-A 203E Alman Standardı'nda açıkça belirtilmiş ve sonraki standart revizyonları da bunu esas alarak düzenlenmiştir. ATV- A203E'de yüzey filtrasyonundan bahsedilmemekte ve bu sebeple çeşitli sistemlerin işletilmesi ile ilgili öneriler bu standartta yer almamaktadır.

Elek prosesi boyunca kaba ve temiz filtrelerde ya hiç ya da çok az partikül tutulmaktadır. Lineer ve yavaş bir şekilde artan filtrasyon ile toplam basınç kaybı da artmaktadır (filtre direnci). Eğer filtre gözenekleri yüklenme boyunca daralmış ve elek üstünde tutulan partiküller artmış ise basınç giderek düşmektedir. İnce taneli partiküller filtre yatağının yüzeyinde yüzeysel filtrasyon etkisiyle tutularak uzaklaştırılırlar.

Biyolojik etki ile oluşan çözünmüş organik madde giderimini, filtre yatağı içerisindeki oksijen önemli derecede etkilemektedir. Filtre girişindeki düşük oksijen konsantrasyonu sebebiyle yalnızca filtrenin üst kısımlarında gerçekleşir ve atıksuda çok az bir çözünmüş madde giderimi sağlanır. Gerekli oksijen takviyesi çözünmüş organik madde giderimi ve nitrifikasyon verimini arttırmaktadır. Bu amaçla ön havalandırma ile giriş akımının zenginleştirilmesi (Oksijen doygunluğuna göre 2 mg/L $\text{NH}_4^+\text{-N}$ için 10 mg/L oksijen verilmesi) yapılabilir.

8.3. Proses Tipleri

Filtre malzemesi, filtre tabakaları, filtre yönü, yıkama teknikleri ve uygulama amacına göre ileri atıksu arıtımında filtrasyon prosedürleri değişkenlik göstermektedir. Tablo 8.1 ve 8.2'de aşağı akışlı ve yukarı akışlı filtreler hakkında bilgi verilmiştir.

Tablo 8.1. Filtrasyon uygulamasında kullanılan filtre tipleri ve özellikleri

<i>Filtre Çeşidi</i>	<i>Filtre Malzemesi</i>	<i>Akış Yönü</i>	<i>Yıkama Sıklığı</i>	<i>Yıkama malzemesi</i>	<i>Giderim Etkisi</i>	<i>Tasarım tipi</i>
<i>Yüksek savaklı tip</i>	<i>Tek filtre tabakası</i>	<i>Aşağı akışlı</i>	<i>Kesikli</i>	<i>Su Hava</i>	<i>FS*</i>	<i>Tek tabakalı filtre</i>
					<i>FS, KOİ, NH₄⁺</i>	<i>Biyofiltre</i>
		<i>Yukarı akışlı</i>	<i>Kesikli</i>	<i>Su Hava</i>	<i>FS</i>	<i>Yukarı akışlı filtre</i>
					<i>FS, KOİ, P</i>	<i>Flokülasyonlu filtre</i>
	<i>İki filtre tabakası</i>	<i>Aşağı akışlı</i>	<i>Kesikli</i>	<i>Su Hava</i>	<i>FS, KOİ, NH₄⁺</i>	<i>Biyofiltre</i>
					<i>FS, KOİ, P, NH₄⁺</i>	<i>Flokülasyonlu Biyofiltre</i>
					<i>FS</i>	<i>Çok tabakalı filtre</i>
		<i>Yukarı akışlı</i>	<i>Kesikli</i>	<i>Su Hava</i>	<i>FS, KOİ, P</i>	<i>Flokülasyonlu filtre</i>
					<i>FS, KOİ, NH₄⁺</i>	<i>Biyofiltre</i>
					<i>FS, KOİ, P, NH₄⁺</i>	<i>Flokülasyonlu Biyofiltre</i>
<i>Damlatmalı film</i>	<i>İki filtre tabakası</i>	<i>Aşağı akışlı</i>	<i>Kesikli</i>	<i>Su Hava</i>	<i>FS, KOİ, NH₄⁺</i>	<i>Kuru filtre</i>
					<i>FS, KOİ, P, NH₄⁺</i>	<i>Flokülasyonlu filtre</i>
<i>Özel uygulama</i>	<i>Tek filtre tabakası</i>	<i>Yatay ya da yukarı akışlı</i>	<i>Sürekli</i>	<i>Su Hava</i>	<i>FS, (KOİ, NH₄⁺, P)**</i>	<i>Dairesel veya yukarı akışlı filtre</i>

* FS : Filtre edilebilen malzeme (0.45µm'lik membran filtre kullanılarak tespit edilmiş)

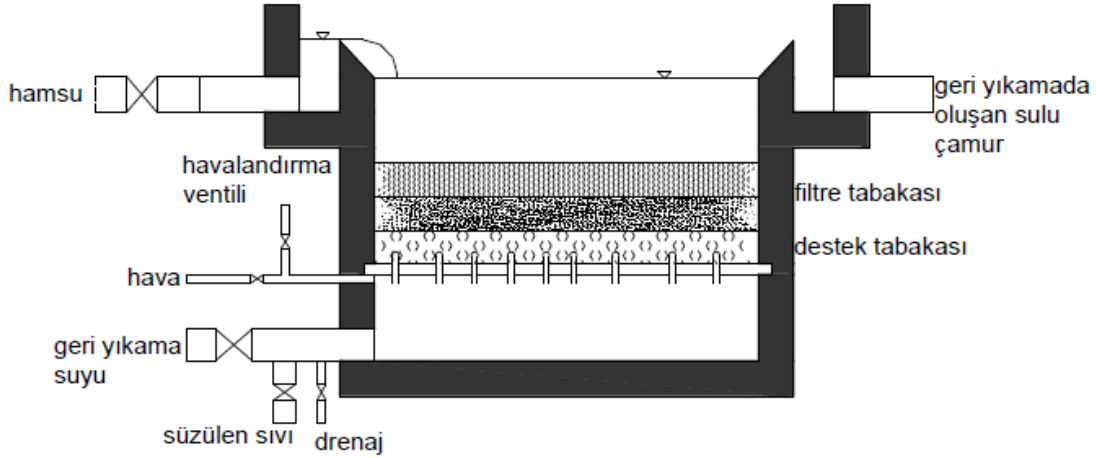
** Uygun ekipman ile

Tablo 8.2. Yüzeysel filtrasyon prosedürleri

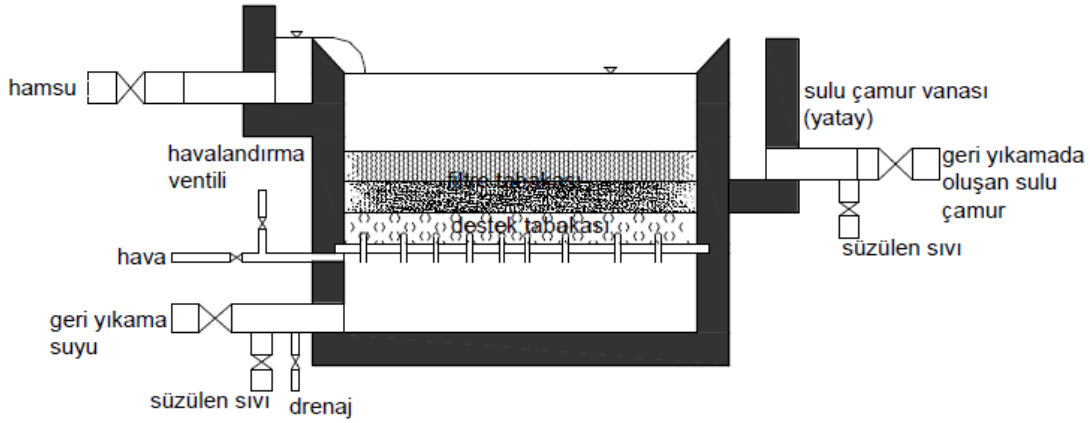
<i>Akış rejimi</i>	<i>Filtre malzemesi</i>	<i>Akış yönü</i>	<i>Yıkama sıklığı</i>	<i>Yıkama malzemesi</i>	<i>Giderim etkisi</i>	<i>Tasarım tipi</i>
<i>Yüksek savaklı tip</i>	<i>Tek yataklı filtre</i>	<i>Aşağı akışlı</i>	<i>Kesikli</i>	<i>Su Hava</i>	<i>FS</i>	<i>Eğimli yatak filtre</i>
			<i>Yarı sürekli</i>	<i>Su</i>	<i>FS</i>	<i>Hücre Filtre</i>
<i>Normal savaklı tip</i>	<i>Bez</i>	<i>İsteğe göre</i>	<i>Yarı sürekli</i>	<i>Su</i>	<i>FS</i>	<i>Bez filtre</i>

8.3.1. Aşağı Akışlı Filtreler

Aşağı akışlı yüksek kenarlı savağa sahip filtreler, tek veya en fazla iki tabakalı boşluk içeren filtrelerdir. İki'den daha fazla tabakaya sahip filtreler genellikle yaygın olarak kullanılmamaktadır (Şekil 8.1 ve 8.2).



Şekil 8.1. Aşağı akışlı filtre ve geri yıkama teçhizatı



Şekil 8.2. Aşağı akışlı yüksek kenarlı savağa sahip filtre ve geri yıkama teçhizatı

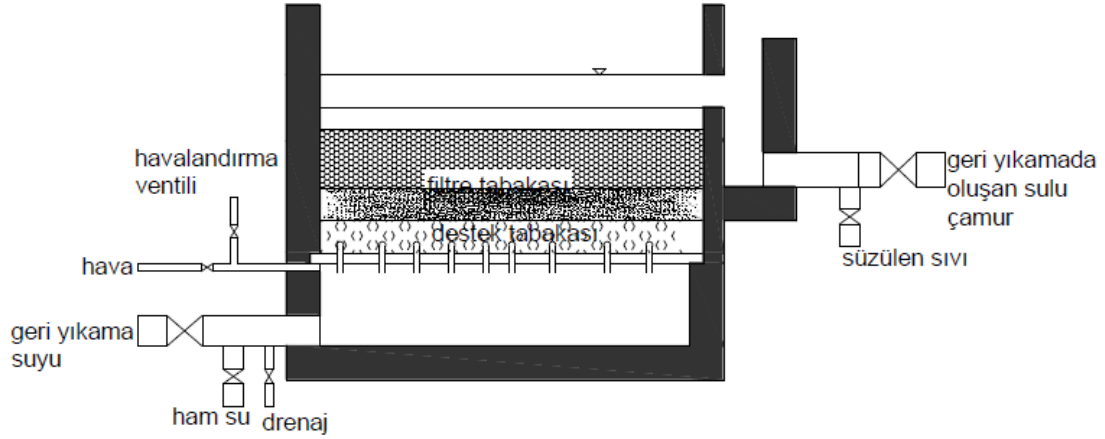
Tek ve çok katmanlı filtrelerin her ikisinde de tanecik yapısı birbirine çok yakın spektruma sahiptir.

$$U = d_{60}/d_{10} \leq 1.5 \quad (8.1)$$

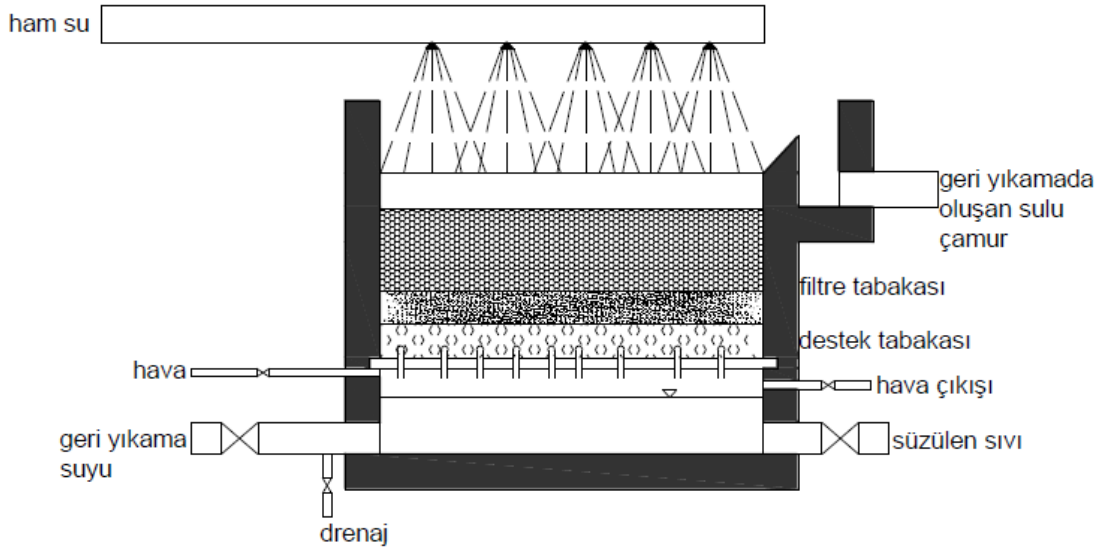
Çok katmanlı filtrelerde üst tabaka filtre malzemesi alt tabakaya oranla daha iri kaba partiküllerden oluşmakta, ancak işletme koşullarında geri yıkama sırasında seçilen ince taneli malzeme ile yer değiştirmektedir. Sünger taşı, kil ve killi şist üst katman malzemesi olarak kullanılabilir. Tek katmanlı ve çok katmanlı filtrelerin alt tabakalarında ise büyük ölçüde kum kullanılmaktadır.

8.3.2. Yukarı Akışlı Filtreler

Bu filtrelerde boşluk etkisi, akış yönündeki azalan tanecik çapı ve boşluk en kesiti ile sağlanmaktadır. Filtre malzemesinin yıkanmasıyla üniform dağılımdaki malzeme yapısı, aşağıdan yukarıya doğru gidildikçe kaba taneciklerden inceye doğru dizilerek istenen işletme konumuna geçmektedir. Filtre kumunun tanecik büyüklüğü genelde 1-4 mm arasında değişmektedir (Şekil 8.3 ve 8.4).



Şekil 8.3. Yukarı akışlı geri yıkamalı filtre



Şekil 8.4. Aşağı akışlı geri yıkamalı kuru tip filtreler

8.4. Filtre Edilebilir Maddelerin Kum Filtreleri ile Uzaklaştırılması

İkinci kademe çökeltilim sisteminin çıkışında kalan filtre edilebilir maddeler farklı filtrasyon prosedürleri ile yüksek verimde tutulabilmektedir. Deşarj değerleri genellikle 5 mg/L FS'in altında kalmaktadır. Filtre edilebilir maddenin ortalama BOİ₅, KOİ, fosfor ve azot içeriği Tablo 8.4'de verilmekte olup, filtrasyon neticesinde bu atıksu bileşenleri de filtre edilebilir madde ile birlikte sudan uzaklaştırılabilmektedir. Bu uzaklaştırma işlemi sırasında filtre yatağının havalandırılmasında kullanılan hava biyolojik aktiviteyi etkileyebileceğinden atıksu filtrelerinde bozulmalara neden olabilir. Filtre hızı (5 m/sa'in üzerinde bozulma), hava hızı (2,5-5 m/sa'in üzerindeki değerlerde bozulma) ve filtre tabakası yüksekliği yanında filtre malzemesinin dane çapı da etkili olan esas faktörler olarak gösterilebilir.

8.5. Fosfor Giderme (ATV Standart A 202 'ye göre)

İleri fosfor giderimi için filtrasyon, ön çökeltim veya eş zamanlı mekanik-biyolojik atıksu arıtma sistemlerindeki çökeltimden sonra veya çıkış suyu $P_{top} < 2 \text{ mg/l}$ değere sahip ikinci kademe arıtmayı takiben uygulanmalıdır. Flokülasyonlu filtrasyonda Fe^{+3} tuzları veya alüminyum bileşenleri flokülasyona yardımcı olmak amacı ile kullanılır. Kılavuz değer olarak Fe/P oranı 2/3 kabul edilebilir. Kimyasal tipi için alternatifler, dozlama miktarı ve dozlama noktası planlama esnasında dikkate alınmalıdır. Takip eden her durumda performans optimizasyonu için araştırma yapılması gerekli olacaktır.

Maksimum 15 m/sa filtrasyon hızı ve 6 ile 8 m/sa arasında kuru hava için çok tabakalı filtreler olarak boyutlandırılır. 1 mg/L P içerikli giriş akımına sahip böyle sistemler çıkış fosfor değerini 0,2 mg/L'ye kadar düşürebilir. Bu durum filtre edilemeyen fosfor bileşenlerinin artışından dolayı atıksular için uygulanmaz.

8.6. Çözünmüş Maddelerin ve Nitrifikasyon Kalıntılarının Giderimi

Genel olarak membran filtreler tarafından tutulamayan (0.45 μm gözenek genişliğine sahip) maddeler, çözünmüş maddeler olarak düşünülmektedir. Nitrifikasyon (kalıcı tip) ve KOİ giderimi için yoğun biyolojik filtrasyon ile yeterli oksijen sağlanmasına ek olarak, gözenekli veya en azından pürüzlü veya düşük derecede açılı vermiş filtre malzemesi kullanımı önem arz etmektedir. Malzemenin yapısı filtre yıkama prosesi sırasında aktif biyokütlenin uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Eşzamanlı olarak flokülasyonlu filtrasyon ile birlikte nitrifikasyon kalıntı maddelerinin giderimi yapılırken, kullanılan kimyasal maddeler sebebiyle, biyolojik proses bundan kötü yönde etkilenebilmektedir.

Boşluklu filtre ve flokülasyonlu filtrasyonda AOX (adsorbe edilebilir organik halojenlerin) giderimi beklenmemektedir. Diğer taraftan adsorblayıcı filtre malzemesi kullanılarak ya da adsorplama özelliğine sahip katkı maddeleri eklenerek organik halojenlerin gideriminde istenilen etki sağlanabilir.

8.7. Atıksu Filtrelerinin Boyutlandırılması ve İşletilmesi

8.7.1. Boyutlandırma

Filtre sistemi boyutlandırırken en önemli parametre filtre hızıdır. Boşluklu filtrelerde seçilen filtre prosesine göre filtre hızı $Q_t = 7,5 \text{ m/sa}$; havalı filtrelerde ise 5 m/sa olarak kabul edilebilir. Nemli hava koşullarında, yıkanacak üniteler göz önüne alındığında bu oran 10-15 m/sa ile sınırlandırılmıştır. İşletme şartları, teknik veya ekonomik sebepler göz önünde bulundurularak sürekli yıkanmayan filtreler için ünite başına $< 80 \text{ m}^2$ 'lik alana sahip en az 6 tane filtre ünitesi konması tavsiye edilir. Büyük veya küçük kapasiteli tesislerde bunun göz önünde bulundurulması yapılacak hesapları daha ekonomik hale getirmektedir.

Devamlı olarak yıkanmayan filtrelerde, filtrenin zamanla direncinin artacağını varsayarak ve aynı zamanda da flokülasyon filtrasyonunda, flokülasyon reaksiyonlarının oluşabilmesi için gerekli hacmi sağlayabilmek adına üstten en az 2.0 m'lik bir yükseklik bırakılmalıdır. Tablo 8.3'de boşluklu filtrasyonda kullanılan malzeme, dane çapları ve katman yükseklikleri verilmektedir.

Aşağı akışlı çok katmanlı filtrelerde malzeme seçimi ve dane çapını belirleme işlemi filtre yıkama kriterlerine göre belirlenmelidir. Filtre malzemelerinin seçiminde filtrasyon tesisinin uzun süreli işletimi de düşünülmeli, bazı özel şartlarda proses optimizasyonu için özel sınır koşul ve prosedürlerin kullanımı denenmelidir.

8.7.2. Filtrelerin Temizlenmesi

Kesikli işletilen filtreler yıkama yapılarak 24-48 saat ara ile rejenerasyona tabi tutulmalıdır. Geri yıkama ile filtre gevşemekte ve filtre üzerinde birikmiş kirlilikler kaldırılmaktadır. Farklı tipteki materyali içeren birden çok katmanlı filtrelerde geri yıkama, yoğun bir temiz su yıkaması yapılarak sonlandırılır. Böylece filtre katmanlarının yenilenmesi sağlanmış olur. Yıkama döngüsü sabit ya da filtre çıkış suyu konsantrasyonlarındaki değişime göre önceden belirlenen zaman aralıklarında yapılır. Normal işletimden farklılık gösteren ıslak hava şartlarında kısa süreli yıkama uygulanabilir.

Yıkama birkaç faz ile gerçekleştirilir. Aşağıdan yukarıya doğru, filtre edilmiş atıksu ve/veya hava ile yapılabilir. Saf su ile yıkama organik kütle birikimleri ve filtre malzemesi için başarılı olamamıştır.

Çok tabakalı filtrelerde yıkama programı, hem filtre yatağının yıkanması, hem de farklı filtre malzemelerinin sınıflandırmasını sağlayacak ve filtre boşluk etkisi kaybedilmeyecek şekilde yapılmalıdır. Sınıflandırma ile filtre yatağı % 20-30 oranında genişlemiş olur. Yıkama debisine göre beklenen yatak genişleme oranları Tablo 8.4'de verilmiştir.

Tablo 8.3. Normal boşluklu filtreler için filtre yatağı kriterleri (ATV-A 203E)

<i>Aşağı akış ile çalışan filtreler</i>				<i>Yukarı akışlı filtre</i>		<i>Aşağı akışlı kuru filtre</i>	
<i>Tek tabakalı filtre</i>		<i>İki tabakalı filtre</i>					
<i>Tabaka yüksekliği</i> <i>0.8 – 1.2 m</i>		<i>Üst tabaka yüksekliği</i> <i>0.8 – 1.0 m</i>		<i>Tabaka yüksekliği</i> <i>1.2 – 3.0 m</i>		<i>Üst tabaka yüksekliği</i> <i>1.0 – 1.2 m</i>	
<i>Materyal</i>	<i>Granül çapı</i> <i>[mm]</i>	<i>Materyal</i>	<i>Granül çapı</i> <i>[mm]</i>	<i>Materyal</i>	<i>Granül çapı</i> <i>[mm]</i>	<i>Materyal</i>	<i>Granül çapı [mm]</i>
<i>Filtre kumu</i>	<i>1.0 - 1.6</i> <i>1.0 - 2.0</i>	<i>Antrasit</i>	<i>1.4 – 2.5</i>	<i>Filtre kumu</i>	<i>2.0 – 3.15</i>	<i>Antrasit</i>	<i>2.5 – 4.0</i>
		<i>Taş</i>	<i>1.4 – 2.5</i>			<i>Kil</i>	<i>2.5 – 4.0</i>
		<i>Kil</i>	<i>1.4 – 2.5</i>			<i>Taş</i>	<i>2.5 – 4.0</i>
		<i>Ponza Taşı</i>	<i>2.5 – 3.5</i>				
<i>Alt tabaka yüksekliği</i> <i>0.4 – 0.6 m</i>				<i>Alt tabaka yüksekliği</i> <i>0.4 – 0.6 m</i>			
		<i>Materyal</i>	<i>Granül çapı</i> <i>[mm]</i>			<i>Materyal</i>	<i>Granül çapı</i> <i>[mm]</i>
		<i>Filtre kumu</i>	<i>0.71 – 1.25</i>			<i>Filtre kumu</i>	<i>1.0 – 2.0</i>
						<i>Bazalt</i>	<i>1.0 – 2.0</i>
<i>Destek Tabakası</i> <i>Malzeme bazalt, filtre çakılı</i> <i>tabaka yüksekliği [m]: 0.2 – 0.3</i>							
<i>Özel kısıt içeren durumlarda malzemelerin granül çapları filtre tankına ve filtre malzemesine göre seçilir</i>							

Tablo 8.4. Malzeme karakteristik değerleri ve 20°C sıcaklıktaki su ve temiz granüller için yıkama oranı

Filtre Malzemesi	Granül çapı (mm)	Katı yoğunluğu [g/cm³]*	Kütle yoğunluğu [g/cm³]	Kalıntı yoğunluğu [kg/m³]	Yeterli genişleme için yıkama debisi [m³/sa]
Antrasit	1.4 - 2.5	1.4	1.4	720	55
	2.5 - 4.0	1.4	1.4	720	90
Bazalt	1.0 - 2.0	2.9	2.9	1700	110
Ponza Taşı	2.5 - 3.5	2.3	1.3 - 1.5	340	55
Kireç Taşı	1.4 - 2.5	2.5	1.2 - 1.7	650	60
	2.5 - 4.0	2.5	1.2 - 1.7	600	90
Kil	1.4 - 2.5	2.5	1.1 - 1.6	650	60
	2.5 - 4.0	2.5	1.1 - 1.6	600	90
Filtre Kumu	0.71 - 1.25	2.5	2.5	1500	55
	1.0 - 1.6	2.5	2.5	1500	75
	1.0 - 2.0	2.5	2.5	1500	90
	2.0 - 3.15	2.5	2.5	1500	130

Verilen değerler üretici değerleridir.

5 °C < T < 30 °C aralığı için yıkama debisinin düzeltme faktörü

Sıcaklık [°C]	5	10	15	20	25	30
Düzeltilme Faktörü	0.87	0.92	0.96	1.0	1.04	1.12

Filtre tabakasının gevşeme noktası (filtre yatağının şişmeye başladığı nokta) ve genişleme oranı çok tabakalı filtrelerin formasyonunu belirler. Çok tabakalı temiz bir filtrasyon tankı formasyonu yalnızca bu karakteristik değerlerin iyi bir şekilde tahmini ile garanti edilebilir. Bunun yanında hava yıkaması ile filtre malzemesi birbirine karışmış olsa bile temiz sudan sonraki yıkamalarda filtre tabakası tekrar teşkil edilebilir. Teorik olarak en üst filtre malzemesinin genişleme oranı, daha düşük genişleme katsayısına sahip malzemenin genişleme oranına eşit veya bir miktar daha küçük olmalıdır. Filtre geri yıkama programı ile ilgili detaylı bilgiler Tablo 8.5'de verilmiştir.

Tablo 8.5. Çok tabakalı filtreler için geri yıkama programı örneği

Faz	Amaç	Hava Debisi [m³/sa]	Su Debisi [m³/sa]	Süre [dk]
1	Su girişini durdurma			
2	Filtre tabakası su seviyesini düşürme			
3	Sıkışmış filtre tabakasını genişletmek	75 - 100	-	2.0 - 5.0
4	Yüksek türbülanslı karışık ortam	75 - 100	12 - 20	1.5 - 3.0
5	Katıların uzaklaştırılması	-	55 - 90	2.0 - 6.0
6	Filtre ortamının sınıflandırılması ve tabakaların ayrımı	-	60 - 100	1.5 - 2.0
7	Filtreyi işletmeye almak	-	-	-

Eğer az sayıda filtre haznesi mevcut ise, filtre çıkışındaki temiz süzüntü suyu hacmi filtre haznesinin yıkanmasında yetersiz kalacaktır. Bu durumda filtre yıkama suyu için büyük bir

depo yapılmalıdır. Geri devir çamurundan dolayı kanalizasyon suyu arıtma sistemlerinin hidrolik olarak aşırı yüklemesini düşürmek için çamur deposu da yapılmalıdır. Diğer taraftan çamur debisi bu sistemlerin hidrolik boyutlandırılmasında hesaba katılmalıdır.

Çamur, kum tutucu giriş akımına, birinci kademe arıtmaya veya havalandırma tankına geri beslenebilir. Çamur borularının tasarımında, çamurun muhtemel depolanması işlemi ve aynı zamanda bunların temizlik ve muhtemel ayırma arıtma işlemleri de hesaba katılmalıdır.

8.8. Atıksu Filtrelerinin Proses Tasarımı

Q debisinde ve Q_t kombine atıksu giriş debisine sahip bir filtre için tasarıma esas mevcut şartlardaki atıksu karakterizasyon değerleri kullanılmak şartı ile filtrasyon prosesinin tasarımı bu bölümde gösterilen hesaplama tekniği kullanılarak yapılabilir.

Bu proses tasarım şablonunda aşağıdaki atıksu karakterizasyonuna göre hesaplar yapılmıştır.

$$KOİ = 60 \text{ mg/L}$$

$$BOİ = 10 \text{ mg/L}$$

$$NH_4\text{-N} = 5 \text{ mg/L at } T > 12^\circ\text{C}$$

$$P_{top} = 0,5 \text{ mg/L}$$

$$N_{top} = 18 \text{ mg/L}$$

İkincil çökeltim tankından savaklanan suda 20 mg/L filtre edilebilir maddelerin bulunması beklenir (ATV standardı A131'e göre).

Bir filtrasyon sistemi, çıkış suyu kalitesi esas alınarak özellikle fosfor içeriği ile ilgili gereksinimlere ulaşmak için planlanır. Fosfor giderimi için aktif çamur sistemlerinde eş zamanlı çöktürme ile kombine edilmiş biyolojik ön giderim önerilir ve flokülasyon filtrasyonu uygulanır.

İkincil çökeltim havuzu çıkışında 1 mg/L fosfor içeriği olduğu kabul edilir.

Aşağı akış vasıtası ile filtrasyon yapan bir filtre ünitesinin yükleme hızları aşağıdaki gibi seçilmiştir.

Filtre oranı;

$$\text{Kuru hava: } V_f = 7,5 \text{ m/sa}$$

$$\text{Atıksu girişi ile karıştırılmış: } V_f = 15 \text{ m/sa}$$

Teorik olarak gerekli filtre yüzeyi ve filtre ünitesi

$$A_{filt.} = Q/V_f$$

Q debisi için V_f filtre hızında gerekli filtre yüzey alanı hesaplanmaktadır.

Filtre ünitelerinin sayısının seçimi ile ilgili olarak aşağıdaki kabuller hesaba katılmıştır.

Minimum ünite sayısı 6

$Q_{yıkama} \approx Q$ kriterine göre filtre yüzeyinin boyutu

Her filtre yüzeyi $< 80 \text{ m}^2$

olmalıdır. Nihai yapının planlanması için filtre materyali seçimi ile ilgili olarak başlangıç yıkama hızı 80 m/sa olması şarttır.

$$\text{Ünite sayısı: } \frac{A_{filt.}}{A_i} \quad , \quad A_i: \frac{Q}{80 \text{ m/sa}}$$

Ünite sayısı seçildikten sonra her bir ünite için gerekli alan (A_i) ile çarpılarak tekrardan gerekli filtre yüzey alanı kriterini sağladığı kontrol edilir.

Kombine atıksu girişinin doğrulanmasında bir filtre ünitesinin eş zamanlı yıkanması durumu da hesaba katılmalıdır.

$$\frac{Q_t}{(N-1).A_i} < 15 \text{ m/sa olmalıdır.}$$

Filtre Materyalleri ve Filtre Yatağı Yüksekliği

Filtreler iki tabakalı olarak düşünülebilir.

Su Yüksekliği

Su yüksekliği 2 m seçilmiştir. Her filtre ünitesinin su çıkışında açılır kapanır kapak standart olarak kullanılır. Bu kapakların açıklığı $\% 90$ 'a ulaştığı zaman filtre yıkama işlemi başlatılır.

Koagülan Dozajı

Dozlanacak kimyasal olarak Demir klorit sülfat (FeClSO_4) öngörülmüştür. Mol oranı 2 seçilmiştir. Örneğin 1 mg/L fosfor içeriği olan atıksuya $3-4 \text{ mg/L}$ Fe^{+3} olacak şekilde kimyasal dozlaması yapılmalıdır. Koagülan filtre girişine dozlanır. Koagülan ile atıksuyun iyi karıştığından emin olmak için besleme pompasından, filtre boru hattına besleme yapılabilir.

Tasarım

Q debisi için 4 mg/L Fe olacak şekilde (184 g/L Fe^{+3} olacak şekilde seyreltilmiş FeClSO_4 çözeltisinden)

$$\frac{Q \left(\frac{\text{lt}}{\text{sn}} \right)}{4 \left(\frac{\text{mg}}{\text{lt}} \right)} = \mathbf{B} \text{ mg/sn Demir veya } \frac{B \left(\frac{\text{mg}}{\text{sn}} \right)}{184 \left(\frac{\text{g}}{\text{lt}} \right)} = \mathbf{C} \text{ ml/sn (dozlanacak seyreltilmiş } \text{FeClSO}_4 \text{ çözeltisi)}$$

Tutulan Katıların Belirlenmesi

Son çökeltim tankından gelen çıkış suyu içerisindeki katılar;

$20 \text{ g/m}^3 * Q \text{ m}^3/\text{gün} = X \text{ kg/gün}$ çözülmüş katı madde (ÇKM) miktarı bulunur.

Koagülan eklentisinden kaynaklanan katılar;

$Q \text{ m}^3/\text{gün} * 4 \text{ g Fe/m}^3 * 2,5 \text{ g ÇKM} = Y \text{ kg/gün ÇKM}$

Bulduğumuz bu iki değer toplamı toplam ÇKM değerine eşit olacaktır.

Filtre çıkış suyunda kalan ÇKM miktarı 5 g/m^3 olarak kabul edilirse, filtrede tutulan miktar;

$Q \text{ m}^3/\text{gün} * 5 \text{ g/m}^3 = Z \text{ kg/gün ÇKM}$

Filtrede tutulan madde miktarı: $X + Y - Z$ bağıntısından hesaplanabilir.

Geri Yıkama Programı

Geri yıkama programı olarak Tablo Ek-8.1.3'e göre seçilen bir yıkama programı kullanılır. Toplam yıkama programı, geçiş ve beklemler dahil olmak üzere 21 dakika sürmektedir.

Filtre edilmiş su, yine filtreleri yıkamak için kullanılır. Tablo 8.5'e göre bir filtre ünitesinin yıkanması esnasındaki filtre süzüntü suyu ihtiyacı;

Faz 4 : $20 \text{ m/sa} * A_i * 2 \text{ dk} = a$

Faz 5 : $50 \text{ m/sa} * A_i * 5 \text{ dk} = b$

Faz 6: $80 \text{ m/sa} * A_i * 2 \text{ dk} = c$

Toplam hacim $V = a + b + c$ olarak alınabilir:

Yıkama Suyu Miktarının Tahkiki

Gecelik Debi: $Q/42$

Maksimum ihtiyaç (Faz 6);

$80 \text{ m/sa} * A_i * 1 \text{ dk} = d$

$d > T$ değerinden ise gerekli süzüntü suyu depolama hacmi;

$(d - T) * 2 = V_a$

Faz 5 hesaba katılırsa ;

$b/5 \text{ dk} = e$

$(e - T) * 5 \text{ dk} = V_b$

Rezervuar hacmi toplamı; V_a+V_b olur.

Eğer gerekli ise rezervuar hacmi pompa haznesi girişi tarafında belirlenir.

Çamur Rezervuarı

Çamur rezervuarsız atıksu arıtma tesislerinin boyutlandırılmasında kısa süreli hidrolik pik yükleme $80 \text{ m/sa} * A_i$ olur. Bu pik yüklemeye boyutlandırmada hesaba katılmalıdır. Yağışlı havalarda böyle pik yüklemeler uygun değildir.

Aynı zamanda çamur geri besleme pompaları ile ilgili olarak toplam çamur miktarının fazlası su yüksekliği 2 m olacak şekilde bir rezervuar yapılması gerekir.

$$V_{rez} = 2. A_i + V$$

Bu tip tasarımda depo bir sonraki filtre yıkama zamanına kadar boşaltılmalıdır (Atıksu Arıtma Tesislerinin Fazla Yüklenmesi).

$$60 \text{ dk/sa}/21 \text{ dk} * V_{rez}$$

Bunun dışında, aşağı akışlı filtrasyon serilerinde son çökeltim tankının büyütülmesine gerek yoktur. Filtrelerin muhtemel kısa süreli yüksek besleme oranları kabul edilebilir.

8.9. Kaynaklar

ATV - A 202E (2004). German ATV Rules and Standards, Chemical-Physical Methods for the Removal of Phosphorus from Wastewater.

ATV-A 203, *Abwasserfiltration durch Raumfilter nach biologischer Reinigung* (ATV-A 203E, Wastewater Filtration Using Space Filters following by Biological Treatment)

BS 6297 (amd. 1990), Code of practice for design and installation of small sewage and treatment works and cesspools.

BS EN 12255-16 Part 16: Physical (Mechanical) Filtration, İngiliz Standartları Enstitüsü.

DIN EN 12255-16, Part 16: Physical (Mechanical) Filtration, Alman Standartları Enstitüsü.

Institution of Water and Environmental Management, Unit Processes Tertiary Treatment, Second Edition (1994).

9. DEZENFEKSİYON

Prof. Dr. İsmail KOYUNCU

9.1. Giriş

Evsel atıksular biyolojik ve ileri arıtma sistemleriyle arıtıldıktan sonra bile yüksek miktarda patojen (bakteri, virüs, parazit) mikroorganizma içermektedirler. Bu yüzden, arıtılmış atıksular dezenfekte edildikten sonra alıcı ortama deşarj edilmelidir. Atıksuların dezenfekte edildikten sonra deşarj edilebileceği veya kullanılabilirliği durumlar şunlardır (ATV - M 205E, 1998):

- Dinlenme ve yüzme amaçlı olarak kullanılan sular,
- Kabuklu su ürünleri faaliyetlerinin yürütüldüğü sular,
- Arıtıldıktan sonra, ürünle temaslı veya temassız, tarımsal sulama yöntemleri öncesinde,
- Arıtıldıktan sonra proses suyu olarak yeniden kullanım durumlarında,
- İçme suyu temininde kullanılan kaynaklara deşarj öncesinde

Dezenfeksiyon seviyesi, ulusal yönetmeliklerle tespit edilir. Türkiye’de atıksuların alıcı ortama deşarj edilmeden önce dezenfeksiyonunu gerektiren veya sınırlandıran yönetmelikler ve tebliğler vardır. Bunlar aşağıda verilmiştir:

- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Rekreasyon Amacıyla Kullanılan Kıyı ve Deniz Sularının Sağlaması Gereken Standart Değerler, Derin Deniz Deşarjları İçin Uygulanacak Kriterler),
- Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliği,
- Teknik Usuller Tebliği (Arıtılmış Atıksuların Sulamada Kullanılması Kriterleri)

Atıksuların arıtıldıktan sonraki dezenfeksiyonunda, aşağıdaki iki muhtemel mekanizma rol oynamaktadır:

- Mikroorganizmaların, çoğalmalarının engellenmesi suretiyle etkisiz hâle getirilmesi,
- Mikroorganizmaların, etkisiz hâle getirilmeksizin çıkış suyundan ayrılması (filtrasyon ile olduğu gibi)

Mikroorganizmaları etkisiz hale getirerek atıksuyun dezenfekte edildiği yöntemler şunlardır:

- Kızılötesi (UV) ışınması,
- Klorlama,
- Ozonlama

Bu yöntemlerin yanında mikroorganizmaları kademeli olarak azalttığı için, atıksu dezenfeksiyonunda kullanılan diğer yaygın prosesler ise şunlardır:

- Membran filtrasyonu,
- Stabilizasyon veya olgunlaştırma havuzları

Dezenfeksiyon yöntemine karar verme ve planlama aşamasında aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

- Gerekli dezenfeksiyon seviyesi,
- Dezenfeksiyon prosesinin kararlılığı ve verimliliği,
- Dezenfeksiyon prosesinin teknolojik seviyesi,
- Güvenlik ile ilgili hususlar,
- Çevresel etkiler (Örneğin çıkış sularının kalitesine dair etkiler (BOİ₅, KOİ, AKM), dezenfeksiyon yan ürünlerinin zararlı etkileri, toksik veya biyolojik olarak biriken yan ürünler),
- Enerji ihtiyaçları

9.2. Atıksu Dezenfeksiyonun Esasları

Atıksu dezenfeksiyonu, atıksu içeriğindeki bütün mikroorganizmaların yok edilmesi veya devre dışı bırakılmasından ziyade, patojen mikroorganizma sayısının atıksu veya çamur arıtımı için belirlenen belli bir değerin altına düşürülmesi veya aktivitesinin azaltılmasıdır. Sterilizasyon ise tüm mikroorganizmaların imha edilmesi ya da ortadan kaldırılmasıdır (ATV - M 205E, 1998).

Dezenfeksiyon türünün seçimi, atıksu özelliklerine (özellikle askıda, çözünmüş organik ve oksitlenebilir maddeler, pH değeri, sıcaklık) ve arıtılmış atıksuyun kullanımına bağlı olarak izin verilen patojen mikroorganizma sayısına bağlıdır. Mikroorganizmaların dezenfeksiyon ile tamamen imha veya aktivitesinin bozulması temelde aşağıdaki faktörlerden etkilenmektedir:

- Atıksuyun organik yükü, askıda katı madde ve bulanıklık değerleri,
- Başlangıç konsantrasyonu, mikroorganizmaların tipi ve özellikleri,
- Dezenfektan veya dezenfeksiyon işleminin türü ve özellikleri,
- Dezenfektan konsantrasyonu veya reaksiyon süresi

Kimyasal dezenfeksiyonda, konsantrasyon ve reaksiyon süresi, UV ile dezenfeksiyonda ise UV ışınının şiddeti ve bekletme süresi önemlidir. En kritik husus, her parçacığın atıksu ile aynı yoğunluk ve aynı reaksiyon süresi ile muamele ediliyor olmasıdır. Mikroorganizmaların ayrılması için kullanılan membran filtrasyonunda ise basınç ve gözenek boyutu önemlidir.

Atıksu dezenfeksiyonu için fekal indikatör olarak kullanılan bazı bakteri türleri vardır. Bunlar aşağıda verilmiştir:

- (Toplam) Koliform bakteri yalnızca sıcakkanlı memelilerin bağırsaklarından kaynaklanmadığı için fekal kirliliğin sadece bir göstergesidir.

- Fekal koliform bakteri veya *Escherichia coli* (*E. coli*), genellikle sadece sıcakkanlı memelilerin bağırsaklarında oluştuğundan bir fekal kirlilik doğrulamasıdır.
- Fekal kirliliğin doğrulaması olan bir diğer bakteri türü de Fekal Enterococcus 'dur.

Dezenfeksiyon için kullanılan prosesin verimini belirlemek için dezenfeksiyon prosesi öncesi ve sonrasında indikatör organizma sayısı belirlenir. Verim genellikle Log giderme verimi cinsinden ifade edilir.

9.3. Göller ve Nehirlere Deşarj Edilen Arıtılmış Atıksu Deşarjlarının Sağlık Etkileri

Bulaşıcı hastalıklar atıksu ile yayılabilir. Atıksuda oluşan bazı patojenler ve bulaşıcı hastalıkları ile ortaya çıkaran enfeksiyon tehlikeleri Tablo 9.1'de listelenmiştir. Patojenlerin varlığı kesin hastalık göstergesi değildir. Bulaşıcı bir hastalık oluşumu;

- Mikroorganizma sayısına,
- Patojenik hastalık oluşturma derecesine,
- Alıcının direnç veya sağlığına

bağlıdır.

Tablo 9.1. Doğrudan veya dolaylı olarak, atıksu ile hastalıklara neden olabilen bazı insan ve hayvan patojenleri (ATV - M 205E, 1998)

	Patojen ajan tipi	Hastalıklar
Virüsler	<i>Çocuk felci virüsleri</i>	<i>Menenjit,</i> <i>Çocuk felci</i>
	<i>Cocksackievirus A, B</i>	<i>Menenjit egzema</i>
	<i>ECHO virüsleri</i>	<i>Menenjit, ishal</i>
	<i>Hepatit A</i>	<i>Epidemik hepatit</i>
Bakteri	<i>Salmonella typhi</i>	<i>Tifüs</i>
	<i>Enterik salmonella i.a.</i>	<i>Enterik salmonella</i>
	<i>Shigella sp</i>	<i>Bakteriyel dizanteriye</i>
	<i>Enteropatojenik</i>	
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterit, enterotoksin</i>
	<i>Yersinia türleri</i>	<i>Enterit</i>
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Dermatit, otitis</i>
	<i>Vibrio cholerae</i>	<i>Enterit</i>
	<i>Campylobacter jejuni</i>	<i>Leptospiroz</i>
	<i>Leptospira türleri</i>	<i>Listeryozis</i>
	<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Tularaemia</i>
	<i>Francisella tularensis</i>	<i>Şarbon</i>
	<i>Bacillus anthracis</i>	<i>Botulizm,</i>
	<i>Clostridium botulinum</i>	<i>Gazlı kangren</i>
<i>Mycobacterium türleri</i>	<i>Cilt ülserasyon tüberküloz</i>	
<i>Chlamydia trachomatis</i>	<i>Konjonktivit, trahom</i>	
Protozoa	<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Amipli Dizanteri</i>
	<i>Giardia lamblia</i>	<i>Lambliasis</i>
	<i>Cryptosporidium türleri</i>	<i>Cryptosporidosis</i>
Solucanlar	<i>Ascaris lumbricoides</i>	<i>Ascarids</i>
	<i>Tenya türleri</i>	<i>Şerit solucanlar</i>

9.4. Atıksu Dezenfeksiyon Yöntemleri

Atıksu dezenfeksiyonu için geliştirilmiş kimyasal ve fiziksel bazlı çeşitli yöntemler bulunmaktadır. En önemlileri şunlardır:

Fiziksel yöntemler: Isıl arıtma, UV ışınımı, membran filtrasyonu

Kimyasal yöntemler: Ozonlama, klor, klor bileşikleri ve klordioksit kullanarak klorlama ve hidrojen peroksit uygulanması

Aşağıda, UV ışını, ozonlama, membran filtrasyonu ve klorlama ile atıksu dezenfeksiyonu konusu daha detaylı olarak ele alınmıştır.

9.4.1. UV Işınımı

UV-C ışınlarının (200-280 nm dalga boyu aralığında) dezenfeksiyon etkisi, içme ve kullanma suyunun dezenfeksiyonunda 20.yy'ın başlarından beri bilinmektedir. 1970'lerin ortalarından beri UV ışınları atıksuların dezenfeksiyonunda daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Aşağıda bu konu daha detaylı olarak ele alınmıştır (ATV - M 205E, 1998).

9.4.1.1. Genel Esaslar

UV ışınlarının etkinliği, mikroorganizmaların hassasiyetine bağlıdır. Ayrıca, UV ışınlarını absorbe eden maddeler, sudaki katı maddelerin miktarı ve tipi ve atıksuyun hümik asit, demir ve manganez içeriği gibi diğer kimyasal ve fiziksel özelliklerinden de etkilenmektedir.

UV ışınları ile dezenfeksiyonda, mikroorganizma türleri arasında farklılık vardır. UV ışınlarına hassas türler arasında gram-negatif bakteriler (koliform bakteri, *salmonella*) ve daha az hassas türler arasında ise gram-pozitif bakteriler (*staphylococci*, *enterococci*) sayılabilir. Fungi ve sporlar en yüksek UV direncine sahiptirler. Virüslerin direnci gram-pozitif bakteriler ile gram-negatif bakteriler arasındadır. Atıksuyun dezenfekte edilmesi için UV sistemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- UV reaktörünün tipine göre (açık kanal cazibe akışlı sistemleri, kapalı kap sistemleri),
- UV lambalarının tipine göre (düşük basınç veya orta basınç cıva lambaları),
- UV lambalarının konfigürasyonuna göre (kuvars cam kap muhafazalı atıksuya daldırılmış lambalar, temassız sistemler)

UV sistemleri bir veya daha fazla reaktörden oluşabilir. UV reaktörleri ise seri veya paralel bağlı olabilir.

Güvenli bir dezenfeksiyon ve UV sisteminin verimliliği için, hidrolik tasarım ve UV lambalarının verimliliği çok önemlidir. UV sisteminin hidrolik tasarımında aşağıdaki

hususlar sağlanmalıdır:

- Dezenfekte edilecek atıksuyun tamamının, UV ışını sistemine girmeden geçmemesi,
- UV reaktörlerinin bütün kesitlerinin ışımaya tabi tutulması (gölgeli alanın olmaması),
- Hidrolik akışın mümkün olduğunca piston akımlı reaktördeki benzer olması,
- Hidrolik akışın mümkün olduğunca dikey karışımı sağlayacak şekilde olması

9.4.1.2. Tasarım ve İşletme

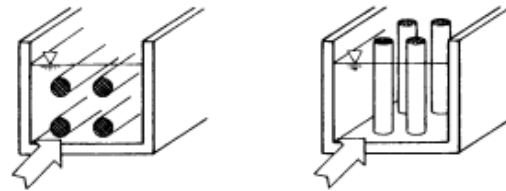
Teknik olarak, UV ışınları alçak veya orta basınç cıva buharı lambaları ile üretilmektedir. Uygulamada genellikle daha az enerji gerektirdiği için düşük basınçlı cıva lambaları kullanılmaktadır.

UV ışınından önce atıksu, biyolojik arıtmaya tabi tutulmalı, hava kabarcıklarından arındırılmalı ve düşük katı madde konsantrasyonuna sahip olmalıdır.

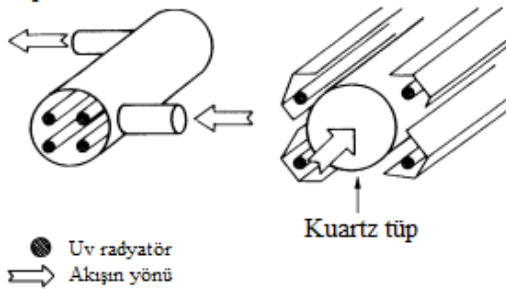
UV lambaları, kapalı veya açık sistem şeklinde olabilir. Atıksu dezenfeksiyonunda, orta basınçlı cıva lambaları açık kanal sistemleri içerisinde yaygın olarak kullanılır. Kapalı UV sistemleri ise daha çok kullanma suyu elde etme amaçlı olarak kullanılır.

Şekil 9.1’de, en sık kullanılan, akıntıya paralel yatay yerleştirilmiş düşük basınçlı UV lambalarının açık kanal sistem içerisindeki bir örneği görülmektedir (Şekil 9.2). 2 ile 30 lamba, ayrılabilir parçalar halinde birbirine paralel olarak yerleştirilir. Çapraz veya dikey olarak yerleştirilen lambaların olduğu tesislerde, hidrolik olarak istenmeyen desteklerin ve ışınımın dengesiz dağıldığı bölgelerin oluşmamasına dikkat edilmelidir. UV lambaları ve açık-kapalı reaktör sistemleri Şekil 9.1 ve Şekil 9.2’de verilmiştir.

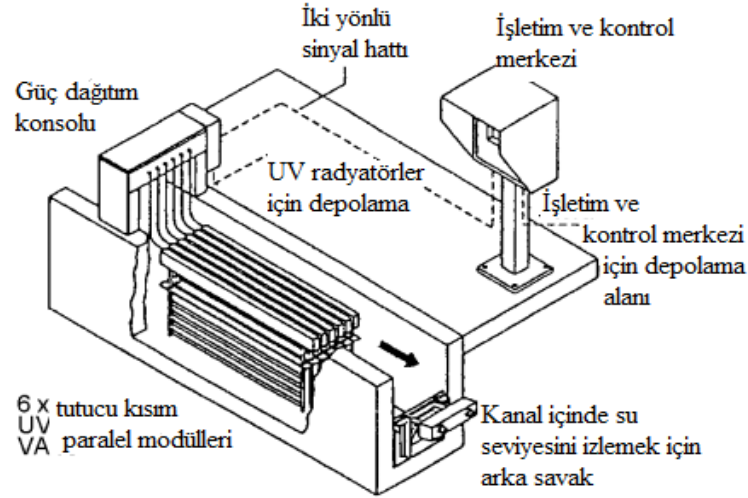
Açık kanal



Kapalı sistem



Şekil 9.1. UV ışını reaktörlerinin şematik gösterimi (ATV - M 205E, 1998)



Şekil 9.2. Yatay lamba düzeni ile açık kanal UV ışını sistemi (şematik) (ATV - M 205E, 1998)

UV lambalarının ömrü ve başlatılma prosedürleri, servis süresi sonundaki performansları ve m³ atıksu başına UV sistemi enerji tüketimi, üreticinin teklifinde garanti edilmelidir. Temizleme için gerekli ekipman ve tesisler, tanıtımları, fiyatları ve kullanım prosedürleri ile beklenen temizlik giderleri teklife dahil edilmiş olmalıdır. Sistem kabul edilmeden önce, istenen mikroorganizma giderimi ve mikrobiyolojik değerlendirme doğrulanmalıdır.

Tasarım ve ekipman ile ilgili hususlar aşağıda sıralanmıştır (ATV-M 205E, 1998):

- Debinin 1.000 m³/saat üzerindeki değerlerinde, toplam debinin paralel kanallara dağıtılması tavsiye edilmektedir.
- Sistemler, beklenen hava şartları ve iklim değişikliklerinde her zaman çalışabilir donanımına sahip olmalıdır.
- UV modülleri, özel bir yardım gerektirmeden işletme personeli tarafından yerleştirilip sökülebilecek kapasite ve sağlamlıkta olmalı, suya ve seyreltilmiş asitlere batırılabilir, kurulmuş radyatörleri de hasarlara karşı koruyabilecek nitelikte olmalıdır.
- Kuartz cam tüp muhafazası ve UV lambalarının kurulum, demonte ve elle temizlenme için kolayca ulaşılabilir olmaları gerekir.
- Tüm elektrik kurulum ve bağlantıları kolay ulaşılabilir olmalı, ıslak ve nemli ortamlarda işletme koşullarını sağlamalıdır.
- Lambaların tüpleri, 0,75-1,5 m uzunluğunda ve 1,5-2 cm çapında olabilir.
- Enerjinin % 35-40'ı ışığa dönüşmektedir. Toplam ışığın % 85'inde 254 nm dalga boyu vardır. Toplam verim, % 35 civarındadır.

Tortu oluşumu ve lambaların temizlemesi ile ilgili hususlar aşağıda sıralanmıştır (ATV-M 205E, 1998):

- Lambaların arızası ve yaşlanmasına ilaveten, işletme sırasında UV radyasyonu seviyelerini düşüren bir başka sebep de kuartz tüp üstünde biriken tortulardır. Tortular atıksuyun özelliklerine bağlı olarak çok değişik türde olabilirler ve fosfor gideriminde kullanılan kimyasalın türünden etkilenebilirler. Bu yüzden tortu birikimi sürekli olarak kontrol edilmelidir. Belirlenen sensör değerinin altında bir durum gözleendiğinde, temizleme işlemi başlatılmalıdır ve bu işlemin sıklığı atıksuyun bileşimine göre 14 gün ile 3 ayda bir olabilir.
- Önceki deneyimler etkili bir temizleme işleminin sadece seyreltilmiş asitle yapılabileceğini göstermektedir. Ultrasonik temizleme sistemlerinin pratikte kullanılması yaygın değildir. Mekanik temizleme sistemleriyle tortu birikmesi geciktirilebilir. Mekanik/kimyasal temizleme sistemleriyle ilgili henüz uzun süreli bir deneyim yaşanmamıştır.
- Küçük ve orta ölçekli sistemlerin, periyodik kimyasal temizleme, irradyasyon kanallarından UV modüllerinin çıkarılması, bu modülleri 5 veya 10 dakikalığına seyreltilmiş asit içeren tanklara yerleştirme ve son olarak da temizlemek için modülleri suyla yıkayıp, kanaldaki yerlerine yerleştirmek için pratik oldukları kanıtlanmıştır. 100 modülün üstünde olan büyük sistemlerde ise bütün modülleri vinç yardımıyla çıkarıp temizlemek daha kullanışlı olabilir. Her 1000 m³/saat kapasiteye sahip olan modül için toplam temizlik süresi 3 saattir.

Alçak ve orta basınçlı lambaların en önemli karakteristik özellikleri Tablo 9.2’de verilmiştir.

Tablo 9.2. Düşük ve orta güçlü lambaların karakteristikleri ve özellikleri (ATV - M 205E, 1998)

<i>Karakteristikleri ve özellikleri</i>	<i>Düşük basınçlı cıva lambaları</i>	<i>Orta basınçlı cıva lambaları</i>
<i>Cıva buharı basıncı [bar]</i>	<i>0,001</i>	<i>1 - 20</i>
<i>Yüzey sıcaklığı [°C]</i>	<i>40 - 100</i>	<i>600 - 900</i>
<i>UV aralığında Radyasyon dalga boyları [nm]</i>	<i>tek renkli 254</i>	<i>geniş bant 200-400</i>
<i>Enerji tüketimi [W]</i>	<i>10 - 500</i>	<i>1000 - 20000</i>
<i>UV-C (200 - 280 nm) aralığında verimi:</i>		
<i>belirtilen elektrik gücü [%],</i>	<i>30 - 40</i>	<i>12 - 15</i>
<i>belirtilen radyatör uzunluğunu [W / cm]</i>	<i>0,2 - 0,7</i>	<i>4 - 15</i>
<i>Ömrü boyunca güç düşüşü [%]</i>	<i>30 - 40</i>	<i>25 - 40</i>
<i>Ömrü [saat]</i>	<i>8000 - 15000</i>	<i>3000 - 8000</i>

9.4.1.3. UV Işını Yan Etkileri ve Emniyet Tedbirleri

- UV ışını ile ilgili çalışmalarda arıtılmış atıksu üzerinde herhangi bir yan etkiye rastlanmamıştır.
- Ancak, işletme sırasında UV ışınları göz ve deride hasara sebep olabilir.
- Güvenlik önlemlerini göz önüne alarak, UV sistemleri sistemden hiç radyasyon kaçmayacak şekilde kurulmalıdır.
- UV ışını bölgeleri bu yüzden ışık geçirmez olmalıdır.
- Uygun uyarı işaretleri sistem üstüne açıkça konmalıdır.

- Temizleme ve bakım işleri UV lambaları kapalı konumdayken yapılmalı, lambaların temizlenmesi için mümkün olduğunca çevre dostu kimyasallar kullanılmalıdır.
- Kullanılmış UV tüpleri, floresan tüplerle birlikte uzaklaştırılabilir. Civa içerdikleri için evsel atık sınıfında değildirler.

9.4.2. Ozonlama

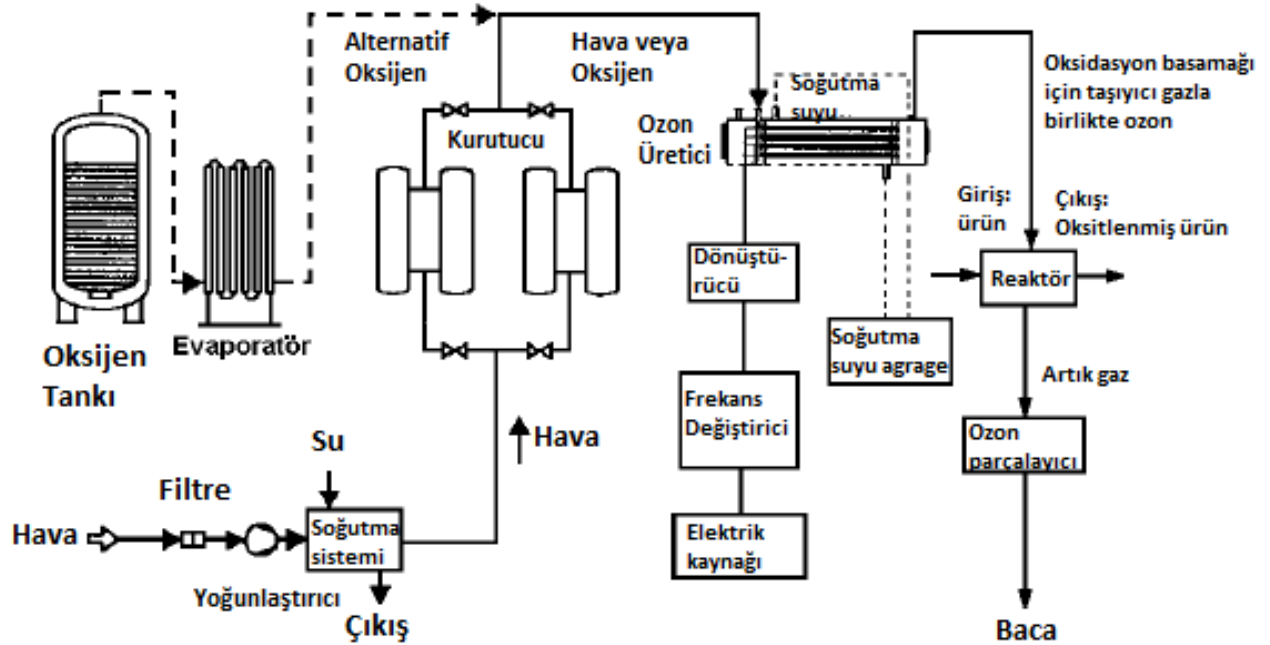
9.4.2.1. Genel Esaslar

Ozonlamanın en önemli özelliği klordan daha yüksek oksidasyon kapasitesidir. Ozonlamanın etkisi, ozon dozuna, reaksiyon süresine, arıtılacak organik madde yüküne ve pH değerine bağlıdır. Yüksek pH değerlerinde ozon, düşük seviyelere göre daha çabuk parçalanmaktadır. Bu yüzden de dezenfeksiyon etkisinde bir azalma olmaktadır (ATV - M 205E, 1998).

9.4.2.2. Tasarım ve İşletme

Ozon, endotermik reaksiyon ile üretilir. Oluşan reaksiyon ürünü hızlı bir şekilde moleküler ve atomik oksijene parçalanmaktadır. Ozonun kararlı olmayışı, onun bir kaba doldurulup taşınabilmesini engellemekte ve bu yüzden de kullanılacağı yerde üretilmektedir. Bir ozon tesisi (Şekil 9.3), ozon reaktörü, karıştırma tesisi, reaksiyon tankı ve artık ozon giderilme birimlerinden oluşmaktadır.

Ozonlama sistemi akış şeması Şekil 9.3'de verilmiştir.



Şekil 9.3. Atıksu dezenfeksiyonu için ozon tesisi (ATV - M 205E, 1998)

Ozon, ozon reaktörü içinde yüksek voltajlı elektrik enerjisinin etkisiyle saf oksijen ya da tozsuz kuru havadan üretilmektedir. Gerekli soğutma, hava ya da su kullanımıyla sağlanır. Hava kullanılarak 40 g/m³lük endüstriyel oksijen kullanılıp 80-100 g/m³lük ürün elde edilebilir. Oksijen kullanılırsa 1 g ozon için 6 Wh ile 15 Wh arası, hava kullanılırsa 10 Wh ile 30 Wh arası elektrik enerjisi gerekir.

Ozonlama, başka yan ürünlerin oluşumuna sebep olabilir (klorlar, bromlar ve organik peroksitler gibi). Bir ozonlama tesisinin tasarımında, ozon üretimine ve yapılan işlemlere dair uygun güvenlik tedbirlerinin tamamı dikkate alınmalıdır.

Ozon toksik ve çok koroziftir. Ozonla temasta olan bütün parçalar, ozona dayanıklı malzemeden imal edilmiş olmalıdır. Özellikle, contaların tamamı ozona dayanıklı olmalıdır.

Ozonlamada karışım önemlidir. Tipleri aşağıda verilen karıştırıcılar, yaygın olarak kullanılır:

- Ağıtılmış kabarcık şeklinde (aynı yönde ve ters akım olarak),
- Pozitif basınç enjeksiyonu,
- Negatif basınç enjeksiyonu (venturimetre),
- Mekanik karıştırma,yla,
- Dolgulu kule içinde

Ozonun dezenfeksiyon reaksiyonlarını tamamlaması için reaktör içerisinde yeterli bekletme süresi sağlanmalıdır. Reaktördeki akış şartları, olabildiğince piston akımlı olmalıdır. Kısa devrelerden kaçınılmalıdır. Karıştırıcı ile reaktör entegre bir sistem halinde olabilir.

Gerekli dozaj, 5–35 g ozon/m³ atıksudur. Reaksiyon süresi, 5–30 dakika aralığında değişir. Fazla ozon miktarı, 0,1–1 g ozon/m³ atıksudur.

Dezenfeksiyon için gerekli ozon dozu, gerekli dezenfeksiyon seviyesine ve çıkış suyunun ozon ihtiyacına bağlı olacaktır. Ozon ihtiyacını karşılamak için gerekli ozon dozu, sahaya özgüdür ve mümkünse tasarımdan önce yapılacak deneylerle belirlenmelidir. Temas süreleri, tesisin tamamı için kullanılacak diskle birlikte bir pilot tesis de kullanılarak değerlendirilmelidir. Tablo 9.3' de atıksudaki toplam koliform dezenfeksiyonu için gerekli ozon dozu verilmiştir.

Tablo 9.3. Atıksudaki toplam koliform dezenfeksiyonu için gerekli ozon dozu (Metcalf & Eddy, 2003)

Atıksu Tipi	Başlangıç Koliform Miktarı MPN/100 mL	Ozon Dozajı, mg/L			
		Çıkış Standardı, MPN/100 mL			
		1000	200	23	<2,2
Ham atıksu	10 ⁷ - 10 ⁹	15 - 40			
Birinci kademe arıtma çıkışı	10 ⁷ - 10 ⁹	10 - 40			
Damlatmalı filtre çıkışı	10 ⁵ - 10 ⁹	4 - 10			
Aktif çamur Sistemi çıkışı	10 ⁵ - 10 ⁹	4 - 8	4 - 10	16 - 30	30 - 40
Filtre edilmiş aktif çamur çıkışı	10 ⁴ - 10 ⁹	6 - 8	4 - 10	16 - 25	30 - 40

<i>Nitrifiye edilmiş çıkış suyu</i>	$10^4 - 10^9$	3 - 6	4 - 6	8 - 20	18 - 24
<i>Filtre edilmiş nitrifiye çıkış suyu</i>	$10^4 - 10^9$	3 - 6	3 - 8	4 - 15	15 - 20
<i>Mikrofiltrasyon çıkışı</i>	$10 - 10^3$	2 - 6	2 - 6	3 - 8	4 - 8
<i>Ters osmoz</i>	<i>Nil</i>				1 - 2
<i>Septik tank çıkışı</i>	$10^7 - 10^9$	15 - 40			
<i>Kesikli kum filtresi çıkışı</i>	$10^2 - 10^4$	4 - 8	10 - 15	12 - 20	16 - 25

Denemelerde ve pilot ölçekli tesislerde, mikroorganizma ve virüs azalma oranlarında yüksek verimler sağlanabilmektedir. Daha verimli sonuçlar daha yüksek ozon dozajları kullanılarak ya da ozonla UV radyasyonun bir arada kullanılmasıyla elde edilebilir. Bu sırada enerji tüketiminde ve masraflarda bir artış gözlenebilir. Ozon üretimi için gerekli enerji miktarları Tablo 9.4' de verilmiştir.

Tablo 9.4. Ozon üretimi için gerekli enerji miktarları (Metcalf & Eddy, 2003)

Bileşen	kWh/kg ozon
<i>Hava hazırlama (kompresör ve kurutucular)</i>	4,4-6,6
Ozon üretimi	
<i>Hava besleme</i>	13,2-19,8
<i>Saf oksijen</i>	6,6-13,2
<i>Ozon teması</i>	2,2-6,6
<i>Bütün diğer kullanımlar</i>	1,2-2,2

Ozon tesislerinin işletimi sırasında aşağıdaki şartların sağlanması gerekmektedir:

- Hava sıcaklığı 30°C'yi, bağıl neminde % 60'ı geçmemesi gerekir.
- İnşaatın olacağı yer tozsuz olmalıdır.
- Korozif gazlar ve oksitleyici kirleticiler civarda bulunmamalıdır.
- Tesiste ozona dirençli malzemeler kullanılmalıdır.

Toksikliğinden dolayı, atık gazdaki fazla ozon parçalanmalıdır. Bir ozonlama tesisindeki ozona maruz kalan bütün parçalar, sadece ozon parçalama cihazına bağlantı haricinde kapalı kabin sisteminde olmalıdır. Atık gazdaki ozon konsantrasyonu izlenmeli ve 0,02 mg/m³'ü aşmamalıdır. Yüksek bir ozon konsantrasyonunun (>0,02 mg/m³) görülmesi durumunda, ozon kaçağı tespit edilen cihazlar otomatik olarak durdurulmalıdır. Atık gazdaki ozonun parçalanması için kullanılan sistemler aşağıdakileri içermelidir:

- Termal parçalama (T>350°, tR > 2 s),
- Katalitik parçalama (Paladyum/CuO-MnO, T=60 °C ile 80 °C),
- Aktif karbon (aktif karbon, ozon parçalama cihazı tarafından yükseltgenir ve tüketilir)

9.4.2.3. Ozonlamanın Yan Etkileri ve Emniyet Tedbirleri

Yüksek konsantrasyonlarda ozon zehirlidir ve gözler, burun ve ciğerler için tahriş edici bir etkisi vardır. 0.2 mg ozon/m³'ün üzerinde ozon içeriğine sahip bir ortamda uzun süre kalmak öksürmeye sebep olur. 4 mg ozon/m³'den itibaren ozon gazının tahriş edici etkileri hesaba katılmalıdır. Konsantrasyon 20 mg ozon/m³ geçerse, akciğer ödemi yüzünden ölüm

olayının gerçekleşmesi hızlanır. Ozonun sağlık üzerindeki zararlı özellikleri yüzünden ozon tesislerinin çevresindeki yerlerde yeterli güvenlik önlemleri (fazla ozon parçalaması, zorunlu havalandırma, ozon görüntüleyiciler) alınmalıdır (ATV - M 205E, 1998).

Aşağıdaki güvenlik önlemleri özellikle önemlidir:

- Ozon tesisleri güvenli odalar içerisinde bulunmalıdır. Ozon tesisleri ekipman odalarına da kurulabilir. Vakum sistemleri gerekir. Çalışma alanlarında maksimum 0,2 mg/m³'lük seviyenin geçilmemesine dikkat edilmelidir.
- Havalandırma tehlike alanının dışında ve kontrol edilebilir olmalıdır.
- Arıza durumunda ozon kaçıışı olabilecek odalarda, gaz uyarı ekipmanları bulundurulmalıdır.
- Ozon tesisleri, arıza durumlarında alınabilecek önlemleri bilen, güvenlik kuralları ve tehlikeler hakkında eğitim almış kişiler tarafından işletilmeli ve bakımları yapılmalıdır.

9.4.3. Klorklama

9.4.3.1. Temel İhtiyaçlar

Klor, gaz veya sıvı klor bileşikleri halinde en çok kullanılan dezenfektanlardan birisidir. Klor, çoğu salgın hastalık mikrobunu etkisiz hale getirmektedir. Klor, normal ısı ve basınçta sarımsı-yeşil bir gaz olup, havadan 2,5 kat daha ağırdır. Çok keskin bir kokusu vardır ve nem bulunan yerlerde oldukça koroziftir (ATV - M 205E, 1998).

Klor kimyasalları toksik ve zararlıdır. Klor atomunun değeri ne kadar büyükse, klor bileşiğinin oksitlenme gücü de o oranda fazla olmaktadır.



Buna göre en etkili klorklama, ClO₂ ile yapılmaktadır. Ancak, ClO₂ yerinde üretilip kullanılmalıdır. Yaygın olarak kullanılan klorklama sistemleri aşağıda verilmiştir:

- Sodyum hipoklorit çözeltisi,
- Klor gazı,
- Klordioksit

Dezenfektan kimyasallarının depolanması, hazırlanması ve kullanılması, kullanılacak kimyasalların tipine bağlıdır.

Sodyum hipoklorit çözeltisi, % 5 - % 15 NaOCl konsantrasyonları hâlinde satın alınabilir, tanklarda depolanabilir ve pozitif yer değiştirmeli pompalar kullanılarak dozlanabilir. Sodyum hipoklorit çözeltisi, zamana bağlı olarak etkinliğini kaybeder. Etkinliğin azalması, sıcaklığın artışıyla hızlanır.

Klor gazı, basınçlı tanklarında depolanabilir. Herhangi bir kaçak, yırtılma veya yanlış kullanım durumunda klor gazından etkilenmesi muhtemel odalar, klor gazı detektörleri kullanılarak kontrol edilmelidir. Klor gazı, enjeksiyon sistemleriyle (venturi), çıkış suyu ile karıştırılır. Bu tür klorlama sistemleri aşağıdaki bileşenlere sahip olmalıdır:

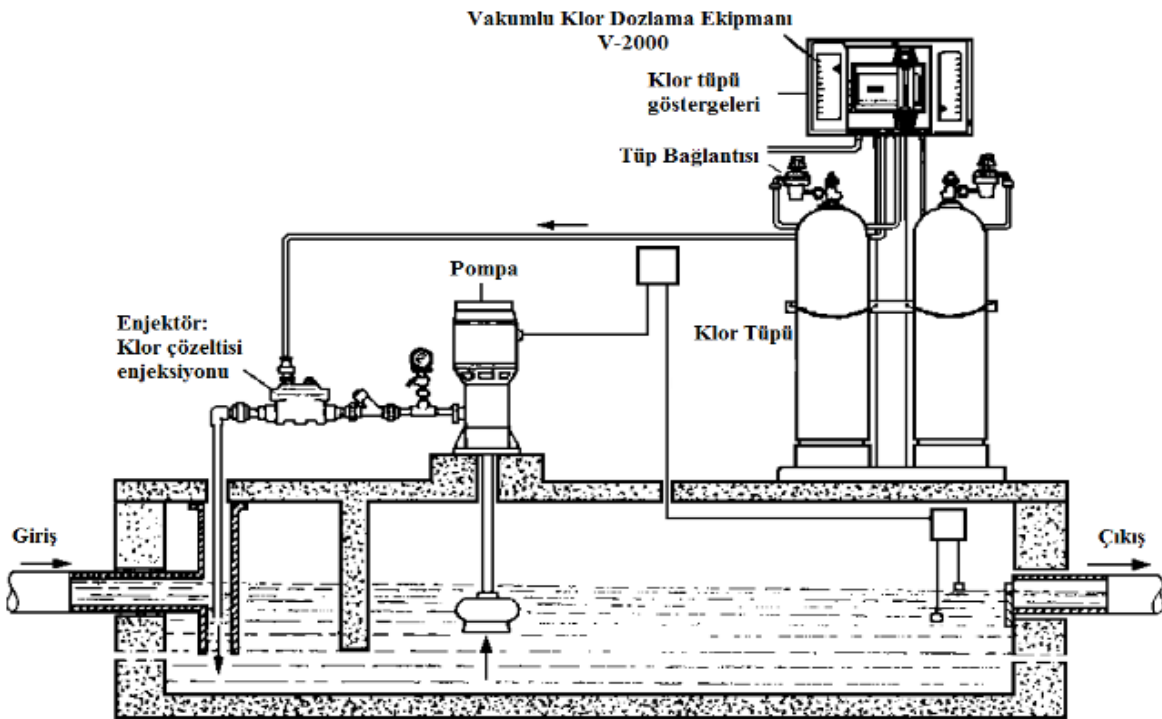
- Basınç/vakum düzenleyicisi,
- Besleme oranı kontrol düzeneği,
- Venturi prensibiyle çalışan enjeksiyon cihazı,
- Debi ölçer

Klor gazı basınçlandırılarak sıvı hale getirilir ve basınçlı tüplerde saklanır. Bu tüplerden çekilen sıvılaştırılmış klor gazı dezenfeksiyon amacı ile kullanılmaktadır.

Klordioksit, kolayca patlayabilen kararsız bir gazdır. Kullanılmak üzere depolanmamalı ve dezenfeksiyon prosesi için gerektiğinde üretilmelidir. Yaklaşık olarak % 5'lik bir klordioksit çözeltisinin depolanması ve kullanılması mümkündür. Sahada klordioksit çözeltisi üretmek için kullanılabilen belirli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler aşağıdaki reaksiyonları içerir:

- Sodyum klorür ve klor gazı,
- Sodyum klorür ve hidroklorik asit,
- Sodyum klorür, hidroklorik asit ve sodyum hipoklorit

Atıksu dezenfeksiyonu için klor gazı binası Şekil 9.4.'de verilmiştir.



Şekil 9.4. Atıksu dezenfeksiyonu için klor gazı binası (ATV - M 205E, 1998)

9.4.3.2. Tasarım ve İşletme

Atıksu dezenfeksiyonunda kullanılan klorlama sistemleri, içme suyu klorlamasında kullanılan sistemlere benzer teknolojiye sahiptir. Bunlar, aşağıdaki hususları içermelidir:

- Dezenfektan kimyasallarının depolanmasını,
- Dezenfektan çözeltilerinin hazırlanmasını ve kullanılmasını,
- Atıksu ve dezenfektan çözeltilerinin karıştırılmasını,
- Dezenfeksiyon reaksiyonlarının tamamlandığı ve genellikle su ile klorun temas ettiği reaksiyon tanklarını,
- Deşarj öncesi fazla klorun giderilmesini

Dezenfektan çözeltisinin gerekli dozajı, kullanılan dezenfektanın tipine bağlıdır ve sahaya özgüdür. Dezenfektan kimyasalın dozajı, temas süresi sonunda çıkışta belli bir bakiye klor sağlamak amacıyla, atıksuyun debisine ve dezenfektan kullanım oranına göre ayarlanmalıdır. Saha özelinde gerekli dozaj, mümkünse tasarıma başlanmadan önce deneylerle belirlenmelidir. Temas süresi sonunda çıkış suyundaki bakiye klor konsantrasyonu yaklaşık olarak 0,2 mg/L serbest klor olmalıdır. Daha düşük bakiye klor değerlerinde, dezenfeksiyon prosesi tamamlanamayabilir. Daha yüksek bakiye klor konsantrasyonunda ise, alıcı ortamda değişik etkilenmeler görülebilir. 0,05 mg/L – 0,1 mg/L arasındaki düşük bakiye klor konsantrasyonlarında, alıcı ortamda olumsuz etkiler tespit edilmiştir. Alıcı ortamda olumsuz etkileri azaltmak amacıyla, arıtma tesisi çıkışında bakiye klor alınmalıdır.

Tasarım kriterleri:

- Temas süresi: 30 – 120 dakika (Pik debide: 15 – 90 dakika),
- Kısa devreler ve hidrolik olarak ölü bölgelerin oluşmaması için uzun piston akımlı reaktörler kullanılır.
- Boy/En: 20/1 (tercihen 40/1),
- En az 2 adet klor tankı yapılmalı.
- Klor temas tankında katı maddelerin çökmesinin önlenmesi için yatay akış hızı 2 – 4,5 m/dakika olmalıdır.
- Reaktör içerisinde şaşırtma duvarları ve perdeler kullanılır.

Kontrollü dezenfeksiyon ancak ve ancak pH 6 ile 8 arasında tutulursa gerçekleşir. Çıkış suyundaki bakiye dezenfektan değeri 0,2 mg/L'nin üstüne çıktığında, fazla klor uzaklaştırılmalıdır.

Klordioksit kararlı bir gaz olmaması sebebiyle, 1-3 gramlık klordioksit sulu çözeltisi kullanılmadan hemen önce hazırlanmalıdır. Dozlama miktarı, çıkış suyundaki bakiye klordioksit değerine, atıksuyun organik yüküne ve istenilen giderimine bağlıdır. Atıksu arıtma tesislerinde bakterilerin 10^3 'lük oranda giderimi için 5–10 g klordioksit/m³ atıksu yeterlidir. Kum filtresinden geçmiş suda ise bu değer 1–5 g/m³ olabilir.

Klordioksit, pH değerlerinin geniş bir aralığında bakteriler için öldürücü etkiye sahip olup, birçok durumda klordan daha etkilidir. Klorun aksine, klordioksit amonyak ile kloraminlerin oluşumunu sağlamak üzere reaksiyona girmemekte ve AOX bileşiklerinin oluşumu kloru göre önemli ölçüde az olmaktadır. Ancak klordioksit başka yan ürünlerin oluşumuna sebep olabilir (klorit ve kloratlar vb.).

9.4.3.3. Klorlamannın Yan Etkileri ve Emniyet Tedbirleri

Klorla dezenfeksiyon sonucu, AOX, THM'ler, PCB, vb. gibi toksik yan ürünler de oluşabilir. Klorlanmış çıkış suyunun yeniden kullanılması düşünülüyorsa, bu yan ürünlerin çevresel etkisi göz önünde bulundurulmalıdır (ATV - M 205E, 1998).

Klorün taşınması için sıkı güvenlik önlemleri alınmalıdır. Tesise özel eğitimli personel bulundurulmalıdır. Klorün tutulduğu ve kullanıldığı yerlere uyarı levhaları asılmalı ve giriş kontrol altında tutulmalıdır.

Son derece zehirli olan klor gazı için MAK değeri 1,5 mg/m³'tür. Klor yeşil renkli ve sert kokulu bir gazdır ve küçük konsantrasyonlarda bile mukusları tahriş edebilir. Yüksek konsantrasyonlarda ise merkezi sinir sistemi üstünde felç edici bir etkisi vardır. Uzun süreli temas halinde, akciğer ödemeine bağlı olarak ölüm olayı gerçekleşebilir. Vakum tekniğinin kullanılmasıyla, bugünlerde güvenlik riskleri büyük ölçüde azaltılmıştır. Son derece zehirli ve patlayıcı olan klordioksit için MAK değeri 1,45 mg/m³'tür. Klordioksinin turuncu-sarı arası bir rengi ve aynı klor gibi keskin bir kokusu vardır. Havadaki en ufak klordioksit konsantrasyonu bile nefes alma problemlerine sebep olabilir, mukusları tahriş edebilir.

Klor, hipoklorit ve klordioksit, suda ve atıksuda inorganik ve organik bileşiklerle (protein, alkoller, hümitik asitler, fenoller vb.) reaksiyona girer. Bu reaksiyonların sonucunda istenmeyen yan ürünler (klorofenoller, trihalide metanlar, AOX vb.) oluşturur. Klor gazıyla karşılaştırıldığında, klordioksit kullanımında çevre dostu olmayan ürün oluşumu daha azdır. Çünkü trihalometan, klorofenoller ve amonyum ve amin bileşiklerinde oluşan reaksiyon ürünleri oluşmaz. AOX oluşumu % 90 oranında azalır. Ancak klorit, klorat, ve klorit gibi organik reaksiyon ürünleri oluşur.

Deklorinasyon basamağı ile çıkış suyundaki fazla bakiye klorun alınması istenir. 0,3 – 0,6 mg/L'lik klor konsantrasyonları göl ve nehirlerdeki bitkilerin ölmesine ve hayvan biyokütlelerinin azalmasına sebep olur. 0,05 – 0,1 mg/L ise balıkların yaşayıp büyümesi üzerinde olumsuz etkide bulunur. Ayrıca, zehirli maddelerin besin zincirinde birikip balıklar ve daha ötesindeki canlılara da ulaşma tehlikesi vardır.

9.4.4. Membran Filtrasyonu

Atıksu dezenfeksiyon prosesinde kullanılan membran filtreler, Ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon prosesleridir. Her iki membranlı filtre prosesi, gözenekli membranları kullanmaktadır. Membrandan süzme işlemi, besleme akımına uygulanan basınç yardımı ile uygulanmaktadır (ATV - M 205E, 1998).

Mikro/ultrafiltrasyon (Tablo 9.5) bakteri ve katı maddeleri çok iyi bir şekilde tutma performansı gösterir. Virüslerin katı maddelere tutunmasına bağlı olarak virüs sayısında da bir azalma sağlanabilir.

Tablo 9.5. Membran uygulamaları, giderme verimleri ve tutulan bileşikler (ATV - M 205E, 1998)

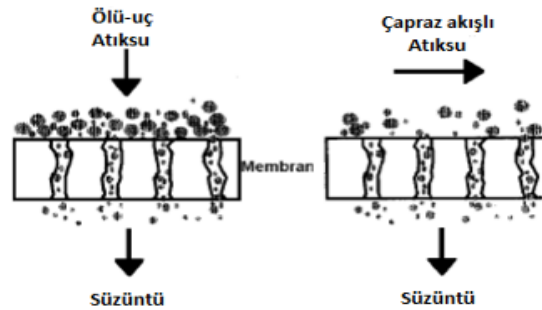
	<i>Ters Ozmos</i>	<i>Nanofiltrasyon</i>	<i>Ultrafiltrasyon</i>	<i>Mikrofiltrasyon</i>
Gözenek boyutu	0,1 - 10nm	1 - 10nm	0,005 - 0,2µm	0,1 - 5µm
Basınç aralığı	7 - 120bar	5 - 40bar	1 - 10bar	Yüksek basınç işleminde: 0,5 - 5 bar Vakum işleminde: 0,1 - 0,9 bar
Tutulan bileşikler	Moleküller, iyonlar	Virüsler, moleküller	Kolloidler, makromoleküller, virüsler	Partiküller, bakteriler, kolloidler

Membran filtrasyonu, hâli hazırda belli başlı bazı atıksuların arıtımı için kullanılmaktadır. Mikro/ultrafiltrasyon, evsel atıksuyun dezenfeksiyonu için uygulanmaktadır. İkinci kademe (biyolojik) arıtma çıkışında membran filtrasyonu kullanıldığında, herhangi bir kimyasal veya fiziksel bir dezenfeksiyon prosesi uygulanmasa da, patojen mikroorganizma sayısı çok düşük olmaktadır.

9.4.4.1. Genel Esaslar

Mikro/ultrafiltrasyonda, atıksuyun membranla arıtımı yüksek basınç ya da vakum. Atıksu dezenfeksiyonu amacıyla yapılacak orta derece bir ayırım için 0,2 µm'lik bir gözenek çapı yeterlidir. Gözenek çapından büyük olan partiküller tutulur ve membranın ön yüzeyinde birikir. İşletim sırasında membran üzerinde tutulan parçacıklardan bir katman oluşur ki bu parçacıklar filtrasyon verimini en başlarda artırırken, belirli bir süre sonra basınç kayıplarına sebebiyet verir. Bu tabaka, düzenli olarak su ile geri yıkama ve kimyasal temizleyiciler (peroksitler, asitler veya alkaliner) kullanılarak temizlenir.

Membran filtrasyonu, iki farklı şekilde çalıştırılır. Dik akışlı ve yatay akışlı olarak (Şekil 9.5). Dik akışlı membran filtrasyonunda atıksu, membrana dik bir şekilde gelir. Film tabakası oluşumu hızlıdır. Kısa aralıklarla membran yıkanmalıdır. Yatay akışlı membran filtrasyonunda iki akım vardır. Süzüntü membrandan geçer. Konsantre ise membran yüzeyinden uzaklaşır.



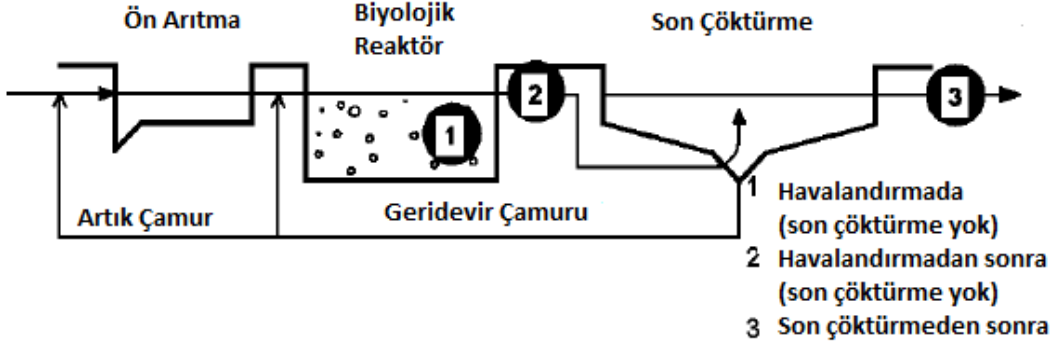
Şekil 9.5. Ölü-uç ve çapraz akışlı filtrasyonun şematik gösterimi (ATV - M 205E, 1998)

Membrandan geçiş, hem basınç hem de süzüntü tarafından uygulanan vakum basıncı ile sağlanabilir. Membran filtrasyon proseslerinin veriminde aşağıdaki parametreler etkilidir:

- Membranlardaki gözeneklerin büyüklüğü (mikro süzme veya ultra süzme),
- Membran malzemesi (organik veya inorganik),
- Modül tipi (Boşluklu fiber membranlar, düz tabaka membranlar),
- alıştırma biçimi (Dik akışlı veya yatay akışlı filtrasyon)

9.4.4.2. Tasarım ve İşletme

Membran filtrasyonunun ikinci kademe (biyolojik) arıtma içerisinde hangi konumda kullanılacağı Şekil 9.6' de gösterilmiştir. Buna göre membranlar üç farklı konumda yerleştirilebilir; biyolojik arıtma sistemi havalandırma havuzu içinde, havalandırma havuzu çıkışında ve son ökeltim havuzu ıkışı.



Şekil 9.6. Havalandırma tesislerindeki mikro/ultrafiltrasyon sistemlerinin olası düzenlemeleri (ATV - M 205E, 1998)

Aktif amur Prosesinin Biyolojik Kısmıyla Birleştirilen Mikro/Ultrafiltrasyon

Mikro/ultrafiltrasyonun biyolojik reaktörle birlikte kullanımında, 20 g/L'nin üstünde biyokütle konsantrasyonları elde edilebilir. Bu sistemde membran Şekil 9.6' daki 1 ve 2 konumlarına konulabilir. 1 konumunda vakum, 2 konumunda ise basınç uygulanır. 0,1 - 0,9 bar arası bir vakumla, 20 ile 50 L/(m².sa)'lik süzüntü eldesi mümkündür. Basınç altında, 1 ile 10 bar basınç aralığında 20 ile 300 L/(m².sa)'lik bir süzüntü debisi elde edilir.

Son ökeltimle Birleştirilmiş Mikro/Ultrafiltrasyon

Bu sistemde membran, Şekil 9.6' daki 3 konumuna yerleştirilir. 0.5 ile 3 bar arası bir basınçta 40 ile 100 L/(m².sa)'lik süzüntü debisi elde edilebilir.

Membran filtrasyon sisteminin tasarımında ve boyutlandırılmasında aşağıdaki ilâve faktörler de dikkate alınmalıdır:

- Membranın akısı,
- Geri yıkama ve temizleme prosedürleri,
- Enerji tüketimi.

Konsantre akımının güvenli şekilde bertarafına da özen gösterilmelidir. Konsantre akımı, ikinci kademe (biyolojik) arıtmada havalandırma havuzuna verilir. Bu durumda, ikincil arıtma prosesinin tasarımında ve çalıştırılmasında bu tür ilâve girdiler göz önünde bulundurulmalıdır.

Membranın temizlenmesi için bir iş programı oluşturulmalıdır. Temizleme geri yıkama, hava püskürtme veya kimyasal temizleme ile gerçekleştirilebilir. Temizleme sıklığı, süzüntüdeki azalmaya bağlı olabildiği gibi, buna alternatif olarak sabit bir zaman aralıklarında da gerçekleştirilebilir. Uygun temizleme prosedürü, devreye alma esnasında belirlenmelidir. Temizleme prosedürü belirli zaman aralıklarında gözden geçirilmelidir.

Membranlar arasındaki bütünlük, belirli zaman aralıklarında test edilmelidir. Çalışmayan membranları belirlemek ve bunları devreden çıkarmak için bir yöntem geliştirilmelidir.

9.4.4.3. Membran Filtrasyonunun Yan Etkileri ve Emniyet Tedbirleri

Mikro/ultrafiltrasyon kullanılması halinde, istenmeyen toksik veya istenmeyen yan ürün oluşumu görülmez. Ancak konsantre akımı oluşur. Bu akımın ile ilgili yöntemler geliştirilmelidir.

9.4.5. Olgunlaştırma Havuzları

Çıkış suyu (arıtılmış su) olgunlaştırma havuzlarına dair temel tasarım esasları TS EN 12255-5'te belirlenmiştir. Bekletme süresi 5 gün–20 gün arasında olmalıdır. Havuzların tasarımı, piston akımlı reaktör prensibine göre yapılmalıdır. Olgunlaştırma havuzlarının verimliliği, güneş ve sıcaklık gibi iklime bağımlıktan dolayı, genellikle diğer dezenfeksiyon proseslerinden oldukça düşüktür.

9.5. Atıksu Dezenfeksiyonunda Genel İhtiyaçlar

9.5.1. Proses Kontrolü

Atıksu dezenfeksiyonunda, TS EN 12255-10 standardı ve TS EN 12255-12 standardının şartları uygulanmalıdır. Atıksu dezenfeksiyon prosesinde proses kontrolü için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır (TS EN 12255-14, 2006, DIN EN 12255-14, 2003):

- Dezenfektanların kontrolsüz kaçaklarından kaynaklanan sağlık ve güvenlik zararlarının önlenmesi,
- Dezenfektanların alıcı sulardaki aşırı dozdan kaynaklanan olumsuz etkilerinin önlenmesi,
- Bütün zamanlarda gerekli dezenfeksiyon seviyesini karşılayacak şekilde yeterli dozajın uygulanması ve sürdürülmesi,
- Dezenfektan ve güç tüketiminin optimize edilmesi

Dezenfektanların kontrolsüz kaçaklarından kaynaklanan sağlık ve güvenlik zararlarının önlenmesi amacıyla, zararlı kimyasallar içeren tesisatın bulunduğu bütün odaların, bu

kimyasalların herhangi bir toksik konsantrasyonuna ulaşılması durumunda, kapatmayı sağlayacak ve alarm verecek özel güvenlik detektörleriyle donatılması gerekmektedir. Bu tesisatta dolaşan bütün atık gaz akımları da aynı şekilde izlenmelidir.

Kimyasal dezenfektanların aşırı dozlanması, çoğunlukla alıcı sularda olumsuz etkilere sebep olmakta olup bu durum, çıkış suyundaki bakiye dezenfektan konsantrasyonunun izlenerek dezenfektan dozajı kontrolüyle önlenmektedir. Bu sistem klorlama ve ozonlama proseslerinde uygulanmalıdır. Bu yöntem, debideki değişimden veya atıksudaki dezenfektan tüketimindeki değişimden kaynaklanıp kaynaklamadığına bakılmaksızın, dezenfektan ihtiyacındaki değişimlere duyarlıdır. Bu kontrol sisteminin uygun şekilde çalışması için, bakiye dezenfektan konsantrasyonunu izleyen sensörlerin düzenli kullanım sağlanmalı ve kalibre edilmelidir. Kontrol sistemi, bakiye dezenfektan konsantrasyonu izlenmesinde kullanılan sensör sistemlerinin arızalanması durumunda, debiyle orantılı bir dozaj sistemi ile yedeklenmelidir. Atıksuyun gerektirdiği belirli dezenfektan ihtiyacı sadece sınırlı aralıkta değişirse, debiyle orantılı bir dezenfektan dozajı uygun olabilir. Ayrıca, pompalamadan dolayı debi sabit ise, el ile kontrol de yeterli olabilir.

Kimyasal dezenfeksiyon proseslerinde, aşırı dozlamayı önleyen aynı kontrol sistemi, bütün zamanlarda gerekli dezenfeksiyon seviyesini karşılamak için yeterli dezenfektan dozajının sağlanmasında bir emniyet unsuru olarak kullanılır. UV sistemlerindeki UV yoğunluğu, yeterli UV dozajının garanti edilmesi için, her bir UV reaktörü uygun bir referans noktasında izlenmelidir. Gerekli UV yoğunluğuna ulaşılmazsa, UV lambalarının duyları temizlenmeli veya UV lambaları yenilenmelidir. Membran filtrasyonu sistemlerinde proses kontrolü, çıkış suyu tarafından süzüntü tarafına doğru herhangi bir kaçağın olmadığını garanti etmelidir. Bazı durumlarda, bulanıklık veya parçacık sayaçları membran filtrasyonu sistemindeki bir kaçağı belirlemede uygun olabilir.

Kimyasal dezenfeksiyon sistemlerinde dezenfektan dozajının kontrol edilmesi hali hazırda en ekonomik işletme şeklidir. Debi ile orantılı birden fazla UV reaktörlerine sahip UV sistemlerinde, UV reaktörü çalıştırılabilir veya kapatılabilir. Bu durum, genellikle debi uyarı olarak adlandırılır. Debi ayarında UV lambalarının sık açılıp kapanmasının lambaların ömrünü kısaltacağı göz önünde bulundurulmalıdır. UV sistemlerinde, orta basınçlı cıva lambalarının ışımaya şiddeti azaltılabilir.

9.5.2. Yapısal Tasarım

Dezenfeksiyon sistemlerinin yapısal tasarımında, TS EN 12255-1'de verilen yapısal özellikler uygulanır. Yapılar korozyona dayanıklı olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu durum özellikle, dezenfektan veya dezenfektan yan ürünlerinin korozyona sebep olduğu işlemlere uygulanır. Kapalı yerlerin tamamı yeterli havalandırma sistemiyle donatılmalıdır (TS EN 12255-14, 2006, DIN EN 12255-14, 2003).

9.5.3. Sağlık ve Güvenlik

Dezenfeksiyon sistemlerinin sağlık ve güvenlik uygulamalarında, TS EN 12255-10'da verilen kriterler uygulanır. Uluslararası, ulusal veya yerel düzenlemelere ilâve güvenlik

önlemleri ve proses kontrolleri gerekebilir. Bir dezenfeksiyon sisteminin tasarımı ve işletilmesinde, genel halk sağlığı ve güvenliği ile tesis çalışanlarının sağlık ve güvenliğine yönelik bir tehdit oluşturulmaması sağlanmalıdır. Tesis çalışanlarının tamamı, çalıştırdıkları dezenfeksiyon sisteminin sağlık ve güvenlik konularında eğitilmelidir.

Bazı dezenfeksiyon proseslerinde, sağlık ve güvenlik konularına, aşağıdaki hususlardan dolayı özel önem verilmelidir:

- Özellikle insanlara toksik etkisi olan kimyasalların üretilmesi ve/veya kullanılması,
- Yüksek voltajla çalışan donanım,
- UV ışını,
- Çıkış suyuna daldırılmış kırılabilir elektrikli cihazlar

Dezenfeksiyon proseslerinde, toksik kimyasalların üretimi ve/veya kullanılmasından kaynaklanan sağlık ve güvenlik riskleri şunlardır:

- Toksik gazlara maruz kalma,
- Toksik veya korozyif sıvılara maruz kalma,
- Gazların basınç altında depolanmasından kaynaklanan patlamalar,
- Yanıcı gazların artmasından kaynaklanan yangın ve patlamalar,
- Güçlü oksitleyicilerin veya oksijenin depolanmasından kaynaklanan yangın ve patlamalar

Bu tür muhtemel tehlike risklerini en aza indirmek için uygun güvenlik standartları uygulanmalıdır. Özellikle insanlara karşı toksik etkisi olan gazların üretildiği ve kullanıldığı dezenfeksiyon sistemleri, bu gazlara maruz kalma sınırları aşılmayacak şekilde tasarlanmalı ve işletilmelidir. Bu gazların kullanıldığı, üretildiği veya depolandığı bina düzenli olarak izlenmeli ve gaz kaçaklarını önlemek için uygun cihazlarla donatılmalıdır. Güvenlik cihazları (gaz maskeleri vb.) sahada hazır bulundurulmalıdır. Tahliye planları hazırlanmalı ve tatbik edilmelidir.

UV ışını göze ve cilde zarar verebilir. UV sistemleri, doğrudan göze ve cilde ışına gelmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Işık kilitleri ve enerji kesme donanımları, doğrudan göze ve cilde olan UV ışınını önlemede uygun sistemlerdir.

9.6. Kaynaklar

ATV - M 205E (1998) Disinfection of Biologically Treated Wastewater.

DIN EN 12255-14 (2003) Part 14: Disinfection

Metcalf & Eddy (2003). Wastewater Engineering, Disposal and Reuse, Mc Graw Hill Publishing.

TS EN 12255-14 (2006) Bölüm 14: Dezenfekte etme

10. ÇAMUR ARITMA VE UZAKLAŞTIRMA

Doç. Dr. Osman A. ARIKAN, Y. Doç. Dr. Mahmut ALTINBAŞ

10.1. Çamur Kaynakları, Özellikleri ve Miktarları

Çamur işleme, arıtma ve bertaraf sistemlerini tasarlayabilmek için arıtma sisteminde oluşan çamurun kaynağı, özellikleri ve miktarının bilinmesi gerekmektedir.

10.1.1. Çamur Kaynakları

Çamur arıtma sistemleri, çamur kaynağı, prosesin tipi ve işletme metoduna göre değişiklik gösterir. Konvansiyonel atıksu arıtma sistemlerinde çamur ve katı atıkların başlıca kaynakları Tablo 10.1' de verilmiştir. Örneğin tam karışimli aktif çamur prosesinde, çamur uzaklaştırma, karışım hattından veya havalandırma havuzundan yapılıyorsa, son çökeltim havuzu çamur kaynağı değildir. Diğer taraftan, uzaklaştırma çamur geri dönüş hattından gerçekleştiriliyorsa çamur kaynağı çökeltim tankı olarak kabul edilebilir. Yoğunlaştırma, çürütme, şartlandırma ve susuzlaştırma için kullanılan prosesler de çamur kaynağıdırlar.

Tablo 10.1. Konvansiyonel atıksu arıtma sistemlerinde çamur ve katı atık kaynakları (Metcalf & Eddy, 2003)

Proses	Çamur çeşidi	Açıklama
Izgara	Kaba katı atık	Kaba katılar mekanik olarak veya çubuk ızgaralardan elle toplanarak uzaklaştırılır.
Kum tutucu	Kum ve köpük	Köpük giderme işlemi, kum tutucularda kum giderme ile birlikte gerçekleştirilir.
Ön havalandırma	Kum ve köpük	Bazı sistemlerde ön havalandırma tankında köpük giderimi yoktur. Ayrıca ön havalandırma önünde kum tutucunun bulunmaması durumunda, ön havalandırma tankında kum birikimi olabilir.
Ön (birinci) çökeltim	Ön çökeltim çamuru ve köpük	Çamur ve köpük miktarı, atıksu toplama sistemi ve endüstriyel deşarj durumuna göre değişir.
Biyolojik arıtma	Askıda katı maddeler	Askıda katı madde biyolojik arıtma sonucu oluşur. Arıtma sisteminde oluşan fazla çamuru yoğunlaştırmak gerekebilir.
Son (ikincil) çökeltim	Biyolojik çamur ve köpük	ABD EPA'ya göre son çökeltim tanklarında köpük giderimi şart koşulmuştur.
Çamur işleme birimleri	Çamur ve kompost	Son ürünün özelliği, kullanılan proses ve işletme ile çamur özelliklerine bağlıdır. Çamurların uzaklaştırılması ile ilgili yasal düzenlemeler oldukça sıklıdır..

10.1.2. Çamur Özellikleri

Çamur arıtımı ve son uzaklaştırma yöntemlerinin belirlenmesinde, çamur özelliğini ve içeriğini bilmek önemlidir. Bu aynı zamanda çamur kaynağı, sistemdeki çamur yaşı ve proses tipi ile de yakından ilgilidir. Çamur işleme ve bertaraf metotları Tablo 10.2' de, arıtma sisteminden kaynaklanan çamur ve katı atıkların özellikleri Tablo 10.3' de, arıtılmamış (ham) ve çürümüş çamurun tipik kimyasal bileşimi ise Tablo 10.4' de verilmektedir.

Tablo 10.2. Çamur işleme ve bertaraf metotları (Metcalf & Eddy, 2003)

İşletme, proses ve arıtma metotları	Fonksiyonları
Terfi	Çamurların iletimi
Ön İşlemler	
Çamur öğütme	Boyut küçültme
Kum ayırma	Kum ayırma
Çamur karıştırma	Karıştırma
Çamur saklama	Depolama-saklama
Yoğunlaştırıcı	
Yerçekimli yoğunlaştırıcı	Hacim azaltma
Flotasyonlu yoğunlaştırıcı	Hacim azaltma
Santrifüjli yoğunlaştırıcı	Hacim azaltma
Bantlı yoğunlaştırıcı	Hacim azaltma
Döner elekli yoğunlaştırıcı	Hacim azaltma
Stabilizasyon	
Kireç stabilizasyonu	Stabilizasyon
Isıl işlem	Stabilizasyon
Havasız çürütme	Stabilizasyon, kütle azaltma
Havali çürütme	Stabilizasyon, kütle azaltma
Kompostlaştırma	Stabilizasyon, ürün giderimi
Şartlandırma	
Kimyasal şartlandırma	Çamur şartlandırma
Termal (ısı)	Çamur şartlandırma
Dezenfeksiyon	
Pastörizasyon	Dezenfeksiyon
Uzun-sürelili saklama	Dezenfeksiyon
Susuzlaştırma	
Vakum filtre	Hacim azaltma
Santrifüj	Hacim azaltma
Bant filtre	Hacim azaltma
Pres filtre	Hacim azaltma
Çamur kurutma yatakları	Hacim azaltma
Solar kurutma	Hacim azaltma
Çamur lagünleri	Saklama ve hacim azaltma
Isıl kurutma	
Flaş kurutucu	Kütle ve hacim azaltma
Sprey kurutucu	Kütle ve hacim azaltma
Döner tamburlu kurutucu	Kütle ve hacim azaltma
Çok hücreli kurutucu	Kütle ve hacim azaltma
Çoklu etkili buharlaştırıcı	Kütle ve hacim azaltma
Termal Bertaraf	
Çok hücreli yakıcı	Hacim azaltma, kaynak geri kazanımı
Akışkan yataklı yakıcı	Hacim azaltma
Katı atıklarla birlikte yakma	Hacim azaltma
Islak-hava oksidasyonu	Stabilizasyon, hacim azaltma
Derin şaft reaktörü	Stabilizasyon, hacim azaltma
Nihai bertaraf	
Arazide arıtma	Son uzaklaştırma
Dağıtım ve pazarlama	Faydalı kullanım
Kimyasal sabitleme	Faydalı kullanım, son uzaklaştırma
Düzenli depolama	Son uzaklaştırma
Lagünlerde biriktirme	Hacim azaltma, son uzaklaştırma

Tablo 10.3. Arıtma sisteminden kaynaklanan çamur ve katı atıkların özellikleri
(Metcalf & Eddy, 2003)

Çamur ve Katı Atık	Tanımlama
Izgara ve elekte tutulan atıklar	Büyük boyutlu organik ve inorganik maddelerin tutulmasında kullanılır. Organik madde içeriği sistemin yapısına ve mevsime göre değişim gösterir.
Kum	Hızlı çökme özelliğine sahip, ağır inorganik katılardan oluşmaktadır. İşletme şartlarına bağlı olarak yağ ve gres gibi organik maddeleri de içerirler.
Köpük/yağ	Birincil ve ikincil çökeltim havuzları yüzeyinden sıyrılarak alınan yüzen maddeleri içerir. Köpük, yağ, bitkisel ve mineral yağlar, hayvansal katı yağlar, parafin, sabun, yiyecek atıkları, sebze ve meyve kabukları, saç, kâğıt ve karton, izmarit, plastik maddeler, kum ve benzeri maddeleri içerir. Özgül ağırlığı genellikle 0.95'dir.
Birincil çamur	Birincil (ön) çökeltimden çıkan çamur gri ve yapışkan olup, çoğu zaman yoğun kokuludur. Bu çamur kolaylıkla çürütülebilir
Kimyasal çöktürme çamuru	Metal tuzları ile yapılan çöktürmeden oluşan çamur koyu renkli, demir içeriği yüksek kırmızı renklidir. Kokusu birincil çamur kadar yoğun değildir. Çamurdaki demir veya alum hidratları, çamuru jelatinimsi yapar. Tankta bırakılması durumunda birincil çamur gibi yavaş bir çürümeye uğrar. Önemli miktarda gaz çıkışı olur ve tankta uzun süreli kalırsa çamur yoğunluğu artar.
Aktif (Biyolojik) çamur	Kahverengi ve flok ağırlıklıdır. Koyu renk gözleniyor ise septik şartlar oluşmuş demektir. Renk açık ise az havalandırma sonucu çökme özelliği kötü çamurdur. İyi şartlardaki çamur toprak kokusundadır. Çamur kolaylıkla septikleşmeye meyillidir, çürük yumurta kokusu yayabilir. Tek başına veya birincil çamurla karışmış aktif çamur kolayca çürüyebilir.
Damlatmalı fitre çamuru	Kahverengimsi, floklu ve taze olduğunda nispeten kokusuzdur. Aktif çamura göre daha yavaş parçalanmaya uğrar ancak kolay çürütülebilir.
Aerobik çürütülmüş çamur	Kahve ve koyu kahverengidir. Floküler özelliklidir. Kötü kokulu olmayıp çoğunlukla küf kokuludur. İyi çürütülmüş çamur, kurutma yataklarında kolaylıkla susuzlaştırılabilir.
Anaerobik çürütülmüş çamur	Koyu kahve-siyah renkli olup, çok miktarda gaz içerir. Tam çürütüldüğünde, kötü kokmaz, kokusu hafif, sıcak katran, yanmış lastik veya mühür mumu gibidir. Çamur ince tabak şeklinde, kurutma yatağına yayıldığında, katılar yüzeyde tutulur, su hızlı şekilde drene olur ve katılar yatak üzerinde yavaşça çökerler. Çamur kurudukça, gaz çıkar, zengin bahçe toprağı özelliklerindedir.
Kompost ürünü	Koyu kahve-siyah renklidir. Ancak kompostlaştırmada kullanılan odun parçaları ve geri döndürülen kompost dolayısıyla renk değişebilir. İyi kompostlaştırılmış çamur kokusuz olup, ticari değerinde bahçe toprağı şartlandırıcısı olarak kullanılabilir.
Fosseptik (septik tank) çamuru	Siyah renklidir. İyi çürütülmemesi durumunda hidrojen sülfür ve diğer gazlardan dolayı kötü koku yayar. Bu durumdaki çamurun kurutulmasında ciddi koku problem ile karşılaşılır.

Tablo 10.4. Ham ve çürütülmüş arıtma çamurlarının kimyasal bileşimi (Metcalf & Eddy, 2003)

<i>Parametre</i>	<i>Birim</i>	<i>Ham Ön çökeltim Çamuru</i>		<i>Çürütülmüş Ön çökeltim Çamuru</i>		<i>Ham Aktif Çamur</i>
		<i>Aralık</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Aralık</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Aralık</i>
Toplam Katı Madde (TKM)	%	5-9	6	2-5	4	0,8-1,2
Uçucu Katı Madde (TUKM)	% TKM	60-80	65	30-60	40	59-88
Yağ-Gres	% TKM					
Çözünmüş		6-30	-	5-20	18	-
Ekstrakte		7-35	-	-	-	5-12
Protein	% TKM	20-30	25	15-20	18	32-41
Azot (N)	% TKM	1,5-4,0	2,5	1,6-3,0	3,0	2,4-5,0
Fosfor (P₂O₅)	% TKM	0,8-2,8	1,6	1,5-4,0	2,5	2,8-11
Potasyum (K₂O)	% TKM	0-1,0	0,4	0-3,0	1,0	0,5-0,7
Selüloz	% TKM	8-15	10	8-15	10	-
Demir	%TKM	2,0-4,0	2,5	3,0-8,0	4,0	-
Silika (SiO₂)	% TKM	15-20	-	10-20	-	-
pH	-	5-8	6	6,5-7,5	7	6,5-8
Alkalinite	mg CaCO ₃ /L	500-1.500	600	2.500-3.500	3.000	580-1.100
Organik Asitler	mg HAc/L	200-2.000	500	100-600	200	1.100-1.700
Enerji İçeriği	kJ/kg TKM	23.000-29.000	25.000	9.000-14.000	12.000	19.000-23.000

Son uzaklaştırma yönteminin belirlenmesinde besi maddesi içeriği de dahil olmak üzere bileşimin bilinmesi gerekmektedir. Havasız çürütme sisteminin kontrolünde pH, alkalinite ve organik asit içeriğinin ölçülmesi oldukça önemlidir. Yakma ve araziye uygulama metotları için çamurdaki ağır metal ve hidrokarbonlar ölçülmelidir. Yakma gibi termal prosesler için çamurun kalorifik değeri belirlenmelidir.

Çamurun arazide bertarafı ve faydalı kullanımını etkileyen başlıca özellikleri, organik içeriği (uçucu katı olarak ölçülür), besi maddeleri, patojenler, metaller ve toksik organiklerdir. Çamurun arazide kullanılması durumunda, gübre özelliği (azot, fosfor ve potasyum içeriği) önem kazanır. Ticari bir gübre ile çamurun karşılaştırması Tablo 10.5’ de verilmektedir. Araziye verilen çamur, bitki büyümesi için gereken besi maddelerini karşılar. Bazı uygulamalarda, çamurun fosfor ve potasyum içeriği bitki gereksinimini karşılayamayacak kadar az olabilir. Çamurdaki iz elementler, inorganik kimyasal elementler olup bitki ve hayvanlar için düşük konsantrasyonlarda faydalı, yüksek konsantrasyonlarda zararlı olabilir. Atıksu arıtma çamurlarındaki ağır metal konsantrasyonları Tablo 10.6’ da verilmektedir. Çamurun arazide kullanım miktarı, yapısındaki ağır metal konsantrasyonuna bağlıdır.

Tablo 10.5. Ticari gübre ve çamurdaki besi maddesi oranlarının kıyaslanması (Metcalf & Eddy, 2003)

Ürün	Besi maddesi (%)		
	Azot	Fosfor	Potasyum
Tarımda kullanılan gübre*	5	10	10
Stabilize aktif çamur tipik değeri (% TKM)	3,3	2,3	0,3

* Besi maddesi konsantrasyonu toprak ve bitki özelliğine göre değişir.

Tablo 10.6. Atıksu arıtma çamurlarının metal içerikleri (Metcalf & Eddy, 2003)

Metal	Konsantrasyon (mg/kg kuru madde)	
	Aralık	Medyan
Arsenik	1,1-230	10
Kadmiyum	1-3.410	10
Krom	10-99.000	500
Kobalt	11,3-2.490	30
Bakır	84-17.000	800
Demir	1.000-154.000	17.000
Kurşun	13-26.000	500
Mangan	32-9.870	260
Civa	0,6-56	6
Molibden	0,1-214	4
Nikel	2-5.300	80
Selenyum	1,7-17,2	5
Kalay	2,6-329	14
Çinko	101-49.000	1.700

10.1.3. Çamur Miktarı

Çeşitli proses ve işlemler sonucu üretilen çamur miktarı ve fiziksel özellikleri ile ilgili bilgiler Tablo 10.7’de verilmektedir. Bu bilgiler kullanılırken, üretilen çamur miktarının

büyük değişkenlik gösterdiği unutulmamalıdır. Farklı atıksu arıtma işlemlerinden ve proseslerinden kaynaklanan çamurların fiziksel özellikleri ve miktarları Tablo 10.8' de verilmiştir.

Tablo 10.7. Farklı atıksu arıtma işlemlerinden ve proseslerinden kaynaklanan çamurların fiziksel özellikleri ve miktarları (Metcalf & Eddy, 2003)

Arıtma İşlemi veya Prosesi	Katı Maddelerin Yoğunluğu kg/m ³	Çamurun Yoğunluğu kg/m ³	Kuru Katı Maddeler (kg/10 ³ m ³)	
			Aralık	Tipik Değer
Ön Çökeltim Tankı	1.400	1.020	110-170	150
Aktif Çamur	1.250	1.005	70-100	80
Damlatmalı Filtre	1.450	1.025	60-100	70
Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	1.300	1.015	80-120	100 ^a
Havalandırmalı Lagün	1.300	1.010	80-120	100 ^a
Filtrasyon	1.200	1.005	12-24	20
Alg Giderimi	1.200	1.005	12-24	20
Ön Çökeltim Tankında Kimyasal Fosfor Giderimi				
Düşük Kireç Dozajı (350-500 mg/L)	1.900	1.040	240-400	300 ^b
Yüksek Kireç Dozajı (800-1600 mg/L)	2.200	1,05	600-1.300	800 ^b
Askıda Büyüyen Nitritifikasyon	-	-	-	- ^c
Askıda Büyüyen Denitritifikasyon	1.200	1.005	12-30	18
Pürüzlü Filtreler	1.280	1.020	-	- ^d

^a Birincil kademe arıtma olmadığı kabul edilmiştir

^b Ön çökeltim ile giderilebilen katı maddelere ilave olarak

^c İhmal edilebilir

^d Biyolojik arıtma proseslerinde üretilen arıtma çamuru içerisine dahil edilmiştir.

Tablo 10.8. Farklı atıksu arıtma işlemlerinde ve proseslerinde gözlenen katı madde konsantrasyonları (Metcalf & Eddy, 2003)

Uygulanan Arıtma İşlemi veya Prosesi	Katı Madde Konsantrasyonu (% KM)	
	Aralık	Ortalama
Ön Çökeltim Tankı		
Ön çökeltim çamuru	5-9	6
Ön çökeltim çamuru + atık aktif çamur	3-8	4
Ön çökeltim çamuru + damlatmalı filtre humusu	4-10	5
Ön çökeltim çamuru + demir tuzları (fosfor için)	0,5-3	2
Ön çökeltim çamuru+düşük kireç dozajı (fosfor için)	2-8	4
Ön çökeltim çamuru+yüksek kireç dozajı (fosfor için)	4-16	10
Köpük	3-10	5
Son Çökeltim Tankı		
Ön çökeltim uygulanmış atık aktif çamur	0,5-1,5	0,8
Ön çökeltim uygulanmamış atık aktif çamur	0,8-2,5	1,3
Ön çökeltim uygulanmış yüksek saflıkta oksijen	1,3-3	2
Ön çökeltim uygulanmamış yüksek saflıkta oksijen	1,4-4	2,5
Damlatmalı filtre humusu	1-3	1,5
Döner biyolojik temas tankı atık çamuru	1-3	1,5
Yerçekimli Yoğunlaştırıcı		
Ön çökeltim çamuru	5-10	8
Ön çökeltim çamuru + atık aktif çamur	2-8	4

<i>Ön çökeltim çamuru + damlatmalı filtre humusu</i>	4-9	5
Çözünmüş Hava Yüzdürmeli Yoğunlaştırıcı		
<i>Polimer ilaveli atık aktif çamur</i>	4-6	5
<i>Polimer ilavesiz atık aktif çamur</i>	3-5	4
Santrifüj ile Yoğunlaştırıcı		
<i>Atık aktif çamur</i>	4-8	5
Yerçekimli-Bant Yoğunlaştırıcı		
<i>Polimer ilaveli atık aktif çamur</i>	4-8	5
Havasız Çürütme		
<i>Ön çökeltim çamuru</i>	2-5	4
<i>Ön çökeltim çamuru + atık aktif çamur</i>	1,5-4	2,5
<i>Ön çökeltim çamuru + damlatmalı filtre humusu</i>	2-4	3
Havali Çürütme		
<i>Ön çökeltim çamuru</i>	2,5-7	3,5
<i>Ön çökeltim çamuru + atık aktif çamur</i>	1,5-4	2,5
<i>Ön çökeltim çamuru + damlatmalı filtre humusu</i>	0,8-2,5	1,3

10.1.3.1. Çamurda Hacim-Özgül Ağırlık İlişkileri

Çamur hacmi, büyük oranda içeriğindeki su miktarına ve daha az oranda ise katı madde özelliğine bağlıdır. Örneğin %10 katı maddeli çamur, ağırlık olarak %90 su içerir. Katı madde, sabit (mineral) katı ve uçucu organik katıdan oluştuğundan, katı maddenin özgül ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\frac{W_s}{S_s \rho_w} = \frac{W_f}{S_f \rho_w} + \frac{W_v}{S_v \rho_w} \quad (10.1)$$

W_s = çamurun toplam katı madde ağırlığı

S_s = toplam katının özgül ağırlığı

ρ_w = suyun yoğunluğu

W_f = sabit katının (mineral kısım) ağırlığı

S_f = sabit katının özgül ağırlığı

W_v = uçucu katının ağırlığı

S_v = uçucu katının özgül ağırlığı

Çamur hacmi aşağıdaki eşitliğe göre tanımlanır:

$$V = \frac{W_s}{\rho_w S_s P_s} \quad (10.2)$$

W_s = kuru katı ağırlığı, kütle

ρ_w = suyun yoğunluğu, kütle/hacim³

S_s = çamurun özgül ağırlığı

P_s = katı madde yüzdesi

Katı içeriğinin yaklaşık hesaplanmasında, hacim aşağıdaki eşitlikle verilen yüzde katı miktarı ile doğrudan ilişkili olup değişkenlik göstermektedir.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \quad (10.3)$$

V_1 ve V_2 = Çamur hacimleri
 P_1 ve P_2 = Katı madde yüzdesi

10.2. Çamur ve Köpük İletimi

Atıksu arıtma tesislerinde üretilen çamurun, sulu çamurdan yoğun çamura kadar değişken koşullarda bir noktadan diğer bir noktaya iletilmesi gerekmektedir. Çamur, arıtmak veya uzaklaştırılmak üzere tesis dışına da taşınmak zorunda kalınabilir. Çamur tipi ve özelliklerine göre, farklı tipte pompaların kullanımı gerekebilir.

10.2.1. Pompa Tipleri

Çok sık kullanılan pompa tipleri;

- Mono pompa,
- Santrifüj,
- Tork akışlı,
- Diyaframlı,
- Yüksek basınçlı piston,

olarak sıralanabilir (Şekil 10.1).

10.2.1.1. Mono Pompa

Bu pompa hemen hemen tüm çamur çeşitlerinde kullanılır. Pompa, aralarında minimum boşluk olan, kauçuk esaslı çift vida ve dişli helezon statoru çalıştıran tek-vida dişli rotordan oluşmaktadır. Hacim veya "boşluk", rotor döndükçe emmeden deşarja kademeli olarak hareket eder. Emme kaldırışı 8,5m de olacak şekilde pompa otomatik çekişlidir. Ancak kauçuk stator yanabileceğinden kuru iken çalıştırmamak gerekir. Bu tür pompalar 75 L/s'ye kadar çalışabilir ve 137m'lik terfi yüksekliklerine iletim yapabilir. Ön çökeltim çamurunda pompa normal olarak öğütücüden sonra gelir. Pompanın bakım maliyeti, özellikle kumlu ön çökeltim çamurunun pompalanması durumunda rotor ve statordaki aşınma nedeniyle yüksektir. Bu pompaların özellikle yoğun ön çökeltim, karışık ve çürümüş çamurların iletiminde kullanılması tavsiye edilir.

10.2.1.2. Santrifüj Pompalar

Tıkanmasız (açık fanlı) santrifüj pompalar çamur iletiminde yaygın kullanılmaktadır. Bu tip pompalarda ana sorun uygun kapasitenin seçimidir. Değişken çamur özellikleri, pompa terfi yüksekliğinin değişmesine yol açar. Seçilen pompalar, hem tıkanıklığa yol açmayacak uygun fan açıklığına, hem de çok sulu çamurda sadece suyu pompalamayı önlemek için de yeteri kadar küçük kapasiteye sahip olmalıdır. Kapasiteyi azaltmak için vananın kısılması, sık sık

tıkanıklığa yol açacağından pratik bir yol değildir. Bu nedenle bu pompaların değişken hız sürücü ekipmanlarına sahip olması gerekmektedir. Özel tasarlanmış santrifüj pompalar, büyük sistemlerde birincil ve özellikle geri devir çamurlarının iletiminde kullanılır.

10.2.1.3. Tork-Akışlı (Yüksek Devirli Santrifüj) Pompalar

Bu pompalar çamur taşımada oldukça etkilidirler. Pompalanacak partikül boyutları, emme ve basma borularının çapı ile sınırlıdır. Çarkın döndürme kuvveti çark önünde girdap oluşturur, ancak burada esas itici güç sıvının kendisidir. Sıvının çoğu çarkla temas etmez, böylelikle aşındırıcı teması en aza indirmiş olur. Ancak çamurda kullanılan pompalar, dönen aksamı aşındırma etkisine karşı nikel veya kromdan olmalıdır. Pompalar belli bir hızda dar bir yük aralığında çalıştırılabilirler. Bu nedenle sistem işletme şartları dikkatlice değerlendirilmelidir. Pompaların geniş bir yük aralığında çalışmasının söz konusu olduğu durumlarda, değişken hız kontrolleri önerilmektedir.

Yüksek basınç gerektiren uygulamalarda tork akışlı pompalar seri bağlanarak kullanılabilir. Tork akışlı santrifüj pompalar özellikle havalandırma tankına aktif çamurun geri döndürülmesi ve çürümüş çamurların iletiminde kullanılır.

10.2.1.4. Diyafram Pompalar

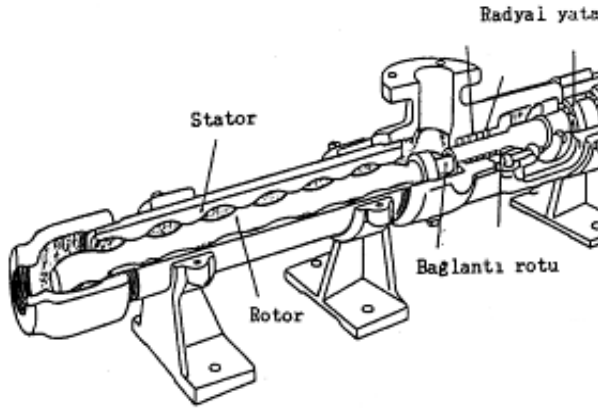
Esnek bir membrana sahip olan diyafram pompalar, itme ve çekme etkisi ile kavitasyon yaratırlar. Akım, çek-valf vasıtasıyla bu kavitasyon içine yönlendirilir. Diyafram pompaların kapasitesi diyafram strokunun uzunluğu ve dakikadaki strok sayısı ile değişir. Bunlar düşük kapasitedeki ve düşük yük kayıplarının olduğu yerlerde kullanılan pompalardır. En büyük kapasitedeki hava diyaframlı pompa, 14 L/s debiyi 15m yükseğe basma kapasitesindedir.

10.2.1.5. Yüksek Basıncı Piston Pompalar

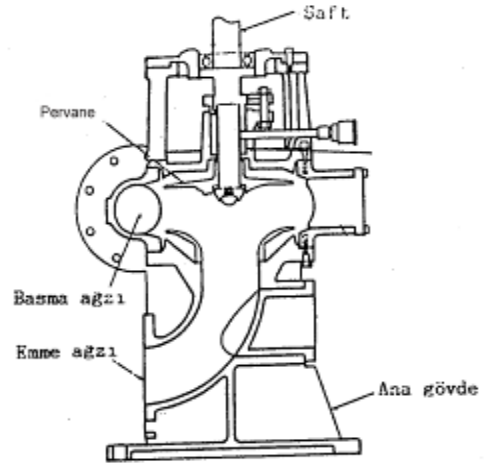
Yüksek basınçlı piston pompalar, çamurun uzun mesafelere taşınması gibi yüksek basınç uygulamalarında kullanılırlar. Yüksek basınç uygulamaları için geliştirilmiş birçok tipi vardır. İşleyişi dalgıç pompalara benzer. Avantajları;

- Yüksek basınçlarda küçük debiler iletimi (13800 KN/m^2),
- Büyük partikülleri basabilecek çaplarda olması,
- Belli katı konsantrasyonu aralığında çalışması,
- Pompajı tek kademede gerçekleştirilmesi.

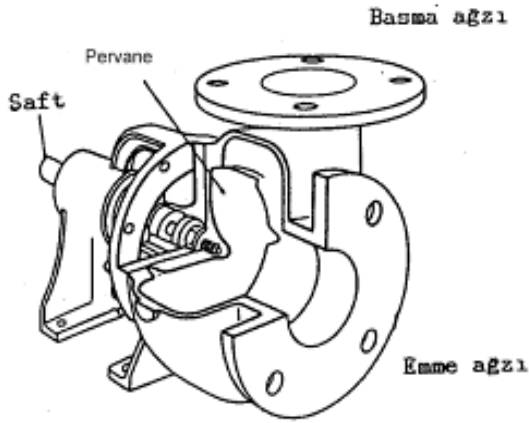
olarak sıralanabilir.



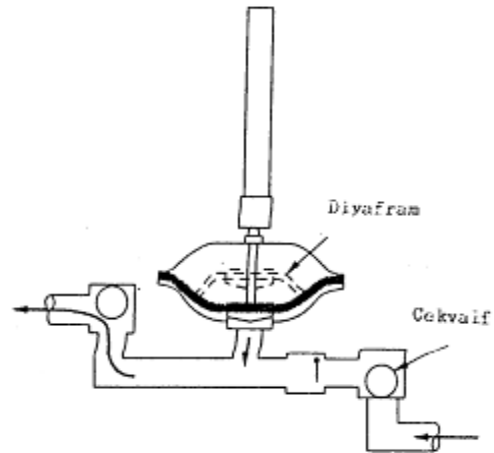
(a) Mamut Pompa



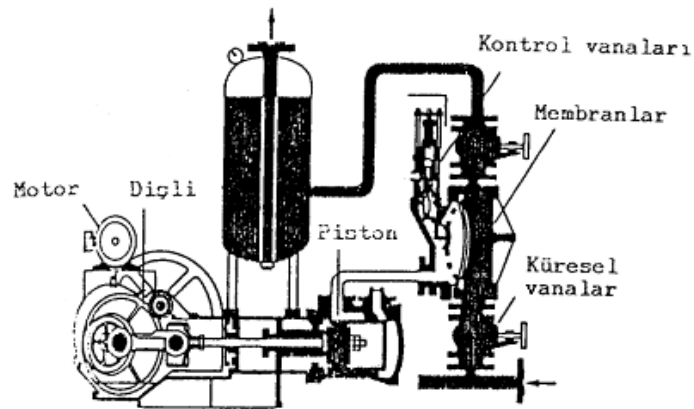
(b) Santrifüj Pompa



(c) Yüksek Devirli Santrifüj (Tork Akışlı) Pompa



(d) Diyafram Pompa



(e) Yüksek Basıncılı Piston

Şekil 10.1. Çamur Pompaları (Metcalf & Eddy, 2003)

10.2.2. Çamur Tipine Göre Pompa Seçimi

Pompalarla iletilen başlıca çamur tipleri ön çökeltim çamuru, kimyasal çamur, damlatmalı filtre ve aktif çamur ile yoğunlaştırılmış ve çürütülmüş çamurlardır. Arıtma sisteminin çeşitli birimlerinde biriken köpük de pompalanmaktadır. Çamur tiplerine göre hangi tip pompaların seçileceği Tablo 10.9' da özetlenmiştir. Aynı maksatla kullanılacak bir akım şeması ve pompa seçim rehberi de Şekil 10.2' de ayrıca verilmiştir.

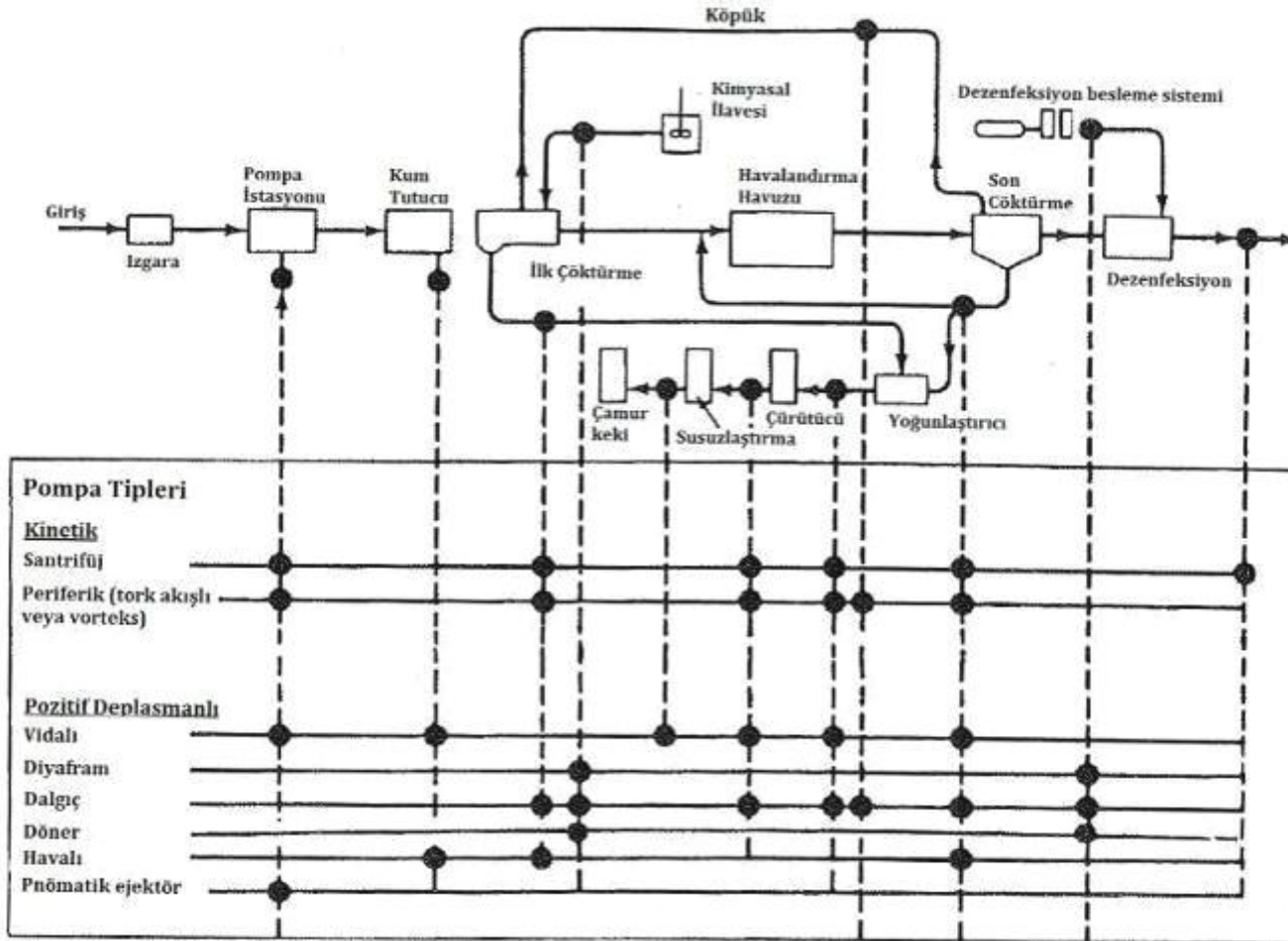
10.2.3. Yük Kaybı Hesabı

Çamur terfiinde oluşan yük kaybı, çamur özelliğine, boru çapına ve akış hızına bağlıdır. Katı ve uçucu madde konsantrasyonunun artması ve düşük sıcaklık yük kaybında artışlara sebep olmaktadır. Katı madde yüzdesi ile uçucu kısmın yüzdesi çarpımının 600'ü aşması durumunda pompalamada güçlüklerle karşılaşılır. Su, yağ ve diğer akışkanlar "Newtonian" karakterlidir. Laminer akış şartlarında bu sıvılardaki basınç düşüşü, hız ve viskozite ile orantılıdır. Hız belli kritik değerini üzerine ulaştığında, akış türbülanslı olur. Yoğunlaştırılmamış aktif çamur ve damlatmalı filtre çamuru gibi sulu çamurlar, suya benzer davranış gösterirler. Ancak konsantre aktif çamur Newtonian sıvı değildir. Newtonian olmayan sıvılar için laminer şartlardaki basınç düşüşü akışla orantılı olmadığından viskozite de sabit değildir.

Yoğunlaştırılmamış aktif çamur ve damlatmalı filtre çamurunun terfiindeki yük kaybı, aynı şartlar için elde edilen sürekli yük kaybından %10-25 daha büyüktür. Düşük akım hızlarında birincil, çürütülmüş ve yoğunlaşmış çamur plastik davranış gösterir. Bu durumda direncin yenilebilmesi için önce belli bir basınç gerekir ve sonra akış başlar. Laminer akış boyunca hız, kritik hız olan 1,1m/s'ye ulaşana kadar hızın ilk kuvveti ile direnç artar. Kritik hızın üzerindeki değerlerde (örneğin 1,4m/s'de) akış türbülanslı olarak düşünülebilir. Türbülanslı aralıkta, çürütülmüş çamurdaki yük kaybı, sudaki yük kaybının iki veya üç katından daha fazla olabilir. Birincil ve konsantre çamurlardaki yük kayıpları, özellikle polimerle şartlandırma yapılması durumunda önemli ölçüde artmaktadır.

Tablo 10.9. Çamur tiplerine göre pompa seçimi uygulamaları (Metcalf & Eddy, 2003)

Katı veya Çamur Tipi	Kullanılan Pompa	Açıklama
Elekte tutulan katı atıklar	<i>Pompanmaz</i>	<i>Pnömatik ejektör kullanılabilir</i>
Kum	<i>Tork akışlı (yüksek devirli) santrifüj</i>	<i>Kumun aşındırıcı karakteri ve kumaş vb. bulunması pompalamayı zorlaştırır. Sürtünme ve zorlama olabilir. Pnömatik ejektör veya mamut pompa da kullanılabilir.</i>
Köpük	<i>Klapeli pompa, Mono pompa Diyafram pompa Açık fanlı santrifüj pompa</i>	<i>Köpük, genellikle çamur pompası ile pompanılır. Vanalar, çamur ve köpük durumuna göre ayarlanır. Büyük sistemlerde ayrı köpük pompaları kullanılır. Pompalamadan önce, homojenleştirmek için köpük karıştırıcı kullanılır. Pnömatik ejektör de kullanılabilir.</i>
Birincil çamur	<i>Klapeli pompa, tork-akışlı, mono pompa, santrifüj ve diyafram</i>	<i>Genellikle, ön çökeltim çamurunun mümkün olduğu kadar konsantre olması istenir. Bunun için çamur, çamur haznesinde toplanır ve belirli sürelerle pompanılır. Bu şekilde katıların pompalama periyotları arasında toplanması ve konsolide sağlanır. Ham ön çökeltim çamurunun özelliği, arıtma sistemi tipine, verimine ve atıksudaki katıların özelliğine göre değişkenlik gösterir.</i>
Biyolojik çamurlar	<i>Birincil çamurun aynısıdır.</i>	<i>Biyolojik arıtmada 1) Atık aktif çamur, 2) Damlatmalı filtre sonrası humus çamuru, 3) Çürütme tankı süzüntü suyu ve 4) Susuzlaştırma işleminden dönen çamur, çamur özelliğini etkiler.</i>
Kimyasal çöktürme çamuru	<i>Dalgıç, tork akışlı santrifüj, mono pompa, diyafram, yüksek basınçlı piston</i>	<i>Birçok durumda, çamurun özelliği, santrifüj pompa için uygun değildir.</i>
Çürütülmüş çamur	<i>Tıkanmasız ve tork akışlı santrifüj, mono pompa, klapeli ve diyafram pompalar</i>	<i>İyi çürütülmüş çamur homojen olup %5-8 katı madde ve gaz kabarcığı içerir, Katı madde oranı %12'ye kadar artabilir. İyi çürütülmemiş çamuru kullanmak zordur. Eğer elek ve kum tutucu kullanılmış ise tıkanmasız santrifüj pompa kullanılabilir.</i>
Damlatmalı Filtre humusu	<i>Tıkanmasız ve tork akışlı santrifüj, mono, klapeli ve diyafram pompalar</i>	<i>Çamur genellikle homojen karakterde olup, kolaylıkla pompanılır.</i>
Geri dönüş veya atık aktif çamur	<i>Klapeli, diyafram, yüksek-basınçlı piston, mono pompa, pozitif yer değiştirmeli</i>	<i>Çamur, sulu ve ince katıları içerdiğinden tıkanmasız pompalar kullanılabilir. Bu pompalarda floküle partikülleri kırılmasını en aza indirmek için düşük hızlar önerilir.</i>
Yoğunlaştırılmış çamur	<i>Klapeli, mono pompa diyafram, yüksek-basınçlı piston</i>	<i>Dönüşümlü kullanılan mono pompalar, çamur kütlelerini hareket ettirebilme özelliğine sahip olduğundan konsantre çamurlar için uygundur. Tork akışlı pompalar da kullanılabilir, ancak sulandırma gerekebilir.</i>



Şekil 10.2. Tipik Atıksu ve Çamur Pompalama Uygulamaları (Qasim, 1999)

10.2.3.1. Basitleştirilmiş Yük Kaybı Hesabı

Kısa çamur iletim hatları için yük kaybının hesabında nispeten basit yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin kullanımı özellikle çamurun katı madde oranının %3'den az olması durumu için uygundur. Yük kaybını hesaplamak için kullanılan k faktörü, verilen çamur tipi ve katı konsantrasyonu için geliştirilmiş deneysel eğriden elde edilir (Şekil 10.3a). Pompalanan çamurun yük kaybı, Darcy-Weisbach, Hazen-Williams veya Manning eşitlikleri kullanılarak su için bulunan yük kaybı, Şekil 10.3a'dan elde edilen k ile çarpılarak bulunur. Arıtma sisteminde çamur hattı genellikle kısa olduğundan, sürtünme kayıpları için basitleştirilmiş hesap yöntemini uygulamak yeterlidir. Uzun çamur hatlarında sürtünme kaybının tahmini, mühendislik, ekonomik ve işletme durumlarını içeren daha dikkatli bir çalışmayı gerektirir.

Yük kaybının yaklaşık tahmininde, Şekil 10.3a'nın kullanımı ancak şu şartların geçerli olması durumunda yapılabilir:

- En düşük hız 0,8 m/s olmalı,
- En yüksek hız 2,4 m/s'yi geçmemeli,
- Boru gres veya diğer katılarla tıkanmamalıdır.

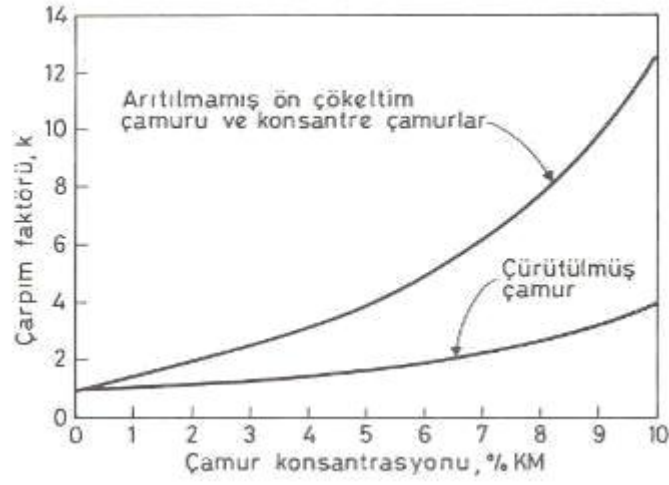
Yük kaybı için diğer bir yaklaşık metot, sadece hız ve katı madde yüzdesinden çarpım faktörünün elde edildiği grafiğinin kullanımını gerektirir (Şekil 10.3b).

Ham birincil çamurun yoğunluğu genellikle pompalama süresince değişir. Öncelikle en konsantre çamur pompalanır. Çamurun büyük kısmı pompalandıktan sonra, su ile aynı hidrolik özelliğe sahip sulu çamur pompaya gelir. Çamur özelliğindeki bu değişim santrifüj pompanın daha fazla çalışmasına sebep olur. Pompa motoru, ek yüklerle ve değişken hız şartlarına, özellikle hızı yavaşlatmaya, uygun olacak şekilde seçilmelidir. Motor, yüksek hızlı terfide elde edilen maksimum yüklemeler için boyutlandırılmamış ise, aşırı yüklenecek veya zarar görecektir.

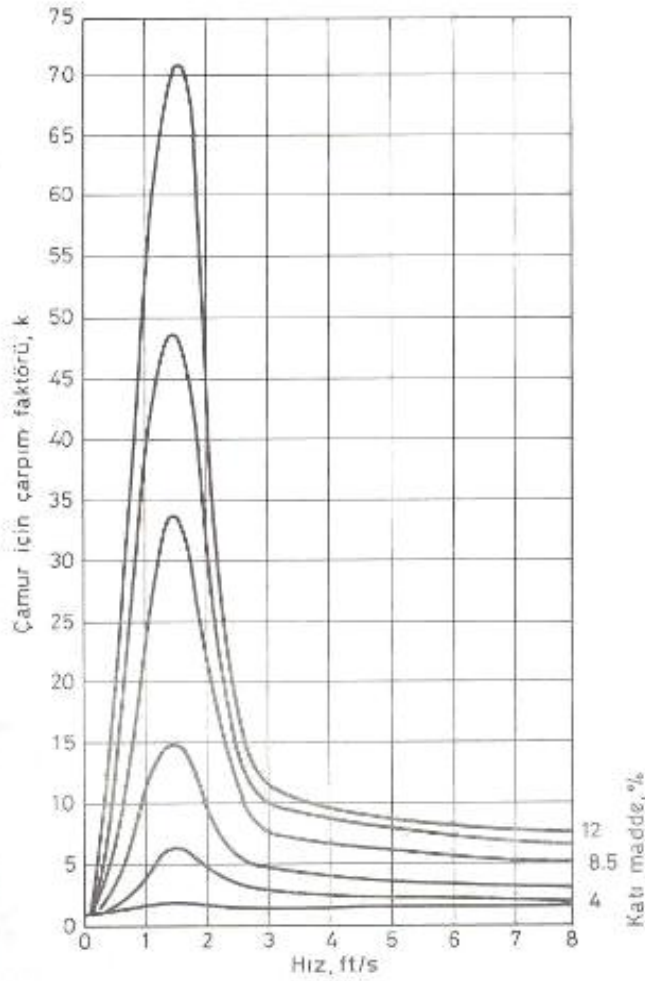
Santrifüj pompalarda gerekli işletme hızı ve motor gücünü belirlemek için, iletim hattı karakteristik eğrisi;

- Beklenen en yoğun çamur,
- Ortalama şartlar,
- Su için

hesaplanmalıdır. Bu sistem eğrileri, geçerli hız aralığına ait pompa (H-Q) eğrisi grafiği üzerine çizilir. Belli pompalar için maksimum ve minimum hızlar, pompa karakteristik eğrisi ile sistemin istenen kapasitedeki karakteristik eğrisinin kesim noktası olarak elde edilir. Maksimum hız için pompa karakteristik eğrisinin boru hattının su için olan eğrisi ile kesişim yeri pompa için gerekli gücü belirler.



(a)



(b)

Şekil 10.3. Yük kaybı çarpım faktörleri a) farklı çamur tip ve konsantrasyonları için, b) boruda farklı hızlar ve çamur konsantrasyonları için (Metcalf & Eddy, 2003)

10.2.3.2. Yük Kaybı Hesabında Çamurun Reolojik Özelliklerinin Dikkate Alınması

Çamurun uzak mesafelere taşınması için, çamurun reolojik özelliklerini dikkate alan özel bir yük kaybı hesap metodu, Babbitt ve Caldwell (1939) tarafından deneysel ve teorik çalışmalar sonucu laminer akım şartları için geliştirilmiştir.

Su, yağ ve diğer birçok sıvılar “Newtonian” olup, laminer akım şartlarında basınç düşüşü doğrudan hız ve viskozite ile orantılıdır. Hız artışı kritik değeri geçtikçe, akış türbülanslı olmaya başlar. Laminer akıştan türbülanslı akışa geçiş Reynolds sayısına bağlı olup, akışkan viskozitesi ile ters orantılıdır. Ancak atıksu çamuru “Newtonian” karakterde değildir. Laminer şartlar altında basınç düşüşü akış ile orantılı olmayıp, ayrıca viskozite de sabit değildir. Karşılaşılan türbülanslı akım özelliğinde Reynolds sayısı çamur için belli değildir.

Çamurun Bingham plastik karakteri gösterdiği bilinmektedir. Bu özelliğe göre, akış başladıktan sonra kayma gerilmesi ve akış arasındaki doğrusal bir ilişki vardır. Bingham plastik akışkan iki sabit ile tanımlanır:

- Sınır kayma gerilmesi, τ_y ,
- Rijitlik katsayısı, η

Sınır kayma gerilmesi ve rijitlik katsayısı için tipik aralıklar Şekil 10.4’de gösterilmiştir. Özel uygulamalar için reolojik verileri saptamada pilot deneysel çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Çamur için sürtünmeye bağlı basınç düşüşünü (yük kaybı) hesaplamada Reynolds sayısı ve Hedstrom sayısı kullanılabilir. Reynolds sayısı aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$Re = \frac{\rho V D}{\eta} \quad (10.4)$$

Re = Reynolds sayısı, boyutsuz,
 γ = çamurun özgül ağırlığı, kg/m^3
V = ortalama hız, m/s
D = boru çapı, m
 η = rijitlik katsayısı, $kg/m.s$

Hedstrom sayısı da aşağıdaki ifade ile hesaplanır:

$$He = \frac{D \tau_y \rho}{\eta^2} \quad (10.5)$$

He = Hedstrom sayısı, boyutsuz
 τ_y = sınır kayma gerilmesi, N/m^2
 ρ = çamurun özgül kütlesi, kg/m^3

Hesaplanan Reynolds sayısı ve Hedstrom sayısı kullanılarak, sürtünme faktörü (f) Şekil 10.4c'den belirlenir. Daha sonra türbülanslı şartlar için basınç düşüşü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\Delta p = \frac{2.f\rho LV^2}{D} \quad (10.6)$$

Δp = sürtünmeye bağlı basınç düşüşü, N/m²

f = sürtünme faktörü

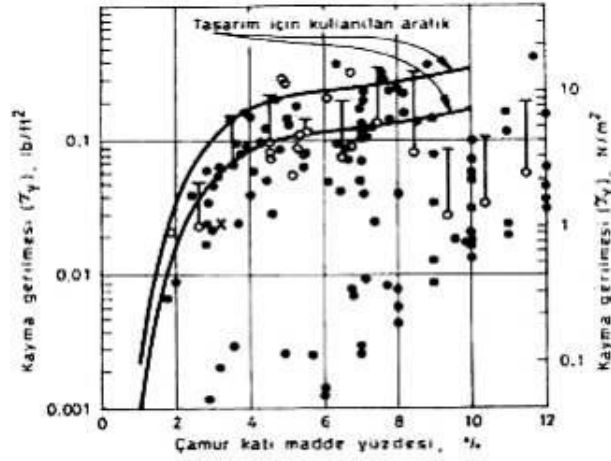
L = Boru uzunluğu, m

Yukarıdaki eşitliklerden de görüldüğü gibi, Reynolds sayısı, viskoziteye bağlı Reynolds sayısı ile aynı değildir. Plastik akışta, etkin bir viskozite tanımlanabilir, ancak bu değişkendir ve rijitlik katsayısından çok büyüktür. Sürtünme faktörü f , su için belirlenen f 'den oldukça farklı olup, su için bulunan şekilde kullanılan değerın dört katı olabilir.

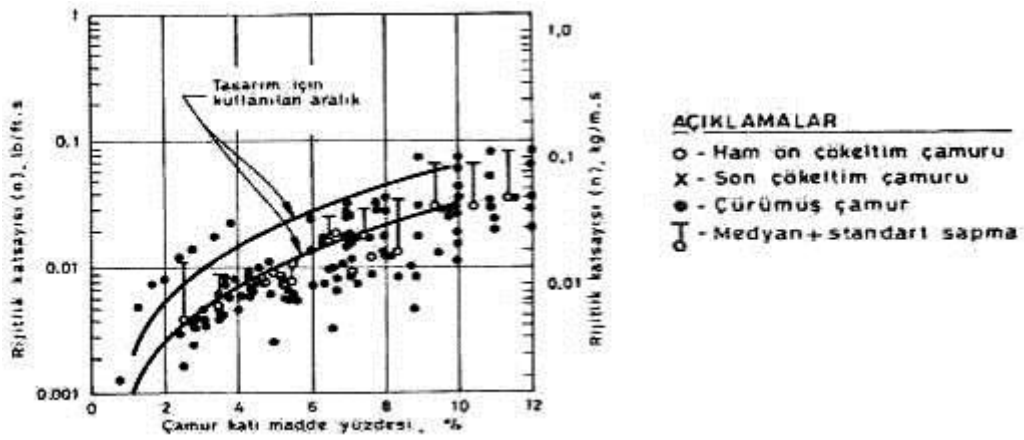
10.2.4. Çamurun Borularla İletimi

Arıtma sisteminde, çamur ileten boru hatlarında çap 150 mm'den küçük olmamalıdır. Hız 1,5-1,8 m/s'yi aşmadığı sürece boru çapı 200 mm den büyük olmamalıdır. Çamur geri devir hattının çapı 200 mm'den az olmamalıdır. Pompa bağlantı borularında da çap 100 mm'den küçük olmamalıdır.

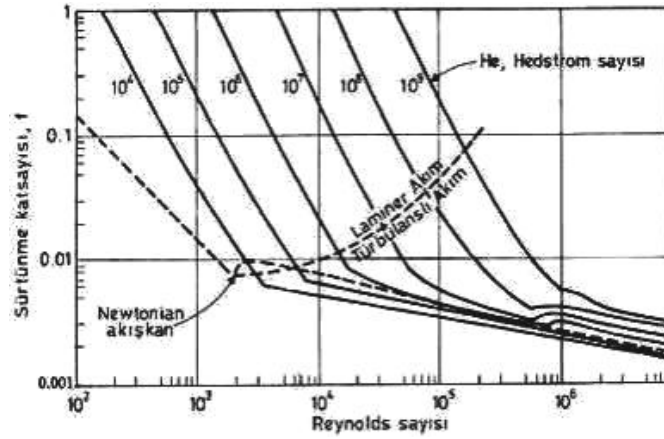
Birincil çamur ve köpüğün taşınımında çamurdaki gres, borunun iç çeperlerine yapışma eğilimindedir. Gres birikimi büyük sistemlerde küçük sistemlere kıyasla daha fazla probleme yol açar. İç çeperlerin gresle kaplanması, etkin çapı azaltıp terfi yükünü büyük oranda artırır. Bu yüzden, düşük kapasiteli mono pompalar için hesaplanan teorik yükün daima daha fazlası esas alınır. Sulu çamurun pompalanması durumunda, yağ birikiminin yol açacağı yük kaybı daha uzun sürede ve yavaş olacaktır. Büyük kapasiteli santrifüj pompalar, çoğunlukla sulu çamurun pompalanmasında kullanılır. Bazı tesislerde, gresi eritmek için ana boru hattından sıcak su, buhar veya çürütme tankı süpernatantı geçirilir.



a)



b)



(c)

Şekil 10.4. Çamur reolojisi yöntemine göre borularda yük kaybı hesabı için eğriler a) sınır kayma gerilmesine karşı % KM, b) rijitlik katsayısına karşı % KM, c) Bingham plastiği olarak tanımlanan çamur için sürtünme faktörü (Metcalf & Eddy, 2003)

Arıtma sistemlerinde boru boylarının kısa olması dolayısıyla sürtünme kayıpları genellikle daha az olur ve belli bir emniyet faktörü belirlemede daha az zorlukla karşılaşılır. Uzun çamur hatlarının tasarımında, aşağıda özel tasarım yöntemleri düşünülür:

- Tek boru hattının tıkanması durumuna önlem olarak ikinci boru hattı önerilir.
- Dış korozyon ve yükler için önlemler alınır.
- Basınçlı su hattına seyreltik su vermek için ilave kolaylıklar sağlanır.
- Arıtma sistemine boru temizleyici yerleştirmek için gerekli donanım temin edilir.
- Buhar enjeksiyonu imkanı için tedbirler alınır.
- Yüksek ve düşük noktalarda hava tahliye ve sıvı boşaltma vanaları bulundurulur.
- Su darbesi etkileri dikkate alınır.

10.3. Çamur Arıtım Sistemleri Akış Şeması

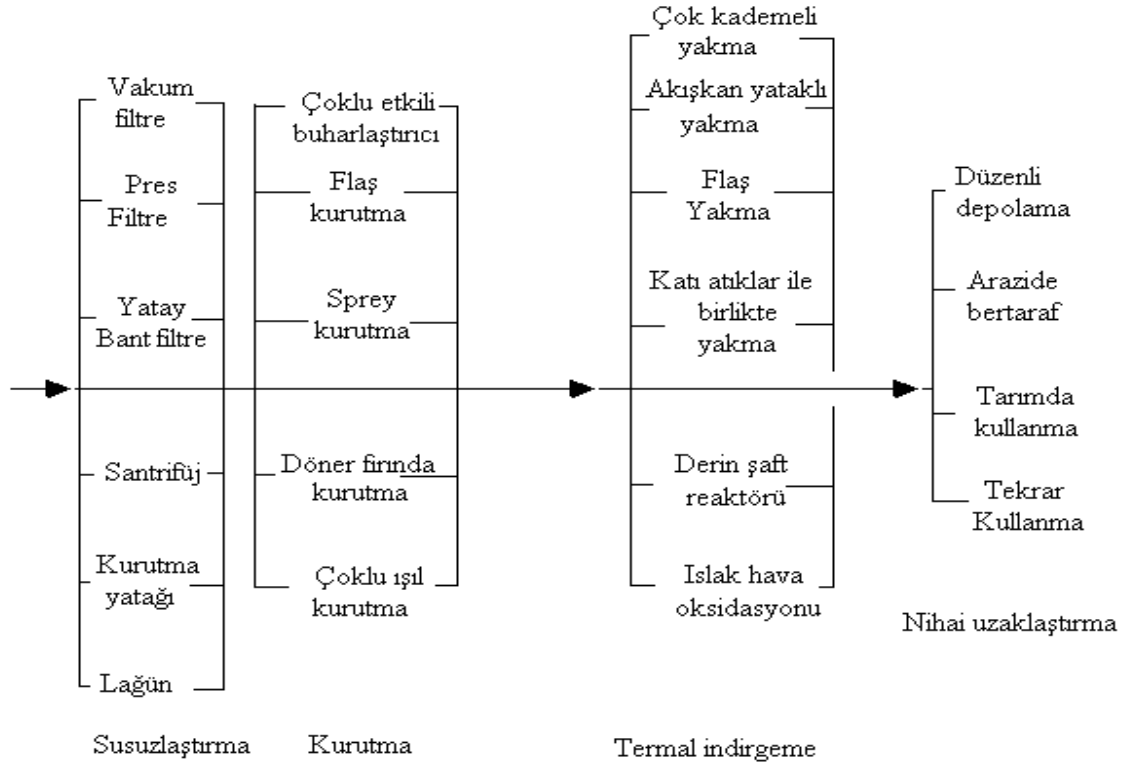
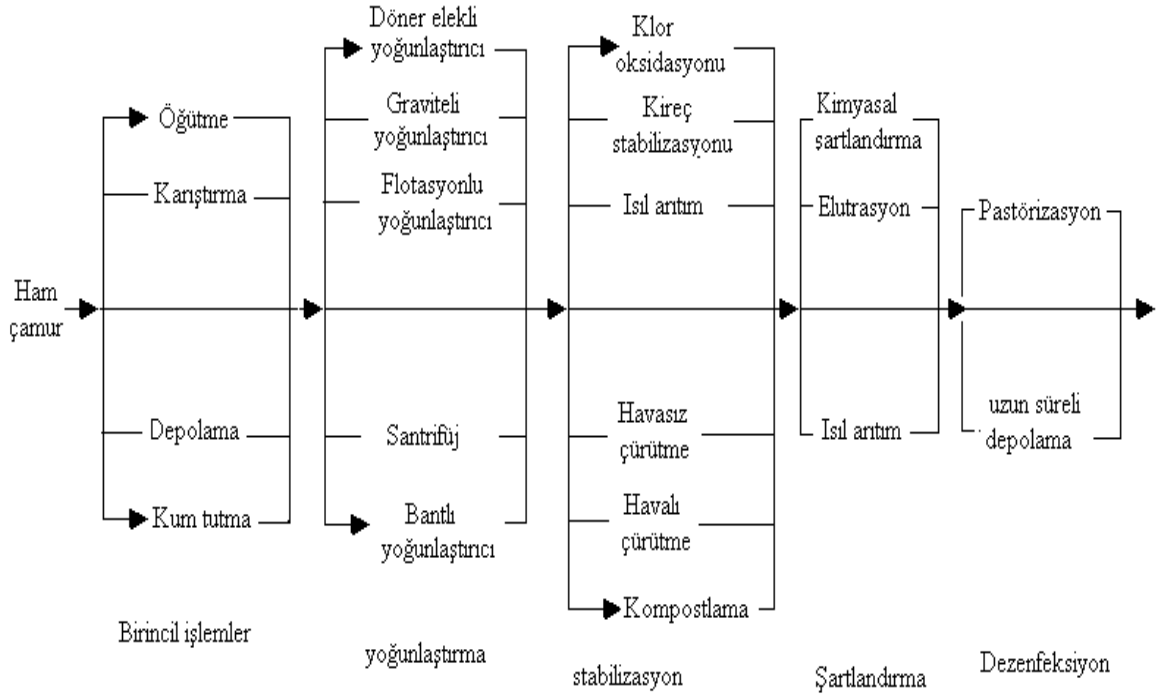
Çamur arıtma işlemleri ve proseslerinin genel akış şeması Şekil 10.5' de verilmiştir. Uygulamada, arıtma çamurları için en fazla kullanılan sistemler genellikle biyolojik arıtmayı içermektedir. Biyolojik arıtmanın da dâhil olduğu tipik akım şemaları Şekil 10.6' da verilmektedir. Çamur kaynağı, çamur stabilizasyonu, susuzlaştırma ve uzaklaştırma metotlarına bağlı olarak yoğunlaştırıcı kullanılabilir. Biyolojik çürütmeden sonra, ekonomik imkanlar, yerel şartlar ve faydalı kullanıma bağlı olarak, alternatif susuzlaştırma metotlarından birisi kullanılabilir.

10.3.1. Çamur Öğütme

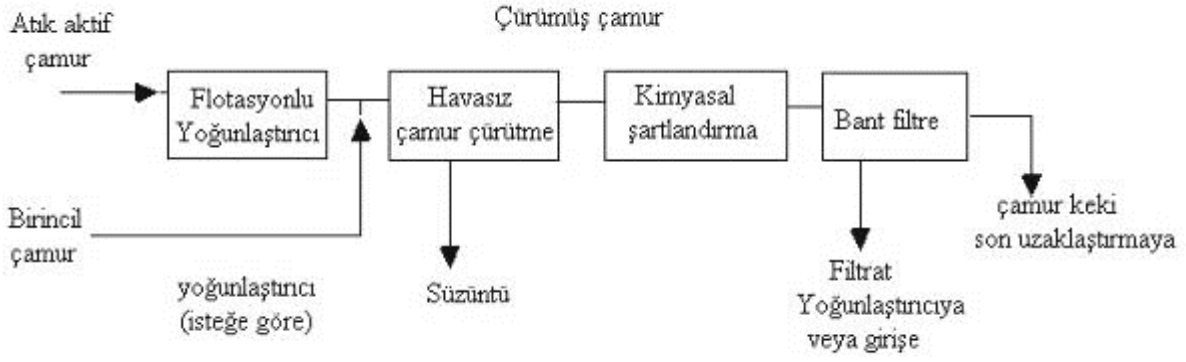
Öğütme, tıkanmaları ve dönen ekipmanlara sarılmaları önlemek için, çamurdaki büyük ve şerit halindeki maddeleri kırma veya kesme kuvveti ile küçük parçacıklar haline getiren bir prosesdir. Çamur öğütmeyi gerektiren bazı prosesler ve amaçları Tablo 10.10' da verilmektedir. Öğütücüler yoğun bakım gerektirir, ancak düşük hızlı öğütücülerin yeni modelleri daha dayanıklı ve güvenilirdir. Bu yeni tasarımlar, geliştirilmiş taşıma ve kapama, kesme işlemi için sertleştirilmiş çelik malzeme, aşırı yüklemeye duyarlılık, tıkanıklığı açmak için ters dönen kesiciler veya tıkanıklığın geçmemesi durumunda ünitenin durdurulması için gerekli mekanizmaları içermektedir.

Tablo 10.10. Çamur öğütmeyi gerektiren prosesler veya işlemler (Metcalf & Eddy, 2003)

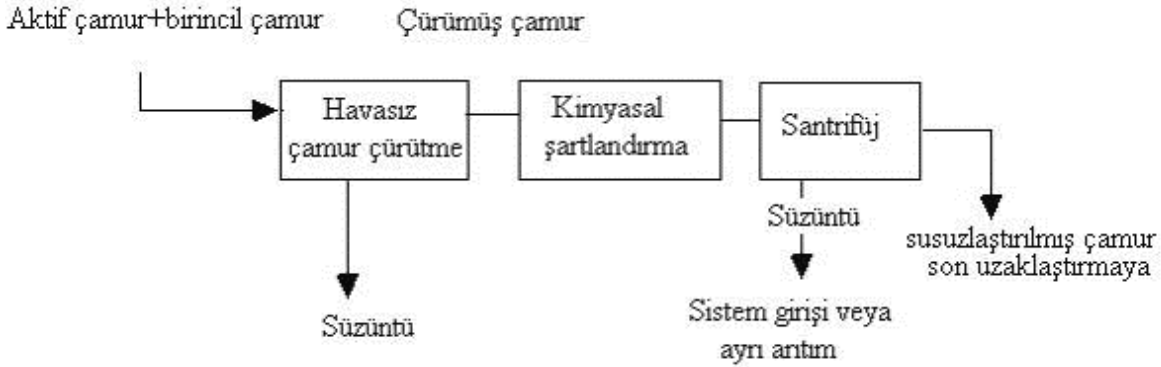
<i>İşlem veya Proses</i>	<i>Öğütmenin amacı</i>
<i>Mono pompayla pompalama</i>	<i>Tıkanmayı önlemek ve aşınmayı azaltmak.</i>
<i>Santrifüj</i>	<i>Tıkanmayı önlemek. Büyük santrifüjlerde genellikle büyük parçacıklar problem olmadığından çamur öğütme gerekmez.</i>
<i>Bant filtre</i>	<i>Çamur dağıtma sisteminin tıkanmasını, ve merdanenin eğrilmesini önlemek ve daha üniform susuzlaştırma sağlamak.</i>



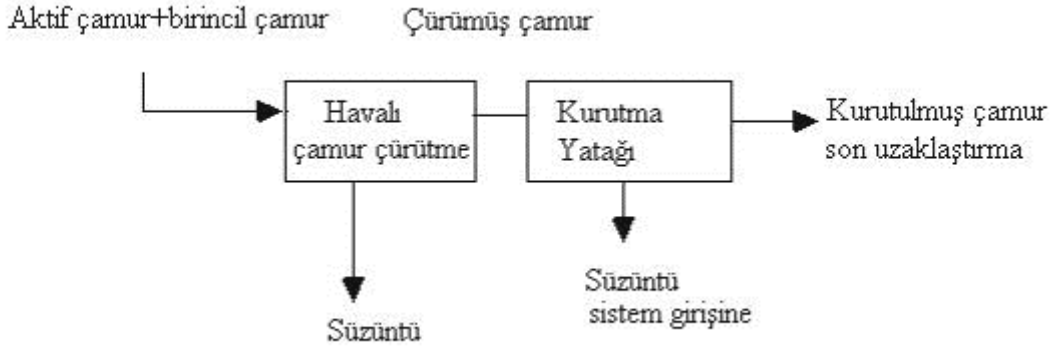
Şekil 10.5. Çamur işleme ve uzaklaştırma akış diyagramı (Metcalf & Eddy, 2003)



(a)



(b)



(c)

Şekil 10.6. Biyolojik çürütme ve üç farklı çamur susuzlaştırma prosesi ile tipik çamur arıtma akış diyagramı: a) Bant filtre, b) Santrifüj, c) Kurutma yatağı (Metcalf & Eddy, 2003)

10.4. Ön İşlemler

Çamur öğütme, kum ayırma, karıştırma ve depolama kademeleri, çamur işleme ünitesine homojen ve sabit özellikli bir çamur verebilmek için gerekir. Karıştırma ve depolama, uygun tasarlanmış bir birimde veya ayrı birimlerde gerçekleştirilebilir.

10.4.1. Kum Ayırma

Birincil çökeltim tanklarının ön kısmında kum tutucuların kullanılmadığı bazı tesislerde veya kum tutucuların pik debileri ve yükleri karşılamakta yetersiz kaldığı durumlarda, çamurun işlenmesinden önce kumun ayrılması gerekebilir. Birincil çamurun yoğunlaştırılması planlanıyorsa, çamurdan kum ayırma pratik bir çözümdür. Çamurdan kum ayırmanın en etkin metodu, santrifüj kuvvetlerinin uygulanmasıdır. Bu işlem hiçbir hareketli parçası olmayan siklon kum ayırıcılarla gerçekleştirilebilir. Çamur silindirik besleme kısmına teğetsel olarak gönderilir ve üzerine bir santrifüj kuvveti uygulanır. Ağır kum partikülleri silindir kısmın dışına gider ve konik besleme bölümünden dışarı atılır. Organik çamur ise ayrı bir çıkıştan (üstten) deşarj edilir.

Siklon kum tutucunun verimi, basınca ve çamurdaki organik madde konsantrasyonuna bağlıdır. Verimli bir kum giderimi için çamur seyreltik olmalıdır. Çamur konsantrasyonu arttıkça, giderilebilecek dane çapı düşer. Siklon kum tutucular kullanıldığında, çamur genellikle bir yoğunlaştırıcıya gönderilir.

10.4.2. Çamur Karıştırma

Çamur, birincil, ikincil ve ileri atıksu arıtma sistemlerinde üretilir. Birincil çamur, ham atıksuyun taşıdığı çökebilir katılardan ikincil çamur ise, biyolojik ve çökebilir katılardan oluşur. İleri arıtım sistemi çamuru, biyolojik ve kimyasal çamurdan oluşabilmektedir. Çamur, daha sonraki işlem ve prosesler için homojen bir karışım elde etmek amacıyla karıştırılır. Çamurun üniform özellikli olması, susuzlaştırma, ısıl arıtım ve yakma gibi kısa bekletme süreli sistemler için çok önemlidir. Uygun özellikli iyi karıştırılmış çamur, sistemin işletme verimliliğini büyük ölçüde artırır.

Birincil, ikincil ve ileri arıtmadan kaynaklanan çamur birkaç şekilde karıştırılır:

Ön çökeltim tankında: İkincil ve ileri arıtım çamurları ön çökeltim tankına geri döndürülerek, burada birincil çamur ile karıştırılır ve birlikte çöktürülür.

Borularda: Bu durumda iyi bir karıştırma için çamur kaynağının ve besleme hızının dikkatli kontrol edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde çamur yoğunluğunda geniş değişkenlikler olabilir.

Uzun bekletme süresi gerektiren çamur işleme sistemlerinde: Havalı ve havasız çürütücüler (tam karışımli tipleri) beslenen çamurları üniform bir şekilde karıştırırlar.

Ayrı karıştırma tankında: Bu yöntem karıştırılmış çamurun kalitesini kontrol etmek için en iyi imkanı sağlar.

0,05 m³/s'den küçük kapasiteli arıtma sistemlerinde, karıştırma ön çökeltim tankında gerçekleştirilir. Daha büyük sistemlerde optimum verim, karıştırmadan önce ayrı bir yoğunlaştırıcı kullanılmak suretiyle elde edilir. Karıştırma tankı genellikle, mekanik karıştırıcı ve yönlendirme perdesinden oluşmaktadır.

10.4.3. Çamur Depolama

Çamur, debi değişimlerini önlemek ve çamur arıtım üniteleri çalışmadığı zamanlarda çamurun biriktirilmesini sağlamak amacıyla depolanır. Çamur depolama, özellikle, kireç

stabilizasyonu, mekanik susuzlaştırma, kurutma ve yakma proseslerine sabit debiyle besleme yapmak açısından önemlidir.

Düşük bekletme süreli çamur depolama, atıksu çökeltim tankı veya çamur yoğunlaştırma tankında yapılabilir. Uzun bekletme süreli çamur depolama, havalı ve havasız çürütme tankı gibi stabilizasyon tanklarında veya özel tasarlanmış ayrı tanklarda yapılır. Küçük sistemlerde çamur genellikle çökeltim tankı veya çürütücülerde depolanır. Havalı ve havasız çürütme kullanmayan büyük sistemlerde, çamur ayrı karıştırıcıda veya depolama tankında saklanır. Bu tanklar birkaç saatten birkaç güne kadar depolama yapabilecek kapasitede boyutlandırılmalıdır. Çamur 2-3 günden daha uzun sürelerde depolanacak ise, çamurda bozunma meydana gelebilecek ve susuzlaştırılması güçleşecektir.

Çamur, septikleşmeyi önlemek ve karıştırmayı iyileştirmek için genellikle havalandırılır. Mekanik havalandırıcılar tam karışımın sağlanması için gerekir. Septikleşmeyi ve kokuyu önlemek için depolama veya karıştırma tankında klor ve hidrojen peroksit kullanılmaktadır. Sodyum hidroksit veya kireç, pH'ı yükselterek kokuyu kontrol etmek ve hidrojen sülfürü çözültürmek için kullanılır.

10.5. Çamur Yoğunlaştırma

Atıksu arıtma tesislerinde yoğunlaştırıcıların kullanılma amacı atık çamurun katı madde miktarının (konsantrasyonunun) artırılmasıdır. Ön çökeltim havuzundan ve biyolojik kademedeki gelen atık çamurdaki katı madde konsantrasyonu yoğunlaştırıcılarda uygulanan çeşitli yöntemlerle artırılır. Böylece daha sonra uygulanacak işlemler için yüksek katı madde içeriğine sahip çamur elde edilir.

Çamurun katı madde konsantrasyonunda sağlanan artış başlangıçtaki hacminin azalmasını sağlar. Örneğin % 1 katı madde içeren çamur % 100 hacme sahipken, aynı çamur % 5 katı madde içerecek şekilde yoğunlaştırıldığında başlangıçtaki hacminin % 20'sine sahip olmaktadır. Yoğunlaştırıcılar yardımıyla bu şekilde sağlanan çamur azalması, çamur bertaraf tesislerinin boyutlarının küçülmesini ve maliyetlerinin azalmasını sağlamaktadır. Özellikle boyutlandırması katı madde bekletme süresine göre yapılan anaerobik çürütücülerin hacmi, ön yoğunlaştırıcı kullanılarak katı madde miktarının artırılması suretiyle azaltılmaktadır. İhtiyaç duyulması halinde çamur çürütücülerden sonra son yoğunlaştırıcı da inşa edilebilir. Bu şekilde çamur muhtevasında istenen su ve katı madde oranları sağlanabilmektedir.

10.5.1. Çamur Yoğunlaştırıcı Tipleri

Uygulamada genellikle beş tip yoğunlaştırıcıya rastlanmaktadır. Bunlar:

- Yerçekimli yoğunlaştırma,
- Flotasyonlu (çözünmüş hava yüzdürmesi) yoğunlaştırma,
- Santrifüjle yoğunlaştırma,
- Bantlı yoğunlaştırma,
- Tambur (döner elekli) yoğunlaştırma

olarak sıralanabilir.

10.5.1.1. Yerçekimli Yoğunlaştırma

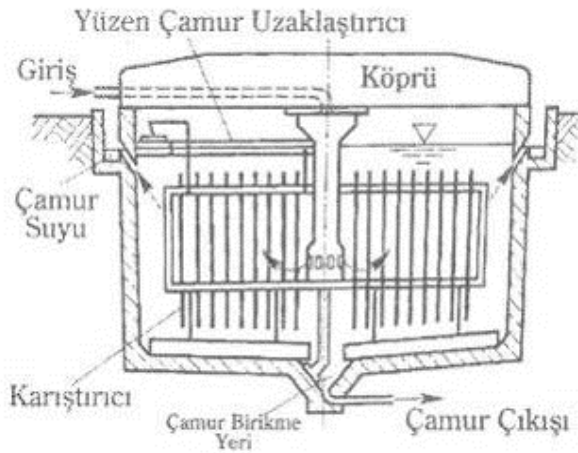
En çok tercih edilen yoğunlaştırıcı tipi, yerçekimi ile yoğunlaştırma esasına dayanan yoğunlaştırıcılardır. Bunlar sürekli veya kesikli olarak çalıştırılabilen sistemlerdir.

Yer çekimi cazibesıyla çalışan çamur koyulaştırıcılar, en az 3 m derinliğe, yataydan ölçüldüğünde en az 50° (konik şekilli) veya 60° (piramit şekilli) taban eğimine sahip olmalı veya bir karıştırıcı veya bir taban kazıyıcı (kazıklı çit gibi) ihtiva eden bir tarak ile donatılmış olmalıdır. Bu özelliklere ilave olarak, su yüzünde biriken tabakanın tutulması ve uzaklaştırılması, farklı seviyelerde berrak sıvının çekilmesi (düşey hareket edebilen cihaz kullanılması gibi), uzaklaştırma sırasında, berrak sıvının kalitesinin gözlenmesi, çamur koyulaştırıcılar örtülüyorsa, havalandırma ve egzoz havasının kokusunun giderilmesi gibi ilave özelliklerinde düşünülmesi gerekir (DIN EN 12255-8).

Yerçekimi cazibesıyla çalışan çamur koyulaştırıcılarının tasarımını etkileyen hususlar aşağıdakileri içerir (DIN EN 12255-8):

- Yüzey yükleme hızı
- Kütle yüzey yükleme hızı
- Katıların alıkonma süresi
- Birleştirme bölgesinin toplam derinliği

Klasik bir yerçekimli yoğunlaştırıcı sistemi Şekil 10.7' de verilmiştir.



Şekil 10.7. Klasik Yerçekimli Yoğunlaştırıcı

Çamurdan suyun ve gazın uzaklaştırılmasını sağlayan düşey kollu karıştırma teçhizatı bulunmaktadır. Yerçekimi ile yoğunlaştırmanın çalışma prensibi çökeltim havuzlarınıninkine benzer. Çalışma prensibi bakımından farklı üç bölge vardır:

- Yoğunlaştırıcı üst suyunun toplandığı temiz bölge: Katı maddeden ayrılan su savaklar yardımıyla alınır. Bu su içinde katı madde konsantrasyonu çok düşüktür (% 0,01 K.M.).
- Besleme bölgesi: Üniform katı madde konsantrasyonuna sahiptir (% 0,5-2 K.M.).
- Sıkışma bölgesi: Çamurun alındığı bu bölgede, katı madde konsantrasyonu yüksektir (% 5-10 K.M.). Bu çamur tabakasının yüksekliği arıtma tesisi operatörü için işletmede ana kontrol parametresidir.

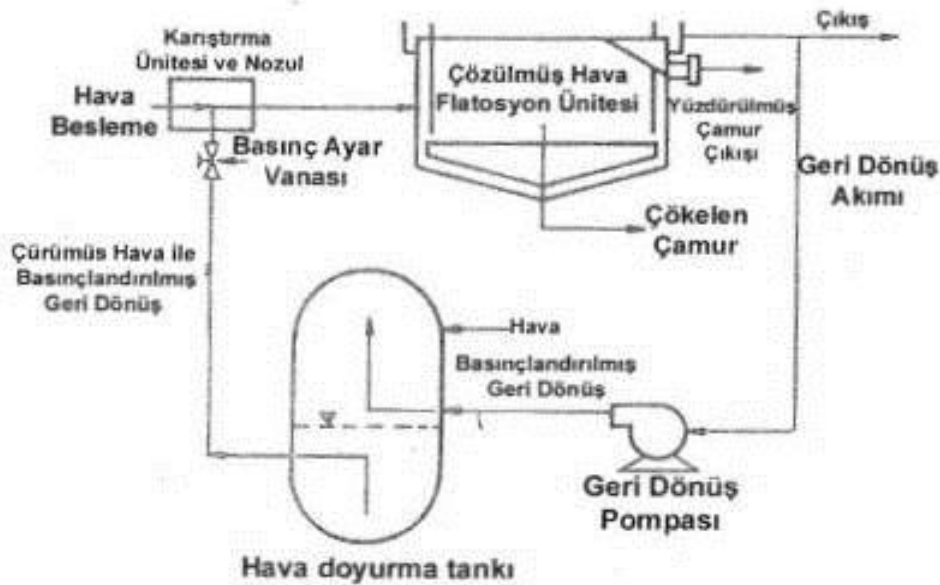
Genelde çamur tabakasının kalınlığı ve katı madde bekletme süresi doğru seçildiğinde gaz oluşumu problemine rastlanmaz veya problem minimum olur. Uzun yoğunlaştırma sürelerinde çamurda gaz ve koku oluşması durumunda yoğunlaştırıcıya flokleştirici verilmek suretiyle çamurun yoğunlaşma kapasitesi artırılır. Böylelikle yoğunlaşma süresi kısaltılabilir. Büyük arıtma tesislerinde ön çökeltimden gelen çamurla biyolojik kademedeki gelen çamurun birlikte yoğunlaştırılmasında sorunlarla karşılaşılır. Taze çamur aktif çamura göre daha kısa sürede yoğunlaştırılabilmektedir. Taze çamur için ilave bir önlem alınmadan yeteri kadar yoğunlaştırma sağlanamamaktadır. Yoğunlaştırıcıda meydana gelen çürüme olayları çamurun susuzlaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle ön çökeltim ve son çökeltim havuzlarından gelen çamurların ayrı ayrı yoğunlaştırılması faydalıdır.

Atık (fazla) biyolojik çamurda meydana gelen biyolojik aktivitelerin çökeltim olayı üzerindeki olumsuz etkilerini önlemek için yoğunlaştırıcıya klor veya kireç ilave edilir.

10.5.1.2. Flotasyonlu (Çözünmüş Hava Yüzdürmeli) Yoğunlaştırma

Yüzdürmeli yoğunlaştırmada yüksek basınçta tutulan hava, çamur içerisine basılmaktadır. Çamur basıncının düşürülmesi, çözünmüş havanın küçük kabarcıklar halinde salınarak çamurun tank yüzeyine doğru yüzdürülmesini ve taşınmasını sağlamaktadır. Tank yüzeyinde biriken yoğunlaşmış çamur, buradan sıyrılarak uzaklaştırılır. Yüzdürmeli yoğunlaştırmanın en etkili olduğu çamur tipi askıda büyüyen biyolojik arıtma proseslerinden kaynaklanan atık aktif çamurlardır. Biyofiltrelerden gelen atık aktif çamur veya geri yıkama suyu kimyasal yumaklaştırma yapılarak veya yapılmaksızın çözünmüş hava yüzdürmesiyle koyulaştırılabilir (DIN EN 12255-8).

Çözünmüş hava yüzdürme biriminin boyutlandırılmasında yüzey yükleme hızı, kütle yüzey yükleme hızı ve hava/katı oranı dikkate alınmalıdır (DIN EN 12255-8). Flotasyonlu yoğunlaştırma sistemi Şekil 10.8’ de verilmiştir.

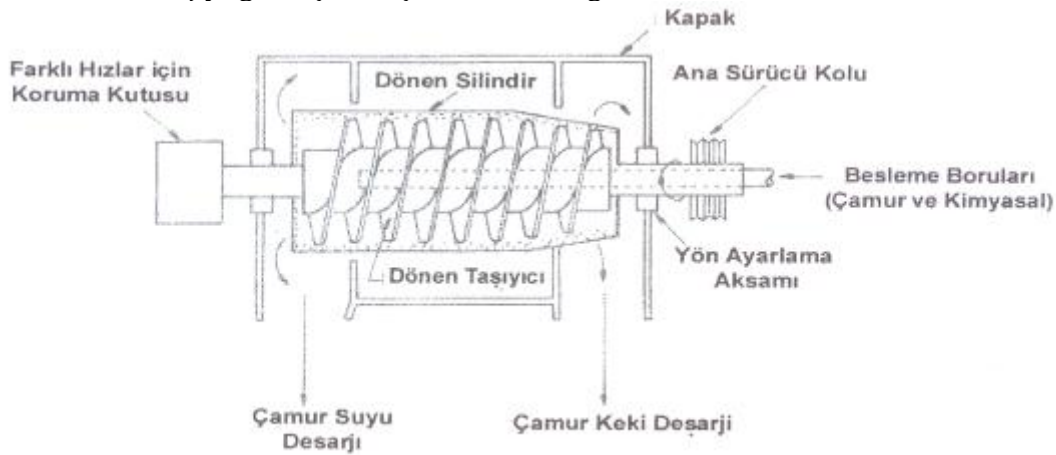


Şekil 10.8. Flotasyonlu Yoğunlaştırıcı (Filibeli, 1998)

10.5.1.3. Santrifüjle Yoğunlaştırma

Santrifüjler çamurun yoğunlaştırılması ve susuzlaştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Santrifüjlerin kullanımı genellikle atık aktif çamur ile sınırlandırılmıştır. Santrifüj ile yoğunlaştırma, çamurun içerisindeki partiküllerin santrifüj (merkezkaç) kuvvetlerinin etkisi altında çökeltmesi prensibine dayanmaktadır. Santrifüjler genellikle, 0.2 m³/s'den büyük kapasitelerde işletilen tesislerde ve alan kısıtlaması olan yerlerde tercih edilmektedir. Bu ekipman, yatay olarak monte edilmiş uzun bir silindirik tambur ile bu tamburun içinde dönen bir helezondan oluşur. Çamur girişi sürekli olup katı maddeler yatay silindirin çevresinde toplanırlar. Biriken çamur keki helezonla küreklenerek sürekli olarak dışarı atılır. Çamurun suyu da bir savak yardımıyla yoğunlaştırıcıdan uzaklaştırılır. Tambur ve helezonun devir sayıları farklıdır.

Tipik bir santrifüj yoğunlaştırıcı Şekil 10.9' da görülmektedir.



Şekil 10.9. Helezonlu Küreyicili Dekantör Tipi Santrifüj Yoğunlaştırıcı

10.5.1.4. Bantlı Yoğunlaştırma

Bantlı yoğunlaştırıcılar, çamur susuzlaştırmada kullanılan belt pres uygulamalarından hareketle geliştirilmiştir. Bantlı yoğunlaştırıcılarda, özellikle %2'den daha az katı konsantrasyonlarında, yoğunlaştırma presin yerçekimi drenaj kısmında gerçekleşmektedir. Bant yoğunlaştırıcılarda sistem ekipmanları çamuru silindirin üzerinde değişik hızlarda hareket ettiren üniteyi içermektedir. Çamur polimer ile birlikte şartlandırılır ve besleme akımı besleme/dağıtım kutusuna hareket eden ve çamurun son olarak hareket eden bant boyunca dağıtıldığı kısma verilir. Su, konsantre çamurun yoğunlaştırıcıya deşarj edildiği son noktaya doğru akıtılır. Kabaran ve oluklu yapı oluşturan çamur bandın ilerleyişi boyunca yerleştirilmiş bir seri sıyırıcı bıçağı yardımıyla suyun çamurdan banda geçişine izin vermektedir. Yoğunlaşmış çamur uzaklaştırıldıktan sonra bant bir yıkama çevrimine sokulmaktadır. Bantlı yoğunlaştırıcılar fazla aktif çamur, anaerobik ve aerobik çürütücü çamuru ve bazı endüstriyel çamurlarda kullanılmaktadır. Ancak polimer ilavesi gerekir. Testlerin katı parçacıkların yoğunlaştırıldığı tipik polimer dozlarında yapılması önerilmektedir.

Bantlı yoğunlaştırma sistemi şematik şekli Şekil 10.10' de verilmiştir.

konsantrasyonları ve yerçekimli yoğunlaştırıcılar için katı madde yükleri Tablo 10.11.'de verilmiştir.

Tablo 10.11. Yoğunlaşmamış ve yoğunlaşmış çamur konsantrasyonları ve yerçekimli yoğunlaştırıcılar için katı madde yükleri (Metcalf & Eddy, 2003)

Aritma Çamurunun Tipi	Katı Madde Konsantrasyonu (%)		Katı Madde Yüğü kg/m ² .gün
	Yoğunlaşmamış	Yoğunlaşmış	
Ayrık			
Ön çökeltim çamuru	2-6	5-10	100-150
Damlatmalı filtre humusu	1-4	3-6	40-50
Döner biyolojik temas tankı atık çamuru	1-3,5	2-5	35-50
Atık aktif çamur	0.5-1,5	2-3	20-40
Uzun havalandırmalı aktif çamur	0.2-1,0	2-3	25-40
Havasız olarak çürütülmüş ön çökeltim çamuru	8	12	120
Birleşik (karışık)			
Ön çökeltim çamuru + damlatmalı filtre humusu	2-6	5-9	60-100
Ön çökeltim + döner biyolojik temas tankı çamuru	2-6	5-8	50-90
Ön çökeltim çamuru + atık aktif çamur	0.5-1,5	4-6	25-70
Ön çökeltim çamuru + atık aktif çamur	2,5-4	4-7	40-80
Atık aktif çamur + damlatmalı filtre humusu	0,5-2,5	2-4	20-40
Kimyasal (ileri) Aritma Çamuru			
Yüksek kireç	3-4,5	12-15	120-300
Düşük kireç	3-4,5	10-12	50-150
Demir	0.5-1,5	3-4	10-50

10.6.1.1. Flotasyonlu Yoğunlaştırıcının Boyutlandırılması

Yüzdürmeli yoğunlaştırıcı performansını etkileyen faktörler hava-katı oranı, çamur özellikleri (çamur hacim indeksi vb.), katı yükleme hızı ve polimer uygulanmasıdır. Hava-katı oranı, yüzdürme için gerekli mevcut hava ağırlığının besleme akımında bulunan yüzdürülecek katı madde ağırlığına oranıdır ve % 2-4 arasında değişim göstermektedir. Normal polimer dozajlarında daha iyi bir performans izlenmesi açısından, çamur hacim indeksinin 200'den düşük olması önerilmektedir. Çamur hacim indeksinin 200'den büyük olduğu durumlarda ise yüzeydeki çamur yapısı bozularak daha fazla polimer dozajlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yüzdürmeli yoğunlaştırıcılarda katı maddeler sudan çok daha hızlı bir şekilde ayrılabilirler için, yerçekimli yoğunlaştırıcılara kıyasla daha yüksek yüklerde işletilebilmektedir. Fakat yüksek yükler, düşük konsantrasyonlarda yoğunlaşmış çamura sebep olmaktadır. Bu yüzden işletme performansının azalmaması için katı madde yükünün 10 kg/m².saat değerini aşmaması gerekmektedir. Yüksek yüklerde yüzeyde yoğunlaşan çamurlar daha sık olarak sıyrılmalıdır.

Yüzdürmeye yardımcı olması amacıyla eklenen polimer ile yüzen çamurdaki katı geri kazanımı %85'den %98-99'a kadar arttırılabilmektedir. Örnek olarak atık aktif çamurun yüzdürmeli olarak yoğunlaştırılması için gerekli polimer dozajı, 2-5 kg kuru polimer/ton TKM olmaktadır. Çözünmüş hava yüzdürmeli yoğunlaştırıcılarda önerilen katı madde yükleri Tablo 10.12.'de verilmiştir.

Tablo 10.12. Çözünmüş hava yüzdürmeli yoğunlaştırıcılar için önerilen katı madde yükleri (Metcalf & Eddy, 2003)

Arıtma Çamurunun Tipi	Katı Madde Yüğü (kg/m ² .sa)	
	Kimyasal Madde İlavesiz	Kimyasal Madde İlaveli
Aktif çamur		
Tam karışım halinde	1,2-3	10'a kadar
Çökelmiş	2,4-4	10'a kadar
Damlatmalı filtre humusu çamuru	3-4	10'a kadar
Ön çökeltim çamuru + damlatmalı filtre humusu	4-6	10'a kadar
Ön çökeltim çamuru + atık aktif çamur	3-6	10'a kadar
Ön çökeltim çamuru	4-6	12.5'a kadar

10.6.1.2. Santrifüj Yoğunlaştırıcının Boyutlandırılması

Santrifüjlerin verimi, tutulan katı madde miktarına göre ölçülür ve aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanır.

$$\text{Tutulan katı madde} = (1 - (C_r \cdot (C_o - C_a)) / (C_s \cdot (C_o - C_r))) \cdot 100 \quad (10.7)$$

Burada;

C_r: Çamur suyundaki katı madde konsantrasyonu, mg/L veya %

C_o: Çamur kekindeki katı madde konsantrasyonu, mg/L veya %

C_a: Giriş çamurun katı madde konsantrasyonu, mg/L veya %

olarak verilmiştir.

Atık aktif çamurun yoğunlaştırılması için 0-4 kg kuru polimer/ton TKM dozajları kullanılmaktadır. Santrifüjlerin performansları yoğunlaştırılmış çamurun katı içeriği ve askıda katı madde geri kazanımı (katı tutma oranı olarak da ifade edilir) ile değerlendirilmektedir. Sabit çamur beslenmesi altında, süzüntü suyundaki katı madde konsantrasyonu azaldıkça katı tutma oranı da artmaktadır. Katı tutma oranının yüksek olması, arıtma tesisi başına geri devrettirilen ve arıtılması gereken süzüntü suyunun içerisindeki biyolojik olarak ayrışabilen katı madde konsantrasyonunun daha düşük olmasını sağladığından önemlidir. Atıksu arıtma tesisleri için kütle dengesi kurulurken, yoğunlaştırma, stabilizasyon ve susuzlaştırma proseslerinden geri devir ettirilen debilerin (aynı zamanda yan akım debileri olarak adlandırılırlar) mutlaka dikkate alınması gerekmektedir. Santrifüj ile yoğunlaştırmada başlıca işletme değişkenleri, beslenen çamurun özellikleri (çamurun su içeriği ve çamur hacim indeksi), santrifüjün dönme hızı, hidrolik yükleme hızı ve şartlandırma amacıyla ilave edilen polimer dozajıdır.

Bu parametreler arasındaki ilişki, bölgesel olarak farklılaşmaktadır. Tasarım için pilot tesis çalışmalarının yapılarak çamur cinsine göre uygun işletme parametrelerinin seçilmesi gerekir.

10.6.1.3. Bantlı Yoğunlaştırıcıların Boyutlandırılması

Bantlı yoğunlaştırıcılar için tipik hidrolik yükleme oranları Tablo 10.13' de verilmiştir. Katı yükleme hızları 200-600 kg/m.sa arasında değişmektedir. Sistemler

yoğunlaştırılmış katılar için maksimum %5-%7 katı madde oranına göre tasarlanmaktadır. Katılar tipik olarak %90 ile %98 arasında tutulmaktadır (WEF, 1998). Atık aktif çamur yoğunlaştırma için 3-7 kg kuru polimer/ton TKM dozajları kullanılmaktadır.

Tablo 10.13. Bantlı yoğunlaştırıcılar için tipik hidrolik yükleme oranları* (WEF, 1998)

Bant Boyutu (Etkin susuzlaştırma genişliği), m	Hidrolik Yükleme Aralığı, L/s
1,0	6,7-16
1,5	9,5-24
2,0	12,7-32
3,0	18-47

* Eysel çamurlar için da katı madde oranının % 0,5 ile 1,0 arasında olduğu kabul edilir. Çamur yoğunluğundaki değişimler, bant porozitesi, polimer reaksiyon hızı ve bant hızı verilen herhangi bir bant genişliği için hızın artmasında veya azalmasına yol açmaktadır.

10.6.1.4. Döner Tambur Yoğunlaştırıcıların Boyutlandırılması

Döner tambur yoğunlaştırıcılar genellikle 24 L/s kapasiteye kadar üretilmektedirler. Tambur yoğunlaştırıcılar için tipik performans aralıkları Tablo 10.14' de verilmiştir.

Tablo 10.14. Döner Tambur Yoğunlaştırıcılar için tipik performans aralıkları (WEF, 1996)

Çamur Tipi	Besleme, % Toplam Katı	Uzaklaştırılan Su, %	Yoğunlaştırılan Katılar, %	Katıların Geri Kazanımı, %
Ön çökeltim çamuru	3,0 - 6,0	40-75	7 - 9	93 - 98
Atık aktif çamur	0,5 - 1,0	70-90	4 - 9	93 - 99
Ön çökeltim çamuru + atık aktif Çamur	2,0 - 4,0	50	5 - 9	93 - 98
Havalı çürütülmüş çamur	0,8 - 2,0	70-80	4 - 6	90 - 98
Havasız çürütülmüş çamur	2,5 - 5,0	50	5 - 9	90 - 98

10.7. Çamur Stabilizasyonu (Çamur Çürütme)

Çamurun stabilizasyonu kısaca, çamurun çevreye herhangi bir zarar vermeksizin ve kötü bir koku oluşturmaksızın bertaraf edilebilen stabil bir yapıya getirilmesi işlemidir. Arıtma çamurları; patojenleri gidermek, istenmeyen kokuları önlemek, potansiyel bozunmayı azaltmak, inhibe etmek veya durdurmak amacıyla stabilize edilirler. Bunları sağlayabilme başarısı, çamurun uçucu veya organik kısmı üzerinde stabilizasyon işleminin etkisi ile ilişkilidir. Stabilizasyon prosesi tasarlanırken, stabilizasyon işleminin diğer arıtma üniteleri ile uyumu önem taşımaktadır. Çamur stabilizasyonu için;

- Kireç stabilizasyonu
- Isıl arıtma
- Havasız çürütme
- Havalı çürütme
- Kompostlaştırma

yöntemleri kullanılmaktadır.

10.7.1. Kireç Stabilizasyonu

Kireç, çamurun suyunu verme özelliklerini geliştirmek için kullanıldığı gibi, çamur stabilizasyonu amacıyla da kullanılmaktadır. Kireç stabilizasyonunda, kireç ham çamura ilave edilerek pH değeri 12 üzerine yükseltilir. Yüksek pH'ın oluşturduğu ortam mikroorganizmaların canlı kalmasına uygun değildir. Bunun sonucu olarak, ortam pH'ı bu seviyede tutulduğu sürece, çamurda çürüme, kötü koku ve sağlığa zararlı durum oluşmayacaktır. Kireç stabilizasyonu için sönmüş kireç (Ca(OH)_2) veya sönmemiş kireç (CaO) kullanılabilir. Sönmemiş kireç ilavesi halinde çamurun suyu da alınmış olur. Bazı durumlarda uçucu kül, çimento tozu, karpit kireci de kireç yerine kullanılabilir.

Kireçle stabilizasyonda iki şekilde uygulama yapılmaktadır:

- Çamur susuzlaştırmadan önce kireç ilavesi yapılır (Bu işlem kireçle ön stabilizasyon olarak ifade edilir).
- Çamur susuzlaştırmadan sonra kireç ilavesi yapılır (Bu işlem kireçle son stabilizasyon olarak ifade edilir).

10.7.1.1. Kireçle Ön Stabilizasyon

Sulu çamurda istenen pH seviyesine ulaşabilmek için daha fazla kireç ilavesine ihtiyaç duyulur. Ayrıca, uygun patojen giderimine ulaşmak için yeterli bekletme süresi sağlanmalıdır. Önerilen tasarım kriteri, pH 12'nin üzerinde yaklaşık 2 saat temas süresidir. Kireç dozajı, çamur tipi ve katı madde konsantrasyonuna göre değişim gösterir. Önerilen tipik kireç dozajları Tablo 10.15' de verilmiştir.

Tablo 10.15. Çamur stabilizasyonu için önerilen kireç dozajları (Metcalf & Eddy, 2003)

Çamur Tipi	Katı Madde Konsantrasyonu (%)		Kireç Dozajı* g Ca(OH)_2 /kg kuru katı	
	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama
Ön çökeltim çamuru	3-6	4,3	60-170	120
Atık aktif çamur	1,0-1,5	1,3	210-430	300
Havasız çürütülmüş karışık çamur	6-7	5,5	140-250	190

* 30 dakika süre ile pH = 12 değerinin sağlanabilmesi için gerekli sönmüş kireç [Ca(OH)_2] miktarı

Kireç stabilizasyonu, mikrobiyal büyüme için gereken organik maddeyi parçalamadığından çamur pH'ında önemli bir düşme olmadan çamur uzaklaştırılmalı veya daha fazla kireç ilave edilmelidir. İlave doz miktarı pH'ı 12 ye getirmek için kullanılan miktarın yaklaşık 1,5 katı kadardır.

10.7.1.2. Kireçle Son Stabilizasyon

Kireçle son stabilizasyon prosesinde, susuzlaştırılmış çamurun pH'ını yükseltmek amacıyla Ca(OH)_2 veya CaO (sönmemiş kireç) kullanılır. Sönmemiş kireç çamur suyuyla ekzotermik reaksiyon verdiğini için tercih edilir. Su, karışım sıcaklığını 50°C 'nin üzerine çıkarır ve bu değer kurt yumurtalarını pasif hale getirmeye yetecek sıcaklıktır

Kireçle ön stabilizasyona kıyasla, son stabilizasyonun üstünlükleri şunlardır:

- Kuru kireç kullanılabildiğinden dolayı, susuzlaştırılmış çamura su ilavesi gerekmez.
- Ayrıca susuzlaştırmaya gerek duyulmaz.
- Kireçle çamur susuzlaştırma ekipmanında kabuk oluşumu problemi ve bununla alakalı işletme problemleri ortadan kalkar.

Kireç ve çamurun iyi karıştırılması durumunda, ufalanabilir iyi bir doku elde edilir. Bu çamur uzun süre saklanabilir veya araziye kolaylıkla yayılabilir.

10.7.2. Isıl Arıtma

Isıl arıtma için, stabilizasyon ve şartlandırma proseslerinin her ikisinde de çamur yüksek basınç altında kısa süreli ısıtılır. Kullanım amacı; katıyı koagüle etmek, jel yapısını parçalamak ve katı çamurun bünye suyunu azaltmaktır. Sonuç olarak çamur sterilize olur ve kolaylıkla susuzlaştırılır. Isıl proses daha çok, sterilizasyonu ve şartlandırması zor olan biyolojik çamura uygulanır. Yüksek yatırım maliyeti büyük sistemlerde bu yöntemin kullanımını kısıtlar. Isıl arıtmadan çıkan üst su, yüksek BOİ, NH₄ ve P içerdiğinden ana arıtım sistemine verilmeden önce ön arıtımı gerekebilir.

Isıl arıtmadan çıkan kısmen okside olmuş çamur, vakum filtre, santrifüj, bant filtre veya kurutma yataklarında susuzlaştırılabilir. Bu sistemin başlıca üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

- Ulaşılan oksidasyona bağlı olarak susuzlaştırılmış çamurun katı içeriği %30-50 arasında değişir.
- Oluşan çamur için kimyasal şartlandırmaya gerek duyulmaz.
- Proses, çamuru stabilize eder ve hastalık yapan bakterileri yok eder.
- İşlenen çamurun ısı değeri 28-30 kJ/g'dır.
- Çamur bileşimindeki değişim proses verimini etkilemez.
- Uçucu katının tam oksidasyonu, yüksek basınç ve sıcaklıklarda tamamlanır.

Sistemin önemli mahzurları şunlardır;

- Ekipman yoğun olması ve korozyona dayanıklı malzeme kullanımı nedeniyle, ilk yatırım maliyeti yüksektir.
- Uzmanlık gerektiren bir işletme ve ciddi önleyici bakım programı gerektirir.
- Proseste oluşan atıksu yüksek organik karbon, amonyak ve renk kirliliğine sahiptir.
- Arıtım gerektiren kötü kokulu gazlar meydana gelebilir.
- Isı değiştirici, borular ve reaktörde kazan taşı oluşumu problemi görülebilir.
- Kabuk kontrolü asitle yıkama ve yüksek basınçlı su püskürtme gerektirir.

10.7.3. Havasız Çürütme

Havasız çürütme, çamur stabilizasyonu için kullanılan en eski proseslerden biri olup, moleküler oksijen yokluğunda organik ve inorganik maddelerin parçalanması işlemi olarak tanımlanabilir. Atıksu arıtma tesislerinde ortaya çıkan ham (birincil) ve biyolojik fazla çamurlar havasız ortamda çürütülürler. Havasız çürütme süreci anaerobik

bakterilerce gerçekleştirilir. Organik çamurların havasız ayrışma süreci başlıca üç safhada gerçekleştirilir: Hidroliz, Asit üretimi ve Metan üretimi.

Hidroliz safhasında, çözünmemiş yapıdaki kompleks organik maddeler hücre dışı enzimler vasıtası ile daha basit yapıda organik maddelere dönüştürülür. İkinci safhada, karbonhidrat, yağlar ve proteinlerden oluşan organik maddeler asit bakterilerince uçucu yağ asitlerine dönüştürülür. Metan üretimi safhasında metan arkelerince ikinci safhanın son ürünü olan asetik asidin parçalanması veya CO₂ ile H₂'in sentezi yoluyla metan ve karbondioksit üretilir.

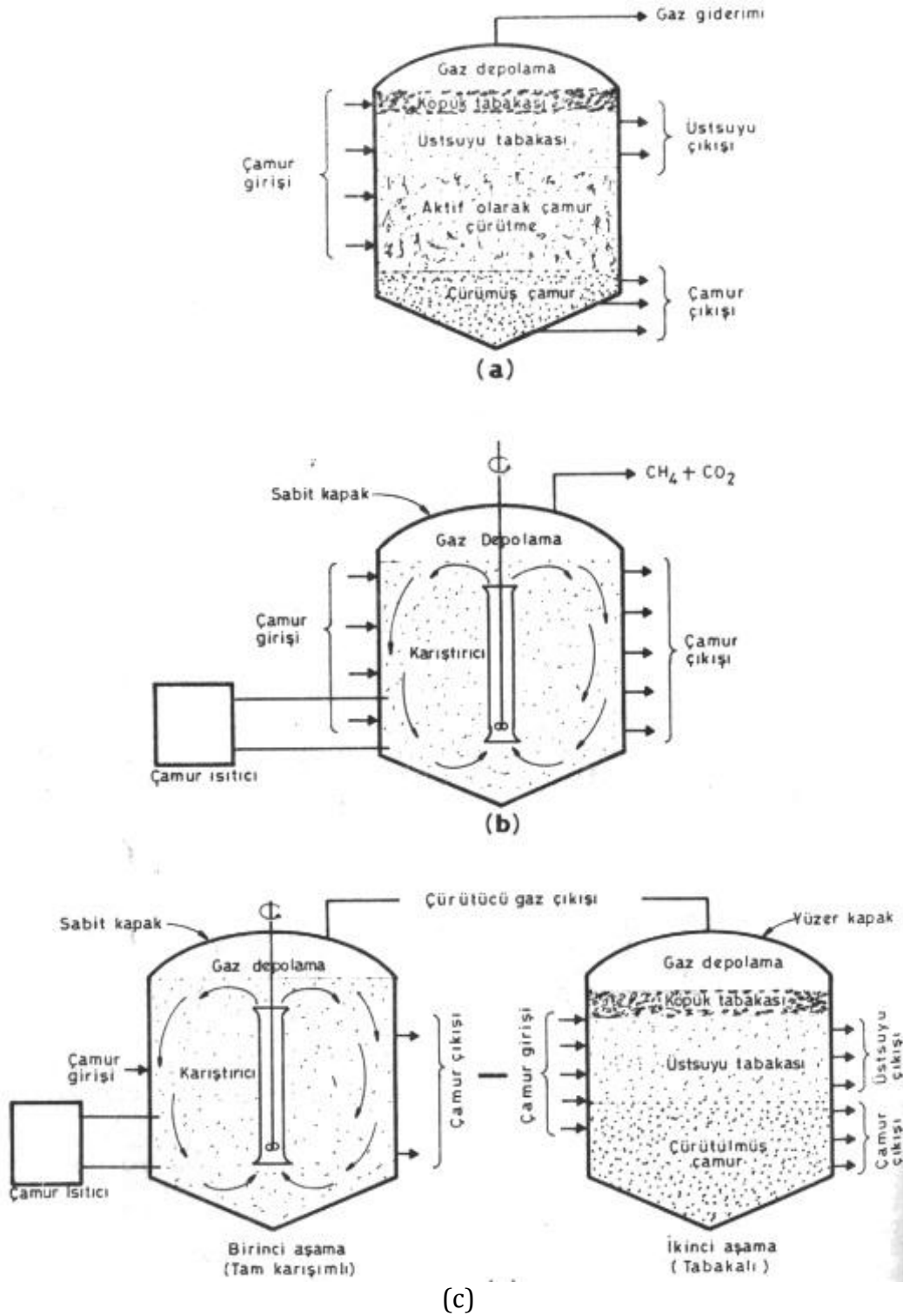
Havasız çürütme işleminden geçen evsel arıtma tesisi çamurları kararlı, kokusuz, patojen organizma konsantrasyonu düşük ve araziye serilebilecek özelliktedir. Havasız çamur çürütme yönteminin başlıca mahzurları, yüksek ilk yatırım maliyeti, işletme güçlükleri ve çıkış suyu kirlilik yükünün fazla oluşudur. Havasız arıtma süreci esas itibari ile pH, atığın bileşimi ve sıcaklığa bağlıdır. Yüksek organik yüklerde metan üretimi durur, anaerobik reaktörde asit birikimi olur ve çıkan gazda CO₂ yüzdesi artar. İyi işletilen çamur çürütücülerde pH=6.7-7.4, uçucu asit konsantrasyonu 1000 mg HAc/L'den ve CO₂ yüzdesi %35'ten azdır. Metan arkeleri mezofilik (27-43 °C) ve termofilik (45-65 °C) sıcaklık kademelerinde oldukça aktiftirler. Havasız çürütücüler genellikle mezofilik sıcaklık aralığında (35-40°C) işletilirler. Ancak son yıllarda termofilik çürütme sonucu oluşan çamurların daha iyi süzülebildiği ve çürütme veriminin de daha yüksek olduğu yolunda uygulamalar da gözlenmektedir.

10.7.3.1. Havasız Çamur Çürütücü Tipleri

Havasız çamur çürütücüler başlıca iki tiptir: düşük hızlı ve yüksek hızlı çürütücüler (Şekil 10.11). Düşük hızlı (standart) çürütücülerde ısıtma ve karıştırma uygulanmaz. Hidrolik bekleme süresi yörenin iklimine bağlı olarak 30-60 gün arasında değişir. Yüksek hızlı çürütücülerde ise havasız ayrışma sürecini hızlandırmak gayesi ile ısıtma ve karıştırma uygulanır. Bu tip çürütücüler genellikle seri bağlı 2 reaktör tarzında tertip edilir. Birinci reaktör, çamur çürütme amaçlı kullanılır ve reaktör içerisinde ısıtma ve karıştırma gerçekleştirilir. İkinci reaktörde sıvı-katı ayrımı (çökeltim) gerçekleştirilir ve çamur yaşının kontrolüne imkan sağlanır. Bu tip çürütücüler, inşa maliyetinin yüksek olması ve ikinci tankın çok yarar sağlamaması gibi sebeplerden dolayı nadiren kullanılmaktadırlar. İkinci tank yerine çamur yoğunlaştırıcı kullanılması tercih edilmektedir.

Havasız olarak çürütülmüş çamurlar çok iyi çökemediğinden dolayı ikinci reaktörden çekilen süpernatant yüksek konsantrasyonda askıda katı madde içermektedir. Birincil çürütücüde çökeltme karakteristiklerinin iyi olmamasının sebeplerinden biri tam çürümenin gerçekleşmemesi diğeri ise kötü çökeltme karakteristiklerine sahip olan ince yapılı katılardır. Sisteme geri devrettirilen süpernatant daha kötü koşullara sebep olmakta ve ayrı bir arıtmaya ihtiyaç duymaktadır.

Bazı uygulamalarda daha iyi bir stabilizasyon sağlamak için susuzlaştırma prosesinden önce ikinci reaktörün ısıtılması ve karıştırılması gerçekleştirilmektedir.



Şekil 10.11. Havasız çamur çürütücü tipleri: a) Klasik düşük hızlı tek kademeli proses, b) Yüksek hızlı, tam karışimli, tek kademeli proses, c) İki kademeli proses (Filibeli, 1998)

10.7.4. Havasız Çamur Çürütmede Boyutlandırma ve Proses Kontrolü

Tasarımda, giren katıların ortalama derişiminin, kütlece toplam kuru katıların % 4'ünden daha büyük olduğuna, asgari çamur seviyesinin altındaki çürütücüye bağlanmış olan boru hatlarının, yalıtım vanası ve çürütücü arasında soğutularak yalıtılabilen bir

bölmeye sahip olmasına dikkat edilmelidir. Çürütücüler ve gaz tutucular arasında yerleştirilmiş gaz filtreleri, desülfirizatörler ve gaz ölçme donanımı yan geçişlere sahip olarak kurulmalıdır. Çürütücü gazın toplandığı yerlerde gaz kullanılmalı veya yakılmalı ancak tahliye edilmemelidir (DIN EN 12255-8).

Isıtılarak çürütme için donanım, en azından aşağıdakileri izlemeli veya kaydetmelidir.

- Sıcaklık,
- Çamur seviyesi,
- Çamur girişi ve gaz üretimi,
- Gaz tutuculardaki gazın hacmi,
- Gaz sistemindeki basınç kaybı.

Algılayıcıların tamamı, çürütücü boşaltılmaksızın sökülebilir olmalıdır. Ham çamur, çürütücüdeki çamur, çürütülmüş çamur ve biyogazdan numune almak için uygun araçlar düşünülmelidir (DIN EN 12255-8).

Boyutlandırmaya ilişkin önemli parametrelerden biri de çürütücüdeki bekleme süresidir. Aşağıdaki çürütme süreleri yaklaşık değerler olarak seçilmiştir (ATV-DVWK-M-368E).

- | | |
|--|---------|
| • Toprak havuzlar ve ısıtılmayan çürütücüler | 120 gün |
| • Imhoff tankları | 60 gün |
| • Isıtmalı özümleyiciler (35 °C) | 20 gün |
| • Isıtmalı özümleyiciler (50 °C) | 12 gün |

Yükleme üst sınırlarını tamponlayabilmek amacıyla, mezofilik çürütme için bekleme süresi en az 20 gün olarak tavsiye edilmektedir. Ham çamurun kuru kalıntı oranı % 3 - % 8 olmalıdır (ATV-DVWK-M-368E).

Mezofilik havasız çamur çürütücülerin tasarım ve işletmesinde göz önünde tutulacak en önemli kontrol parametreleri çürütücü hacmi, ısıtma ve sıcaklık kontrolü, karıştırma, gaz üretimi ve kullanımı, reaktör tavan tipi, çıkış suyu kalitesi ve çürümüş çamurların özellikleridir. Bu faktörlerin her biri aşağıda ele alınmaktadır.

10.7.4.1. Çürütücü Hacminin Hesabı

Çürütücü hacmi genellikle, çürütme süresi (hidrolik bekleme süresi), çamur yaşı, hacimsel yük, eşdeğer nüfus ve gözlenen hacim azalması parametrelerinden biri veya bir kaç göz önünde tutularak hesaplanır. Çürütme süresi, düşük hızlı (ısıtmasız) çürütücülerde 30-60 gün, yüksek hızlı çürütücülerde ise 10-20 gün alınır.

Çürütücü tasarımında esas alınan hacimsel çamur yükleri, diğer boyutlandırma kriterleri ile birlikte Tablo 10.16'da verilmiştir. Çürütücü hacmi, bağlı (eşdeğer) nüfus başına 120 g KM/gün alınarak da belirlenebilir. Havasız çürüme esnasında organik katıların hacmi azalır ve belli miktar çürümüş su arıtma tesisi başına verilir. Böylece çürütücüde kalan çamurun hacmi üstel olarak azalır. Gerekli çürütücü hacmi,

$$V = \left(Q_g - \frac{2}{3}(Q_g - Q_c) \right) \cdot \theta \quad (10.8)$$

ifadesiyle hesaplanabilir (Qasim, 1990).

V: Çürütücü hacmi (m³)

Q_g: Giren karışık çamur (m³/gün)

Q_c: Çekilen (atılan) çürümüş çamur (m³/gün)

θ: Çürüme süresi (gün)

Çamur çürütücülerde hidrolik bekleme süresinin pik debilerde bile 10 gün değerinin altına düşmemesi sağlanmalıdır.

Tablo 10.16. Çamur çürütücüler için tasarım kriterleri

Parametre	Düşük Hızlı	Yüksek Hızlı
Çamur yaşı (gün)	30-60	15-20
Çamur yükü (kg UKM/m ³ -gün)	0,64-1,60	1,6-4,8
Hacim kriteri:		
Ön çökeltim çamuru (m ³ /N)	0,03-0,04	0,02-0,03
Ön çökeltim çamuru+aktif çamur (m ³ /N)	0,06-0,08	0,02-0,04
Ön çökeltim çamuru+damlatmalı filtre çamuru (m ³ /N)	0,08-0,14	0,02-0,04
Beslenen ön çökeltim çamuru +aktif çamur (%KM)	2-4	4-6
Çürütülmüş ön çökeltim çamuru +aktif çamur (%KM)	4-6	4-6

Çamur çürütücülerin tasarım ve işletiminde UKM yükünün optimize edilmesi büyük önem taşır. Çürütücüye beslenen fazla aktif çamurda, yoğunlaşma sonucu KM oranı çok fazla artarsa (>%6-8) amonyum inhibisyonu riski oluşabilir.

Yüksek hızlı mezofilik çamur çürütücülerde UKM giderimi için aşağıdaki ampirik ifade önerilmektedir (Liptak, 1974):

$$V_d = 13,7 \cdot \ln(\hat{e}_c) + 18,9 \quad (10.9)$$

V_d = UKM giderimi, %

θ_c = Çamur yaşı, gün (15-20 gün)

UKM giderimi tahmininde Tablo 10.17'deki verilerden de faydalanılabilir (Metcalf ve Eddy, 2003).

Tablo 10.17. Yüksek hızlı mezofilik çürütücülerde çamur yaşına bağlı UKM giderimleri

Çamur Yaşı ê_c = ê (gün)	UKM Giderimi (%)
30	65,5
20	60
15	56

10.7.4.2. Isıtma ve Sıcaklık Kontrolü

Havasız çamur çürütme sürecinin optimum şartlarda sürdürülebilmesi için, mezofilik ve termofilik çürütücülerdeki sıcaklıklar sırasıyla 35 °C ve 55 °C civarında tutulmalıdır. Bu yüzden reaktör sıcaklığının belli bir değerinde muhafazası için beslenen çamur ve reaktör muhtevasının ısıtılması gerekir. Sağlanan toplam ısı çürütücüdeki ısı kayıplarını

karşılmalıdır. Çamur çürütücüler, duvar, çatı, temel, boru vb. kısımlarından ısı kaybeder. Isıtma sisteminin tasarımı için gerekli ısı kaybı hesapları yapılmalıdır. Çürütücülerin ısıtılması için, dahili ısı değiştiriciler, doğrudan buhar enjeksiyonu ve harici ısı değiştiriciler kullanılabilir.

Dahili Isı Değiştiriciler: Bu tür ısı değiştiriciler daha çok eski dönemlerde kullanılmışlardır. Isıtıcı yüzeyinin çamur ile kaplanması dolayısıyla ısı transfer kapasitesi önemli ölçüde sınırlanmaktadır. Isıtıcı borular üzerindeki kekleşmeyi kontrol için borularda dolaşan suyun sıcaklığı 45-55 °C arasında tutulur.

Buhar enjeksiyonlu ısıtma: Çürütücü içine buhar pompalanarak ısıtma sağlanır. En önemli üstünlüğü, ayrı bir ısı değiştirici kullanılmayışdır. Ancak yoğuşan buharın çamuru sulandırması ve tam (% 100) buhar takviyesi zorunluluğu gibi mahzurları vardır.

Harici ısı değiştiriciler: Çamur çürütücülerde ısıtma maksadıyla genellikle 3 tip ısı değiştirici kullanılır: Su banyolu, ceket borulu ve spiral borulu. Tıkanma problemi olmayan spiral borulu ısı değiştiriciler daha pahalı olmalarına rağmen tercih edilmektedir. Harici ısı değiştiriciler için ısı transfer katsayısı genellikle 3000~5640 kJ/sa.m².°C alınmaktadır. Sıcak su veya buhar çoğu kere çürütücü gazıyla ısıtılan bir kazandan sağlanır. Bu tip kazanlarda yakılan gazın ısı değerinin %80'i geri kazanılabilir.

Havasız çürütücülerde oluşan gaz hacminin hesabı için aşağıdaki tecrübeye dayalı kriterler esas alınabilir:

0,5 – 0,75 m³/kg UKM yükü
0,75 – 1,12 m³/kg UKM giderilen
0,03 – 0,04 m³/kişi-gün

Gaz toplama sistemi, sabit veya yüzer tavan (çatı), gaz boruları, basınç tahliye vanaları, alev tutucular, gaz kompresörleri, gaz metreler ve gaz depolarından oluşur. Çürütücü gazı hava ile karıştığında patlayıcı hali gelir. Bu yüzden patlama riskine karşı gerekli emniyet tedbirleri alınmalıdır.

10.7.4.3. Çürütücü Çatısı

Çamur çürütücülerin çatısı sabit veya yüzer tipte olabilir. Sabit çatılı çürütücüler daha ucuzdur ve tankta sabit bir su seviyesini muhafaza etmek üzere tasarlanırlar. Çürümüş çamurun aniden deşarjı sonunda sık sık tanka dışarıdan hava girer ve çürütücü gazını patlayıcı bir karışım haline getirir. Çürütücü gazı havada hacimsel olarak %5-20 oranına ulaştığında patlama riski söz konusudur. Ayrıca çürütücüdeki sıvı seviyesinin yükselmesi halinde de sistem hasar görebilir.

Yüzer çatılı çürütücüler daha pahalı, ancak çamur besleme ve boşaltma faaliyetlerinden etkilenmeyen, gazın tehlike riskini azaltan ve kalıcı köpük oluşumunun kontrol edilebildiği tesislerdir. Genelde iki tip yüzer kapak tasarımı vardır: Kubbe şeklinde ve yüzer kafes çatı şeklinde. Her iki tip çatı da çürütücü sıvısı üzerinde doğrudan yüzer ve 2-3 m'lik bir düşey hareket serbestliğine sahiptir. Çürütücü çatılarındaki tipik elemanlar, numune delikleri, giriş, havalandırma ve kum temizleme kapakları, dolu savak, vakum

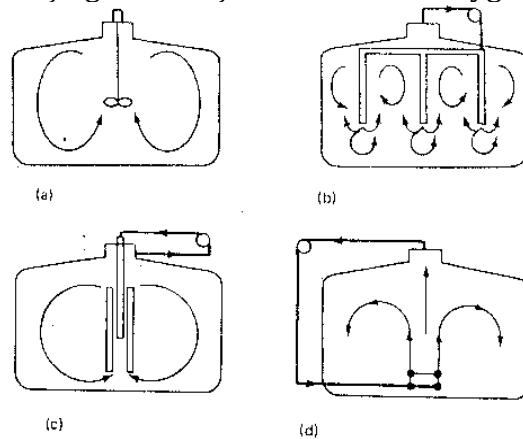
emniyet sistemi ve alev tutuculardır. Çürütücü içindeki çatı altında, gaz basıncı 0-38 cm su sütunudur.

10.7.4.4. Çürütücünün Karıştırılması

Çamur çürütücülerin optimum verimle işletilebilmesi için yeterince karıştırılması gerekir. Karıştırma ile aşağıda belirtilenler sağlanabilir:

- Çamur ile aktif mikroorganizma biyokütlesinin iyice teması,
- Çürütücü muhteviyatının homojenliği,
- Çürütücüde açığa çıkan metabolik ürünlerin ve beslenen çamurdaki toksik kimyasalların seyreltilmesi,
- Üst kısımda köpük oluşumunun önlenmesi

Çürütücülerin karıştırılmasında, harici çamur sirkülasyon pompaları, dahili mekanik karıştırıcılar ve dahili basınçlı gazla karıştırma teknikleri uygulanabilir (Şekil 10.12).



Şekil 10.12. Çürütücü karıştırma teknikleri (a- Mekanik karıştırma, b- Asılı boru/gazlı karıştırma, c- Düşey tüp/gazlı karıştırma, d- Tabandaki nozullardan gazla karıştırma)

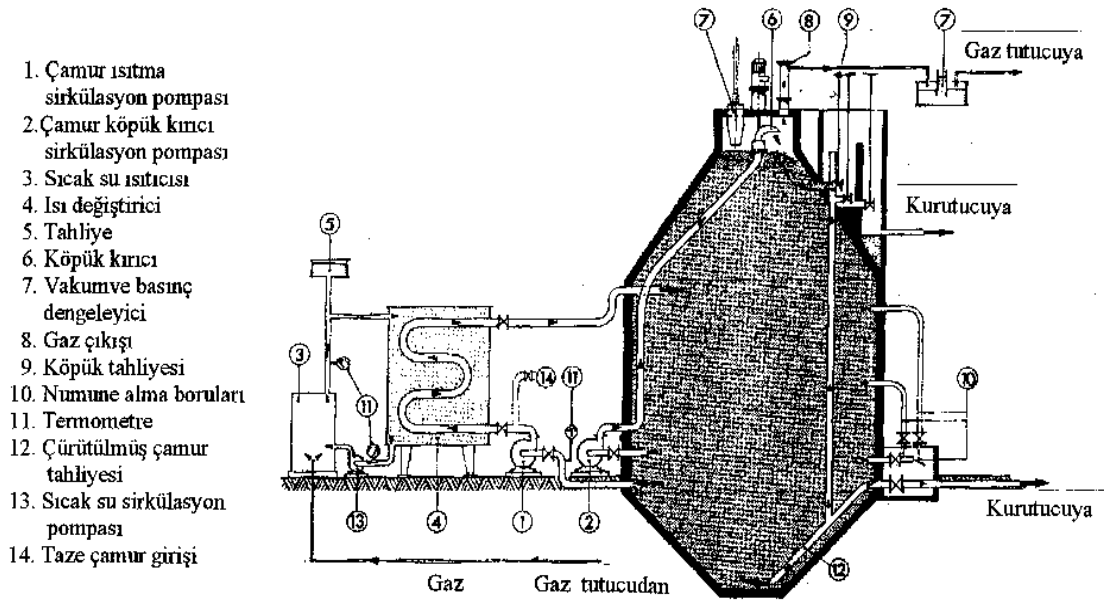
Çamur çürütücülerin harici çamur sirkülasyon pompaları ile karıştırılması çok eski yıllardan beri kullanılan basit bir yöntemdir (Şekil 10.13a/b). Bu teknik 4000 m³ hacme kadar kullanılabilir. Daha büyük tanklar için 2 pompa ile sirkülasyon uygulanır. Bu yöntem özellikle klasik Avrupa tipi çürütücüler için uygundur. Taban sıyrıcısı da ilave edildiğinde hemen hemen sorunsuz bir işletme sağlanır.

Mekanik karıştırıcı/emme tipi sistemi ile karıştırma 1926'dan beri bilinmektedir. Bu yöntem özellikle yumurta ve klasik Avrupa tipi çürütücülerde uygulanır (Şekil 10.14).

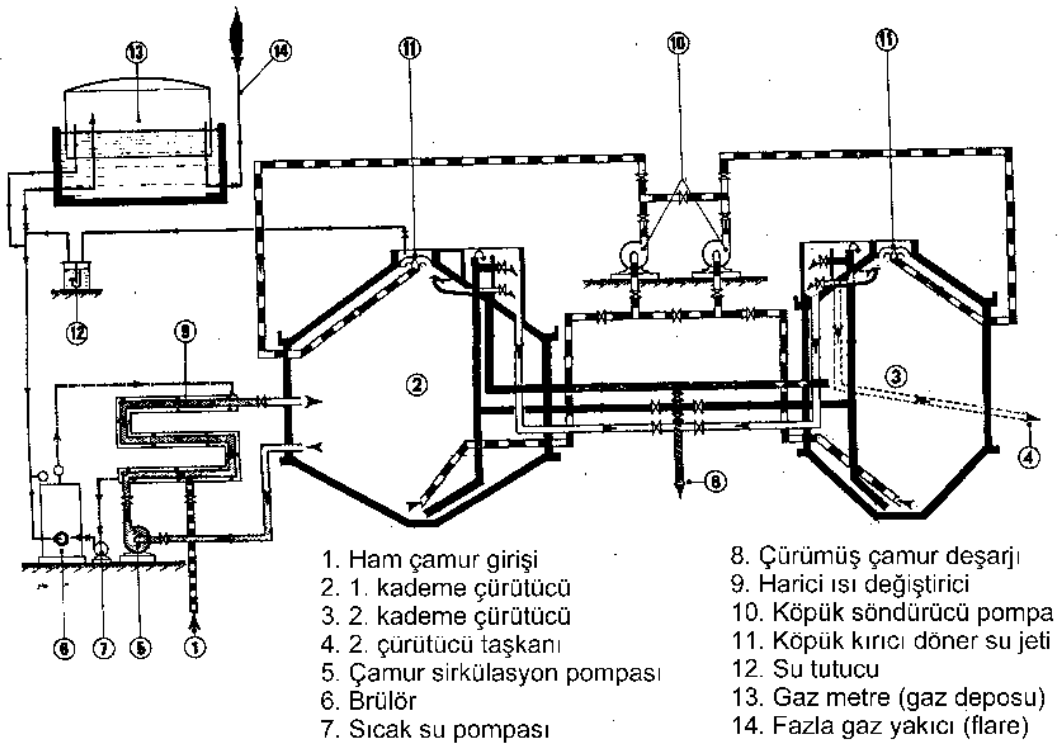
Gaz enjeksiyonu ile karıştırma da diğerleri gibi eski ve denenmiş bir tekniktir. Bu yöntem her tip çürütüğe tatbik edilebilir. İngiliz-Amerikan tipi çürütücülerin ise yegane karıştırma tekniğidir (Şekil 10.15).

Çürütücülerin sirkülasyon/karıştırma enerji ihtiyacı 3-5 watt/m³ aralığındadır. Wiedeman (1977), eşdeğer işletme şartları altında gazla karıştırma enerjisinin mekanik karıştırıcılara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Harici sirkülasyon pompaları ile

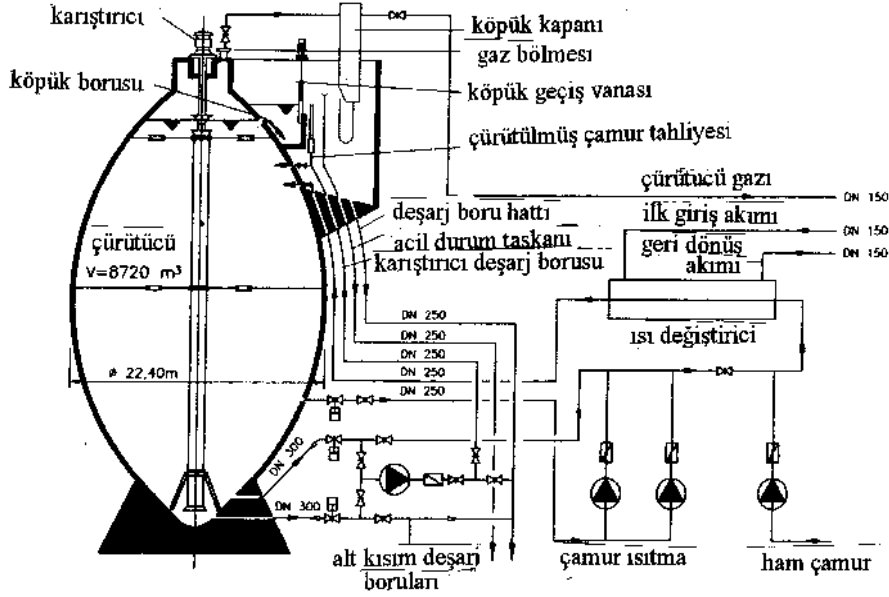
karıştırma da mekanik karıştırmaya göre daha fazla enerjiye ihtiyaç gösterir. Gazla karıştırmada gerekli gaz miktarı 5-7 L/m³.dk aralığında değişmektedir.



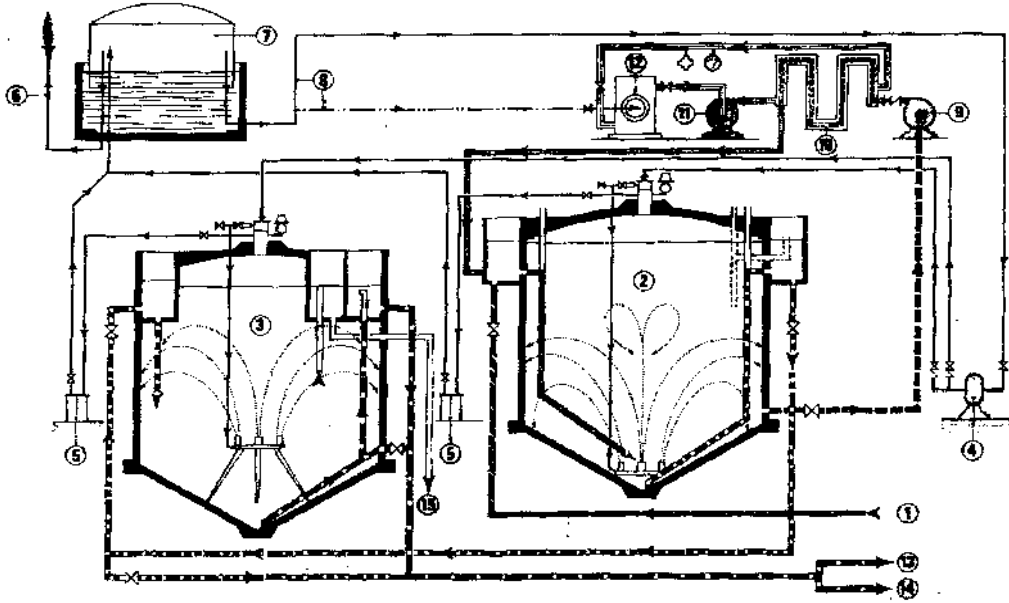
Şekil 10.13a. Sirkülasyon pompaları ile karıştırılan tek kademeli çürütücü (Öztürk, 2007)



Şekil 10.13b. Hidrolik karıştırmalı iki kademeli çamur çürütme sistemi (Öztürk, 2007)



Şekil 10.14. Mekanik karıştırıcı/emme tipi sistemi ile yumurta şekilli çürütücülerin karıştırılması (Öztürk, 2007)



Şekil 10.15. Gazla karıştırmalı iki kademeli çamur çürütme (Öztürk, 2007)

10.7.4.5. Biyogaz Üretimi ve Kullanımı

Çamur çürütme süreci esnasında üretilen biyogaz önemli bir enerji kaynağıdır. Çürütücü gazı % 60-70 CH₄, % 25-30 CO₂ ve az miktarda H₂, N₂, H₂S ve diğer gazlar ihtiva eder. Bu gazın ısıl değeri 21000-25000 kJ/m³, yoğunluğu ise havanınkinin % 86'sı'dır. Çürütücü gazı, ısıtma ve motorların tahrikinde (elektrik enerjisi) kullanılır. Üretilen biyogaz

içindeki CH₄ miktarı, havasız arıtmanın kinetiğinden hareketle aşağıdaki ifadeler yardımıyla hesaplanabilir:

Çürütücüde oluşan aktif biyokütle miktarı, P_x

$$P_x = \frac{Y \cdot Q \cdot E \cdot S_o \cdot 10^{-3}}{1 + k_d \cdot \theta_c} \quad (10.10)$$

olmak üzere oluşan CH₄ miktarı ise;

$$Q_{CH_4} = 0,35 \cdot [E \cdot Q \cdot S_o \cdot 10^{-3} - 1,42 P_x] \quad (10.11)$$

- P_x : Çürütücüde üretilen net biyokütle (kg UKM/gün)
Y : Biyokütleyle dönüşüm oranı (evsel atıksu arıtma tesisi çamurlarında, Y=0,05- 0,1 mg UKM/mg BOİ_{kullanılan})
E : Çamur çürütme (BOİ_u veya KOİ_{bp} giderim) verimi (0,6-0,9)
Q : Çamur debisi (m³/gün)
S_o : Beslenen çamurun BOİ_u veya KOİ_{bp} değeri (g/m³)
k_d : İçsel solunum hızı sabiti (evsel AAT çamuru için, 0,02-0,04 gün⁻¹)
θ_c : Çamur yaşı (gün)
Q_{CH₄} : Üretilen metan (m³/gün)
0,35 : 1 kg BOİ_u veya KOİ_{bp}'nin CH₄ eşdeğeri (T = 35°C için 0,395 ≈ 0,40)
1,42 : 1 kg UKM'nin BOİ_u veya KOİ_{bp} eşdeğeri

Yüksek hızlı çamur çürütücü tasarımı için sıcaklığa bağlı olarak önerilen minimum ve tasarım çamur yaşları Tablo 10.18'de verilmiştir (Metcalf ve Eddy, 2003).

Tablo 10.18. Yüksek hızlı çürütücüler için önerilen çamur yaşları (Metcalf ve Eddy, 2003)

İşletme Sıcaklığı (°C)	ē _{c,min} (gün)	ē _{c,tasarım} (gün)
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

10.7.4.6. Çürümüş Çamur Suyu Özellikleri

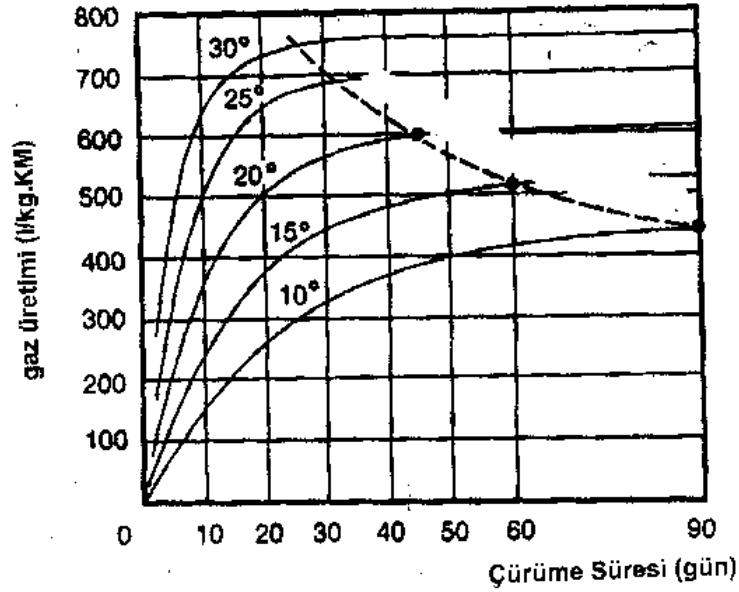
Çürütücü suyu kalitesi, çürütücünün tek veya iki kademeli oluşu, karıştırma durumu ve katı maddelerin ne oranda ayrıldığı vb. parametrelere göre değişir. Bu su AAT'ne geri döndürülür ve arıtma tesisine önemli oranda ilave kirlilik yükü verir. Yoğunlaştırılmış ham çamur ve biyolojik aktif çamur karışımının çürütüldüğü bir çürütücünün tipik çıkış suyu özellikleri Tablo 10.19'da verilmiştir (Qasim, 1999).

Tablo 10.19 Havasız çamur çürütücü çıkış suyu özellikleri (Qasim, 1999)

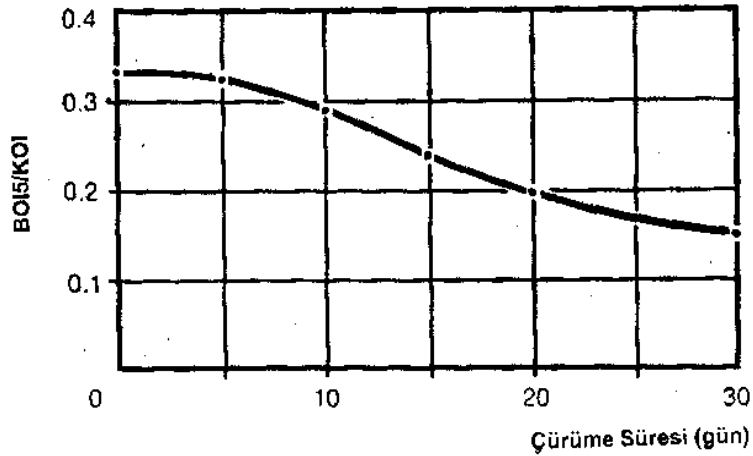
Parametre	Konsantrasyon (mg/L)
Toplam katı madde	3.000 - 15.000
BOİ ₅	1.000 - 10.000
KOİ	3.000 - 30.000

10.7.4.7. Çamurun Stabilizasyon Derecesi ve Süzülebilirliği

Çamur çürütücü hacmi 37°C'lik bir sıcaklık ve 20 günlük çürüme süresine göre boyutlandırılır (Şekil 10.16). Çürüme süresi, belli bir sıcaklıkta %90 stabilizasyon için gerekli süre olarak alınır. Çürütme süresi arttıkça çamurun stabilizasyon derecesi de artar (Şekil 10.17).



Şekil 10.16. 1 kg kuru organik maddeden gaz üretim potansiyeli (Imhoff, 1984)

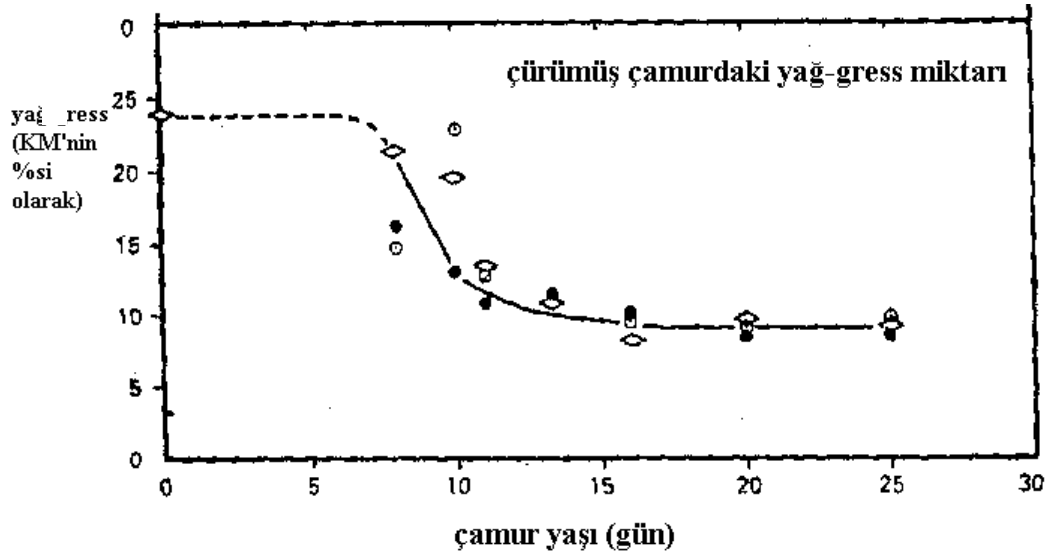


Şekil 10.17. Stabilizasyon derecesinin çürüme süresi ile değişimi (Öztürk, 2007)

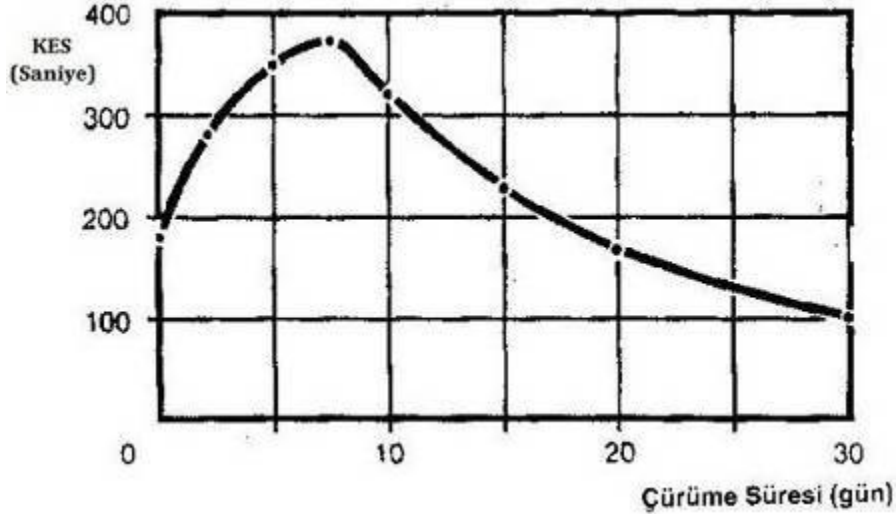
Aritma tesisi çamurlarının stabilizasyon derecesi, çürümüş çamurun BOI₅/KOI oranı yerine UKM ve yağ-gres muhtevaları izlenmek suretiyle de izlenebilir (Şekil 10.18.). Bu aynı zamanda çamurun suyunu daha çabuk bırakması, yani kapiler emme süresinin (KES) veya özgül direncinin azalması sonucunu doğurur (Şekil 10.19). Şekilden de

görülebileceği üzere θ_c 'ye bağlı yağ gres içeriği ve KES değerleri arasında tam bir paralellik bulunmaktadır.

Termofilik çürütme halinde sıcaklığın 54 °C ve çürüme süresinin 12 gün olması tavsiye edilmektedir. Çamur çürütücülerde tank sıcaklığının $\Delta t \leq +2^\circ\text{C}$ olacak şekilde kontrolü, sistem verimliliği bakımından çok önemlidir.



Şekil 10.18. Anaerobik Çamur çürütücülerde yağ-gres muhtevasının çamur yaşıyla değişimi



Şekil 10.19. Kapiler emme süresinin (KES) çürüme süresiyle değişimi

10.7.5. Havalı çürütme

Havalı çürütme prosesi, atık aktif çamura, karışık (ön çökeltim + atık aktif çamur veya ön çökeltim + damlatmalı filtre çamuru) çamurlara veya uzun havalandırılmalı aktif çamur proseslerinde ortaya çıkan çamurlara uygulanmaktadır. Bu yöntem, kapasitesi 2 m³/s'ye kadar olan tesislerde başarıyla uygulanmaktadır. Uçucu katı madde giderimleri havasız çürütme prosesi ile yaklaşık aynı oranda gerçekleşmektedir. Duru fazda ise havasız çürütme prosesine kıyasla daha düşük BOİ konsantrasyonları bulunmaktadır. Havalı çürütme uygulaması ile kokusuz, humus benzeri, biyolojik olarak kararlı nihai ürünler

elde edilebilmekte ve çamurun bünyesindeki temel gübre değerleri geri kazanılabilmektedir. İşletmeleri nispeten kolaydır ve ilk yatırım maliyetleri düşüktür. Çamurların ayrı olarak çürütülmeleri sırasında, biyolojik çamurun havalı olarak çürütülmesi daha cazip bir seçenektir. Bu stabilizasyon yönteminin en belirgin mahzurlarından birisi havalandırma için gerekli oksijenin sağlanabilmesi sırasında yüksek enerji masraflarına gerek duyulmasıdır. Ayrıca elde edilen çamurların susuzlaştırılma özellikleri zayıftır. Havalı sistemler ortam sıcaklığından, tank geometrisinden, beslenen çamur konsantrasyonundan, karıştırma/havalandırma ekipmanlarının tipinden ve tankın yapıldığı malzemeden önemli ölçüde etkilenmektedir. Faydalı yan ürün olan metan üretiminin ve enerji geri kazanımının olmaması ise prosesin diğer mahzurlarıdır.

İyi bir patojen gideriminin sağlanabilmesi için 20°C'de katı madde bekleme süresinin en az 40 gün, 15°C'de ise en az 60 gün olması gerekmektedir. 40 günün altında işletilen havalı çürütücülerde, iyi verimde patojen giderimi istenirse, ilave depolama kapasitesinin veya yoğunlaştırıcının bulunması gerekmektedir. Yukarıda önerilen çamur bekleme sürelerinde işletilmeyen havalı çürütücülerde, patojen içeriklerinin, uçucu katı madde giderimlerinin ve vektör canlılar için cazip olmayan ortamların oluşup oluşmadığı sürekli kontrol edilmeli ve izlenmelidir.

Havalı çürütücüler kesikli veya sürekli sistemler olarak işletilmektedir. Konvansiyonel havalandırmalı çürütme prosesinin tasarımı sırasında, sıcaklık, katı madde giderimi, beslenen çamurun katı madde konsantrasyonu, tank hacmi, oksijen ihtiyacı ve prosesin işletilmesi dikkate alınmalıdır.

Havalı tankların çoğu açık tanklar olarak inşa edilmektedir. Bu sebeple çürütücüler içerisindeki ısı, hava koşullarına bağlı olarak değişmekte ve geniş bir aralıkta salınım gösterebilmektedir. Diğer tüm biyolojik sistemlerde olduğu gibi düşük sıcaklık değerleri prosesin yavaşlamasına, yüksek sıcaklıklar ise prosesin hızlanmasına sebep olmaktadır. Sıcaklık kayıplarının da mutlaka dikkate alınması gerekmektedir. Tankın yer üzerinde kalan kısımlarının yalıtım malzemesi ile kaplanması, yüzeysel havalandırma yerine tankın içerisine batmış şekilde yerleştirilen havalandırma ekipmanı kullanılması, çok soğuk iklimlerde kapalı tankların kullanımı veya çamurun ısıtılması yoluna gidilebilmektedir. İlave ısıtma ihtiyacından kaçınmak için beslenen çamur, 25 kg/m³'den daha yüksek uçucu katı derişimlerine sahip olmalıdır (DIN EN 12255-8). Tasarım, beklenen en düşük işletme sıcaklığında gerekli çamur stabilizasyonu sağlanacak ve beklenen en yüksek işletme sıcaklığında maksimum oksijen ihtiyacı temin edilecek şekilde yapılmalıdır. Havalı çürütmenin diğer bir amacı da uzaklaştırılacak katı madde kütlelerinin azaltılmasıdır. Katı madde gideriminin sadece çamurun biyolojik olarak giderilebilen kısmı ile gerçekleştiği düşünülse de organik olmayan maddelerin de bir miktar parçalanması mümkün olabilmektedir. Havalı çürütme ile uçucu katı madde giderimleri % 35-50 arasında gözlenmektedir. Sıcaklığın dışında bu giderim verimini etkileyen diğer parametre ise çamur yaşıdır. Havalı çürütmenin tam karışım ve kademeli (iki veya üç kademeli) konfigürasyonunda, toplam çamur yaşı eşit bir şekilde kademeler arasında bölünmelidir. Havalı çürütme proseslerinin verimlerinde önemli etkisi olan çamur yaşının, tasarım ve işletme sırasında mutlaka dikkate alınması gerekmektedir. Örneğin çürütücü önünde yoğunlaştırma işlemi uygulanacak ise çürütücüye beslenecek çamurun katı madde konsantrasyonu ve böylece çürütücünün hacmi başına verilmesi gerekli oksijen miktarı da artacaktır. Besleme akımındaki yüksek

katı madde konsantrasyonları daha uzun çamur yaşlarına ve daha küçük çürütücü hacimlerine ihtiyaç göstermektedir. Ayrıca özellikle kesikli beslenen sistemlerde duru faz oluşumu daha az olmakta ve bu durum proses kontrolünde kolaylık sağlamaktadır. Yoğunlaşmayı takip eden çürütücülerde ise daha yüksek uçucu katı madde giderimleri gözlenmektedir. Fakat katı içerikleri %3,5-4'den yüksek olan durumlarda, karıştırma ve havalandırma işlemleri zorlaşmaktadır. Bu sebeple %4'den yüksek katı madde içeriklerinde, çürütücülerde yeterli karıştırma ve havalandırmanın sağlanabildiğinden emin olunması gerekmektedir. Yoğunlaştırma sırasında polimer kullanımı ile bu çamurların çürütülmeleri sırasında karıştırılmaları için daha yüksek miktarlarda enerji ihtiyacı gerekecektir. Havalı çürütme sırasında hücre dokusunun tamamıyla oksidasyonu (nitrifikasyon dahil) sırasında gerekli oksijen ihtiyacı 7 mol/mol hücre veya yaklaşık 2.3 kg/kg hücre'dir. Karışık çamurun içerisindeki ön çökeltim çamurundaki BOİ'nin tamamıyla oksidasyonu için ise giderilen BOİ'nin 1 kilogramı başına 1,6-1,9 kg oksijen ihtiyacı gözlenmektedir. Bütün işletme şartlarında, sistemde kalan oksijen miktarı 1 mg/L'den yüksek olmalıdır. Çürütücü önünde yoğunlaştırma uygulanmamışsa, çürütücüden çıkan arıtma çamurları bir sonraki işleme verilmeden önce yoğunlaştırılmalıdır.

Havalı çamur çürütücülerin boyutlandırılmaları sırasında kullanılan tasarım kriterleri Tablo 10.20'de verilmiştir.

Tablo 10.20. Havalı çamur çürütücüler için tasarım kriterleri

<i>Parametre</i>	<i>Birim</i>	<i>Değer</i>
<i>Katı Madde Bekleme Süresi</i>		
<i>20°C'de</i>	<i>gün</i>	<i>40</i>
<i>15°C'de</i>	<i>gün</i>	<i>60</i>
<i>Uçucu Katı Madde Yükleme</i>	<i>kg.m³/gün</i>	<i>1,6-4,8</i>
<i>Oksijen İhtiyacı</i>		
<i>Hücre dokusu</i>	<i>kg O₂/kg UAKM</i>	<i>~2,3</i>
<i>Ön çökeltim çamurundaki BOİ</i>	<i>tüketilen</i>	<i>1,6-1,9</i>
<i>Karıştırma İçin Enerji İhtiyacı</i>		
<i>Mekanik karıştırıcılar</i>	<i>kW/10³.m³</i>	<i>20-40</i>
<i>Difüzyonlu karıştırıcılar</i>	<i>m³/m³.dk</i>	<i>0,02-0,04</i>
<i>Havuzdaki Çözünmüş Oksijen</i>	<i>mg/L</i>	<i>1-2</i>
<i>Uçucu Katı Madde Giderimi</i>	<i>%</i>	<i>38-50</i>

Eş zamanlı aerobik çamur stabilizasyonunda ATV-DVWK-M-368E standardına göre ön boyutlandırma için;

- Çamur yaşı $t_{ss} \geq 20$ gün (sıcaklık $T \geq 10$ °C; nitrifikasyonla birlikte)
- Çamur yaşı $t_{ss} \geq 25$ gün (sıcaklık $T \geq 10$ °C; nitrifikasyon ve denitrifikasyon)
- Stabilizasyon tankındaki aktif çamur içeriği $SS_{AT} = 4-5$ kg SS/m³
- Oksijen yüklemesi $O_B \geq 3$ kg O₂/kg BOİ₅

Normal sıcaklıkta ayırık aerobik çamur stabilizasyonunda ATV-DVWK-M-368E standardına göre boyutlandırma, gerekli havalandırma süresine bağlı olarak yapılır. Bunun için aşağıdaki kılavuz değerler verilmiştir:

- Bekleme süresi $t_R \geq 20$ gün (Minimum sıcaklık $T \geq 10$ °C)
- Stabilizasyon tankındaki işletme açısından gerekli katı madde içeriği % 3 - % 4 kuru kalıntı

- Gerekli havalandırma kapasitesi $O_c \geq 2,2 \text{ kg O}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{gün})$ (kuru kalıntının organik kısmı $\approx \% 30 - \% 35$)
- Havalandırma ve tam karışım için gerekli güç yoğunluğu $N_R \geq 50 \text{ W/m}^3$

Ayrık mezofilik ve aerobik-termofilik stabilizasyon ATV-DVWK-M-368E standardına göre reaktör çamurunun kuru kalıntı içeriğine bağlı gerekli güç yoğunluğu değerleri Tablo 10.21’de verilmiştir.

Tablo 10.21: Reaktör çamurunun kuru kalıntı içeriğine bağlı gerekli enerji akım şiddeti

<i>Ham çamur ön yoğunlaştırma</i>	<i>Kuru kalıntı (ham çamur) (%)</i>	<i>Kuru kalıntı (reaktör çamuru) (%)</i>	<i>Güç yoğunluğu N_R (W/m^3)</i>
<i>Statik</i>	<i>3,5 - 4,0</i>	<i>2,0 - 2,5</i>	<i>80 - 100</i>
<i>Mekanik</i>	<i>5,0 - 6,5</i>	<i>3,0 - 4,0</i>	<i>120 - 180</i>

Havalı çürütmenin birinci kademesi termofilik, ikinci kademesi mezofilik sıcaklıklarda işletilen iki kademeli çürütme tipi, konvansiyonel ve yüksek saflıkta oksijen ile gerçekleşen ototermal termofilik çürütme tipi ve yüksek saflıkta oksijenli çürütme tipi de bulunmaktadır. Bu tipteki havalı çürütme prosesleri son yıllarda atıksu çamurlarının stabilizasyonu amacıyla sıkça uygulanmaktadır.

Havalı çürütücünün hacmi aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir:

$$V = (Q_o (X_o + Y.S_o)) / (X.(K_d.P_v + 1 / \theta_c)) \quad (10.12)$$

V = Havalı çürütücü hacmi, m^3

Q_o = Ortalama çamur debisi, $\text{m}^3/\text{gün}$

X_o = Giriş askıda katı madde konsantrasyonu, mg/L

Y = Ham ön çökeltim çamurunun giriş BOI_5 kısmı (% olarak)

S_o = Giriş BOI_5 , mg/L

X = Çürütücüdeki askıda katı madde konsantrasyonu, mg/L

K_d = Reaksiyon hız sabiti, gün^{-1}

P_v = Çürütücüdeki askıda katı maddelerin uçucu kısmı (yüzde olarak)

θ_c = Çamur yaşı (gün)

Havalı çürütücüye ön çökeltim çamuru beslenmiyorsa, $Y.S_o$ terimi ihmal edilebilir. Önemli miktarda nitrifikasyon olması bekleniyorsa, çürütücü hacmi hesabında (10.12) denklemi kullanılmamalıdır.

10.7.6. Kompostlaştırma

Kompostlaştırma, organik atıkların (evsel katı atıkların organik kısmı, biyolojik arıtma çamurları vb.) biyokimyasal süreçlerle parçalanarak bir son ürüne (kompost) dönüştürülmesi olarak tanımlanabilen bir prosestir. Kompostlaştırma, organik maddelerin oksijenin (havanın) mevcut olduğu ortamlarda ayrıştırılması işlemidir ve oluşan başlıca metabolik ürünler karbondioksit, su ve ısıdır.

Arıtma çamurlarının kompostlaştırılması, çamurların biyolojik olarak stabilize edilerek kirletici risklerinin kontrol altına alınmasını ve sahip oldukları mikro besi maddeleri ve organik içerik nedeniyle son ürün olarak değerlendirilmelerini sağlar.

Genelde arıtma çamurları katkı malzemesi kullanılarak tek başına kompostlaştırılabilir. Bununla birlikte son yıllarda arıtma çamurlarının evsel katı atıklarla birlikte kompostlaştırılması da uygulanmaktadır.

Kompostlaştırma işleminin başlıca amaçları aşağıda sıralanmıştır:

- Hastalık yapıcı organizmaların öldürülmesi (patojenlerin azaltılması),
- Koku yapıcı bileşenlerin parçalanarak çamurun stabilize edilmesi,
- Çamurun kurutulması,
- Stabil, kullanışlı bir ürün üretilmesi

Kompostlaştırma işleminde asıl amaç hastalık yapıcı organizmaların yok edilmesi olmalıdır (Willson, 1980). Kompostlaştırmada havalı ortamdaki biyolojik faaliyet, yığının sıcaklığını yükseltmek için gerekli ısıyı sağlar. Kompostlaştırma işleminde, patojenlerin yok olmaları için gerekli sıcaklığın sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmelidir. Kompostlaştırma işlemindeki ikinci amaç, çamuru tamamen oksitleme yerine onu basit bir bozunmaya tabi tutup kokuyu azaltıcı yönde etki yapan biyolojik parçalama ile stabilize etmektir. Kompostlaştırmanın diğer bir amacı da çamurun kurutulmasıdır. İşlem başlamadan önce nem içeriği yaklaşık %70 civarındadır. Kompostlaştırma işlemi sırasında açığa çıkan ısı, sisteme verilen havanın yardımı ile suyu buharlaştırır ve atmosfere karışmasını sağlar. Bu işlem çıkan son ürünün elenmesini, saklanabilmesini ve kullanılabilmesini sağlar.

Kompostlaştırma metodundan bağımsız olarak proses şu faktörlere bağlıdır:

- Çamurun ve katkı malzemelerinin karakterleri (nem içeriği, C/N oranı, dane boyutu, gözenek yapısı, pH, bozunma özelliği ve enerji değeri),
- Başlangıçtaki çamur/katkı malzemesi karışım oranları,
- Hava miktarı,
- Bekletme süresi

Kompostlaştırmanın en temel avantajı son ürünün, hemen ya da depolandıktan sonra toprak şartlandırıcısı olarak kullanılabilir olmasıdır. Katkı malzemesi olarak yonga (ufak ağaç parçaları) kullanılması arıtma çamurunun kompostlaştırma özelliklerini ayarlar. Katkı malzemesi ilavesi bahçe atıkları gibi mevcut bir artık malzemenin bulunmaması durumunda pahalı olabilir. Kaynakta ayırım yapılmayan bazı ülkelerde arıtma çamuru ve evsel katı atıklar kompostlaştırma tesislerinde birlikte kompostlaştırılabilir. Bu tesislerde kompostlaştırmadan önce arıtma çamurlarının basit bir susuzlaştırma işleminden geçmesi yeterlidir.

Kompostlaştırma tesislerinde, susuzlaştırılmış arıtma çamuru, nem içeriğinin ayarlanması, hammadde yapısının geliştirilmesi, enerji dengesinin ve C/N oranının düzenlenmesi için karbon ilavesi sağlamak amacıyla katkı malzemesi ile karıştırılır. Daha sonra bu karışım kompostlaştırma alanına taşınır.

Yaygın olarak kullanılan üç ana kompostlaştırma metodu karıştırmalı yığın, havalandırılmalı statik yığın ve reaktör sistemi olarak sıralanabilir. Mikroorganizmalar için koşulları optimize etmek ve çamurdaki patojenleri öldürmek amacıyla birçok proses

kontrol stratejisi geliştirilmiştir. Elde edilen kompost ürünün bir kısmı ve elendikten sonra katkı malzemeleri tekrar kullanılmak için sistemin başına geri döndürülebilir.

Bir kompostlaştırma tesisi her tür arıtma çamurunu işleyebilir. Ancak, ham arıtma çamurunun kompostlaştırılması durumunda çürütülmüş arıtma çamurunun kompostlaştırılmasına göre %40 daha fazla alana ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte ham arıtma çamurunda daha etkili bir şekilde sıcaklık yükselmesi olur ve daha iyi kurur.

Kompostlaştırma prosesinde mikroorganizmalar arıtma çamurunun organik içeriğini ve kısmen de katkı malzemesini ayrıştırır. Aerobik ayrışmanın son ürünleri su, karbondioksit, biyokütle ve komposttur. Ayrışma esnasında açığa çıkan enerjinin bir kısmı kompostlaştırılan malzemenin sıcaklığının 55-60°C'ye yükselmesine sebep olur. Bu yüksek sıcaklıklar patojenlerin giderilmesini sağlar.

Kompostlaştırma prosesini geliştirmek ve koku oluşumu gibi çevresel etkileri azaltmak için mikrobiyal ayrışma kontrol edilmelidir. Proses kontrolündeki ana faktörler şunlardır:

Arıtma çamuru ve katkı malzemesinin biyolojik olarak ayrışabilirliği,

- Nem içeriği,
- Oksijen içeriği,
- Havalandırma,
- Sıcaklık,
- C/N oranı,
- pH

Organik bileşiklerin çeşitleri ve ayrışma hızları kompostlaştırma sırasında enerji dengesini etkileyen ana faktörlerdir. Ham arıtma çamurunun ayrışabilirliği % 70-80, çürütülmüş çamurun % 35-55 ve lignoselülozik bitki malzemesinin % 12-45'dir (Haug, 1993).

Mikrobiyal parçalanma için gereken minimum nem içeriği % 40 civarında olmalıdır. Arıtma çamuru için gereken optimum nem içeriği hammaddenin dane boyutuna ve kullanılan kompostlaştırma teknolojisine bağlıdır. Arıtma çamuru için gereken başlangıç nem içeriğinin % 60-65 olması tavsiye edilir. Kompostlaştırma prosesi sonunda, son ürün kompostun nem içeriği % 40-45'ten fazla olmamalıdır. Bu değer eleme için uygundur ve daha kuru kompost toz emisyonuna sebep olur. Eğer kompost plastik torbalarda paketlenen ise anaerobik koşulların ve koku oluşturan maddelerin önlenmesi için nem içeriğinin % 35'i geçmemesi gerekir (WEF, 1995a). Yonga, ağaç kabuğu, talaş ve kompost gibi kuru katkı malzemelerinin ilave edilmesi başlangıç nem içeriğini azaltır. Ancak, katkı malzemesi ilavesi toplam kütle önemli miktarda arttırır.

Kompostlaştırma prosesi süresince yeterli miktarda oksijen gerekir. Prosesten çıkan gazdaki oksijen içeriğinin % 5 (Strom vd., 1980) ile % 18 (de Bertoldi vd., 1983) arasında değişmesi tavsiye edilmektedir. Hammadde ya da kullanılan teknoloji dikkate alınmaksızın, yeterli miktarda oksijen sağlamak için gözenek boşluğu en az % 20-30 olmalıdır (Haug, 1993). Havalandırmanın oksijen sağlamanın yanı sıra, kompostu kurutma ve mikroorganizmalar için ölümcül olabilecek yüksek sıcaklıkları kontrol etme gibi fonksiyonları vardır. Kompostlaştırma prosesinin başlangıcında parçalanma hızının

yüksek olması, ortalama oksijen ihtiyacına göre daha fazla oksijene ihtiyaç duyulmasına sebep olur. Oksijen, aktif (basıncılı) ve doğal havalandırma ile ya da yığını karıştırmakla sağlanabilir.

Kompostlaştırma sırasında, hammaddenin mikrobiyal parçalanması sonucunda ısı olarak enerji açığa çıkar. Birçok kompostlaştırma çalışması yüksek hızlı parçalanma için optimum sıcaklığın 55 °C olduğunu göstermiştir. Aktif havalandırma yapılan büyük ölçekli kompostlaştırma tesislerinde, sıcaklık yüksek hızlı parçalanma sırasında havalandırma ile kontrol edilir. Kompost yığnında bulunan sensörler, üfleyicilerin kontrolünü sağlar. ABD’de patojenlerin giderimi için sıcaklığın 3 gün boyunca 55 °C’nin üzerinde olması (reaktör sistemler ve havalandırılmalı statik yığnlarda) ya da 15 gün süresince yığnın 5 kez çevrilmesi ile sıcaklığın 55°C’nin üzerinde kalması (karıştırmalı yığn sisteminde) sağlanmaktadır (EPA, 1993).

Kompostlaştırmanın başlangıcında C/N oranı 20:1 ile 30:1 arasında olmalıdır. Çok yüksek C/N oranı mikrobiyal ayrışmayı yavaşlatır, çok düşük C/N oranı ise amonyak formunda azot açığa çıkmasına sebep olur. Bu oranı kontrol etmenin en önemli yolu başlangıç hammadde bileşimini ayarlamaktır.

Kompostlaştırma tesislerinde yürütülen proses, hammaddenin karıştırılması gibi ön işlemlerden ve katkı malzemesinin elenerek tekrar kullanımı gibi son işlemlerden meydana gelir. Kompostlaştırma prosesi ise 3 ana fazdan oluşur; yüksek hızlı ayrışma, stabilizasyon ve olgunlaşma. Yüksek hızlı ayrışma, prosesin termofilik kısmıdır ve hammaddenin taze komposta dönüşümü gerçekleşir. Bu fazda, koku oluşumuna sebep olan kolay ayrışabilir maddelerin ayrışması sonucu hacim ve kütlede azalma gözlenir. Ayrıca, termofilik sıcaklıklar nedeniyle patojen giderimi sağlanır. Stabilizasyon adımı taze kompost aktif komposta dönüşür. Sıcaklık azalmaya başlar, ancak parçalanma devam eder ve organik madde stabilize olur. Olgunlaşma adımı, son ürün kompost elde edilir. Sıcaklık ortam sıcaklığına ulaşır. Olgunlaşmış kompostun tam olarak stabilize olmamış durumda olabileceği unutulmamalıdır.

10.7.6.1. Kompostlaştırma Metotları

Karıştırmalı Yığn

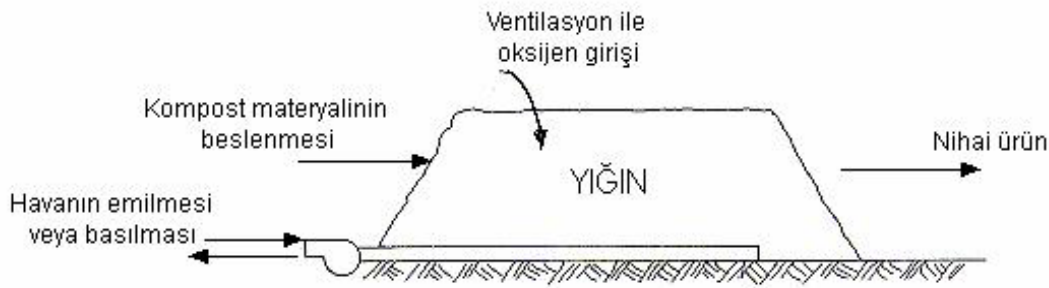
Karıştırmalı yığn kompostlaştırma sistemi en eski ve kolay kompostlaştırma teknolojisidir. Aynı zamanda en çok alan ihtiyacı gerektiren metottur. Yığnlar ince, uzun bir şekilde hazırlanır ve tüm kompostlaştırma prosesi için ya da sadece olgunlaştırma adımı için kullanılabilir. Karıştırmalı yığn kompostlaştırma sisteminde yığnın özel ekipmanlarla sık sık karıştırılması gerekir. Difüzyon ve konveksiyon sebebiyle yığnlarda doğal bir havalanma sağlanır.

Boşluk miktarını arttırmak, kompostu homojen hale getirmek, sıcaklık ve nem dağılımını eşitlemek amacıyla karıştırıcılar kullanılır. Karıştırıcılar yığını kaldırır, döndürür ve tekrar oluşturur. Karıştırmanın oksijen ihtiyacına etkisi çok düşüktür. Karıştırma sıklığı hızlı ayrışma adımından olgunlaşmaya doğru azalır, hatta olgunlaşma süresince karıştırma yapılmaz. Hızlı ayrışma ve stabilizasyon adımlarında, karıştırma sıklığı genelde haftada 2-3’dür (WEF, 1995b).

Karıştırma ekipmanı ve havalandırma tipi, yığının yükseklik ve genişlik gibi ebatlarını belirler. Karıştırmalı yığınlar genişlik 2-4 m, yükseklik 1,5 ile 2,5 m arasında değişir (Haug, 1993). Olgunlaşma adımı daha fazla yükseklikler kullanılabilir. Yığının uzunluğu atık miktarına ve mevcut alana bağlıdır. Toplam proses süresi, eğer tüm kompostlaştırma süresince karıştırmalı yığın metodu kullanılırsa 8-12 haftadır.

Havalandırmalı Statik Yığın

Karıştırmalı yığın sistemi ile havalandırmalı statik yığın sistemi arasındaki en önemli farklar, havalandırmalı statik yığının karıştırılmaması ve hareket ettirilmemesi, ayrıca havalandırmanın basınçlı blowerlar (üfleyiciler) vasıtasıyla sağlanmasıdır (Şekil 10.20). Havalandırmalı statik yığınlar boşluk hacmi önemlidir, bu nedenle daha fazla katkı malzemesi kullanımı gerekir.



Şekil 10.20. Havalandırmalı statik yığında kompostlaştırma

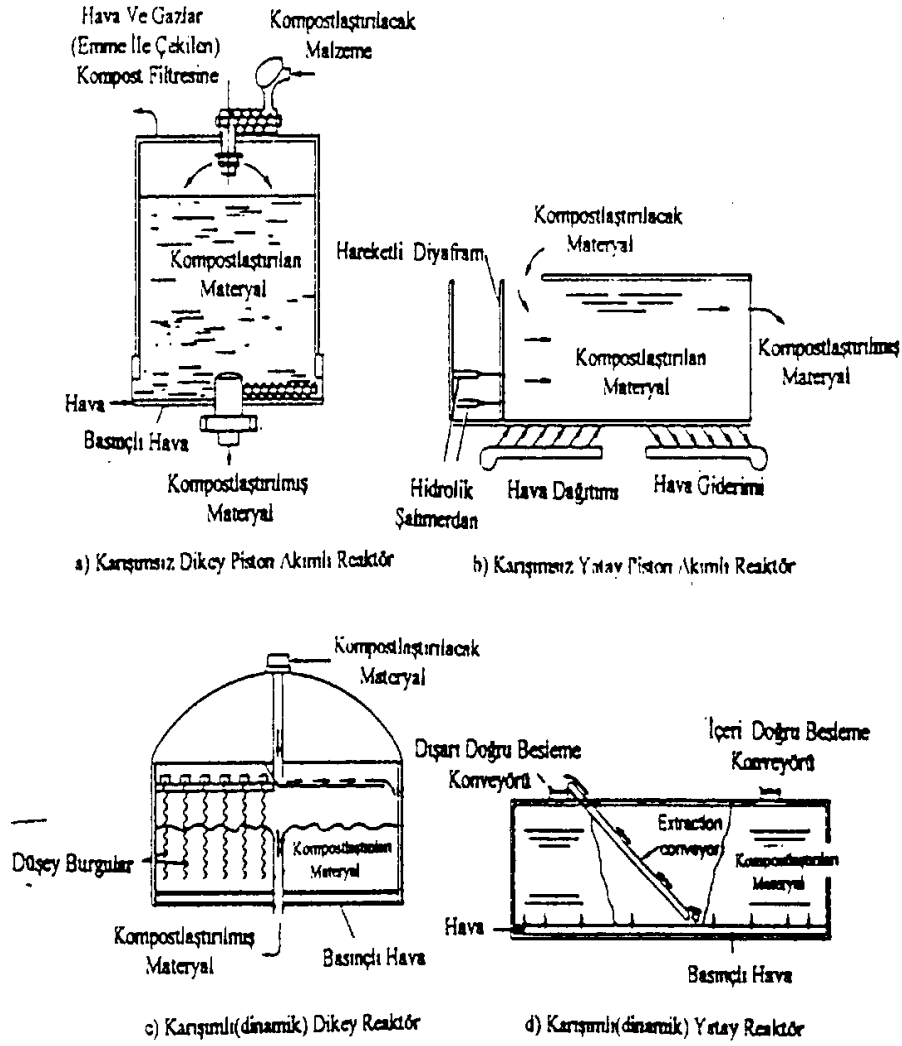
ABD'de havalandırmalı statik yığın sistemi en çok kullanılan arıtma çamuru kompostlaştırma metodudur. Yığınlar eni 2-4 m, yükseklik 3 m olacak şekilde hazırlanır. Yığınların tabanına yonga konur, üzerine kompost serilir (Haug, 1993). Yığınların üzerine olgunlaşmış kompost serilmesi hem ısı kaybını önler, hem de koku arıtımı için biyofiltre görevi görür. Üfleyiciler oksijen seviyesini % 5-15'de tutacak şekilde çalıştırılır. Prosesin başlangıcında ve sonuna doğru sıcaklık kontrol edilerek, düşük değerlerin gözlenmesi halinde havalandırmanın azaltılması gerekir. Havalandırmalı statik yığın metodunda proses süresi 14-28 gündür ve 30 günlük olgunlaşma periyodu gerekir (WEF, 1995a).

Kapalı Reaktör Sistemleri

Kapalı reaktör sistemlerinin en önemli avantajı proses boyunca açığa çıkan gazların toplanıp arıtılması, böylece tesisin koku emisyonunun azaltılmasıdır (Şekil 10.21).

Kapalı sistemlerde, atıklar genelde hücreler şeklinde yerleştirilir ve tesis kapasitesi arttıkça hücre sayısı artırılır.

Kompostlaştırma prosesini kontrol etmek için havalandırma ve karıştırma kullanılır. Her hücrenin altına yerleştirilen kanallarla havalandırma sağlanır. Proses süresi 21 gündür ve statik havalandırmalı ya da havalandırmasız yığınlar 30 günlük olgunlaşma periyodu gerekir.



Şekil 10.21. Kapalı reaktör kompostlaştırma sistemleri (Metcalf ve Eddy, 2003)

10.8. Çamur Susuzlaştırma

Çamurun nihai uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak bakımından katı madde muhtevasının artırılması veya su muhtevasının azaltılması yani suyunun alınması gerekmektedir. Susuzlaştırma aşağıdaki sebeplerden biri veya birden fazlası amacıyla uygulanmaktadır:

- Çamur hacminde belirgin bir azalma sağlamak suretiyle arıtma çamurlarının nihai uzaklaştırma alanına nakliye masraflarını düşürmek,
- Susuzlaştırılmış çamur keklerinin çok daha kolay bir şekilde kürek ve benzeri aletlerle taşınabilmelerini sağlamak,
- Yakma uygulaması için çamurun kalorifik değerini artırmak,
- Kompostlaştırma uygulaması için ilave edilmesi gereken yardımcı maddelerin miktarlarını azaltmak,
- Arıtma çamurlarındaki fazla nemin giderilerek kokusuz ve kokuşmaya elverişsiz kek oluşumunu sağlamak,
- Nihai uzaklaştırmada düzenli depolama tercih edilirse bu sahalarda meydana gelecek sızıntı suyu üretimini azaltmak

Çamur suyunun alınması, vakum, pres, yatay bant filtre, burgulu pres, santrifüj gibi usullerle veya kurutma yatakları ve çamur lagünleriyle sağlanabilir. Vakum, pres ve yatay bant filtre gibi sistemler, makine ve teçhizat gerektiren, yetişmiş elemana ihtiyaç gösteren, aynı zamanda yatırım ve işletme maliyetleri çok yüksek olan sistemlerdir.

Kurutma yatakları ise inşa ve işletme kolaylığı ile nispeten düşük yatırım ve işletme maliyetleri sebebiyle diğerlerine göre tercih edilmektedir. Bunların tek mahzurlu tarafı fazla alana ihtiyaç göstermeleridir. İklim şartlarının uygun olduğu hallerde bu mahzur ortadan kalkmaktadır.

Aktif çamur ve damlatmalı filtre arıtma tesislerinden çıkan çamurlar çürütüldükten sonra çamur kurutma yataklarına verilebilir. Aktif çamur tesislerinde çürütme öncesi tercihen çamur yoğunlaştırma uygulanmaktadır.

Aktif çamurun tadil edilmiş şekillerinden biri olan uzun havalandırmalı sistemde uzun bekletme süresi sebebiyle çamurlar stabilize olduğundan yoğunlaştırmayı müteakip çamurlar doğrudan çamur kurutma yataklarına verilebilir.

10.8.1. Başlıca Susuzlaştırma Teknikleri

10.8.1.1. Çamur Kurutma Yatakları

Sıklıkla kuru iklime sahip ülkelerde kurulmuş olan çamur kurutma yatakları, gözenekli filtre ortamına sahip asgarî iki hücre ve süzme borularından oluşabilir. Filtre yatakları genellikle tanecik büyüklüğü üstten tabana doğru büyüyen çok katlı kum ve çakıl tabakalarından yapılır. Üstteki en ince tabaka, kurutulmuş çamur ile birlikte peyderpey uzaklaşır ve birkaç uzaklaştırma işleminden sonra yenilenmelidir.

Üstteki kum tabakası 50 mm-100 mm derinliğe sahip olmalı ve daha aşağıdaki çakıl tabakası 300 mm-400 mm derinliğe sahip olmalıdır. Çakıl tabakası içerisindeki tahliye boruları asgari 80 mm anma çapına (DN) sahip olmalıdır.

Anaerobik olarak çürütülmüş çamur, azami 300 mm derinlikte ve diğer çamur 100 mm derinlikte kurutma yataklarına serilir. Çürütücünün tabanından alınan çürütülmüş çamurun serilmesi tavsiye edilir. Basınç düşmesi nedeniyle, çözülmüş gaz açığa çıkar ve çamur yüzeyinde katılar yüzer, böylece çamur suyunun aşağıya doğru hızlıca tahliyesine imkân sağlanır.

Çamur kurutma yataklarının alanı iklime ve bilhassa yağış ile buharlaşmaya bağlı olarak değişmektedir. Kurutma yatağı nüfus veya birim alan başına düşen yıllık katı madde yükü cinsinden hesaplanabilir.

Kurutma yataklarının alan ihtiyacını bulmak için yatağa bir yılda kaç defa çamur serilebileceğinin bilinmesi gerekir. Bu ise kurutma yatağına giren ve çıkan su miktarlarının bilinmesiyle, yani madde korunum denklemleri yazılmak suretiyle bulunabilir.

Türkiye’de yerleşim merkezlerinin yağış ve buharlaşma rasatları da dikkate alınarak hesaplanan kişi başına lüzumlu kurutma yatağı alanları Tablo 10.21’de gösterilmiştir.

Tablo 10.21. Türkiye İçin Kurutma Yataklarının Bir Yılda Kullanma Sayısı ve Kişi Başına Kurutma Yatağı Alanı İhtiyacı Ortalamaları (n=46 yerleşim merkezi)

	<i>Ortalama</i>	<i>S.Sapma</i>	<i>En az</i>	<i>En fazla</i>
<i>Çamur serme sayısı</i>	8,69	4,46	2,81	23,91
<i>Alan ihtiyacı, m²/nüfus</i>	0,137	0,076	0,038	0,325

Tablo 10.21'in incelenmesi ile Türkiye için anaerobik olarak çürümüş çamurların serildiği kurutma yataklarına yılda ortalama 3 ila 24 defa çamur serilebileceği ve kişi başına kurutma yatağı ihtiyacının 0,038 ila 0,325 m²/N arasında değiştiği görülmektedir.

İzmit, Rize, Trabzon ve Zonguldak gibi bölgelerde yağışın buharlaşmadan çok fazla olması sebebiyle açık kurutma yatağı yapılması uygun görülmemektedir. Bu gibi yerleşim bölgeleri için çamur kurutma yataklarının üzerinin kapatılması veya başka bir usulün tatbiki icap etmektedir. Yukarıdaki yerleşim alanları dışındaki 46 şehir ve kasaba için ortalama değerler hesaplanarak Tablo 10.22'de gösterilmiştir.

Tablo 10.22. Anaerobik Çürümüş (Ön çökeltim+Fazla Aktif Çamur) İçin Kurutma Yatağı İhtiyaçları (Öztürk, 2005)

<i>Yerleşim Merkezi</i>	<i>Kot (m)</i>	<i>Ort. Yıllık buharlaşma (mm/yıl)</i>	<i>Ort. Yıllık yağış (mm/yıl)</i>	<i>Yılda yatağı kullanma sayısı T.</i>	<i>Kişi başına olan ihtiyacı</i>
Adana	20	1.307,6	646,8	9,05	0,101
Afyon	1.034	1.054,8	455,5	7,82	0,117
Akhisar (Manisa)	93	1.162,9	609,5	7,77	0,117
Anamur (Mersin)	3	1.605,4	1.032,3	9,22	0,099
Ankara	894	1.304,6	357,0	11,26	0,081
Antalya	42	1.445,8	1.058,2	7,21	0,127
Balıkesir	147	1.447,8	609,2	18,85	0,064
Beypazarı (Ankara)	682	2.491,9	390,2	23,91	0,038
Beyşehir (Konya)	1.129	987,5	477,4	6,92	0,132
Bilecik	526	1.095,3	436,3	8,41	0,108
Bolu	742	677,2	533,7	3,11	0,293
Burdur	957	1.072,2	436,7	8,16	0,112
Bursa	100	1.048,4	713,1	5,71	0,160
Ceylanpınar-Viranşehir (Ş.Urfa)	398	328,4	328,4	17,26	0,053
Çorlu (Tekirdağ)	183	568,6	568,6	5,39	0,169
Çorum	798	401,1	401,1	8,26	0,110
Diyarbakır	650	495,9	495,9	17,04	0,054
Edirne	48	599,3	599,3	5,25	0,174
Elazığ	1.105	433,2	433,2	10,93	0,083
Erzurum	1.859	450,5	450,5	7,83	0,117
Gaziantep	855	558,9	558,9	11,46	0,080
Gölcük (Kocaeli)	16	653,7	653,7	3,39	0,269
Göztepe (İstanbul)	39	673,4	673,4	3,05	0,298
Isparta	997	619,3	619,3	8,78	0,104
İnebolu (Kastamonu)	64	1.052,2	1.052,2	4,34	0,210
İskenderun	3	785,4	785,4	4,46	0,205
İslahiye (Gaziantep)	518	850,7	850,7	10,78	0,085
İzmit (Kocaeli)	76	768,0	768,0	x	x
Kastamonu	791	449,7	449,7	3,00	0,304
Kırşehir	985	378,7	378,7	10,74	0,085
Konya	1.028	323,9	323,9	10,29	0,089
Kütahya	969	554,6	554,6	5,03	0,181
Lüleburgaz (Kırklareli)	46	614,5	614,5	10,03	0,091
Malatya	998	382,6	382,6	10,35	0,088
Manisa	71	745,7	745,7	8,38	0,109
Menemen (İzmir)	20	606,4	606,4	13,79	0,066
Mersin (İçel)	5	617,5	617,5	4,37	0,209
Merzifon (Amasya)	755	378,8	378,8	10,47	0,087
Muğla	646	1.220,9	1.220,9	4,81	0,190
Nazilli (Aydın)	60	611,0	611,0	7,15	0,128
Niğde	1.208	348,8	348,8	14,00	0,065
Rize	4	2.357,0	2.357,0	x	x

Samsun	44	735,0	735,0	3,01	0,303
Sinop	32	679,6	679,6	2,81	0,325
Sivas	1.285	411,3	411,3	8,05	0,113
Tekirdağ	4	590,5	590,5	4,83	0,189
Trabzon	30	822,7	822,7	x	x
Urfa	547	473,1	473,1	18,44	0,049
Uşak	919	540,6	540,6	12,66	0,072
Zonguldak	136	1.242,9	1.242,9	x	x

10.8.1.2. Çamurun Mekanik Yöntemlerle Susuzlaştırılması

Santrifüjler

Santrifüjler, hızla dönen bir silindirle sulu çamurları yüksek merkezkaç kuvvetine maruz bırakırlar. Genellikle bazı kimyasallarla (polielektrolit, alum, kireç vb.) şartlandırılan çamurlar 1.600-2.000 dev/dak. hızla yatay bir eksen etrafında dönen santrifüjlere verilir. Süzülen su dışarı atılır, koyulaşan çamur ise eksenel yönde ilerleyerek çıkış ucundan alınır. Santrifüjlerden çıkan çamur keklerinde katı madde oranı %20-25 ve katı madde tutulma nispeti %90-95'dir (Tablo 10.23). Gerekli şartlandırıcı polimer miktarı beslenen çamurun kuru katı madde yüzdesi başına %3-10'dur. Santrifüjler fiyat ve verim bakımından vakum filtrelerle rekabet edebilir durumdadır. Az yer kaplamaları ve tam kapalı olmaları dolayısıyla koku problemi olmayışı en önemli üstünlükleridir. Bakım zorluğu, mekanik aşınma riski ve çıkış sıvısında yüksek AKM konsantrasyonu ise bu sistemin mahzurları olarak verilebilir.

Tablo 10.23. Santrifüjlerin Susuzlaştırma Verimleri

Çamur tipi	Kekteki KM oranı (%)	Katı madde geri kazanımı (%)	Polimer ihtiyacı (kg/ton KM)
Ham ön çökeltim	28-34	90-95	2-3
Anaerobik çürütülmüş ön çökeltim çamuru	26-34	90-95	2-3
Ham aktif çamur	14-18	90-95	6-10
Anaerobik çürütülmüş aktif çamur	14-18	90-95	6-10
Ham karışık çamur	18-25	90-95	3-7
Anaerobik çürütülmüş karışık çamur	17-24	90-95	3-8
Uzun havalandırma veya aerobik çürütme çamuru	12-26	90-95	6-10

Vakum Filtreler

Döner vakum filtreler ham ve çürütülmüş çamurların suyunun alınmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip filtrelerin tasarımında şartlandırılmış çamur özellikleri, kurutma süresi, viskozite, uygulanan vakum çamur kekinin özgül direnci, filtre bezi tipi ve filtre verimi gibi faktörler önem taşımaktadır. Vakum filtrelerin yüzey alanı 5 ila 60 m² arasında değişir ve filtre bezi normal olarak filtre üreticisi firmalarca sağlanır. Döner vakum filtrede bulunan belli başlı ekipmanlar vakum pompası, süzüntü suyu toplayıcısı ve pompası, filtre bezi ve çamur şartlandırma düzenleridir. Normal olarak birim m² filtre yüzeyi alanı başına 69 kN/m² vakum altında 0,5 m³/dk hava debisine ihtiyaç duyulmaktadır. Vakum filtrelerin kurutma verimleri ve tasarım parametreleri Tablo 10.24'de verilmiştir.

Tablo 10.24. Döner Vakum Filtrelerin Su Alma Verimleri

Çamurun Cinsi	Beslenen Çamurdaki Katı Madde	Kimyasal Dozajı (KM'nin yüzdesi olarak)*		Filtre Verimi (kg/m ² .sa)	Kekteki Katı Madde (%)
		FeCl ₃	CaO		
Ham çamur					
Ön çökeltim çamuru	4 - 9	2 - 4	8 - 10	17 - 40	27 - 25
Ön çökeltim çamuru+aktif çamur	3 - 7	2 - 4	9 - 12	12 - 30	18 - 25
Ön çökeltim çamuru+damlatmalı filtre çamuru	4 - 8	2 - 4	9 - 12	15 - 35	23 - 30
Anaerobik Çürümüş Çamur					
Ön çökeltim çamuru	4 - 8	3 - 5	10 - 13	15 - 35	25 - 32
Ön çökeltim çamuru+aktif çamur	3 - 7	4 - 6	15 - 20	10 - 20	18 - 25
Ön çökeltim çamuru+damlatmalı filtre çamuru	5 - 10	4 - 6	13 - 18	17 - 40	20 - 27
Aerobik Çürümüş Çamur					
Ön çökeltim çamuru+aktif çamur	3 - 6	3 - 7	8 - 12	8 - 20	16 - 23

* % 1'lik kimyasal madde dozajı= 10 g/kg. kuru çamurdur.

Filtrel presler

Filtre presler, düşey plakalardaki çerçevelere gerilen filtre bezleri içerisine yüksek basınçta verilen çamurların süzülmesine imkan verirler. Çamur basma pompası 350-1.575 kN/m²'lik bir basınç sağlayabilecek kapasitededir. Plakalar arasında biriken filtre edilmiş çamur kekleri, plakalar mekanik olarak açılarak uzaklaştırılır. Pres filtrenin dolması için 20-30 dk yeterlidir. Filtreye doldurulan çamurun tasarım basıncında 1-4 saat tutulması gerekir. Bu süre sonunda kekteki katı madde nispeti %40'a ulaşabilir. Pres filtrelerin kurutma verimleri Tablo 10.25'de verilmiştir.

Tablo 10.25. Filtre Preslerin Kurutma Verimleri

Çamurun Cinsi	Beslenen Çamurdaki Katı Madde	Kimyasal Dozajı (KM'nin yüzdesi olarak)*		Filtre Verimi (kg/m ² .sa)	Kekteki Katı Madde (%)
		FeCl ₃	CaO		
Ön çökeltim çamuru+aktif çamur	4	5	15	5	40
Anaerobik çürümüş ön çökeltim çamuru+aktif çamur	4	6	16	5	40
Termal şartlandırılmış ön çökeltim çamuru+aktif çamur	14	0	0	12	60

Bant Filtreler (Belt-Pres)

Bant filtreler hareketli tek ve çift filtrelerle sürekli çamur sıkılmasını sağlarlar. Kesintisiz çalıştırılabilirleri, yüksek kek/katı madde oranı ve düşük enerji maliyeti bu sistemin en önemli üstünlükleridir. Başlıca mahzurları ise filtre bezinin ekonomik ömrünün kısıltığı

ve verimin çamur özelliklerine bağlı olarak değişim gösterebilmesidir. Bant filtreler gerek evsel ve gerekse endüstriyel atıksu çamurlarının suyunun alınmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bant filtrelerin tasarım ve işletme parametreleri Tablo 10.26'da özetlenmiştir.

Tablo 10.26. Bant Filtreler İçin Tasarım Parametreleri

Şartlar	Değerler
Beslenen çamurdaki katı madde (%)	3 - 10
Kekteki katı madde (%)	20 - 40
Polimer miktarı (K.M.'nin yüzdesi olarak), Anaerobik veya aerobik olarak çürütülmüş karışık çamurlarda	1,5 - 7,5
Süzüntü suyundaki AKM konsantrasyonu (mg/L)	100 - 1.000
Katı tutma verimi (%)	90 - 95
Filtre verimi (kg/m ² -sa)	20 - 40
Filtrenin süzme hızı (kg/m-sa)	375 - 750

Burgulu Presler

Burgulu pres, hızlı karıştırma (statik mikser ve yumaklaştırma tankı) ile çamur presinden oluşan paket bir çamur susuzlaştırma sistemidir. Çamur silosu veya çürütme tankından gelen çamur statik mikser ve yumaklaştırma tankında uygun kimyasal maddeler (genellikle polimer) şartlandırılır ve suyunu daha kolay bırakması sağlanır. Şartlandırılmış çamur, çok ince gözenekli özel çelik ızgaradan kademeli olarak artan basınç altında geçirilerek sürekli şekilde susuzlaştırılır. Çamur susuzlaştırma için gerekli basınç, dıştaki tambur eleğinin enkesit daralması ve aynı şekilde elek içindeki burgunun da hatvesinin küçülmesi ile sağlanır. Yumaklaştırmayı kolaylaştırmak ve kimyasal madde tasarrufu sağlamak üzere süzüntü suyu kısmen yumaklaştırma tankına geri devrettirilir. Tek ünite de 1-22 m³/sa debiyle sürekli çamur susuzlaştırma yapılabilen burgulu preslerle elde edilen işletme sonuçlarından bazıları Tablo 10.27'de özetlenmiştir. Sürekli çalıştırılabilmeleri ile işletme ve bakımlarının kolay, enerji giderlerinin düşük oluşu burgulu preslerin giderek yaygınlaşmasına yol açmaktadır.

Tablo 10.27. Burgulu preslerle Çamur Susuzlaştırma Uygulamaları

Çamur Debisi (m³/sa)	Çamur Tipi	Katı Madde (%)	
		Girişte	Çıkışta (kekte)
4 - 19	Aerobik çürütülmüş aktif çamur	0,8 - 2,0	19 - 23
4,5 - 24	Birincil çamur	1,5 - 3,0	23 - 30
4 - 20	Anaerobik çürütülmüş damlatmalı filtre çamuru	0,5 - 2,0	19 - 23
4 - 18	Biyolojik A.Tesisi (kağıt san.)	0,5 - 2,5	19 - 25
4,5 - 18	İçme suyu arıtma tesisi	0,5 - 3	18 - 24
3 - 17	Süt endüstrisi atıksuyu biyolojik çamuru	0,6 - 1	14 - 19
4,5 - 22	Fazla biyolojik çamur	0,5 - 1,5	15 - 19
4,5 - 21	Çürümüş çamur	1,5 - 3,0	24 - 30

10.8.2. Çamur Lagünleri

Çamur lagünleri, çamur susuzlaştırmaya bir alternatif olarak bazı durumlarda tercih edilebilir. Burada verilen çamur lagünleri, ham çamurlar için değil, havalı veya havasız olarak çürütülmüş çamurlar içindir. Bu lagünler, çamurun bir yere deşarj edilmesinden önce bekletme amacıyla kullanılan depolama lagünleriyle karıştırılmamalıdır. Çamur

lagünleri, alt kısımlarında katı maddelerin biriktirilip sıkıştığı, organik maddelerin uzun bir süre sonunda biraz daha bozunmaya uğradığı ve gelen akımla yer değiştiren nispeten durulmuş suyun dışarı atıldığı lagünlerdir.

Uygun topografik şartlarda, lagünler doğal çukurlardan oluşturulabilir. Ham çamur lagünlerinde olduğu gibi, bu lagünlerde de kötü koku problem oluşturmaz. Bilhassa havalı yolla stabilize olmuş çamurlar için kullanıldıklarında, koku çok azdır. Yer seçiminde diğer atıksu havuzlarında ve lagünlerinde olduğu gibi, yeraltı suyu kirlenmesine karşı önlemler alınmalıdır. Lagüne dışarıdan yüzey suyunun girmesi de engellenmelidir. Lagünden çıkan duru su, arıtma tesisine veya doğrudan araziye verilebilir. Sıcak iklimlerde sıvı hacmi azalmasında buharlaşmanın etkisi de büyüktür.

Birkaç yıllık temizleme aralıklarıyla lagün veya lagünün bölümlerinden biri by-pass edilerek çamur alınır ve bu çamur tarım arazilerinde kullanılır. Temizleme işleminde sık sık az miktarda çamur alınması yerine daha uzun aralıklarla stabilize olmuş çok miktarda çamur alınması tercih edilmelidir.

Biriken çamurdaki organik maddeler, yavaş bir şekilde bozunmaya uğrarlar. Bazı tahminlere göre, bozunma katsayısı (K_v) değeri, 0,4-0,6 arasındadır. Katı madde birikmesi ve bozunması, zamanla artar. Net UKM birikimi, birinci-derece kinetik kabulüyle aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$W_t = \frac{W_o}{K_v} (1 - \exp(-K_v \cdot t)) \quad (10.13)$$

W_t = t zamanı sonra uçucu katı madde ağırlığı,
 W_o = Birim zamanda beslenen uçucu katı madde ağırlığı,
 K_v = Birim zamanda bozunma (UKM giderimi) hızı katsayısı.

Çamur lagünlerindeki yükleme değeri 25-75 kg/m²-yıl olarak verilmektedir. Lagün gereklerini mahalli şartlara göre belirlemek daha iyidir. Özellikle iklimin kurutma için elverişli olmadığı yerlerde, derin olmayan lagünler, arazi ihtiyacı yönünden kurutma yataklarına üstün değildir. Sıcak iklimlerde çok fazla arazi tasarrufu sağlanamaz; ancak topoğrafya uygun değilse inşaat maliyeti daha düşük olabilir.

10.9. Termal Kurutma (ATV-DVWK-M 379E, 2004)

Atıksu arıtma tesislerinde termal çamur kurutucuların kullanılma amacı, katı madde oranı % 10-30 arasında değişen susuzlaştırılmış çamurun katı madde miktarının genellikle % 90 ve üzerine artırılmasıdır.

Genellikle üç tip çamur kurutucu kullanılmaktadır:

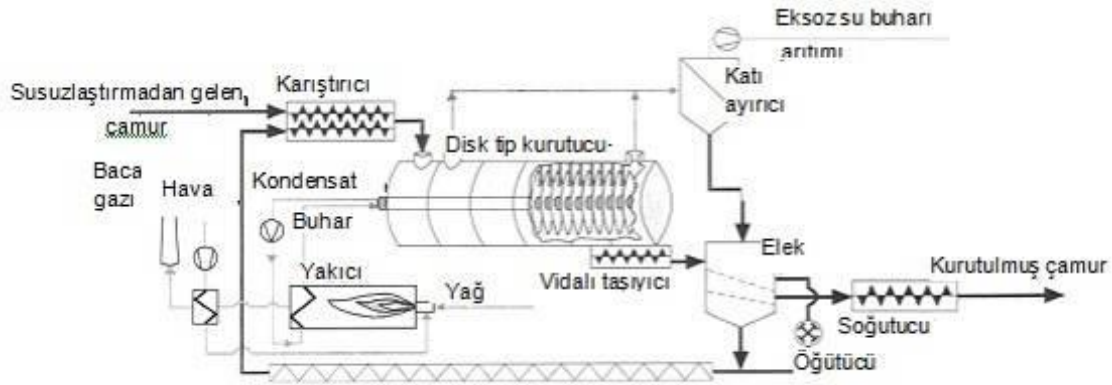
- Temaslı kurutucular,
- Konveksiyon tipli kurutucular,
- Infrared (Solar/ventilasyon) kurutma

10.9.1. Temashlı Kurutucular

10.9.1.1. Disk Tipi Kurutucular

Disk tipi kurutma tesisleri arıtma çamurunu hem kısmen, hem de tamamen kurutabilmektedirler Kurutucunun önüne bir karıştırma ünitesi yerleştirilerek tam kurutma elde edilebilir.

Şekil 10.22’de Disk tipi kurutma tesisleri şematik şekli verilmiştir.



Şekil 10.22. Tam kurutma yapan disk tipi bir kurutucunun proses akış şeması (ATV-DVWK-M 379E, 2004)

Kurutma ünitesi, bir stator ve bir ara rotordan oluşmaktadır. Rotor, üzerine içi boş disklerin kaynaklandığı içi boş bir şafttan oluşmaktadır. Yaklaşık 10 bara kadar doymuş buhar veya sıcak yağ şeklinde bir ısıtma ortamı bunların içinden akmakta ve ısıyı suyu alınmış arıtma çamuruna geçirmektedir. Proseste olası bir değişiklik seçeneği olarak stator ayrıca ısıtılabilir. Disk tipi kurutucularda genellikle farklı kuruma derecelerinde yüksek miktarlarda arıtma çamuru bulunması ve ısıtılmış disklerin halen ısıtma potansiyeli olmasından dolayı tesisin süratle kapatılması mümkün değildir. Dolayısıyla, başlatma ve kapatma arasında birkaç saatin geçmesine izin verilmelidir.

Disklerin arasındaki küçük aralıktan büyük bir ısıtma yüzey yoğunluğu oluşturmak mümkündür. Bu da disk tipi kurutucuların çok kompakt olarak inşa edilebilmesini mümkün kılmaktadır. Özgün buharlaşma performansları;

- Tam kurutma tesisleri için yaklaşık 7 ila 10 kg H₂O/(m²-saat),
- Kısmi kurutma tesisleri için 11 kg H₂O/(m²-saat)’den daha büyük

şeklinde.

Rotorun yavaş dönüşünden dolayı (çevresel hız yaklaşık 1m/sn) arıtma çamuru, çok iyi karıştırılmakta ve kurutma için sürekli olarak yeni bir sınır bölgesi oluşturmaktadır. Tahrik mekanizmasının tasarımında başlangıç şartlarının dikkate alınması özellikle önemlidir. İçlerinden arıtma çamurunun kurutucuda eksensel olarak geçtiği rotor disklerinin üzerine taşıyıcı pedallar takılmaktadır. Ortaya çıkan egzoz su buharları, statorun üst bölgesinde egzoz gazı kubbesinden atılmaktadır. Ara kesit, büyük ölçüde

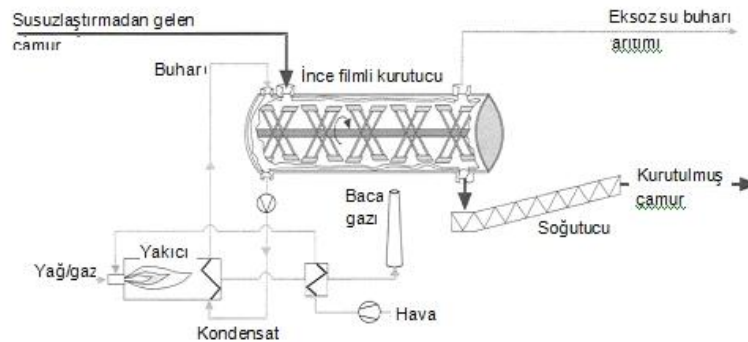
tozların uzaklaştırılmasında kullanılan giderim hızını etkilemektedir. Kurutucu diskleri yüksek yıpranma ve aşınmaya maruz kalmaktadır.

Tam kurutmada, kural olarak ürünün kurutma derecesi, kurutucudaki çamurun beslenme hızına ve yeniden karıştırılmış kuru malzeme oranına bağlı olan çamur besleme miktarına göre değişir. Besleme miktarının gözlemlenmesi için ya basınç hücreleri, ya da gama radyatörleri kullanılır. Ayrıca, yetersiz geri karıştırma için bir endeks olarak deneyimli tesis operatörleri tahrik motorunun elektrik tüketimini de kullanır. Macunsu faza yaklaşıldığında artan rezistans dolayısıyla güç tüketimi sert bir şekilde artar.

10.9.1.2. İnce Filmli Kurutucular

İnce filmli kurutucular, çift cidarlı bir silindiri olan bir yatay stator ve bir iç rotordan oluşur. Doymuş buhar veya sıcak yağ şeklindeki ısı enerjisi kurutucuya silindirin çifte cidarından verilir. Eğer kurutucu sıcak yağ kullanılarak ısıtılırsa, çifte silindirde enerji transferini dengelemek için bir kılavuz spiral kullanılır.

Şekil 10.23'de ince filmli kurutucuların şematik şekli verilmiştir.



Şekil 10.23. Tam kurutma yapan ince filmli bir kurutucunun proses akış şeması (ATV-DVWK-M 379E, 2004)

Kaynaklı distribütörlü ve taşıyıcı elemanlı iç rotorun görevi, suyu alınmış arıtma çamurunu oluşturmak ve statorun iç çevresinde 5 mm ila 15 mm kalınlıkta bir tabakaya yaymaktır. Bu şekilde, sınır temas yüzünün sürekli yenilenmesi sağlanır.

Rotorun tasarımı, boşaltım tarafına kadar ısıtma yüzeyi boyunca kurutulmuş malzemenin spiral şekilde taşınmasını sağlar. Rotorun serbest menteşeli kapaklarından macunsu fazda oluşan aglomerlerin sürekli iyice karışması ve çözülmesi sağlanır. Rotor, raketlerin modifikasyonu sayesinde (rotor tasarımı) farklı çamurlara uygun hale getirilebilir. Yüzeyin sürekli yenilenmesi, kurutucuda küçük miktarlarda bulunan çamur ve sürekli iyi karışma dolayısıyla ortaya çıkan kendini temizleme kritik macunsu fazı etkiler ve arıtma çamuru ısıtma yüzeylerine yapışmaksızın sorunsuz olarak akım sağlanır.

Rotor 7 rpm'den 75 rpm'ye kadar değişen çok farklı çevre hızlarında çalıştırılabilir ve her durumda, statorun iç kısmında ve raketlerde zaten yüksek olan mekanik stres büyük ölçüde artar.

Suyu alınmış arıtma çamuru kurutucuya yukarıdan verilir. Çamur, kurutucunun içinden geçer ve kurutucunun altından ürün olarak alınır. Bu, daha sonra, spiral konveyörler sayesinde, örneğin konteynerlere doldurulur.

İnce filmlili bir kurutucuda hem kısmi, hem de tam kurutma mümkündür. Macunsu fazın çok üzerindeki daha yüksek kurutma derecelerinde çalışma durumunda, buharlaşma artık ince bir film şeklinde gerçekleşmez ve temas yüzeylerinin büyük ölçüde büzülmesine yol açacak şekilde bir tür kitleli malzeme şeklinde oluşur. Bundan daha düşük bir ısı transferi ortaya çıkar, dolayısıyla daha büyük ısıtma yüzeyleri gerekli olur. Yaklaşık % 65 K.M.'ye kadar kurutma derecelerinde 25 ila 35 kg (H₂O)/(m²-saat)'lik bir özgül buharlaşma performansı ile karşılaşılabılır. Daha yüksek derecede kurutmalarda gerekli buharlaşma performansı ekonomik açıdan kritik sayılır. Kurutucuda sadece göreceli olarak düşük miktarlar bulunacağından, başlatma ve kapatma yaklaşık 1 saat içinde gerçekleştirilebilir.

İnce filmlili kurutucular ile kurutma derecesi için beslenen çamurun katı madde oranı ve beslenen çamur miktarı önemlidir. Pedalların dönüş hızı, ürünün yapısını etkiler ve kural olarak operasyon esnasında değiştirilmez. İnce filmlili kurutucular esas olarak tam kurutma için kullanıldığından, elde edilecek katı madde oranındaki ufak değişiklikler kabul edilebilir seviyelerdedir. Bu nedenle işletme parametrelerinin bir kez ayarlanmasından sonra tekrar kontrol edilmesi gerekmez.

10.9.1.3. İnce Filmlili ve Disk Tipi Kurutucuların Kombinasyonu

İnce filmlili ve disk tipi kurutucuların kombinasyonu sadece tam kurutma için kullanılır. Burada, macunsu fazdan sorunsuz olarak geçilebilmesi için ince filmlili kurutucular kullanılır. Kurutma prosesi, yaklaşık % 55 ila % 60'lık kuru katı madde içeriğine erişildiğinde kesilir. Çünkü daha sonra ince filmlili kurutucular ekonomik olarak görev yapamaz. Kısmen kurutulmuş çamur daha sonra tam kurutma için doğrudan bir disk tipi kurutucuya verilir. İki kurutma ünitesinin tasarımının dezavantajı, tasarruf edilen geri gelen karışım sayesinde karşılanır ve aynı geçiş performansına sahip disk tipi kurutucu, çok daha küçük boyutta inşa edilebilir. Burada kullanılan ekipmanlar, tekli prosesler ile aynıdır.

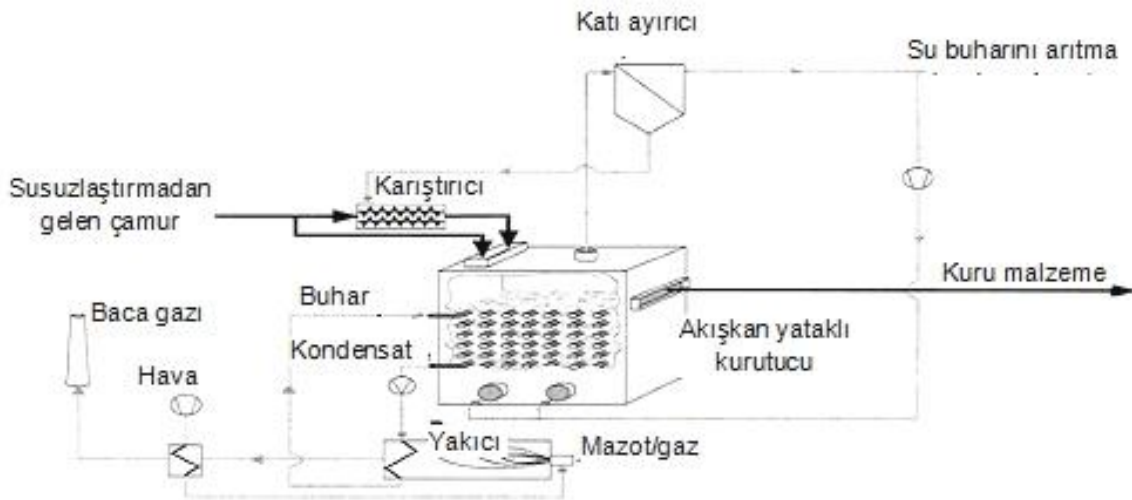
10.9.1.4. Dönen Borulu Kurutucular

Dönen borulu kurutucularda, kurutucunun içine yerleştirilen rijit boru takımı, doymuş buhar kullanılarak ısıtılır. Arıtma çamuru sürekli olarak dönen ceket içinden karıştırılır ve boru takımının üzerine atılır. Burada, eleme ve ince toz ayırımı sonrasında elde edilen ürün yaklaşık % 90 ila % 95 kuru katı madde içerikli tozsuz bir granüldür. Borulu dönen kurutucular, 100 kg (H₂O)/saat'ten 8.000 kg (H₂O)/saat'e kadar su buharlaşma performanslarına göre boyutlandırılabilir. Tüm temaslı kurutucularda olduğu gibi, az miktarda egzoz su buharı oluşur. Tesisin kontrollü başlatma ve kapatılması yaklaşık 1 saatte gerçekleşir. Tesis teknolojisinden dolayı kural olarak bir geri karışım planlanmalıdır.

tutulur ve yoğun bir karıştırma gerçekleştirilir. Sabit bir akışkan yatak oluşumu ile sistemin fiziksel özellikleri değişmektedir. Bu özellikler şunlardır:

- Yatağın en kesiti üzerinde geniş sabit sıcaklık gradyanı oluşur.
- Akışkan yatakta partiküller, sıvıya benzer davranış gösterirler.
- Değişken hava debilerinde sabit basınç kayıpları gözlenir.
- Temaslı (akışkan yataktaki buhar boruları) ve ısıtılmış hava/gaz ile konveksiyonlu ısıtmanın birleşiminden oluşmuş yüksek ısı ve madde iletimi gerçekleşir.

Akışkan yatakta kurutma sistemleri şematik şekli, Şekil 10.25'de verilmiştir.



Şekil 10.25. Akışkan yataklı kurutucunun proses akış şeması (ATV-DVWK-M 379E, 2004)

Akışkan yataklı sistemler tam kurutma için kullanılır. Tabandan hava delikleri ile beslenen gaz, yatağın akışkanlaşmasını ve açığa çıkan su buharının giderilmesi içindir. Yataktan çıkan ince toz partiküller siklonda ayrılarak tekrar çamur besleme ünitesinde ham çamur ile karıştırılır. Yatağa ham çamur beslemesi yukarıdan aşağıya doğru yapılmakta ve bu sırada yataktaki kuru çamurla stabil bir yüzey oluşturarak çamurun pişmesini önlemektedir. Sirkülasyon gazı kondensere verilmekte ve buradan blower ile tekrar kurutucuya gönderilir. Bu nedenle sistemden gaz çıkışı oldukça düşük olup, çıkan gaz arıtılmak üzere biyofiltreye verilir.

Temaslı ısı yataktaki sarmal borular ile sağlanmaktadır. Isı borularında doygun buhar veya ısıtılmış termal yağ ile sağlanabilir. Çamurun borular ile temas süresi kısa olduğu için borulara verilen ısı yüksek tutulur. Borular üzerinde çamurun pişmesi gözlenmez, çünkü gaz ile yapılan akışkanlaştırma buna izin vermez.

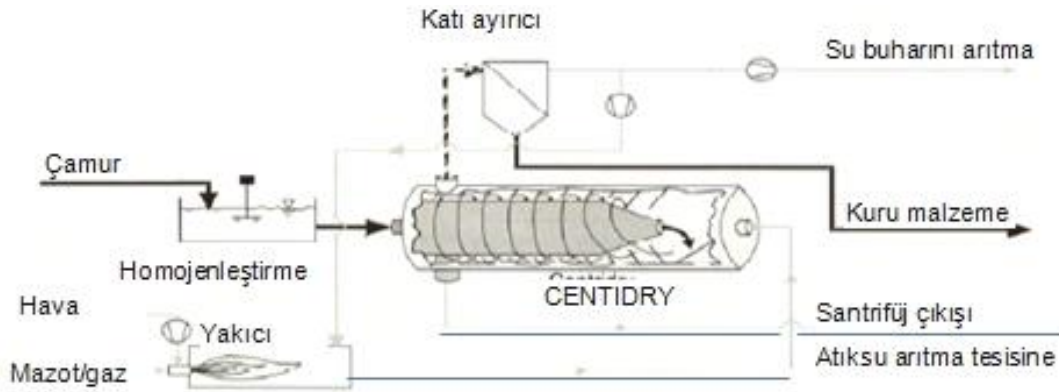
Akışkan yataklı kurutucudan çıkan kuru çamurun tane boyutu 1 mm ile 5 mm arasında değişmektedir. Çıkan ürün toz içermediği için elek ile ayırmaya gerek kalmadan doğrudan silolara aktarılabilir.

Sıcaklık kontrolü ile sistemin yönetimi mümkündür. Hızlı ve basit bir şekilde sistemi işletmeye alma ve kapatmak mümkündür. Akışkan yatağa spesifik ısı girişi, yataktaki sıcaklık 85°C olacak şekilde çamur besleme miktarını kontrollü besleyerek düzenlenir.

10.9.2.3. CENTRIDRY Prosesi

CENTRIDRY prosesinde susuzlaştırma ve kurutma tek bir ünite de gerçekleştirilir. Bu sistemde susuzlaştırılmamış çamur, kuru madde içeriği %50 ila %95 arasında olacak şekilde kurutulabilir. Ancak sistem, ham çamurun kuru madde içeriğindeki değişime karşı oldukça hassastır. Bu nedenle çamur besleme hattına homojenleştirme tankı yerleştirilmelidir. Ham çamur ilk önce kurutucu içine yerleştirilmiş santrifüj ile susuzlaştırılır. Santrifüj çıkış suyu atıksu buharı kondensatı ile birlikte atıksu arıtma tesisine verilir. Santrifüj sonrası susuzlaştırılmış çamur, ısıtılmış gaz akımının ve çarpışma plakalarının etkisi ile ince taneli forma dönüşür. Kurumuş çamur beslemenin yapıldığı taraftan hava ile birlikte santrifüjün aksiyel iletim yönünün tersine emilerek sistemden dışarıya alınır. Kuruma süresi birkaç saniyedir. Isı ihtiyacı genellikle mazot/gaz ile sağlanır.

CENTRIDRY prosesi akış diyagramı, Şekil 10.26.'da verilmiştir.



Şekil 10.26. CENTRIDRY kurutucunun (doğrudan kurutma) proses akış şeması (ATV-DVWK-M 379E, 2004)

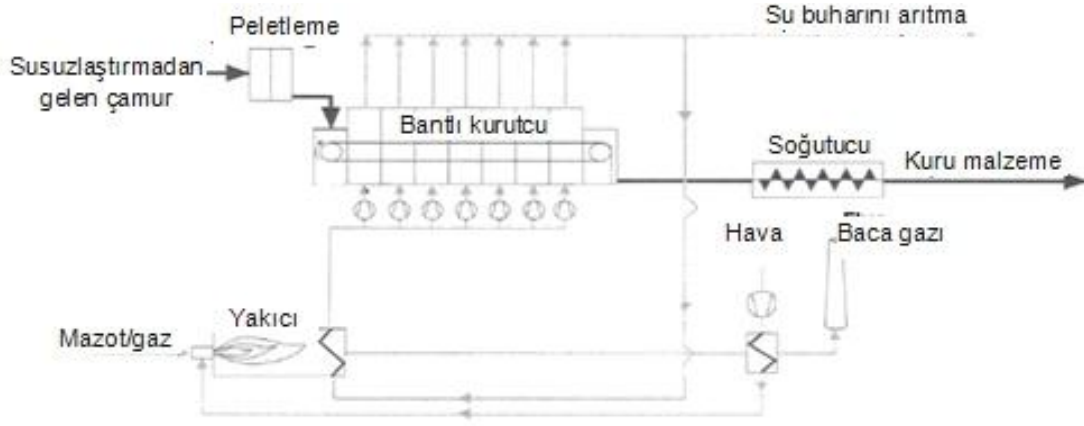
Reaktörden çıkan katı gaz karışımı siklonda ayrılır. Kurumuş çamurun tane boyutu geniş bir spektrumda farklılık gösterir. Katı gaz ayrımı sonucunda oluşan su buharı blower ile çekilerek arıtmaya gönderilir. Buradan çıkan gaz ise yakıcı da yer alan yanma odasına verilir.

Basınç, sıcaklık, akış hızı, doldurma seviyesi ve santrifüjün dönme hızı sistemde kontrol edilmesi gereken parametrelerdir. Sistemi işletmeye alma ve kapatma süreli göreceli olarak uzundur. Stabil bir işletme için ham beslenen çamurun katı içeriğinin sabit olması tavsiye edilmektedir.

10.9.2.4. Bantlı Kurutucular

Bantlı kurutucular susuzlaştırılmış çamurun katı madde içeriğini %90'nın üzerine çıkarabilen sistemlerdir. Kurutma öncesi çamurun pelet haline getirilmesi gerekir. Bu nedenle çamur önce delikli plakalardan basınç ile geçirildikten sonra bant üzerine boşaltma yapılır. Bant, delikli çelikten yapılmış olup alttan da ısı transferini yapabilmektedir. Bu sistemde kurutma odasına mekanik bir yükleme yapılmadığı için çamurun pişme riski de yoktur. Bu sistemin en önemli avantajı istenilen dane büyüklüğünde (genellikle çapı 3-5 mm olan daneler) kuru çamurun elde edilmesidir.

Bantlı kurutucular için şematik akış diyagramı, Şekil 10.27’de verilmiştir.



Şekil 10.27. Bantlı kurutucunun (dolaylı kurutma) proses akış şeması (ATV-DVWK-M 379E, 2004)

Sıcak gaz ile birlikte kurutucu üzerinde oluşan su buharı da, bantın altına yerleştirilen blower ile verilmektedir. Kurutma 120 °C ila 130 °C arasında değişen sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Sistem kontrolü çamur besleme miktarı, bant hızı ve sağlanan ısı enerjisi ile yapılmaktadır. Bant üzerine verilen çamur tabakasının kalınlığı, çamur besleme miktarına ve bant hızına göre belirlenir.

10.9.3. Solar Kurutma

Kurutma mekanizması, konveksiyon ve kızılötesi ışınlar (solar) ile ısıtmaya dayanır. Suyun giderimi tamamen meteorolojik şartlara bağlıdır. Sistem içerisinde enerji kullanımı oldukça düşüktür. Kurutma seralara benzer yapılarda gerçekleştirilir. Yapının dış cephesi oldukça şeffaf bir film tabakası veya cam ile teşkil edilir. Solar radyasyon ile yapı içindeki hava ısınır ve tabana serilmiş çamur içindeki su ısınan havaya absorblanarak çamurdan ayrılır. Suya doymun hava, yapıdaki pencere veya kapının belirli periyotlarda açılıp kapanması ile uzaklaştırılır ve yeni hava girişi sağlanır. Hava değişiminin verimli bir şekilde yapılabilmesi için cebri havalandırma uygulanabilir.

Kuruma süresi, sera içerisindeki hava sıcaklığına, dışarıdaki havanın suya doymunluk değerine ve seradaki hava değişim hızına bağlıdır. Tabana serilmiş çamurun kuruma verimini artırmak için belirli aralıklarla çevrilmesi (karıştırma) gerekir.

Sistemin verimi temel olarak iklim şartlarına bağlı olup, çamurun kış aylarında depolanması gerekir. Bu tesisin elektrik enerji gereksinimi yaklaşık 30 kWh/ton'dur. Solar kurutma ile % 85'in üzerinde kuru maddeli çamur elde etmek mümkündür. Seradan çıkan suya doymun hava akımının artırılmasına genellikle gerek duyulmamaktadır. Ancak meskûn mahallere yakın yerlerde, söz konusu hava ile koku emisyonları oluşma riski vardır.

10.10. Kaynaklar

ATV-DVWK-M 368 (2003) Biological Stabilisation of Sewage Sludge.

ATV-DVWK-M 379E (2004) Drying of Sewage Sludge, Advisory Leaflet.

Babbit, H. E., & D. H. Caldwell (1939). Laminar Flow of Sludges in Pipes With Special Reference to Sewage Sludge, University of Illinois, Engineering Experiment Station, Bulletin Series No. 319.

De Bertoldi, M., Vallini, G., Pera, A., (1983). The Biology of Composting, Waste Management Research, 1, 157-176.

DIN EN 12255-8 (2001) Sludge treatment and storage.

EPA (1993). 40 CFR Part 503, Standards for the Disposal of Sewage Sludge.

Filibeli, A. (1998). Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.

Haug, R.T. (1993). The Practical Handbook of Compost Engineering, Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Imhoff, K.R., (1984). Design and Operation of Anaerobic Sludge Digesters in Germany in Sewage Sludge Stabilization and Disinfection, Ed: A. M. Bruce.

Metcalf & Eddy (2003). Wastewater Engineering, Disposal and Reuse, Mc Graw Hill Publishing.

Öztürk, İ. (2007). Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları, Su Vakfı Yayınları.

Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U. (2005). Atıksu Arıtımının Esasları: Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Qasim, S.R. (1999). Wastewater Treatment Plants; Planning, Design and Operation, Technomic Publishing Co. Inc.

Strom, P. F., Morrisi M.L., Finstein, M.S., 1980. Leaf Composting Through Appropriate Low-level Technology, Compost Science and Utilization, 21 (6), 44-48.

WEF (1995a). Wastewater Residual Stabilization, Manual of Practice FD-9, Water Environment Federation, Alexandria, VA.

WEF (1995b). Biosolid Composting, Water Environment Federation, Alexandria, VA.

WEF (1996). Operation of Wastewater Treatment Plants, Water Environment Federation Press.

WEF (1998). Biological and Chemical Systems for Nutrient Removal, Water Environment Federation Press.

Willson, G.B. (1980). Manual for Composting Sewage Sludge by the Beltsville Aerated Pile Method, US EPA, Ohio.

11. TESİS YERLEŞİMİ VE YARDIMCI TESİSLER

Prof. Dr. İsmail KOYUNCU

11.1. Koruma Kuşakları

Atıksu arıtma tesisini belli bir mesafeden itibaren (çapta) çevreleyen emniyet/koruma bandı, tesisin civar yerleşimlerden tecrit edilmesini sağlar. Bu kapsamda SKKY hükümleri genel çerçeveyi belirler. Söz konusu kuşaklar, İmar Planları ve Çevre Düzenli Planları ile uyumlu olmalıdır.

11.2. Yerleştirme Kriterleri

Atıksu arıtma tesisi için ayrılan sahada, ünite ve tesisler konumlandırılırken aşağıdaki ölçütler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Arıtma tesisi yerleşimlerden mümkün olabilen en uzak mesafeye ve kanalizasyon toplama havzasının mümkün olabilen en düşük kotlu noktasına kurulmalıdır.
- Arıtma tesisleri ayrıca ibadethane, kabristan, mesire yeri, çocuk parkı, spor sahaları, lokanta vb. diğer kamusal kullanım alanlarından uzakta yer almalıdır.
- Tesis yön olarak düz satırlı, eğimsiz, su baskını/taşkın riski taşımayan bir arazi tercih edilmedir. Engebeli bir arazinin, inşaat esnasında alan kazısı ve dolgusu ile bina temel maliyetlerini arttıracığı göz önünde bulundurulmalıdır. Nispeten düz bir arazi daha uygun hidrolik tasarıma imkan verir.
- Atıksu arıtma tesisi mansaptaki suyun kullanım amacını olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde, arıtılmış atıksuyun deşarj edilebileceği bir su kütlesinin (akarsu, deniz vb.) yakınında yer almalıdır.
- Arazinin arıtma ile ilgili bina ve ünitelerin yerleştirilmesinde alan israfının en aza indirilmesi sağlanmalıdır.
- Arıtma tesisi uzun vadede işletme sorunlarına yol açabilecek veya bina, ünite ve ekipmanların faydalı ömürlerinden daha kısa sürede eskimesine sebep olabilecek bir alanda kurulmamalıdır.
- Tesis yeri karayolu bağlantılarına yakın olmalı, erişim için tercihen ücretli otoban kullanımı gerektirmeyen bir konumda yer almalıdır.
- Tesis yeri boru bağlantısı veya vidanjör ile taşıma suretiyle, kanalizasyon bağlantısının kolay yapılabilceği bir alanda olmalıdır.

11.3. Alan İhtiyaçları

Farklı atıksu debi ve kirlilik yükleri için önerilen arıtma tesislerinin alan ihtiyaçları, kullanılan arıtma prosesleri ve tasarım kriterleri dikkate alınarak belirlenmektedir.

- Tip I-II Tesisleri (MWA, 1998): Eşdeğer nüfusu 2.000'den düşük olan yerleşim alanlarında kullanılan Tip I ve Tip II tesisler için alan ihtiyaçları Tablo 11.1'de verilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus tanımlanan net alanın, tesisi çevrelemesi gereken koruma kuşağını kapsamaması, ancak çevre yolu ve tesisi içi yolları içermesidir. Mevzuat gereği yanında, yöre halkından gelebilecek şikayetleri de en aza indirmek için, emniyet bandının gerektirdiği ilave boş alanın da dikkate alınarak nihai yerleşiminin yapılması gerekir.

- Tip III-VI Tesisleri (MWA, 1998): Eşdeğer nüfusu 2.000'den büyük olan yerleşim alanlarında kullanılan Tip III, IV, V ve VI tesisleri için alan ihtiyaçları Tablo 11.2'de verilmektedir. Bu tesisler, kentsel yerleşimlerde kullanılmaktadır. Koruma bantları için yukarıda tanımlanan hususlar bu tesisler için de geçerlidir.
- Havalandırmalı Lagünler ve Stabilizasyon Havuzları (MWA, 1998): Havalandırma lagünler ve stabilizasyon havuzları için alan ihtiyaçları Tablo 11.3'de verilmektedir. Arıtma birimleri etrafındaki koruma bantları için yukarıda tanımlanan hususlar şekilde bu üniteler için de geçerlidir.

11.4. Yardımcı Tesisler

Bu bölümde, bir atıksu arıtma tesisinde ana yapı ve ünitelerin yanında yer alması gereken yardımcı tesislerin minimum ihtiyaçları tanımlanmaktadır.

11.4.1. Su Temini ve Yıkama Suyu

Atıksu arıtma tesisine, tesis temizliği ve çalışanların ihtiyacı için musluk suyu sağlanmalıdır. Bunun için en yakın şehir su temin sistemine bağlantı veya saha içi/yakınından yer altı (kuyu) suyu temini gerekir.

11.4.2. Sıhhi Üniteler

Her atıksu arıtma tesisinde, tuvalet ve banyo/duşta oluşan en az 1 adet sıhhi ünite bulunmalıdır. Eşdeğer nüfusu 5.000'den büyük yerleşimlere hizmet veren arıtma tesislerde ise, tüm operatörler ve idari çalışanların kullanımı için tuvalet, lavabo ve duş gibi temel hijyen için gerekli sıhhi üniteler, çalışan sayısı ile uyumlu olarak yeterli sayı ve kapasitede bulundurulmalıdır. Hizmet nüfusu 20.000'den büyük tesisler için ise ilave sıhhi üniteler planlanır (MWA, 1998).

Tablo 11.1. Eşdeğer nüfusu 2.000'den küçük olan yerleşim alanlarında kullanılan tesisler için alansal ihtiyaçlar (MWA, 1998)

<i>Eşdeğer Nüfus (EN)</i>	<i>Alan İhtiyacı (m²)</i>
100	210
150	285
200	360
250	430
300	485
350	545
400	600
450	655
500	700
550	745
600	790
650	835
700	870
750	905
800	940
850	980
900	1.010
950	1.040
1.000	1.070

1.100	1.115
1.200	1.160
1.300	1.200
1.400	1.240
1.500	1.275
1.600	1.310
1.700	1.340
1.800	1.370
1.900	1.395
2.000	1.420

Tablo 11.2. Eşdeğer nüfusu 2.000'den büyük olan yerleşim alanlarında kullanılan tesisler için alansal ihtiyaçlar (MWA, 1998)

<i>Eşdeğer Nüfus (EN)</i>	<i>Alan İhtiyacı (ha)</i>
2.000	0,17
3.000	0,22
4.000	0,27
5.000	0,31
10.000	0,66-0,78
15.000	0,84-1,00
20.000	0,99-1,19
25.000	1,13-1,37
30.000	1,26-1,53
35.000	1,65-1,81
40.000	1,79-1,97
45.000	1,93-2,12
50.000	2,03-2,23
55.000	2,15-2,37
60.000	2,29-2,52
65.000	2,43-2,67
70.000	2,66-2,93
75.000	2,82-3,27
80.000	3,03-3,49
85.000	3,23-3,69
90.000	3,42-3,89
95.000	3,60-4,07
100.000	3,77-4,25
110.000	4,09-4,57
120.000	4,38-4,87
130.000	4,64-5,14
140.000	4,89-5,39
150.000	5,12-5,63
160.000	5,33-5,84
170.000	5,53-6,05
180.000	5,72-6,25
190.000	5,90-6,43
200.000	6,07-6,60
250.000	6,81-7,36
300.000	7,41-7,98
450.000	8,79-9,36

Tablo 11.3. Havalandırmalı lagünler ve stabilizasyon havuzları için alan ihtiyaçları
(MWA, 1998)

<i>Eşdeğer Nüfus (EN)</i>	<i>Alan İhtiyacı (ha)</i>
2.000	0,45-0,48
3.000	0,59-0,69
4.000	0,71-0,89
5.000	0,82-1,09
10.000	1,31-2,03
15.000	1,72-2,92
20.000	2,09-3,78
25.000	2,42-4,62
30.000	2,74-5,45
35.000	3,04-6,26
40.000	3,32-7,05
45.000	3,59-7,85
50.000	3,86-8,63
55.000	4,11-9,40
60.000	4,36-10,16
65.000	4,60-10,92
70.000	4,83-11,68
75.000	5,06-12,42
80.000	5,28-13,17
85.000	5,50-13,91
90.000	5,72-14,64
95.000	5,93-15,37
100.000	6,13-16,10
110.000	6,54-17,54
120.000	6,93-18,97
130.000	7,31-20,38
140.000	7,69-21,79
150.000	8,05-23,18
160.000	8,40-24,57
170.000	8,75-25,95
180.000	9,09-27,32
190.000	9,43-28,68
200.000	9,76-30,04

11.4.3. Yol ve Ulaşım

Her türlü hava şartında tesise ulaşımına olanak veren, en az 15 tonluk araçların yüküne dayanıklı, uygun yüzey kaplamalı (örn. asfalt) yollar mevcut bulunmalıdır. Tesisi için çevre yolu hariç, her bir üniteye erişim sağlayan tesis içi yollar da inşa edilmelidir (MWA, 1998).

Tesis içi yollar, kamyon ve diğer ağır iş makinelerinin rahat seyahati ile işletim ve bakımları için sabit ünitelere ulaşımın sağlanması amacıyla planlanır. Söz konusu yolların minimum genişliği 4 m'dir. Araçların çok sık geçiş yaptığı ve yol üstüne park edilmesi gereken durumlarda yol genişliğinin 6 m'ye çıkarılması gerekir.

Üniteler arası araç geçişine gerek olmayan, yaya kullanımına açık yollar, beton veya sert zemin kaplamalı biçimde, en az 90 cm genişliğinde olmalıdır (MWA, 1998). Mümkün olduğunca basamak ve merdivenlerden kaçınılmalıdır.

11.4.4. Drenaj

Arıtma tesisi sahası, proses ünitelerini yüzeysel akıştan korumak üzere bütün olarak drene edilmelidir. Temizlik veya bakım kaynaklı yıkama suları yağış sularından ayrı bir drenaj (tahliye) sistemiyle toplanmalıdır.

11.4.5. Çit ve Güvenlik

Arıtma tesisi sahasının etrafı, tercihen 3 m yüksekliğinde ve birkaç sıralı, dayanıklı bir çitle çevrelenmelidir. Çevre çiti sadece, tesise giriş-çıkış yapılan nokta(lar)da, duble yolu açıp kapayan kaldıraç veya sürgülü kapı sistemiyle kesilir (MWA, 1998).

Mesai saatleri dışında tesis girişi ve bina kapıları mutlaka kilitli tutulmalıdır. Çitin dışına ve içine, ünitelerin giriş bölümlerine, çalışanlar, ziyaretçiler ve yoldan geçenlerin güvenliği sağlamak ve dikkatlerini çekmek amacıyla gerekli uyarı tabelaları yerleştirilmelidir.

11.4.6. Peyzaj

Atıksu arıtma tesisinin müsait olan bölümleri, ağaç, yeşillik ve çiçeklerle bitkilendirilmeli, özellikle giriş bölümünde yol ve bitki peyzajı yapılmalı, çalışanlar çevrenin temiz tutulması konusunda uyarılmalı, tesis içi ve çevresinde estetik açıdan olabildiğince muntazam bir görüntü sağlanmaya çalışılmalıdır.

Tesis planında kokulu ve koku gideriminde yardımcı olan bitkilerin seçilmesine özen gösterilmelidir.

11.4.7. Aydınlatma

Gerek güvenlik, gerekse işletme ve bakım faaliyetinin aksamadan takip edilebilmesi için günün farklı saatlerine uygun etkili saha aydınlatması yapılmalıdır. Bina ve ünitelerin yanı sıra, araç ve yaya yolları da yol ışıklarıyla donatılmalıdır.

11.4.8. Atölye

Hizmet nüfusu 20.000'i geçen atıksu arıtma tesislerinde gerekli olan pompa istasyonları ve mekanik ekipmanların bakım/onarımı için uygun bir atölye tesis edilir (MWA, 1998).

11.4.9. Yedek Parça Deposu

Tüm mekanik üniteler için yeterli sayıda yedek parça bulundurulmalı ve söz konusu yedek parçalar özel bir depoda tutulmalıdır. Yedek parça listesinin güncel ve onaylı olması önem taşır.

11.4.10. Numune Alma ve İşleme/Depolama Üniteleri

En azından bir kişinin güvenli bir şekilde giriş çıkış yapıp çalışabileceği, tercihen açık bölme şeklinde, düzenli olarak kullanılmak üzere bir numune alma ünitesi tesis edilmelidir.

Alınan numunelerin hazırlanması ve yapılması gereken analizler için yakındaki laboratuvara taşınması amacıyla yeterli ve güvenli bir numune işleme/depolama alanı da ayrılır. Söz konusu alan, görevliler için çalışma ve oturma alanı ile numunelerin ve gerekli kimyasalların saklanması da sağlayacak şekilde yeterli büyüklükte olmalıdır.

11.4.11. Trafo

Güç kaynaklarının kesilmesi durumunda, tüm elektrikli ve elektronik donanımın hızlıca yeniden çalıştırılabilmesi için bir trafo sistemi tesis edilmelidir.

11.4.12. Emniyet

Tüm ekipman ve idari binalar gerekli emniyet teçhizatıyla donatılmalıdır. 2 m'den yüksek düşü olan ünitelerde, korkuluklar tesis edilmelidir. Tüm kimyasal depolama üniteleri güvenlik duşu ve el/göz yıkama ünitesiyle donatılmalıdır (MWA, 1998).

11.5. Kaynaklar

MWA (1998). Guidelines for Developers: Sewage Treatment Plants 2nd Edition, Volume IV. Malaysian Water Association, Ministry of Housing and Local Government, Sewerage Services Department, Malaysia.

12. ATIKSU ARITMA SİSTEMLERİNDE BORULAMA

Prof. Dr. İsmail KOYUNCU

12.1. Malzeme Seçimi

Boru malzemesi seçiminde, mevcut ortam, çevre üzerine etkileri, taşıma ücretleri, döşeme, işletme, bakım vb. faktörler önem taşır (ATV-DVWK-M 275 E, 2001).

12.1.1. Düşük Karbonlu Çelik Boru Hatları

12.1.1.1. Genel

Birçok uygulama için düşük karbonlu çelik boru, yüksek dayanımı, montaj ve döşeme kolaylığı ile uygun fiyatı nedeniyle tercih edilmektedir. Bu tip boruların korozyona olan hassasiyeti nedeniyle, galvaniz ve/veya beton ya da plastik kaplanması gerekmektedir. Çelik borular dikişsizdir. Mekanik olarak boyuna kaynaklı ya da büyük çaplardaki spiral kaynaklı tiplerde üretilirler. Boyuna kaynaklı boruların kalitesi çok yüksektir ve tercih edilmektedir. Malzeme özellikleri, ilgili standart ile belirlenmiştir (DIN 1626 ve DIN 1628). Tablo 12.1' de düşük karbonlu ve paslanmaz çelik boruların boyutları verilmiştir. Spiral kaynaklı borular DN 500'den çaplarda ekonomik olarak üretilebilmektedir.

Yeni Avrupa Birliği Standartlarına göre (DIN EN 10027-1), çelikler için kullanılan kısaltmalar, mekanik ya da fiziksel özellikleri ve uygulanma biçimine göre aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

S	: Genel yapı işleri çelikleri
P	: Basınçlı kaplarda kullanılan çelikler
L	: Boru yapımında kullanılan çelikler
E	: Genel mühendislik amaçlı çelikler

Bu ana semboller minimum akma mukavemetlerine göre N/mm² biriminde eklenmiştir.

12.1.1.2. Düşük Karbonlu Çelik Boruların İşlenmesi

Gerekli teknik kaynak işleminin el ile veya kısmen el ile EN 287-1 uyarınca yapılabilmesi için kalifiye (sertifikalı) kaynakçılara ihtiyaç vardır. İşi yapan firma, EN 729-1'den EN 729-4'e kadar olan teknik kaynak gerekliliklerini yerine getirmekle mükelleftir.

Düşük karbonlu çelik boruların işlenmesi için ihaleler kapsamında aşağıdaki kalite kontrol ölçümleri tavsiye edilir.

12.1.1.3. Kaynak denetimi

Her kaynakçı tarafından yapılmış olan kaynak işinin dokümantasyonu

Kaynak dikişlerinin testi (test metodu, uzman kaynakçılar tarafından yapılır, rastgele numune alınır ve testlerin dokümantasyonu vb. uygulamalar gerçekleştirilir.)

12.1.2. Paslanmaz Çelik Boru Hatları

12.1.2.1. Genel

Paslanmaz çelik özellikle korozyonun olduğu durumlarda ya da değerlendirme kriterine göre daha avantajlı durumlarda (örneğin paslanmaz çelikten yapılacak bir boru hattının ekonomik değeri normal çelikten yapılacak boru hattından daha ucuza mal olacaksa) tercih edilebilir. Paslanmaz çeliğin korozyon dayanımı, krom ve nikelin yüksek alaşımli bileşiklerinden yapılmaktadır. Ancak korozyon dayanım garantisi, doğru malzemenin doğru yerde kullanılması halinde geçerlidir.

Paslanmaz çelik özellikle şu özel durumlar için tavsiye edilir:

- Agresif sulara karşı dayanıklılık gerektiğinde,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık gerektiğinde (Oksidasyon olmayan durumlarda),
- Akıcı ortamda yüksek aşınmaya karşı,
- Düşük aşındırma ve düşük ortam kirliliği istendiği durumlarda (ürün temizliği)

Tipik kullanım ve uygulama alanları:

- Biyogaz boruları,
- Egzoz boruları,
- Aktif çamur havalandırma boruları ve kum tutucu ünitesindeki özellikle su altı alanlarındaki borular,
- Kimyasal iletim boru hatlarındaki borulardır.

Çelik ve paslanmaz çelik boru özellikleri Tablo 12.2' de verilmektedir.

Tablo 12.1. Atıksu arıtma tesislerinde boru hatları ve alıcı ortamlar

Numara	Grup	Tavsiye edilen	Çelik					Paslanmaz Metaller		Plastikler					
			Alaşimsız çelikler	Sürtünme dirençli çelikler	Sıcak Galvanizli Çelik	paslanmaz çelik ör: 1.4301	Ostenit paslanmaz çelik ≥ %2	Bakar	Alüminyum Alışımlı	PVC (max 60°)1)	HDPE (max 60°)1)	PP (max 90°)1)	EP-GF/UP-GF	PB (max 90°)1)	PVDF (max 120°)1)
1	Su	İçme suyu	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
2		Proses suyu (kuyulardan)	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X
3		Sıcak sular	X	X		X	X	X							
4	Atıksu	Artılmamış Atıksu	X	X	xL	X			X	X	X	X	X	X	
5		Artılmış Atıksu	X	X	xL	X			X	X	X	X	X	X	
6		Çamur Likörü	O			xL	X		X	X	X	X	X	X	
7	Çamur	Ön çökeltim çamuru	X	O	xL	X			X	X	X	X	X	X	
8		Son çökeltim çamuru	O	O	xL	X			X	X	X	X	X	X	
9		Kimyasal çöktürme çamuru				xL	X		X	X	X	X	X	X	
10		Dışkı çamuru				XI	X		X	X	X	X	X	X	
11		Stabilize çamur	X	O	xL	X			X	X	X	X	X	X	
12		Susuzlaştırılmış çamur	X	O	xL	X		X	X	X	X	X	X		
13	Gazlar	Doğal gazlar	X			X	X			X					
14		Propan (gaz)	X			X	X	X		X	X	X	X	X	
15		Çürütücü gaz		X			X			x2)	X	X	X	X	
16		Baca gazı/çürütücüden çıkan yanma gazı		X 4)			X								
17		Çürütücüdeki gaz motorlarından çıkan gazlar					X			X					

Tablo 12.1.devamı. Atıksu arıtma tesislerinde boru hatları ve alıcı ortamlar

Numara	Grup	Tavsiye edilen	Çelik				Paslanmaz Metaller		Plastikler								
			Alaşımsız çelikler	Sürünme dirençli çelikler	Sıcak Galvanizli Çelik	Molibdensiz Ostenit paslanmaz çelik ör: 1.4301	Ostenit paslanmaz çelik ≥ %2	Bakır	Alüminyum Alaşımı	PVC (max 60°)I	HDPE (max 60°)I	PP (max 90°)I	EP-GF/UP-GF	PB (max 90°)I	PVDF (max 120°)I	Poliamid (max 70°)I	
18	Hava	Sıkıştırılmış ince balocuk havalandırması				xL 4)	X			X		X					
19		Pnömatik sistemlerde sıkıştırılmış hava				X	X	X		X	X					X	
20		Proseslerden çıkan atık hava				X	X			X	X	X					
21		Oksijenlendirme ve havalandırma için hava			X 6)	X	X		X								
22	Buhar	10 bar'a kadar buhar basıncı/buhar yoğunlaştırma	X	X		X	X				X						
23	Kondansatörler	Yoğunlaştırıcı baca gazı					X			X	X						
24		Çürütücü gaz yoğunlaştırıcı					X			X	X						
25	Yağ/gres	Yağlama yağı	X 7)			X		X		X	X						
26		Eski yağlar	X			X											
27		Isıtma yağları/dizel yağı	X			X		X									
28		Hidrolik yağı	X 7)			X											
29		Yağlama gresi				X		X								X	
30	Dozlama yardımcıları/ çöktelticiler	Sulu polimer çözeltisi								X	X	X	X				
31		Alüminyum Klorür								X	X	X	X	X			
32		Alüminyum Sülfat								X	X	X	X	X			
33		Demir Klorür								X	X	X	X	X			

Tablo 12.1.devamı. Atıksu arıtma tesislerinde boru hatları ve alıcı ortamlar

Numara	Grup	Tavsiye edilen	Çelik					Paslanmaz Metaller		Plastikler					
			Alaşsız çelikler	Sürünme dirençli çelikler	Sıcak Galvenizli Çelik	Molibdensiz Ostenit paslanmaz çelik ör: 1.4301	Ostenit paslanmaz çelik \geq %2	Bakır	Alüminyum Alışımı	PVC (max 60°)1)	HDPE (max 60°)1)	PP (max 90°)1)	EP-GF/UP-GF	PB (max 90°)1)	PVDF (max 120°)1)
34		Demir Sülfat				0			X	X	X	X	X		
35		Kireç sütü	X			X			X	X	X	X	X		
36	Kimyasallar	Kostik soda çözeltisi	X			X			X	X	X	X	X		
37		Hidroklorik asit							X	X	X	X	X		
38		Kum/su karışımı	X			X									
39	Diğer ortamlar	Metanol (Metil alkol)				X				X	X	X	X	X	
40		Etanol (Etil Alkol)	X			X				X	X	X	X	X	
41		Asetik asit/ formik asit					X				X				X

1) Maksimum standart sıcaklık °C

2) Çamur kompozisyonuna ve şartlandırmaya bağlıdır

3) Bina içerisine yapılmaz

4) Yüksek sıcaklıklarda yoğunlaşma olmadığı durumlarda

5) Sualtı Bölgelerde

6) Diğer tip galvanizleme

7) Sadece korozif olmayan ortamlarda

Tablo 12.2. Çelik ve paslanmaz çelik boru özellikleri

Nominal Çap DN		Çelik Borular		Paslanmaz Çelik Borular
DN		Dışlı borularda sayaçlar DIN 2440 12)	Kaynaklı Çelik Boru	Kaynaklı ve ya Dikişsiz
6	1/8"	10.2 x 2.00		10.2 x 1.6
8	1/4"	13.5 x 2.35	13.5 x 1.6	13.5 x 1.6
10	3/8"	17.2 x 2.35	17.2 x 1.6	17.2 x 1.6
15	1/2"	21.3 x 2.65	21.3 x 1.8	21.3 x 1.6
20	3/4"	26.9 x 2.65	26.9 x 1.8	26.9 x 1.6
25	1"	33.7 x 3.25	33.7 x 2.0	33.7 x 1.6
32	1 1/4"	42.4 x 3.25	42.4 x 2.3	42.4 x 1.6
40	1 1/2"	48.3 x 3.25	48.3 x 2.3	48.3 x 1.6
50	2"	60.3 x 3.65	60.3 x 2.3	60.3 x 1.6
65	2 1/2"	76.1 x 3.65	76.1 x 2.6	76.1 x 1.6
80	3"	88.9 x 4.05	88.9 x 2.9	88.9 x 2.0
100	4"	114.3 x 4.50	114.3 x 3.2	114.3 x 2.0
125			139.7 x 3.6	139.7 x 2.0
150			168.3 x 4.0	168.3 x 2.0
200			219.1 x 4.5	219.1 x 2.0
250			273.0 x 5.0	273.0 x 2.0
300			323.9 x 5.6	323.9 x 2.6
350			355.6 x 5.6	355.6 x 2.6
400			406.4 x 6.3	406.4 x 2.6
450			457.0 x 6.3	457.0 x 3.2
500			508.0 x 6.3	508.0 x 3.2
600			610.0 x 6.3	610.0 x 3.2
700			711.0 x 7.1	711.0 x 4.0
800			813.0 x 8.0	813.0 x 4.0
900			914.0 x 10	914.0 x 4.0
1.000			1,016.0 x 10	1,016.0 x 4.0

Notlar:

Dış çaplar ISO 4200 Seri 1'e göre sınıflandırılmıştır. Çelik borularda tercih edilen cidar kalınlıkları ISO 4200

D Serisi'ne göre seçilebilir. Özel durumlarda, özellikle daha geniş boru kesitlerinde daha kalın cidarlar önerilir. Ölçümlerde ticari cidar kalınlığı 3.0 mm olarak alınıp ISO 4200'deki değerlerin yerine kullanılabilir.

12.1.2.2. Paslanmaz Çelik Boru Hatlarının Korozyona Dayanımı

Paslanmaz çeliğin korozyon dayanımı, yüzeyde görünmez ince bir tabaka içerisindeki krom ile etrafındaki oksijen arasında meydana gelen anlık kimyasal reaksiyonlara bağlıdır. Pasif tabaka olarak da adlandırılan bu krom oksit tabaka, metal tabakayı aşındırıcı etkilerden korumaktadır. Paslanmaz çelik, oksijen zengin bölgelerde yüzey aşınımına karşı dirençlidir. Paslanmaz çeliğin sağlamlığı ve dayanımı, aşındırmayla bozulabilir. Aşağıda sık görülen aşındırma tipleri sıralanmıştır:

- Oyuk korozyonu
- Çatlak korozyonu
- Gerilim korozyonu çatlatması
- Korozyon yorgunluğu
- Gerilim ve korozyon yorgunluğu

Oyuk ve çatlak korozyonu özellikle yüksek klor konsantrasyonlu ortamlardan kaynaklanmaktadır. Korozyon ve çatlak karşı dayanım, krom oranının artmasıyla artmaktadır. Bu krom içeriğine ek olarak molibden ve azot içeriği yüksek alaşımların da ilavesiyle, dayanım daha iyi hale gelmektedir.

12.1.2.3. Paslanmaz Çelik Boru Hatlarının İşlenmesi

Maksimum korozyon dayanımı için temiz, pürüzsüz ve metalik cilalı bir yüzey sağlanmalıdır. Çatlaklar, sıyrıklar ve yarıklar zayıf noktalardır ve çatlak oluşma ihtimalini kuvvetlendirir. Bu yüzden, korozyona dayanımı sağlamak için, yüzeyde pürüzlülük oluşturan bütün etkenler, mümkün olduğunca pasif tabakadan uzaklaştırılmalıdır. Özellikle, metalik aşınmada yüzeyde oluşan tabakalar giderilmelidir. Korozyona dayanıklılık aynı şekilde bütün yüzeyde oluşan metal oksit ve benzeri çökeleklerin (dış paslanma) azaltılmasıyla artırılabilir.

Genel olarak, paslanmaz çelik uygulamalarında aşağıdaki gereklilikler sağlanır:

- Paslanmaz çelik, normal çelikten ve alaşımsız çeliklerden ayrı olarak imal edilir ve depolanır (Aksi taktirde dış paslanma oluşumu daha kolay olur.).
- Alaşımsız ya da düşük alaşımlı çeliklerle temastan uzak tutulmalıdır (Gergin ve taşıma elemanları, bağlama elemanları vb.).

Bu şartlar sağlanmadığı taktirde sadece kaynak dikişleri değil, tüm çalışma alanında problem yaşanır.

Gaz boru hatları Grup C olarak belirtilmiştir. Kaynak dikişinin yakınındaki parlama noktası kaynak sıçraması ihtimaline karşı çok iyi kontrol edilmeli, aşındırılmalı ve cilalanmalıdır. Aşındırıcı madde olarak yalnızca yüksek alaşımlı Cr-Ni çelikler kullanılmalıdır.

12.1.3. Demir Dışı Metal Boru Hatları

Su iletim hatlarında kullanılan dikişsiz bakır borular, EN 1057 uyarınca üretilmektedir (EN 12449 uyarınca Cu-DHP malzemesi). Borular için bağlantı ve eklenti parçaları

uluslararası standartlara uygun olarak üretilir. Bu borular aynı zamanda yağ hatları için de kullanılabilir. Bakır ve bakır alaşımları (pirinç ve kırmızı pirinç) hidrojen sülfür ve amonyağa karşı özellikle ıslak ortamlarda sınırlı dayanıma sahiptir (Örnek biyogaz). Bakır içeriğinin artmasıyla dayanım azalmaktadır (Tablo 12.1)

12.1.4. Plastik Boru Hatları

12.1.4.1. Genel

Aşağıdaki özelliklerinden dolayı plastik borular tercih sebebidir:

- Düşük ağırlık,
- Kimyasallara karşı çok iyi dayanıklılık,
- Düşük bakım masrafları,
- Kolay şekillendirme

Bu üstünlüklerine karşın aşağıdaki mahzurları da dikkate alınmalıdır:

- Düşük mekanik dayanıklılık,
- Sıcaklık etkilerine karşı düşük stabilite ve dayanıklılık,
- Güneş (UV radyasyonu) ve sıcaklığa karşı hassasiyet,
- Yüksek sıcaklıklarda yanıcılık,
- Sınırlı geri dönüşüm imkanı,
- Çekme ve uzama etkilerine karşı zayıflık,
- Statik elektrikLE yüklenme tehlikesi,
- Uzamaya karşı sıcaklık katsayısı ile orantılı zayıflık

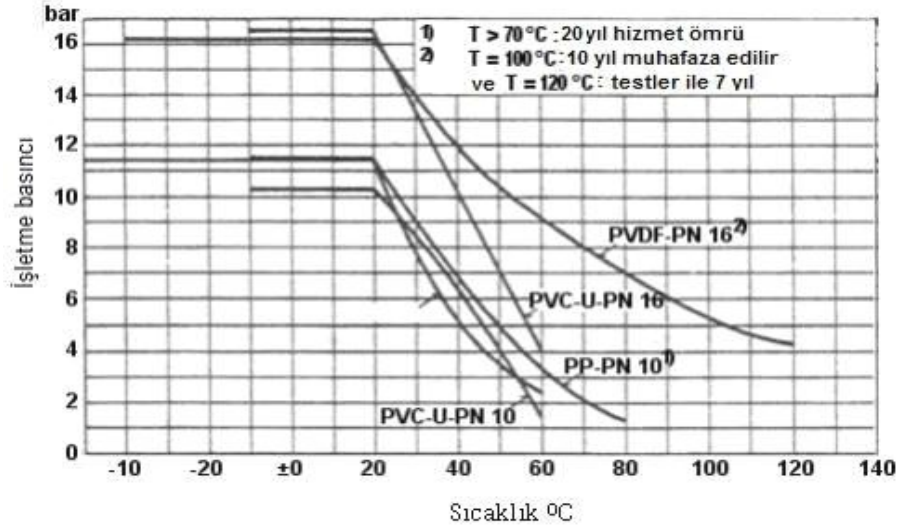
Plastikler, termoplastik, ruoplastik ve elastoplastik olarak tiplere ayrılır. Tablo 12.3' de boru hatlarında kullanılan plastikler yer almaktadır.

Tablo 12.3. Boru hatlarında kullanılan plastikleri

Termoplastik Plastikler	Kısaltmalar
<i>Polivinil Klorür (plastikleştirilmemiş)</i>	<i>PVC -U</i>
<i>Polivinil Klorür (klorlanmış)</i>	<i>PVC-C</i>
<i>Polietilen</i>	<i>PE</i>
<i>Polipropilen</i>	<i>PP</i>
<i>Polibüten</i>	<i>PB</i>
<i>Poliviniliden florür</i>	<i>PVDF</i>
<i>Poliamid</i>	<i>PA</i>
Duroplastik Plastikler	
<i>Ayrılmamış polyester reçinesi (cam-elyafla güçlendirilmiş)</i>	<i>UP-GF</i>
<i>Vinil ester reçine (cam-elyafla güçlendirilmiş)</i>	<i>PHA-GF</i>
<i>Epoksi reçine (cam-elyafla güçlendirilmiş)</i>	<i>EP-GF</i>

Malzeme seçimi ve basınç dayanımı, boru hatlarının planlanan asgari servis ömründe güvenli ve başarılı bir şekilde işletilmesi bakımından önem arz etmektedir. İşletme basıncı, işletme sıcaklığı, taşınması gereken ortam ve çeşitli metalik maddeler ve yüklenme süresi malzeme seçiminde etkilidir.

Basınç ve sıcaklığa bağlı olarak Şekil 12.1 yardımıyla uygun malzeme seçilebilir. Burada malzeme basınç dayanımı üzerine sıcaklığın etkisi kolayca anlaşılabilir. Basınç dayanımındaki azalmalar özellikle 25 °C - 30 °C arasındaki sıcaklıklarda mutlaka dikkate alınmalıdır.



Şekil 12.1. Termoplastik malzemedeki borularda uygulama limit değerleri (25 yıllık güvenli servis ömrü esas alınmıştır.)

Plastikten yapılmış borular, boru parçaları ve teçhizatlarının, 20 °C 'de işletme basıncında işletileceği esas alınır. ISO 4065 uyarınca borular aynı seri numarasında basınç sınıfındaki nominal basınç seviyelerine göre ifade edilir. Tablo 12.4'de plastik boruların et kalınlıkları verilmiştir.

Tablo 12.4. Plastik borular için boru cidar kalınlıkları

<i>Malzeme</i>	<i>PE 80 (DIN 8074)</i>		<i>PE 100 (DIN 8074)</i>		<i>PP-H Tür 1 (DIN 8078)</i>		
	<i>PN 1)</i>	<i>6 1) 2)</i>	<i>10 1) 2)</i>	<i>6 1) 2)</i>	<i>10 1) 2)</i>	<i>6</i>	<i>10</i>
<i>Sıra</i>							
<i>SDR</i>		17.6		22	13.6		
<i>S</i>		8.3		10.5	6.3		
<i>de</i>		<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>
6							
8							
10							
12							
16			1.8				1.8
20			1.9		1.8	1.8	1.9
25			2.3		1.9	1.8	2.3
32	1.9	2.9	1.8	2.4	1.9	3	
40	2.3	3.7	1.9	3	2.3	3.7	
50	2.9	4.6	2.3	3.7	2.9	4.6	
63	3.6	5.8	2.9	4.7	3.6	5.8	
75	4.3	6.8	3.5	5.6	4.3	6.9	
90	5.1	8.2	4.1	6.7	5.1	8.2	
110	6.3	10	5	8.1	6.3	10	
125	7.1	11.4	5.7	9.2	7.1	11.4	
140	8	12.7	6.4	10.3	8	12.8	
160	9.1	14.6	7.3	11.8	9.1	14.6	
180	10.2	16.4	8.2	13.3	10.2	16.4	
200	11.4	18.2	9.1	14.7	11.4	18.2	
225	12.8	20.5	10.3	16.6	12.8	20.5	
250	14.2	22.7	11.4	18.4	14.2	22.8	
280	15.9	25.4	12.8	20.6	15.9	25.5	
315	17.9	28.6	14.4	23.2	17.9	28.7	
355	20.1	32.2	16.2	26.1	20.1	32.3	
400	22.7	36.3	18.2	39.4	22.7	36.4	
450	25.5	40.9	20.5	33.1	25.5	41	
500	28.3	45.4	22.8	36.8	28.3	-	
560	31.7	50.8	25.5	41.2	31.7	-	
630	35.7	57.2	28.7	46.3	35.7	-	
710	40.2	64.5	32.3	52.2	40.2	-	
800	45.3		36.4	58.8	45.3	-	
900	51		41	66.1	51	-	
1000	56.6		45.5		56.6	-	

Tablo 12.4.devamı. Plastik borular için boru cidar kalınlıkları

Malzeme	PVC-U (DIN 8062)		PVC-C (DIN 8079)		PA (DIN 16892)	
PN 1)	6	10	10	16		
Sıra						
SDR	34.33					
S	16.67					
de	S	S	S	S	de	S
6			-	-	-	
8			-	-	-	
10			-	-	-	
12			-	-	12	1.5
16			-	1.8	15	1.5
20			-	2.3	18	2
25		1.5	-	2.8	22	2
32		1.8	-	2.4	35	2.5
40	1.8	1.9	-	3	42	2.25
50	1.8	2.4	-	3.7	-	
63	1.9	3		4.7	-	
75	2.2	3.6	3.6	5.6	-	
90	2.7	4.3	4.3	6.7	-	
110	3.2	5.3	5.3	8.2	116	7
125	3.7	6	-	-	165	8
140	4.1	6.7	6.7	-	196	7
160	4.7	7.7	7.7	11.9	215	8
180	5.3	8.6	-	-	265	9
200	5.9	9.6	-	-	316	10
225	6.6	10.8	10.8	-	382	13
250	7.3	11.9	-	-	472	16
280	8.2	13.4	-	-	-	-
315	9.2	15	-	-	-	-
355	10.4	16.9	-	-	-	-
400	11.7	19.1	-	-	-	-
450	13.2	21.5	-	-	-	-
500	14.6	23.9	-	-	-	-
560	16.4	26.7	-	-	-	-
630	18.4	30	-	-	-	-
710	20.7	-	-	-	-	-
800	23.3	-	-	-	-	-
900	26.3	-	-	-	-	-
1000	29.2	-	-	-	-	-

Tablo 12.4.devamı. Plastik borular için boru cidar kalınlıkları

Malzeme	PVDF (DIN 8062'ye dayalı)		ABS (DIN 16969)*		PB (DIN 16969)
<i>PN 1)</i>		<i>10</i>	<i>16</i>	<i>6</i>	<i>16 3)4)</i>
<i>Sıra</i>					
<i>SDR</i>					
<i>S</i>					
<i>de</i>	<i>de</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>
<i>6</i>	<i>6</i>				
<i>8</i>	<i>8</i>				
<i>10</i>	<i>10</i>				
<i>12</i>	<i>12</i>				
<i>16</i>	<i>16</i>		<i>1.5</i>	<i>1.5</i>	<i>2,2 3)</i>
<i>20</i>	<i>20</i>		<i>-1.9</i>	<i>1.65</i>	<i>2,8 3)</i>
<i>25</i>	<i>25</i>		<i>1.9</i>	<i>1.95</i>	<i>2,3 3)</i>
<i>32</i>	<i>32</i>		<i>2.4</i>	<i>2.15</i>	<i>3,0 3)</i>
<i>40</i>	<i>40</i>		<i>2.4</i>	<i>2.7</i>	<i>3,7 3)</i>
<i>50</i>	<i>50</i>		<i>2.9</i>	<i>3.3</i>	<i>4,6 3)</i>
<i>63</i>	<i>63</i>	<i>2.5</i>	<i>3</i>	<i>4.24</i>	<i>5,8 3)</i>
<i>75</i>	<i>75</i>	<i>2.5</i>	<i>3.6</i>	<i>4.9</i>	<i>6,8 3)</i>
<i>90</i>	<i>90</i>	<i>2.8</i>	<i>4.3</i>	<i>6</i>	<i>8,24 3)</i>
<i>110</i>	<i>110</i>	<i>3.5</i>	<i>5.3</i>	<i>7.2</i>	<i>10,0 4)</i>
<i>125</i>	<i>125</i>	<i>3.9</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>140</i>	<i>140</i>	<i>4.4</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>160</i>	<i>160</i>	<i>5</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>180</i>	<i>180</i>	<i>5.6</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>200</i>	<i>200</i>	<i>6.2</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>225</i>	<i>225</i>	<i>7.1</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>250</i>	<i>250</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>280</i>	<i>280</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>315</i>	<i>315</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>355</i>	<i>355</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>400</i>	<i>400</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>450</i>	<i>450</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>500</i>	<i>500</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>560</i>	<i>560</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>630</i>	<i>630</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>710</i>	<i>710</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>800</i>	<i>800</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>900</i>	<i>900</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	
<i>1000</i>	<i>1000</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	

Tablo 12.4.devamı. Plastik borular için boru cidar kalınlıkları

Malzeme		UP-GF (DIN 19565-1)					
PN 1)							
Sıra							
SDR							
S							
<i>de</i>	<i>DN</i>	<i>de</i>	<i>Sıra</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>
6	100	116	2			2.9	2.9
8	125	142	2			3.9	3.9
10	150	168	2			4.1	4.1
12	200	220.5	2			5.3	5.3
16	250	272.1	2			6.4	6.4
20	300	324.5	2	5.2	5	6.4	6.3
25	350	376.4	2	6.1	5.7	7.5	7.2
32	400	427.3	2	6.8	6.4	8.4	8.1
40	450	478.2	2	7.5	7.1	9.3	9
50	500	530.1	2	8.3	7.8	10.2	10.1
63	600	617	1	9.6	9	11.7	11.5
75	700	719	1	10.9	10.3	13.6	13.4
90	800	821	1	12.4	11.7	15.4	15.2
110	900	923	1	13.8	13.1	17.2	17
125	1000	1025	1	15.3	14.5	19	19

Açıklamalar:

SDR: Standart Boyut Oranı: $SDR = 2.S + 1 \approx de/s$

S: Boru Seri Numarası , ISO 4065'den alındı

SN: Nominal sertlik (N/m²), ortalama boru çapına göre,

- 1) PN 20 °C'de verilmiştir.
- 2) SF = 1.6 güvenlik faktörü
1. 3) PN 10 90 °C 'de
- 3) PN 6 90 °C'de
- 4) SN = 5000
- 5) SN = 10000

12.1.4.2. Plastik Boru Hatlarının Yapımı

DVS 2210-1 Standartları fabrikada üretilen termoplastik boru hatlarında uygulanabilmektedir. DVS 2201-1 Standardı termoplastik borulardaki, plastik kaynak dikişlerinin kalite kontrolü için kullanılmaktadır. Kaynak dikişlerinde gerekli kalite sağlanmış olmalıdır. Yalnızca DVS 2212-1 standardı uyarınca geçerli kaynak sertifikası olan kalifiye kaynakçılar el ile ve kısmen el ile kaynak işlerinde görev alabilir.

12.2. Boru Hatlarının Boyutlandırılması

Öncelikle boru hatları, belirlenmiş rehber malzeme özellikleri dikkate alınarak normal hızlar ve minimum nominal çaplara göre boyutlandırılır.

Özellikle yüksek basınçlı borularda ilk boyutlandırmada malzeme seçenekleri ekonomik çapa göre değerlendirilmelidir. Boyutlandırmada yıllık toplam maliyetler dikkate alınmalı, ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyetleri birbiriyle kıyaslanıp belli bir proje hizmet süresi için optimize edilmelidir.

Plastik borulardaki hizmet ömrü ve malzeme yaşlanmasının plastiğin sünme dayanımına etkisi belirlenmelidir. Bununla birlikte, basınç ve sıcaklığın boyutlandırmada ve malzeme seçiminde sınırlı düzeyde etkileri vardır.

Terfi için kullanılan elektrik enerjisi, işletme maliyeti açısından belirlenmelidir. Borudaki sürekli kayıplara ek olarak yersel yük kayıpları, pompa verimi, yıllık işletme süresi ve elektrik enerjisi fiyatları da dikkate alınmalıdır.

12.2.1. Akış Hızları ve Minimum Nominal Çaplar

Düşük katı madde içerikli su ve atıksu iletiminde ekonomik akış hızları için Tablo 12.5'deki değerler kılavuz olarak kullanılabilir.

Tablo 12.5. Ekonomik Akış Hızları

DN	25	40	65	100	150	200	300	500
<i>V (m/s)</i>	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,9
<i>Q (m³/h)</i>	2,5	7	21	56	140	270	660	2050

Vakumlu boru hatlarında akış hızı seçilirken, pompadaki kaviteasyonu önlemek için pompa karakteristiğindeki NPSH (net pozitif emme yüksekliği) değeri hesaba katılmalıdır.

Dikey konumlu basınçlı boru hatlarındaki akım hızı ham atıksu ve özellikle su-kum karışımlarında, birikim ve karışımdaki bileşenlerin ayrımını engellemek için, 2 m/sn'den büyük tutulmalıdır.

Minimum nominal çaplarda tıkanmayı önlemek için Tablo 12.6 uyarınca DIN 19569-1'e göre atıksu arıtma tesislerindeki taşıyıcı ortamlar belirtilmiştir.

Tablo 12.6. Minimum nominal çaplar

Ortam	Minimum nominal çap
<i>Su-kum karışımı, Askıda katılar, aktif çamur</i>	DN 80
<i>Ham Çamur</i>	DN 100 ¹⁾
<i>Kıvamlı çürütücü çamuru, kıvamlı ham çamur</i>	DN 65
<i>Isı ile şartlandırılmış çamur</i>	DN 65

¹⁾ yukarı akışlı ince eleklerde, ufalama ve eleme özellikleri ve kısa süreli taşınımlarda minimum nominal çap olarak daha küçük çaplar kullanılabilir.

Basınç kayıplarının olduğu ve tüm sistemin basıncını etkileyen alanlarda çürütücü gaz için tavsiye edilen akış hızları 3,0 m/s ile 5,0 m/s arasında olmalıdır.

Havalandırma kanallarındaki maksimum hız 8 m/s olmalıdır.

Aktif çamur ve benzeri tesislerde hava borularının içindeki hava hızının tasarımı blower performansıyla 15 m/s'de, kısa borularda (Örn: Kompresörden hemen sonra) 25 m/s'de sınırlamaktadır.

12.2.2. Viskoz Sıvıların Taşınımında Basınç Kayıpları

Basınç kayıplarının belirlenmesi metotları suyun taşınımında olduğu gibi atıksu, çamur ve benzeri % 2 katı madde içeriğine kadar olan atıksularda da uygulanabilmektedir. Yüksek katı madde konsantrasyonlarında hidrolik koşullarda önemli farklılıklar olmaktadır. Basınç kayıplarını tanımlarken kullanılan parametreler öncelikli olarak çamurun cinsine ve kuru madde içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca katı maddelerin organik madde içeriği arıtma prosesindeki taşınma koşullarını etkilemektedir.

Bu yüzden temel olarak yüksek katı madde içeriğine sahip çamur Newton kuralına uymaz. Kayma oranı olarak adlandırılan ve kayma gerilmesine uygulanan bu oran, kayma kuvvetlerine bağlı olarak işletilen çamurdaki dinamik viskozite gibi sabit değildir.

Karmaşık koşullar sebebiyle çamurun uzun mesafelere taşınımı iyi analiz edilmeli, bilhassa çamur kalınlığındaki artış fazla ise taşınmalıdır. Buna ait akışın viskometrik belirlemesini yaparken orijinal çamur akış eğrisinden yararlanılır. Bu eğri kayma oranı ile kayma gerilmesi arasındaki oranı vermektedir.

12.3. Kaynaklar

ATV-DVWK-M 275E (2001) Pipelines for the Field of the Technical Equipping of Wastewater Treatment Plants.

BS EN 12449, (2012). Copper and copper alloys. Seamless, round tubes for general purposes.

DIN 16569-1, (2008). Sewage treatment plants - Principles for the design of structures and technical equipment.

DIN EN 10027-1, (2005). Designation systems for steels - Part 1: Steel names.

DIN EN 1626, (2008). Cryogenic vessels - Valves for cryogenic service.

DIN EN ISO 1628, (2010). Plastics - Determination of the viscosity of polymers in dilute solution using capillary viscometers.

DIN EN ISO 2440, (1999). Flexible and rigid cellular polymeric materials - Accelerated ageing tests.

ISO 4200, (1991). Plain end steel tubes, welded and seamless -- General tables of dimensions and masses per unit length

13. PROSES KONTROLÜ VE OTOMASYON

Doç. Dr. H. Güçlü İNSEL

Atıksu arıtma tesislerinin işletilmesinde, işletme kalitesi ve maliyet etkinliğinin sağlanması amacıyla kontrol ve otomasyon sistemleri kullanılır. Söz konusu sistemler, çıkış suyu kalite parametrelerinin izlenmesi ve tesisin bakımının planlanması için yapılan işlemlerin kayıt altına alınmasına yardımcı olur (TS EN 12555-10, 2006).

13.1. Proses Kontrolünün Uygulama Esasları ve Genel Şartlar

Bu bölüm, eşdeğer nüfusu (EN) 50'nin üzerindeki yerleşimler için yapılmış atıksu arıtma tesislerinin, kontrol ve otomasyon sistemlerine dair asgari şartları içermektedir. Gerektiğinde kontrol sistemi, atıksu arıtma tesisinin toplama alanındaki kanalizasyon sistemlerinin kontrolünü de kapsayacak şekilde tasarlanabilir. Sistemler hakkında temel bilgiler verilmekle birlikte, söz konusu bölüm mevcut sistemlerin tamamını kapsamamaktadır. Burada verilenlere ek olarak daha ayrıntılı bilgiler, ilgili kaynaklara başvurularak elde edilebilir.

Otomasyon ve proses kontrol sistemi seçiminde aşağıdaki genel şartlar sağlanmalıdır:

- Proses kontrolü gerçek zamanlı uygulanabilmelidir. Bir başka deyişle, online/offline ölçüm, verilerin işlenmesi ve kontrolü için harcanan toplam süre, prosesin maruz kaldığı değişimden daha kısa olmalıdır.
- Farklı arıtma seçeneklerine göre kontrol sistemi ile yatırım ve işletme giderleri de dahil toplam maliyetler, bu aşamada tahmin ve kontrol edilmelidir. Karmaşık bir kontrol sisteminin tecrübeli ve eğitilmiş personel gerektirdiği hususu göz önünde bulundurulmalı; ihtiyaca tesisin büyüklüğü ve prosesin karmaşıklığına göre cevap verilmelidir.
- Kontrol ve otomasyon kavramı, arıtma işlemlerine, çalışanların bilgi seviyelerine ve tecrübelerine bağlı olarak, her bir atıksu arıtma tesisi için özel olarak tasarlanmalıdır. Bu kavram, bazı bileşenlerin çalışmaması gibi özel durumlarda, işletme ihtiyaçları bakımından gerek duyulan esnekliğe de müsaade etmelidir.
- Seçilen proses kontrol ve otomasyon sistemi tüm arıtma sisteminin bütünlüğünü sağlamalıdır.

13.1.1. Proses Ölçüm Parametreleri ve Ölçüm Noktalarının Seçimi

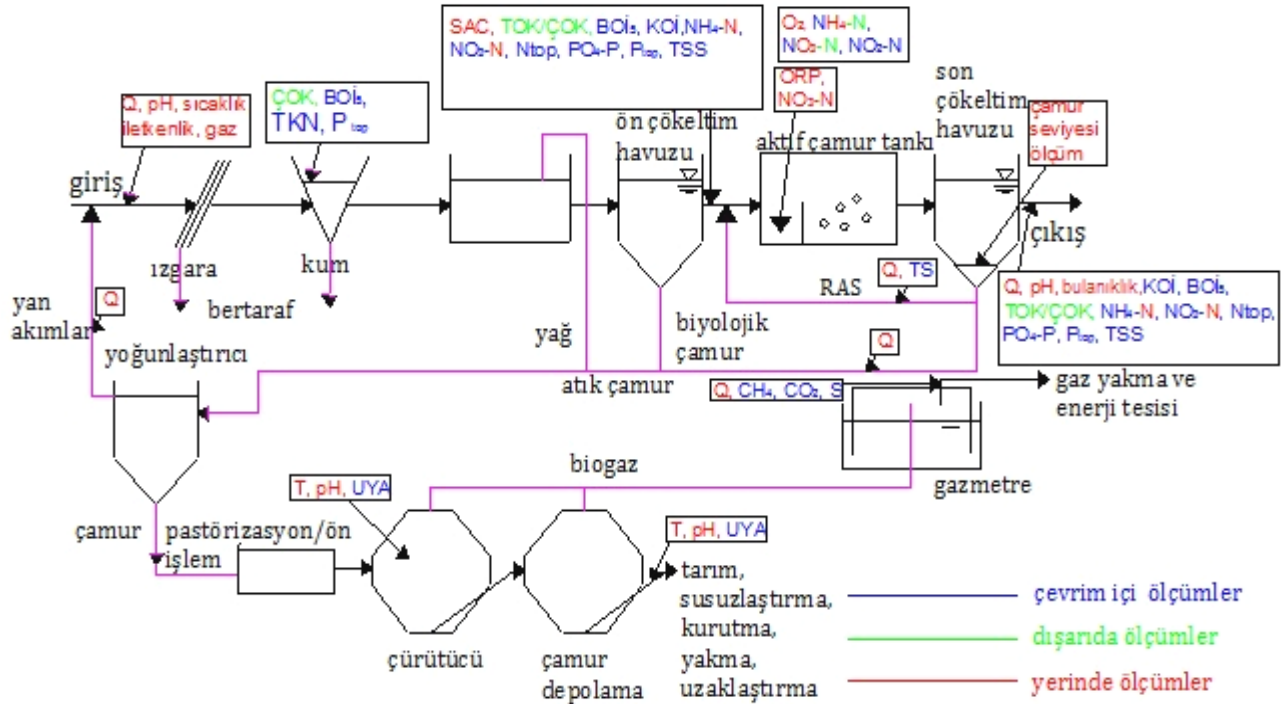
Öncelikle proses kontrolünün amacı, proses ile olan ilişkisi, seçilen kontrol yöntemi ve parametrelerin diğer kontrol sistemleri ile etkileşimi açıklanmalıdır.

Kontrol edilecek değişkenler aşağıda verilen kategorilerde değerlendirilir:

- Giriş atıksuyunda birinci kademe arıtma işlemleri,
- Hidrolik ve katı madde dengesi,
- Geri devir debileri ve içsel geri devir kontrolleri,
- Hava ve oksijen teminleri,

- Kimyasal dozlama sistemleri (koagulan, organik karbon vb.).

Ölçüm ve kontrol sistemlerinin hatalı çalışması veya arızalanması gibi acil durumlarda, önceden belirlenmiş kriterlerin sağlanması için gerekli stratejiler planlanmalıdır. Aşağıda proses bazında öngörülen ölçüm noktaları, atıksu ve çamur akımları özelinde özetlenmiştir (Şekil 13.1).



Şekil 13.1. Proses bazında öngörülen ölçüm noktaları

Atıksu arıtma tesislerinde gerçek zamanlı olarak ölçülen parametreler aşağıda özetlenmektedir:

- Akış, seviye, basınç ve sıcaklık,
- pH gibi kimyasal parametreler,
- İletkenlik, redoks, çözülmüş oksijen ve bulanıklık,
- Hat üzerinde amonyak, nitrit, nitrat ve fosfat,
- Aktif çamur konsantrasyonu.

Ölçüm noktalarının seçiminde aşağıdaki hususlara uyulmalıdır:

- Proses koşullarını en verimli şekilde yansıtmalıdır.
- Diğer ölçüm cihazları ile etkileşimi olmamalıdır.
- Ölçüm cihazı için önerilen uzaklıklara ve yerleşime dikkat edilmelidir.
- Numune alma, ölçüm ve veri iletimi en kısa zamanda gerçekleştirilmelidir.
- Numune almada gerektiğinde ön işlem (filtrasyon vb.) otomatik olarak gerçekleştirilmelidir.

13.1.2. Kontrol Sisteminin Yapılandırılması

Kontrol sisteminin yapılandırılmasında uyulması gereken temel koşullar aşağıda verilmektedir:

- Proseste ölçüm şekli, verilerin transferi, işlenmesi ile ilgili kontrol işlevi, proses (birinci kademe arıtma, ikinci kademe arıtma, çamur arıtımı vb.) bazında açıklanmalıdır. Kontrol edilecek koşullar prosese uygun olarak seçilmelidir; gerektiğinde modelleme ile seçilen değerlerin uygunluğu performans açısından tahkik edilmelidir.
- Hiyerarşik bir bilgisayar ağı kurulumunda, bir veya birden fazla merkezi kontrol istasyonu tarafından hizmet verilen ve işletilen birden fazla akıllı alt sistem düzenlenmelidir.
- Kontrol ve otomasyonun tasarımı için uygun konfigürasyon oluşturulmalıdır. Arıtma sisteminin büyüklüğüne göre ana kontrol sistemine bağlı alt kontrol sistemleri de kurulabilir.
- Bu tür ağların tasarımı, veri transfer hızı, iletişim protokolleri ve alt istasyonların işlevlerinin yerine getirilmesine dair koşullarla uyumlu olmalıdır.
- Ağ (web) sağlayıcının işlevselliği, gerek arşiv verisi gerekse anlık (on-line) veri sağlayabilmesiyle belirlenir.
- Kontrol ve otomasyon sistemleri, internet yoluyla sınırlı erişime açık olmalıdır.

13.1.3. Kontrol Edilecek Ekipmanların Özellikleri

Kontrol edilecek ekipmanın özellikleri aşağıda verilmektedir:

- Kontrol edilen ekipman, azami ve asgari koşullarda arıtma tesisinin ihtiyacını karşılayacak özellikte ve sayıda olmalıdır.
- Değişken proses şartlarında kontrol işlemini kesintisiz olarak sürdürebilmelidir.
- Ekipmanın kontrol işlevine kısa zamanda cevap vermesi gerekir.
- Veri iletimi açısından kontrol sistemiyle uyumlu olmalıdır.

13.1.4. İşletme Şartlarında Gerekli Bilgiler

Gerekli çıkış suyu kalitesi, enerji temini gibi işletme şartlarına ilâve olarak, bakım için insan gücü ve organizasyonu da göz önünde bulundurulmalıdır. İşletme şartlarında gerek duyulan veriler aşağıdakileri ihtiva etmelidir:

- Elektrik enerjisi temini, acil enerji temini ve akaryakıtla çalışan jeneratörler dahil enerji yönetim sistemlerine ilişkin şartlar,
- Kontrol odalarının tesisteki yerleşimi ve farklı ünitelerin nasıl işletileceğine dair bilgiler,
- Tesiste parlama, patlamaya ve yangına karşı korumalı alanlar (EN 12255-10)
- Telefon, kamera denetimi, yangın alarm sistemi gibi tesis altyapısına ilişkin özellikler,
- Sahadaki laboratuvar veya ofisler, hizmet ve bakım personeli için uzaktan kontrollü dizüstü bilgisayarlar gibi, kontrol odasıyla bağlantılı olan harici çalışma birimleri,

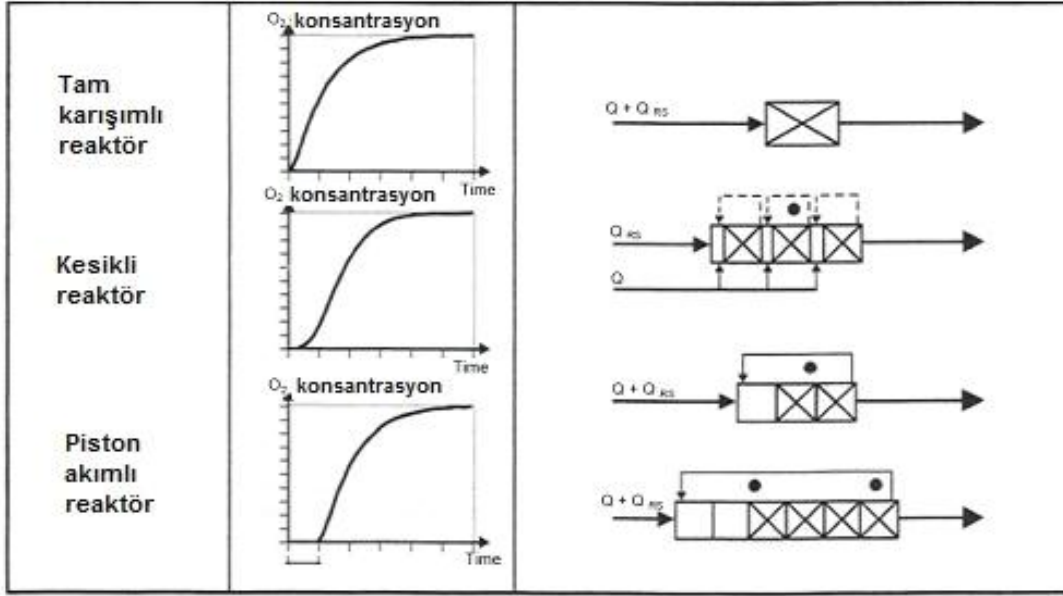
- Etiket numaraları yardımıyla, birimlerin, enerji tüketimlerinin ve ölçme noktalarının tanıma ve kodlama sistemi,
- Otomasyon birimleri veya bilgisayar ağı dahilindeki basit kayıt veya karmaşık kontrol sistemleri, standart ara yüzleri veya internet yoluyla veri iletimine dair şartlar,
- Uzman sistemler, yapay zeka veya uyarlayıcı modelleme sistemleri tarafından sağlanan operatör yardımı,
- Nihai olarak stok koruma veya yedek parça sipariş sistemleriyle ilişkili bakım ve onarım protokolleri,
- Enerji yönetimi, kanalizasyon sisteminin kontrolü, akış kontrolü ve yük hesaplaması gibi tanımlayıcı ve planlayıcı görevler,
- Sürekli veya aralıklı personel bulunduran kontrol odaları,
- Operatör ve bakım personelinin vasıfları ve erişilebilirlikleri,
- Otomasyon sisteminin tedarikçisi tarafından operatör ve bakım personeline verilen teknik eğitim programları,
- Giriş izni kontrollerinin sisteme bağlanma prosedürleri,
- Sistem yönetimi, kontrolü, sistem kontrol parametrelerinin kurulması veya değiştirilmesi ve sistem çalıştırma fonksiyonu bilgileri,
- Hatalı çalışma veya alarm durumunda, bilgi işlem yönetimine ilişkin alarm düzeni ve yaptırımları.

13.1.5. Proses Kontrol Parametrelerinin Belirlenmesi

13.1.5.1. Havalandırma Sistemi

Havalandırma sistemine ilişkin uyulması gereken temel koşullar aşağıda verilmektedir:

- Atıksu arıtma tesislerinde havalandırma, basınçlı hava ile veya mekanik olarak sağlanmaktadır. Kapasitesi 50 m³/gün'ün üzerinde olan tüm atıksu arıtma tesisleri, online (çevrimiçi) oksijen kontrolü bulundurmak zorundadır. Akım karakteristiğine bağlı olarak çözünmüş oksijen aktif çamur havuzunun belirlenen noktalarında ölçülerek, istenilen seviyenin havuz içinde sağlanması gerekmektedir.
- Buna göre, saatte 10 defa veya daha fazla karıştırma yapılan reaktörler tam karışım; saate 5 defa karıştırma yapılan reaktörler, kaskat havuzlar, saatte 1 veya 1'den az karıştırma olan havuzlar ise piston akımlı reaktör olarak adlandırılır. Reaktör konfigürasyonuna göre uygulanması gereken oksijen ölçümleri Şekil 13.2'de verilmektedir.
- Çözünmüş oksijen konsantrasyonu istenilen deşarj kriterlerini tüm zamanlar için sağlayacak şekilde gerçek zamanlı ayarlanmalıdır. Havuz içindeki biyokütle çökmemesi için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.



Şekil 13.2. Oksijen konsantrasyonlarının uygun ölçüm noktaları

13.1.5.1.1. Basınçlı hava ile havalandırma

Basınçlı hava ile çözülmüş oksijen kontrolünde, blower veya kompresörler kullanılmaktadır. Çözülmüş oksijen konsantrasyonu ölçülerek;

- havuzlara verilecek hava debisinin kontrolü (Q_{Hava}),
- hava debisi ile birlikte blower basma hatlarındaki hat basıncının kontrolü ($Q_{Hava}+P$)

sağlanmalıdır.

Oksijen dağılımının eşit olarak sağlanabilmesi için:

- Kontrol sırasında paralel havuzlara iletilen hava debisinde herhangi bir salınım olmamalıdır. Bunun için ana hava basma hattındaki basıncın istenilen seviyede tutulması gerekir,
- Kontrol ekipmanları (vana, debimetre vb.) hava akımını olumsuz etkilemeyecek şekilde yerleştirilmelidir,
- Proses kontrolü sırasında blower basma hatlarındaki basıncın belirli seviyenin altına düşmesine izin verilmemelidir,
- Kullanılacak blower veya kompresör oksijen ihtiyacının azami ve asgari olduğu koşullarda ihtiyaca göre kesintisiz hava debisi sağlamalıdır.
- Hava debisinin azami ve asgari olduğu koşullarda difüzörlerden geçen hava debisi kontrol edilmelidir,
- Proses kontrolü sırasında minimum ve maksimum koşullarda hava hatlarındaki yük kayıpları kontrol edilmelidir.

13.1.5.1.2. Mekanik Havalandırma Sistemi Kontrolü

Mekanik veya yüzeysel havalandırıcı sistemlerin kullanılması durumunda aşağıda verilen yöntemler seçilerek çözünmüş oksijen kontrolü sağlanabilir:

- İşletilen yüzeysel havalandırıcıların sayılarının ayarlanması,
- Şaft dönüş hızının otomatik olarak ayarlanması,
- Yüzeysel havalandırıcı dalma derinliğinin ayarlanması (ekipmanın hareket etmesi ya da çıkış savağının ayarlanması suretiyle vb.)

Mekanik havalandırma ile çözünmüş oksijenin kontrolünde;

- Oksijen ölçümü havalandırma ekipmanının oluşturduğu çalkantıdan uzakta, karışımın sağlandığı yüzeye yakın bölgede gerçekleştirilmelidir.
- Mekanik havalandırıcının kontrol edildiği durumlarda aşırı ısınma, mekanik aşınma vb. olumsuz durumlar göz önüne alınmalıdır.

13.1.6. Biyolojik Azot ve Fosfor Giderimi

13.1.6.1. Ölçüm Yöntemleri

Atıksu arıtma tesisi proses kontrolünde, değişken giriş yüklerinin arıtma verimini olumsuz etkilememesi için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekmektedir. Biyolojik azot ve fosfor gideriminin kontrol edilebilmesi için aşağıdaki online izleme cihazları kullanılmalıdır:

- İyon Seçici Elektrotlar
- Oto-Analizörler

Ölçüm aralıkları (azami-asgari), hassasiyeti ve cevap süresinin, proses ve kontrol sistemine uygun seçilmesi ve SCADA sistemi ile uyumlu olması gerekir.

Oto analizörlerde gerçekleştirilecek analizlerde numune, gerekli olan ön işleme (filtrasyon, şartlandırma vb.) tabi tutulmalıdır. Numune alma ve analiz için öngörülen zaman proses kontrolüne uygun olmalıdır.

13.1.6.2. Proses Kontrolü

Proses kontrolü için aşağıdaki şartlar geçerlidir:

- Biyolojik azot gideren sistemlerde, atılan çamur miktarının (ve çamur yaşının) sürekli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir.
- Seçilen proses kontrolü yönteminin, saatlik KOİ, TN, TP yükündeki değişimlerine cevap verecek nitelikte olması gerekir.
- Gerçek zamanlı proses kontrolü ikinci kademe (biyolojik) arıtmadan alınan online/offline ölçümler yardımıyla sağlanmalıdır.
- Kısa süreli ihtiyaçlara yönelik konfigürasyon değişikliği uygulanmamalıdır.

- Aktif çamur sisteminde, ölçümlerin alınacağı ölçüm bölgesi prosesi karakterize edici nitelikte olmalıdır; kısa devrenin olduğu, karışımın az olduğu bölgeler seçilmemelidir.
- Sürekli nitrifikasyon sağlanabilmesi için aerobik şartlardaki oksijen seviyesinin ölçülmesi ve gerçek zamanlı kontrolü gerekir.
- Denitrifikasyon prosesinin gerçekleştirildiği bölgede oksijen indirgeme potansiyeli (ORP) veya nitrat ölçümleri yapılmalıdır.
- Anoksik toplam hacim oranının (V_D/V) gerçek zamanlı proses kontrolünde %50 değerini aşmaması sağlanmalıdır.
- Denitrifikasyon hacminde anaerobik şartların oluşmaması için, gerekli nitrat geri devrinin aerobik havuzdan anoksik havuza yapılabilmesi gerekir. Bunun için aşağıdaki işletme parametrelerinin en az birinin kontrol edilebilmesi gerekir:
 - Aerobik havuzdaki çözülmüş oksijenin kontrolü,
 - Anoksik toplam hacim oranının (V_D/V) kontrolü,
 - İçsel geri devir (nitrat) kontrolü.
- Biyolojik aşırı fosfor giderimi (EBPR) için Bio-P havuzlarına çamur geri devrinden (RAS) ve/veya içsel geri devirden gelecek çözülmüş oksijen ve nitratın en aza indirilmesi gerekir. Bio-P havuzlarında oksijen indirgeme potansiyeli (veya Nitrat) ölçümlerinin sürekli yapılması gerekmektedir.

13.2. Otomasyon Sistemleri

Otomasyon sistemi tasarım parametreleri:

- Arıtma işleminin tam bir tanımı,
- Farklı işlem basamakları ve makineler de dahil olmak üzere ilgili kontrol devreleri veya sıralı küme kontrolleri ve cihazların yerleştirilmesi ve ilgili debiler, basınçlar ve sıcaklıklar gibi farklı ürün akışları arasındaki ilişkileri gösteren iletim ve cihazların yerleşim şeması,
- İkili ve analog girdi/çıkış işlem değişkenleri, otomatik sayaç değerleri veya elle girilen değerler olarak işlenen, tanımlanan ve değerlendirilen sinyaller ile kontrol devreleri ve basamaklı yöntemle çalıştırılan işlemlerin sayısı,
- Farklı çalışma seviyelerindeki alt istasyonların, ağ tasarımlarının ve kontrol istasyonlarının sayısı,
- Lokal çalışma ve kontrol odası gibi, otomasyon sistemlerinin farklı seviyelerindeki hiyerarşik çalışma stratejisinin özelliği,
- Çalışma yerlerinin sayısı, monitörler ve yazıcılar, yayın alarm sistemlerine olan ara yüzler veya diğer veri yönetim sistemleri gibi kontrol odası cihazlarının özelliği,
- İşlem değişkenlerinin ve çeşitli sistem bileşenlerinin kablolanmasıdır.

Güvenlik ve çalıştırmaya ilişkin özellikler:

- Sert kablolu güvenlik kontrol sistemleri de dahil, işlemin, teknik donanımın veya kontrol sisteminin başarısızlığı durumunda yedekleme,

- Devreye alma ve devreden çıkarma işlemleri,
- Alarm işaretleri durumunda, hatalı çalışmanın tespiti ve bilgilendirme işlemleri için gerekli sistem,
- Yıldırım ve aşırı voltaja karşı koruma sinyali,
- Kontrol odasındaki lokal çalıştırma panelleri, birim kontrol panelleri ve üst düzey kontrol ve izleme gibi otomasyon sistemlerinin farklı seviyelerine dair hiyerarşik çalıştırma işlemlerinin tanımlanması.

Otomasyon kavramında yer alan özellikler, kontrol ve otomasyon sisteminin tamamının uygulanması için zorunlu olduğu kabul edilmelidir. Gerekli verilerin ve özelliklerin sağlanmasının şekli, ihale prosedürüne bağlı olarak farklılık gösterir.

13.2.1 Otomasyon Sistemlerinin Özelliği

Otomasyon kavramı, belirli bir tesis için kontrol ve otomasyon sisteminin amaçlarını ve bütün fonksiyonlarını tanımlar. Otomasyon sistemi ve onun belirli konfigürasyonunun farklı bileşenleri, otomasyon kavramıyla uyumlu olmalı ve ekonomik bir yaklaşıma uygun gerekli performansa göre seçilmelidir.

Basit bir tesiste, kontrol odasındaki bir PC tabanlı izleme sistemi, dokümantasyon ve ikincil işlem bağlantısı için alt istasyonlar olarak çalışan bazı merkezî olmayan mantık kontrolörleriyle ilişkili işlem kontrolü için yeterli olabilir.

Daha büyük ve daha karmaşık arıtma tesislerinde, genellikle, biyolojik arıtma ve susuzlaştırmayı da içeren çamur arıtma için farklı yerlerde bulunan kontrol odaları gereklidir. İlâve olarak, laboratuvarında kimyasal veri analizinin girdisi için bir adet ve kontrol işlemleri için yönetim merkezinde de bir adet terminal kurulabilir.

Otomasyon sistemlerinin donanım ve yazılım özellikleri, DIN EN 12255-12'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

13.3. Kaynaklar

DIN EN 12255-12 (2003), Atıksu Arıtma Tesisleri - Bölüm 12: Kontrol ve Otomasyon, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

14. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE KOKU KONTROLÜ

Prof. Dr. Kadir ALP

14.1. Atıksu Arıtma Tesislerinde Koku Kaynakları

Koku, koku alma duyusuyla hissedilen, genelde çok düşük konsantrasyonlarda havada çözülmüş bulunan kimyasal maddelerden her biridir. Koku parametresi gerek insanlarda oluşturduğu rahatsızlık ve gerekse içerdiği kirleticilerin yol açtığı çevresel etkileri nedeniyle günümüzde önem kazanmıştır (TS EN 12255-9, 2006).

Koku oluşturan kaynakların başında atıksu arıtma tesisleri gelmektedir. Atıksuyun doğası gereği, bir atıksu arıtma tesisinin tamamen kokusuz olmasını sağlamak mümkün değildir. Atıksu arıtma tesisleri, gerek atıksuya verilen uçucu organik maddeler ve gerekse organik maddelerin mikrobiyal parçalanmasının en yoğun olarak yaşandığı yer olması dolayısı ile, içerisinde birçok koku yayıcı kirleticileri barındıran tesislerdir. Endüstriyel atıksularda kendilerine has farklı kokulu maddeler de bulunabilir. Atıksu arıtma tesislerinde genellikle koku, atıksuyun nakli ve arıtılması sırasında organik maddelerin, mikroorganizmalar tarafından anaerobik koşullar altında parçalanmasından dolayı oluşmaktadır (DIN EN 12555-9, 2002).

Koku artışına sebebiyet veren tipik unsurlar:

- Kanalizasyon sistemindeki olumsuz koşullar (uzun bekleme süresi, yetersiz bakım, endüstriyel deşarjlar vb.),
- Uzun ana toplayıcılar,
- Yüksek yüklü bazı arıtma işlemleri,
- Anaerobik lagünler,
- Çamur depolama ve arıtma işlemleridir.

Koku kanalizasyon sisteminde veya arıtma tesisinde mevcut olabilir veya oluşabilir. Atıksu arıtma tesislerinden çevreye salınan başlıca kokulu bileşikler aşağıda verilmiştir:

- Hidrojen sülfür,
- Amonyak,
- Organik kükürt bileşikleri,
- Tiyoller (merkaptanlar gibi),
- Aminler,
- İndol ve skatol,
- Uçucu doymuş yağ asitleri,
- Diğer organik bileşikler (VOC, oda sıcaklığında buhar basıncı 1 mm H₂O ve daha büyük olan organikler).

İşletilmekte olan atıksu arıtma tesislerinde karşılaşılan sürekli ve başlıca koku kaynakları;

- Sülfürlü bileşikler içeren septik atıksuların arıtma tesisine gelmesi,
- Aşırı organik yüklemeler,

- Kanalizasyon toplama sistemine deşarj edilen endüstriyel atıksuların tesise ulaşması,
- Terfi merkezleri ve kum tutucular,
- Çamur susuzlaştırma veya çamur yoğunlaştırma üniteleri,
- Çamur kurutma üniteleri ve depolama alanları,
- Çamur şartlandırma ve susuzlaştırma üniteleri,
- Çamur yakma tesisleri (sıcaklık düşük olduğunda)

olarak sıralanmaktadır

Bununla birlikte aşağıdaki aşamalarda da bazı koku problemleri ortaya çıkabilir:

- Giriş yapılarında: Gelen akımdaki keskin kokular, giriş yapılarında yüksek miktarlarda yayılıma yol açabilir.
- Ön çökeltim tanklarında: Bunlara çok kokulu akımlar geliyorsa veya tanklarda aşırı çamur birikimine müsaade ediliyorsa, septik koşullar oluşur.
- İkincil arıtmada: Aşırı yükleme veya çok kokulu besleme yapılıyorsa koku oluşabilir.
- Özellikle stabilize edilmemiş çamurların taşıma, depolama ve arıtım yerlerinde koku oluşabilir.
- Anaerobik arıtmadaki biyogazın sızıntılarında ve emisyonlarında ve çamur çürütücü ilk deşarj noktasında koku oluşabilir.

Arıtma tesislerinin farklı ünitelerinden havaya verilen kokulu bileşikler ve konsantrasyonları Tablo 14.1'de verilmiştir.

14.2. Atıksu Arıtma Tesislerinde Kokunun Tespiti ve Ölçümü

Atıksu Arıtma tesislerinde oluşan koku emisyonları, kompleks yapıdaki birçok koku kaynağından ortaya çıkmaktadır. Kokunun nedenlerinin araştırılması işine girildiğinde, kokunun meydana geldiği veya yayıldığı yerlerin belirlenmesi, koku kaynağının etkisinin değerlendirilmesi ve koku azaltma malzemelerinin işlevlerinin tespit edilmesi için koku miktar ölçmeleri yapılmalıdır. Bu emisyonların tanımlanabilmesi ve ölçülebilmesi için çeşitli ölçüm teknikleri geliştirilmiştir. Bu teknikler arasında olfaktometrik koku ölçümü yöntemi gibi duyuşal ve GC/MS ve elektronik burun yöntemi gibi analitik koku ölçümleri bulunmaktadır. Aşağıda bu yöntemler hakkında bilgi verilmiştir.

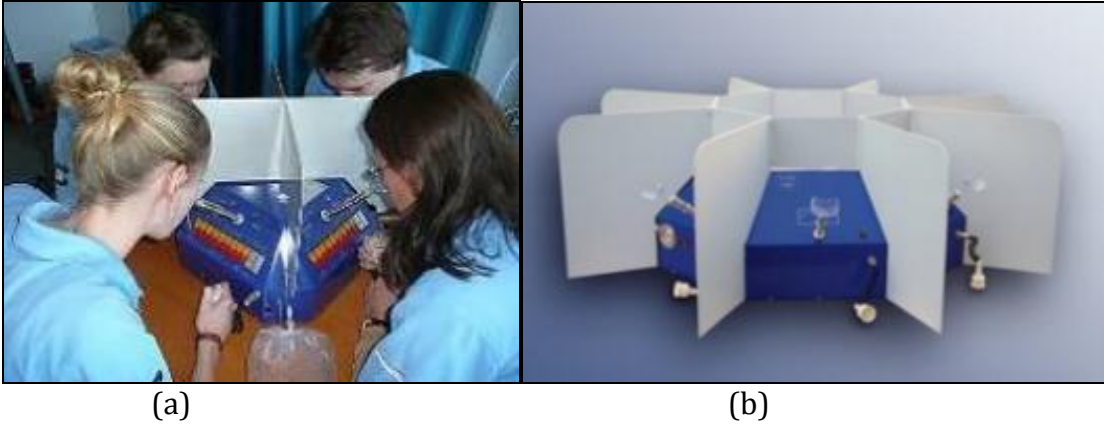
Tablo 14.1. Atıksu arıtma tesislerinin çeşitli ünitelerinde karakteristik koku emisyonları

<i>Kirletici</i>	<i>Atıksu Arıtma Tesisi Üniteleri</i>						
	<i>Oksijenlendirilmiş kanal suyu</i>	<i>Terfi İstasyonu</i>	<i>Ön Çökeltim havuzu</i>	<i>Ön çökeltim çıkış kanalı</i>	<i>Çamur Susuzlaştırma tanker yükleme</i>	<i>Çamur kompostlaştırma</i>	<i>Çamur Kurutma Yatağı</i>
<i>Koku (D/T)</i>	273	589.821	163	82	382.473	33.245	424
<i>Amonyak, ppbv</i>	1	0-4	0	0	433	2.600	91
<i>Hidrojen sülfür, ppmv</i>	14	39	19	7,2	6.100	ND	6,8
<i>Karbonil sülfür, ppbv</i>	19	ND	9,3	7,2	ND	110	8,6
<i>Metil merkaptan, ppbv</i>	2,5	310	3,5	ND	52	78	7,0
<i>Etil merkaptan, ppbv</i>	ND	ND	ND	ND	7,4	ND	ND
<i>Dimetil sülfür, ppbv</i>	47	10	1,4	4,7	ND	31	25
<i>Karbondisülfür, ppmv</i>	5,5	4	4,9	7,6	32	49	9
<i>Dimetildisülfür, ppbv</i>	ND	ND	ND	ND	ND	2.300	20

14.2.1. Olfaktometrik Teknik

Her kokulu bileşik farklı konsantrasyonlarda eşik seviyesine ulaşmakta ve koku probleminin ortaya çıkmasına sebebiyet vermektedir. Bu etkilerin insan burnu tarafından algılanması esas alınarak duyuşal koku ölçüm metodu olan olfaktometrik yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde amaç, insan koku alma duyusunu kullanarak koku konsantrasyon seviyelerini belirlemektir. Koku örneği uygun bir şekilde alındıktan sonra olfaktometre cihazında kokusuz hava ile seyreltilerek en az dört seçilmiş kişiden oluşan koku panelistleri olarak adlandırılan ekibe koklattırılmak suretiyle koku eşiği olarak adlandırılan seviyeye kadar seyreltme sayısı belirlenir ve bu sayıya koku şiddeti adı verilir. Hızlı, düşük maliyetli ve olfaktometre cihazı dışında herhangi bir analitik ekipman gerektirmemesi bu yöntemin atıksu arıtma tesislerinde kullanılmasında tercih edilmesine neden olmaktadır (Şekil 14.1 ve Şekil 14.2).

Olfaktometrik koku ölçümü EN 13725:2003 Standardına göre gerçekleştirilmektedir.

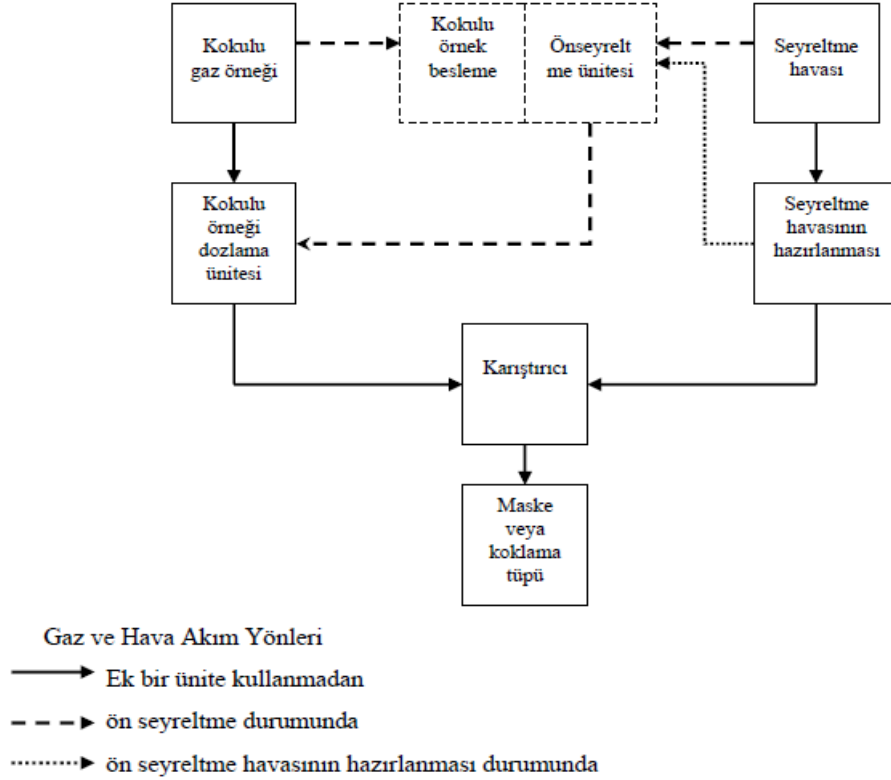


Şekil 14.1. Olfaktometrik yöntemle koku ölçümü. a)TO 8 Olfaktometre Cihazı ile 4 kişilik panel grupla koku ölçümü, b) 8 kişilik panel ile koku ölçümü için kullanılan olfaktometre cihazı (Odournet, 2012)

14.2.2. Elektronik Burun

Koku ölçümlerinde kullanılan bir diğer yöntem ise alternatif bir yaklaşım olan elektronik burun olarak adlandırılan “Algılayıcı Dizisi Teknolojisi (Sensor Array Technology)” dir. Bu yöntemde kokuyu karakterize etmek için spesifik olmayan algılayıcılardan (sensörlerden) oluşmuş bir dizi kullanılır. Burada her algılayıcı koku veren maddelerin bir kısmına karşı duyarlı, ancak verilen bir koku için cevapları farklıdır. Bir dizi içinde yer alan her bir algılayıcının cevapları üst üste getirildiğinde kokuya özel bir kalıp oluşturulur ve bu kalıp (şablon) bir hatırlama sisteminde işlenir. Bu sistem, burun örnek alınarak geliştirilmiş ve insanın koku alma sistemine benzetilmiştir.

Algılayıcı dizisinin ürettiği cevaplar kalıp hatırlama sisteminde analiz edilir. Bu sistem iki kademeli çalışır. Başlangıçta bir öğrenme devresi gerekir. Bilinen kokular için algılayıcı cevapları bir bilgi bankasında depolanır. Analiz kademesinde, bilinmeyen koku için üretilen cevaplar bilgi bankasındaki bilgilerle mukayese edilerek kokunun bileşenleri tahmin edilmeye çalışılır.



Şekil 14.2. Olfaktometre ile koku ölçümünün şematik gösterimi (Uyar, 2007)

14.2.3. Analitik Koku Ölçümü

Bu yöntemde kokulu gaz örnekleri uygun tekniklerle alınarak GC veya GC/MS enstrümanları kullanılarak analitik olarak bileşenlerine analiz edilirler. Tek bir koku verici bileşenin örnek olarak H₂S'in ölçümüne dayalı koku ölçümü yapılabilir.

14.3. Atıksu Arıtma Tesislerinde Koku Kontrolü

Kokunun azaltılması için çeşitli yöntemler uygulanmalıdır. Aşağıda çeşitli aşamalarda alınması gereken koku kontrol yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir:

- Tasarım aşamasında alınacak önlem ve düzenlemeler,
- İşletme sırasında alınacak önlem ve düzenlemeler,
- Endüstriyel atıksu sınır değerleri ve bunların kontrolleri,
- Septik oluşumun önlenmesi, önlenemiyorsa etkisinin azaltılması veya bu da mümkün değilse kokunun azaltılması için kimyasal madde ilâvesi,
- Koku kaynaklarının üzerinin kapatılması, havalandırma sağlanması ve toplanan havanın arıtılması,
- Bir engel oluşturacak şekilde atmosferik spreylemlerin kullanılması veya kimyasal koku önleyici veya değıştiricilerin ilâvesi,
- Kimyasalların kullanımı esnasında sonuçta zararlı yan ürünlerin oluşmasını önleyecek önlemlerin alınması.

14.3.1. Tasarım Safhasında Alınacak Tedbirler

Atıksuyun doğası gereği, bir atıksu arıtma tesisinin tamamen kokusuz olmasını sağlamak mümkün değildir. İyi tasarlanmış bir tesis ile olası kötü koku yayılımını en aza indirmek mümkündür. Koku üretme olasılığı, atıksu arıtma işlemlerinin tasarımının erken aşamalarında dikkate alınmalıdır. Kokunun tesis içinde ve yakın çevresinde olası yayılımı, etkisi ve tesis içinde arıtılma kolaylığı tasarımın bütün safhalarında dikkate alınmalıdır. Yeni yapılacak bir tesiste koku yayılımı konusunda dikkate alınacak standartlar konusunda yetkili kurum, kuruluş ve kişilerle mutabakat sağlanmalıdır.

Özellikle aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmelidir:

- Ham atıksuyun septikliğinin kanalizasyon sistemi dikkate alınarak asgarîye indirilmesi.
- Özellikle uzun mesafelerden cazibeli ya da basınçlı olarak getirilen atıksular septikleşme potansiyeli göstereceğinden, kokuyu asgarî düzeye indirmek üzere aşağıdaki tedbirler uygulanabilir:
 - Giriş terfi merkezi ve havalandırmalı kum tutucularda kapak hacimlerinden toplanan kokulu gazların arıtımı,
 - Ön çökeltim tanklarında çamurun alıkonma süresinin asgarîye indirilmesi,
 - Ön çökeltim bulunmaması (böylelikle önemli bir koku kaynağından kurtulmak mümkün olur) ve uzun havalandırma uygulanması,
 - Kapalı işlem seçimi.
- Önemli koku kaynaklarının mümkün olduğunca, tesis çevresinde bulunan hassas yerlerden uzağa konumlandırılması. Planlamada tesisin bulunduğu bölgedeki yerel rüzgar yönü ve hızı dikkate alınmalıdır. Hafif rüzgârlı veya rüzgârsız hava şartları ile kararlı atmosferik şartlar, kokuların dağılımı için en olumsuz koşullardır. Bundan dolayı, bu koşullar oldukça sık meydana geliyorsa, genel hakim rüzgar yönü yerine, bu şartlardaki yerel rüzgârın yönünün kullanılması daha uygundur.
- Tesisin bölümlerinin üstünün kapatılmasının kaçınılmaz olması durumunda az yer kaplayan tasarımların seçilmesi,
- Başlıca koku kaynaklarının civardaki hassas alıcılardan mümkün olduğu kadar uzağa yerleştirilmesi,
- Ana koku kaynaklarının ortak arıtma/azaltma önlemleri alınmasına imkan verecek şekilde bir araya getirilmesi,
- İşlem birimlerinin birbirlerine göre konumu dikkate alınarak, birden fazla koku kaynağının arıtılmasında tek bir arıtma işleminin kullanılması veya kokulu havanın bitişik bir işlemde, işlem veya yakma havası olarak kullanılması mümkündür. Kokulu havanın arıtımı ile ilgili yöntemler, üzeri kapalı hacimlerden ve çekilen havanın borularla havalandırma havuzuna verilerek havalandırıldığı bir işlemi gerektirir.

Arıtma tesisi tasarımı sırasında dikkate alınacak hususlar ise aşağıda verilmiştir:

- Özellikle kokulu endüstriyel atıksuların deşarjının kontrolü,
- Tesisin yer seçimi,
- Ham ve çürütülmüş çamuru bekletme sürelerinin en aza indirilmesi,

- Çökeltim tanklarındaki bekleme süresinin en azda tutarak septik koşulların oluşumundan kaçınılması,
- Kaçınılamayan çok kokulu atıksu giriş akımlarının olduğu yerlerde ön işlemlerle kokulu emisyonların en aza indirilmeye çalışılması
- Kanal bağlantıları ve tesis savaklarında türbülansın azaltılması, düşümlü savakların en azda tutulması (karıştırma amacıyla kullanılmadıkça),
- Kokulu geri dönüş akımlarının aerobik ikincil arıtma işleminin olduğu ünitelere verilmesi,
- Bir işlemdeki kokulu havanın diğer bir işlemde, örneğin aktif çamur havalandırmasında veya termal yöntemlerle çamur kurutma sisteminde yakma havası olarak kullanılması.

14.3.2. İşletme Sırasında Koku Azaltımı

Koku probleminin kaynakta önlenmesi problemin çözümünü ekonomik ve etkin olarak sağlayacaktır. Kaynakta önleme işlemi, tesisin üretim sürecinde ve tesisin işletim sistemindeki değişikliklere ve iyileştirmelere bağlı olarak ortaya konmaktadır. Proseslerde oluşacak olan sızıntıların ve kaçakların kontrolü, üretimde koku problemi oluşturmayacak hammadde kullanımı, uygun atık depolama sisteminin kurulması ve prosesin etkin bir biçimde yönetilmesi koku problemini oluşmadan önleyecek ya da problemin daha düşük seviyelerde yaşanmasına olanak tanıyacaktır. Atıksu arıtma tesislerinde kokunun önlenmesi için yapılan temel tasarım kriterlerinde aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınmalıdır.

14.3.3. Endüstriyel Deşarjların Kontrolü

Ortak arıtma sistemine verilecek endüstriyel atıksular için arıtma tesisinin işletilmesinde probleme yol açmayacak düzeyde bir ön arıtma istenebilir. Özellikle büyük miktarda organik karbon yükü, azot ve fosfor içeriği ile sülfür, VOC gibi kirleticileri içeren endüstrilerde bu konu daha da önem kazanmaktadır. Bu gibi endüstrilerde pH düzenlemesinden başlanarak organik yük azaltılmasına kadar birçok önlem ön arıtma kapsamında istenmelidir.

14.3.4. Kimyasal Madde İlavesi

Kimyasal katkı maddeleri dört grupta incelenebilir:

- Hidrojen peroksit ve sodyum hipoklorit gibi birçok kokulu bileşiği oluştuklarında yükseltgeyecek kuvvetli yükseltgenler (Sodyum hipoklorit kullanımı sırasında AOX (adsorplanabilir organik halojenler) bileşiklerinin oluşumu göz önünde bulundurulmalıdır.)
- Oksijen kaynakları: Hava, sıvı oksijen ve nitrat tuzları; bunlar septikliğin oluşumunu önlemek için birincil oksijen kaynağı olarak etki gösterirler. Bunların ikincil faydası ise, önceden oluşmuş kokunun arıtımını sağlamalarıdır.
- Metal tuzları (tipik olarak demir ve çinko tuzları): Suda çözünmeyen metal sülfürler gibi sülfürleri bağlamak ve çökelmelerini sağlayarak atmosfere karışmalarını önlemek için kullanılırlar.
- Koku azaltmak için çeşitli koku deşarjiciler.

- Kanalizasyon sisteminde koku oluşumunu önlemede pH yükseltici maddeler (kostik, soda, kireç sütü gibi) yardımı ile pH'ı 9 civarına yükseltme, metabolizmayı düzenleyen enzim ve benzeri maddeler (sülfat indirgeyen bakterilerin metabolizmalarına girerek sülfür üretmelerini engelleyen) de etkili olmaktadır.

14.3.5. Maskeleye

Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan kokuların yakın çevrede neden oldukları koku rahatsızlığı tesis çevresine yerleştirilecek bir dozlama sistemi yardımıyla, çevreye verilecek zararsız ve kokulu gazların algılanmasını engelleyecek parfüm ve benzeri diğer kokulu maddelerle maskelenebilir.

14.4. Atıksu Arıtma Tesislerinden Kaynaklanan Kokulu Gazların Toplanması ve Arıtılması

14.4.1. Kokulu Gazların Toplanması

Kaynakta koku probleminin önlenemediği koşullarda oluşan kokunun arıtımı söz konusu olmaktadır. Bunun için ilk olarak koku oluşan ünitelerde veya kokulu işlemlerin olduğu hacimlerde kokulu gazların toplanması ve arıtma tesisine iletilmesi gerekmektedir. Kokulu gazların toplanması büyük ölçüde koku yayan ünitelerin üzerlerinin uygun şekilde kapatılması ve atıksu yüzeyi ile kapak arasındaki boşluktan kokulu gazların çekilmesi ile sağlanır.

Tesis bölümlerinin üzerinin kapatılması tasarlanırken aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır:

- Kapama yüzeyinin altındaki yüksek veya düşük basınç,
- Üzeri kapatılacak bölümlerin büyüklüğü ve geometrisi, özellikle ihtiyaç duyulan kemer ya da köprü ayakları arasındaki desteksiz açıklık ile mekanik aksamlar için gerekli açıklıklar,
- Kapama yüzeyindeki kar ve rüzgar yükü ile insanların geçişi esnasında oluşacak yükler,
- Yapı malzemeleri ve bunların aşındırıcı ortama ve gün ışığına maruz kalmaya dayanıklılığı,
- Tesisin olağan işletme ve mekanik bakım, onarım ve değiştirme işlemleri için ulaşılabilirlik gerekleri.

Kapatılmış hacimlerde hava boşlukları en azda tutulmalıdır. İnsanların girerek düzenli bakım yapmasını gerektiren kapalı alanlar da asgarîde tutulmalıdır.

Kokulu işlemler için yalnızca büyük bir bina gibi birincil kapama şekilleri kullanılmamalıdır. Bir işlemin bağımsız olarak üzerinin örtülmesi, aynı işlemin açık alanda yerleştirilmesiyle karşılaştırıldığında iç ortam hava kalitesi yönünden daha fazla özen gerektirir.

Kapatılmış yapılarda birçok şartı sağlamak için havalandırma yapılır. Bu şartlar aşağıdakileri kapsar:

- Hava geçiren kapama malzemelerinden veya kaçınılmaz açıklıklardan havanın kaçışını asgarîye indirmek için negatif basınç sağlanması,
- Zehirli, aşındırıcı veya patlayıcı ortamların oluşmasını önlemek için kapalı alanların içinde belli bir hava kalitesinin muhafaza edilmesi,
- İşlem havasının veya kapalı alanın içindeki sıvı seviyesindeki değişimle yer değiştiren havanın sağlanması ve/veya toplanması.

Havalandırma hızları yukarıda belirtilen koşullara uygun olarak asgarîye indirilmelidir. Bu önlem, maliyeti azaltacak ve müteakip arıtmadaki verimliliği arttıracaktır. Kapakların altındaki kapalı boşluk hacminin asgarîde tutulması, daha düşük havalandırma debilerinin kullanılmasını sağlar.

Az kirlenmiş alanlardan çekilen hava, aerobik arıtmada (biyolojik filtreler, aktif çamur işlemi ve yakma) kullanılabilir. Tamamen üzeri kapalı arıtma tesislerinde, sağlık ve güvenlik hususlarına yeterince özen gösterilmesi kaydıyla, az kokulu alanlardan çekilen hava, yoğun olarak kirlenmiş alanların havalandırılmasında kullanılabilir.

Zararlı ve tehlikeli bileşenleri içeren hava, sürekli olarak ve olabildiğince kadar kaynağına yakın yerden çekilmelidir.

14.4.2. Kokulu Gazları Arıtma Yöntemleri

Kokulu bileşiklerin arıtımı için birçok yöntem kullanılmaktadır. Arıtma yöntemleri, fiziko-kimyasal, termal ve biyolojik olmak üzere üç sınıfta incelenmektedir. Kokulu havanın arıtımında yöntem seçiminin temel kriterleri verim ve maliyettir. Verim denemeler veya benzer koşullar altında çalışan tesislerin karşılaştırması yoluyla belirlenebilir.

Aşağıdaki kısıtlamalar da önemli olabilir. Yer kısıtlamaları özellikle biyolojik filtrelerin, yükseklik kısıtlamaları ise ters akımlı biyolojik ve kimyasal yıkayıcıların her iki tipinin de kullanımını sınırlayabilir. Kimyasal yıkayıcılarda tehlikeli kimyasal kullanımından kaynaklanan etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. Ulaşılabilir zorlukları, düzenli değiştirme ihtiyacının olduğu katı absorplayiciler ile biyo-filtrelerin kullanımını sınırlandırabilir. Elektrik, suyun veya nihai atıksu ile sızan sular için uygun drenaj imkanlarının bulunması da diğer dikkate değer hususlardır.

Yüksek verim istendiğinde, kimyasal ve biyolojik işlemlerin birleştirilmesi gibi proses birleştirmeleri uygulanabilir.

Havanın koku derişimi kimyasal bileşimine ilişkin bilgi vermediği için koku arıtma teknolojilerindeki tasarım yöntemleri, genelde diğer alanlarda kullanılan ilgili teknolojilerden daha az hassastır. Birçok tasarım, tam ölçekli tesislerden elde edilen deneyimlerin de dikkate alındığı pilot ölçekte yapılan denemelere dayanır. Tesis imalatçıları, pilot ölçekli tesis veya işletilen benzer tesislerin performansına ilişkin ayrıntıları sağlamalıdır.

Atıksu arıtma tesisi üzerinin kapatılması planlanan bütün projeler, sağlık ve güvenlik ilkeleri açısından değerlendirilmeli ve uygun bir kısıtlı alan sınıflandırmasına sahip olmalıdır.

Kokulu havayı arıtmak için donanımlar, belirli debide, mümkünse koku konsantrasyonları bilinen havayı arıtmak ve nihaî koku etkisini kabul edilebilir bir seviyeye düşürecek uygun kalitede arıtılmış hava üretmek üzere tasarlanmalıdır.

Donanım, akış debisi veya hızını, basıncı ölçmeye ve analiz için hava numunesi toplamaya uygun yapıda ve kolay ulaşılabilir şekilde tasarlanmalıdır.

İşlemler ve donanım, işletmeye alma dönemi sonunda, olfaktometri veya belirli bileşiklerin ölçümü gibi, bir kabul deneyine tâbi tutulmalıdır.

14.4.2.1. Adsorpsiyon

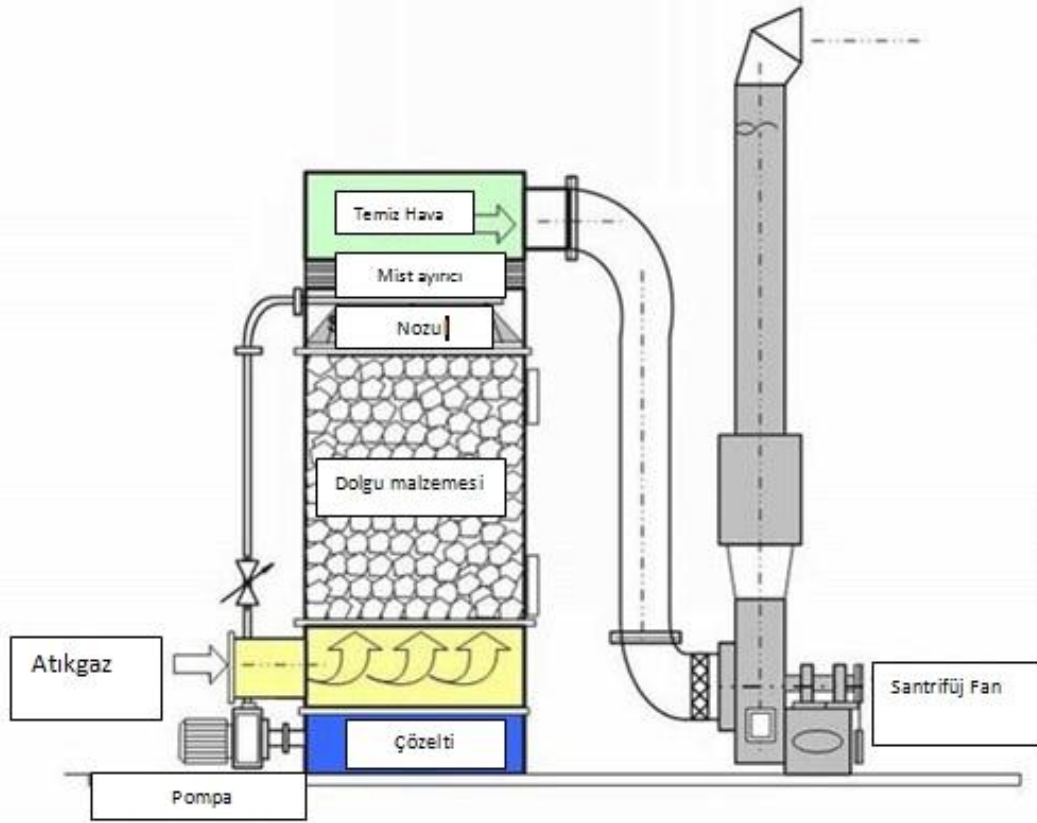
Adsorpsiyon, gaz moleküllerinin katı yüzeylerde tutunduğu ve dolayısıyla sıvıdan ayrıldığı heterojen bir tepkimedir. En sık tercih edilen adsorplama yöntemi, aktif karbon adsorpsiyonudur. Bu adsorplayıcı türü, düşük debi ve konsantrasyonlardaki kokulu bileşiklerin giderimi için kullanılmaktadır. Adsorpsiyon hızı, adsorplanan kokulu bileşiğin polaritesine bağlı olarak değişmektedir. Apolar (suda çözünürlüğü düşük) yapıdaki bileşikler adsorpsiyon işlemine daha uygun bileşiklerdir. Bünyesinde hidrokarbonlu bileşikleri barındıran kokulu gaz akımları daha etkili bir biçimde adsorplanabilmektedir. Bu yüzden atıksu arıtma tesislerinde oluşan koku kaynaklarının başında gelen H_2S , hidrokarbonlardan sonra adsorpsiyon mekanizmasında tutulmaktadır. Aktif karbon adsorplayıcılar kullanılmadan önce kokulu gaz bileşiği analiz edilmeli ve arıtımı yapılacak kokulu bileşiklere uygun arıtım mekanizmaları seçilmelidir. Aktif karbon yatağının adsorpsiyon kapasitesinin sınırlı olmasından dolayı, karbon yatağı rejenere edilmeli ve belirli periyotlarla yenilenmelidir. Genel olarak aktif karbon adsorplayıcılar, ıslak yıkayıcı sistemleri takiben ikincil bir koku giderim mekanizması olarak kullanılmaktadır (Metcalf ve Eddy, 2003).

14.4.2.2. Absorpsiyon

Absorpsiyon bir gaz kirleticinin bir sıvı faza transferini ve sıvı fazda giderilmesini içeren prosesleri kapsar. Atıksu arıtma sistemlerinde kokulu gazlar içinde suda kolay çözünenler olduğu gibi suda çözünürlüğü az olan organik ve inorganik gazlar yer almaktadır. Bu özellik Henry sabiti ile tanımlanmıştır. Absorplama sistemleri dolgu kolon veya duşlama kolonları şeklinde seçilebilir. Absorplama kolonlarının tasarımında gaz debisine göre temas süresi, sıvı/gaz oranları kokulu bileşenler ve yıkama sıvısı özelliklerine göre belirlenir. Yıkama sıvısına alkali ve asidik kimyasallar eklenerek absorplama verimi arttırılabilir. Diğer taraftan yıkama sıvısına kimyasal oksitleyiciler (ozon, sodyum hipoklorit vb) katılarak uygun ORP değerlerinde kokulu bileşenlerin oksidasyonu da gerçekleştirilebilir.

Kimyasal Yıkayıcılar

Kimyasal yıkayıcılar hava, su ve kimyasal maddelerin (kullanıldığı zaman) kokulu bileşiklerle temas etmesini ve bileşiklerin bu temas çerçevesinde okside olması ilkesi ile çalışmaktadır. Kimyasal yıkayıcılarda temel oksitleme sıvıları olarak hipoklorit, potasyumpermanganat ve hidrojen peroksit çözeltileri kullanılmaktadır (Şekil 14). Kimyasal yıkayıcı tasarım kriterleri Tablo 14-2'de verilmektedir.



Şekil 14.3. Kimyasal Yıkayıcı Akım Şeması

Tablo 14.2. Kimyasal Yıkayıcı Tasarım Kriterleri (Metcalf & Eddy, 2003)

Madde	Birim	Değer
Dolgu derinliği	metre	1.8-3
Atık gaz bekletme süresi	saniye	1.3-2.0
Yıkayıcı sıvı akış hızı	Kg H ₂ O / kg hava akım L/s per m ³ /sn hava akımı	1.5-2.5 2-3
Kostik kullanımı	Kg NaOH/ kg sülfat	2-3
pH		11-12.5
Sıcaklık	°C	15-40

14.4.2.3. Termal Yöntemler

Termal yöntemler kokulu gazların ek yakıt kullanılarak bir yakma sistemi içinde hava oksijeni ve yüksek sıcaklıklarda oksidasyon yolu ile zararsız bileşiklere dönüştürülmesidir. Yakıcı (flare), direkt yakma ve katalitik yakma olmak üzere farklı uygulamaları mevcuttur.

14.4.2.4. Termal Olmayan Yöntemler

Termal olmayan oksidasyon yöntemleri, UV ile oksidasyon, fotokatalitik oksidasyon ve non-termal oksidasyon gibi soğuk oksidasyon yöntemlerine dayanır. Bu tür yöntemler yüksek oranda aktif radikaller oluşturarak kokulu gaz bileşenlerinin oksidasyonuna olanak verirler.

Atıksu arıtma sistemlerinden kaynaklanan kokulu emisyonlar için termal yöntemler uygun yöntem değildir. Ancak çamur kurutma veya çamur çürütme ünitelerinin kokulu gazları için düşünülebilir.

14.4.2.5. Biyolojik Yöntemler

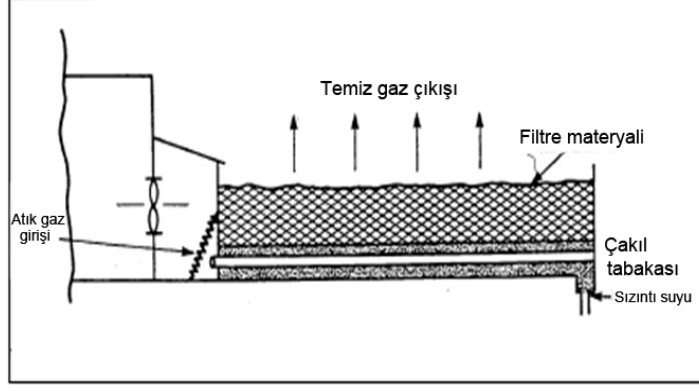
Biyo-kimyasal faaliyetler, atıksu arıtma tesisleri ve birçok endüstriyel faaliyetlerden oluşan koku probleminin önemli bir kaynağını oluşturmaktadır. Mikrobiyal ayrışma sonucu kanalizasyon şebekesi içinde oluşabilen hidrojen sülfür en kuvvetli kokular arasında yer almaktadır.

Eskiden kokulu gazların arıtımı çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemlerle gerçekleşmekte idi. Ancak kokulu bileşiklerin çoğunun biyolojik faaliyetler sonucu oluşması, dolayısıyla koku kontrolünde ve arıtımında biyolojik arıtım proseslerinin kullanılması öne çıkmıştır. Biyolojik koku arıtım mekanizmalarının diğer arıtma mekanizmalarına göre çevreye daha duyarlı olması ve düşük maliyetle işletilebilmeleri bu tür yöntemlerin daha çok tercih edilmesine yol açmıştır. Yer ihtiyaçlarının nispeten büyük olması bu yöntemlerin en önemli mahzuru oluşturmaktadır.

Kokulu bileşiklerin biyolojik arıtımına yönelik olarak günümüzde birçok arıtım teknolojisi kullanılmaktadır. Biyolojik koku giderimi gaz ve sıvı fazda yapılabilen teknolojilerden oluşmaktadır. Her iki faz da yaygın olarak kullanılmasına karşın, gaz fazındaki koku giderim teknolojileri en çok kullanılmakta olan teknolojilerdir. İşletim sisteminin kolaylaştırılması, maliyetin düşürülmesi ve inşaatın daha iyi tasarlanması ve verimin artırılması için çalışmalar devam etmektedir. En çok kullanılan biyolojik koku arıtım teknolojileri biyofiltreler, biyoyıkayıcılar ve damlatmalı filtrelerdir.

Biyofiltreler

Biyofiltreler, koku giderim teknolojilerinde yenilikçi bir yaklaşımdır. Güvenilir ve mali açıdan uygun sistemler olması biyofiltreleri cazip kılmaktadır. Biyofiltre sisteminde kokulu kirleticilerin filtre dolgu malzemeleri üzerinde bulunan biyofilmi oluşturan mikroorganizmalar tarafından tutulması amaçlanmaktadır. Filtre dolgu malzemesi üzerinde bulunan mikroorganizmalar, biyofilm içine transfer edilen uçucu organik karbon bağlarını parçalanıp inorganik gazlara okside ederek kokulu kirleticilerin CO₂ ve suya dönüştürmesi sonucunda koku probleminin ortadan kalkmasını sağlamaktadır. Biyofiltre sisteminin kokulu bileşiklerin giderimini düzgün bir şekilde sağlaması için kokulu bileşiklerin filtre dolgu malzemesi ile en iyi şekilde temas etmesi gerekmektedir. Biyofiltre sistemleri işleyişlerini kendi kendilerine devam ettirebilen ve dışarıdan ekstra bir müdahaleye gerek duymayan sistemlerdir. Biyofiltre dolgu malzemesi olarak kompost, talaş ve saman gibi pahalı olmayan malzemeler kullanılarak sistemin maddi açıdan daha uygun bir yapıya kavuşması sağlanmaktadır. Biyofiltre sistemleri amonyak, H₂S, merkaptan, disüfitler, etilen klorür, metanol gibi çok sayıda kokulu bileşiğin arıtımında etkin olarak kullanılabilir. (Shareefden v.d., 2005). Avrupa'da 600'den fazla proseste koku ve uçucu organik madde giderimi için biyofiltre sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemleri üstün ve zayıf yönleri şu şekilde sıralanabilmektedir. (Mudliar vd., 2010). Biyofiltrasyona örnek olarak Şekil 14.4' de verilmiştir.



Şekil 14.4. Biyofiltrasyon.

Üstün yönleri:

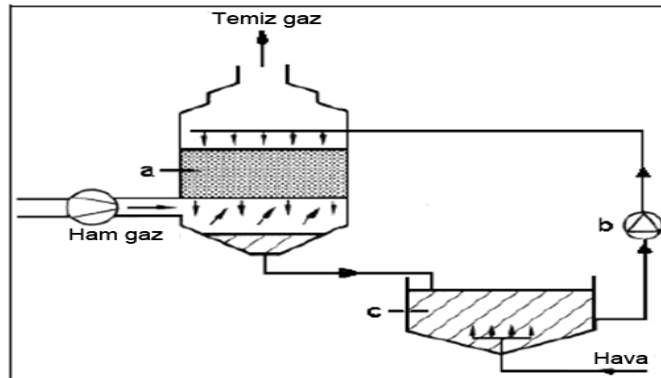
- Ekonomik açıdan etkili olması (düşük yatırım ve işletme maliyeti)
- Büyük debiler ve düşük konsantrasyondaki kokulu bileşikler ve uçucu organik karbonları giderebilmesi
- İkincil bir atık akımı oluşturmaması
- Düşük basınç kayıpları

Mahsurları:

- Biyofiltre dolgu malzemesinin tıkanma problemi
- Yüksek konsantrasyondaki kirlilik yüklerinde arıtma veriminde azalma
- pH ve nem gibi işletme parametrelerinin kontrolünün zorluğu
- Dolgu malzeme yıpranması ve bozulması

Biyoyıkayıcılar

Biyoyıkayıcılar, ıslak gaz yıkama işlemlerini biyolojik ayrıştırma işlemleri ile birleştiren sistemlerdir. Burada yıkama suyu kokulu gaz bileşenlerini okside edebilecek bakteri popülasyonlarını barındırır. Bunun için atık gaz içeriğinin yıkanabilir ve yıkanan bileşenlerin de aerobik koşullarda biyolojik olarak parçalanabilir yapıda olması gerekmektedir. (Malhautier vd., 2009). Şekil 14.5 biyoyıkayıcılara örnek olarak verilmiştir.



Şekil 14.5. Biyoyıkayıcı

Biyoyıkayıcıların üstün yönleri:

- Prosesin ve işletim parametrelerinin kontrolünün kolaylığı
- Düşük alan ihtiyacı
- Düşük basınç kayıpları

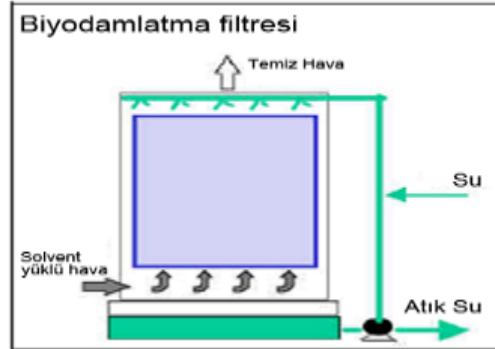
Biyoyıkayıcıların mahzurları:

- Sıvı atık oluşumu
- Kolay ayrışabilen UOK, alkoller ve ketonların arıtımı için uygun olması (Henry sabiti $< 0,01$ ve konsantrasyon 5 g / m^3)
- Gaz-sıvı akım arasındaki düşük temas alanı

Damlatmalı Filtreler

Damlatmalı filtre sistemleri biyoyıkayıcılar ile aynı koşullarda çalışır. Biyoyıkamanın aksine mikroorganizma popülasyonu destek öğeleri yani bir yatak malzemesi üzerinde tutunmuştur. Burada sıvı, inert dolgu maddesi ile teşkil edilmiş bir yataktan doluşturılarak geçirilmektedir.

Arıtma tesislerinde koku kontrolü kapsamında gerçekleştirilen arıtma işlemlerinin etkinliği işletme sırasında tutucu kayıt sistemi ile kayıt altına alınmalıdır. Saha kayıtları tutulmalı ve yapılan bütün kontroller kaydedilmelidir. Bunlar deney amacıyla yetkili otorite veya işletmeci tarafından toplanan bütün numunelerin ayrıntılarını içermeli ve bulunan analiz sonuçları da kaydedilmelidir. Şekil 14.6 damlatmalı filtreye örnek olarak verilmiştir.



Şekil 14.6. Damlatmalı Filtre

14.5. Biyolojik Koku Giderim Yöntemleri Tasarım Kriterleri

Biyofiltre sistemlerinde dikkat edilmesi gereken tasarım parametrelerinin başında atık gazın biyofiltredeki temas süresidir. Yeterli sürenin sağlandığı koşullarda, daha yüksek arıtma verimi gerçekleşecektir. Kabul gören temas süreleri biyofiltre yapısı (derinliği) ve atık gaz debisine de bağlı olmakla birlikte 30 ila 90 saniye arasında değişmektedir. Çok yavaş ayrışan endüstriyel proses atıkları için, belirli bir giderim verimini sağlamak üzere, gerekli temas süresi optimize edilmelidir. Biyofiltrelerde kontrolü gereken diğer bir parametre pH'dır. Nötr pH 6-7,5 mikrobiyal aktivitenin en yoğun olarak gerçekleştiği aralıktır. Biyofiltreler genellikle mezofilik mikroorganizmaların

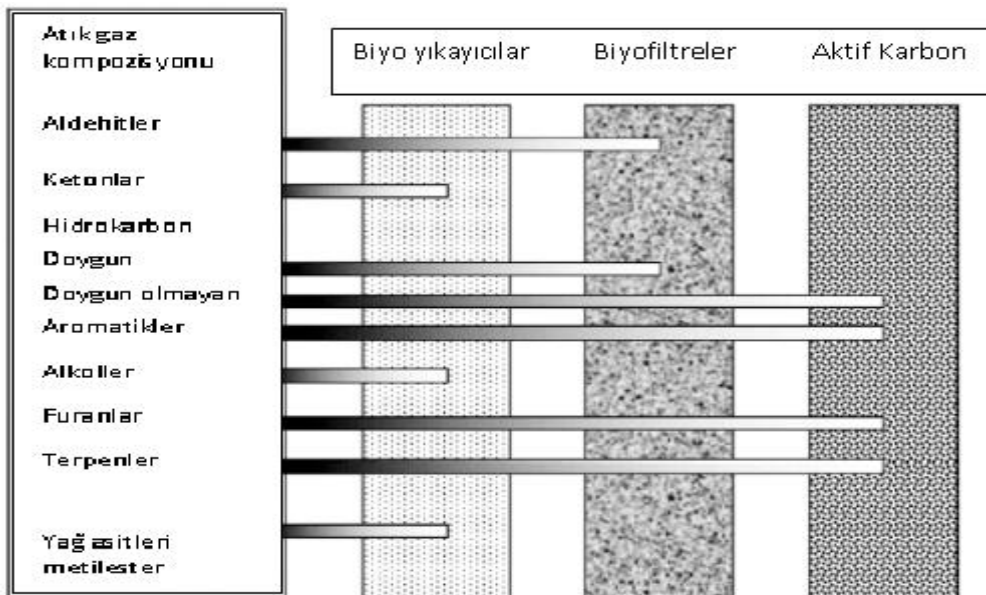
yaşamasına olanak tanıyacak şekilde işletilmektedir. Bu yüzden sıcaklık 15⁰-35⁰ derece arasında değişmektedir. Sistemlerin iyi işleyebilmesi için filtre yüzeyinin nem muhtevasının korunması gerekmektedir. Bu yüzden kuruyan bölgelere nemli hava verilerek havalandırma ve biyofiltreler için gerekli nem muhtevası (%40- %60) sağlanmalıdır (Easter, 2005). Biyofiltrelerde dikkat edilmesi gereken bir diğer kriter de H₂S konsantrasyonunun 15 ppm ve üstü olduğu durumlarda asitleşme riskidir. Biyofiltrelerdeki sızıntı suyu ve deşarj hatları paslanmaz çelik ya da yüksek yoğunluklu polietilen malzemeden yapılmalıdır. Sistemdeki deşarj hatları meteorolojik koşulların tüm etkilerini karşılayacak şekilde (yağmur, kar vb.) tasarlanmalıdır.

Biyoyıkayıcılar genel tasarım kriter bakımından ile biyofiltrelerle benzer olmakla beraber atık gaz akımlarının temas ettiği yüzeyin sıvı olmasından ötürü bazı farklılıklar söz konusudur. Atık gaz akımları içinde bulunan kirleticilerin sıvı içinde çözünabilir Henry sabitine sahip olmaları sistemin işleyişine etki eden en temel parametredir. İşletmelerde biyoyıkayıcı sistemler biyofiltre sistemleri ile birlikte de kullanılmakta ve biyo yıkayıcılar ile nemlendirme işlemi gerçekleştirilmektedir (Schlegelmilch v.d., 2005).

Bio damlatmalı filtre sistemlerinde filtre yüzeyi ile atık gaz temas süresi 30-60 saniye aralığında değişmektedir. Temel işletim parametreleri biyofiltre ve biyo yıkayıcılardakine benzer ölçütlere dayanmaktadır. Bu sistemlerde malzeme seçimi çok önemlidir. Sistemde kullanılan malzemeler:

- Büyük mikrobiyal çeşitliliği barındırabilecek nitelikte olmalı,
- pH aralığı korunabilmeli,
- Yüksek taşıma kapasitesine sahip olmalı,
- Fiziksel olarak kararlı/sağlam olmalı,
- Kirlilik yükü düşük bir sızıntı suyu oluşumuna katkıda bulunmalıdır.

UOM (VOC) arıtma sistemlerinin rölatif karşılaştırılması Şekil 14.7'de, koku giderim teknolojisi kompozisyonları Şekil 14.8'de verilmektedir.



Şekil 14.7. UOM (VOC) arıtma sistemlerinin rölatif karşılaştırılması (Schlegelmilch vd., 2005)

Tablo 14.3. Biyofiltre tasarım faktörleri (Metcalf&Eddy)

Madde	Birim	Biyofiltre	Biyodamlatmalı Filtre
<i>Oksijen kons.</i>	<i>Oksijen/okside gaz</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
<i>Nem</i>			
<i>Kompost filtre</i>	<i>%</i>	<i>50-65</i>	<i>50-65</i>
<i>Sentetik malzeme</i>	<i>%</i>	<i>55-65</i>	<i>55-65</i>
<i>Sıcaklık, optimum</i>	<i>°C</i>	<i>15-35</i>	<i>15-35</i>
<i>pH</i>	<i>Birimsiz</i>	<i>6-8</i>	<i>6-8</i>
<i>Atık gaz bekleme süresi</i>	<i>Saniye</i>	<i>30-60</i>	<i>30-60</i>
<i>Porozite</i>	<i>%</i>	<i>35-50</i>	<i>35-50</i>
<i>Filtre derinliği</i>	<i>Metre</i>	<i>1-1.25</i>	<i>1-1.25</i>
<i>Giriş kokulu atık gaz kons.</i>	<i>g/m³</i>	<i>0.01-0.5</i>	<i>0.01-0.5</i>
<i>Yüzeysel yükleme hızı</i>	<i>m³/m²saat</i>	<i>10-100^b</i>	<i>10-100^b</i>
<i>Hacimsel yükleme hızı</i>	<i>m³/m³saat</i>	<i>10-100</i>	<i>10-100</i>
<i>Sıvı uygulama hızı</i>	<i>m³/m²gün</i>		<i>0.75-1.25</i>
<i>Arıtma Kapasitesi</i>			
<i>H₂S(kompost filtrelerde)</i>	<i>g/m³ saat</i>	<i>80-130</i>	<i>80-130</i>
<i>Diğer kokulu bileşikler</i>	<i>g/m³ saat</i>	<i>20-100</i>	<i>20-100</i>
<i>Geri basınç (maks)</i>	<i>mm su</i>	<i>50-100</i>	<i>50-100</i>

b:Yükleme hızları 500 m³/m²saat olarak, kokulu maddenin konsantrasyonuna bağlı olarak belirlenmiştir.

Tablo 14.4. Dolgu malzemeli biyofiltrelerin tasarım ve işletilmesine etki eden faktörler

Faktörler	Hedef Değer	Etkileri
Oksijen konsantrasyon	Hava/koku oranı 100/1 v/v	Gaz akımındaki kokulu bileşiklerin mikrobiyolojik oksidasyonu için yeterli oksijen sağlanmalıdır.
Nem muhtevası	Toprak, %10-25 Kompost, %20-50 Turba, %40	Nem muhtevasının kontrolü gaz akımının kurutma etkisini önlemek için gerekir. Bu işlem ya su spreyleri ile dolgu malzemesi üzerine ya da taşıyıcı gaz akımında nem kontrolü yoluyla yapılır. Kuru malzeme kanallanmaya ve biyofilm teşekkülünün engellenmesine yol açmaktadır
Sıcaklık	Optimum, 37°C	Giriş gaz akımının sıcaklığı özellikle buharla nemlendirmek suretiyle ayarlanmalıdır. Biyolojik parçalanma da işi ürettiği ve böylece sıcaklığın yükselmesine yol açmaktadır. Biyofiltreler -2°C'de bile canlılıklarını sürdürmektedirler.
pH	Nötr	Mikroorganizmalar nötr veya nötre yakın pH'larda yaşarlar ama H ₂ S parçalandıkça sülfürik asit oluşmaktadır. Dolgu malzemelerinin tamponlama kapasiteleri uzun süre yeterli olmakta ise de yüksek H ₂ S içeren gaz akımlarında daha kısa sürede dolgu malzemelerinin yenilenmesi veya pH kontrolü için kireç ilavesi yapılmalıdır.
Koku bekleme süresi	Değişken (minimum 30 sn)	Süre kullanılan dolgu malzemesi ve kokulu maddelere bağlıdır. Kokulu hava akımı içindeki koku veren maddeler belirlenmeli ve ölçülmelidir. Bunlara bağlı olarak biyofiltre büyüklükleri ve bileşenlerin parçalanabilmesi için ortalama bekletme süreleri belirlenmelidir.
Basınç düşmesi	-	Dolgu malzemesinin porozitesi değişkendir, nem oranı ve yerleştirme şekli kokulu gazların biyofiltreden geçmesi için gerekli basıncı belirler.

Tablo 14.5. Askıda büyüyen koku kontrol sistemlerinin verimleri

Besi Maddesi	Reaktör tipi	Giderme Verimi	Yükleme Oranı	Mikroorganizma	Kaynaklar
H_2S	Aktif Çamur	99	<15	Karışık Kültür	Fukuyama vd., 1979
$(CH_3)_2S$	Aktif Çamur	99	<9	Karışık Kültür	Fukuyama vd., 1979
Trimetilamin	Aktif Çamur	99	168	Karışık Kültür	Fukuyama vd., 1980
Monoetilamin	Aktif Çamur	99	192	Karışık Kültür	Fukuyama vd., 1980
N-bütanol(n-BA)	Aktif Çamur	-	130	Karışık Kültür	Fukuyama vd., 1981
İzoproponal (I-PA)	Aktif Çamur	99.5	94	Karışık Kültür	Fukuyama vd., 1981
BTEX	Aktif Çamur	>99	15-17 BTEX/L gün	Karışık Kültür	Bielefeldt vd, 1997
H_2S	Aktif Çamur	83		Karışık Kültür	Stillwell vd, 1994
H_2S	Aktif Çamur	96	7	Karışık Kültür	Fukuyama vd., 1986
H_2S	Aktif Çamur	95	15	Karışık Kültür	Fukuyama vd., 1986
Dimetil sülfid	Aktif Çamur	35	0.20 $\mu L/L$, $Al^b=30$ $m^3/m^3/saat$	Karışık Kültür	Fukuyama vd., 1986
Karbon disülfid	Aktif Çamur	33.9	0.059 $\mu L/L$, $Al = 30$ $m^3/m^3/saat$	Karışık Kültür	Fukuyama vd., 1986
Amonyum	Aktif Çamur	96		Karışık Kültür	Kasakura ve Tatsukawa, 1995
H_2S	Aktif Çamur	99		Karışık Kültür	Kasakura ve Tatsukawa, 1995
Metilmerkaptan	Aktif Çamur	99		Karışık Kültür	Kasakura ve Tatsukawa, 1995
Metil disülfid	Aktif Çamur	98		Karışık Kültür	Kasakura ve Tatsukawa, 1995
Karışık Gaz	Aktif Çamur Havuzu, Kimyasal madde üretimi	92.6-93.7		Karışık Kültür	Oppelt vd.,1999
H_2S	Biyo sıyırıcılar	99	2000 ppm	Karışık Kültür	Nisimura ve Yoda, 1997
H_2S (anoksik)	Askıdaki biyokütle		5.4-7.6 m mol H_2S / saat g biyokütle	T.denitrifikanlar	Sublette vd., 1998
H_2S (aerobik)	Askıdaki biyokütle		15.1-20.9 m mol H_2S / saat g biyokütle	T.denitrifikanlar	Sublette vd., 1998
H_2S	Askıdaki biyokütle	100	2.9 g kuru hücre/gün	Tiobasillus tioparus	Kanagawa ve Mikami, 1989
H_2S	Askıdaki biyokütle	99.9		Klorobium limikolo forma, tiosülfatofilum	Cork vd., 1983

Tablo 14.6. Lift istasyonu ve havalandırma tankı uçucu organik madde emisyon dataları

Madde	Lift istasyonu yüzeyi hava konsantrasyonu		Havalandırma tankı yüzey havası		
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		Ortalama kons $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Standart sapma	Rölatif std. sapma(%)
Benzen	315		20	7,9	39,5
Kloroetan	912		81	40,4	49,9
Kloroform	596		84	19,4	23,0
Etilbenzen	1589		14	12,5	87,0
Hekzan	20059		3815	2917,9	76,5
Toluen	11106		121	167,5	138,3
Trimetilbenzen	4097		30	32,5	110,7
Vinilasetat	82308		45	40,7	89,4
Ksilen	4325		17	12,7	74,7
o-ksilen	9708		21	20	95,5

Tablo 14.7. Biyoreaktörlerde UOM ve koku giderim performansları karşılaştırılması

Biyoreaktör Tipi	Hedef UOM ve Koku Kons.	Aritma verimleri					Kesikli besleme	Basınç kayıpları	İnşaat Yatırımı	İşletme maliyeti	Biyoproses kontrolü
		Düşük kons UOM ve koku	Yüksek kons UOM ve koku	Suda yüksek çözünen UOM	Suda az çözünen UOM						
Biyofiltre	<1	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Biyodamlatmalı filtre	<0.5	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Biyoyıkayıcı	< 5	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek	Çok Düşük	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek
Membran reaktör	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Uzun süreli gözlem gerektirir	Uzun süreli gözlem gerektirir	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Uzun süreli gözlem gerektirir

Tablo 14.8. Biyoreaktör tasarımında kritik biyoproses kontrol parametreleri

Tip	Nem	Nutrient/pH	Tıkanma	Geçici Tepki	Hava oluklanması	İşletmeye alma
Biyofiltre	Çok Hassas	Çok Hassas	Hassas	Hassas	Çok Hassas	Hassas
Biyodamlatmalı filtre	Hassas değil	Hassas değil	Çok Hassas	Çok Hassas	Hassas	Hassas
Döner diskler	Hassas değil	Hassas değil	Hassas değil	Çok Hassas	Hassas değil	Çok Hassas
Biyoyıkayıcılar	Hassas değil	Hassas değil	Hassas değil	Çok Hassas	Hassas değil	Çok Hassas
Askıda büyüyen sistemler	Hassas değil	Hassas değil	Hassas	Hassas	Hassas değil	Hassas
Membran reaktörler	Hassas değil	Hassas değil	Çok Hassas	Hassas	Hassas değil	Çok Hassas

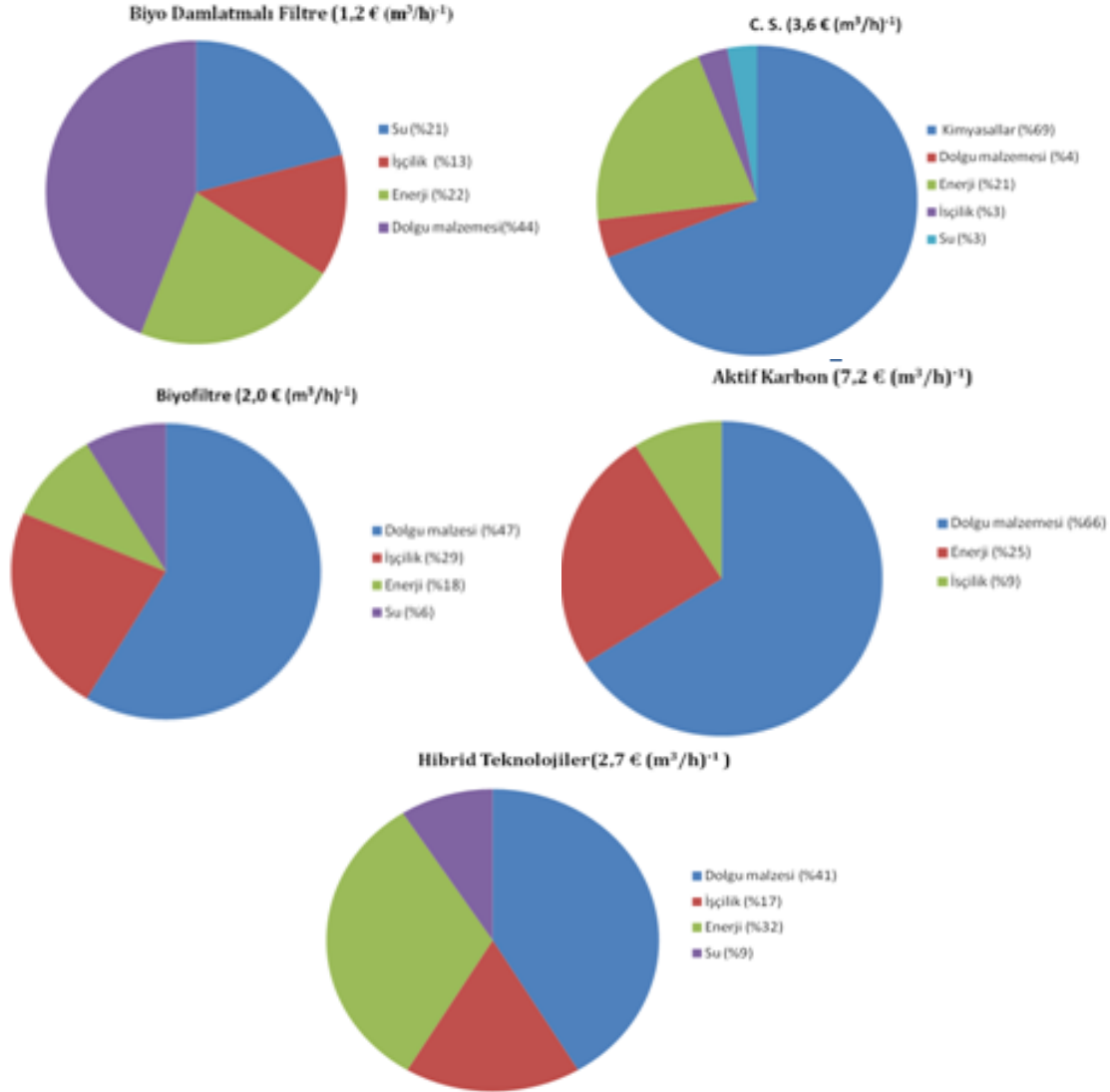
Tablo 14.9. Uçucu organik asit ve koku arıtımı için membran biyoreaktör uygulaması

Kirletici (gm^{-3})	Membran	Yük ($gm^{-3}h^{-1}$)	EC ($gm^{-3}h^{-1}$)	İşletme (gün)	Gaz HRT (sn)	Akış ($mg m^{-2} h^{-1}$)	Kaynaklar
<i>Ksilol (0,1-0,6)</i>	<i>HF silikon kauçuk</i>	<i>1,8-8,1</i>	<i>1,8-7,9</i>	<i>n.r^a</i>	<i>2,5-14</i>	<i>67-302</i>	<i>Baurie vd., (1986)</i>
<i>Bütanol (0,1-0,5)</i>		<i>1,8-7,3</i>	<i>1,3-5,4</i>			<i>48-207</i>	<i>Weckuysen vd. (1993)</i>
<i>DCM (0,2-0,49)</i>		<i>2,4-11</i>	<i>1-4</i>			<i>37-151</i>	
<i>Toluen (0,38)</i>	<i>HF poliporus pp</i>	<i>2-31</i>	<i>33-1500</i>	<i>~90</i>	<i>0,9-6,3</i>	<i>13-180</i>	<i>Ergas and McGrath (1997)</i>
<i>Toluen (0,7-3,4)</i>	<i>HF poliporus pp</i>	<i>23-121</i>	<i>16-43</i>	<i>>20</i>	<i>0,9-1,8</i>	<i>15-35</i>	<i>Ergas vd. (1999)</i>
<i>Azot oksit (0,1)</i>	<i>HF poliporus pp</i>	<i>1,3</i>	<i>0,1-0,9</i>	<i>105</i>	<i>1,9</i>	<i>3-8</i>	<i>Min vd. (2002)</i>
<i>DCM (0,65)</i>	<i>Spiral silikon kauçuk</i>	<i>14-35</i>	<i>12-28</i>	<i>11</i>	<i>n.r^a</i>	<i>25-55</i>	<i>Freitas dos Santos vd. (1995)</i>
<i>Metan, sıvıdaki TCE (264)</i>	<i>Silikon kauçuk borulama</i>	<i>n.a^b</i>	<i>12</i>	<i>~120</i>	<i>n.a^b</i>	<i>130</i>	<i>Clapp vd. (1999)</i>
<i>Dimetil sülfid (0,036-1,81)</i>	<i>Düz kompozit silikon Polisülfon kauçuk</i>	<i>5-270</i>	<i>5-200</i>	<i>79</i>	<i>8-24</i>		<i>De Bo (2003)</i>
<i>Toluen (0,75-1,5)</i>	<i>HF poliporus polisülfon, iki seri</i>	<i>n.r^a</i>	<i>n.r^a</i>	<i>>140</i>	<i>16 ya da 32</i>	<i>80</i>	<i>Parvatiyar vd (1996)</i>
<i>Metanol (0,01-2,6)</i>	<i>Kompozit silikon</i>	<i>36</i>	<i>25</i>	<i>n.r^a</i>	<i>n.r^a</i>	<i>420</i>	<i>Resier vd (1994)</i>
<i>Toluen (0,03-4,2)</i>	<i>Kauçuk</i>	<i>58</i>	<i>40</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>670</i>	
<i>Hekzan (0,03-2,4)</i>		<i>33</i>	<i>24</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>400</i>	
<i>Ksilol (0,1-0,6)</i>	<i>Kompozit silikon</i>	<i>600</i>	<i>360</i>	<i>52</i>	<i>43-15</i>	<i>170</i>	<i>Attaway vd (2001)</i>
<i>BBTEX (7,7-15,4)</i>	<i>Kauçuk</i>						
<i>BTEX (2,2-9,8)</i>	<i>HF poliporus pp</i>	<i>118</i>	<i>105</i>	<i>20</i>	<i>8-16</i>	<i>312</i>	<i>Attaway vd (2002)</i>
<i>DCM (0,16)</i>	<i>Düz poliporus pp</i>	<i>180</i>	<i>80</i>	<i><1</i>	<i>1,6-9,6</i>	<i>320</i>	<i>Hartmans vd(1992)</i>
<i>Toluen (0,075)</i>	<i>Düz kompozit</i>	<i>84</i>	<i>29</i>			<i>117</i>	<i>De Bo vd (2002)</i>
<i>Toluen (0,004-3,18)</i>	<i>PVDF üstü silikon kauçuk</i>	<i>32-470</i>	<i>30-395</i>	<i>339</i>	<i>2-24</i>	<i>790</i>	
<i>Toluen (0-0,97)</i>	<i>Düz kompozit, PVDF üstü silikon kauçuk</i>	<i>0-170</i>	<i>0-170</i>	<i>20</i>	<i>24</i>		<i>De Bo vd (2002)</i>
<i>TCE (0,04)</i>	<i>Düz kompozit, silikon kauçuk</i>	<i>6</i>	<i>0-6</i>				<i>De Bo vd (2002)</i>
<i>Dimetil sülfid (0,011-1,63)</i>	<i>PVDF üstü</i>	<i>5-170</i>	<i>5-130</i>	<i>20-144</i>	<i>4-24</i>		
<i>Toluen (0,5-0,75)</i>	<i>HF poliporus pp</i>	<i>16-96</i>	<i>32-72</i>	<i>>8</i>	<i>1.8-7.2</i>	<i>6-60</i>	<i>Dolasa ve Ergas (2000)</i>
<i>TCE (0,04-0,2)</i>		<i>3-9</i>	<i>0-6</i>		<i>3.6-7.2</i>	<i>0-5</i>	<i>Dolasa ve Ergas (2000)</i>
<i>Bütanol (0,6-2,3)</i>	<i>HF poliporus polisülfon</i>	<i>13-26</i>	<i>3,8-13</i>	<i>105</i>	<i>1.6 ve 2.9</i>	<i>13-326</i>	<i>Fitch ve England (2002)</i>
<i>TCE (0,13-0,21)</i>	<i>HF poliporus pp</i>	<i>0,03-0,1</i>	<i>0,01-0,06</i>	<i>21</i>	<i>96-300</i>	<i>0.06-2</i>	<i>Pressmann vd. (2006)</i>
<i>Benzen (0,1)</i>	<i>HF poliporus pp</i>	<i>7-60</i>	<i>4,8-58</i>	<i>100</i>	<i>0.17-1.4</i>	<i>4.2-20.4</i>	<i>Ftich vd. (2003)</i>
<i>Benzen (0,1)</i>	<i>Lateks kauçuk hortum</i>	<i>7-28</i>	<i>25-18</i>	<i>40</i>	<i>0.55-1.4</i>	<i>670-2700</i>	<i>Fitch ve England (2002)</i>
<i>Sikloheksan</i>	<i>Çift tüp silikon kauçuk</i>	<i>395-2189</i>	<i>47-947</i>	<i>40</i>		<i>29-597</i>	<i>Robert vd. (2006)</i>
<i>DMS</i>	<i>Termofilik membran</i>	<i>64</i>	<i>54</i>	<i>270</i>	<i>24</i>	<i>128</i>	<i>Munkhtsetseg vd. (2008)</i>
<i>Toluen</i>	<i>Kompozit porlu PAN</i>	<i>0,72</i>	<i>0,6</i>	<i>165</i>	<i>2-24</i>		<i>Kumar vd. (2008)</i>
<i>Sikloheksan</i>	<i>Çift tüp silikon kauçuk</i>	<i>46,7</i>	<i>947</i>	<i>46,7</i>	<i>40</i>	<i>1764-35760</i>	<i>Robert vd. (2006)</i>

Tablo 14.10. Beş hedef koku arıtma teknolojisi için dayanıklılık kriterleri puanlaması

Arıza	Teknoloji Muhtemel Nedeni	BF			BDF			CS			AK			Hibrit			Önerilen Çözüm
		p	E	p.E	p	E	p.E	p	E	p.E	p	E	p.E	p	E	p.E	
Su Temini Arızası	Kaynak ya da resirkülasyon pompalarının bozulması. Kontrolün bozulması (valfler vb.) Hava giriş koşullarının değişmesi (sıcaklık, nem vb.)	4	-3	-12	3	-3	-9	3	-4	-12	1	-1	-1	3	-1	-3	Pompaları stand-by konumuna al/Su teminini ve parçaları yedekle/akış ve seviye alarmları
Elektrik Kaynağı Kesintisi	Güç kesintisi	2	-2	-4	2	-3	-6	2	-3	-6	2	-1	-2	2	-1	-2	Yedekleme/Alarmlar
Kimyasal Dozlama Arızası	Pompa ya da kontrol noktalarının arızası Kimyasal tanklarının boş olması	1	-1	-1	1	-1	-1	2	-4	-8	1	-1	-1	1	-1	-1	Pompaları stand-by konumuna al/ parçaları yedekle/akış ve seviye alarmları
Kirli Hava Kaynağı Kesintisi	Fan arızası. Boşaltım kanallarının tıkanması. Üretimin durması	2	-2	-4	2	-2	-4	2	-1	-2	2	-1	-2	2	-1	-2	Fanları stand-by konumuna al/ akış ve seviye alarmları
Giriş Konsantrasyonlarındaki Değişkenlik	Değişken ya da kesikli üretim. Günlük ya da mevsimlik değişim. Üretimin durması.	4	-2	-8	4	-2	-8	4	-2	-8	4	-1	-4	4	-1	-4	Kaynaklardan gelen kirli havayı birleştir/sürekli kirletici tespiti alarmları
Giriş Sıcaklığındaki Değişkenlik	Değişken ya da kesikli üretim. Günlük ya da mevsimlik değişim. Üretimin durması.	3	-2	-6	3	-1	-3	3	-1	-3	3	-1	-3	3	-1	-3	Kaynaklardan gelen kirli havayı birleştir/sürekli sıcaklık alarmları
Performans Gücü	(R)	-35			-31			-39			-13			-15			

Olasılık (p): 1: Muhtemel değil, 2. Düşük, 3. Orta, 4. Muhtemel, 5. Sıklıkla (olacağı kesin) Etki (E): 1. Önemsiz, 2. Marjinal, 3. Orta, 4. Kritik 5. Felaket
F: Biyofiltre BDF: Biyo Damlatmalı Filtre KY : Kimyasal Yıkayıcı AK: Aktif Karbon



Şekil 14.8. Koku Giderim Teknolojisi Kompozisyonları

14.6. Koku Şikayetlerinin Yönetimi

Atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi sırasında tesise yakın çevrelerdeki yerleşim yerlerinde koku rahatsızlığına ve koku şikayetlerine neden olduğu bilinmektedir. Kokuya Sebep Olan Emisyonların Kontrolü Yönetmeliği (ÇOB, 2010), koku şikayetleri için şikayete konu olan tesis çevresinde koku rahatsızlığının ölçülmesi ve koku modellemesi yardımıyla muhtemel etkilenen alanların belirlenmesini ve koku rahatsızlığının giderilmesi için gerekli tedbirlerin tesis ilgililerince alınmasını öngörmektedir.

Civarda istenmeyen bir koku probleminin çözümünde iyileştirici önlemler tasarlanırken, kokunun nasıl meydana geldiği, nereden yayıldığı ve önemli koku kaynaklarına ait koku emisyon hızları mümkünse kapsamlı olarak araştırılmalıdır. Belirli bileşik analizleri ve sıvı akımlarındaki koku problemlerinin ölçümü kokuların nerelerde oluştuğunu gösterir. Hava numunelerindeki belirli bileşiklerin analizi, önemli koku yayılma noktalarının

belirlenmesinde yardımcı olabilir. Arıtma tesisi içerisinde ve yakınında hidrojen sülfür konsantrasyonlarının bir haritasının hazırlanması çok faydalı olabilir. Koku yayma hızlarını ölçme teknikleri için Bölüm 14.8'e başvurulmalıdır.

Koku konsantrasyonu, standart şartlarda bir metre küp gaz içerisindeki Avrupa Koku Birimi'nin sayısal değeridir. Koku derişiminin sembolü cod 'dir ve birimi ouE/m^3 'tür (EN 13725). Koku derişiminin değeri, tespit eşiğine ulaşması için gereken derişim faktörüdür. Tespit eşiğinde, karışımın koku derişimi tarif gereği $1 ouE/m^3$ 'tür. Örneğin tespit eşiğine ulaşması için numunenin 300 faktör seyreltildiği durumda numunenin koku derişimi $cod=300 ouE/m^3$ 'tür.

Koku verici maddenin akış hızı (qod), koku verici maddelerin belirli bir alandan birim zamanda geçen koku verici maddelerin miktarı olarak tanımlanır. Bu hız koku konsantrasyonunun (cod) çıkış hızı (v) ile çıkış alanının (A) veya koku konsantrasyonu (cod) ile ilgili akış debisinin (V) çarpımıdır. Birimi ouE/h , ouE/min veya ouE/s 'dir.

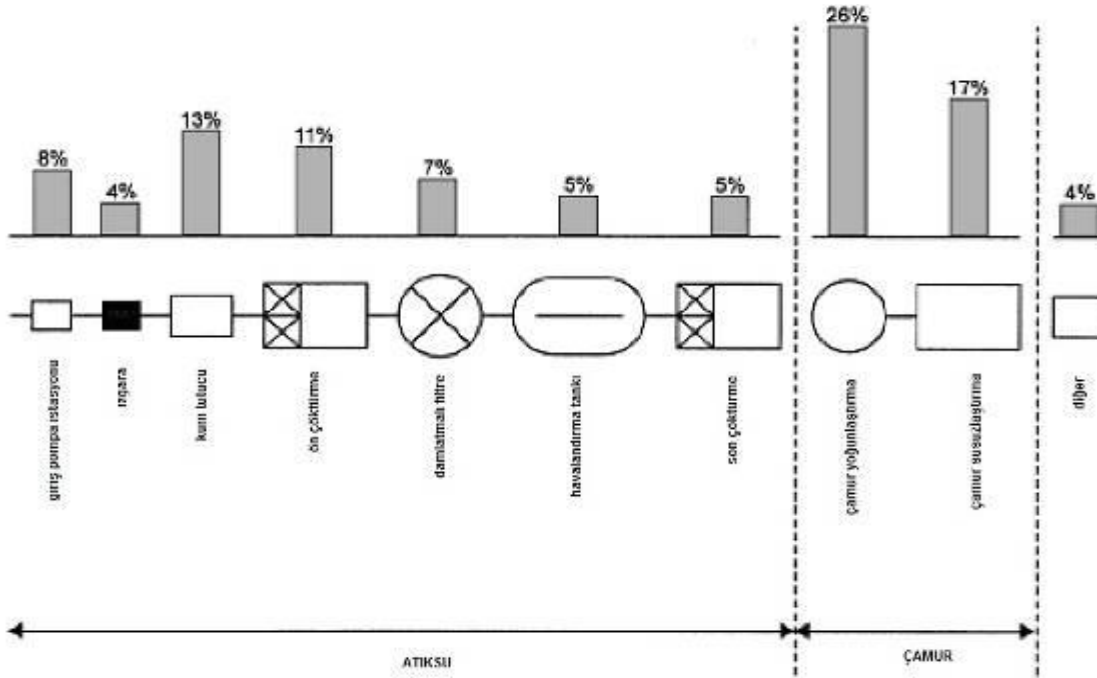
Koku yaymalarına rağmen, havalandırılmamış atıksu veya çamur yüzeyleri gibi yayılı kaynakların belirli bir atık hava akışı yoktur. Bu gibi durumlarda EN 13725'te belirtilen özel numune alma işlemlerinin uygulanması gerekmektedir.

Koku verici madde akış hızı, bir kaynağın etkisinin modelinin oluşturulmasında, kütle akış hızlarına benzer bir şekilde kullanılabilir. Bütün koku kaynakları, hava akışının bulunmadığı yerlerde bile bir koku verici madde akış hızına sahiptir.

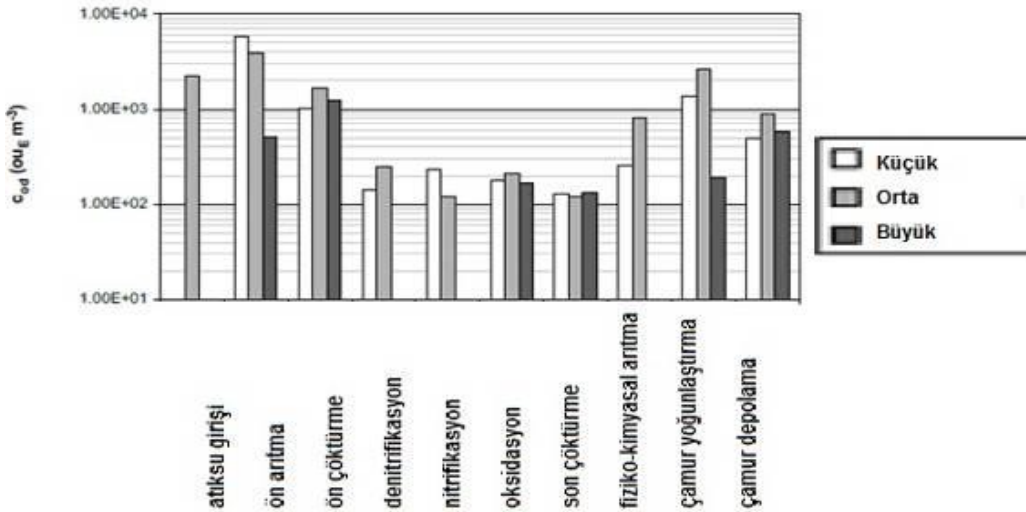
Koku emisyonlarının belirlenmesinde literatürdeki bazı çalışmalardan yararlanılabilir. Arıtma tesislerindeki üniteler ve rölatif olarak koku emisyonu üzerindeki payları Şekil 14.9'da verilmiştir (Gostelow, 2001).

Arıtma tesisi ünitelerinden kaynaklanan koku emisyonlarının koku birimi cinsinden emisyonları küçük, orta ve büyük ölçekli arıtma tesisleri için Şekil 14.10'da verilmiştir.

Koku debisi hesaplanmasında Bölüm 14.8'de verilen yaklaşımlar kullanılabilir.



Şekil 14.9. Atıksu arıtma tesislerinde yer alan üniteler ve bu ünitelerin koku emisyonlarındaki payları (Gostelow, 2001).



Şekil 14.10. Arıtma tesisi kapasitesine göre koku birimi cinsinden emisyonlar (Gostelow, 2001).

14.7. Koku Potansiyeli ve Koku Yayma Kapasitesi

Herhangi bir koku yayan sıvının tespit edilmesi ve bunun potansiyel miktarının tayini için iki yöntem referans olarak verilebilir. Bu yöntemler değişik sıvıların özellikleri hakkında önemli ipuçları verir ve atıksu ve çamur arıtımı esnasında koku yaymaları yönünden davranışların tayinine yardım edebilir.

Sıvı numunenin koku potansiyeli, sıvı numune ile dengeye getirilen havanın koku derişimi olarak tarif edilir ve birimi koku derişimiyle aynı birimdir, ouE/m^3 .

Koku yayma kapasitesi bir sıvıdan yayılan bütün kokular olarak tarif edilir ve sıvıdaki kokuların hafif bir koku kalıncaya kadar alınıp, alınan koku birimlerinin toplanmasıyla hesaplanır, birimi ouE/m^3 tür.

14.8. Koku Yayma Hızının Ölçülmesi

Bacalar, havalandırma delikleri veya kapalı bölümlerden hava tahliye çıkışları gibi akış hızlarının belirlenebildiği yerlerde, koku yayma hızı, akış hızı ve koku derişiminin ayrı ayrı ölçülmesiyle hesaplanabilir.

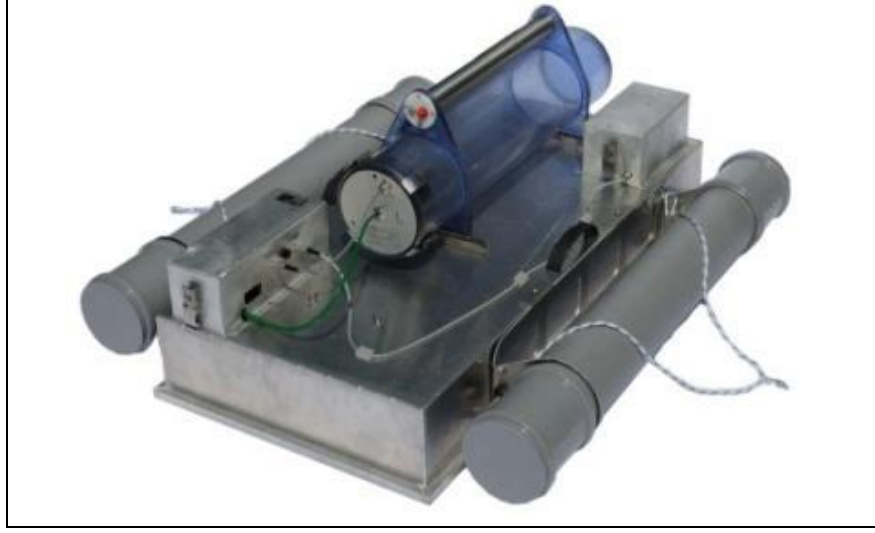
Bu tür ayrıştırımların mümkün olmadığı durumlarda, koku yayma hızını tespit etmek için dolaylı yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemler aşağıda verilmiştir:

a) Yüzer baca veya Lindvall kutusu

Bir tankın içindeki su yüzeyinden oluşan koku yayma hızı, yüzer bir baca veya Lindvall kutusu kullanılarak ölçülebilir. Altı açık olan yüzer kutunun bir ucuna doğru, belirli akım hızında hava üflemek için bir fan kullanılır. Tipik olarak 0,5 m/s ile 1 m/s arasında bir hızla suyun yüzeyi boyunca hareket eden hava, kutunun içerisine girerek diğer uçta toplanır. Toplanan bu havadan, olfaktometri yoluyla koku derişiminin tayini için numune alınır. Koku derişimi ile akış debisinin çarpımı, yüzer bacadan veya Lindvall kutusundan koku yayma hızını verir. Daha sonra, kutudan çıkan koku yayma hızının tankın yüzey alanı ile çarpımının, Lindval kutusunun kapladığı alana bölünmesi ile tank yüzeyinden kaynaklanan koku yayma hızı hesaplanır (Şekil 14.11).

Avantajlar: Göreceli olarak ucuz ve kolay bir ölçmedir. Bu teknik, kirli zeminlerden veya yığın halde depolanmış çamur topaklarından kaynaklanan yayılmaları hesaplamak için de kullanılabilir.

Dezavantajlar: Yüzer kutu tanktaki akım şekillerine girişim yapar. Bunun koku yayılımını etkilediği bilinmektedir. Bu tür hesaplamalarda elde edilen değerlerin çöktürme tanklarındaki koku yayma hızlarına eşit olduğu düşünülse bile bu tanklarda savaklardan ve akış kanallarından kaynaklanan koku yayılımlarının baskın olduğu bilinmektedir.



Şekil 14.11. Durgun Yüzeylerden koku emisyonunu ölçmeye yarayan sistem (Odournet, 2012)

b) Mikro meteorolojik yaklaşım

Bu yaklaşımda bir parametrenin ölçümü gerekir. Bu durumda koku derişimini ölçmek için geniş yüzey alanına sahip kaynağa dik olarak veya kaynaktan itibaren rüzgâr yönünde, artan aralıklarla bir dizi hava numunesi alınır. Bu değerleri rüzgâr hızı (değişik yüksekliklerde), sıcaklık profilleri ve güneşten olan enerji girdisi (veya bunları kararlılık sınıflarına gruplayarak) gibi yerel meteorolojik parametrelerle birleştirerek, gözlemlenen koku derişimlerinden etkin bir geri hesaplama yoluyla kaynağın olması gereken koku yayma hızını hesaplamayı sağlayan bir dağılım modeli kullanılabilir. Almanya 'da bu ölçüm, "plume ölçümü" olarak adlandırılır, bu işlemde numuneler olfaktometre için toplanmış olsalar bile alanı kontrol etmek ve yerinde gözlemler yapmak için bir deney çalışma programına ihtiyaç duyulur.

Avantajlar: Bu yaklaşım çöktürme tankları gibi bileşik koku kaynaklarının tümünde tam sağlıklı bir hesaplama değeri verecektir. Başka herhangi bir yöntemle ölçmenin hemen hemen imkânsız olduğu, su kanalları ve yan savaklar gibi yerler için de tahminî bir değer sağlayabilir.

Dezavantajlar: Maliyet, yakın kaynaklardan girişim; özellikle geniş alanlı kaynaklarda, koku düzeyi hızla kolay ölçme sınırının altına düşer.

c) Rüzgâr tüneli çalışmalarından ekstrapolasyon

İşlemin üzerinin kapatıldığı durumda, koku yayma hızını doğrudan ölçmek kolay olur. Kapalı işlemlerdeki çalışmalarda, değişik koşullar altındaki rüzgâr hızına, sıvı akımına göre koku yayma hızı ölçülebilir ve işlem akımındaki işlem boyutları ile koku potansiyelinin etkisi araştırılabilir. Sonuçlar tam ölçekli işlemler ekstrapolasyonla aktarılabilir. Rüzgâr tüneli çalışmalarından elde edilen bağıntılar kullanılarak, işlem boyutlarından, sıvı akış hızlarından, rüzgâr hızlarından ve tahmin edilen veya tercihen doğrudan ölçülen işlem

akımının koku potansiyeli değerinden, koku yayma hızlarına ait tahminler yapılabilir.

Avantajlar: Özgün çalışma yapılması durumunda, uygulanabilirlik, koku yayma hızları, çeşitli işlem ve hava koşulları için maliyet hesaplanabilir. İşlem akımında koku seviyelerinin azaltılması, işlem parametrelerinin değiştirilmesi veya işlemin üzerinin kapatılması ve toplanan havanın arıtılması gibi değişik sınıflardaki azaltma önlemlerinin faydaları ortak bir zeminde değerlendirilebilir.

Dezavantajlar: Dolaylı bir ölçme olması nedeniyle, her saha için ayrı bir kalibrasyon gerekebilir.

d) Modelleme

Modelleme, koku rahatsızlığının tesis çevresinde etkileme alanının belirlenmesinde yararlı bir tekniktir. Bu amaçla ISC (Industrial Source Complex) ve diğer dispersiyon modelleri kullanılabilir. Bu tür modeller yardımıyla koku yönetmeliğinde ön görülen 10 dakika zaman ortalamalı koku konsantrasyonlarının dağılımı elde edilebilir. Şekil 14.12’de tesis çevresinde koku konsantrasyonunun 1,2,5 ve 10 olarak belirlenen noktaların birleştirilmesi ile oluşan eş konsantrasyon eğrileri görülmektedir.

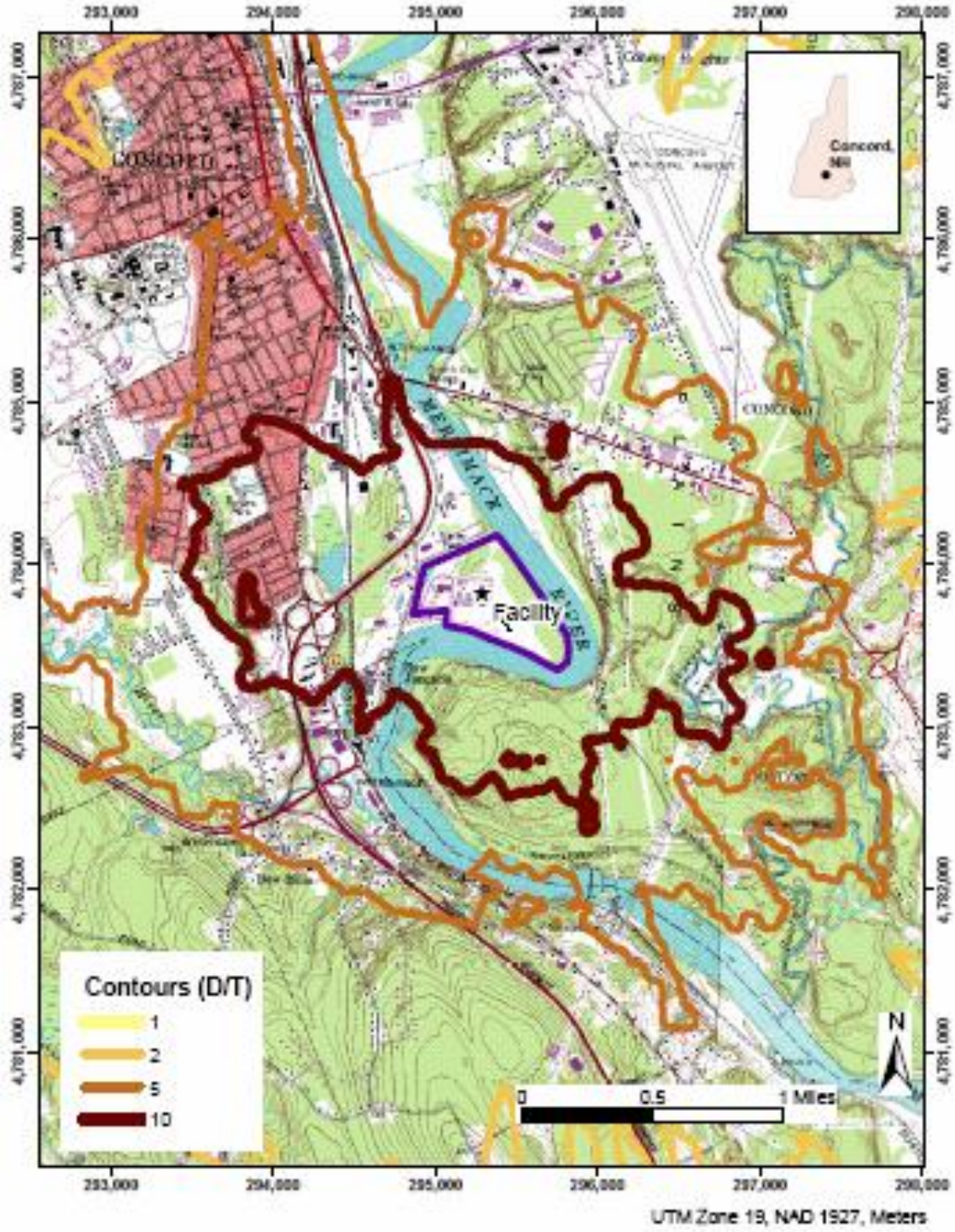
Model sonuçlarına göre koku rahatsızlığının önüne geçilebilmesi için kaynakta ne oranda azaltma yapılması gerektiği anlaşılabilir ve buna yönelik kontrol önlemleri belirlenebilir. Koku kaynağında alınacak tedbirlerle koku emisyonundaki azalmaya bağlı olarak model yeni durumda çevrede koku rahatsızlığına rastlanılabilecek yerlerin belirlenmesinde yararlıdır.

Amerika Birleşik Devletlerinin değişik eyaletlerinde aşılmaması gereken koku konsantrasyonları için benimsenen değerler Tablo 14.11’de verilmiştir (Marcus, 2012). Arıtma tesislerinde en önemli koku bileşeninin hidrojen sülfür olduğu kabulüyle hidrojen sülfür emisyonuna bağlı olarak koku kaynağından uzaklığa göre çevre havasındaki koku konsantrasyonunun değişimi teorik olarak Şekil 14.13’de verilmiştir. Örnek olarak 1 g/s H₂S emisyon hızı için “asılmaması gereken” 3 koku birimi H₂S konsantrasyonu kaynaktan yaklaşık 300 ft veya 150 m ötede gerçekleşecektir.

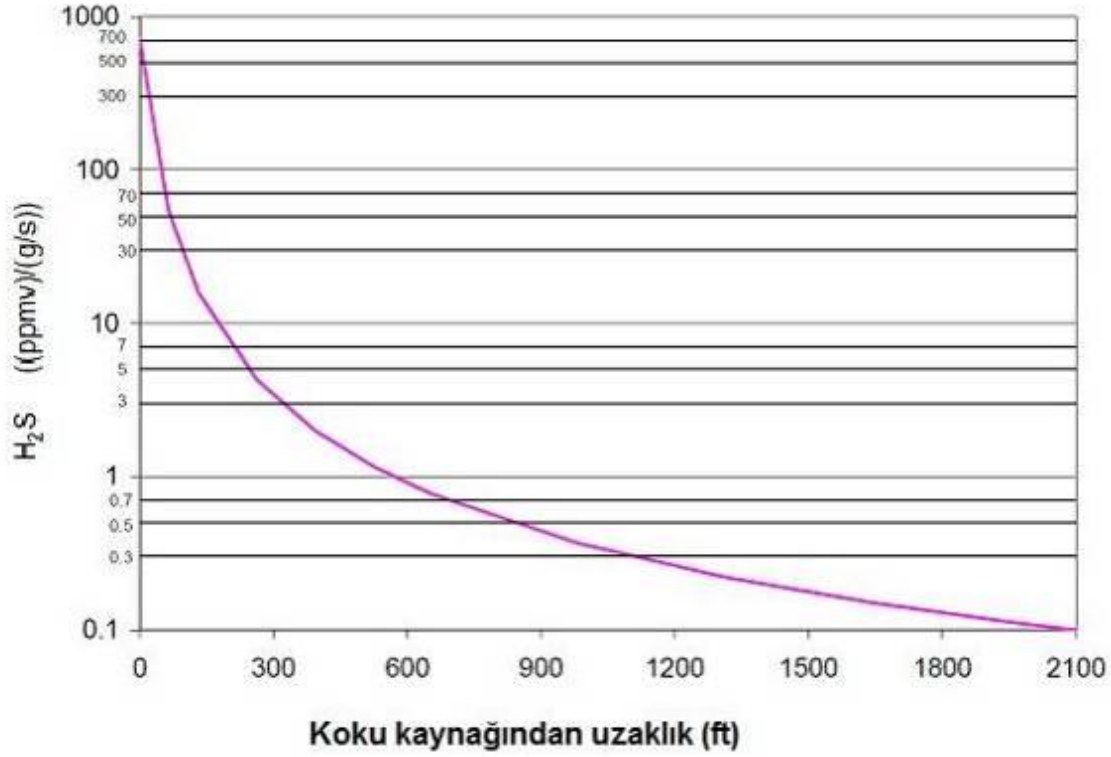
Tablo 14.11 ABD’de koku limitleri

Eyalet	Koku ile limitler
California	Eyalet genelinde uygulanan bir yönetmelik yoktur, AAT’lerde 5 S/E sınırı öngörülmüştür
San Diego Atıksu Arıtma Tesisi	5 S/E limit, 5 dakika aralıklı ölçümler için
Colorado	7 S/E limit değeri, 1 saatte yapılacak 2 adet ölçüm için
Connecticut	7 S/E limit değeri, 1 saatte yapılacak 3 adet ölçüm için
Florida	Bir limit değeri öngörülmemiştir.
Illinois	Bir limit değeri öngörülmemiştir
Massachusetts	5 S/E limit değeri
New Jersey	Reseptörde limit değeri 5 S/E
Oregon	1 ile 2 S/E limit değeri, 15 dakika aralıklı ölçümler için
North Carolina	4 S/E limit değeri (tesis dışı alanlarda 30 sn aralıklı ölçüm için)
Washington	5 S/E limit, 5 dakika aralıklı ölçümler için (Seattle AAT)

*S/E : Seyreltme/ Eşik Seviye



Şekil 14.12. Bir atıksu arıtma tesisi çevresinde koku emisyonlarının yayılımı (Env. Expert, 2012)



Şekil 14.13. g/s başına H₂S emisyonlarına karşılık en kötü durumda koku kaynağından uzaklığa göre yer seviyesinde oluşacak H₂S konsantrasyonları

14.9. Kaynaklar

(Env. Expert, 2012) <http://www.environmental-expert.com/Files/5306/articles/12154/351.pdf>

(Marcus, 2012). <http://www.ci.san-marcos.tx.us/modules/showdocument.aspx?documentid=693>

ÇOB (2010). Kokuya Sebep Olan Emisyonların Kontrolü Yönetmeliği, TC Çevre ve Orman Bakanlığı (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı), Resmi Gazete Tarih: 04.09.2010, Sayı: 27692.

DIN EN 12255-9 – April 2002, Odor Control and Ventilation

Easter, C., Quigley, C., Burrowes, P., Witherspoon, J., Aggar, D., (2005) "Odor and air emissions control using biotechnology for both collection and wastewater treatment system"; Chemical Engineering Journal 113,p 93-104

Gostelow P., Parsons S.A. & Stuetz R.M. ,2001, Odour Measurements for Sewage Treatment Works, Water Research, Vol: 35, No: 3.

Malhautier, L., Lalanne, F., Fanlo J-L., (2009). Bioscrubbing as a treatment for a complex mixture of volatile organic compounds: influence of the absorption column characteristics on performance. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36, 1926–1934.

Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering, Disposal and Reuse*, Mc Graw Hill Publishing.

Mudliar, S., Giri, B., Padoley, K., Satpute, D., Dixit, R., Bhatt, P., Pandey, R., Juwarkar, (2010)“ Bioreactors for treatment of VOC’s and Odors ”

Odournet, 2012. <http://www.odournet.com/instruments/olfactometer/odournet-to-series/register-for-productcatalog>

Schlegelmilch, M., Streese, J., Stegmann, R., 2005b. Odour Management and Treatment Technologies: An Overview. *Waste Management* 25.

Shareefdeen, Z., Singh, A., 2005. *Biotechnology for Odor and Air Pollution Control*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

TSE EN 12255-9 – Nisan 2006, Atıksu Arıtma Tesisleri Koku Kontrolü ve Havalandırma

Uyar, Ö. (2007) “Biyofiltrelerde Amonyak Kontrolü “, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

15. ATIKSU ARITMA SİSTEMLERİNDE GÜVENLİK KURALLARI

Prof. Dr. Ali Fuat AYDIN

15.1. Kapalı Alanlardaki Tehlikeler ve Uyarı Sistemleri

15.1.1. Kapalı Alanlar

Atıksu arıtma tesislerinin aşağıdaki kapalı alanlarında özel dikkat gösterilmelidir:

- Boru hatları,
- Kuyular, kontrol bacaları, sızıntı suları toplama kuyular,
- Havuzlar (kapalı veya gömülü),
- Seviye düşürme yapıları,
- Vana yapıları,
- Giriş ve çıkış yapıları,
- Gömülü veya kapalı ızgara tesisleri,
- Pompa istasyonları (kuru veya ıslak hazneli kuyular)
- Çamur siloları ve kapalı çamur yoğunlaştırıcılar,
- Çürütme tankları,
- Gaz tutucular (gaz ölçerler)
- Tam kapalı tesisler

15.1.2. Tehlikeler

Atıksu arıtma tesislerindeki tehlikeler, tehlikeli miktarlarda veya konsantrasyonlardaki katı maddelerden, sıvılardan, buharlardan, gazlar ve biyolojik aerosollerden, mikroorganizmalar ile toz parçacıkları ve oksijenin tüketildiği ortamların bulunmasından kaynaklanır.

Tehlikeler dışarıdan gelen veya biyolojik (örneğin fermantasyon, çürüme) ve kimyasal prosesler (farklı atık sular karıştırıldığı zaman olduğu gibi) yoluyla ortamda oluşan maddelerden de kaynaklanabilir.

Tehlikeler aşağıdaki kaynaklardan da ortaya çıkabilir:

- Yangınlara veya patlamalara yol açabilen gazlar veya buharlar,
- Boğulmalara sebep olabilecek oksijen yetersizliği,
- Temas, deri yoluyla emilim veya sindirim, teneffüs veya açık yaralardan sızma yoluyla sağlığa zararlılık,
- Olabilecek zehirli, aşındırıcı, tahriş edici, alevlenebilir veya sıcak maddeler,
- Su debisinin veya seviyesinin artması (Örneğin sağanak yağmur veya taşkından sonra),
- Enfeksiyonlara yol açabilen mikroorganizmalar veya bunların metabolik ürünleri,
- Radyoaktif maddeler

15.1.3. İnsan Güvenliği Uyarı Sistemleri

İnsanlar için sağlık riski olmadığından emin olmak amacıyla kapalı alanlara girilmeden önce buralardaki hava ortamının izlenmesini sağlayacak bir düzenleme yapılmalıdır.

Sabit veya taşınabilir izleme cihazları kullanılabilir. Taşınabilir cihazlarla izleme işlemi güvenli yerlerden yapılabilir olmalıdır.

Sabit izleme cihazı, acil durum sistemlerini hareket geçirmek için de kullanılabilir (havalandırmanın çalıştırılması gibi). Bu tür araçların harekete geçirilmesi uygun işaretlerle belirtilmelidir.

İzleme cihazı patlamaya karşı korumalı olmalı ve güvenilirliğinin belirlenmesi için denenmelidir. Telefon veya radyo gibi iletişim araçları da bulunmalıdır.

15.2. Araçlar ve Yayalar İçin Ulaşım Yolları

İşletme şartlarına uygun olarak çalışma yerleri ve bakım noktalarına güvenli bir şekilde gidiş ve gelişi sağlamak için araçlar ve yayalar için ulaşım yolları tesis edilmelidir. Yollarda insanların üstünden geçerken takılacağı engeller bulunmamalı ve yollar ıslak veya buzlu olduğunda bile üzerlerinde güvenli yürünebilecek şekilde inşa edilmelidir.

Bu şartların yeterince sağlanması için aşağıda belirtilen hususların yerine getirilmesi gerekir:

- Çalışma yerleri, mümkün olduğunca kolay ve doğrudan yollarla ulaşılabilir olmalı,
- Yollar düzgün olmalı, tesisin kısımları ve yolları kesen boru hatları ile vanaların çalıştırılmasıyla engellenmemeli,
- Açık kanallar veya taşıyıcı kayışlar gibi engellerin üzerinden köprü ile geçilmeli,
- Yerler kolay temizlenebilir olmalı,
- Yer kaplamaları, ızgaralar ve yolların yüzeyleri kaygan olmamalı ve suyun yüzeylerde toplanması önlenmeli,
- Yollar aşınmaya ve bozulmaya karşı dayanıklı malzemedan inşa edilmeli,
- Yer döşemeleri düzgün ve aralarında boşluk olmayacak şekilde yerleştirilmeli,
- Yüzeyler olumsuz şartlar altında her yöne emniyetli yürümeye olanak vermeli ve kaymamalı,
- Acil durum çıkış kapıları dışarıya doğru açılır olmalıdır.

Ulaşım yolları ve geçitler, işletme esnasında riskleri önleyecek şekilde tesis edilmelidir.

Bu şartların yeterince sağlanması için aşağıda belirtilen hususların yerine getirilmesi gerekir:

- Ulaşım yolları her an kullanılabilir şekilde tesislerden yeterince uzakta inşa edilmiş olmalı,

- Taşıt yolları, kapılardan, geçiş yollarından, geçitlerden veya merdiven çıkışları gibi yerlerden en az 1,0 m uzaklıkta olmalı. Kör noktalı çıkışlarda, yönlendirme korkulukları veya aynalar gibi önlemlerle koruma sağlanmalı,
- Yeterli sayıda ulaşım yolu bulunmalı ve bunların konumları ile boyutları, araçlar ve yayaların güvenli bir şekilde kullanılmasına müsait olmalı (araçlar için yeterli manevra alanları gibi),
- Motorlu veya raylı araçlar için ulaşım yolları, yolun dış kenarı ile araçların kenarları arasında, ulaşım yolunun her iki yanında en az 0,5 m'lik bir emniyet mesafesi kalacak kadar geniş bırakılmalı,
- Ulaşım yollarındaki aydınlatma cihazları herhangi bir kazaya yol açmayacak şekilde tasarlanıp yerleştirilmeli ve genel aydınlatma şiddeti en az 5 lüks olmalı,
- Hız sınırlamaları dikkate alınmalı,
- Geçitler en az 2,0 m yükseklikte ve 0,6 m genişlikte olmalı,
- Geçitler yük taşınması için kullanılacaklarsa, en az 1,2 m genişliğinde olmalı,
- Yükseklik farkının 0,2 m'den fazla olduğu yerlerde basamaklar veya rampalardan faydalanılmalı,
- Rampaların eğimi 1:10'dan daha yüksek olmamalı ve basamaksız inşa edilmelidir.

15.3. Sabit Merdivenler, Kontrol Bacası Basamakları ve Merdivenleri

Sabit merdivenler, kontrol bacası basamakları ve merdivenleri için aşağıdaki şartlar geçerlidir:

- İnşaat kaynaklı sebeplerle basamak veya rampa inşası mümkün değilse, sabit merdivenler, demir basamaklar, merdivenler veya başka ulaşım imkânları sağlanmalıdır.
- Sabit merdivenler, bakım bacası basamakları ve merdivenler, kaymayacak şekilde tasarlanmalı ve yeterli basamak genişliğine sahip olmalıdır. Suyun, yağın veya gresin bulunabileceği yerlerde kaymayı önleyecek ilâve tedbirler alınmalıdır.
- Bu merdivenle duvar arasında en az 150 mm mesafe olmalıdır.
- 3 m'den fazla ve yüksekte düşme tehlikesinin olan yerlerde, düşmeyi engelleyici sabit donanım yerleştirilmelidir (kaymaya karşı tutunmak için tırabzan ve emniyet kemerleri gibi).
- Kapalı alanlarda, yaralı insanların kurtarılmasını engelleyeceği için güvenlik kafeslerine müsaade edilmemelidir.
- Tırmanma ve güvenli bir şekilde çıkmak için giriş noktalarının üstünde, uygun giriş destekleri teşkil edilmelidir.
- Bu şartların yeterince sağlanması için aşağıdaki hususlar dikkate alınır:
 - Kontrol bacası kapak çerçevelerine kol tertibatları takılır, buna kapak çerçevelerinin en az 1,1 m üzerine kadar uzayabilen, yukarı doğru çıkan sabit tutunma çubukları takılabilir.
 - Mevcut baca basamakları elle tutulacak şekilde olmalıdır,
 - Tek kişilik makaralar/vinçler kullanılabilir.
- 10 m'den fazla uzunluğu olan basamaklarda veya sabit merdivenlerde, yaralıların kurtarılmasını ve araçlar ile malzemelerin taşınmasını engellemeyecek şekilde, en

fazla 6 m aralıklarla dinlenme platformları yapılmalıdır.

- Kuyulardaki sabit merdivenlerin yatay açıklığı dik merdivenler için 0,65 m'den ve eğimli merdivenlerde 1,1 m'den az olmamalıdır.

15.4. Kontrol Bacaları

Kontrol bacaları için aşağıdaki şartlar geçerlidir:

- Kontrol baca kuyuları, EN 476'ya göre en az DN/ID 1000 mm genişliğinde olmalıdır.
- Taşıt yollarındaki kontrol bacası kapaklarının net açıklığı çapı DN/ID 600 mm'den az olmamalıdır.
- Yaya ve taşıt ulaşımının bulunmadığı alanlarda kontrol bacası kapakları EN 124'e göre en az net DN/ID 800 mm çapa sahip olmalıdır.

15.5. Düşmeyi Önleyici Tedbirler ve Kapaklar

Düşmeyi önleyici tedbirler ve kapaklar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Dik inişlere veya diğer tehlikeli alanlara yakın çalışma yerlerine ve ulaşım yollarına, buralara düşmeyi veya girişi önleyici sabit parmaklıklar veya korkuluklar konulmalıdır. Bunların kullanılmasının zorunlu tutulmadığı düşey düşüş yüksekliği için ulusal mevzuata bakılmalıdır.
- Açık kanallara veya zeminlere düşme tehlikesinin bulunmadığı yerlerde, gergin zincirler, ipler veya ağlar kullanılabilir.
- Düşmeye karşı uygun koruma, en az 1,1 m yüksekliğindeki sabit korkuluklar veya duvarla çevrilerek sağlanır.
- Düşme tehlikesi bulunan yerlere çalışanların düşmesini önlemek için koruyucu korkuluklar yapılmalıdır.
- Düşey çubuklu koruyucu korkuluklarda çubuk aralıkları 0,18 m'yi geçmemelidir.
- Koruyucu korkuluklarda yatay çubuk bulunması halinde eteklikle yatay çubuk arasındaki, tırabzanla yatay çubuk arasındaki veya varsa iki yatay çubuk arasındaki mesafe 0,5 m'yi geçmemelidir.
- Ayak ucu tahtası olmaması durumunda, zeminle, diz yüksekliğindeki tırabzan arasındaki mesafe 0,3 m'yi geçmemelidir.
- Eteklik, çalışma yerlerinde ve ulaşım yollarında koruyucu korkulukların yapısından bağımsız olarak en az 0,1 m yüksekliğinde inşa edilmelidir.
- Koruyucu korkuluklar, üst kenarlarından 1000 N/m'lik yatay bir kuvvete karşı dayanabilecek şekilde inşa edilmeli ve sabitlenmelidir. Merdivenler, platformlar veya en fazla 5000 N/m; düşey trafik yüküne sahip yürüyüş yolları üzerine konulacak koruyucu korkuluklar için 500 N/m'lik; araçlar, talî raylı yollar, sadece kontrol ve bakım amacıyla kullanılan yollar ve bölgelerde yapılacak korkuluklar içinse 300 N/m'lik bir tasarım yükü yeterlidir.
- Belirtilen değerler, koruyucu korkulukların statik hesapları için gerekli tasarım yük değerleridir.
- 1:1'e kadar olan eğimlerde, uygun ağaçlar, çalılar ve çitlerle düşme önlenir.

- Sökülebilir emniyet korkulukları (gerekirse), menteşeli, kayar veya deliğe giren tipte olmalıdır.
- Sökülebilir emniyet korkulukları, örneğin merdivenlere ulaşılan noktalarda veya kurulum ulaşma deliklerinde gerekli olabilir.
- Kapaklar güvenli şekilde tutulabilir olmalı, istenmeyen yer değiştirmelere karşı tedbir alınmış olmalı ve çalışma şartları ile hava koşullarından kaynaklanan etkilere karşı dayanıklı olmalıdır.

Bu şartların yeterince sağlanması için aşağıda belirtilen hususların yerine getirilmesi gerekir:

- Kapaklar emniyetli biçimde açılacak şekilde olmalı,
- Menteşeli kapaklar açık konumdayken emniyetli durumda kalabilmeli,
- Ağır kapaklar, ilâve dengeleyicilerle, hidrolik olarak harekete geçirilen araçlarla veya basınçlı hava ile işleyen yaylarla donatılmalıdır.

15.6. Acil Durum Çıkışları

Acil durum çıkışları için aşağıdaki şartlar geçerlidir:

- İçinde bağımsız bölümleri olan tankların her bir bölümü acil durum çıkışı ile donatılmalıdır.
- Çalışma şartlarındaki su seviyesinin 1,0 m aşağısına kadar inen merdivenler ve bakım bacaları, acil durum çıkışları olarak kullanılabilirler.
- 1:2 eğimli duvarlara sahip açık tanklar, dışarı tırmanarak çıkmaya yardımcı olacak diğer donanımlarla (ip gibi) donatılmış olmalıdır.

15.7. Çalışma Yerleri, Çalışma ve Bakım Platformları

Çalışma yerleri ile çalışma ve bakım platformları için aşağıdaki şartlar geçerlidir:

- Çalışma yerleri, çalışma ve bakım platformları, ıslak ve buzlu şartlarda dahi üzerlerinde emniyetli çalışmayı mümkün kılacak ve engelleri olmayacak şekilde tasarlanmalı, kurulmalı ve düzenlenmelidir.
- Bu, özellikle malzemeye göre, genişliklerine, dayanıklılık ve sağlamlığa, yüzeye, kaymazlık kalitesine, aydınlanma ve havalandırma ile üçüncü tarafların sebep olabileceği zararlı çevre etkileri ve tehlikelerden korunma vb. hususlar dikkate alınarak uygulanır.
- Izgaralar ve üzerinde durulacak yerler mümkün olduğunca taşkın ihtimalinin olmadığı yerlere yerleştirilerek kaymaya karşı güvenlik sağlanabilir.

15.8. Kaldırma Teçhizatı

Ağır yükleri kaldırabilmek için uygun ve yeterli kaldırma teçhizatı bulundurulmalıdır.

Bu şartların yeterince sağlanması için aşağıda belirtilen hususların yerine getirilmesi gerekir:

- Bir kaldırma sistemi kurulmalı,
- Hareketli yük asansörü için destek yapısı inşa edilmeli,
- Üçayak veya taşınabilir kaldırmalı yük asansörü, ayaklarını kaymaya ve dışa doğru açılmaya karşı koruyucu güvenlik araçlarıyla birlikte kullanılmalı,
- Kılavuzlu ve teleskopik halatlı kaldırma araçları için (vinç kolu) boyutu ve yüklem-boşaltma kapasitesine göre tasarlanmış, yeterli bir park alanı mevcut olmalı,
- Kamyonu monte edilmiş kaldırma cihazları, forklift, küçük hidrolik kazıcılar gibi çok amaçlı kaldırma araçlarının güvenli kullanımı mümkün olmalıdır.

15.9. Havalandırma

Havalandırma için aşağıdaki şartlar geçerlidir:

- Atıksu arıtma tesislerinin, solunan havada sağlığa zararlı olabilecek konsantrasyonlarda tehlikeli maddelerin, patlayıcı ortam veya aerosollerin birikebileceği veya oksijen eksikliğinin olabileceği, kapalı alanlarında etkin bir havalandırma sağlanmalıdır.
- Havalandırmanın verimliliği güvenli bir yolla ölçülebilir olmalıdır.
- Ölü bölgeler olmadan yeteri kadar havalandırma sağlayan açıklıklar gibi tasarımlar ve kapanmayan havalandırma delikleri, doğal havalandırma olarak kullanılabilir.
- Sadece kapıların üstünde veya altında ve pencerelerde bırakılmış havalandırma delikleri etkin havalandırma yolları olarak yeterli görülmemelidir.
- Doğal havalandırma yeterli değilse, cebri havalandırma sağlanmalıdır.

15.10. Patlama Riski Bulunan Alanlar

Atıksu arıtma sistemlerindeki patlama tehlikesi, tutuşabilir maddelerin kurallara aykırı olarak sisteme girmesi veya anaerobik çürütme proseslerinden (çamur çürütme prosesinde metan ortaya çıkması gibi) kaynaklanabilir.

Atıksu arıtma tesislerindeki kapalı alanlar, patlayıcı bir ortamın oluşmasını önleyecek şekilde yapıp donatılmalıdır. Patlayıcı bir ortamın oluşumunu önlemek mümkün değilse, patlayıcı ortamın tutuşma ihtimali, havalandırma veya acil durum prosedürlerini başlatmak için sabit gaz alarm cihazlarının kurulumu gibi, ilâve koruyucu tedbirlerle önlenmelidir.

Sabit gaz uyarı cihazları aşağıda verilen konsantrasyonlara ayarlanmış olmalıdır:

- İlk alarm seviyesi, alt patlama sınırının (APS) % 20'sine (teknik havalandırmanın açılması, kapıların açılması gibi),
- Acil durum fonksiyonlarının başlatılması APS'nin % 50'sine (tutuşturucu kaynakların kapatılması gibi).

Bu kapsamda aşağıdaki hususlarda dikkate alınmalıdır:

- Patlama tehlikesi olan atıksu arıtma tesisi alanları, görülebilir şekilde işaretlenmeli ve yetkililer dışında bu alanlara giriş önlenmelidir.
- Patlama riski yapısal tedbirlerle azaltılabilir. Bu kapsamda, yanmaz malzemelerden yapılmış gaz sızdırmaz duvarlar ile gaz geçirmez boru ve iletim hatları yapılabilir. Her iki yüzü sıvalı tuğla duvarlar veya özel katkılı beton duvarlar, yeteri kadar gaz geçirmez kabul edilebilir.
- İstisnai durumlarda patlayıcı bir ortamın oluşabileceği, zemin seviyesinden yukarıdaki odalar, otomatik olarak kapatılabilen gaz geçirmez kapılarla ayrılmalıdır.
- Patlayıcı ortamın oluşma ihtimalini önleyici tedbirler, genellikle tasarımın ilk aşamasında dikkate alınmalıdır.
- Motorlu taşıt yolları, patlama tehlikesinin olabileceği alanların dışında olmalıdır.

15.11. Hijyenik Koşulları Sağlayan Tesisler

Hangi boyutta hijyenik tedbirlerin gerektiği arıtma tesisinin büyüklüğüne ve yerleşimine bağlıdır. Bunlar:

- ayakkabılar ve botlar dahil koruyucu elbiselerin yıkanacağı yerler,
- kişisel temizlik yerleri (lavabolar ve duşlar),
- yemek yeme ve meşrubat hazırlama yerleri,
- kişisel malzemelerin muhafaza edileceği yerler,
- ilk yardım dolapları

dir. Bazı imkânlar bir araç içinde veya uygun bir yerde sağlanabilir.

15.12. Genel Uyarı İşaretleri

Yüksek riske sahip bütün alanların girişlerine, görünür şekilde uyarıları belirten işaretler yerleştirilmelidir. Bu riskler:

- elektrik tehlikeleri,
- yüksek gürültü seviyeleri,
- otomatik çalıştırılan hareketli cihazlar,
- tehlikeli gazların varlığı ve muhtemel patlama tehlikesi,
- oksijen eksikliği,
- tehlikeli kimyasal maddeler

dir. Bir yükümlülüğü veya şartı belirten işaretler, uygun alanların girişlerine yerleştirilmelidir. Bu işaretler şunlardır:

- Sigara içilmez.
- Emniyet gözlüklerinizi takınız.
- Baret kullanınız.

- Kulak koruyucularını kullanınız.
- Kaçış maskesi veya tam solunum cihazı kullanınız.
- Çalışma izni gerekir.

Emniyet ve yangın önleme ekipmanlarına yönlendiren işaretler, cihazın bulunduğu yere yönlendirici bilgi içermelidir:

- acil durum çıkışları,
- yangın söndürücüler,
- kurtarma cihazları,
- ilk yardım kutuları

15.13. Özel Şartlar

15.13.1. Izgara, Elek, Kum/Yağ Tutucular

Izgara, elek, kum ve yağ tutucular için aşağıdaki şartlar geçerlidir:

- Kum tutucu hazne ve yağ tutucular, elek ve süzme cihazları, eleklerin suyunun alınması için kullanılan tesisatlar, katı maddeler ile teması en aza indirecek ve katı maddelerin güvenli şekilde tahliyesini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Sarmal akışlı ve su derinliği 1,35 m'yi geçen havalandırılmalı kum tutucularda, kanal boyunca akış yönünde, kendi kendini kurtarmaya imkân verecek uygun bir tutamak bulunmalıdır.
- Dönen cihazların etrafında su seviyesinde emniyet halatları veya çubukları takılmalıdır. Yatay akışlı havalandırılmalı kum tutucularda, akışın aşağı yönünde acil durum çıkışları tesis edilmelidir.
- Bu acil durum çıkışları kum silolarının yakınına yerleştirilmemeli ve sabit tutunma yerleriyle ulaşabilecek şekilde olmalıdır.
- Kendi kendini kurtarma için uygun tutunma yapılarına örnek olarak, tutunma boruları, dayanma çubukları veya iyice gerilmiş kablolar verilebilir.
- Yük araçlarının, zemin seviyesinin altındaki boşaltma alanlarına yaklaşırken, tekerleklerinin düşmemesi için yaklaşma yönünde bir yükselti yapılmalıdır.
- Uygun şekilde yükseltilmiş eşik, en az 0,25 m yüksekliğinde, sarı ve siyah birbirine zıt renklerle boyalı bir engel olabilir.

15.13.2. Atıksu Pompa İstasyonları

Atıksu pompa istasyonları için aşağıdaki şartlar geçerlidir:

- Tehlikeli maddelerden ortaya çıkacak risklerden sakınmak için dolu kuyulara, sadece binaların dışından ulaşmak mümkün olmalı ve kuyuların diğer odalarla bağlantısı olmamalıdır.
- Temizleme ya da bakım için girilmesi gerekmiyorsa, dolu kuyulara daimî giriş izni verilmemelidir.

- Katların birikmesi mekanik cihazlarla önleniyorsa veya temizleme ve bakım işleri emniyetli bir şekilde dışarıdan etkin bir şekilde gerçekleştiriliyorsa, herhangi bir girişe gerek yoktur.
- Patlama tehlikesinin olabileceği yerlerde bulunan pompalar ve elektrikli cihazlar, dolu kuyularda kurulsun bile kıvılcım korumalı şekilde tasarlanmalıdır.
- Bu gereklilik patlama korumalı dalgıç motorlu-pompalar kullanılması veya pompa motorlarının tüm pompa işlemi süresince daldırılmış halde olmasıyla yeterince sağlanmış olur.
- Pompalar, kolay ve emniyetli olarak bakımı yapılacak şekilde tasarlanmalı ve tesis edilmelidir. Her pompa, istasyondaki diğer pompalar çalışır durumda iken hidrolik olarak ayrılabilir olmalıdır.
- Burgulu pompa kullanılması durumunda ilâveten şu hususlar dikkate alınmalıdır:
 - Burgu emniyetli bir şekilde temizlenebilir olması,
 - Giriş üstündeki durma yerlerinin, en yüksek su seviyesinin üzerinde olması.

İlâve bilgi için EN 752-6'ye bakılabilir.

15.13.3. Havalandırma Havuzları

Havalandırma ve karıştırma cihazları, bakım işleri emniyetli olarak gerçekleştirilebilecek bir şekilde tasarlanmalıdır.

Bu şartların yeterince sağlanabilmesi için aşağıdaki hususların yerine getirilmesi gerekir:

- Basınçlı hava ile havalandırılan havuzlarda havalandırma cihazı, kaldırılabilir veya bir mil ile sıvının dışına çıkarılabilir veya
- Havuzlar bakım amacıyla boşaltılabilir

olmalıdır. Bunun dışında aşağıdaki hususlar da dikkate alınmalıdır:

- Yüzey havalandırıcıları ve mekanik karıştırma cihazları acil durum durdurucularıyla teçhiz edilmelidir. Bu acil durum durdurucuları, havalandırma veya devridaim cihazlarının yakınına yerleştirilmeli ve ulaşılması kolay olmalıdır.
- Yüzey havalandırıcı veya mekanik karıştırma cihazlarının (akım üreticileri) konumlarına bağlı olarak, bir veya daha fazla acil durum durdurucuları gerekebilir.
- Sarmal akışlı ve su derinliği 1,35 m'yi geçen havalandırma havuzlarında, tank boyunca akış yönünde, kendi kendini kurtarmaya imkân verecek uygun bir tutamak bulunmalıdır.
- Yatay dönen cihazların etrafında su seviyesinde emniyet halatları veya çubuklar takılmalıdır. Havalandırma havuzlarında acil durum çıkışları bulunmalıdır.

15.13.4. Çürütme Tankları, Düşük Basınçlı Gaz Depoları

Çürütme tankları ve düşük basınçlı gaz depoları için aşağıdaki şartlar geçerlidir:

- Çürütme tankları ve düşük basınçlı gaz depolarında izin verilen en yüksek basıncın aşılması veya müsaade edilen en düşük işletme basıncının altına düşmesini önlemek için, söz konusu birimler donmaya karşı korunmalı olarak inşa edilmelidir.
- Basınç emniyet cihazları, düşük basınç durumunda, sistemi otomatik olarak yeniden başlatacak veya izlemeye alarm verecek şekilde tasarlanmalıdır.
- Biri zemin seviyesinin üstünde ve diğeri tepede en az iki giriş noktası olmalıdır. Çürütme tankına giriş noktalarından birinin çapı en az 0,8 m olmalıdır.

15.13.5. Çürütme Tankının Gaz Boruları

Çürütme tankının gaz boruları için aşağıdaki şartlar geçerlidir:

- Çürütme gazını (biyogaz) taşıyan boru ve teçhizatlar, işletme esnasında oluşabilecek mekanik, kimyasal ve termal etkilere dayanabilecek şekilde tasarlanmalıdır (Örneğin paslanmaz çelik gibi uygun malzemelerin kullanılmasıyla mekanik ve kimyasal dayanıklılık gerekleri yeterince sağlanır).
- Çökelmeden, sıcaklık değişimlerinden ve titreşimlerden kaynaklanan mekanik etkiler, boru döngüleri veya uzamayı dengeleyen elemanların tesis edilmesi gibi, uygun yapısal tasarım tedbirleriyle karşılanabilir.
- Çürütme gazını taşıyan borulara, çürütme tankında ve gaz depolayıcıdan önce kapatma cihazları yerleştirilmelidir.
- Çürütme gazını taşıyan boru, gaz akımı yukarısında tüketim cihazları, kükürt gidericiler ve alev oluşmasını önleyici teçhizatla birlikte kompresörlerin emme boruları ile teçhiz edilmelidir. Bu durum akım ölçüm cihazıyla birlikte alev tutucular veya açma-kapama cihazları ile sağlanabilir. Cihazın etkinliği, ulusal mevzuatlara göre test edilmelidir.
- Kapalı odalardan geçen çürütme tankı gazı taşıyan borulara, bu odaların dışında emniyetli bir yerde açma-kapama cihazları konmalıdır.
- Çürütme gazı sistemlerinde, yoğunlaşma oluşumunun emniyetli bir şekilde tahliyesini sağlayacak imkânlar sağlanmalıdır.

Bu şartların yeterince sağlanması için aşağıda belirtilen hususların yerine getirilmesi gerekir:

- Otomatik kondens deşarj sistemleri,
- Çift emniyetli açma kapamalı kilitlerdir.

Çürütme gazı boruları açık bir şekilde işaretlenmelidir.

15.13.6. Kükürt Giderme Tesisleri

Kükürt giderme tesisleri, belirtilen gaz emniyet teçhizatıyla uyum sağlamalıdır. Buna ilave olarak, aşağıdaki düzenlemeler yapılmalıdır:

- Çürütme tankı gaz borusuna hava ve hava borusuna çürütme gazı girmemeli,

- Tehlikeli, patlayıcı bir ortam oluşmadan önce hava temini kesilmeli,
- Kükürt giderme tankındaki gazın sıcaklığı 60 °C'yi geçmemelidir.

15.13.7. Gaz Motor Odaları ve Gaz Motorları

Gaz motor odalarında yeterince doğal ve cebri havalandırma sağlanmalıdır. Gaz motor odaları ve gaz makinelerinin hava alma boruları, işletme sırasında veya arıza durumunda gazın giremeyeceği şekilde inşa edilmelidir.

Bu şartların yeterince sağlanması için aşağıdaki hususların yerine getirilmesi gerekir:

- Gaz motoru durduğunda, makine odasına gaz kaçmamalı, bu şart otomatik gaz kapama vanasının tesisi ile sağlanabilmeli (gerekenden fazla olanın kontrolü ile),
- Dirsekli kol mahfazalı havalandırma boruları açık havaya yönlendirmeli veya egzoz gazları kapalı sisteme yeniden verilmeli,
- Gaz motor odalarına açılan havalandırma delikleri, dirsekli kol mahfazalı boruların yanına veya gaz motor hava emme girişine veya egzoz boruları yakınlarına yerleştirilmemeli,
- Gaz motorlarının hava emme boruları, dışarıdan içeriye doğru açılmalıdır.

Gaz motorları ateşleme sistemi, motor ve egzoz sistemi havayla yeterince temizlenmeden kadar çalıştırılmamalıdır.

15.13.8. Gaz Yakıcılar

- Gaz yakıcılar, gazlar, alevler veya sıcak parçaların insanlara risk oluşturmayacak şekilde yapım ve montajı sağlanmalıdır.
- Gaz yakıcılar, otomatik ateşleme cihazları, alev tutucular ve alev izleme cihazı ile teçhiz edilmelidir.

15.13.9. Çamur Kurutma

- Gaz ve buharların zehirli derişimlerde birikebileceği çamur kurutma tesislerinde, egzoz gazları ve kaynaktan oluşan buharlara karşı etkin havalandırma sistemi kurulmalıdır.
- Çürütme işlemi veya şartlandırma metoduna bağlı olarak, çamur kurutma sırasında amonyak, hidrojen sülfür veya metan gibi tehlikeli gazlar meydana gelebilir.
- Kuru çamur da tehlikeli gaz üretmeye devam edebilir. Bu yüzden, kuru çamurun depolandığı odalar da çok iyi havalandırılmalıdır.
- Mekanik olarak işletilen çamur kurutma/susuzlaştırma tesisleri, otomatik temizleme cihazlarıyla donatılmalıdır.

15.13.10. Kimyasal ve Tehlikeli Maddeler Depolama ve Hazırlama Tesisleri

Kimyasal ve tehlikeli maddelerin teslimatı, doldurulması, depolanması, karıştırılması ve ilâvesi için yapılmış sistemler, buralardaki sıvı, gaz ve tozların insanlara veya çevreye risk oluşturmasını önleyecek şekilde tasarlanmış olmalıdır.

Bu şartların yeterince sağlanması için aşağıda belirtilen hususların yerine getirilmesi gerekmektedir:

- Tesislere kimyasal maddelerin getirildiği ve boşaltıldığı yerlerin yüzeyleri nin sızdırmaz olması, sistemin kaza sonucu oluşabilecek sızıntılarının herhangi bir tehlike oluşturmadan toplanılabilecek şekilde tasarlanması,
- Kimyasalları içeren tanklar yeterince dayanıklı malzemeden yapılmış olmalı, doldurma ve boşaltma bağlantıları iyice sızdırmaz olması ve doldurma seviyeleri ile muhtevanın yapısı dışarıdan kontrol edilebilmesi, aşırı doldurma emniyetli şekilde önlenmesi, sızan sıvılar emniyetli şekilde toplanması (toplama setleri, çift cidarlı tanklar veya kaplar) ve tankların veya depolama odalarının giriş kapılarının dış yüzeyleri, doğru güvenlik kodu ile işaretlenmesi,
- Kireç siloları ve bunların doldurma ve boşaltma cihazlarının, toz geçirmez şekilde imal edilmesi ve açık olarak işaretlenmesi,
- Kireç kaymağı karıştırma sistemlerinin, sıkı şekilde kapalı olması ve karıştırma sırasında gözetleme deliklerinin açılmaması,
- Çalışma yerlerindeki (laboratuvarlar, atölyeler) yanabilir, yanmayı sağlayıcı veya zehirli veya aşındırıcı tehlikeli maddelerin az miktarlarda depolanması için kendiliğinden kapanabilir ve kilitli güvenlik kabinleri olması,
- Arıtma tesislerinde kullanılan zararlı maddelerin (kireç, aşındırıcı maddeler gibi) fazla miktarda depolanması dolayısıyla gerekli emniyet cihazları (yangın ve patlama koruma, havalandırma ve sızıntıları toplama yolları gibi) ve yeterli güvenlik işaretleriyle, ayrı kilitli depolama odaları olması,
- Sızıntı durumunda çevresel etkileri önlemek için düzenlemeler yapılmalıdır. İkinci bir acil durum kabı temin edilmeli (çift yer altı borusu, çift cidarlı tank, en büyük tankın en az % 110 kapasitesine sahip toplama setleri içindeki tank) ve ilk kapta sızmayı alarm veren algılayıcılar tesis edilmelidir.

İlâve bilgi için TS EN 12255-1:1996'ya başvurulmalıdır.

15.14. Kaynaklar

TS EN 12255-10 (2006) Atıksu Arıtma Tesisleri – Bölüm 10: Güvenlik Kuralları

DIN EN 12255-10 (2001) Wastewater Treatment Plants – Part 10: Safety Principles

16. KÜÇÜK ARITMA SİSTEMLERİ

Y. Doç. Dr. Mahmut ALTINBAŞ

16.1. Yerinde Arıtma Sistemleri

16.1.1. Yerinde arıtma sistemlerinin tanıtımı ve amacı

Atıksu toplama sistemine dahil edilmeleri mümkün olmayan, birbirinden uzak münferit evler, köyler ve mezralarda yerinde arıtma sistemleri uygulanır (ÇOB, 2010). Kırsal bölge tanımına da giren bu yerler:

- Küçük, geniş alana yayılmış kasabalar veya yerleşim alanları,
- Daha yayvan yerleşkeler, açık yapılar, çiftlikler, mezralar, dağınık yerleşimlerden kaynaklanan geniş mülkiyet alanları,
- En fazla 25 kişi/ha'ya kadar olan düşük yoğunluklu yerleşim alanları,
- Sürekliliği olmayan, tüm yerleşim alanına kanalizasyon alt yapısı ulaşmayan yerleşim alanları,
- Tarımsal yapısı ön plana çıkan yerleşim alanlarıdır.

Yerinde arıtma sistemlerinde öncelikle birinci kademe arıtma yapılması gerekmektedir (DIN 4264-1, 2010). Septik tank kullanımı biri kademe arıtma için en yaygın ve pratik yöntemdir. İki veya üç bölmeli dairesel kesitli tanklar da septik tank olarak kullanılabilir. Bir veya birçok hücreden oluşan septik tanklarda, atıksudan çökelebilen katı maddeler ve yüzer maddeler ayrılmaktadır. Ayrıca, septik tanklarda anaerobik arıtma ile organik madde giderimi de gözlenmektedir.

Septik tank çıkış suları, zemin yapısına bağlı olarak, genellikle sızdırma yataklarına verilir. Septik tankta gözlenen KOİ giderim verimi genelde % 45 civarlarında veya daha altında olup bakiye KOİ sızdırma yataklarında giderilir.

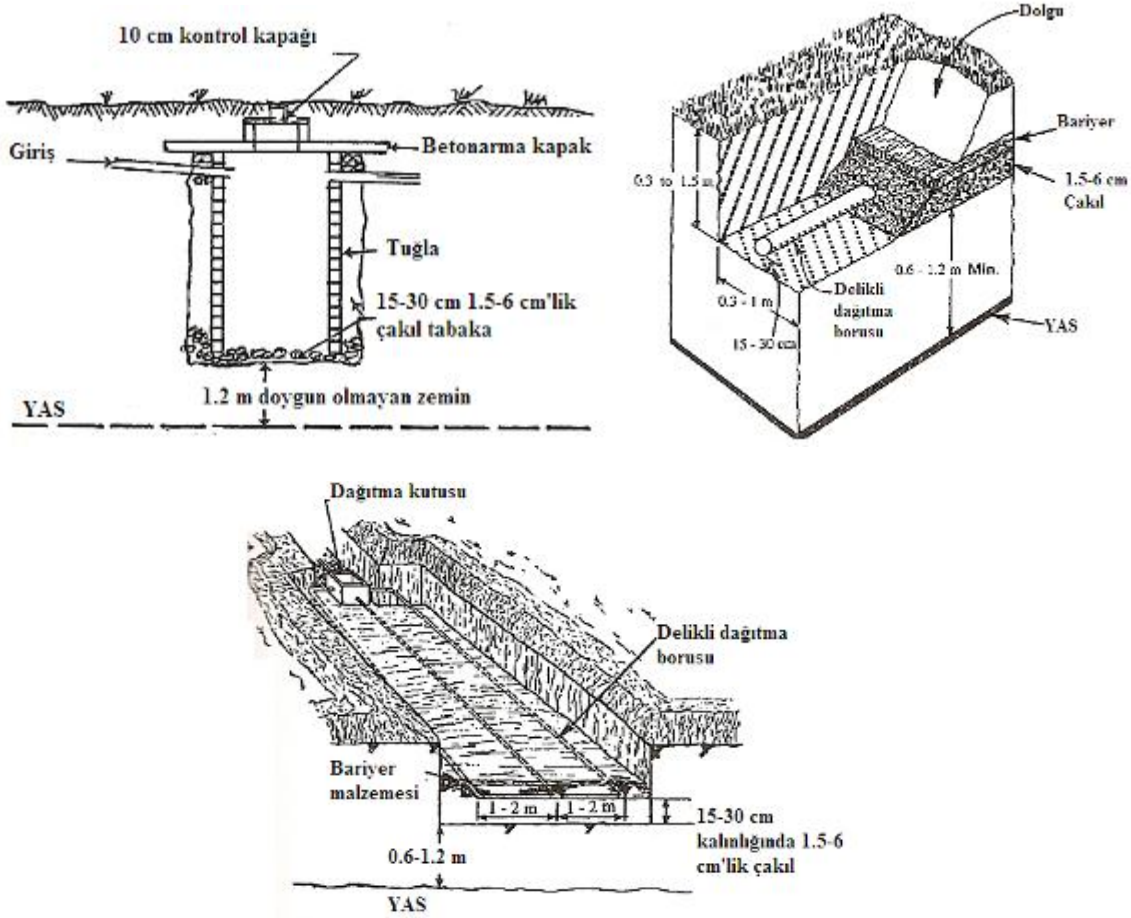
Atıksu toplama sisteminin bulunmadığı yerleşimler atıksuların uzaklaştırılması bakımından üç ana grupta toplanır. Bunlar; geçirimli, az geçirimli ve geçirimsiz zeminlerin olduğu yerlerdir. Bu zemin gruplarında uygulanabilecek atıksu arıtma ve uzaklaştırma sistemleri AAT Teknik Usuller Tebliği'nde (ÇOB, 2010) verilmiştir (Şekil 16.1).



Şekil 16.1. Zemin gruplarına göre atıksu arıtma ve uzaklaştırma sistemleri (ÇOB, 2010)

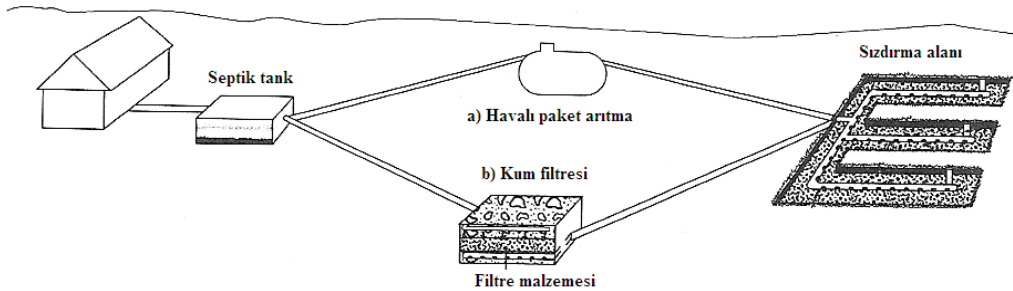
Normal zeminlerde, septik tank sonrası sızdırma çukuru ve sızdırma yatakları ile ilgili akım şemaları, Şekil 16.2’de verilmiştir. Geçirimli, alüvyonlu zeminlerde septik tank çıkışının havalı (aerobik) biyolojik arıtma veya kesikli kum filtresi ile arıtımı ve nihai uzaklaştırması, Şekil 16.3’de verilmiştir.

Geçirimsiz zeminlerde, atıksuyu zemine sızdırmak pratik olarak mümkün değildir. Geçirimsizliğin çok düşük, yeraltı su seviyesinin yüksek, zemin eğiminin yüksek, taşkınlara açık ve atıksuyun, su kaynaklarının yakınında olduğu durumlarda, zemine sızdırma düşünülmemelidir. Geçirimsiz zeminlerin olduğu yerlerde, atıksular daha teknolojik arıtma sistemleri ile arıtılmalı ve uzaklaştırılmalıdır (ÇOB, 2010).

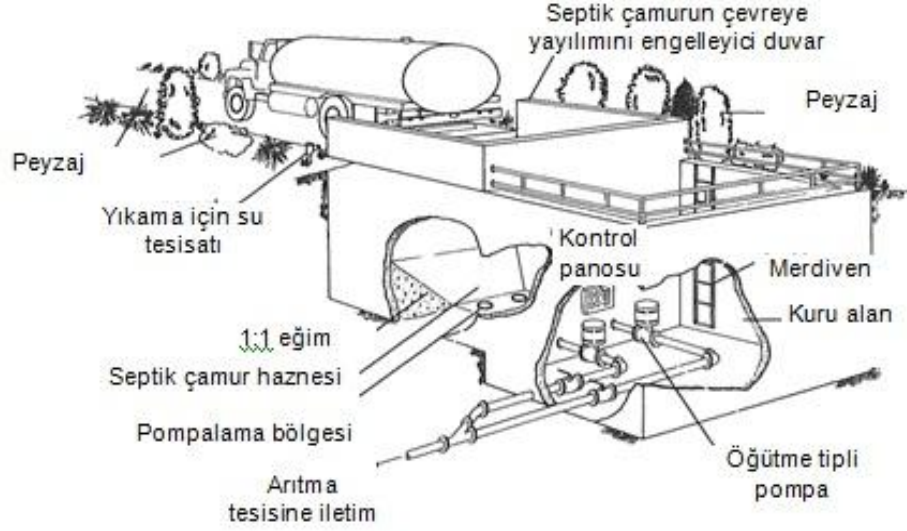


Şekil 16.2. Normal zeminlerde septik tank sonrası sızdırma çukuru ve sızdırma yatakları (ÇOB, 2010)

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 (Şekil 16.4). Genellikle septik çamurların transfer (aktarma) istasyonlarına taşınması vidanjörler ile yapılır (Crites ve Tchobanoglous, 1998). Transfer istasyonundan arıtma tesisine borulu iletim hattı teşkil edilmelidir.



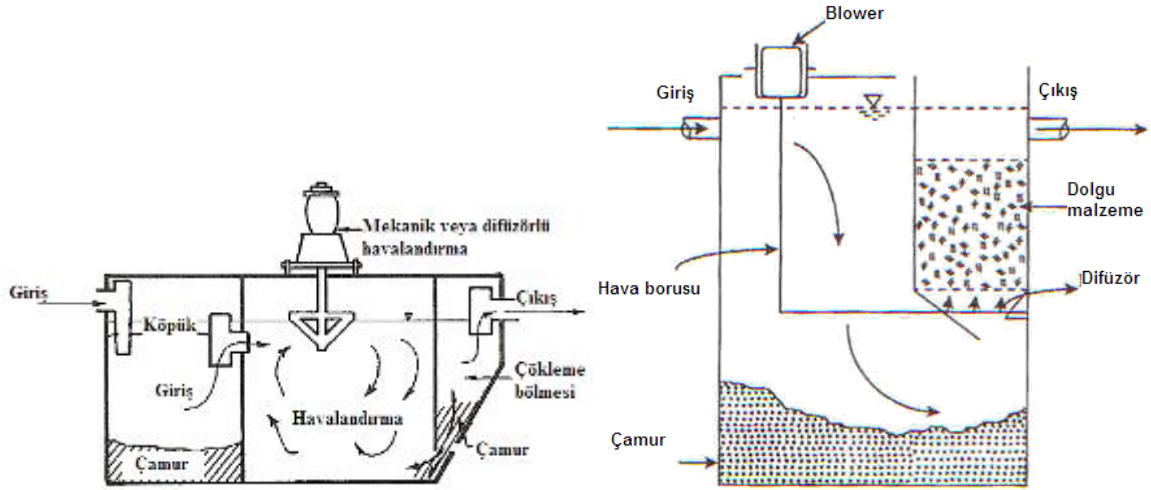
Şekil 16.3. Alüvyonlu zeminlerde septik tank çıkışının havalı arıtma veya kesikli kum filtresi ile arıtılması ve nihai uzaklaştırması (ÇOB, 2010)



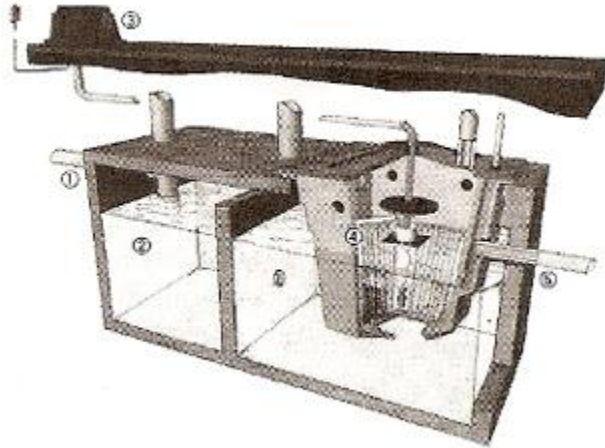
Şekil 16.4. Septik çamurların transfer istasyonu (Crites ve Tchobanoglous, 1998)

Paket Arıtma Sistemleri

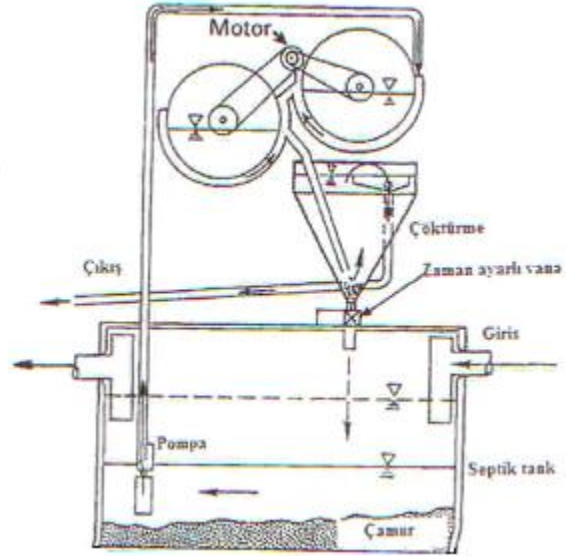
Genellikle uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemi prensibine göre üretilirler. Üretici firmaya bağlı olarak değişik yapılarda imal edilmektedir. Septik tank çıkışı, havalandırma bölmesine verilir (Şekil 16.5.a). Gerektiğinde yüzeyde büyümeyi sağlamak üzere, dolgu malzemesi kullanılabilir (Şekil 16.5.b). Havalandırma bölmesi yüksek çamur yaşlarında çalıştırılır. (Şekil 16.5.c). Bölüm 6.3'te verilen döner biyodiskler de, septik tank çıkışını arıtmak üzere kullanılabilirler.



a)



b)



c)

Şekil 16.5. Yerinde arıtma olarak kullanılabilen paket arıtma sistemleri

16.1.2. Yerinde arıtma sistemlerinin genel ihtiyaçları

İki veya üç bölmeli daire planlı tanklar: Tabanda biriken çamurun kolay tahliyesine imkan vermek üzere yer seçiminde dikkat edilmelidir.

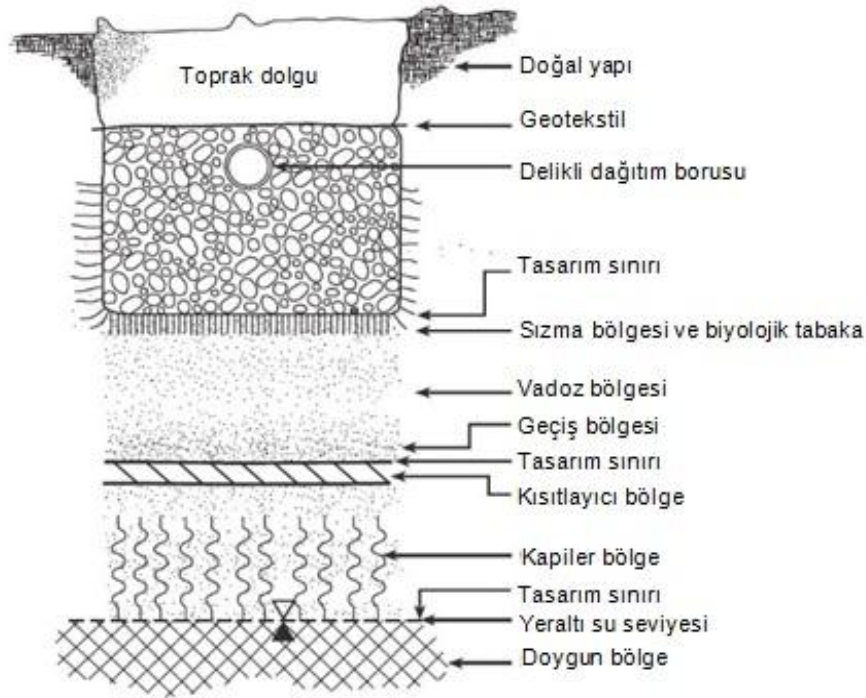
Septik tanklar: Tasarım ve işletmede göz önünde bulundurulması gereken önemli hususlar aşağıda verilmiştir:

- Tank şekli,
- Tankın yapısal bütünlüğü,

- Sızdırmaz olması,
- Tankın boyutu,
- Tank içi ekipmanlar,
- Düzenli kontrol.

Septik tanklar yerinde inşaa edileceği gibi prefabrik yapı elemanı olarak monolitik tarzda döküldükten sonra da montajı yapılabilir. Yapının sağlamlığı ve sızdırmazlığı açısından prefabrik septik tankların kullanılması tavsiye edilir. Sızdırmazlık bu tankların verimli ve sağlıklı olarak işletilebilmesi için oldukça önemli olup, standart sızdırmazlık testlerinin belirli aralıklarla yapılması gerekir.

Sızdırma Yatakları: Sızdırma yataklarının altında atıksuyun zemin ile temas ettiği birkaç santimetre içinde yoğun biyofilm tabakası oluşumu gözlenir. Suya doymun olmayan bu bölgede fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma gerçekleşerek atıksu yeraltı suyuna ulaşır. Vadoz bölgede su negatif basınç altındadır ve kapiler/adsorpsiyon kuvvetleri altında yeraltı suyuna doğru hareket eder (Şekil 16.6).



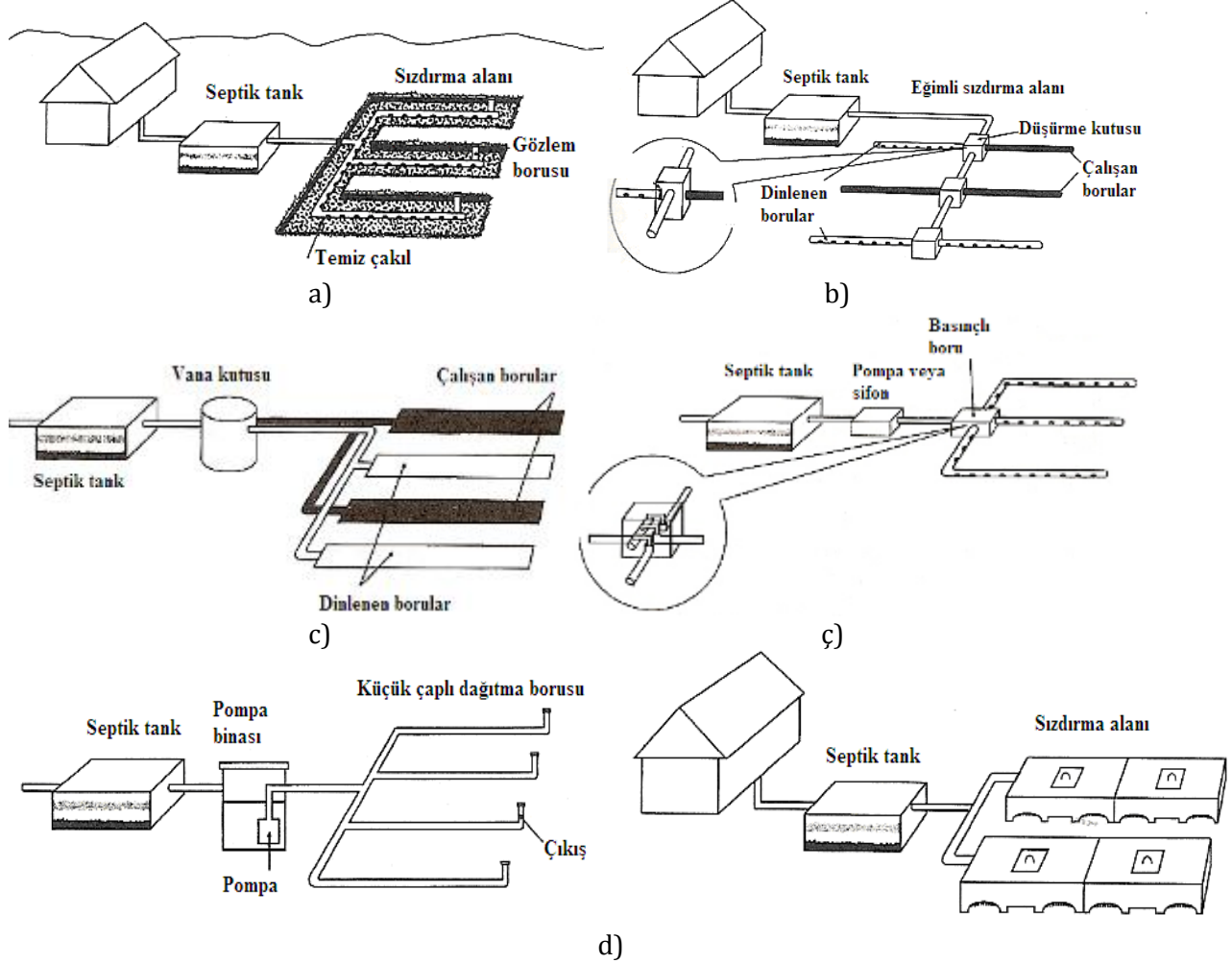
Şekil 16.6. Yüzey altı atıksu sızdırma sistemi tasarım ve performans sınırları

16.1.3. Yerinde arıtma sistemleri tipleri ve ünite sayıları

Yerinde arıtma sistemleri genellikle düşük kapasitelerinden dolayı tek ünite halinde inşaa edilir. Arıtma tipleri, zemin yapısına bağlı olarak normal, geçirimli ve geçirimsiz haller için farklılıklar göstermektedir.

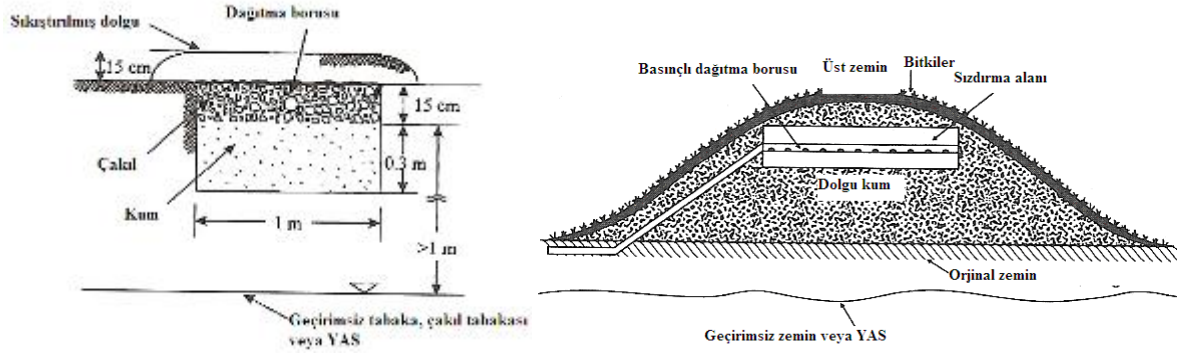
Normal zeminlerde sızdırma yataklarının beş değişik tasarımı, Şekil 16.7'de verilmiştir. Septik tank sonrası, yerçekimi ile atıksuyun sızdırma yatağına dağıtılması, Şekil 16.7'a'da

sızdırma yataklarının kesikli olarak çalıştırılması, Şekil 16.7b ve 16.7c'de, atıksuyun septik tanktan sonra pompa veya sifonla sızdırma yatağına verilmesi, Şekil 16.7ç'de ve septik tank sonrası pompa ile sızdırma yatağına tabandan üzeri özel bir sızdırma tabakası ile kaplı küçük çaplı bir boru ile verilmesi Şekil 16.7d'de verilmiştir (ÇOB, 2010).

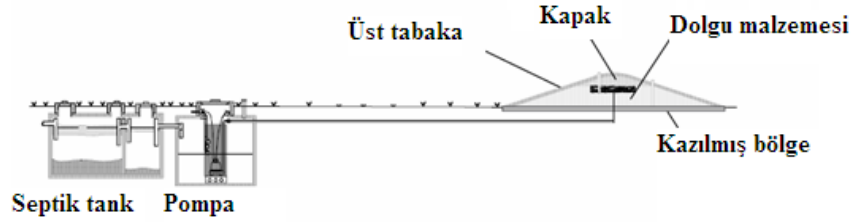


Şekil 16.7. Normal zeminlerde sızdırma yataklarının beş değişik tasarımı (ÇOB, 2010)

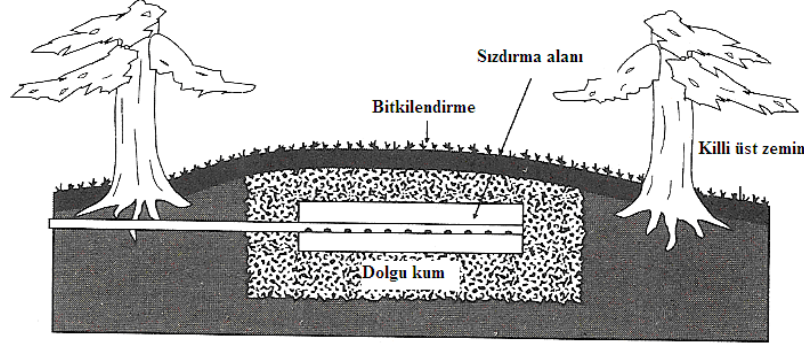
Geçirimli, alüvyonlu zeminlerde 5 tip özel sızdırma yatağı kullanılmaktadır. Şekil 16.8a'da, sıg kum yataklarından basınç altında sızdırma, Şekil 16.8b'de, dolgu kum yataklarından sızdırma, Şekil 16.8c'de, kum yataklarından sızdırma ve üzerindeki bitkilerin sızdırılan su ile beslenmesi, sonra buharlaşma ile atmosfere salınması ve Şekil 16.8d'de, iki kademeli septik tanktan geçen suyun yapay sulak alanlarda arıtımının şematik şekli gösterilmiştir (ÇOB, 2010).



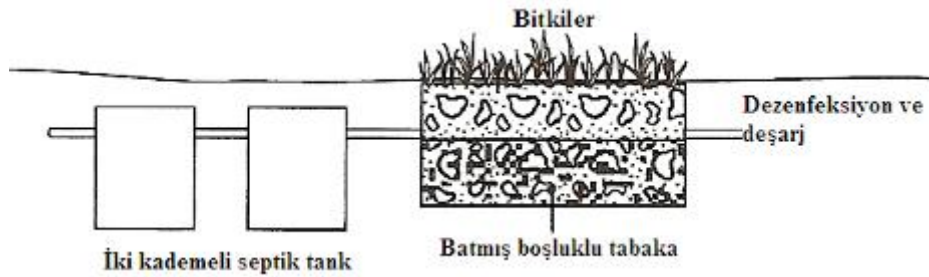
a)



b)



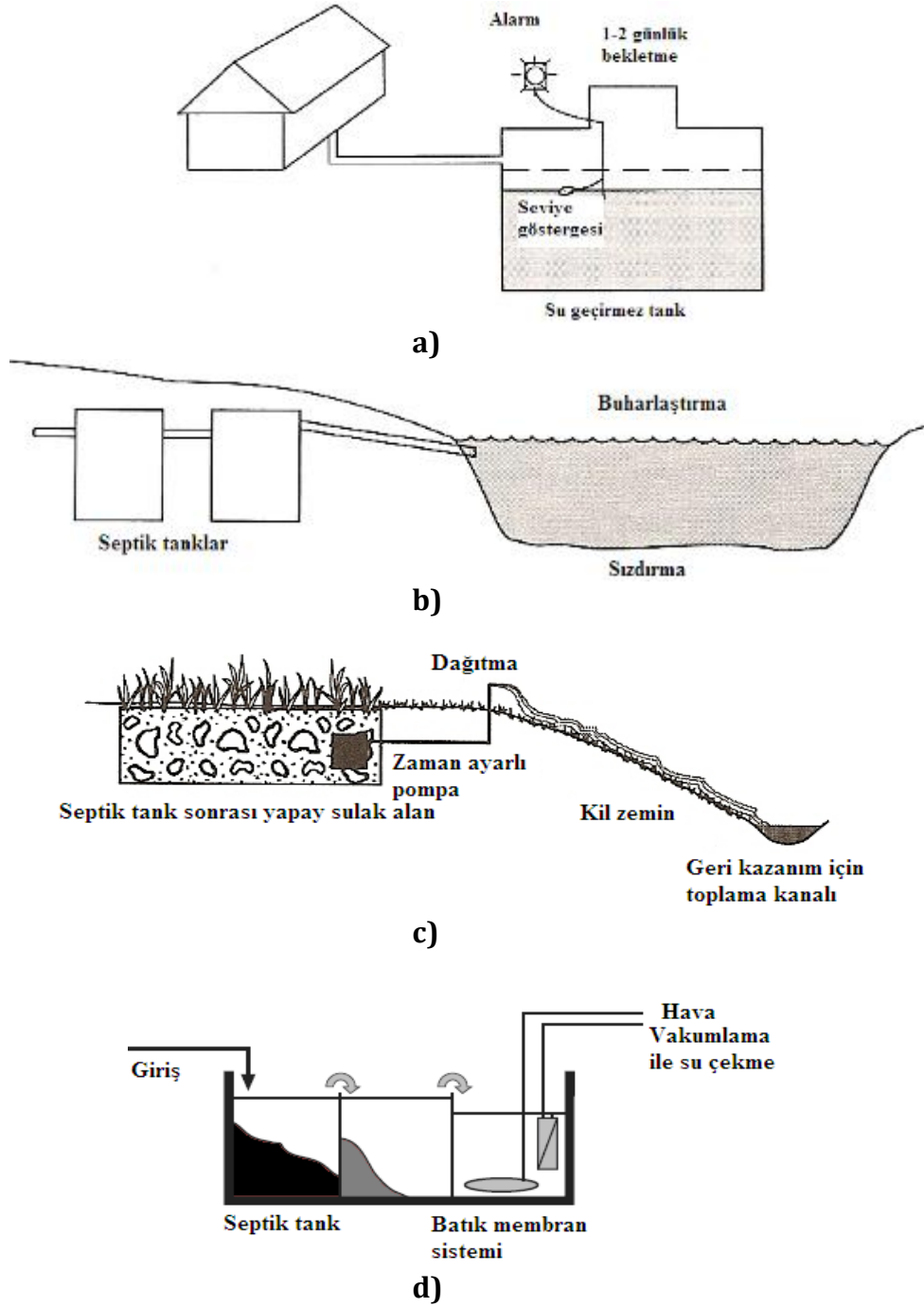
c)



d)

Şekil 16.8. Alüvyonlu zeminlerde nihai uzaklaştırma alternatifleri (ÇOB, 2010)

Uygulanabilecek nihai deşarj alternatifleri, su sızdırmayan beketleme tankı (Şekil 16.9a), iki kademeli septik tank sonrası buharlaştırma (Şekil 16.9b), iki kademeli septik tank sonrası yapay sulak alanlar ve arazide arıtma (Şekil 16.9c), atıksuların toplandıktan sonra septik tank çıkışının vakumlu membran biyoreaktör ile arıtımı (Şekil 16.9d) olabilir. Geçirimsiz zeminler için önerilen bu nihai uzaklaştırma sistemleri, normal ve alüvyonlu zeminler için de kullanılabilir (ÇOB, 2010).



Şekil 16.9. Geçirimsiz zeminlerde nihai uzaklaştırma alternatifleri (ÇOB, 2010)

Septik çamur transfer istasyonları ise arıtılma yöntemine bağlı olarak 4 farklı tipte tasarlanabilir:

- Atıksu akımı ile birlikte arıtılan sistemler,
- Çamur akımı ile birlikte arıtılan sistemler,
- Atıksu ve çamur akımları ile birlikte arıtılan sistemler,
- Birinci kademe arıtma sonrası atıksu akımı ile birlikte arıtılan sistemlerdir.

16.1.4. Yerinde arıtma sistemlerinin boyutlandırma kriterleri

Küçük arıtma tesisi kapasitesi yörede yaşayan kişi sayısına göre belirlenir. 60 m² ve üzerindeki konutlarda 4 kişinin, 60 m²'nin altındaki konutlarda 2 kişinin yaşadığı kabulü yapılarak yöredeki kişi sayısı hesaplanır. Bu hesaplama 3'den daha fazla binanın bulunduğu bölgelerde yapılan bir hesaplama çeşididir.

Sürekli faaliyette olmayan yerler için yeri kullanan kişi sayısına göre alınabilecek eşdeğer nüfus hesabı Tablo 16.1'de verilmiştir.

Tablo 16.1. Sürekli faaliyette olmayan yerler için eşdeğer nüfus hesabı

Faaliyet Alanı	Eşdeğer Nüfus Hesabı
<i>Konaklama Tesisleri</i>	<i>1 kullanıcı = 1-3 kişi (konfora bağlı)</i>
<i>Kamp ve Çadır Alanları</i>	<i>2 kullanıcı = 1 kişi</i>
<i>Lokantalar:</i>	<i>Mutfaksız: 3 kullanıcılık yer = 1 kişi</i> <i>Tek vardiyalı mutfaklı 1 kullanıcı = 1 kişi</i> <i>3 vardiyalı mutfaklı = vardiyaya başına 1 kişi</i> <i>Lokaller 10 kullanıcılık yer = 1 kişi</i>
<i>Dernekler</i>	<i>5 kullanıcı = 1 kişi</i>
<i>Spor Alanları</i>	<i>30 kullanıcı = 1 kişi</i>
<i>Bürolar, ofisler :</i>	<i>3 kullanıcı = 1 kişi</i>

Kişi başı günlük atıksu üretimi 150 lt olarak alınabilir ve saatlik atıksu üretimi ise günlük değer 1/10'udur.

Evsel atıksularda kişi başına tesise gelmesi beklenen maksimum yükler aşağıda verilmiştir:

BOİ ₅	= 60 g /kişi.gün
COD	= 120 g /kişi.gün
TKN	= 11 g /kişi.gün
Fosfor	= 1,8 g /kişi.gün

Tek ve çok bölmeli dairesel çökeltim tankları: Tanklar kişi başına 300 L kullanım hacmi olacak şekilde ve en az 2000 L'lik bir toplam hacimde tasarlanırlar.

Çok bölmeli dairesel çökeltim tankları: Tanklar kişi başına 1500 L kullanım hacmine ve en az 6000 Lt'lik toplam hacme sahip olmalıdırlar. Çok bölmeli septik tanklar en az üç bölmeden oluşmalıdırlar.

Tesisin büyüklüğü belirlenirken ≤ 6 kişi olan bölgelerde 1500 L/ kişi, 10 kişiye kadar bölgelerde 750 L/ kişi ve 10 kişinin üstü olan bölgelerde 500 L/kişi olacak şekilde tasarım yapılmalıdır.

Birinci kademe arıtmada BOİ₅ kirlilik yükü 20 g/kişi.gün azalmaktadır. Tek bölmeli tanklarda bu değer 10 g /kişi-gün olmaktadır. Çökeltim tanklarında ve septik tanklarda su derinliği en az 1,2 m olmalıdır. Toplam kullanım (faydalı) hacmine göre su derinliği Tablo 16.2'de gösterilmektedir.

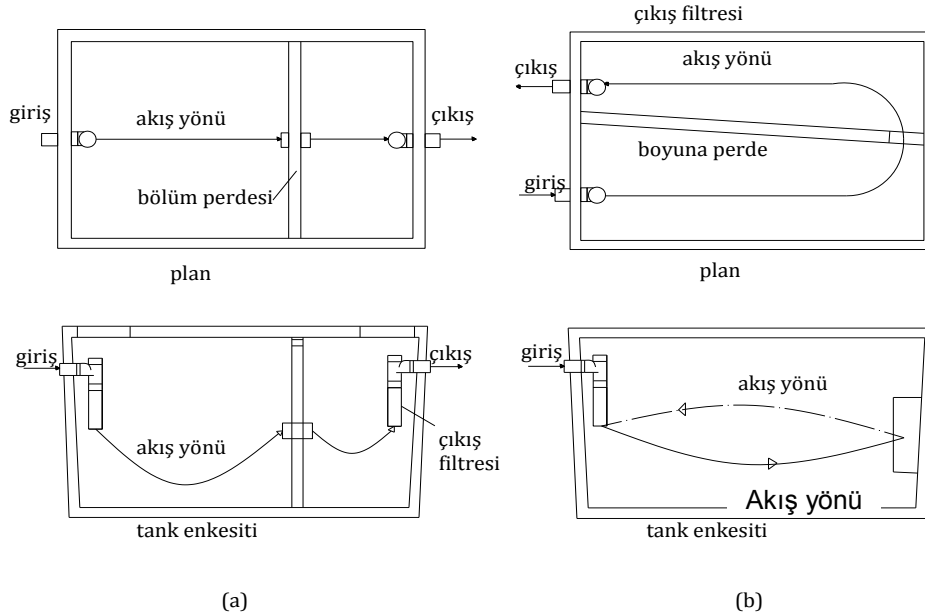
Daha fazla septik çamur birikimi için tank yüksekliği h arttırılmalıdır. Ancak septik çamurun vidanjörler ile çekileceği düşünülerek tank fazla derin yapılmamalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken husus vidanjörün maksimum emme yüksekliğidir.

Tablo 16.2. Çökeltim ve Septik Tanklarda Su derinlikleri

Toplam Kullanılan Hacim m^3	Su Derinliği (t_{maks}) metre
2 ila 4	2
4den büyük 10 dan küçük	2,5
10 dan fazla	3

Septik Tanklar (DIN 12566-1)

Tank şekli dikdörtgen olup genellikle iç hacmi ikiye ayıran bir duvar yer almaktadır (Şekil 16.10). 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 16.10a'da verilen enine bölme olup havuzu boyuna bölmek daha avantajlıdır. Boyuna bölmek (Şekil 16.10b) akış süresini artırdığı için arıtma verimini de artırması beklenir.



Şekil 16.10. Septik tank şekli (Crites ve Tchobanoglous; 1998)

Septik tank kapasitesi günlük atıksu debisine bağlı olarak Tablo16.3'de verilen değerlere göre hesaplanabilir.

Tablo 16.3. Atıksu debisine bağlı tank hacimleri

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 m³'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. Ancak prefabrik tanklarda üretim yerinden montaj yerine taşımada kolaylık olması açısından, bu oran dikkate alınmayabilir. 4 m³'lük tanklarda L/W oranı 1,5 iken 6 m³'lük reaktörde bu oran 2'dir. Daha büyük tanklarda L/W oranı- 3 ve üzerinde seçilir.

Septik tankın sızdırmazlığı ve içinde biriken çamurun düzenli kontrolü gerekir.

Sızdırma Yatakları (EPA/625, 2002): Sızdırma yataklarının altındaki asgari 60 cm'lik suya doymun 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. 1,2 ve 24 dk/cm sızdırma alanı olarak sırasıyla 70 ve 340 m²/oda sayısı'na ihtiyaç duyulur. 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 çalışmaz. Bu nedenle septik tankta bu maddelerin etkili bir şekilde giderildiğinden emin olunmalıdır. İstenmeyen materyallerin giderimi için iki gözlü septik tank tasarımı tavsiye edilir.

Alan ihtiyacı yaklaşık üç odalı bir ev için sızma hızının dakikada 1,2 cm olması halinde 400 m²'lik bir alana ihtiyaç olacaktır. Sızma hızı daha düşük olan ve 1 cm mesafe saat mertebesinde kat edilen zeminlerde ise alan ihtiyacı 1000 m²'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.

Zemin dokusu ve yapısına bağlı olarak uygulanabilecek hidrolik ve organik yük değerleri Tablo 16.4'e göre seçilebilir.

Tablo 16.4. Sızdırma alanının belirlenmesi için önerilen hidrolik ve organik yükler

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	8.1	20.4	1.2	0.6
		Orta, kuvvetli				
	Prizmatik, blok şekilli granüler	Zayıf	16.3	28.5	2.4	0.9
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				
	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

Diğer bir tür tasarım Tablo 16.5 yardımıyla yapılabilir. Burada standart 60 cm genişliğinde, zeminin sızma debisi ve septik tank çıkış suyu debisine bağlı olarak sızdırma yatağı ya da kanalı uzunluğu belirlenir.

Tablo 16.5. Sızdırma yatağı veya kanalı uzunluğunun (m) belirlenmesi

Sızma Hızı, dk/cm	Hidrolik yük, L/m ² .gün	Septik tank çıkış debisi, L/gün									
		984	1136	1476	1703	1968	2271	2461	2839	2953	3407
0,4-2,0	48.9	32	38	49	56	65	75	81	94	98	112
2,4-2,8	40.7	39	45	59	68	78	90	98	113	117	135
3,1-3,9	36.7	44	50	65	75	87	100	108	125	130	150
4,3-5,9	32.6	49	56	73	84	98	113	122	141	146	169
6,3-7,9	28.5	56	64	84	96	112	129	139	161	167	193
8,3-11,8	24.4	65	75	98	113	130	150	163	188	195	225
12,2-17,7	20.4	78	90	117	135	156	180	195	225	234	270
18,1-23,6	18.3	87	100	130	150	173	200	217	250	260	300

16.1.5. Yerinde Arıtma Sistemlerinin Proses Tasarımı

Septik tanklar ve çökeltim tankları

Kişi başına oluşan atıksu miktarı kişi sayısı ile çarpılarak günlük debi bulunur. Bu debiye göre bağlı Tablo 16.3'den uygun septik tank hacmi seçilir. Uygun değer tabloda mevcut değil ise, enterpolasyon yapılarak istenilen tasarım değerine ulaşılabilir.

Sızdırma Yatakları (EPA/625, 2002)

Zemin yapısına bağlı olarak gerekli yüzey alanının hesaplanması yeterlidir.

BOİ değerine bağlı olarak hidrolik yük (L_V) Tablo 16.4'ten seçilir ve aşağıdaki formülden gerekli sızdırma alanı bulunur.

$$A_{\text{Sızdırma yatakları}} (m^2) = \frac{Q \left(\frac{L}{gün} \right)}{L_V \left(\frac{L}{m^2.gün} \right)} \quad (16.1)$$

Lagün ve Damlatmalı Fitre/Biyodisk Sistemi (ATV A 257E, 1989)

Birinci ve İkinci Çökeltim Lagünü:

$V_{I+PE} \geq 0,5 \text{ m}^3/\text{kişi}$ olacak şekilde seçim yapılır. Bu seçime bağlı olarak lagün hacmi bulunur.

$$V_{\text{lagün}} (m^3) = V_{I+PE} \left(\frac{m^3}{kişi} \right) \times N (kişi) \quad (16.12)$$

Bekletme süresi kontrolü yapılır.

$$t (gün) = \frac{V (m^3)}{Q \left(\frac{m^3}{gün} \right)} \quad (16.13)$$

Bu değer 1 günün üzerinde olmalıdır.

Derinlik (h) ≥ 1,5 m olacak şekilde seçilir. Lagün yüzey alanı bulunur.

$$A (m^2) = \frac{V (m^3)}{h (m)} \quad (16.14)$$

Uzunluk:genişlik ≥ 3:1 olacak şekilde seçim yapılarak boyutlar belirlenir.

BOİ₅ giderim verimi birinci çökeltim lagünü için %35 alınabilir.

Damlatmalı filtre:

Hacim hesabı, karbon giderimi için:

$$V_{TF,C} = \frac{B_{d,BOD,InB}}{B_{R,BOD}} \quad [m^3] \quad (16.15)$$

Geri devir olmaksızın döner dağıtıcıdaki ortalama BOİ konsantrasyonunun hesaplanması

$$C_{BOD,InB} = \frac{B_{d,BOD,InB} \cdot 1.000}{Q_d} \quad [mg/L] \quad (16.16)$$

Döner dağıtıcıda istenilen $C_{BOI,InB,RF} \leq 120$ mg/L değerini ve/veya devir oranı $RR_{DW} = 1$ 'i sağlamak için kontroller yapılmalıdır.

$$RR_{DW} = \left(\frac{C_{BOD,InB}}{C_{BOD,InB,RF}} \right) - 1 \quad (16.17)$$

Maksimum giriş kuru hava debisi ve geri devir oranını kullanarak maksimum filtre hidrolik yükünün belirlenmesi

$$Q_{TF} = Q_{DW} \cdot (1 + RR_{DW}) \quad [m^3/sa] \quad (16.18)$$

Dolgu yüksekliğinin seçilmesi, h_{TF} (m).

Gerekli yüzey alanının belirlenmesi

$$A_{TF} = \frac{V_{TF}}{h_{TF}} \quad [m^2] \quad (16.19)$$

Yüzey yükünün belirlenmesi (karbon giderimi için)

$$q_{A(1+RR)} = (1,5 - 2,5) \times B_R \quad [m/sa] \quad (16.20)$$

Biyodisk:

Gerekli teorik yüzey, A_{RC} seçilecek kaskat sayısına öre aşağıda verilen denklem ile bulunabilir.

$$A_{RC,C} = \frac{B_{d,BOD,InB} \cdot 1000}{B_{A,BOD}} [m^2] \quad (16.21)$$

Gerekli toplam teorik yüzey reaktöre gelen günlük BOİ₅ yükünden hesaplanacağı gibi izin verilen yüzey yükü, B_{A,BOİ}'den de hesaplanabilir.

Üretici firmanın belirlediği standart biyodisk yüzey alanı seçilir. Buna göre birbirine paralel kaç ünitenin gerektiği hesaplanır.

Biyodisklin yerleştirileceği tank hacmi belirlenir.

$$V_{tank} = 4,9 \frac{L}{m^2} \times A_{tek\ biyodisk} (m^2) / 1000 \quad [m^3] \quad (16.22)$$

Hidrolik bekletme süresi kontrol edilir.

Kaba partiküllerin giderimi için çökeltim tankı:

Yüzey yükü hızı (q_A) ve bekletme süresi (t_{SST}) kullanılacaktır.

Son çökeltim tankının yüzey yükü hızı, tüm geri devir debilerini dikkate alarak çökeltim tankına gelen maksimum saatlik debinin (Q_{SST}) çökeltim tankının yüzey alanına (A_{SST}) bölünmesiyle bulunur. Yüzey yükü:

$$q_{A,SST} \leq \frac{Q_{SST}}{A_{SST}} \quad \left[\frac{m^3}{m^2 sa} \text{ veya } \frac{m}{sa} \right] \quad (16.23)$$

olmalı,

$$Q_{SST} = Q_{DW}(1 + RR_{DW}) \text{ veya } Q_{SST} = Q_{ww,h}(1 + RR_{ww}) \quad (16.24)$$

debilerine uygun olmalıdır.

Boyutlandırmada seçilen geri devir oranının aşılması sistem verimi açısından önemlidir. Bu oranı sağlayabilmek için geri devir pompaları ve vanalarının uygun bir sistem ile kontrol edilebilir olması gerekir.

Gerekli tank yüzey alanı:

$$A_{SST} = \frac{Q_{SST}}{\max q_{A,SST}} \quad [m^2] \quad (16.25)$$

Çökeltim tankındaki hidrolik bekletme süresi:

$$t_{SST} = \frac{V_{SST}}{Q_{SST}} \quad [sa] \quad (16.26)$$

bu değer 2,5 sa'den az olmamalıdır.

Gerekli tank hacmi:

$$V_{SST} = t_{SST} Q_{SST} \quad [m^3] \quad (16.27)$$

Minimum su derinliği 2 m olmalıdır (dairesel tanklarda merkezden itibaren yarıçapın 2/3'ündeki derinlik).

Yapay sulak alanlar (ATV A 262E, 1998; WEF, 2010):

$A_{I+PE} \geq 5 \text{ m}^2/\text{kişi}$ olacak şekilde seçim yapılır. Bu seçime bağlı olarak bitki yatağının gerekli yüzey alanı bulunur.

$$A_{\text{bitki yatağı}} (m^2) = A_{I+PE} \left(\frac{m^2}{\text{kişi}} \right) \times N (\text{kişi}) \quad (16.28)$$

Bitki yatağının tabaka kalınlığı seçilir ve yatak hacmi belirlenir.

$$V_{\text{bitki yatağı}} (m^3) = A_{\text{bitki yatağı}} (m^2) \times h (m) \quad (16.29)$$

Bekletme süresi kontrolü yapılır:

Uzunluk: Genişlik $\geq 3:1$ olacak şekilde seçim yapılarak yüzey boyutları belirlenir. Yatağın kabul edilebilir minimum genişliği (W) aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$W = \left(\frac{1}{y} \right) \left[\frac{Q \cdot A_{\text{bitki yatağı}}}{m \cdot k_s} \right]^{0.5} \quad (16.30)$$

- y : yataktaki ortalama su derinliği, m
 m : gerekli hidrolik koşulların oluşma yüzdesi ($\leq \%20$)
 k_s : yatak malzemesinin hidrolik iletkenliği ($m^3/m^2 \cdot \text{gün}$)

BOI_5 giderim verimi % 70-80 alınabilir.

16.2. Merkezi Arıtma Sistemleri

16.2.1. Merkezi arıtma sistemlerinin tanıtımı ve amacı

Amaca yönelik en uygun proses seçimi, alternatif sistemlerin belirlenmesi ve birbirleriyle mukayesesi ile yapılır (Tablo 16.6-7-8). Seçilecek sistemde bulunması gereken en önemli özellikler aşağıda sıralanmıştır:

- Gerekli deşarj kriterlerini sağlayan arıtma prosesi verim kararlılığı,
- Arıtma teknolojisinin basit ve dayanıklı olması,
- İşletmenin sağlıklı olabilmesi için tesiste izlenecek parametrelerin izlenmesi, sistemin bakımı ve erişilebilirliğin kolay olması,

- Çamur uzaklaştırmasının güvenli bir şekilde yapılması,
- Izgara ile kum tutucudan çıkan katı atıklar ile arıtma çamurunun arıtılması ve uzaklaştırılması,
- Proseslerin kapasite artışına uygun seçilmesi

Mekanik-biyolojik ve yeni teknolojiler içeren sistemler

Bu tür sistemlerde kanalizasyon sisteminin ayrık olması çok önemlidir. Nüfus eşdeğeri 500 kişi veya daha küçük olan yerlerde, atıksu debisi de düşük olacaktır. Bu tür yerleşimlerde yağmur suyunun arıtma sistemine dahil edilmesi ile yapısal ve işletme sorunları ile karşılaşılır. Bu nedenle ayrık sistem tercih edilmeli ve kanal yapısı sızmaya en az seviyede izin vermelidir. Mekanik-biyolojik ve yeni teknolojiler içeren sistemlerde son çökeltim havuzları gerekli olup ayrı bir çamur yönetim planı da oluşturulmalıdır (ATV-A 200E, 1997). Bu sistemler aşağıda özetlenmiştir:

- **Aktif çamur sistemleri (çamur stabilizasyonu ile birlikte):** İmalatı ucuz fakat işletme maliyeti yüksektir. Havalandırma tanklarında hidrolik bekleme süreleri uzun olduğu için yüksek dengeleme kapasitesine sahiptirler.
- **Biyofiltreler:** Bu tür sistemlerde biyofilmin zarar görmesi halinde sistem kendini kısa sürelerde yenileyebilmektedir. Son çökeltim tankında çökeltme problemi hemen hemen hiç gözlenmez. Ancak ön çökeltim tankında oluşacak çamurun arıtılması ile ilgili çözüm üretilmesi gerekir.
- **Biyodiskler:** Özellikleri biyofiltrelere benzerdir. Mekanik imalatları oldukça dayanıklı tasarımlardır. Dış hava koşullarından olumsuz etkilenir, bu yüzden üzerleri genellikle kapatılır.
- **Paket arıtma sistemleri:** Diğer alternatif sistemlere göre imalatı ucuzdur. Ancak bireysel ihtiyaçlar için tasarlandıklarından, işletim açısından esnek değillerdir.
- **Farklı proseslerin birleştirilmesi ile oluşturulan sistemler:** Uygulaması kanıtlanmış prosesler ile karşılaştırılırken, bu sistemlerin, işletme güvenliği, kullanım alanı, arıtma verimi ve çamur yönetimi açısından değerlendirilmeleri gerekir. Bu sistemlerin en önemli kısıtı birleşik sistem ve çamur arıtma için çözümlerinin olmayışıdır. ATV Guide H254'de bu tür sistemlerin değerlendirilmesi için dikkate alınan hususlar verilmektedir.

Lagün ve Damlatmalı Fitre/Biyodisk Sistemi (ATV A 257E, 1989)

Önde çökeltim lagünü ve arkasından damlatmalı filtre/biyodiskten oluşan arıtma sisteminin yeterli verimde kanıtlanmıştır. Bu sistemin tercih edildiği durumlar aşağıda sıralanmıştır:

- Lagün sisteminin üstün yönlerinden faydalanmak için kullanılır (örn: birleşik kanal sisteminde uygulanabilmesi) ancak büyük alan ihtiyacı vardır.
- Yüksek debi ve kirlilik yükünü dengeleme kapasitesi vardır.
- Nitrifikasyon ihtiyacı olan yerlerde uygulanabilir.
- Entegre çamur arıtma ve depolama yapmak mümkündür.

- Mevcut lagün sistemi veya damlatmalı filtre/biyodisk sisteminin genişletilmesi durumunda uygulanabilir.
- Mevsimsel farklılıkların çok belirgin olduğu yerlerde uygulanır.

Genellikle nüfus eşdeğeri 1000 ila 3000 kişi arasında olan yerleşim yerleri için uygun olup daha küçük veya yüksek kapasitelerde de pratik çözümler ile uygulanma ihtimali vardır. Genellikle kırsal yerleşimler için uygulanır.

Sistemi oluşturan birimler (Şekil 16.11):

- Çökeltim lagünü,
- Damlatmalı filtre veya biyodisk,
- Kaba partiküllerin giderimi için çökeltim tankı,
- Çökeltim lagünüdür.

Tablo 16.6. Atıksu toplama sistemi bulunan yerler için arıtma sistemleri (ATV - A 200E, 1997)

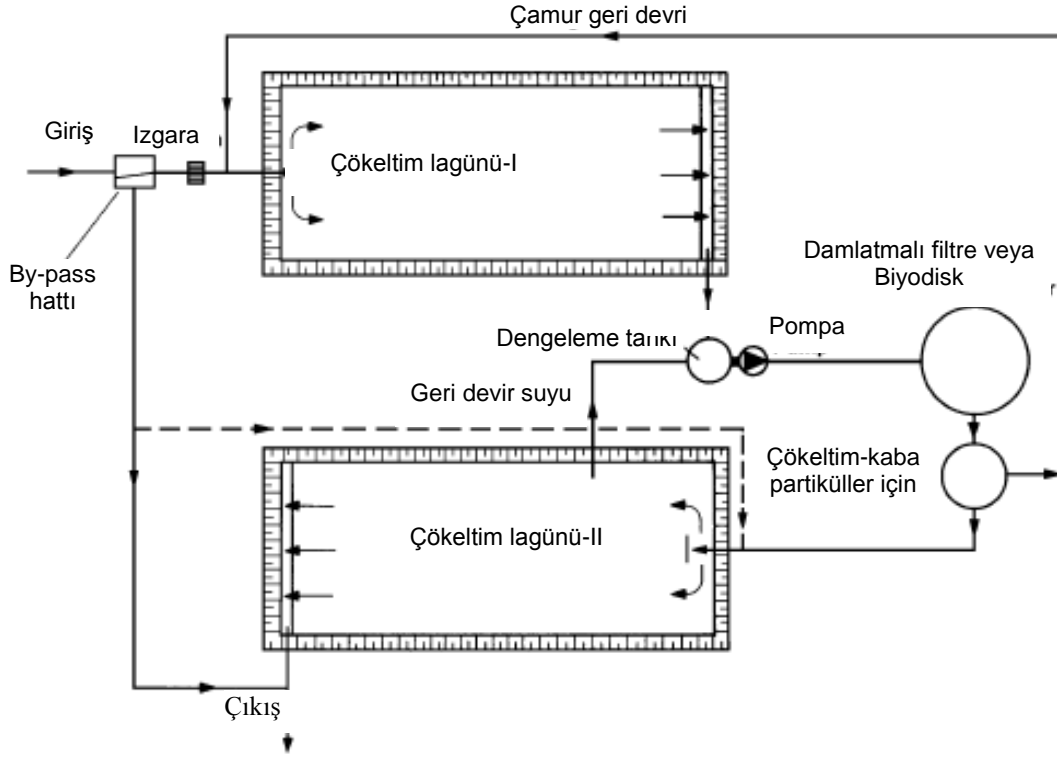
Değerlendirme Kriterleri	Prosesler						
	Yapay Sulak Alanlar	Anaerobik Lagün	Aerobik Lagün	Ara kademedeki Lagün (Biyolojik filtre/disk)	Mekanik-Biyolojik (Açık Tesis)	Mekanik-Biyolojik (Kompakt Tesis, Paket Arıtma)	Yeni teknoloji (Paket Tesis)
Arıtma Prosesi	<i>Kısmi biliniyor, zemin yapısındaki mekanizmalar biliniyor ancak bitkilerin arıtma verimine etkisi hala bilinmiyor.</i>	<i>İyi biliniyor</i>	<i>İyi biliniyor</i>	<i>İyi biliniyor</i>	<i>İyi biliniyor</i>	<i>İyi biliniyor</i>	<i>Yeni gelişmelere her zaman açık</i>
Ekipman gereksinimi	<i>Çok az, yok arası</i>	<i>Çok az, yok arası</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Değişken olarak yüksek</i>	<i>Genellikle yüksek</i>	<i>Çok yüksek</i>
Yapısal gereksinimler	<i>Birinci kademe arıtma gerekli, atıksuyun alana eşit beslenmesi ve alandan akışı gerekir</i>	<i>Yoktur</i>	<i>Havalandırma ve karıştırmanın uyumu gerekir</i>	<i>Lagünler ve diğer biyolojik ünitelerin uyumu gerekir</i>	<i>Tüm gerekli detaylar için kanıtlanmış çözümler bulunabilir</i>	<i>Sistem tipine bağlı inşaat ve dar hacimler gerekli</i>	<i>Sistem tipine bağlı inşaat ve dar hacimler gerekli</i>
Reaktör hacmi	<i>Zemin yapısını kontrol etmek zordur, tıkanma riski vardır</i>	<i>Her zaman lagün kontrol edilebilir, bazı durumlarda alg gelişimi gözlenir</i>	<i>Her zaman lagün kontrol edilebilir</i>	<i>Her bir proses birbirinden bağımsız kontrol edilebilir</i>	<i>Her bir proses birbirinden bağımsız kontrol edilebilir</i>	<i>Dar alanlarda kontrol edilmesi zordur</i>	<i>Dar alanlarda kontrol edilmesi zordur</i>
Farklı kirletici yüklerini tamponlama kapasitesi	<i>Yüksek</i>	<i>Çok çok yüksek</i>	<i>Çok yüksek</i>	<i>Yüksek, çok yüksek arası</i>	<i>Yüksek, orta arası, biyolojik filtre ve disklerin daha düşük</i>	<i>Genellikle düşük, biyolojik filtre ve disklerin daha düşük</i>	<i>Genellikle çok düşük</i>

Tablo 16.7. Alternatif arıtma sistemlerinin karşılaştırılması (ATV - A 200E, 1997) (-tablonun devamı)

Aritma Performansı							
Değerlendirme Kriterleri	Yapay Sulak Alanlar	Anaerobik Lagün	Aerobik Lagün	Ara kademedede Lagün (Biyolojik filtre/disk)	Mekanik-Biyolojik (Açık Tesis)	Mekanik-Biyolojik (Kompakt Tesis, Paket Arıtma)	Yeni teknoloji (Paket Tesis)
-Organik maddeler	Minimum deşarj kriterini sağlar	Minimum deşarj kriterini sağlar	Minimum deşarj kriterini sağlar	Minimum deşarj kriterini sağlar	Minimum deşarj kriterini sağlar	Minimum deşarj kriterini sağlar	Bilinmiyor
-Besi maddeleri	Çok değişken	Orta	Orta	Orta	Az	Az	Bilinmiyor
Başlangıçtaki alıştırma dönemi	Birkaç hafta	Yok	Yok	Birkaç hafta veya daha fazla	Birkaç hafta	Birkaç hafta	Birkaç hafta
İşlemede kontrol ve bakım	Bitki bakımı gerekli	Çok az	Az	Az	Günlük bakım ve kontrol	Günlük bakım ve kontrol, işletme problemlerinde uzman gereksinimi	Günlük bakım ve kontrol, işletme problemlerinde uzman gereksinimi
İşletme emniyeti	Tıkanma tehlikesi, kışın işletmede risk	Çok yüksek	Yüksek, çok yüksek arası	Yüksek, çok yüksek arası	Yerel şartlar ve tasarıma bağlı farklılık gösterir	Sisteme bağlı olarak çok değişkendir	Sisteme bağlı olarak çok değişkendir
Atıklar	Az sıklıkta çamur temizlenir	Tasarıma göre 1 yıldan fazla süre aralıklarında çamur temizlenir	Tasarıma göre 1 yıldan fazla süre aralıklarında çamur temizlenir	Tasarıma göre 1 yıldan fazla süre aralıklarında çamur temizlenir	Geçici depolama imkanına bağlı olarak çamur uzaklaştırma sıklığı seçilir	Sisteme bağlı olarak çamur temizleme sıkça yapılır, geçici depolama imkanına bağlı olarak çamur uzaklaştırma sıklığı seçilir	Sisteme bağlı olarak çamur temizleme sıkça yapılır, genellikle çamur uzaklaştırma ve bertarafı yeterince düşünülmemiştir
İşletme maliyeti	Az	Çok az	Yüksek elektrik maliyeti, toplamda orta	Yüksek elektrik maliyeti, toplamda orta	Yüksek	Yüksek	Sisteme göre değişir
İnşaat maliyeti	Orta	Orta	Orta yüksek arası	Orta yüksek arası	Yüksek	Orta yüksek arası	Sisteme göre değişir
Alan ihtiyacı	Çok yüksek	Çok yüksek	Yüksek	Orta yüksek arası	Az	Çok az	Çok az

Tablo 16.8. Alternatif arıtma sistemlerinin karşılaştırılması (ATV - A 200E, 1997) (-tablonun devamı)

Arıtma Performansı							
Değerlendirme Kriterleri	Yapay Sulak Alanlar	Anaerobik Lagün	Aerobik Lagün	Ara kademedeki Lagün (Biyolojik filtre/disk)	Mekanik-Biyolojik (Açık Tesis)	Mekanik-Biyolojik (Kompakt Tesis, Paket Arıtma)	Yeni teknoloji (Kompakt Tesis)
Çevresel etkiler	Çevre düzenlemesi çok kolay, işletme problemleri ile birlikte koku oluşumu gözlenir	Çevre düzenlemesi çok kolay, işletme problemleri ile birlikte koku oluşumu gözlenir	Çevre düzenlemesi mümkün, havalandırma sisteminden dolayı gürültü kontrolü gerekir	Çevre düzenlemesi mümkündür	Çevre düzenlemesi ve gürültü kontrolü gerekir	Kapalı yapılarda kurulabilmesi ustalık gerektiren bir iştir	Genellikle, koku ve gürültü problemleri yapıların tamamen kapatılması ile çözülür
Uygulama alanları	Nüfusu <1000 kişi olan yerlerde biyolojik proseslere alternatif	Birleşik kanal sistemi ve nüfusu <1000 kişi olan kırsal alanlarda	Nüfusu >1000 kişi ve dönemsel ihtiyaç olan kırsal alanlarda	Nüfusu <3000 kişi olan küçük yerleşim yerlerinde, yüklü çalışan lagünün iyileştirmesinde kapasite artışında veya damlatmalı filtrenin, biyodiklerin iyileştirilmesinde ve kapasite artışında	Her türlü özel koşullarda uygulanabilme, ayırık kanal sisteminde tercih edilir.	Birçok üretici firmanın sunduğu spesifik sistemlerin seçiminde, avantaj, dezavantajları ve maliyetleri karşılaştırılmalı, ayırık kanal sisteminde tercih edilir.	Denenmiş mevcut sistemlerden vazgeçmeyi ve risk almaya geçecek yeni sistemin hangi özelliğine ihtiyaç duyulduğunun belirlenmesi gerekli, ayırık kanal sisteminde tercih edilir.



Şekil 16.11. Lagün ve damlatmalı filtre/biyodisk sistemi

Yapay Sulak Alanlar

Sulak alanlar, yılın uzun bir döneminde su seviyesinin zemin ve bitki örtüsünün yer aldığı zemin yüzeyi ile aynı veya yakın olduğu ekosistemlerdir. Yapay sulak alanlar, doğal sulak alan bitkilerinin kum ve çakıl içeren zeminde yetiştirildiği sistemlerdir (Şekil 16.12). Söz konusu zemin yapısında fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma prosesleri; dolgu malzemesi, sulak alan bitkileri, mikroorganizmalar, hava boşluğu ve atıksuyun birlikte etkileşimi ile gerçekleşmektedir. Arıtma, aslında zeminin bünyesinde bulunan mikroorganizmalar sayesinde olmakla birlikte, bitki kökleri de zemindeki boşluk yapısının korunmasını sağlamaktadır (ATV A 262E, 1998; WEF, 2010).

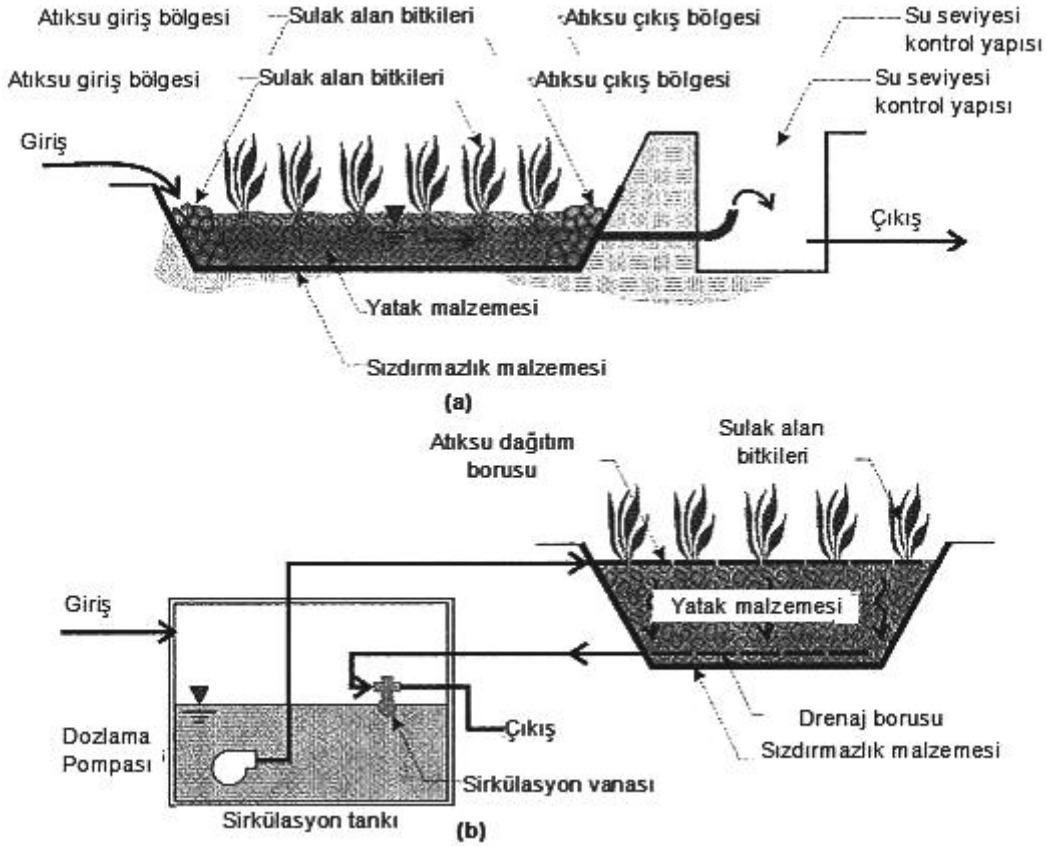
Eşdeğer nüfusu 1000 kişiye kadar olan yerler için uygun bir sistemdir. Suya batmış olarak işletilen, biyolojik arıtma sonrası olgunlaştırma ve yağış sularının arıtılması için kullanılacak yatakların tasarımında, burada verilen boyutlandırma kriterleri uygun değildir.

16.2.2. Merkezi arıtma sistemlerinin genel ihtiyaçları

Aktif çamur sistemleri (nüfus eşdeğeri 50-500 için):

Küçük atıksu arıtma tesisleri, atıksu karakteri ve debisinde gözlenen yüksek değişkenlik, daha az işletme personeli, basit inşaat uygulamaları ve işletimi kolay elektro-mekanik ekipmanlardan dolayı, büyük tesislere oranla daha hassastır. Söz konusu tesislerin tasarımları, büyük ölçekli aktif çamur tesislerinin tasarımında kullanılan ATV A-131'e

göre daha basit yapıdadır. Genel olarak küçük ölçekli tesislerde önceki tecrübelerden edinilmiş tasarım kriterleri kullanılmaktadır.



Şekil 16.12. Yapay sulak alanlar

a) yatay kışlı yapay sulak alan b) dikey akışlı yapay sulak alan

Aktif çamur sistemleri (nüfus eşdeğeri 500-5000 için):

Nüfus eşdeğeri 500 ila 5000 kişi arasında olan yerleşim yerleri için uygulanabilir olan bu sistemin, 5000 kişinin üzerindeki yerleşim yerlerine de uygulanması mümkün olmakla beraber alt limit 500 kişi ile sınırlandırılmıştır. Bunun nedeni yağmur sularının nüfus eşdeğeri 500 kişi altında olan tesislere verilememesidir.

Bu sistemlerde havalandırma havuzlarındaki çamur yükü düşük olduğundan, çamur stabilizasyonu da söz konusu tanklarda yapılabilir. Arıtma verimi, yük aralığı, işletme güvenliği yüksek, çamur stabilizasyonun basitçe yapılabildiği ve nutrientlerin de belli bir seviyeye kadar giderilebildiği sistemlerdir. Oksijen seviyesi düşük tutularak bu tür sistemlerde nitrifikasyon ve denitrifikasyonun, eş zamanlı olarak yapılması mümkündür. Aynı zamanda fosforun da atıksuda bulunan iyonlar ile çökmesi mümkün olabilmektedir. Ancak çamur kabarması ve yüzmesi gibi işletme problemleri ile karşılaşılabilir.

Lagün ve Damlatmalı Fitre/Biyodisk Sistemi (ATV A 257E, 1989)

Kırsal bölgelerde uygulanan alan ihtiyacı yüksek ve bakım gereksinimi düşük olan sistemlerdir. Lagün yapısından dolayı birleşik kanal sistemi ile gelen yağış debisini dengeleyecek bir sistemdir. Kış aylarında yaşanacak verim düşüklüğünün önüne geçmek için damlatmalı filtre veya biyodisk yapılarının üzeri kapatılmalıdır.

Yapay sulak alanlar (ATV A 262E, 1998; WEF, 2010):

Bu sistemler öncesinde çökebilir katıların, kaba ve yüzer maddelerin giderildiği yüksek verimli bir birinci kademe arıtma gerekir. Aksi halde bitki yüzeyine yapılan beslemede katıların birikmesi ile yatakta tıkanmalar, koku ve haşere oluşumu gözlenebilir. Sulak alanlar öncesinde kaba maddeleri parçalayan öğütücü veya çökeltim havuzları olmasına karşın, hala bitkinin yetiştiği kısım üzerinde çamur birikimi gözlenirse, birinci kademe arıtma veriminin yetersiz olduğu anlamına gelir. Birinci kademe arıtma olarak DIN 4261-1 (2010)'de belirtilen çok gözlü septik tank uygulaması da yapılabilir.

Koku problemine yol açması sebebiyle yerleşim yerlerinden makul mesafede olmalıdır. Bitki yataklarına yapılacak yüzeyden besleme dolayısıyla, en yakın binalara 15-20 m mesafede olmalıdır. Yapay sulak alanlara sadece yetkili kişiler girebilmelidir. Özellikle taşkınlardan etkilenmeyecek ve içme suyu kaynaklarına zarar vermeyecek alanlar seçilmelidir.

Yapay sulak alanlar yeterli bir izleme ve bakım gerektirmektedir. Bu tesisi işletecek idarenin, sistemin fonksiyonel kontrolünü ve bakımını yapması, bitkiler ile de ilgilenmesi gerekir. Kış döneminde yataktaki ısının korunması için sonbahar döneminde ölen bitkiler kesilmeden olduğu gibi ya da kesilip yatağın üzerini kaplayacak şekilde bırakılabilir.

16.2.3. Merkezi arıtma sistemlerinin tipleri ve ünite sayıları

Aktif çamur sistemleri (nüfus eşdeğeri 50-500 için):

Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi gibi çalıştırılan bu tesisler, genellikle tek üniteden oluşmaktadır.

Lagün ve Damlatmalı Fitre/Biyodisk Sistemi (ATV A 257E, 1989)

Lagün sistemi çökeltimli yapılmakta olup damlatmalı filtre veya biyodisk için Bölüm 6.3'te verilen sistemler tercih edilmektedir. Ünite sayıları arıtma birimine bağlı olarak birden fazla yapılabilmektedir.

Yapay Sulak Alanlar (ATV A 262E, 1998; WEF, 2010):

Bitki yatağı tipleri yatay akışlı ve düşey akışlıdır. Nüfus eşdeğerine bağlı olmakla birlikte ünite sayısı genellikle birden fazla tutulmaktadır.

16.2.4. Merkezi arıtma sistemlerinin boyutlandırma kriterleri

Aktif çamur sistemleri (nüfus eşdeğeri 50-500 için):

Konu ile ilgili sembol listesi Tablo 16.8'de verilmiş olup boyutlandırma için verilen değerler kullanılabilir. Aktif çamur sistemi için tasarım kriterleri Tablo 16.9'da, son çökeltim tankının boyutlandırılmasında kullanılan kriterler ise Tablo 16.10'da verilmiştir.

Tablo 16.8. Sembol listesi

Sembol	Birimi	Açıklaması
A_R	m^2 / m^3	Spesifik yüzey
A_{SS}	m^2	Son çökeltim tankının yüzey alanı
$B_{d,BOI5}$	$kg/gün$	BOI_5 yükü
B_A	$kg/(m^2.gün)$	BOI_5 yüzey yükü
B_{DS}	$kg/(kg.gün)$	BOI_5 organik yük
$B_{V,BOI5}$	$kg/(m^3.gün)$	BOI_5 hacimsel yük
c_m	g/m^3	Döner dağıtıcıda kuru hava debisi ve geri devir hattı karışımının ortalama kons.'u
C_0	g/m^3	Oksijen içeriği
DS_{AT}	kg/m^3	Aktif çamurun katı madde içeriği
h_c	m	Konik tabanlı yapıların tank derinliği
h_f	m	Konik tabanın yüksekliği
h_{SS}	m	Son çökeltim tanklarının derinliği
IPE	kişi	Nüfus ve nüfus eşdeğeri
m	kW	Son çökeltim tankında konik yapının eğimi
O_L	kg/kg	Oksijen yükü, oksijen transfer kapasitesi ve BOI_5 hacimsel yükünün oranına göre
OC	kg/sa	Normal şartlar altında temiz suda oksijen transfer kapasitesi
q_A	$m^3/(m^2.sa)$	Yüzey yükü
q_i	$m^3/(m.sa)$	Savak yükü
RV	-	Çamur geri devir oranı
SVI	mL/g	Çamur hacim indeksi
t_{SS}	sa	Son çökeltim tankında hidrolik bekleme süresi
V_{AT}	m^3	Aktif çamur tankının hacmi
V_{BF}	m^3	Biyolojik filtrenin hacmi
W_R	W/m^3	Birim reaktör hacmi başına gerekli güç

Tablo 16.9. Aktif çamur sistemi tasarım kriterleri

Parametre	Sembol	Birimi	Değeri
Çamur hacim indeksi			
- Evsel atıksu	SVI	mL/g	100
- Endüstriyel deşarjı olan evsel atıksu	SVI	mL/g	150
AKM konsantrasyonu	DS_{AT}	kg/m^3	≤ 4
BOI_5 organik yük	B_{DS}	$kg/(kg.gün)$	$\leq 0,05$
BOI_5 hacimsel yük	B_V	$kg/(m^3.gün)$	$\leq 0,2$
$OC/yük$	O_L	kg/kg	≥ 3
Oksijen içeriği	C_0	g/m^3	≥ 2
Havalandırma için gerekli güç	W_R	W/m^3	≥ 3

Tablo 16.10. Son çökeltim tankı tasarım kriterleri

Parametre	Sembol	Birimi	Değeri
Yüzey yükü	q_A	$m^3/(m^2/sa)$	0,3-0,5
Silindirik kısmın derinliği	h_c	M	$\geq 0,5$
Konik kısmın eğimi	m	-	$\geq 1,7:1$
Savak yükü	q_l	$m^3/(m^2/sa)$	≤ 5

Aktif çamur sistemleri (nüfus eşdeğeri 500-5000 için):

Konu ile ilgili sembol listesi Tablo 16.11'de verilmiştir.

Tablo 16.11. Sembol listesi

Sembol	Birimi	Açıklaması
A_{DS}	gün	Çamur yaşı
A_{SS}	m^2	Son çökeltim tankının yüzey alanı
$B_{d,BOI5}$	kg/gün	BOI_5 yükü
B_{DS}	kg/(kg.gün)	BOI_5 çamur yükü
$B_{V,BOI5}$	kg/(m^3 .gün)	BOI_5 hacimsel yük
D_{SAT}	kg/ m^3	Aktif çamurun katı madde içeriği
f_{O2}	g/(m^3 .m)	Spesifik oksijen tüketimi
h_c	m	Konik tabanlı yapıların tank derinliği
h_E	m	Basınçlı havanın suyun içerisinde çıktığı yükseklik
h_f	m	Konik tabanın yüksekliği
h_i	m	Konik tabanlı tankların giriş derinliği
h_{min}	m	Son çökeltim tanklarının minimum derinliği
h_{tot}	m	Son çökeltim tanklarının toplam derinliği
IPE	kişi	Nüfus ve nüfus eşdeğeri
N	kW	Motor enerji çıkışı
O_L	kg/kg	Oksijen yükü, oksijen transfer kapasitesi ve BOI_5 hacimsel yükünün oranına göre
OC	kg/sa	Normal şartlar altında temiz suda oksijen transfer kapasitesi
OC_N	kg/kWh	Temiz suda oksijen kazanımı
q_A	m/sa	Yüzey yükü
q_{SV}	L/(m^2 .sa)	Hacimsel çamur besleme hızı
Q	m^3/sa	Günlük atıksu deşarjı
Q_i	m^3/sa	İnfiltrasyon debisi
Q_A	m^3/sa	Hava debisi
Q_C	m^3/sa	Ticari atıksu debisi
Q_{CS}	m^3/sa	Birleşik atıksu debisi
Q_D	m^3/sa	Evsel atıksu debisi
Q_{DI}	m^3/sa	Evsel ve endüstriyel atıksu debisi
Q_{dw}	m^3/sa	Kuru hava debisi
Q_i	m^3/sa	Endüstriyel atıksu debisi
Q_r	m^3/sa	Ayrık kanal sisteminde kanal hattına gelen yağmursuyu debisi
Q_{SS}	m^3/sa	Fazla çamurun günlük debisi
r_{SS}	m	Son çökeltim tankının yarıçapı
SS_B	kg/kg	Biyobozunur organik maddeye göre spesifik fazla çamur üretimi
SVI	mL/kg	Çamur hacim indeksi
TKN	mg/L	Toplam Kjeldahl Azotu
V_{AT}	m^3	Aktif çamur tankının kullanılabilir kapasitesi
α		Oksijen temin katsayısı
αOC	kg/sa	Atıksuda oksijen transfer kapasitesi
αOC_N	kg/kWh	Atıksuda oksijen kazanımı

Çamur yoğunlaştırma sonrası üst duru fazın arıtma tesisine geri verilmesi halinde tasarıma esas atıksu özellikleri aşağıdaki gibi kabul edilebilir:

BOİ ₅ (% 85'lik değer)	= 60 g/kişi.gün
COD	= 120 g/kişi.gün
Askıda Katı Madde (DS ₀)	= 70 g/kişi.gün
TKN	= 11 g/kişi.gün
TP	= 2,5 g/kişi.gün

Çamur Oluşumu: Organik kirleticilerin biyolojik arıtımı sürecinde kişi başına çamur üretimi kaynak bazında:

Geri devir hattında (~ 1,0 % DSM)	~ 5 l/kişi.gün
Yoğunlaştırma sonrası (~ 2,5 % DSM)	~ 2 l/kişi.gün
Depolama (~ 2,5 % DSM)	~ 1 l/kişi.gün

Fosfor giderimi için kimyasal çöktürme uygulanması halinde, eklenen kimyasal madde miktarına bağlı olarak ilave çamur oluşumu hesaplanmalıdır. Bu durum sadece çamurun miktarını artırmakta çamurun organik madde içeriğinde herhangi bir değişiklik yapmamaktadır.

Hacimsel yük değerini belirlemek için aşağıdaki kriterler uygulanabilir:

BDS ≤ 0,05 kg/(kg.gün)
Buna karşılık gelen çamur yaşı
t _{DS} ≥ 20 gün

Tipik evsel atıksu arıtımı halinde oluşan fazla çamur 1 kg/giderilen BOİ₅ olarak alınabilir.

Yüksek çamur yaşından dolayı çamur aerobik olarak stabildir (kararlı) ve amonyum azotu da yılın büyük bir kısmında nitrifikasyona uğrar. Uygun işletme koşullarında kısmi denitrifikasyon görmek de mümkündür. Denitrifikasyonun olabilmesi için çamur yaşı, t_{DS}'in 25 gün de tutulması gerekir.

Önceki tecrübeler ışığında çamur hacim indisine bağlı olarak Tablo 16.12.'de verilen kuru madde içeriği ve hacimsel yükler kullanılabilir.

Tablo 16.12. Çamur hacim indisine bağlı olarak kuru madde içeriği ve hacimsel yük değerleri

Atıksu karakteri	SVI ml/g	B _{DS,BOİ5} kg/kg.gün	DS _{AT} kg/m ³	B _{V,BOİ5} kg/m ³ .gün
Düşük organik yük	75-100	≤ 0,05	≤ 5	≤ 0,25
Yüksek organik yük	100-150	≤ 0,05	≤ 4	≤ 0,20
Yüksek ve değişken organik yük	150-200	≤ 0,05	≤ 3	≤ 0,15

Standart şartlarda ve temiz suda oksijen transfer kapasitesi, atıksu için oksijen transfer kapasitesinden $1/\alpha$ faktörü kadar daha yüksek olmalıdır. Oksijen transferi düzeltme faktörü havalandırma tipine göre 0,5-0,9 aralığındadır.

Yüzey havalandırıcı kullanılması halinde oksijen kazanımı $\alpha OC_N = 1,0 - 1,6$ arasında olmalıdır.

İnce kabarcıklı difüzörlü havalandırıcı kullanılması halinde özgül oksijen tüketimi ise:

- Geri devir hattının açık kanal olması halinde $f_{O_2} = 8 - 10 \text{ mg/m}^3 \cdot \text{m}$ difüzör derinliği
- Geri devir hattının ayrıık olması halinde $f_{O_2} = 12 - 15 \text{ mg/m}^3 \cdot \text{m}$ difüzör derinliğidir.

Havalandırma borularında hava hızı $V_A = 15 \text{ m/s}$ alınmalıdır.

Son çökeltim havuzu: Havalandırma havuzundaki askıda katı madde konsantrasyonu ve çamur hacim indisi son çökeltim havuzu tasarımında en önemli iki kriterdir. Havalandırma havuzunun küçük seçilmesi halinde havuzdaki askıda katı madde konsantrasyonu artarak son çökeltim tankının daha büyük tutulmasına yol açacaktır. Bu yüzden bu sistemler için önerilen değerler kullanılmalıdır. Son çökeltim tanklarının tasarımı kuru veya yağışlı hava debilerinden bağımsızdır. Debi ve çamur yoğunlaştırıcıdan dönen akım tasarımda dikkate alınması gereken en önemli iki unsurdur.

Savak yüklü maksimum debide $10 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{sa})$ değerinden daha fazla olamaz.

Ekonomik ve teknik nedenlerle konik tabanlı çökeltim tankları çapı 10-12 m'den daha fazla olamaz. Daha büyük çaplar için taban sıyrıcıklı dairesel tanklar kullanılır. Bu tankların merkezinde yer alan besleme kulesinin çapı toplam tank çapının $1/5$ 'i ile $1/6$ 'sı arasında olmalıdır. Çamur geri devir hattında pompaların geri devir oranını, RV, % 100 yapacak kapasitede ve oran ayarlanabilir. Kuru hava debisi, Qd, de çamur hacim indeksi $\geq 120 \text{ mg/L}$ ise RV % 150 olabilir.

Normal şartlardaki fazla çamur oluşumu ile beklenmedik artışları dikkate alınarak depolama için gerekli süre seçilip hacim belirlenmelidir. Çamur uzaklaştırması yapılacaksa bekletme süresi ≥ 1 ay, tarımsal kullanımı düşünülürse uygun ekim dönemini beklemek üzere ≥ 6 ay olmalıdır.

Uzun havalandırılmalı aktif çamur sisteminden çıkan stabilize çamurun yoğunlaştırma verimi, anaerobik çürütülmüş çamura göre daha düşüktür. Bu nedenle aerobik stabilize çamurun uzun süreli depolanması sırasında anaerobik ortamda çürüme ile birlikte yoğunlaşma özellikleri iyileşecektir. İki yıldan uzun süreli depolama ile çamurun mekanik susuzlaştırma özellikleri daha da iyileştirilmiş olacaktır. Çamur depolama tanklarında çökeltmelerden dolayı duru faz oluşumu gözlenir. Tankın bu duru fazın tekrar arıtma tesisinin başına verebilecek düzende olması gerekir. Çökelen çamurun taşınması sırasında tekrar karıştırılması gerekir ve bu maksatlı sirkülasyon hattı kurulmalıdır. Sirkülasyon için güç yoğunluğu 30 ila 70 W/m^3 aralığında olmalıdır. Depolanan çamur, ıslak halde doğrudan tarımda kullanılabilir. Buna izin verilmiyorsa çamurun mekanik

susuzlaştırılması gerekir. Çamur susuzlaştırma için sabit bir tesise gerek olmayıp seyyar bir sistem de kiralanabilir. Susuzlaştırma sırasında ortaya çıkan filtre suyu tesisin başına gönderilir. Seyyar susuzlaştırma sistemi kullanılırsa, filtre suyunun arıtma tesisine çok yükünü önlemek üzere bir ara dengeleme ünitesi kurulmalıdır.

Küçük arıtma tesislerinde oluşan çamurun yakın bölgedeki büyük ölçekli atıksu arıtma tesisine gönderilmesi düşünülebilir. Bu durumda çamuru taşımadan önce susuzlaştırma yapıp yapılmayacağına maliyet analizi yapılarak karar verilir.

Lagün ve Damlatmalı Fitre/Biyodisk Sistemi (ATV A 257E, 1989)

ATV-DVWK Standard A 198E'deki genel kurallar ile uyumlu sembol listesi Tablo 16.13'de verilmiştir.

Tablo 16.13. Sembol listesi

<i>Sembol</i>	<i>Birimi</i>	<i>Açıklaması</i>
A_{I+PE}	$m^2/kişi$	Nüfus ve nüfus eşdeğeri başına yüzey alanı
A_R	m^2/m^3	Spesifik yüzey alanı
B_A	$g/(m^2.gün)$	BOİ ₅ yüzey yükü
B_R	$kg/(m^3.gün)$	BOİ ₅ hacimsel yük
c_m	g/m^3	Damlatmalı filtrede kuru hava debisi ve geri devir pompa suyu karışımının ortalama konsantrasyonu
$I+PE$	kişi	Toplam nüfus ve nüfus eşdeğeri
q_A	m/sa	Yüzey besleme
Q_d	$l/s, m^3/sa$	Kuru hava debisi
RR	-	Geri devir debisinin Q_d 'ye oranı
t_R	gün	Hidrolik bekletme süresi
V_{I+PE}	m^3/l	Nüfus ve nüfus eşdeğeri başına hacim

Bu sistemin boyutlandırması aşağıda verilen atıksu özelliklerine göre yapılabilir:

BOİ₅ yükü 60 g/kişi.gün
Evsel ve kentsel atıksu miktarı 150 L/kişi.gün

Evsel atıksu karakterinden farklılık gösteren atıksular da ayrıca dikkate alınmalıdır. Kanala sızma debisi de yerel şartlara göre hesaba dahil edilmelidir.

Birinci Çökeltim Lagünü: Klasik çökeltim lagünü için $V_{I+PE} \geq 0.5 m^3/kişi$, anaerobik lagün değeri olan $V_{I+PE} \geq 2 m^2/kişi$ kriteri de esas alınabilir. Arıtma verim yaz ve kış aylarında farklılık göstereceği için çökeltim lagününde arıtma verimi normal ön çökeltim tankı performansına eş kabul edilir. Bu nedenle ön çökeltim lagünü çıkışı BOİ₅ yükü 40 g/kişi.gün alınır. Bir sonraki kademedeki yer alan damlatmalı filtre veya biyodisk mekanik ekipmanları olması nedeni ile, tesisin başındaki ızgaranın da özellikle yağışlı dönemlerde olumsuz etkilenmemesi için mekanik temizlenebilir tipte seçilmesi tavsiye edilmektedir.

Damlatmalı filtre: Gerekli filtre hacminin belirlenmesinde Tablo 16.14'de verilen değerler kullanılabilir.

Tablo 16.14. Damlatmalı filtre için boyutlandırma kriterleri

Malzeme	Birimi	Karbon içeren maddelerin arıtımı, B_R	Nitrifikasyon
Taş dolgulu	kg/(m ³ gün)	≤ 0,4	≤ 0,2
Sentetik dolgu malzemesi			
$A_R \approx 100 \text{ m}^2/\text{m}^3$	kg/(m ³ gün)	≤ 0,4	≤ 0,2
$A_R \approx 200 \text{ m}^2/\text{m}^3$	kg/(m ³ gün)	≤ 0,8	≤ 0,4

Dolgu malzemesi $A_R \approx 200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ olan sistemde tıkanmalar gözlenebilir. Filtre yatağının yüksekliği 3 ila 4,5 m arasında seçilmelidir. Damlatmalı filtre besleme pompasının geri devir debi oranı $RV = 1$ ve/veya damlatmalı filtre girişindeki BOI_5 karışım konsantrasyonu $c_m \leq 120 \text{ mg/L}$ olacak şekilde tasarlanmalıdır. Yüzey yükleri işletme tecrübelerine dayanarak aşağıdaki gibi seçilebilir:

BOI_5 giderimi için boyutlandırılan damlatmalı filtrelerde $q_{A(1+RV)}$ (m/sa) değeri B_R kg/(m³ gün) değerinin 1,5 ila 2,5 katı olmalıdır. Nitrifikasyon için boyutlandırılan filtrelerde ise $q_{A(1+RV)}$ (m/sa) değeri B_R kg/(m³ gün) değerinin 2~4 katı arasında olmalıdır. Soğuk bölgelerde filtre yatağında ısı yalıtımı yapılması ve üzerinin kapatılması tavsiye edilmektedir.

Biyodisk: Gerekli yüzey alanının hesabında Tablo 16.15’de verilen BOI_5 yüzey yükü değeri kullanılabilir.

Tablo 16.15. Döner biyodisk için boyutlandırma kriterleri

Birimi	Karbonlu maddelerin giderimi, B_A	Nitrifikasyon
kg/(m ² gün)	≤ 0,8	≤ 4

En az iki biyodisk seri bağlı olacak şekilde seçilmelidir. Geri devir beslemesi de dikkate alınmalıdır. Geri devir de, damlatmalı filtrede olduğu gibi yaklaşık debi oranı $RV=1$ ve/veya disk girişindeki BOI_5 karışım konsantrasyonu $c_m \leq 120 \text{ mg/L}$ olmalıdır. Bakım ve izleme için biyodiskin her yanına kolaylıkla ulaşılabilir olmalıdır. Soğuk havadan korumak için reaktörün üzeri kapanabilir olmalıdır.

Kaba partiküllerin giderimi için çökeltim tankı: Çökeltim tankı yüzey yüklü kuru hava debisi Q_d için $q_A \leq 1,5 \text{ m/sa}$ olmalıdır. Kumaş filtreler kullanılması halinde yüzey yükü kuru hava debisi Q_d için $q_A \leq 8 \text{ m/sa}$ olmalıdır. Yağışlı havalarda bu değerde en fazla %50 oranında artırım yapılabilir.

İkinci Çökeltim Lagünü: Hacim hesabı bekletme süresine göre seçilerek yapılır. Kuru hava debisinde minimum bekletme süresi $t_R = 1$ gün olmalıdır. Daha iyi ve karalı çıkış suyu kalitesi etmek için $t_R \geq 2$ günün üzerinde seçilmesi tavsiye edilir. Yüksek bekletme süreleri alg oluşumu sorununu artırabilir. Sisteme fazla debi gelmesi ve bu debinin ikinci çökeltim lagününe yönlendirilmesi halinde gerekli yüzey yükü en az $3 \text{ m}^2/\text{kişi}$ seçilmelidir. Çok büyük tek bir lagün hacmi yerine küçük hacimli birçok lagünün seri bağlı tasarımı tavsiye edilmektedir. Bu düzende son lagün, olgunlaştırma lagünü gibi, sığ yapılmalıdır.

Yapay sulak alanlar (ATV A 262E, 1998):

Yapay sulak alanların (bitki yatakların) boyutlandırmasında mekanik birinci kademe arıtmadan geçmiş atıksuyun özellikleri dikkate alınır:

BOİ ₅ yükü	40 g/kişi.gün
Evsel atıksu miktarı	100 L/kişi.gün
Kentsel atıksu miktarı	150 L/kişi.gün

Kirlilik konsantrasyonu ve biyobozunabilirliği evsel atıksuya benzer atıksular bitki yataklarında arıtılabilir. Bu sistemde kanala sızma debisi düşük olmalıdır.

Sürekli olmayan (kesikli) beslemeler arıtma performansını artıracığı gibi zemin yatağı geçirgenliğinin de uzun dönemde iyileştirilmesi sağlanır.

Bitki yatağının tabaka kalınlığı:

- Yatay akışlı yataklarda ≥ 50 cm
- Düşey akışlı yataklarda ≥ 80 cm

Yatay akışlı bitki yataklarında tabaka kalınlığı, enkesitteki gerekli hidrolik geçirgenliğin, bitki kökü derinliği ve kış işletme şartları dikkate alınarak değiştirilebilir.

Yatak yüzeyi:

- Yatay akışlı ≥ 5 m²/kişi
Minimum yüzey alanı 20 m²
- Düşey akışlı ≥ 2.5 m²/kişi
Minimum yüzey alanı 10 m²

Bitki yatağının çevresine yapılacak set (sedde) dolgu için gerekli alan yukarıda verilen değerlere dahil değildir.

Yukarıda verilen boyutlandırma kriterinden bağımsız olarak bitki yataklarına kuru hava debisinde yapılacak yüzeysel besleme hızı:

- Yatay akışlı 40 mm/gün (40 L/m².gün)
- Düşey akışlı 60 mm/gün (60 L m².gün)

Yatay akışlı yataklarda en kesitteki geçirimsizliğinin ve yatak geometrisinin belirlenmesinde hidrolik şartlar dikkate alınmalıdır.

Yatak uzunluğunun ≥ 10 m olması durumunda **k** geçirimsizlik katsayısı, malzemenin yatağa yerleştirilmeden önceki değerinden 10 kat düşük alınmalıdır.

Uygulanabilecek yatak malzemesinin özellikleri Tablo 16.16'da verilmiştir.

Tablo 16.16. Yapay sulak alanlarda kullanılan yatak malzemesinin özellikleri

<i>Yatak malzeme tipi</i>	<i>D₁₀, etkili dane çapı, mm</i>	<i>Porozite, n, %</i>	<i>Hidrolik iletkenlik, k_s, m³/m².gün</i>
<i>Kaba kum</i>	<i>2</i>	<i>28-32</i>	<i>100-1000</i>
<i>Çakıllı kum</i>	<i>8</i>	<i>30-35</i>	<i>500-5000</i>
<i>İnce çakıl</i>	<i>16</i>	<i>35-38</i>	<i>1000-10000</i>
<i>Orta büy. Çakıl</i>	<i>32</i>	<i>36-40</i>	<i>10000-50000</i>
<i>Büyük taş</i>	<i>128</i>	<i>38-345</i>	<i>50000-250000</i>

Organik kirlenmelerin gideriminde sorun yaşanması halinde aşağıdaki tedbirler uygulanabilir:

- Yatak tabakasına oksijen transferi artırmak için yatağın kesikli veya değişken debili beslenmesi,
- Yüzey alanının genişletilmesi,
- Çıkış akımının geri devrettirilmesi.

Nitrifikasyon ve denitrifikasyon için geçerli özel boyutlandırma kriterleri yoktur.

Yatay akışlı yataklarda giriş yapısı tüm en kesite atıksuyun eşit olarak dağıtılabilmesine imkan verecek şekilde düzenlenmelidir. Giriş yapısında göllenme olmamalıdır. Toplama (çıkış) yapısı ise atıksuyun tüm yatay boyunca kısa devre akım ile toplanmasına imkan vermelidir.

Düşey akışlı yataklarda atıksuyun tüm yatak yüzeyine eşit dağılımı yapılabilir. Seçilecek yöntemin, uzun süreli düşük hava sıcaklarında gözlenecek donmaya karşı emniyetli olması gerekir.

Her iki tip yatakta da, su seviyesinin bitki yatak yüzeyinin 10 cm altına inmesi ve 10 cm üzerine çıkmasını sağlayacak çıkış yapısı tasarlanmalıdır.

Giriş ve çıkış boruları ile birlikte şaftların, mekanik ekipman veya yüksek basınçla çalışan temizleme ekipmanları ile temizlenmesi mümkün olmalıdır.

Yataklarda yetiştirilebilecek en yaygın bitki türü kamış (phragmites) olup zambak, kargı, hasır otu (typha, juncus) gibi otsu bitkiler de kullanılabilir.

Kamışların yetiştirilmesinde aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

- Kamış ekimi grup veya tekil köksap şeklinde veya fideler ile yapılabilir.
- Grup köksap şeklinde m²'ye 2 grup ekilebilir. Ekim tercihen bahar döneminde olmakla birlikte, yılın herhangi bir zamanında da yapılabilir.
- Tekil köksap m²'ye 4-6 adet ekilebilir. Her bir köksap ekiminde bir veya iki adet 10-60 cm uzunluğundaki aşlar kullanılır. Mayıs ayı sonu ile Haziran ayına kadar olan dönem en uygun ekim zamanıdır.

- Fideler m²'ye 3-5 adet ekilebilir. Seralarda küçük kaplarda yetiştirilen fideler de Mayıs ayı sonu ile Haziran ayına kadar olan dönemde ekilir. Köksap şekline göre fidelerden daha yüksek verim alınır.

Ekim, zeminin sıkışmasını önlemek için zeminin üzerine geçici olarak yerleştirilecek destek malzemesi üzerinden yapılmalıdır. İşletme esnasında da yataktaki toprağın sıkışmaması için, yatağa düzenli bir giriş çıkış sistemi oluşturulmalıdır.

Ekim yönteminden bağımsız olarak güçlü bitki gelişimi için en uygun büyüme koşullarının sağlanması gerekir. Bunlar:

- Yeni ekilen yatakların iyi sulanması gerekir. Ancak bitkiler sürekli olarak su altında kalmamalıdır. Yabancı bitkilerin gelişimi gözlenirse bitkilerin filizlenmesindeki artış ile orantılı biçimde aralıklı olarak yatak su altında bırakılabilir.
- Bitkilerin birinci büyüme döneminde besi maddesi temini oldukça önemlidir. Evsel atıksu ile beslemek besi maddesi gereksinimini fazlası ile karşılayacaktır.

16.3. Kaynaklar

ATV-A 122E (1991) German Rules and Standards, Principles for Dimensioning, Construction and Operation of Small Sewage Treatment Plants with Aerobic Biological Purification Stage for Connection Values between 50 and 500 Total Number of Inhabitants and Population Equivalents.

ATV-A 200E (1997). German Rules and Standards, Principles for the Disposal of Wastewater in Rurally Structured Areas.

ATV-A 257E (1989). German Rules and Standards, Principles for the Dimensioning of Wastewater Lagoons and In-line Biological Filters or Biological Contactors.

ATV-A 262E (1998). German Rules and Standards, Principles for the Dimensioning, Construction and Operation of Plant Beds for Communal Wastewater with Capacities up to 1000 Total Number of Inhabitants and Population Equivalents.

Crites, R. ve Tchobanoglous, G. (1998). Small and Decentralized Wastewater Management Systems, Mc-Graw-Hill, Boston.

ÇOB (2010). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, TC Çevre ve Orman Bakanlığı (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı), Resmi Gazete Tarih: 20.03.2010, Sayı: 27527.

DIN EN 476 (2011). General Requirements for Components used in Drains and Sewers;

DIN EN 12255-9 (2002). Wastewater Treatment Plants Part 9: Odour Control and Ventilation

DIN EN 12255-10 (2001). Waste Water Treatment Plants Part 10 Safety Principles

DIN EN 12566-1 (2000). Small Wastewater Treatment Systems for up to 50 PT Part 1: Prefabricated Septic Tanks

DIN EN 12566-4 (2008). Small Wastewater Treatment Systems for up to 50 PT Part 4: Septic Tanks Assembled in Situ from Prefabricated Kits

DIN EN 1333 (2006). Flanges and Their Joints - Pipework Components - Definition and Selection of Pipes

DIN 4261-1 (2010). Small Sewage Treatment Plants Part 1: Plants for Wastewater Pretreatment

DIN 19569-7 (2008). Sewage Treatment Plants – Principles for The Design of Structures and Technical Equipment Part 7: Station for the Transfer of Faecal Sewage

EPA/625/R-00/008 (2002). Onsite Wastewater Treatment Systems Manual

GUV-R-104 (2005). Rules of Explosion Protection

WEF (2010). Natural System for Wastewater Treatment, Water Environment Federation Press.

EK 1 GENEL TANIM VE TERİMLER

1. Genel

Evsel atıksu: Ev işlerinde veya herhangi bir işlemde kullanıldıktan, ya da üretildikten sonra kanalizasyon sistemine verilen sudur. Yağmur suyu veya herhangi bir şekilde birleşik kanalizasyon sistemine sızan su da atıksu olarak kabul edilir.

Çamur: Değişik tiplerdeki atıksulardan, doğal veya yapay işlemlerle ayrılan su ve katı parçacıkların bir karışımıdır.

Eşdeğer nüfus (EN): Günlük atıksu veya kanalizasyon maddelerinin miktarından hesaplanan, ticarî veya sanayi atıksu miktarının, evsel atıksu cinsinden nüfus başında ifade edilmesidir.

Tasarım kapasitesi: Arıtma sisteminin tasarlandığı ve belirtilen standartlara uygun olarak arıtılabileceği en yüksek atıksu debisidir.

Alıcı ortam (su): Su veya arıtılan atıksuyun deşarj edildiği herhangi bir su ortamıdır.

Deşarj standardı: Arıtılan atıksuyun alıcı ortama deşarjında deşarj edilen suyun fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliklerine getirilen sınırlamadır.

Anlık numune: Belirli bir noktadan anlık olarak alınan münferit numunedir.

Kompozit numune: Tespiti düşünülen herhangi bir özellik ile ilgili değerlerin elde edilebildiği, anlık ya da sürekli olarak elde edilmiş, iki veya daha fazla numunenin veya alt numunenin uygun oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen numunedir.

Paket arıtma sistemi: Prefabrik olarak imal edilen atıksu arıtma sistemidir.

2. Atıksu Türleri ve Atıksuyun Toplanması

Ham atıksu: Herhangi bir arıtma işleminden geçmemiş atıksudur.

Kentsel atıksu: Ağırlıklı evsel atıksulardan meydana gelen yerleşim yerlerindeki atıksudur. Kentsel atıksu, ayrıca, yağmur sularını, yeraltına sızan suları, ticarî veya sanayi atıksularını da ihtiva edebilir.

Sızma debisi: Kanalizasyon sistemine sızan yeraltı veya yağmur suyudur.

Birleşik sistem: Atıksu ve yüzey sularını aynı boru(lar)da birlikte taşımak için tasarlanmış kanalizasyon sistemidir.

Ayrık kanalizasyon sistemi: Biri atıksuyu, diğeri yüzey sularını taşımak üzere, iki ayrı boru grubundan oluşan kanalizasyon sistemidir.

3. Atıksu Miktarı ve Kalitesi

Debi: Belirli bir kesit alanından birim zamanda geçen akışkan hacmidir. Debi, m³/gün, m³/h veya m³/s birimleri ile ifade edilebilir.

Maksimum debi: Belirli bir kesit alanından birim zamanda geçen en yüksek akışkan hacmidir.

Maksimum tasarım debisi: Bir atıksu arıtma tesisinin arıtılabileceği en yüksek atıksu debisidir.

Kuru hava şartları: Kanalizasyon sisteminin yer aldığı bölgede yağmur suyu miktarının veya eriyen kar miktarının ihmal edilebileceği zaman aralığıdır. Meselâ, 1 mm/gün'ün üzerinde herhangi bir yağışın olmadığı veya karın erimelediği birbirini takip eden beş günlük bir süredir.

Kurak hava debisi: Atıksu arıtma tesisinde, yağmur suyu veya karın erimesinden kaynaklanan suyun girmediği atıksu debisidir.

Ortalama debi: Belirli bir zaman aralığında elde edilen debilerin ortalamasıdır. Ortalama debi, m³/s, m³/saat veya L/s birimleri ile ifade edilebilir.

Kirlilik yükü: Bir atıksu veya çamurdaki katı madde kütlesinin zamana oranıdır. Kirlilik yükü, kg/saat veya kg/gün birimleri ile ifade edilebilir.

Konsantrasyon: Bir atıksu veya çamurdaki madde kütlesinin hacme oranıdır. Konsantrasyon, mg/L veya g/m³ birimleri ile ifade edilebilir.

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ): Belirli şartlar altında (20°C'de t gün veya azot oluşumu ile veya azot oluşumu engellenmeksizin), sudaki organik ve/veya inorganik maddelerin biyolojik oksidasyonu sonucu sarf edilen çözülmüş oksijenin konsantrasyonudur. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, mg/L veya g/m³ birimleri ile ifade edilebilir.

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ): Belirli şartlar altında su numunesi dikromat ile muamele edildiğinde, sarf edilen dikromat miktarına eş değer oksijenin konsantrasyonudur. Kimyasal oksijen ihtiyacı, mg/L veya g/m³ birimleri ile ifade edilebilir.

Toplam organik karbon (TOK): Suda çözülmüş veya askıdaki organik maddelerde mevcut organik karbonun konsantrasyonudur. Toplam organik karbon, mg/L veya g/m³ birimleri ile ifade edilebilir.

Toplam katı madde (TKM): Çözünmüş, askıdaki ve yüzen katı maddelerin konsantrasyonları toplamıdır. Toplam katı, mg/L veya g/m³ birimleri ile ifade edilebilir.

Askıda katı madde (AKM): Süzme veya santrifüjleme yoluyla tayin edilen ve belirli şartlar altında kurutulmuş kütlesi tespit edilen bir sıvı içerisindeki askıdaki katı maddelerin konsantrasyonudur. Askıdaki katı maddeler, mg/L veya g/m³ birimleri ile ifade edilebilir.

Çözünmüş katı maddeler: Belirli şartlar altında süzme ve kuruluğa kadar buharlaştırma işlemlerinden sonra kalan maddelerin konsantrasyonudur. Çözünmüş katı maddeler, mg/L veya g/m³ birimleri ile ifade edilebilir.

Toplam azot (TA): Kjeldahl (amonyak ve organik azot toplamı), nitrit ve nitrat azotlarının konsantrasyonları toplamıdır. Toplam azot, mg/L birimi ile ifade edilir.

Kjeldahl azotu (KA): Organik ve amonyak azotunun toplam konsantrasyonudur. Kjeldahl azotu, mg/L birimi ile ifade edilir.

Toplam fosfor: Organik ve inorganik fosforun toplamının konsantrasyonudur. Toplam fosfor, mg/L veya g/m³ birimleri ile ifade edilebilir.

Çözünmüş fosfor: Belirli şartlar altında süzme işleminden sonra ölçülen organik ve inorganik fosforun toplamının konsantrasyonudur. Çözünmüş fosfor, mg/L veya g/m³ birimleri ile ifade edilebilir.

4. Yöntemler, Özellikler ve Çevre Üzerine Etkiler

Ön arıtma: Bir atıksuyun kanalizasyona verilmeden önce özelliklerinin iyileştirilmesidir.

İlk arıtma: Atıksudan, büyük katı parçalar, kum, çakıl veya yüzen katı maddelerin uzaklaştırılmasının gerçekleştirildiği arıtma kademesidir (Izgara, kum tutucu, debi dengeleme ve debi ölçümü birimlerini içerir.).

Birincil arıtma: Ham atıksudan veya ilk arıtmadan sonra atıksudan askıdaki katı maddelerin uzaklaştırılmasının gerçekleştirildiği arıtma kademesidir (ilk arıtmaya ilave olarak ön çöktürme birimi ilave edilir.).

İkincil arıtma: Atıksuyun aktif çamur veya eş değer sonuçlar veren diğer işlemlerle arıtıldığı biyolojik arıtma kademesidir.

Üçüncül arıtma: Birincil ve ikincil arıtmadan daha fazla giderim sağlayan ilâve arıtma kademesidir (ikincil arıtmada giderilemeyen askıda ve organik maddelerin daha ileri seviyede giderilmesi için mikroelet veya filtrasyon ünitesi ilave edilir.).

İleri arıtma: Biyolojik arıtma ile giderilemeyen askıda ve organik maddelerin suyun geri kazanılması amacıyla daha ileri seviyede giderilmesidir.

Aerobik atıksu arıtımı: Atıksuyun, aerobik şartlar altında, aerobik organizmalar yardımıyla arıtılmasıdır.

Anaerobik atıksu arıtımı: Atıksuyun, havasız şartlar altında, mikroorganizmalar yardımıyla arıtılmasıdır.

Besi maddesi: Azot, fosfor, kükürt ve eser elementler gibi organizmaların beslenmesi için gerekli olan inorganik maddelerdir.

Besin maddelerinin giderilmesi: Atıksu arıtımında, özellikle azot ve fosforlu bileşiklerin giderilmesi için kullanılan biyolojik, fiziksel veya kimyasal işlemlerdir.

Nitrifikasyon: Amonyum tuzlarının bakteriler tarafından yükseltgenmesidir. Dönüşme reaksiyonlarının nihaî ürünü genellikle nitrattır.

Denitrifikasyon: Bakterilerin faaliyetleri sonucu nitrat veya nitritin indirgenmesi ve bunun sonucu olarak azot gazının serbest kalmasıdır.

Piston akışlı sistem: Kesit alanında tam bir karışmanın meydana geldiği, buna karşın akış yönünde herhangi bir difüzyon veya dispersiyonun meydana gelmediği teorik akış sistemidir.

Tam karıştırılmalı sistem: Bileşenlerin konsantrasyonlarının her yerde aynı olduğu teorik sistemdir.

Bekletme süresi (Alıkoyma süresi): Geri devrettirilen akışkanlar hariç, bir akışkanın hacminin debisine bölünmesiyle hesaplanan ve belirli bir birim veya sistemde akışkanın tutulduğu teorik süredir.

Hacimsel yük: Bir atıksu arıtma tesisinde, atıksuyun kirlilik yükünün atıksuyun arıtıldığı yerin hacmine oranıdır.

Yüzey yükleme hızı (Yüzey yükü): Atıksu arıtma sistemine gönderilen atıksu debisinin, atıksu arıtma sisteminin yüzey alanına oranıdır. Meselâ, birim zamanda ve arıtma sisteminin göz önüne alınan bölümünün yatay kesit alanı başına arıtılan atıksu veya çamur hacmidir.

Çökeltme hızı: Katı maddelerin, belirli şartlar altında tayin edilen ve çökeltme eğrisi ile gösterilen, ortalama çökme hızıdır. Çökeltme hızı, m/saat veya cm/sn birimleri ile ifade edilebilir.

Savak yükü: Birim sürede savağın birim boyundan geçen akışkandır. Savak taşma hızı, m³/m.st birimi ile ifade edilir.

Çöktürme tankı: Yerçekimi etkisiyle atıksudan katı maddeleri ayırmaya yarayan ve işlevine göre birinci çöktürme tankı, ara çöktürme tankı ve ikinci çöktürme tankı olarak da adlandırılan yapıdır.

Dezenfeksiyon: Mikroorganizmaların patojenik etkilerini belirli bir seviyenin altına düşürmek amacıyla, atıksuyun veya çamurun arıtılmasıdır.

5. Ön Arıtma ve Birinci Kademe Arıtma

Izgara: Bir atıksu akıntısındaki iri parçacıkları ve maddeleri, elle veya mekanik olarak çalışan tırmık şeklindeki çubuklar veya hareketli bantlar üzerinde veya dönen diskler veya genleştirilmiş metal levhadan yapılmış ya da kafes şeklindeki tamburlar üzerinde tutan tertibattır.

Parçalayıcı (ezici): İri parçacıkların boyutunu küçültmek için kullanılan mekanik ekipmandır.

Kum tutucu: Çakıl, kum veya benzeri mineral malzemeleri atıksudan ayırmada kullanılan yapıdır.

Yağ tutucu: Gres, yağ ve diğer yüzen maddeleri atıksudan ayırmada kullanılan yapı veya mekanik ekipmandır.

Dengeleme: Atıksuyun; akış hızının, konsantrasyon ve sıcaklık gibi parametrelerinin bir dengeleme tankı içerisinde dengelenmesidir.

Birincil çöktürme tankı: Ham veya kaba arıtmadan geçirilmiş atıksudaki çöktürülen katı maddelerin büyük çoğunluğunun çöktürülerek ayrıldığı çöktürme tankıdır.

6. Yüzeyde büyüyen sistemler

Biyolojik film: Bir destek ortamının yüzeyinde mikroorganizmaların oluşturduğu tabakadır.

Sabit film reaktörü: Biyolojik arıtmanın çok büyük bir bölümünün destek ortamı üzerinde yer alan biyolojik film tarafından gerçekleştirildiği reaktördür.

Damlatmalı filtre: Atıksuyun, destek ortamı yatağı boyunca süzüldüğü sabit film reaktörüdür. Bu tür filtrelerde, havalandırma doğal olarak gerçekleşebilir veya yapay olarak gerçekleştirilebilir.

Granüler sabit yatak reaktörü (biyofiltre): Süzme ve biyokimyasal parçalanma işlemlerinin birlikte gerçekleştiği, granül hâlindeki malzemelerden oluşan bir ortama sahip sabit film reaktörüdür.

Akışkan yatak reaktörü: Parçacıklardan oluşan yatağın, sıvının, gazın veya sıvının ve gazın birlikte yukarıya doğru akışı sebebiyle serbestçe asılı kaldığı sabit film reaktörüdür.

7. Aktif Çamur Sistemiyle Arıtma

Aktif çamur: Aerobik veya havasız şartlar altında, askıdaki bakteriler veya diğer mikroorganizmaların büyümesiyle oluşan biyolojik küttedir.

Geri devir çamur oranı: Geri devredilen aktif çamur debisinin, atıksu arıtma sistemine giren atıksu debisine oranıdır.

Fazla (atık) aktif çamur: Bir aktif çamurla arıtma sisteminden uzaklaştırılan çamurdur.

Çamur yaşı: Aerobik bölgelerde oluşan toplam çamuru sabit bir hızla tanklardan dışarı göndermek için gereken ve hesaplanarak bulunan süredir. Çamur yaşı, arıtılmış çıkış suyundaki katı maddeler dikkate alınarak hesaplanır. Çamur yaşı, gün birimi ile ifade edilir.

Havalandırma: Bir yere hava veya oksijen verilmesidir.

Uzun süreli havalandırma: Çamur yaşının yüksek olduğu aktif çamurla arıtma işlemidir.

Oksijen tüketim hızı: Birim hacim sıvı başına birim zamanda tüketilen oksijen miktarıdır. Oksijen tüketim hızı, mg/(L.h) veya mg/(L.min) birimleri ile ifade edilebilir.

Durultucu (ikinci çöktürme tankı): Aktif çamurun, arıtma tesisini terk eden akıntıdan veya biyolojik filtreden ayrıldığı çöktürme tankıdır.

Çamur hacimsel yüzey yükü: Bir çöktürme tankının yatay kesit alanından birim zamanda geçen çamur hacmidir. Çamurun hacimsel yüzey yükü, yüzey yükleme hızı ve çöken çamur hacminin çarpımından hesaplanır. Çamur hacimsel yüzey yükü, m³/(m².h) birimi ile ifade edilir.

Çamur hacim indeksi (SVI): Belirli şartlar altında, belirli bir sürede (genellikle 30 dakikada) çöken aktif çamurun çökmeden sonra 1 gramının kapladığı mililitre cinsinden hacimdir. Çamur hacim indeksi veya karıştırıldıktan sonraki çamur hacim indeksi, mL/g birimi ile ifade edilir.

Çamur kabarması: Aktif çamurla arıtma tesislerinde, genellikle aşırı miktardaki ipliksi organizmalar sebebiyle meydana gelen oldukça fazla hacim kaplayan ve kolaylıkla çöktürülemeyen aktif çamur oluşumudur.

8. Diğer atıksu arıtma işlemleri

Atıksu lagünü (havuzu): Yükseltgeme havuzu, havalandırılmalı lagün veya durultma havuzu gibi, çoğunlukla toprak engellerle oluşturulan atıksu arıtmaya yarayan çanak şeklindeki basit yapıdır.

Çöktürme lagünü (havuzu): Atıksudan katı maddelerin ayrılması için kullanılan atıksu lagünüdür.

Havasız lagün: Atıksudaki çamurun çöktürülmesi, parçalanması ve çürütülmesi için kullanılan atıksu lagünüdür.

Havalandırılmalı lagün: Havalandırmanın yapay olarak gerçekleştirildiği, çamurun geri devrettirilmediği atıksu lagünüdür.

Doğal lagün: Atıksuyun yapay olarak havalandırmadan biyolojik olarak arıtıldığı bir seri atıksu havuzundan oluşan arıtma sistemidir.

Toprakta arıtma (toprağa verme): Atıksuyun toprak altına sızması sonucunda arıtılması veya genellikle nihai olarak bertaraf etmek amacıyla atıksuyun toprak yüzeyine yayılmasıdır.

9. Çamurun arıtılması

Çamur arıtma: İnceltme, kararlı hâle getirme, şartlandırma, su giderme, kurutma, dezenfeksiyon ve yakma gibi çamuru tekrar kullanmak veya bertaraf etmek amacıyla yapılan işlemlerdir.

Çamur bertaraf etme: Çevresel herhangi bir yarar olmaksızın, çamurun veya yakılmasıyla elde edilen küllerin toprağa verilmesidir.

Ham çamur: Üzerinde herhangi bir işlem yapılmamış kararlı olmayan çamurdur.

Birincil çamur: Birincil arıtma sonucu elde edilen ve geri devrettirilen çamurla karıştırılmamış çamurdur.

İkincil (biyolojik) çamur: İkincil arıtma veya biyolojik arıtma sonucu elde edilen çamurdur.

Kimyasal çamur: Kimyasal çöktürme işlemiyle ayrılan çamurdur.

Havasız çamur çürütme: Çamurun organik madde muhtevasının havasız olarak azaltıldığı işlemdir.

Aerobik çamur çürütme: Çamurun organik madde muhtevasının aerobik olarak azaltıldığı işlemdir.

Biyogaz: Havasız çürüme işlemi sırasında meydana gelen ve esas olarak metan (CH₄) ve karbondioksitten (CO₂) oluşan gaz karışımıdır.

Çamur yoğunlaştırma: Yerçekimi kuvveti gibi bir kuvvet yardımıyla çamur üzerindeki sıvının uzaklaştırılmasıyla çamurdaki katı madde konsantrasyonunun artırılması işlemidir.

Çamur sıyrıcı: Yoğunlaştırıcıda, çoğunlukla bıçaklarla donatılmış düşey çubuklardan oluşan ve yavaş hızla dönen mekanizmadır.

Çamur lagünü: Çamuru biriktirmek amacıyla kullanılan lagündür.

Çamur şartlandırma: Çamurun suyunun tamamen giderilmesi amacıyla uygulanan fiziksel, kimyasal, termal veya diğer arıtma işlemleridir.

Kimyasal şartlandırma: Ortama kimyasal madde ilâve ederek yapılan şartlandırmadır.

Termal şartlandırma: Çamur sıcaklığının değiştirilmesiyle yapılan şartlandırmadır.

Çamur kurutma yatağı: Çamur suyunun giderilmesi ve daha sonra suyun toprağa verilmesi veya buharlaştırılması yoluyla çamurun kurutulmasında kullanılan yapıdır.

Filtre keki: Bir süzme işleminde çamur suyunun giderilmesi sırasında filtre üzerinde kalan katı veya yarı katı kalıntılardır.

Çamur sıvısı: Çamurdan ayrılan sıvıdır.

Nihaî çamur şartlandırma: Çamuru herhangi bir şekilde kullanmak veya bertaraf etmek amacıyla gerçekleştirilen fiziksel, kimyasal, termal veya diğer çamur arıtma işlemleridir.

Termal çamur kurutma: Suyun çamurdan buharlaştırılarak uzaklaştırıldığı işlemidir.

Çamur yakma: Çamurdaki organik maddelerin yüksek sıcaklıkta yükseltgenmesidir.

Kuru katı madde muhtevası: Çamurdaki katı maddelerin toplam miktarının çamurun kütlesine oranıdır.

Kaynaklar

DIN EN 1085 (1997) Wastewater Treatment – Vocabulary

TS EN 1085 Atıksu Arıtımı – Terimler ve Tarifler