

ATIKSU ARITIMININ ESASLARI

**Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve
Arıtma Çamurlarının Kontrolü**

**Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK
Dr. Hacer TİMUR
Dr. Ufuk KOŞKAN**

© 2005

1. ATIKSU MİKTAR VE ÖZELLİKLERİ	1
1.1. Atıksu Akımının Karakteristikleri	1
1.1.1. Birim Su Sarfiyatları	1
1.1.2. Atıksu Akımının Zamanla Değişimi	5
1.1.3. Yüzeysel Akış ve Sızma	7
1.1.4. Atıksu Miktar ve Debilerinin Hesabı	7
1.1.4.1. Atıksu Debilerinin Hesabı	8
1.1.4.2. Sanayi Debilerinin Bulunması	9
1.1.4.3. Sızma Debisi Tahmini	10
1.2. Atıksu Özellikleri	10
1.2.1. Atıksu Karakterizasyonunda Başlıca Parametreler	11
1.2.1.1. Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)	11
1.2.1.2. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	11
1.2.1.3. Toplam Organik Karbon (TOK)	16
1.2.1.4. Teorik Oksijen İhtiyacı (TeOİ)	16
1.2.1.5. Toplam Oksijen İhtiyacı (TOİ)	17
1.2.1.6. Azot-Fosfor	17
1.2.2. Evsel Atıksuların Tipik Özellikleri	18
1.2.3. Endüstriyel Atıksular	20
1.2.3.1. Kirleticilerin yapıları ve tipik değerleri	21
2. ATIKSU DEBİLERİNİN ÖLÇÜMÜ	26
2.1. Debi Ölçümleri	26
2.1.1. Debi Ölçüm Cihazlarının Yerleştirilmesi	26
2.1.2. Debi Ölçüm Yöntemi ve Ölçme Cihazları	28
2.1.2.1. Basınçlı Borularda Debi Ölçüm Cihazları	29
2.1.2.2. Açık Kanallarda Debi Ölçümü	36
2.1.2.3. İz Madde Enjeksiyonu Yöntemi ile Debi Ölçümü	49
2.1.2.4. Yüzgeçlerle Debi Ölçümü	50
3. BORULAMA VE HİDROLİK HESAPLAR	52
3.1. Tanımlar	52
3.2. Borulama	53
3.2.1. Hidrolik Profil	53
3.3. Yük Kayıplarının Hesaplanması	55
3.3.1. Dairesel Kesitli Hatlarda Yersel Yük Kayıplarının Hesaplanması	56
3.3.2. Tam Dolu Borularda Yük Kayıpları	63
4. FİZİKSEL ARITMA	70
4.1. Ön Arıtma	70
4.1.1. Eleme	70
4.1.2. Kum Tutucular	74
4.1.3. Dengeleme	78
4.1.3.1. Dengeleme Ünitesinin Yeri	79
4.1.3.2. Hat Üstü veya Hat Dışı Dengeleme	79
4.1.3.3. Gerekli Dengeleme Havuzu Hacmi	79
4.1.3.4. Dengeleme Havuzu İnşası	80
4.1.3.5. Karıştırma ve Hava Gereksinimi	81
4.1.3.6. Pompa ve Pompa Kontrolü	81
4.1.4. Ön Çöktürme	82
4.2. Atıksu Pompaları ve Pompa İstasyonları	86
4.3. Karıştırma	90
4.3.1. Karıştırmada Enerji Dağılımı	90

4.3.2. Karıştırma Enerji Gereksinimi	91
4.4. Yüzdürme	94
4.5. Havalandırma	94
4.5.1. Difüzörler	95
4.5.2. Üfleyiciler (Blower)	100
4.5.3. Mekanik Havalandırıcılar	101
4.5.3.1. Düşey Milli Yüzey Havalandırıcılar	101
4.5.3.2. Düşey Milli Batmış Havalandırıcılar	102
4.5.3.3. Yatay Milli Döner Mekanik Havalandırıcılar	102
4.5.3.4. Havalandırıcı Performansı	102
4.5.4. Karıştırma İçin Enerji İhtiyacı	103
5. BİYOLOJİK ARITMA	106
5.1. Biyolojik Arıtma Sistemleri	106
5.1.1. Biyolojik Arıtmanın Amacı	106
5.1.2. Biyolojik Arıtmada Mikroorganizmaların Rolü	106
5.2. Mikrobiyolojik Metabolizmanın Tanımı	107
5.2.1. Mikroorganizma Çoğalmasında Besi Maddesi İhtiyacı	107
5.2.2. Karbon ve Enerji Kaynakları	107
5.2.3. Nütrient ve İz Element İhtiyacı	108
5.3. Biyolojik Arıtmada Önemli Mikroorganizmalar	108
5.3.1. Bakteri	109
5.3.2. Bakterilerin Hücre Kompozisyonu	109
5.4. Bakteri Büyümesi	109
5.5. Biyolojik Büyüme Kinetiği	110
5.5.1. Hücre Büyümesi	110
5.5.2. Substrat Limitli (kısıtlı) Büyüme	111
5.5.3. Hücre Büyümesi ve Substrat Kullanımı	111
5.5.4. İçsel Solunum Metabolizmasının Etkileri	113
5.5.5. Çevre Koşullarının Biyolojik Reaksiyona Etkisi	114
5.5.5.1. Sıcaklığın etkisi	114
5.5.5.2. pH	115
5.5.5.3. Çözünmüş Oksijen	115
5.5.5.4. Çözünmüş Karbondioksit	116
5.5.5.5. İyon Konsantrasyonu	116
5.5.6. Büyüme ve Substrat Giderim Kinetiklerinin Biyolojik Arıtma Uygulanması	116
5.5.7. Mikroorganizma ve Substrat Kütle Dengesi	116
5.5.8. Arıtılmış Atıksuda Mikroorganizma ve Substrat Konsantrasyonları	118
5.6. Biyolojik Arıtma Prosesleri	119
5.6.1. Bazı Tanımlar	119
5.6.2. Biyolojik Arıtma Prosesleri	119
5.6.3. Biyolojik Arıtma Proseslerinin Uygulamaları	121
5.7. Biyolojik Arıtma Sistemlerinin Tasarımı	121
5.7.1. Aktif Çamur Prosesleri	122
5.7.1.1. Proses tasarımı Yaklaşımları	122
5.7.1.2. Proses Kontrolü	129
5.8. Askıda Büyüyen Havalı Arıtma Sistemleri	133
5.8.1. Aktif Çamur Prosesi	133
5.8.2. Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Prosesi	142
5.8.3. Oksidasyon Hendeği	143
5.9. Yüzeyde Büyüyen (Biyofilmlili) Havalı Sistemler	145

5.9.1. Damlatmalı Filtreler	145
5.9.1.1. Kıрма Taştan Dolgulu Biyolojik Filtreler	146
5.9.1.2. Sentetik Dolgulu Damlatmalı Filtreler (Biyolojik Kuleler)	148
5.9.2. Biyodisk	150
5.9.3. Akışkan Yataklı Reaktör	153
5.10. Havalandırmalı Lagünler	153
5.10.1. Fakültatif Havalandırmalı Lagünler	156
5.10.2. Sürekli Akışlı Havalı Lagünler	156
5.10.3. Çamur Geri Devirli Havalı Lagünler	157
5.11. Stabilizasyon Havuzları	157
5.11.1. Havuz Tipleri	157
5.11.2. Havuz Ekosistemini Etkileyen Faktörler	159
5.12. Havalı Atıksu Arıtma Sistemleri Özelliklerinin Özeti	160
5.13. KÜÇÜK ATIKSU ARITMA SİSTEMLERİ	163
5.13.1. Genel Özellikler	163
5.13.2. Küçük Atıksu Arıtma Sistemi Tipleri	165
5.13.3. Kanalizasyonun Olmadığı Bölgelerde Özel Konut ve Diğer Yerleşimler için Arazide Arıtma Sistemleri	167
6. İLERİ ATIKSU ARITIMI	181
6.1. İleri Atıksu Arıtma İhtiyacı	181
6.1.1. Arıtılmış Atıksudaki Artık Maddeler	181
6.1.2. Artıkların Etkileri	181
6.2. İleri Atıksu Arıtımı için Kullanılan Arıtma Teknolojileri	183
6.2.1. Teknolojilerin Sınıflandırılması	183
6.2.2. Proseslerin Arıtma Seviyeleri	184
6.3. Granüler Filtrasyon ile AKM Giderimi	185
6.3.1. Granüler Filtrasyonun Uygulanması	186
6.3.2. Filtre İşletme Problemleri	186
6.3.3. Kimyasal İlaveli ile Çıkış Suyu Filtrasyonu	186
6.4. Mikro-elek ile Artık AKM Giderimi	187
6.5. Besin Maddelerinin Kontrolü	187
6.5.1. Besi Maddeleri Kontrol Stratejisi	187
6.5.2. Azot Giderimi ve Kontrolü	188
6.5.3. Fosfor Giderimi	188
6.6. Biyolojik Nitrifikasyon ile Amonyak Dönüşümü	188
6.6.1. Nitrifikasyon Prosesinin Tanımı	189
6.6.2. Nitrifikasyon Proseslerinin Sınıflandırılması	190
6.6.3. Birleşik (Tek Çamurlu) Sistemler	191
6.6.4. Ayrık Nitrifikasyon Sistemleri	196
6.6.5. İşletme Şartları	197
6.7. Azotun Biyolojik Nitrifikasyon-Denitrifikasyon ile Giderimi	198
6.7.1. Birleşik Karbon Oksidasyonu, Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon Prosesi	199
6.7.2. Ayrık Denitrifikasyon Sistemleri	202
6.7.3. Denitrifikasyon Proseslerinin Kıyaslanması	207
6.8. Biyolojik Metotlarla Fosfor Giderimi	208
6.8.1. A/O prosesi	209
6.8.2. PhoStrip Prosesi	209
6.8.3. Ardışık Kesikli Reaktör	210
6.8.4. Biyolojik Fosfor Giderim Proseslerinin Kıyaslanması	212
6.9. Azot ve Fosforun Birlikte Biyolojik Giderimi	212

6.9.1. A ² /O Prosesi	213
6.9.2. Bardenpho Prosesi (Beş basamaklı)	213
6.9.3. UCT Prosesi	213
6.9.4. VIP Prosesi	213
6.9.5. Proses Seçimi	216
6.10. Kimyasal Yöntemlerle Fosfor Giderimi	217
6.10.1. Metal Tuzları ve Polimer Kullanılarak Fosfor Giderilmesi	219
6.10.2. Kireç Kullanarak Fosfor Giderimi	220
6.11. Yapay Sulak Alanlar (Kamış Yatakları)	220
6.12. Diğer İleri Arıtma Yöntemleri	223
6.12.1. Membran Sistemler	223
6.12.1.1. Belli Başlı Membran Prosesi Uygulama Alanları	225
6.12.1.2. Membran Çeşitleri	226
6.12.1.3. Membran Performansı	226
6.12.2. Kimyasal Oksidasyon	227
6.12.2.1. Ozonlama	227
6.12.2.2. Hidrojen Peroksit'le Oksidasyon	228
6.12.3. Adsorpsiyon	229
6.12.3.1. Adsorpsiyon Formülasyonu	230
6.12.3.2. Karışımın Adsorpsiyonu	230
6.12.3.3. Aktif Karbonun Özellikleri	231
6.12.3.4. Sürekli Akışlı Karbon Filtreler	231
6.12.3.5. Karbon Rejenerasyonu	231
6.12.4. İyon Değiştirme	232
6.12.5. Elektro-koagülasyon	233
7. HAVASIZ ARITMA SİSTEMLERİ	243
7.1. Havasız Arıtmaya Genel Bakış	243
7.1.1. Havasız Arıtma Sistemlerinin Üstünlükleri	243
7.1.2. Havasız Arıtma Sistemlerinin Kısıtları	245
7.2. Havasız Arıtmanın Esasları	246
7.2.1. Mikrobiyolojik Prosesler	246
7.2.2. Mikrobiyolojik Yapı	247
7.2.3. Biyoreaksiyonlar	248
7.2.4. Mikroorganizmalar Arasındaki Karşılıklı İlişkiler	250
7.2.5. Metanojen Populasyonun pH ile Değişimi	251
7.2.6. Biyogaz Üretimi	252
7.2.7. Havasız Arıtmada Alkalinite İhtiyacı	252
7.2.8. Sülfatın Havasız Arıtmaya Etkisi	253
7.3. Havasız Arıtma Teknolojileri	254
7.3.1. Havasız Reaktör Tipleri	254
7.3.1.1. Askıda Çoğalan Sistemler	254
7.3.1.2. Biyofilm Sistemleri	256
7.3.1.3. Diğer Sistemler	257
7.3.2. Havasız Reaktörlerin Karşılaştırılması	258
7.4. İşletmeye Alma ve Proses Kontrolü	259
7.4.1. Çevre Şartları	259
7.4.1.1. İşletmeye Alma	259
7.4.1.2. Optimum Çevre Şartları	261
7.4.2. Havasız Süreçlerin İzlenmesi ve Kontrolü	265
7.4.2.1. Proses Kontrolü	265

7.4.2.2. Prosesteki Kararsızlıklar	265
7.5. Temel Proses Kinetiği	267
7.5.1. Mikrobiyal Reaksiyon Kinetiği	267
7.5.2. Mikroorganizma Çoğalma Tekniği	268
7.5.3. Kinetik ve Stokiyometrik Sabitler	269
7.6. Evsel Atıksuların Havasız Arıtımı	270
8. ÇAMUR ARITIMI VE UZAKLAŞTIRILMASI	275
8.1. Çamur kaynakları, Özellikleri ve Miktarları	275
8.1.1. Çamur Kaynakları	276
8.1.2. Çamur Özellikleri	278
8.1.3. Çamur Miktarı	282
8.2. Çamur Arıtım Sistemleri Akış Şeması	286
8.3. Çamur ve Köpük İletimi	288
8.3.1. Pompa Tipleri	288
8.3.2. Çamur Tipine göre Pompa Seçimi	292
8.3.3. Yük Kaybının Hesabı	294
8.3.4. Çamurun Borularla İletimi	299
8.4. Ön İşlemler	300
8.4.1. Çamur Öğütme	300
8.4.2. Kum Ayırıcı	301
8.4.3. Çamur Karıştırma	301
8.4.4. Çamur Depolama	302
8.5. Yoğunlaştırma	302
8.5.1. Uygulama Alanları	305
8.6. Stabilizasyon	305
8.6.1. Kireç Stabilizasyonu	306
8.6.2. Isıl Arıtım	307
8.7. Havasız (ANAEROBİK) Çamur Çürütme	308
8.7.1. Çürümüş Çamur Suyu Özellikleri	312
8.7.2. İnhibitör ve Zehirli Maddeler	312
8.8. Havalı (AEROBİK) Çamur Çürütme	313
8.8.1. Havalı Çürütme Mekanizması	314
8.9. Kompostlaştırma	315
8.9.1. Havalı Kompostlaştırma	315
8.9.1.1. Kompostlaştırma mekanizması	318
8.9.1.2. Kompostlaştırma mekanizmasını etkileyen parametreler	320
8.9.1.3. Kompostlaştırma uygulamaları	323
8.9.2. Havasız Kompostlaştırma	325
8.10. Şartlandırma	326
8.10.1. Kimyasal Şartlandırma	326
8.10.2. Isıl Arıtım	328
8.10.3. Diğer Prosesler	328
8.11. Dezenfeksiyon	329
8.11.1. Pastörizasyon	329
8.11.2. Uzun süreli depolama	329
8.12. Çamur Kurutma	330
8.12.1. Çamur Kurutmanın Önemi	330
8.12.2. Başlıca Çamur Kurutma Teknikleri	332
8.12.3. Çamur Lagünleri	337

9. DENİZ DESARJİ UYGULAMALARI	344
9.1. Deşarj Öncesi Atıksu Arıtımı	344
9.2. Deniz Deşarjı Öncesi Arıtma Yöntemleri	345
9.3. Deşarj Şartları	347
9.4. Su Kalitesi Standartları	347
9.5. Deşarj Edilen Atıksuların Seyrelmesi	349
9.6. Seyrelme Hesapları	350
9.6.1. İlk Seyrelme Hesabı	351
9.6.1.1. Durgun ve Üniform Yoğunluklu Ortamda Yatay Dairesel Jet Deşarjında İlk Seyrelme Hesabı	352
9.6.2. İkinci Seyrelme (S_2) Hesabı	360
9.6.3. Üçüncü Seyrelme (S_3) Hesabı	366
10. ARITMA SİSTEMLERİNDE VERİM, ENERJİ, BAKIM VE İŞLETME.....	374
10.1. Maliyet Analizin Esasları	376
10.2. Farklı arıtma metotlarının yaklaşık maliyetleri	377
10.3. Arıtma maliyetlerinin karşılaştırılması	377
10.4. İleri Biyolojik Arıtma Sistemlerinde İşletme ve Yatırım Maliyeti	378
10.5. Çeşitli Sistemlerin İşletme Maliyetleri	380
10.6. Türkiye’den örnekler	385
11. ATIKSU ARITMA SİSTEMLERİNDE ÖLÇÜ VE KONTROL	396
11.1. Kontrol Değişkenleri	396
11.1.1. Birleşik Kontrol	396
11.1.2. Ölçme Bölümü veya Algılayıcı Cihazlar	397
11.1.3. Sinyal İletim Cihazları (Transmitter)	397
11.1.4. Mekanik Sinyal İletimi	397
11.1.5. Pnömatik Sinyal İletimi	397
11.1.6. Elektrik Akımı ile Sinyal İletimi	397
11.2. Arıtma Sisteminde Otomatik Kontrolle İlgili Değişik Uygulamalar:	398
11.2.1. 1Diferansiyel Basınç Ölçümü ile Debi Kontrolü	398
11.2.2. Havalandırma Sistemi	399
11.2.3. Köpük Pompası ve Seviye Kontrolü	400
11.2.4. Çamur Pompası	401
11.2.5. Aktif Çamur Kontrolü	401
11.2.6. Klorlama Tesisi	402
11.3. Atıksuların Arıtımında Kontrol Stratejilerinin Önemi	402
12. ACİL EYLEM PLANI	408
12.1. Amacı	408
12.2. Hedefler	408
12.3. Acil Durumun Sebebi	409
12.3.1. Doğal Afetler	409
12.3.2. Personel Devamsızlığı	410
12.3.3. Yolların Kapanması	411
12.3.4. İrtibat Kaybı	411
12.3.5. Kusurlu Bakım	411
12.3.6. Kayıtsız İşletme Anlayışı	411
12.3.7. Kazalar	411
12.3.8. Proses Arızaları	411
12.4. Acil Eylem Planı	412
12.4.1. Personel Sorumluluğu	412
12.4.2. Acil Eylem Merkezi	412

12.4.3. Acil Ekipman Envanteri	413
12.4.4. Kayıtların Yedeklenmesi	413
12.5. Acil Eylem Prosedürü	414
12.5.1. Endüstriyel Kazalar ve Toksik Zehirlenme	414
12.6. Mahalli Polis ve İtfaiyenin Koordinasyonu	415
12.6.1. Polis Merkezi	415
12.6.2. İtfaiye Merkezi	415
12.7. Yaralanmalar	416
13. ARITMA TESİSLERİNİN TASARIMI VE İŞLETİLMESİ	418
13.1. Tesis Yerleşimi ve Hidrolik Profil	418
13.2. Pompa İstasyonları	418
13.3. Izgaralar	419
13.4. Kum Tutucu	419
13.5. Yağ ve Gres	419
13.6. Yüzdürme Üniteleri	419
13.7. Dengeleme Tankları	420
13.8. Ön Çöktürme	420
13.9. İkinci Kademe veya Son Çöktürme Havuzları	420
13.10. Biyolojik Arıtma	420
13.11. Çamurun Susuzlaştırılması ve Bertarafı	420
13.12. Arıtma Tesislerinde İşletme için Gereken Güç İhtiyacı	421
13.13. Personel	421
13.14. Bazı İnşaat Esasları	421
13.15. Bazı Mekanik/Elektriksel Hususlar	422
13.16. Yeni Bir Arıtma Tesisinin İşletmeye Alınması	423
13.17. Tesislerin Rutin İşletme Esasları	423
13.18. (Ortak) Atıksu Arıtma Tesisleri	424
13.19. Sorunsuz İşletme Prensipleri	424
14. ENDÜSTRİYEL KİRLENME KONTROLÜ	427
14.1. Endüstriyel Atıksu Kaynak ve Özellikleri	427
14.1.1. İstenmeyen Atık Özellikleri	427
14.1.2. Atıksu Kaynak ve Özellikleri	429
14.1.3. Su Tekrar Kullanımı ve Kaynakta Atık Kontrolü	432
14.2. Atıksu Arıtma Prosesleri	434
14.3. Ön ve Birinci Kademe Arıtım	440
14.3.1. Dengeleme	440
14.3.2. Nötralizasyon	442
14.3.2.1. Proses Tipleri	442
14.3.3. Sistem	443
14.3.4. Proses Kontrolü	443
14.3.5. Yağ Tutma	445
14.4. Endüstriyel Atıksu Arıtımı	446
14.4.1. Koagülasyon	446
14.4.1.1. Koagülan Özellikleri	447
14.4.1.2. Koagülant Yardımcıları	449
14.4.1.3. Endüstriyel Uygulamalar	450

1. ATIKSU MİKTAR VE ÖZELLİKLERİ

1.1 Atıksu Akımının Karakteristikleri

Atıksu karakteristikleri, debi ve atıksu özellikleri ile ilgilidir. Bu karakteristikler, meskûn bölgede kullanılan su miktarı ile sınaî ve ticari faaliyetlere sıkı sıkıya bağlıdır. Yağışlı havalarda önemli miktarda drenaj ve sızıntı suları kanallara girer. Bu durum atık suyun özelliklerini önemli ölçüde değiştirir. Drenaj ve sızıntı suları, kanal ağının durumuna, çatlak ve arızalı boru kısımları, tamiri gereken boru bağlantıları, yıkık baca duvarları, kaçak yağmur suyu bağlantıları vs bulunmasına ve yeraltı su yüzeyinin seviyesine bağlıdır.

Mevcut bir arıtma tesisi varsa, karakteristik değerler, akım ölçümleri ve laboratuvar deneyleri yardımıyla bulunur. Aksi halde su sarfiyatı, nüfus sayısı ve endüstri ile ilgili istatistikî bilgilere dayanarak hesaplama yapılır.

1.1.1 Birim Su Sarfiyatları

Su sarfiyatları ile kanallarda akan debiler arasında bir ilişki vardır. Çünkü netice olarak kullanılan su atıksu haline dönüşmektedir.

Birim su sarfiyatları genel olarak hayat standardının bir fonksiyonudur. Bu sebeple gelişmiş ülkelerde daha fazla su tüketilir. (Örneğin ABD’de insan başına günde tüketilen su miktarı 628 litredir). Ülkemiz bu bakımdan Avrupa ülkelerine daha yakındır. Tablo 1.1’de, çeşitli su sarfiyatlarının maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir. Bu değerler, geçerli oldukları bölgedeki insan sayısı ile çarpılacağından, Tablo 1.2’de, meskûn bölgelerdeki nüfus yoğunluklarının ortalama değerleri de verilmiştir.

Tablo 1.1 Birim su sarfiyatları (1), (2)

	Max. q_g (Ağustos ayı su sarfiyatı) lt/N/gün	Ort. q_g (Senelik ortalama su sarfiyatı) lt/N/gün
I. EVSEL SU SARFIYATLARI		
a. (Mutschmann-Stimmelmayer, s. 147-148) (Alm.)		
Tuvaletlerinde su olmayan fakir kırsal alanlarda	70	40
Normal kırsal alanlarda	100	50
Daha iyi durumda olan kırsal bölgeler ve küçük şehirlerde	150	60
Yüzde 30'unda banyo tesisatı bulunan şehir bölgelerinde	150	65
Yüzde 50'sinde banyo tesisatı bulunan şehir bölgelerinde	180	80
Yeşil sahaları, villa tipi evleri bulunan şehirlerde	250	100
b. Code of Practice, No. 2005 (İng.)		
Şehirlerde	230	—
Kırsal alanlarda	150	—
c. İller Bankası Yönetmelikleri	Nüfus sayısına bağlıdır	
II. DİĞER SU SARFIYATLARI		
1. Bahçe Sulanması İçin		
(Köy ve kasabalarda, ekseriya her evin 50 ilâ 100 m ² lik bir bahçesi vardır. Kapalı iskân sahalarında küçük bahçeler kenar semtlerde bulunur). m ² bahçe alanı başına düşen su sarfiyatı. lt/gün		
	30	0 15

Tablo 1.1'in devamı

	Max. q_g (Ağustos ayı su sarfiyatı) lt/N/gün	Ort. q_g (Senelik ortalama su sarfiyatı) lt/N/gün
2. Ticaret Bölgelerinde Sarfedilen Su		
(Esnaf ve Sanatkârlar) (Rakamlar bir misal olarak verilmiştir. Her özel durum için yerinde tespit yapmak gerekir).		
(a) 150 - 200 nüfusa bir fırıncı düşer lt/N/gün olarak su sarfiyatı	450	150
(b) 250 - 375 nüfusa bir kasap düşer lt/N/gün olarak su sarfiyatı	400	100
(c) 1000 - 1500 nüfusa bir tatlıcı - pastacı düşer, lt/N/gün olarak su sarfiyatı	250	200
(d) 250 - 300 nüfus başına bir berber düşer lt/N/gün olarak su sarfiyatı	300	100
(e) Lokantalar (müşteri başına lt/N/gün olarak) su sarfiyatı (Mevcut yerlerin iş ve ticaret bölgele- rinde günde 4,5 defa, oturma bölgele- rinde günde 1,5 defa, küçük yerlerde günde 0,1 - 0,3 defa kullanıldığı kabul edilir).	20	15
(f) Oteller banyosuz, lt/N/gün banyolu, lt/N/gün (Burada N müşteri manasındadır)	100 150	50 100
(g) Diğer sanat erbabı Normal (meselâ dükkânlar gibi) lt/N/gün olarak Çok kirli işler, lt/N/gün	30 100	25 50
3. Kırsal Bölgelerde Sarfedilen Su		
Sebze ve meyva bahçelerinde yağmurlama sulaması, lt/m ² /gün	3	0,5
Büyükbaş hayvan başına günde litre	80	50
Küçükbaş hayvan başına günde litre	20	10

Tablo 1.1'in devamı

	Max. q_g (Ağustos ayı su sarfiyatı) lt/N/gün	Ort. q_g (Senelik ortalama su sarfiyatı) lt/N/gün
4. Genel Servis		
(a) İdare binaları, lt/N/gün olarak	25	20
(b) Okullar, talebe başına günde litre	15	10
(c) Hastahaneler, yatak başına günde litre	600	400
(d) Cadde yıkanması, sadece yıkanan cad- delerin m ² si başına	1,5	0,1
(e) Yangın suyu ihtiyacı, senelik ortalama olarak iletilen toplam su hacmi- nin % 0,2 ilâ % 0,5'i kadardır.		
5. Su Kayıpları		
(a) Yeni Tesislerde : İletilen toplam de- binin isale hatlarında % 5'inden ve şe- bekelerde % 7'sinden daha az olma- lıdır.		
(b) Mevcut Tesislerde : Eski tesislerde su kayıplarının, isale hattı ve şebekelerde toplam olarak %10 + 10 = %20'nin al- tında kalması istenir.		
6. Özel Sarfiyatlar		
(a) İstasyon (yolcu başına)	1	0,5
(b) Endüstri, çalışan işçi başına günde litre olarak (Endüstrinin kendi proseslerinde har- canan su ayrıca gözönüne alınma- lıdır).	30	25

Tablo 1.2 Meskûn bölgelerde nüfus yoğunlukları (1)

Sınıf	İskân Şekli	Yoğunluk (N/ha)
1	Çok yoğun iskân (yerleşim)	500–700
2	Yoğun iskân	400–600
3	Büyük avlu ve bahçeleri bulunan orta yoğunlukta ve kapalı iskân	300–400
4	Çok dağınık evleri bulunan bölgeler ve kapalı alanlar	150–200
5	Bahçeli dış mahalleler	60–150
6	Şehrin kenarı ve kooperatif evleri	
	1) Küçük parseller	30–80
	2) Büyük parseller	10–40
	Endüstri bölgeleri	10–40

Su sarfiyatlarında, saatlik, günlük ve mevsimsel değişimler meydana gelebilir. Maksimum sarfiyatın gerçekleştiği günler genellikle temmuz ve ağustos ayları içinde yer alır. Bu aylarda en büyük günlük sarfiyatlar gözlenir. Çalışma günlerinde de tatil günlerine nazaran daha fazla su sarf edilir. Bununla beraber, gün içinde de saatlik sarfiyat değişimleri meydana gelebilir. Bir gün içinde iki pik debi vardır. Birincisi günlük hayatın başladığı sabah saatlerinde, ikincisi, eve dönüş (akşam) saatlerinde olur. Gün içinde minimum sarfiyatlar ise genellikle gece 4 civarlarında oluşur. Mevsimlik üretim yapan endüstriler de mevsimsel sarfiyat değişiklikleri meydana getirebilirler. (Örneğin zeytin, şeker pancarı üretimi).

Atıksu sarfiyatı genelde içme ve kullanma suyu sarfiyatının %60 ile % 130'u arasında değişmekle birlikte, projelerde genellikle, ikisi birbirine eşit alınır. Ticari ve sınaî faaliyet sırasında kullanılan su miktarı genellikle sabit olduğundan, bunlar, akımın pik değerlerini azaltma eğilimi gösterirler.

Bütün bu faktörlerden başka, birim su sarfiyatının, proje süresi içinde de nüfus artışına paralel olarak değişiklik göstereceği açıktır. Endüstri sarfiyatları dışında kalan birim su sarfiyatlarının, nüfus artış yüzdesinin yaklaşık onda biri kadar arttığı kabul edilebilir.

1.1.2 Atıksu Akımının Zamanla Değişimi

Bir günün çeşitli saatlerinde atıksu debisinin o günün ortalama debisine oranı zamanla değişir. Akım ölçümlerinin mevcut olmaması halinde Bölüm 1.2'de verilen değerlerle birlikte kullanılacak büyüklükler aşağıda verilmiştir.

1) İller Bankası Kanalizasyon Projeleri Yönetmeliği'ne göre, günün en fazla su sarf edilen bir saatinde debi, o günün ortalama debisinin 2 katıdır. Senenin en çok su sarf edilen gününün ortalama debisi Q_{24} ile gösterilirse, $\max Q_{st} = 2 \cdot Q_{24}$ ve gündüz saatlerine mahsus ortalama debi $1,5 \cdot Q_{24}$ olarak hesaplanabilir.

2) Alman literatüründe sabah 8’den akşam 20’ye kadarki gündüz saatleri ortalaması Q_{18} ile 24 saatin maksimum debisi $max Q_{24} = Q_{14}$ ile gösterildiğine göre,

$$Q_{18} = \frac{24}{18} \cdot Q_{24} = 1,33 \cdot Q_{24}$$

$$Q_{14} = \frac{24}{14} \cdot Q_{24} = 1,72 \cdot Q_{24}$$

şeklinde hesaplanır. Gece saatlerine mahsus ortalama minimum debi ise;

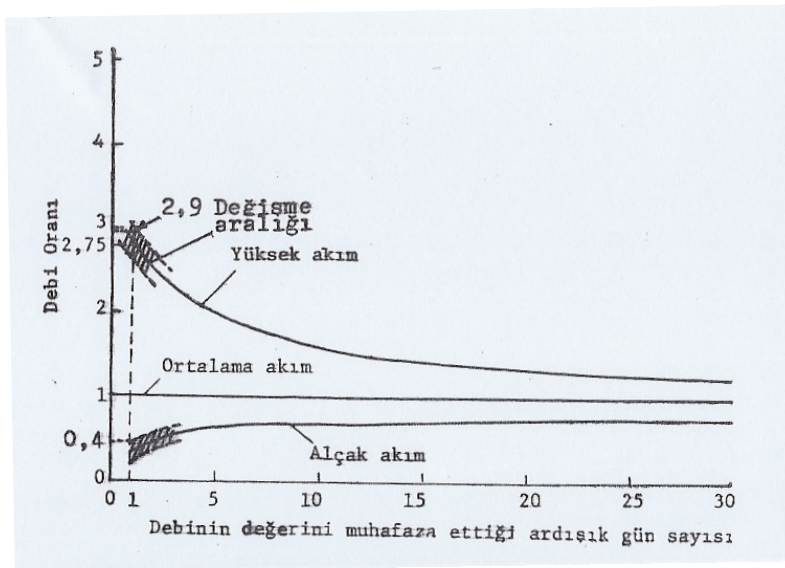
$$Q_{37} = \frac{24}{37} \cdot Q_{24} = 0,65 \cdot Q_{24}$$

kabul edilir.

3) Minimum debi, pompa istasyonlarının hesabında ve kanallarda hız kontrolü için gerekmektedir. ABD’ de minimum debi, küçük yerlerde ortalamanın % 33’ü orta büyüklükteki yerlerde ise ortalamanın % 50 ‘si kabul edilir.

Minimum debi ve pik debi, kısa bir süre (2 saatten az) devam eden akımı gösterir. Daha uzun süren ekstrem akımlara ise sürekli ve kararlı akımlar adı verilmektedir. Mesela aşırı kurak ve sıcak günlerde kararlı minimum akımlar görülebilir. Yine bir şehirde fuar gibi özel programların düzenlendiği zamanlarda pik debiler oluşabilir.

ABD’de bir gün devam eden pik değer ortalamaya oranı 2,9 kabul edilmektedir. Bir gün devam eden minimum için bu değer 0,4’e eşittir. Diğer süreler için bu değerler Şekil 1.1’den alınabilir. Şekil 1.1, ABD’de 46 atıksu tasfiye tesisine ait akım kayıtlarından çıkarılmıştır. İncelenen akım kayıtları, 1–8 sene arasında değişen süreleri kapsamaktadır. Böyle eğrileri bulurken mümkün olan en uzun kayıtları hesaba katmak gerekir.



ABD’de ve İSKİ Yönetmeliği’nde, maksimum saatlik debinin, maksimum q_g debisine oranı M pik faktörü ile gösterilir ve aşağıdaki bağıntılardan hesaplanır:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}}$$

veya

$$M = \frac{5}{P^{0,167}}$$

Burada P, bin olarak nüfus sayısını gösterir (Örneğin 100,000 kişilik nüfus için <100 alınmalıdır).

1.1.3 Yüzeysel Akış ve Sızma

Yüzeysel akış, binaların kaçak olarak kanallara bağlanmış yağmur suyu borularından ve caddelerdeki baca kapakları gibi yerlerden şebekeye girer. Ek yerlerinden, boruların çatlaklarından ve arızalı bağlantılardan kanallara giren yeraltı suyu akımına da yüzey altı akışı (sızma) denir. Her ikisi de kanalların yaşı, durumu ve uzunluğu ile alakalıdır. ABD’de EPA’ya (Çevre Koruma Ajansı) göre, bu değerlerin müsaade edilebilir miktarları 1394 l/gün/km/cm olup, bu miktar geçilirse, kanalların yenilenmesi öngörülmektedir. Yani bu durumda, kanalları yenilemek, sızıntı suyunu uzaklaştırmak ve arıtmaktan daha ekonomiktir.

1.1.4 Atıksu Miktar ve Debilerinin Hesabı

Atıksu miktarları şehir ve kasabaların durumuna ve içme suyu kaynaklarına bağlı olarak değişmektedir. Kişi başına su ihtiyaçları 100–300 t/N.gün arasında seçilmektedir.

Bir arıtma sisteminin boyutlandırılması için debilerin bilinmesi gerekir. Bir kasaba veya şehrin atıksu tasfiye tesisine gelen debi, evsel, sanayii ve sızma debilerinin toplamı olarak bulunabilir.

Evsel debi hesabı için yerleşme merkezinin gelecekteki nüfusu bilinmelidir. Bir bölgenin gelecekteki nüfusunu tahmin etmek için kullanılan hesap yöntemleri;

- Aritmetik Artış,
- Geometrik Artış,
- İller Bankası,
- Benzer Şehir,
- Lojistik Eğri,
- Azalan Hızlı Geometrik Artış

yöntemleri olarak sayılabilir.

Ülkemizde gelecekteki nüfus tahmininde İller Bankası Yönetmeliği kullanılmaktadır. Bu metotta gelecekteki nüfus N_g ;

$$N_g = N_s \cdot (1 + p/100)^{(30 + t)}$$

ifadesiyle bulunabilir. Burada;

t: Son nüfus yılı ile projenin yapıldığı yıl arasındaki sene farkıdır.

p: Nüfus artış hızı

$$p = (\sqrt[t]{N_s/N_t} - 1) \cdot 100$$

ifadesiyle hesaplanabilir. Bu ifadelerde;

N_s: Son nüfus sayım neticesi

N_i: İlk nüfus sayım neticesi

a: İki sayım arasındaki senelerin farkıdır.

Hesap sonucuna göre;

$p \geq 3$ ise $p=3$;

$p < 1$ ise $p=1$;

$1 \leq p \leq 3$ ise p aynen alınır.

Dolayısıyla İller Bankası yöntemi sınırlı hızlı Geometrik Artış Yöntemidir.

1.1.4.1 Atıksu Debilerinin Hesabı

Atıksu tasfiye tesislerine gelen atıksu debilerinin hesabında evsel (Q_{ev}), sanayisi (Q_{sanayi}) ve sızma (Q_{sızma}) debileri toplamı dikkate alınmalıdır. Yani günlük toplam debi;

$$Q = Q_{ev} + Q_{sanayi} + Q_{sızma}$$

olarak hesaplanmaktadır.

Evsel debi, kişi başına günlük su sarfıyatı nüfusla çarpılarak bulunabilir. Yıllık ortalama kişi başına günlük su ihtiyacı q_{ort} ile gösterilirse yaz aylarındaki su ihtiyacını temsil eden değer (q_{max}), ortalama değer 1,5 katı olarak kabul edilmektedir.

Su ihtiyacının %70–90 arasındaki belirli bir oranı kanallara intikal etmektedir. Bu yüzden evsel debi;

$$Q_{ev_{max}} = \alpha \cdot q_{max} \cdot N$$

ifadesiyle bulunabilir. Burada;

Q_{ev_{max}}: Yazlık evsel su sarfıyatı, m³/gün

α: Kanala intikal yüzdesi

$q_{\max}$: Kişi başına yazlık su ihtiyacı, $m^3/N/gün$

N: Kasabanın gelecekteki nüfusu

Buna göre debiler;

$$Q_h = Q_{ev_{\max}} / n_1 + Q_{sanayi} / n_2 + Q_{sızma} / 24$$

$$Q_{24} = (Q_{ev_{\max}} + Q_{sanayi} + Q_{sızma}) / 24$$

$$Q_{\min} = Q_{ev_{ort}} / n_3 + Q_{sanayi} / n_4 + Q_{sızma} / 24$$

bağıntıları ile bulunabilir. Burada;

Q_h : Hesap debisi, $m^3/saat$

Q_{24} : Ortalama debi, $m^3/saat$

$Q_{\min}$: Minimum debi, $m^3/saat$

n_1, n_2, n_3 ve n_4 : Sabitler

n_1 : Gün içindeki salınımları temsil eder ve nüfusa bağlı olarak değişmektedir. n_1 sabitinin değerleri nüfusa bağlı olarak Tablo 1.3’de gösterilmektedir.

Tablo 1.3 Nüfusa bağlı olarak n_1 değerleri (3)

Nüfus	<1000	1000–10000	10000–100000	100000–1000000	>1.000.000
n_1	10	12	14	16	18–20

Görüldüğü üzere n_1 sabiti 10–20 arasında bir değerdir. n_1 değerini göstermek üzere, mesela $n_1 = 14$ için hesap debisi Q_{14} işaretiyle gösterilmektedir.

n_2 : Sanayi kuruluşunun vardiya sayısı ile alakalıdır. Tek vardiya çalışan tesislerde bu değer 5–6 arasında alınabilir.

n_3 : 37–40 arasında bir değerdir. Bu da mesela $n_3 = 40$ için Q_{40} olarak gösterilmektedir.

n_4 : Üç vardiya çalışan tesislerde $n_4 = 24$ alınabilir. Bir veya iki vardiya çalışan tesislerde minimum debi hesabında sanayisi debisi dikkate alınmaz.

1.1.4.2 Sanayi Debilerinin Bulunması

Sanayiden gelen debinin bulunması için çeşitli usuller vardır:

- Eşdeğer nüfus hesaplanıp, sanayi debisi evlerden gelen atıksu içinde düşünülebilir.
- Debinin zamanla değişiminin ölçülmesi suretiyle elde edilebilir.

- c) Sanayi bölgelerinde hektar başına debi alınmak suretiyle hesaplanabilir. (Örneğin 0,5-1 l/sn.ha gibi).

1.1.4.3 Sızma Debisi Tahmini

Sızma debisinin bulunması için de çeşitli yöntemler vardır:

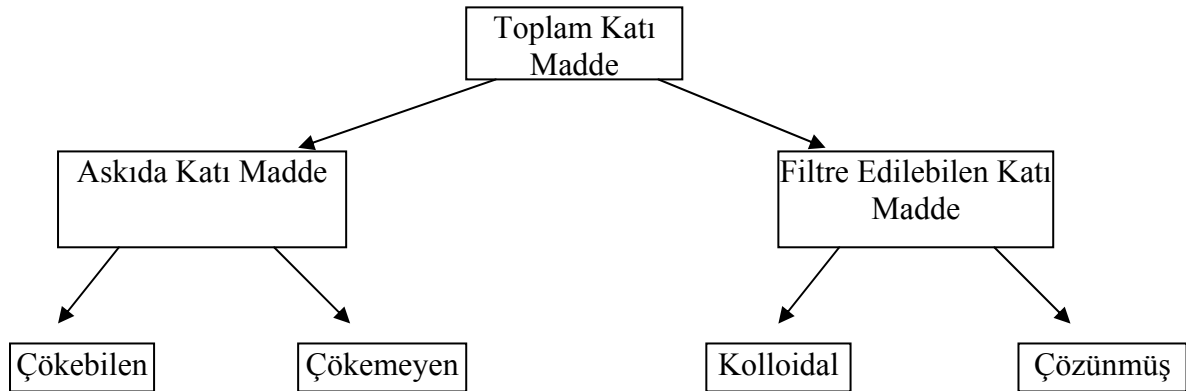
- Evlerden gelen debinin belli bir yüzdesi olarak kabul edilir. Örneğin ortalama günlük debinin %50-100' gibi.
- Kanalların hizmet ettiği alana bağlı olarak bulunabilir. Yani su toplama havzasının alanından hesaplanabilir. (0,1-0,2 l/sn.ha gibi).
- Kanal uzunluğuna göre bulunabilir. (0,80 l/sn.km gibi).
- Kanal uzunluğuna ve çapına bağlı olarak tahmin edilebilir. (0,5-5 m³/gün.km.cm gibi. Ortalama bir değer olarak 2,5 alınabilir).

Ayrıca muayene bacalarından atıksu kanallarına giren debi de bu miktara ilave edilmelidir. (örneğin 0,4 m³/gün/baca sayısı alınabilir).

Bununla beraber yukarıda verilen değerlerin atıksu kanallarının inşa kalitesi, zemin durumu gibi pek çok faktöre bağlı olduğu dikkate alınmalıdır.

1.2 Atıksu Özellikleri

Atıksularda bulunan başlıca organik bileşikler proteinler, karbonhidratlar, yağlar, petrol artıkları ve üredir. Bunların yanında deterjanlar (sür faktanlar), fenoller ve zirai ilaçlar (pestisitler) gibi çeşitli sentetik organik maddeler de atıksuların bünyesinde yer almaktadır. Orta kirlilikte bir atıksuda, askıda katı maddelerin yaklaşık %75'i ve filtre edilebilen katı maddelerin yaklaşık %40'ı organik karakterdedir. (Şekil 1.2)



Şekil 1.2 Atıksularda mevcut katı maddelerin sınıflandırılması

1.2.1 Atıksu Karakterizasyonunda Başlıca Parametreler

1.2.1.1 Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)

Atıksular organik maddeler içerdiğinden, bunların konsantrasyonları, yani 1 l sudaki miktarları, kirlilik derecesinin ölçüsü olarak kabul edilir. Fakat atıksuların bileşimleri çok değişiktir ve içindeki maddeleri bir formülle ifade etmek mümkün değildir. Ayrıca bu maddeler tasfiye tesisinde bozunmaya uğradıklarından, bu etkinin de dikkate alınması gerekir. Bu yüzden bu maddeleri konsantrasyonları ile ifade etme yoluna gidilmiştir.

Organik maddenin ölçüsü olarak, biyokimyasal oksidasyon (karbonlu maddelerin oksitlenmesi) sırasında harcanan oksijen miktarı esas alınabilir ve bu değer de BOİ olarak adlandırılır.

Biyokimyasal oksidasyon, su içinde bir yanma olayı olup, bu yanma esnasında suda çözünmüş (erimiş) oksijen kullanılır. Ne kadar fazla oksijen sarf edilirse, sudaki organik madde miktarı da o kadar fazla demektir.

Organik madde ihtiva eden sularda suların oksijen ihtiyacı BOİ₅, karbonlu maddelerin, tamamen CO₂'ye dönüşmesine kadar artar. Teorik olarak sonsuz, pratik olarak yaklaşık olarak 10 gün kadar bir müddet sonunda, bütün karbonlu maddeler ayrışır. Bu esnada sarf edilen oksijene, birinci kademe nihai biyokimyasal oksijen ihtiyacı denir ve BOİ_u ile gösterilir. Evsel atıksular için BOİ₅ ile BOİ_u arasında

$$BOİ_5/BOİ_u \approx 0,68$$

bağıntısı vardır.

1.2.1.2 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Kimyasal olarak oksitlenebilen organik maddelerin oksijen ihtiyacı KOİ ile ifade edilir. KOİ asit ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyici (potasyum dikromat gibi) vasıtasıyla ölçülür. Kimyasal olarak oksitlenebilecek bileşikler, biyolojik olarak oksitlenebileceklerden daha fazla olduğundan, kimyasal oksijen ihtiyacı, biyolojik oksijen ihtiyacından daha büyüktür. Tasfiye edilmemiş atıksular için BOİ₅/KOİ = 0,4-0,8 (ortalama 0,65) alınabilir.

1.2.1.2.1 KOİ Bileşenleri

Yapılan çalışmalar sonucunda, biyolojik arıtma sistemlerinde substratın biyolojik ayrışması sonucunda, zor ayrışan (inert) ürünlerin oluştuğu saptanmış ve biyolojik arıtma tesislerinde, atıksudaki organik maddenin biyolojik ayrışmasının farklı mekanizma ve hızlarda meydana geldiği deneysel olarak tespit edilmiştir.

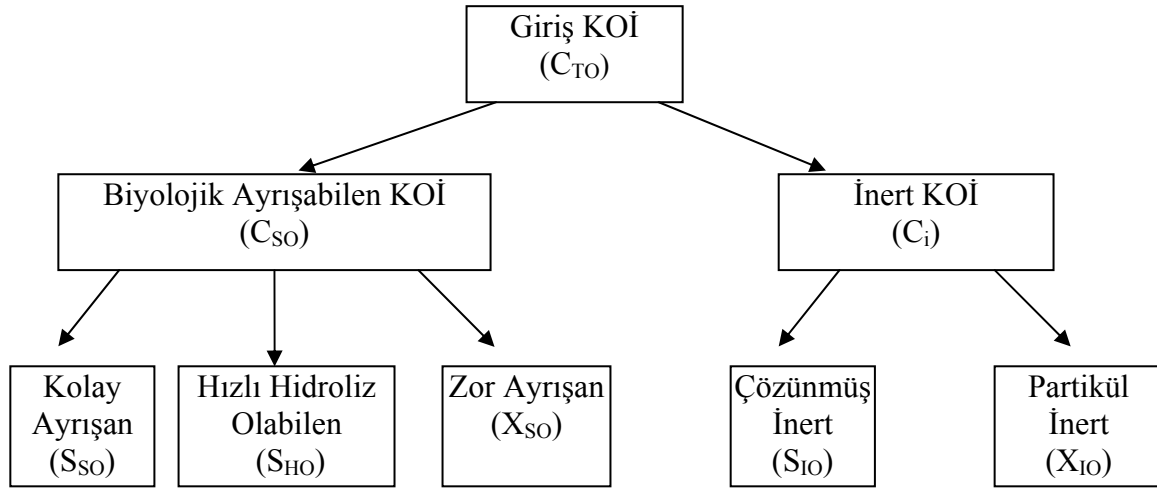
Evsel atıksulardan biyolojik nütrient gideriminde, atıksudaki organik karbon-azot-fosfor arasındaki denge çok önemlidir. Biyolojik azot- fosfor gideriminde, arıtılmış atıksudaki kalan biyolojik olarak organik madde miktarı önemlidir.

Kuvvetli atıksuların arıtımında gerek ham atıksuda bulunan gerekse biyolojik arıtım sırasında oluşan ve konvansiyonel arıtma yöntemleri ile arıtımı mümkün olmayan inert organik maddeler deşarj standartlarına ulaşılmasını engelleyebilmektedir. Dolayısı ile biyolojik arıtma

tesislerinin değerlendirilmesinde KOİ'nin bileşenlerinin belirlenmesi yararlıdır. KOİ'nin bileşenlerine ayrılması inert ve biyolojik olarak parçalanabilen KOİ'nin belirlenmesidir. Biyolojik olarak parçalanabilen KOİ'nin de kolay parçalanabilen ve zor parçalanabilen olmak üzere bileşenleri belirlenmelidir. İntert KOİ'de tekrar çözünmüş inert ve partikül inert olmak üzere bileşenlere ayrılır.

Giriş Akımının KOİ Bileşenleri

Giriş akımındaki çözünmüş inert KOİ, S_{iO} , reaktörde biyolojik ayrışmayı etkilemeden aynen çıkar. Hâlbuki partikül haldeki inert KOİ, X_{iO} , sistemde tutularak biyolojik çamurda birikir ve çamurla birlikte sistemden atılır. Giriş akımındaki KOİ'nin bileşenleri Şekil 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.3 Giriş akımı KOİ bileşenleri

Evsel ve bazı endüstriyel atıksular için çözünmüş ve partikül inert KOİ değerleri(Tablo 1.4)'de verilmiştir.

Giriş akımında toplam atıksuda ölçülen organik madde miktarı, çözünmüş (kolay ayrışan, S_{SO} + yavaş ayrışan, S_{HO} + çözünmüş inert, S_{iO}) ve partiküller (yavaş ayrışan, X_{SO} + partikül inert, X_{iO}) bileşenlerinin tamamını yansıtmaktadır.

$$C_{TO} = (S_{SO} + S_{HO} + S_{iO}) + (X_{SO} + X_{iO})$$

Süzülmüş atıksuda ise sadece çözünmüş bileşenler dikkate alınmalıdır.

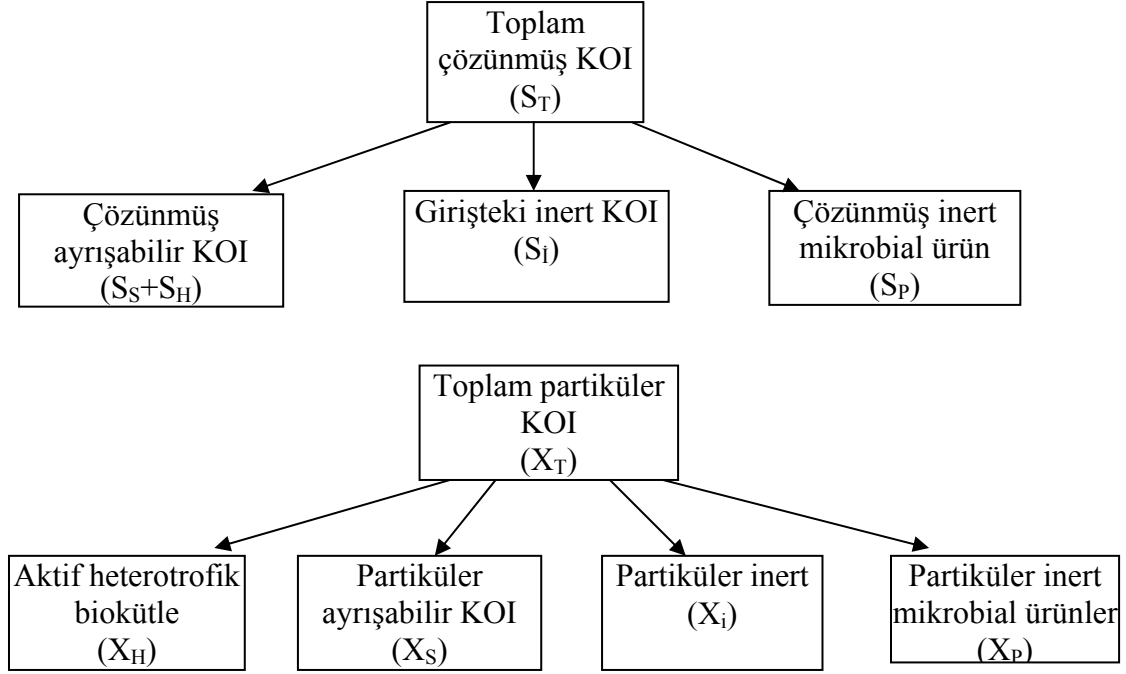
$$S_{TO} = S_{SO} + S_{HO} + S_{iO}$$

Tablo 1.4 Çözünmüş inert KOİ literatür değerleri (4)

Atıksu	S _{TO} (mgKOİ/l)	S _{İO} (mgKOİ/l)
Evsel	150	8
	164	13
	250	15
Belediye (Evsel-Deri)	190	15
Deri	1500	323
	1075	262
	1870	464
Dokunmuş kumaş	1176	90
Örgü fabrikası	800	88
Örgü fabrikası	535	117
Pamuklu ve sentetik	1000	190
Örgü fabrikası (son işlem)	686	150
Süt entegre	480	-
Yoğurt ve tereyağı	1190	-
Kâğıt	3340	137
	560	160
Et	1990	110
Antibiyotik	9330	2520
Peynir altı atıksuyu		
Havasız giriş	60000	-
Havalı giriş	1020	256
Sitrik asit üretimi atıksuyu		
Havasız giriş	29300	1870
Havalı giriş	2025	804
Havasız giriş	28100	1600
Havalı giriş	4055	1900

Çıkış Akımının KOİ Bileşenleri

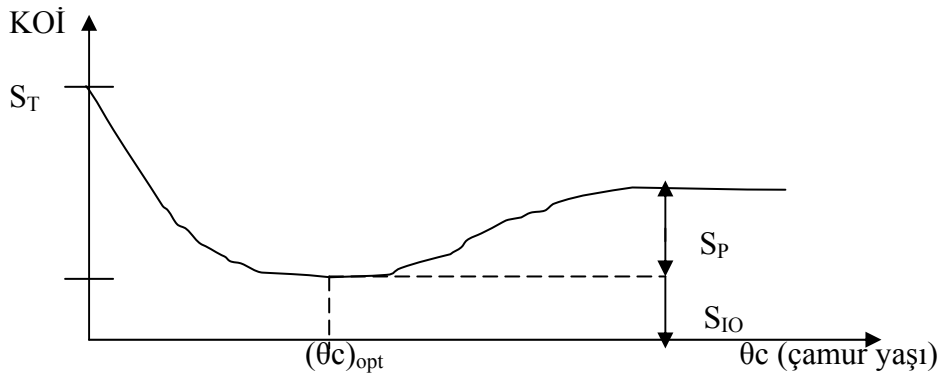
Havalandırma havuzlarındaki aktif çamur sıvısında ve dolayısıyla arıtma tesisi çıkış suyunda toplam ve çözünmüş KOİ bileşenleri Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4 Aktif çamur tesisi çıkışında KOİ bileşenleri

Şekil 1.4'te de görüldüğü gibi arıtılmış su çıkışında atıksudan gelen ve biyolojik olarak ayrışamayan partikül inert KOİ, X_{IO} , çözünmüş inert KOİ, S_{IO} , ve zor ayrışan KOİ, X_{SO} 'ın parçalanmayan bölümü olmak üzere üç farklı yapıda ve biyolojik olarak ayrışamayan inert KOİ bulunur. Bunların yanı sıra biyolojik olarak ayrışabilen organik maddeler arıtım sırasında inert yapıda ürünlere dönüşebilir. Bunun sonucunda arıtılmış su çıkışı, arıtılmamış sudan daha fazla çözünmüş inert KOİ içerebilir.

Buradaki mikrobiyal inert KOİ (S_P) bileşeni başlıca atıksu tipi, toplam çözünmüş KOİ (S_O) ve çamur yaşının bir fonksiyonu olup (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Toplam çözünmüş inert KOİ (S_R)'nin çamur yaşı ile değişimi (şematik).

Zor ayrışan organik maddenin hidroliz kademesinden geçerek kolay ayrışan substrata dönüşmesi ve bu formunun çoğalmada kullanılması aktif çamur modellerinde benimsenen bir yaklaşımdır. Çözünmüş ya da partikül formda olan bazı yüksek molekül ağırlıklı organik maddeler yavaş ayrışan madde kapsamında ele alınabilir. Bu tanımdan hareketle yavaş ayrışan (X_{SO}), çözünmüş S_{HO} ve partiküller X_{SO} olarak gösterilebilir.

Çözünmüş mikrobiyal ürünler (SMP);

Mikroorganizmaların çevreye uyum sağlarken ortama saldıkları enzim türü bazı organik maddeler,

Substratın ayrışması ve mikroorganizmaların metabolik süreçleri sırasında meydana gelen organik maddeler,

İçsel solunum sonucunda (hücre çözünmesi ve ölümü) oluşan organik maddeler, olarak sistemde bulunurlar.

Biyolojik arıtma sistemlerinde oluşan SMP'nin belirlenmesi için glikoz ile havalı ve havasız biyolojik arıtma tesislerinde yürütülen deneysel çalışmaların sonuçları Tablo 1.5'de verilmiştir.

Tablo 1.5'te görüldüğü gibi fermentasyon endüstrisi atıklarıyla glikoz ile karşılaştırmalı olarak yapılan çalışmalarda, havalı proseste havasız prosese kıyasla 2-3 kat fazla SMP oluşmuştur. Ayrıca atıksu giriş konsantrasyonu, S_o , arttıkça her iki proseste de SMP/ S_o oranı azalmıştır.

Tablo 1.5 Havalı ve havasız arıtım şartlarında glikoz ile yapılan çalışmalar

Proses	S_o (mgKOl/l)	SMP (mgKOl/l)	SMP/ S_o
Aerobik	405	31	0.077
	1470	65	0.044
	2560	118	0.046
	3130	132	0.042
	3625	148	0.041
	3850	157	0.041
	4560	186	0.041
Anaerobik	2135	34	0.016
	2600	42	0.016
	3250	48	0.015
	4105	59	0.015
	5640	80	0.013

Biyolojik Olarak Giderilebilen (Ayrışabilir) KOİ Hesabı

Ham veya arıtılmış atıksulardaki biyolojik olarak giderilebilen KOİ iki farklı yolla belirlenebilir:

(a) İnert KOİ'den Hareketle Hesap

Bu yöntem, inert KOİ'nin önceden deneysel olarak tayin edildiği durumlar için uygulanır. Bu yöntemle göre, biyolojik olarak giderilebilen KOİ ($KOİ_{bp}$), toplam KOİ ile inert KOİ farkına eşittir.

$$KOİ_{bp} = KOİ_{top} - KOİ_{inert}$$

(b) $BOİ_5$ 'ten Hareketle Hesap

İkinci yöntemle, biyolojik olarak giderilebilen KOİ, $BOİ_5$ 'in bir fonksiyonu olarak aşağıdaki ifade yardımıyla hesaplanır (Metcalf & Eddy, 2004):

$$KOİ_{bp} = [(BOİ_U/BOİ_5) / (1,0 - 1,42 f_d Y_H)] * BOİ_5 \\ = k * BOİ_5$$

Bu ifadede:

$BOİ_U/BOİ_5$: Atık suyun nihai $BOİ_U/BOİ_5$ oranı (genelde ~1,5)

f_d : ölü hücre kalıntısı (g/g)

Y_H : biokütleyle dönüşüm oranı ($g_{UKM}/g_{KOİ_{gid}}$)

dır. Pratikte $f_d = 0,10 - 0,20$ ve $Y_H = 0,30 - 0,40$ aralığında değiştiği için k faktörü 1,6 – 1,7 (ort. 1,65) alınabilir. Dolayısıyla biyolojik olarak giderilebilen KOİ,

$$KOİ_{bp} = 1,65 * BOİ_5 = 1,1 * BOİ_U$$

olarak bulunur.

1.2.1.3 Toplam Organik Karbon (TOK)

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

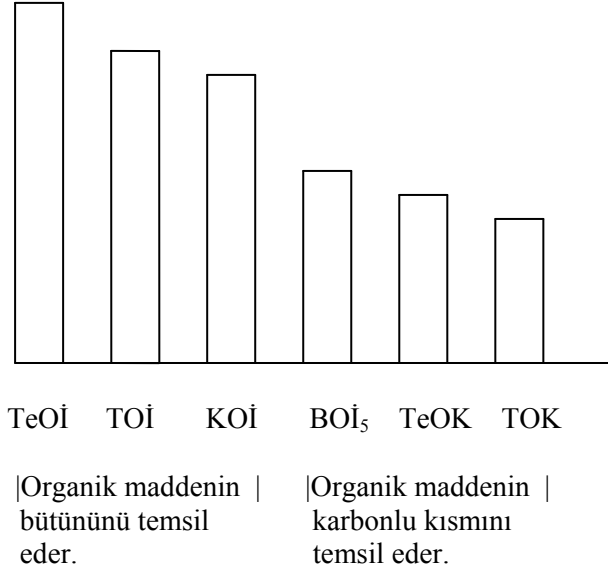
1.2.1.4 Teorik Oksijen İhtiyacı ($TeOİ$)

Atıksularda bulunan karbonhidratlar, yağlar, proteinler ve bunların ayrışma ürünleri genel olarak karbon, hidrojen, oksijen ve azottan meydana gelir. Numunenin kimyasal formülü biliniyorsa, içindeki karbonun oksitlenmesi için gerekli oksijen miktarı bulunabilir. Bu değer KOİ ve $BOİ$ 'den daha büyüktür. Çünkü KOİ'de bile, kimyasal olarak oksitlenmeyen bir miktar karbonlu madde daima bulunur.

Şekil 1.6'de organik madde konsantrasyonunu gösteren parametrelerin birbirleriyle karşılaştırılması verilmiştir.

1.2.1.5 Toplam Oksijen İhtiyacı (TOİ)

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



Şekil 1.6 Organik madde konsantrasyonunu gösteren parametrelerin birbirleriyle karşılaştırılması.

1.2.1.6 Azot-Fosfor

Azot ve fosfor elementleri, mikroorganizmaların büyümesi için çok gereklidir. Bunlara besi elementleri (nütrient) denir. Azot, proteinlerin sentezi için temel yapı taşı olduğundan, atıksuların biyolojik yollarla tasfiyesinde azot konsantrasyonunu bilmeye ihtiyaç vardır. Suyun azot miktarı az ise, tasfiye için dışarıdan azot ilavesi gerekebilir. Aksine, eğer, yüzeysel sulara verilen atıksu deşarjları sebebiyle oluşan alg ve yosunlarının kontrolü istenirse, alıcı ortamlara verilmeden önce, azotun uzaklaştırılmasına veya miktarının azaltılmasına ihtiyaç vardır.

Genellikle atıksularda azot, esas itibariyle proteinli maddelere ve üreye bağlı olarak bulunur. Bu maddelerin ayrışması ile azot, amonyağa dönüşür. Atık suyun tazelik derecesi, amonyak miktarı ile ölçülür.

Atıksularda azot pH'a göre, ya amonyum iyonu (NH_4^+) ya da amonyak (NH_3) şeklinde bulunur:



$\text{pH} \geq 7$ ise denge sola doğru bozulur, $\text{pH} \leq 7$ ise amonyum iyonları ortama hâkim olur.

Aerobik ortamda bakteri faaliyeti sonucu amonyak oksitlenerek nitrit ve nitrat haline gelir. Atıksularda nitrit azotu önemsizdir. Zira nitrit kararsız olup kolaylıkla nitrata dönüşür.

Konsantrasyonu, atıksularda 1 mg/l'yi nadiren geçer. Nitratlar ise azotun en ileri derecede oksitlenmiş halleridir. Atıksularda 0-20 mg N/l konsantrasyonlarında bulunabilir.

Alg ve diğer mikroorganizmaların çoğalması bakımından fosfor da önemlidir. Sularda fosfor fosfat olarak bulunur. Evsel atıksular genellikle fosfor bileşiklerince zengindir. Son yıllarda deterjan yapımında, katkı maddesi olarak fosfat ve polifosfat bileşikleri, büyük miktarlarda kullanılmaktadır. Bu Maddelerin yaklaşık %12-13'ünün fosfor ve %'den fazlasının polifosfat olduğu düşünülürse, sentetik deterjan tüketiminin artışı ile birlikte yüzeysel sulara fosfor deşarjı da artış göstermiştir. Genellikle evsel atıksularda 4-15 mg/l civarında fosfor bulunur.

1.2.2 Evsel Atıksuların Tipik Özellikleri

Evsel atıksular askıda, koloidal ve çözünmüş halde organik ve inorganik maddeler içerir. İklimsel şartları, insanların yaşam standartları ve kültürel alışkanlıklar atıksu özelliğini önemli ölçüde etkiler. Şehir kanalizasyon şebekesine endüstriyel atıksuların kabulü, mevcut evsel atıksu özelliklerini büyük oranda değiştirir. Konsantrasyonlar kişi başına günlük su kullanımı değerlerine bağlı olarak da değişir. Her ne kadar suya deşarj edilen atık miktarı toplumların özelliklerine göre farklılıklar gösterse de, bu fark çok yüksek değildir. Dolayısıyla atıksu özellikleri sadece şehirden şehre değil, ele alınan her bir yerleşim birimi için mevsimsel hatta saatlik değişkenlik gösterir.

Tablo 1.6'da ham, yani hiç arıtılmamış ve bir işleme tabi tutulmamış tipik evsel atıksu özellikleri verilmektedir. Tablodan da görüleceği gibi, atıklar çok büyük oranda karbon, azot, fosfor gibi organik besinlerden ve yüksek konsantrasyonda mikroorganizmalardan oluşmaktadır. Bunlar hemen bozunmaya yatkın olup, kanallardan akarken bile biyolojik bozunmaları devam eder. Böylece zaman içinde atık suyun bazı özellikleri de değişmektedir. Tablodaki bütün değerler, projelendirmede kolay kullanılmaları ve farklı toplumlar için kolay kıyaslanmaları bakımından g/kişi-gün biriminde verilmiştir. Toplumlar arasında, özellikle de gelişmekte olan ve gelişmiş toplumlar arasında su tüketimi çok farklı olabildiğinden, mg/l olarak verilen değerler bazen yanlış algılanma durumlarına yol açabilir.

Atıksudaki kirleticilerin konsantrasyonlarına bağlı olarak atıksuyu, zayıf, orta ve kuvvetli olarak sınıflandırmak mümkündür (Tablo 1.7). Kirleticiler ve konsantrasyonları, günün saatine, haftanın gününe, yılın ayına ve diğer yerel şartlara bağlı olarak değişim gösterdiğinden tablodaki veriler yalnızca yol gösterici değerler olup tasarımda o yere ait gerçek veriler esas alınmalıdır.

Kanalizasyon sisteminin etkili çalışması durumunda, BOİ değeri genellikle ortalama 54 g/kişi-gün civarındadır. Gelişmekte olan bazı bölgelerde üretilen atık suyun tamamı kanalizasyon sistemine dâhil edilmediğinden, BOİ değeri 30-40 g/kişi-gün seviyesinde olabilir. Eğer kanalizasyonda birleşik sistem kullanılıyor ise, BOİ değeri %40 daha yüksek, yani 77 g/kişi-gün mertebesinde olur. Ofislerde, okullarda ve diğer yarı zamanlı kullanılan mekânlarda BOİ değeri 54 g/kişi-gün olan normal değer yarısı, hatta daha da azı olabilir. Restoranlarda ve kafeteryalarda ise yapılan her yemek servisinin BOİ'ye etkisi 54 g/kişi-gün değerinin dörtte biri olarak kabul edilir. Gelişmiş ülkelerde ort. BOİ₅ yükü ve ~ 60 gr/N-gün alınmaktadır.

Tablo 1.6 Evsel atıksu özellikleri (5)

Madde	Atıklarda bulunan değeri (g/kişi-gün)
BOI ₅	45-54
KOI	1.6-1.9xBOI ₅
Toplam organik karbon	0.6-1.0xBOI ₅
Toplam katı maddeler	170-220
Askıda katı maddeler	70-145
Kum (inorganik, 0.2mm ve yukarısı)	5-15
Madeni yağ	10-30
Alkalinite (kalsiyum karbonat olarak, CaCO ₃)	20-30
Klorür	4-8
Toplam azot	6-12
Organik azot	≈0.4xtoplam N
Serbest amonyak	≈ 0.6xtoplam N
Nitrit azotu	-
Nitrat azotu	≈0.0-0.5xtoplam N
Toplam fosfor	0.6-4.5
Organik fosfor	≈0.3 x toplam P
İnorganik (ortho-polifosfatlar)	≈0.7 x toplam P
Potasyum (K ₂ O olarak)	2.0-6.0
Askıda bulunan mikroorganizmalar (100 ml atıksu içinde)	
Toplam bakteri	10 ⁹ - 10 ¹⁰
Koliform	10 ⁹ - 10 ¹⁰
Faecal Streptococci	10 ⁵ -10 ⁶
Salmonella typhosa	10 ¹ -10 ⁴
Protozoa kistleri	10 ³ miktarına kadar
Helminth yumurtaları	10 ³ miktarına kadar
Virüsler (plak oluşturan birimler)	10 ² - 10 ⁴

Tablo 1.7 Ham evsel atık suyun tipik özellikleri (2)

Kirleticiler	Birim	Konsantrasyon		
		Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam katı (TS)	mg/l	350	720	1200
Toplam çözünmüş Katı(TDS)	mg/l	250	500	850
Sabit	mg/l	145	300	525
Uçucu	mg/l	105	200	325
Askıda Katı (SS)	mg/l	100	220	350
Sabit	mg/l	20	55	75
Uçucu	mg/l	80	165	275
Çökebilir Katılar	mL/l	5	10	20
BOI ₅ (20°C)	mg/l	110	220	400
Toplam Organik Karbon (TOK)	mg/l	80	160	290
KOI	mg/l	250	500	1000
Azot (Toplam N olarak)	mg/l	20	40	85
Organik azot	mg/l	8	15	35
Serbest amonyum azotu	mg/l	12	25	50
Nitrit azotu	mg/l	0	0	0
Nitrat azotu	mg/l	0	0	0
Fosfor (Toplam Fosfor olarak)	mg/l	4	8	15
Organik	mg/l	1	3	5
İnorganik	mg/l	3	5	10
Klorürler	mg/l	30	50	100
Sülfat	mg/l	20	30	50
Alkalinite (CaCO ₃ olarak)	mg/l	50	100	200
Yağ-Gres	mg/l	50	100	150
Toplam Koliform	no/100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Uçucu Organik Bileşikler (VOCs)	µg/l	<100	100-400	>400

1.2.3 Endüstriyel Atıksular

Endüstriyel atıksuların özellikleri, endüstriden endüstriye oldukça farklılıklar göstermektedir. Aynı daldaki endüstrilerde bile, kullanılan hammaddeler ve uygulanan proseslerin farklılığı, diğer birçok faktörle birlikte çıkan atık suyun yapısında farklılıklar oluşturmaktadır. Tablo 1.8’de bir takım tipik değerler verilmiş olsa da, bu konuda genelleme yapmak zordur.

Endüstriyel atıksularla ilgili olarak burada belirtilmesi gereken en önemli özellik, hem debide hem de içeriğinde geniş çapta dalgalanmaların olduğudur. Bu sebeple, bu durumları tarif etmek ve belli değerler ulaşmak için en iyi yol deneysel verilerin istatistiksel analizi yoluyla elde edilen verilerden faydalanmaktır.

Örneğin, atıksu içindeki herhangi bir bileşenin konsantrasyonu (fenol, BOI vs.) veya atık suyun debisi, ilgili deneysel verilerin eklenik frekans (ihtimal) dağılım analizi yoluyla, ortalama, medyan, %90 ~ 95’lik değerler itibarıyla kolayca belirlenebilir.

1.2.3.1 Kirleticilerin yapıları ve tipik değerleri

Yiyecek endüstrisi, indirgendikleri zaman nehirlerdeki çözünmüş oksijen miktarını düşüren organikleri daha çok içerir ve bu da balıkları ve sudaki hayatı olumsuz etkiler. Koku ve anaerobik ortam oluşabilir. Bazı besin endüstrileri sadece mevsimsel olarak çalışır ve genellikle katı atıklar üretirler.

İçecek endüstrisi atıkları, yiyecek endüstrisi ve evsel atıklara benzemekle birlikte çok yüksek BOİ değerleri içerebilir. Yemek ve içecek endüstrisi atıkları bitkileri sulama suyu amacıyla kontrollü olarak kullanılabilir. Atıksuda katı madde miktarı ve renk problem olabilir. Biyolojik arıtma sırasında besi maddesi ilavesi gerekebilir.

Tekstil endüstrisindeki ana problemler boya bölümünden renk, işleme esnasında NaOH'dan kaynaklanan yüksek pH ve ani oynamalar görölmektedir. Makine yağları, yüksek BOİ, sülfidler ve Zn sektör çeşidine göre diğer kirletici parametrelerdir.

Kimya endüstrisi atıksularda ise yağ emisyonları, sülfid ve fenoller, makine yağları, katılar, yüksek pH, fosfatlar ve indirgenemeyen organikler içerebilirler. Tipik etkileri ise tat ve koku problemleri, zehirlenme olabilmektedir. Ayrıca termal kirlenmeye yol açabilir. Metal üretiminden kaynaklanan atıksuda Cr, Cd, CN⁻, Zn metal kirlilikleri görölebilir. Bazı metaller besi zincirinde kalırlar.

Tabakhanelerden kaynaklanan atıksuların tipik yapıları kıl, katı madde, çamur, BOİ, azot, Cr, Sülfid kirliliği, yüksek pH ve kokudur.

Tablo 1.8 Endüstrilerde su ihtiyacı ve atıksu karakteristikleri (5)

Endüstri	Su ihtiyacı	Atıksu karakteristikleri		
		Miktar	BOI	Diğer
YİYECEK Şeker Pancarı	27 m ³ /ton (yeniden kullanım yok)	Kullanılan suyun %89,5'i	1 kg/ton pancar	-
	3 m ³ /ton (yeniden kullanım var)	500 l/ton	0.6 kg/ton	-
Şeker Kamışı	-	-	-	-
Mezbahalar	5 m ³ /1000 kg canlı hayvan	Kullanılan suyun %96,8'i	15-20 kg /1000 kg konserve et	3-9 kgN/ 1000 kg canlı hayvan
Et kesimi ve konserveleme	30 m ³ /1000 kg canlı hayvan	Kullanılan suyun %67'si	-	-
Meyve/sebze konserveleme	8-80 m ³ /ton			
İÇECEK				
Bira	-	10-15 l/l bira	8 g/l bira	0.1-0.5 g N /l bira
Süt	-	2-10 l/l süt	0.1-0.2 kg /100 kg süt	-
Viski	-	20 l/l viski	-	-
Meşrubatlar	-	2-5l/l meşr.	600-2000mg/l	-
KÂĞIT				
Kâğıt hamuru (üretim)	-	40-200 m ³ /ton	-	-
Kâğıt hamuru (beyazlatma)	-	80-200 m ³ /ton	-	-
Kâğıt üretimi	-	40-120 m ³ /ton	-	-
Entegre üretim	-	190-230 m ³ /ton	60-165 kg/ton	-
TEKSTİL				
Pamuk	120-750 l/kg ürün	Kullanılan suyun %93'ü	150 kg/1000 kg ürün	7-15kg N / ton ürün
Yün	-	500-600 l /kg ürün	300 kg /ton ürün	-
Suni ipek	-			

Tablo 1.8'in devamı.

Endüstri	Su ihtiyacı	Atıksu karakteristikleri		
		Miktar	BOI	Diğer
Naylon	-	100-150 l /kg ürün	-	-
Polyester	-	67-133 l /kg ürün	200 kg/ton ürün	-
KİMYA				
Rafineriler	200-400 l (varil başına)	-	45 g/varil	4 g/varil
Sabun üretimi	-	200 m ³ /ton	-	-
Deterjanlar	-	13 m ³ /ton	-	-
Gübre	-	karbon bulamacı: 2500 l/ton NH ₃	-	10-25 kg NH ₃ /ton üretilen NH ₃
		NH ₃ tesisi: 2000-7000 l/ton	-	
		Üre tesisi: 3000-5000 l/ton NH ₃	-	6-22.5 kg üre/ton NH ₃
Metal kaplama	-	1-25 l / l kaplama solüsyonu		1-15 mg CN /l 3-100 mg Cr /l 0-25 mg Ni/l
DİĞERLERİ				
Tabakhaneler	-	2-8 m ³ /kg deri	9 kg/ 100kg deri	Askıda katı: 22-30kg /100kg Toplam katı: 35-40 kg /100kg

Tablo 1.9 Değişik atıksulardaki KOİ, BOİ₅ ve BOİ₅/KOİ oranları (5)

Atıksu cinsi	KOI(mg/l)	BOİ (mg/l)	BOİ ₅ /KOİ
Mezbahana	3500	2000	0.57
İçki endüstrisi	60 000	30 000	0.5
Süt endüstrisi	1800	900	0.5
Lastik endüstrisi	5000	3300	0.66
Deri endüstrisi	13 000	1270	0.1
Tekstil endüstrisi			
Arıtılmamış	1360	660	0.48
Biyolojik arıtılmış	116	5	0.04
Un endüstrisi			
Arıtılmamış	620	226	0.36
Biyolojik arıtılmış	250	30	0.12

Çeşitli insan faaliyetleri sonucunda değişik karakterlerde atıksu oluşmaktadır. Evsel nitelikli atıksular dışında üretim faaliyetlerinden dolayı da değişik karakterli atıksular oluşmaktadır. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre yapılan atıksu sınıflandırması şematik ve ana başlıkları halinde Tablo 1.10’da özetlenmiştir.

Tablo 1.10 Su Kirliliği Yönetmeliği’ne (SKKY) göre atıksu sınıflandırması.

Evsel nitelikli atıksular	Endüstriyel nitelikli atıksular	Endüstriyel nitelikli diğer atıksular
Nüfus< 1000 kişi Nüfus = 1000-10 000 Nüfus>10 000	-Gıda Sanayii Atıksuyu -İçki Sanayii Atıksuyu -Maden Sanayii Atıksuyu -Cam Sanayii Atıksuyu -Kömür hazırlama, işleme ve enerji üretme tesisleri atıksuları -Tekstil Sanayii Atıksuyu -Petrol Sanayii Atıksuyu -Deri Sanayii Atıksuyu -Selüloz, kâğıt, karton vb. Sanayii Atıksuyu -Kimya Sanayii Atıksuyu Metal Sanayii Atıksuyu -Ağaç mamulleri ve mobilya Sanayii Atıksuyu -Makine ve Yedek Parça Sanayii Atıksuyu -Taşıt fabrikaları ve tamirhaneler Atıksuları	-Endüstriyel soğutma suları -Sulu baca filtrelerinin çıkış suları -Benzin istasyonları atıksuları -Tutkal ve zambak üretimi atıksuları -İçme suyu filtreleri geri yıkama suları -katı atık bertaraf tesisleri atıksuları -Rejenerasyon tesisleri atıksuları

KAYNAKLAR

- (1) Y. Muslu. (1996). Atıksuların Arıtılması, Cilt I ve II, İTÜ Yayını.
- (2) Metcalf & Eddy. (2000 ve 2004). Wastewater Treatment, Disposal and Reuse, Mc Graw Hill Publishing.
- (3) V. Eroğlu. (2002). Atıksuların Tasfiyesi, Su Vakfı Yayınları.
- (4) İ. Öztürk. (1999). Anaerobik Biyoteknoloji ve Atıksu Arıtımındaki Uygulamaları, Su Vakfı Yayınları.
- (5) S. J. Arceivala. (2002). Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı. (Çeviren: V. Balman). Tata – Mc Graw Hill.

2. ATIKSU DEBİLERİNİN ÖLÇÜMÜ

Atıksu deşarj, toplama ve arıtma sistemlerinin tasarımında temel adım atıksu debisinin belirlenmesidir. Bu sistemlerin düzgün çalışabilmesi, yatırım maliyetlerinin minimize edilebilmesi ve sistemlerin birden fazla gurup tarafından paylaşılması halinde katılım paylarının belirlenebilmesi için mevcut debi ve tahmin edilen debi hakkında fiili ölçümlere güvenilir bilginin elde edilmiş olması gerekir. Atıksu debisinin belirlenemediği durumlarda debi, su sarfiyatı, nüfus ve endüstri ile ilgili istatistikî bilgilere dayanılarak hesaplanır.

2.1. Debi Ölçümleri

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; infiltrasyon veya kanalizasyon sistemine endüstriyel atıksu deşarj ve nüfus artışı hakkında bilgi edinilmesi.
- Yağışlı hava şartlarında ortaya çıkan önemli debi artışından hareketle yağmur suyu katkısının tahmini.

2.1.1. Debi Ölçüm Cihazlarının Yerleştirilmesi

Atıksu arıtma tesislerinde uygun bir debi ölçüm cihazının konulabileceği yerler aşağıda sıralanmıştır (1):

- kanal üstü ve kontrol bacası,
- arıtma tesisinin girişi,
- çubuk ızgaranın, kum tutucunun veya ön çöktürmenin 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 2.1’de akım ölçüm cihazlarının arıtma tesisindeki konumlarına göre işletme özellikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.1 Debi ölçüm cihazlarının uygulama yerine göre işletme özelliklerinin kıyaslaması (2)

Debi ölçüm cihazının Konumu	Ölçüm, akımdaki dalgalanmalardan etkileniyor mu?	Ölçüm, arıtılan ortalama debi miktarını temsil ediyor mu?	Ölçüm, katı parçacıklardan etkileniyor mu?	Ölçüm, kum ve diğer çökelebilen katılardan etkileniyor mu?	Ölçüm, tesis işletmesinde yararlı mı?	Ölçüm, deşarjın yapılacağı alıcı ortam için yararlı mı?
Kanalların kesişme noktası veya kontrol bacası	Evet	Hayır	Evet	Evet	Evet	Hayır
Arıtma tesisinin girişi	Evet	Hayır	Evet	Evet	Evet	Hayır
Kaba ızgara mansabı	Evet	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Hayır
Kum tutucu veya çöktürme çıkışı	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Hayır
Deşarj öncesi	Hayır	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Evet

2.1.2. Debi Ölçüm Yöntemi ve Ölçme Cihazları

Atıksu deşarj debisinin ölçümünde kullanılan yöntemler iki ana başlıkta toplanır:

- Basınçlı borularda
- Açık kanallarda

Tablo 2.2’de akışkanın hız ölçümünde kullanılan farklı yöntemler ve ölçme cihazları sınıflandırılmıştır.

Tablo 2.2 Su ve atıksu debisi ölçümünde kullanılan cihazlar

Debi ölçüm cihazı	Ölçüm prensibi
1. Basınçlı borularda	
a. Venturi metre	Basınç değişimi ölçülür.
b. Ölçüm ağzı (nozzle)	Basınç değişimi ölçülür.
c. Orifis metre	Basınç değişimi ölçülür.
d. Elektromanyetik metre	Manyetik alan oluşturulur voltaj ölçülür.
e. Türbin metre	Türbin kullanılır.
f. Akustik esaslı debimetre	Hız ve akışkan seviyesini ölçmede ses dalgası kullanılır.
2. Açık kanallarda	
a. Kanal	Kanalda kritik derinlik ölçülür.
b. Savak	Savak arkasındaki su yüksekliği ölçülür.
c. Derinlik ölçümü	Akımın derinliğini ölçmede yüzgeç kullanılır.
g. Akustik esaslı debimetre	Hız ve sıvı seviyesini ölçmede ses dalgası kullanılır.
3. Açık akışlı enjektör (Kennison enjektörü veya Kaliforniya boru yöntemi)	Serbest düşme ucundaki akış derinliği ölçülür.

Debi ölçüm yönteminin belirlenmesinde 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 olmasıdır.

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.

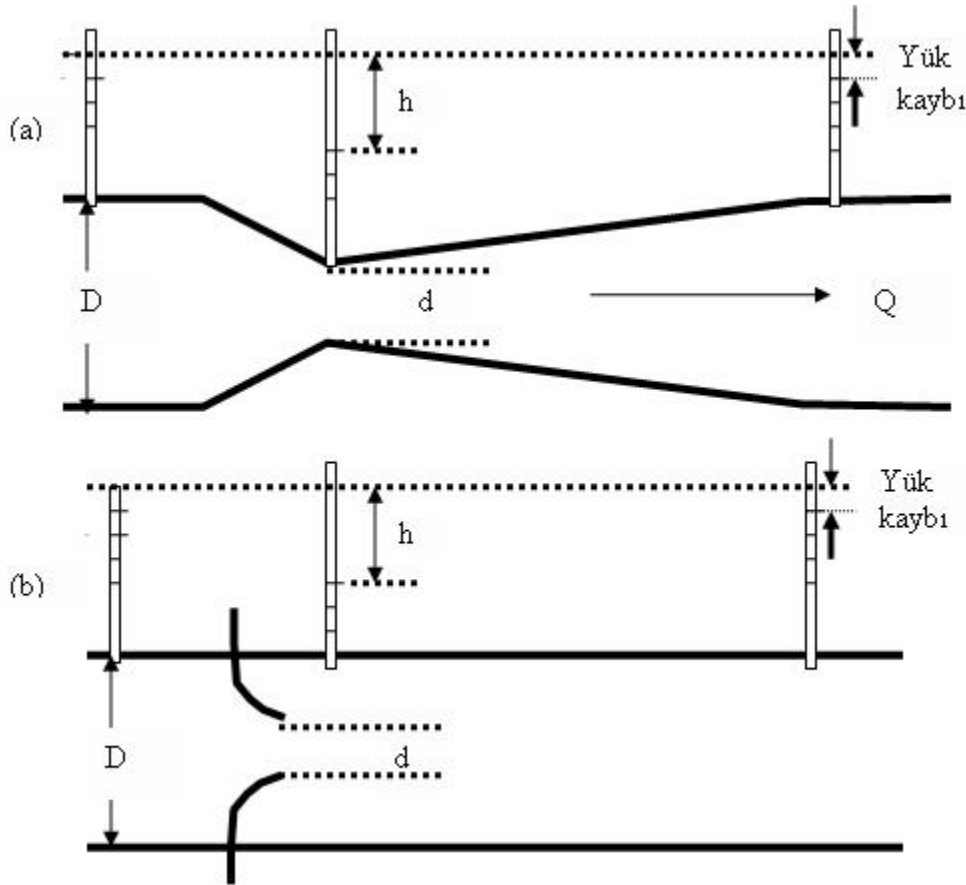
2.1.2.1. Basıncılı Borularda Debi Ölçüm Cihazları

Venturi debi ölçer: Basınç farkı ölçme prensibine dayanır. (Şekil 2.1.a). İki musluklu basınç ölçme birimini birleştiren daralmış bir borudan oluşur. Boğaza giriş ve boğaz kısmındaki basınç farkı akış katsayısı ile orantılıdır.

Venturi kanalı boyunca sürekli basınç düşüşünün, ölçülen farkın sadece %10'u olması Venturi debi ölçerinin kullanılmasının temel nedenidir.

Venturi metreler için ASME (3) tarafından önerilen oranlar:

- giriş konik kısım için $\alpha_1 = 21 \pm 2^\circ$,
- çıkış konik kısım için $\alpha_2 = 5-15^\circ$,
- boğaz uzunluğu = bir boğaz çapı,
- boğaz öncesi basınç ölçme noktası = giriş konisinin 0.25-0.5 boru çapı öncesidir.



Şekil 2.1. Basıncılı borular için debi ölçme cihazları (a)Venturi (b) Ölçüm ağzı.

ASME Araştırma Komitesinin akışkan hızı ölçümü için uyguladığı pratik bağıntı aşağıda verilmiştir (4):

$$Q_m = Q - p_1 = KYA_2 \sqrt{2g_c(p - p_1)\rho_1} \quad (2.1)$$

Burada;

A	: boğaz kısmının kesit alanı, (uzunluk ²)
g_c	: boyutsuz sabit
K	: akış katsayısı, $C/\sqrt{1-\beta^4}$
C	: deşarj katsayısı, boyutsuz
p_1, p_2	: boğaz öncesi ve sonrasında ölçülen statik basınçlar, (kuvvet/uzunluk ²)
Q	: boğaz öncesi basınç ve sıcaklıktaki hacimsel debi, (hacim/zaman)
Q_m	: kütleli debi, (kütle/zaman)
Y	: genişleme faktörü, boyutsuz (sıvılarda 1 alınır)
β	: boğaz çapının boru çapına oranı d/D , boyutsuz
d	: boğaz kısmının çapı, (uzunluk)
D	: boru çapı, (uzunluk)
ρ_1	: boğaz öncesi basınç ve sıcaklıktaki yoğunluk, (kütle/uzunluk ³)

Deşarj katsayısı C, Herschel tipi Venturi metrede Reynolds sayısına ve Venturi boyutuna bağlıdır. C sabitinin hesaplanmasında kullanılan formüller bu bölümde verilmiştir.

Sürekli basınç kaybı, Herschel tipi Venturi metrelerde çap oranı (β), ve çıkış konisi açısına (α_2) bağlıdır:

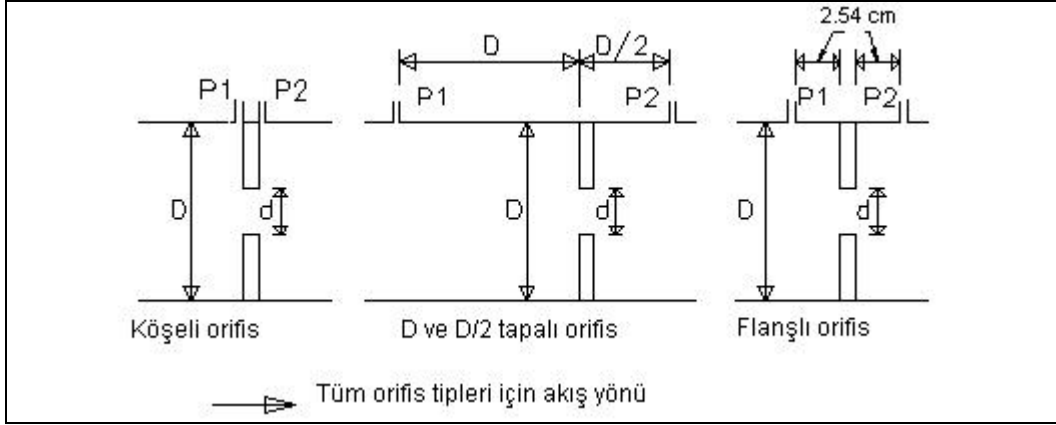
- Küçük açılarda ($5-7^\circ$) basınç farkının ($p-p_1$) %10-15'i
- Büyük açılarda (15°) basınç farkının ($p-p_1$) %10-30'u

Piyasada kısa tüplü birçok Venturi metre mevcuttur, bunlar Herschel tipi Venturi metrelere kıyasla daha küçük yerlere monte edilebilmesine rağmen aynı zamanda basınç kaybına da sebep olabilmektedir. Deşarj katsayısı C, tipe göre çok farklılık gösterir bu nedenle üreticinin kalibrasyonu mevcut değilse tekil kalibrasyon önerilmektedir.

Ölçüm ağızı (nozzle): Basit bir ölçüm ağızı Şekil.2.1.b'de verilmiştir. Ölçüm ağızı ani açılan kısa bir silindirden meydana gelir. Açılan kısmın kesiti eliptik veya silindirik olabilir. Boğaz kısmının düz bölümünün uzunluğu boğaz çapının yaklaşık yarısı; ağız öncesi basınç musluğu, ağızın iç yüzeyinden bir boru çapı uzaklıkta; ağız sonrası basınç musluğu ise ağızın iç yüzeyinden yarım boru çapı uzaklıkta olmalıdır. Sesten düşük hızdaki akışlarda 2 ve 3 noktalarındaki basınç pratik olarak eşittir. Ölçüm ağzının iç yüzü konik seçilirse, giriş ve boğaz kısımlarının geometrisi Herschel tipi Venturi metre ile aynı alınabilir.

Ölçüm ağzında kritik altı akım şartlarında akım hızı, Venturi metreler için verilen bağıntı ile (2.1) hesaplanabilir. Bu bağıntıda deşarj katsayısı, C, Reynolds sayısına ve çap oranı β 'ya bağlıdır. Deşarj katsayısının hesaplanması bu bölümde verilmiştir.

Orifis metreler: Orifis metrelerde debi ölçme, aralıklı plaka boyunca basınç farkı (p_1-p_2) ölçme prensibine dayanır. İki boruyu bağlayan flanşlara monte edilir. Borunun büyüklüğüne göre küçük çaplı ($D<5\text{cm}$) ve büyük çaplı ($D>5\text{cm}$) orifisler mevcuttur. Orifislerde basınç musluklarının yeri deşarj katsayısını etkiler. Flanşlı orifislerde basınç muslukları orifisten her iki tarafa doğru 2.54 cm uzaklıktadır. Köşeli orifislerde ise musluklar orifisin hemen yanındadır. Büyük çaplı orifislerde, basınç ölçme musluklarının, aralığı D ve D/2 uzaklıkta yerleştirilen tipleri de vardır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Orifis metrelerde basınç ölçme musluklarının yerleşimi.

Orifis metrelerde akışkan hızının belirlenmesinde (2.1) bağıntısı kullanılabilir. Orifis metrelerde bu bağıntıların kullanılmasında Re sayısının üst limitinin olmaması bir üstünlük olmakla birlikte, bu sistemlerde Venturi metre ve ölçme ağızlarına kıyasla basınç kaybının yüksek olması bir mahzur olarak görülmektedir. Statik basınç kaybı 2.2 bağıntısı ile hesaplanabilir.

$$\omega = \frac{\sqrt{1-\beta^4} - C\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4} + C\beta^2} (p_1 - p_2) \quad (2.2)$$

Burada;

ω : orifisin D mesafe öncesinde ve 6D mesafe sonrasında oluşan statik basınç kaybı (kuvvet/uzunluk²)

Orifisli boru sistemi tasarımında yersel yük kaybının hesaplanmasında aşağıdaki bağıntılar kullanılır:

$$K_m = \frac{2\omega}{\rho V^2} \quad (2.3)$$

Burada;

K_m : yersel yük kaybı katsayısı, (boyutsuz)

V : borudaki akım hızı, (uzunluk/zaman)

$$h = K_m V^2 / 2g \quad (2.4)$$

h : yük kaybı, (uzunluk)

g : yerçekimi ivmesi, (uzunluk/zaman²)

Elektromanyetik debi ölçer: Elektromanyetik debi ölçerler (magmetre), fizikte Faraday'ın Elektromanyetik İndüksiyon prensibine göre çalışır. Faraday kanununa göre herhangi bir iletici bir manyetik alandan geçerken oluşan voltaj bu ileticinin hızı ile orantılıdır. Elektromanyetik debimetrelerde iletici atıksudur.

Manyetik debi ölçer, yalıtılmış manyetik olmayan bir tüp ve bunun üstüne karşılıklı monte edilmiş iki adet elektromanyetik sargıdan oluşmuştur. Sargıdan geçen alternatif akım, hareketli bir iletici gibi davranan akışkanda alternatif akım voltajı oluşturur.

Elektrotlarda algılanan alternatif akım voltajı akışkanın akım hızı ile orantılıdır. Burada akışkan elektrik akımının taşıyıcısı olarak davrandığından taşıyıcı olmayan akışkanlar için elektromanyetik debi ölçer kullanılamaz.

Elektromanyetik debi ölçer kullanımında dikkate alınması gereken hususlar şunlardır:

- Boruda tam dolu akış gerçekleşmelidir; aksi takdirde akım hızı gerçek değerinden daha yüksek okunur,
- 0.3 m/s'nin altındaki akım hızlarında güvenilirlik azalır.

Tam dolu akış halindeki bir boruda, boru çapı mm ve akım debisi m³/saat olarak alınırsa, borudaki akım hızı m/sn olarak aşağıdaki bağıntı yardımı ile bulunabilir (8):

$$V = 354 Q/D^2 \quad (2.5)$$

Burada;

D : Boru çapı, uzunluk
Q : Debi, uzunluk³/zaman
V : Akım hızı, uzunluk/zaman

Elektromanyetik metrelerin güvenilirliği çok yüksektir. Bu nedenle, geniş bir debi aralığında kullanılabilir. Düz bir parça borudan ibaret olduğu için ilave bir yük kaybı yoktur. Performansları, sıcaklık, iletkenlik, viskozite, türbülans ve askıda katı madde parametrelerinden etkilenmez. En büyük mahzurları ise ilk yatırım maliyeti ile işletme ve bakım için eğitimli bir personelin sürekli istihdamıdır.

Türbin metre: Türbin metrelerde dönme hızı suyun akış hızına eşit hızda dönen bir türbin vardır. Bu cihazın kullanımı, borunun tam dolu ve basınç altında olması ile sıvıda askıda katı madde içeriğinin düşük olması koşulları ile sınırlıdır. Güvenilirliği ve akış aralığı yüksektir.

Akustik esaslı debimetre: Akustik esaslı debi ölçerlerle akım hızı ses dalgası ile ölçülür. Akustik esaslı debi ölçerler sıvı seviyesini, alanı ve gerçek hızı (ses dalgasının akımın iki noktası arasında gitme süresi) belirlerler. Hız ve alan yardımıyla deşarj debisi hesaplanır.

Akustik esaslı debi ölçerlerin üstünlüğü düşük yük kaybı, doğruluk, değişik boru çaplarında kullanılabilirlik, katılarla tıkanmama ve geniş bir akım hızı aralığında kullanılabilir olmasıdır.

Deşarj katsayısının hesaplanması: Debi katsayıların hesaplanması için literatürde birçok genelleştirilmiş formül bulunmaktadır. Ancak her bir debi ölçme yönteminde imalatçı firmaların geliştirdiği değişik tipleri olduğundan montaj ve hesaplamalarda imalatçı firma katalog verileri en iyi kaynaktır. Tablo 2.3'de deşarj katsayısının hesaplanmasında kullanılan bağıntılar ve bu bağıntıların kullanım şartları verilmiştir.

D ve d' ye göre Reynolds sayısı aşağıdaki bağıntılar yardımı ile hesaplanır (9):

$$\text{Re}_D = \frac{V_{\text{boru}} D}{\nu} \quad (2.6)$$

$$\text{Re}_d = \frac{V_{\text{boğaz}} d}{\nu} \quad (2.7)$$

Burada;

$V_{\text{boru}}, V_{\text{boğaz}}$: boru ve boğaz kısımlarındaki hızlar, (uzunluk/zaman)

ν : kinematik viskozite, (uzunluk²/zaman)

Tablo 2.3 Deşarj katsayısının hesaplanması

Ölçüm cihazı	Formül	Geçerlilik şartları
Venturi	$C=0.9858-0.196(d/D)^{4.5}$ (2.8)	$0.316 \leq d/D \leq 0.775$; $1.5 \times 10^5 \leq Re_D \leq 2 \times 10^6$ $6.5 \text{ cm} \leq D \leq 50 \text{ cm}$; $d \geq 5 \text{ cm}$; $k/D \leq 3.8 \times 10^{-4}$ (5),(6)
ISA 1932 ölçüm ağzı	$C=0.99-0.2262(d/D)^{4.1}-[0.00175(d/D)^2-0.0033(d/D)^{4.15}][10^6/Re_D]^{1.15}$ (2.9)	$5 \text{ cm} \leq D \leq 50 \text{ cm}$ $0.3 \leq d/D \leq 0.44 \rightarrow 7 \times 10^4 \leq Re_D \leq 10^7$ $0.44 \leq d/D \leq 0.8 \rightarrow 2 \times 10^4 \leq Re_D \leq 10^7$ $k/D \leq 3.8 \times 10^{-4}$
Uzun gövdeli ölçüm ağzı	$C=0.9965-0.00653[(10)^6(d/D)/Re_D]^{0.5}$ (2.10)	$5 \text{ cm} \leq D \leq 63 \text{ cm}$ $0.2 \leq d/D \leq 0.8, 10^4 \leq Re_D \leq 10^7$ $k/D \leq 10^{-3}$
Küçük borulu orifis ($D < 5 \text{ cm}$)	Köşe tipli: $C=\{0.5991+\frac{0.0044}{D}+(0.3155+\frac{0.0175}{D})[(d/D)^4+2(d/D)^{16}]\} \sqrt{1-(d/D)^4}$ $+\{\frac{0.52}{D}-0.192+(16.48-1.16/D)[(d/D)^4+4(d/D)^{16}]\} \sqrt{\frac{1-(d/D)^4}{Re_D}}$ (2.11)	$1.2 \text{ cm} \leq D \leq 4 \text{ cm}$ $0.1 \leq d/D \leq 0.8$
	Flanş tipli: $C=\{0.598+0.468[(d/D)^4+10(d/D)^{12}]\} \sqrt{1-(d/D)^4}+[0.87+8.1(d/D)^4] \sqrt{\frac{1-(d/D)^4}{Re_D}}$ (2.12)	$2.5 \text{ cm} \leq D \leq 4 \text{ cm}$ $0.15 \leq d/D \leq 0.7$ $Re_D > 1000$

Tablo 2.3 (devamı)

Ölçüm cihazı	Formül	Geçerlilik şartları
Geniş borulu orifis (D>5cm)	$C=0.5961+0.0261\beta^2 - 0.261\beta^8 + 0.000521 \left(\frac{10^6 \beta}{Re_D} \right)^{0.7} + \left[0.0188 + 0.0063 \left[\frac{19000\beta}{Re_D} \right]^{0.8} \right] \left[10^6 / Re_D \right]^{0.3} \beta^{3.5}$ $+ \left[0.043 + 0.08 - e^{L_1} - 0.123 - e^{-7L_1} \right] - \left[1 - 0.11 \left[19000\beta / Re \right]^{0.8} \right] \frac{\beta^4}{1 - \beta^4}$ $- 0.031 \left[2L_2' / (1 - \beta) - 0.8 \left[\frac{2L_2'}{1 - \beta} \right]^{1.1} \right] - \beta^{1.3} \quad (2.13)$ D<0.07112m ise: +0.011(0.75-β)[2.8-(D/0.0254)] bu terim ilave edilir. (2.14)	Köşe tiplide: $L_1 = L_2 = 0$ D ve D/2 tiplilerde: $L_1=1$ and $L_2' = 0.47$ $d \geq 1.25$ cm, $5\text{cm} \leq D \leq 1\text{m}$, $0.1 \leq d/D \leq 0.75$ Köşe tiplide veya D ve D/2 tiplilerde: $0.1 \leq d/D \leq 0.5$ de $Re_D \geq 4000$, $d/D \geq 0.5$ de $Re_D \geq 16\,000(d/D)^2$ $k/D \leq 3.8 \times 10^{-4}$ Flanş tiplilerde: $Re \geq 4000$ ve $Re \geq 170,000$ $D(d/D)^2$ (D metre) Flanş veya D ve D/2 tipliler için $k/D \leq 10^{-3}$

k: eşdeğer pürüzlülük yüksekliği, mm, (boru malzemesinin cinsine, yeniliğine göre çok pürüzsüz yüzeylerde $k \leq 0.03$ olmak üzere 0.03-1.5 mm arasındadır.)

2.1.2.2. Açık Kanallarda Debi Ölçümü

2.1.2.2.1. Savak Kanalları

Savak kanallar, açık kanallarda debi ölçümünde kullanılırlar. Genişlikleri birkaç cm ile 15m arasında, daralma kısmında ise su derinliği birkaç cm ile 2m arasında olabilir. Savak kanallarını klasik savaklara kıyasla daha düşük yük kaybı üstünlüğü yanı sıra, kurulma ve hesaplamaların daha karmaşık olması gibi mahzurları da vardır.

Kanallarda su seviyesi, daralma bölümünde ölçülür. Parshall kanalında ölçüm, daralma kanalının 2/3 mesafesinde; dikdörtgen, trapez ve U kanallarda ise boğazdan ve beklenen maksimum savak yükünün 3-4 katı uzaklıkta ölçülür. Bu üç kanalda savak yükü, pozisyonla fazla değişmediğinden, Parshall kanalında olduğu gibi tam bir ölçüm yerinin olması fazla önem arz etmemektedir.

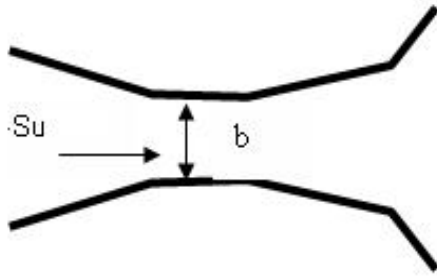
Bu bölümde, uygulamada ağırlıklı olarak kullanılmakta olan Parshall, dikdörtgen, trapez ve U kesitli kanalları ile ilgili hesaplamalar verilmiştir. Bunlardan her birinin montaj, savak yükü ölçümleri, çökme ve analizleme ile ilgili fayda ve mahzurları vardır. En yaygın olarak Parshall kanalı kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda gelişen yeni kanal tasarımları, Parshall kanallarının montaj zorlukları ve tortulanma eğilimi nedenleri ile daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır.

Bu bölümde verilen hesaplama yöntemleri ISO, ASTM ve USBR standartlarından alınmıştır (10), (11), (12), (13). Bu bağıntılar teorik bağıntıların deneysel gözlem sonuçlarına göre uyarlanmasıyla oluşturulmuştur. Parshall kanalları için batmış ve batmış olmayan şartlar, dikdörtgen, trapez ve U kanallar için ise sadece batmış olmayan şartlar için bağıntılar verilmiştir. Batmış olmayan durum boğaz kısmında su seviyesindeki düşüşün gözle fark edildiği durumdur.

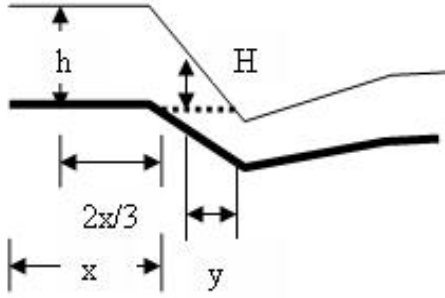
Parshall(Venturi) kanalı: Parshall kanalı, bu tür savak kanallar arasında en geniş kullanımlı olanıdır ve 1930'larda tasarlanmasından bu yana kanal ölçümlerinde standart olmuştur. Parshall kanalının en önemli üstünlüğü yük kaybının düşük olması ve kendi kendini temizleme kapasitesidir. Parshall kanalı üç bölümden oluşur: daralma bölümü, boğaz ve genişleme bölümü. Serbest akışlı ve batmış olmak üzere iki tipi mevcuttur (Şekil 2.3). Parshall kanalı boyutlandırması ISO 9826(10) ve ASTM D1941 (1991)(11) standartlarında verildiği gibi yapılmalıdır.

Kanallar sıvı akışını, kritik altından süper kritik özelliğine geçirmek üzere tasarlanmıştır. Parshall kanalı durumunda ise bu geçiş boğaz kısmında daralma ve düşüş ile sağlanır. Bu dönüşüm 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.

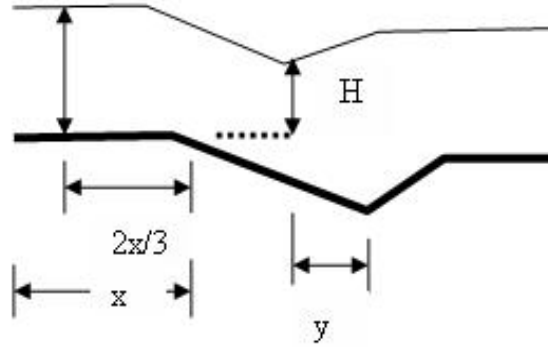
Serbest akışlı Parshall kanalında debi hesabı: Bu halde boğaz kısmında hidrolik sıçrama gözle net olarak fark edilir. Yani boğaz sonrası su seviyesi, boğaz öncesi su seviyesinden belirgin derecede fark edilecek kadar düşük seviyededir.



$y=0.05\text{m}$, $b<3.05\text{m}$ için
 $y=0.305\text{m}$, $b\geq 3.05\text{m}$ için



Serbest akış
 $H/h \leq 0.6$, $b < 3.05\text{m}$ için
 $H/h \leq 0.8$, $b \geq 3.05\text{m}$ için



Batık akış
 $H/h > 0.6$, $b < 3.05\text{m}$ için
 $H/h > 0.8$, $b \geq 3.05\text{m}$ için

2.3. Parshall kanalının şematik görünümü

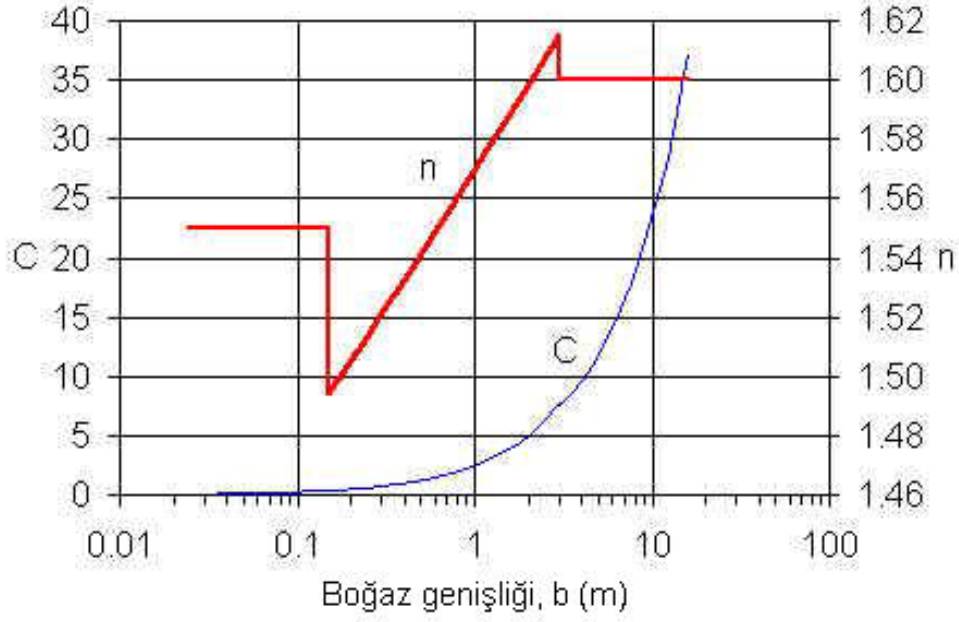
Serbest akışlı Parshall kanalında debi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$Q = C h^n \quad (2.15)$$

Burada;

- Q : Hacimsel hız, debi, m^3/saniye
- h : Boğaz öncesi derinlik, m
- C : Parshall kanalı sabiti, ampirik
- n : Parshall kanalı üs sabiti, birimsiz
- b : Boğaz genişliği, m

C ve n sabitleri Şekil 2.4'deki grafikten bulunabilir.



Şekil 2.4. Parshall kanalı sabitleri

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:

$$Q = C h^n - Q_e \quad (2.16)$$

Burada;

Q_e : batmışlığın debiyi azaltma payı, m^3/sn

$b < 3.05$ m için (2.16) bağıntısındaki Q_e için aşağıdaki bağıntı verilmektedir:

$$Q_e = 0.07 b^{0.815} \left[\left(\frac{h}{0.305 \left(\left(\frac{1.8}{H/h} \right)^{0.8} - 2.46 \right)} \right)^{4.57 - 3.14 H/h} + H/h \right] \quad (2.17)$$

Burada;

H : Boğaz sonrası ölçülen su seviyesi, m, (sadece kanal batmışsa gereklidir)

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 :

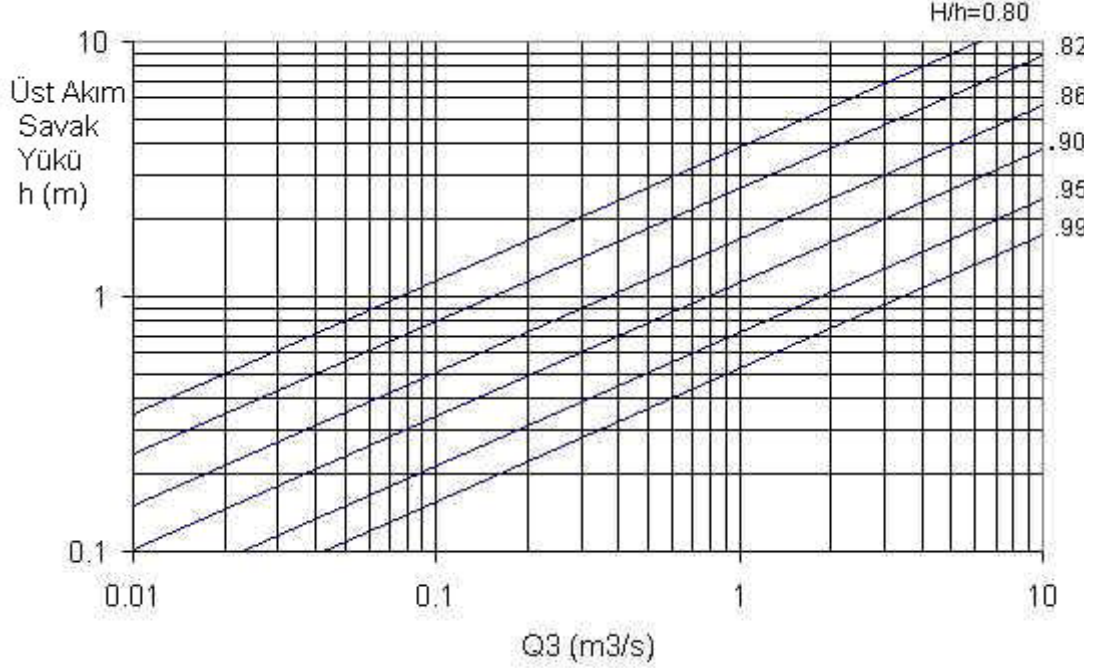
$$Q_e = C_s Q_3 \quad (2.18)$$

$$C_s = (0.3281) b \quad (2.19)$$

Burada;

Q_3 : Q_e yi hesaplamak için akış faktörü, m^3/sn ($b \geq 3.05$ için).

Batmış Parshall kanalı için C ve n sabitleri Şekil 2.4'deki grafikten, Q_3 , ise H/h 'nın ve h 'nın fonksiyonu olarak Şekil 2.5'deki grafikten bulunabilir.



Şekil 2.5 Genişliği 3.05 m'den büyük batmış Parshall kanalı için Q_3 sabiti

Dikdörtgen kanal: Dikdörtgen en kesitli kanalın şematik görünümü Şekil 2.6'da verilmiştir. Hesaplamaların sırası aşağıdaki gibidir (ISO 4359 1983):

$$C_d = \left(1 - \frac{0.006L}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2} \quad (2.20)$$

$$A = B (P+h) \quad (2.21)$$

$$\sqrt{C_v^{2/3} - 1} = \frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{bhC_vC_d}{A} \text{ buradan } C_v \text{ bulunur.} \quad (2.22)$$

$$Q = bC_dC_v \left(\frac{2h}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g}, \quad (2.23)$$

$$V = \frac{Q}{A}, \quad (2.24)$$

$$F = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (2.25)$$

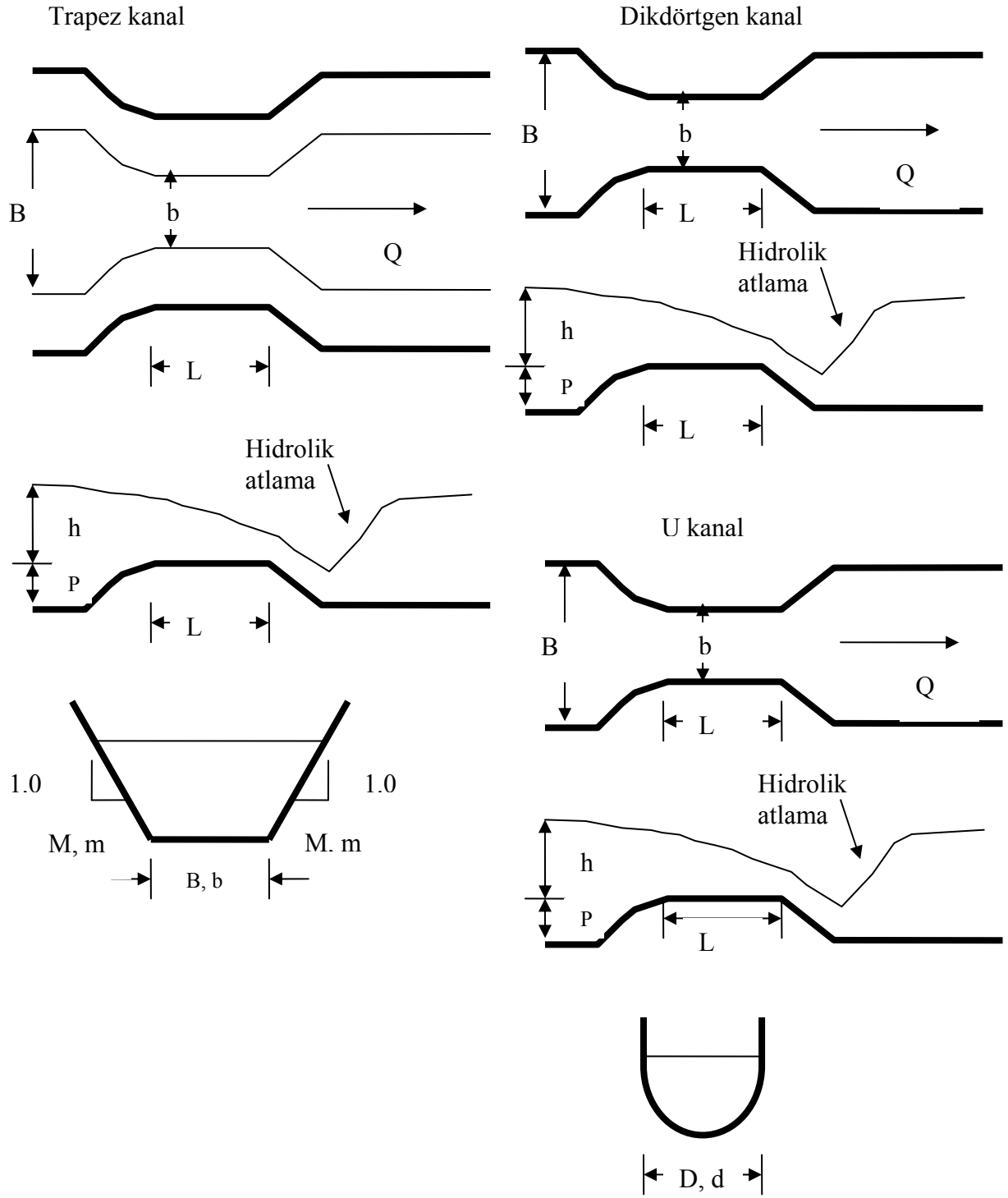
C_v sadece ($h/b < C_d/A < 0.93$) ise çözülebilir.

Burada;

- A : Daralma kısmında enine kesit alan, m^2
- b : Boğaz kısmı taban genişliği, m
- B : Daralma kısmı taban genişliği, m
- C_d : Dikdörtgen, trapez ve U kanallarda deşarj katsayısı, birimsiz
- C_v : Dikdörtgen, trapez ve U kanallar için daralma hızı sabiti, birimsiz
- F : Daralma kanalı akışı için Froude sayısı, birimsiz
 $F < 1$ yavaş veya kritik altı akış, $F > 1$ hızlı veya süper kritik akış
- g : Yer çekimi ivmesi, 9.8066 m/s^2
- h : Ölçülen su seviyesi, m, eşik varsa su yüzeyi ve eşik arasındaki dikey mesafe
- L : Boğaz kısmının uzunluğu, m
- P : Eşik yüksekliği, m
- Q : Kanal boyunca akış hızı, m^3/sn
- V : Daralma kısmında hız, m/sn

Bu hesaplamaların için ISO 4359'un önerdiği şartlar şunlardır:

$$\begin{aligned} h \leq 2m, \quad 0.1m \leq b \leq B, \quad F \leq 0.5, \quad h/b \leq 3 \\ (bh)/[B(P+h)] \leq 0.7, \quad h/L \leq 0.5 \quad h \geq 0.05 \text{ veya } h \geq 0.05L \text{ (hangisi büyükse)} \end{aligned}$$



Şekil 2.6 Trapez, dikdörtgen ve U kanalın şematik görünümü

Yamuk (trapez) kesitli kanal: Trapez kanalda hesaplamaların sırası aşağıdaki gibidir (ISO 4359, 1983):

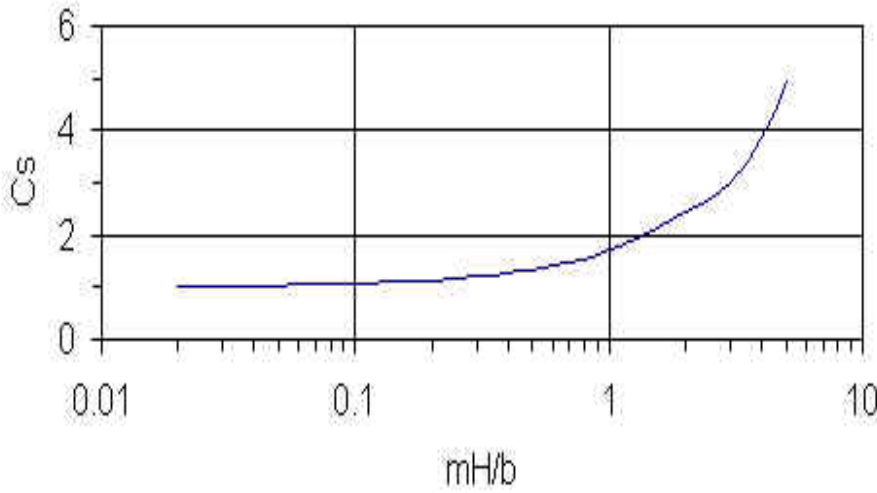
$$k = \sqrt{1 + m^2} - m \quad (2.26)$$

$$C_d = \left(1 - \frac{0.006kL}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2} \quad (2.27)$$

$$A = (P+h)[B + M(P+h)] \quad (2.28)$$

$$T = B + 2M(P+h) \quad (2.29)$$

H = h alınır, Cs ise Şekil 2.7'deki grafikten bulunur. Bu grafik $0.02 < mH/b < 5$ aralığında geçerlidir.



Şekil 2.7 Trapez kanalda Cs nin bulunması ($0.02 < mH/b < 5$)

$$\sqrt{C_v^{2/3} - 1} = \frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{bhC_vC_s}{A} \quad (2.30)$$

bu bağıntıda Cv bulunur. Daha sonra,

$$Q = bC_dC_sC_v \left(\frac{2h}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} \quad (2.31)$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.32)$$

$$F = V \sqrt{\frac{T}{gA}} \quad (2.33)$$

Burada;

- H : Toplam su seviyesi, m, $H = h C_v^{2/3}$
 K : Trapez kanal hesaplarında kullanılan bir sabit, boyutsuz,
 m : Trapez kanal boğaz kısmı eğimi, (yatay/dikey)
 M : Trapez kanal daralma kısmı eğimi, (yatay/dikey)
 T : Daralma kısmı tavan genişliği, m.

C_v sadece $h b C_s/A < 0.93$ ise hesaplanabilir. C_s ve C_v H ve h 'nin fonksiyonu olduğundan $H = h C_v^{2/3}$, C_s , C_v , ve Q tekrardan hesaplanmalıdır. ISO 4359 Q yu üç defa hesaplamayı önermektedir. Ancak trapez kanal üreticileri dördüncü haneye kadar Q 'nun hesaplanmasına devam edilmesini önermektedirler. Sonuç olarak Q 'dan V ve F hesaplanır.

Bu hesaplamaların için ISO 4359'un önerdiği şartlar şunlardır:

$$h \leq 2m, \quad 0.1m \leq b < B, \quad F \leq 0.5, \quad h/L \leq 0.5$$
$$h \geq 0.05 \text{ veya } h \geq 0.05L \text{ (hangisi büyükse)}$$

Dikdörtgen, trapez ve U kanallarda boğaz kısmında bir eşik olduğundan savak yükü ölçümü, daralma bölümünün dibinden değil, eğiğin tepesinden yapılır.

U kanal:

Bu tip savak kanallarıyla debi ölçümü ve hesabı aşağıdaki gibidir.

$$C_d = \left(1 - \frac{0.006L}{d}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2} \quad (2.34)$$

$(P+h) < D/2$, ise:

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{D - 2(P+h)}{D} \right] \quad (2.35)$$

$$A = \frac{D^2}{4} (\theta - \sin \theta - \cos \theta) \quad (2.36)$$

$$T = 2\sqrt{(P+h)(D-P-h)} \quad (2.37)$$

$(P+h) \geq D/2$, ise:

$$A = \frac{\pi - D^2}{8} + D \left(P+h - \frac{D}{2} \right) \quad (2.38)$$

$$T=D$$

$H=h$ kabul edilir ve Şekil 2.8'deki grafikten C_u bulunur. Bu grafik $0.1 < H/d < 3$ için geçerlidir. Daha sonra aşağıda verilen (2.39) bağıntısından C_v bulunur:

$$\sqrt{C_v^{2/3} - 1} = \frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{dh C_v C_u}{A} \quad (2.39)$$

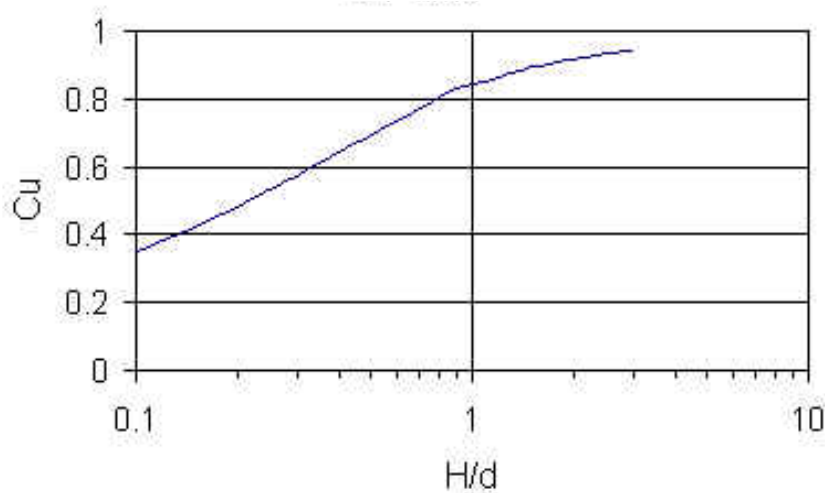
$$Q = d C_d C_u C_v \left(\frac{2h}{3} \right)^{3/2} \sqrt{g} \quad (2.40)$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.41)$$

$$F = V \sqrt{\frac{T}{gA}} \quad (2.42)$$

Bu hesaplamalar için ISO 4359'un önerdiği şartlar şunlardır:

$h \leq 2m$, $0.1m \leq d/D$ $F \leq 0.5$, $h/L \leq 0.5$
 $h \geq 0.05$ veya $h \geq 0.05L$ (hangisi büyükse)



Şekil 2.8 U kanallarında C_u 'nın bulunması

C_v sadece $h d C_u/A < 0.93$ ise hesaplanabilir. C_u ve C_v , H ve h 'nin fonksiyonu olduğundan $H = h C_v^{2/3}$, C_u , C_v , ve Q tekrardan hesaplanmalıdır. ISO 4359 Q 'yu üç defa hesaplamayı önermektedir. Ancak U kanal üreticileri dördüncü haneye kadar doğruluk sağlanana kadar Q 'nın hesaplanmasına devam edilmesini önermektedirler. Sonuç olarak Q 'dan V ve F hesaplanır.

2.1.2.2.2. Savaklar

Savaklar açık kanallarda debi ölçümünde kullanılırlar. Bu bölümde uygulamada en yaygın olarak kullanılan dikdörtgen, V, trapez savaklarla ilgili bağıntılar verilmiştir.

Dikdörtgen savak: Dikdörtgen savaklarda temel prensip, debinin su derinliğiyle (h , Şekil 2.9'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) (13). “Kısmen daraltılmış savakta ise 0 < (B-b) < 4h_{max}’dır. Savaklarda daraltma, su akışının savağa doğru sıkıştırılması amacıyla yapılır.

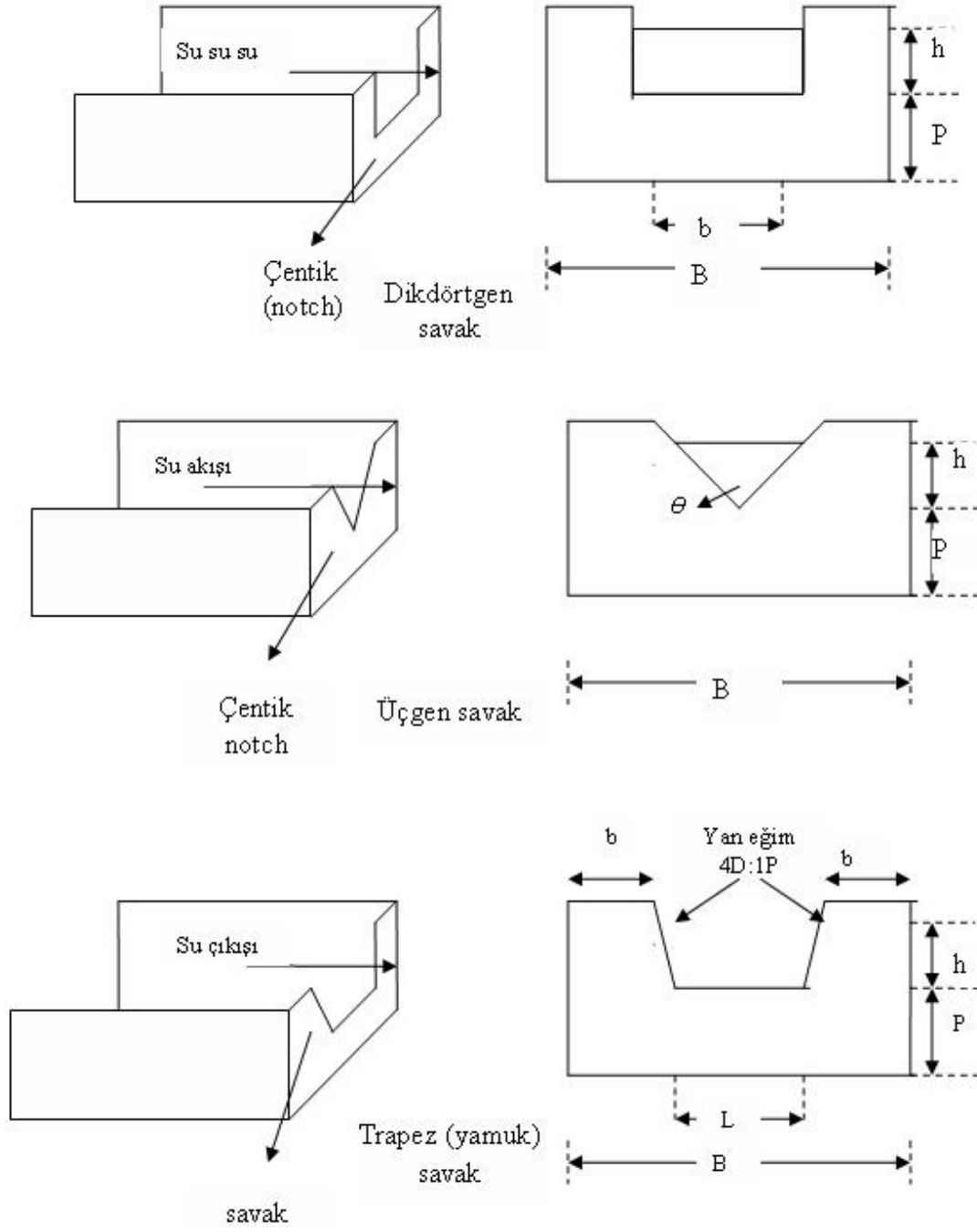
ISO (1980), ASTM (1993) ve USBR (1997) bastırılmış, kısmen daraltılmış veya tamamen daraltılmış dikdörtgen savaklar için Kindsvater-Carter denklemini (13) önermektedirler (14), (15), (16):

$$Q = C_e \frac{2}{3} \sqrt{2g} (b + K_b)(h + K_h)^{3/2} \quad (2.43)$$

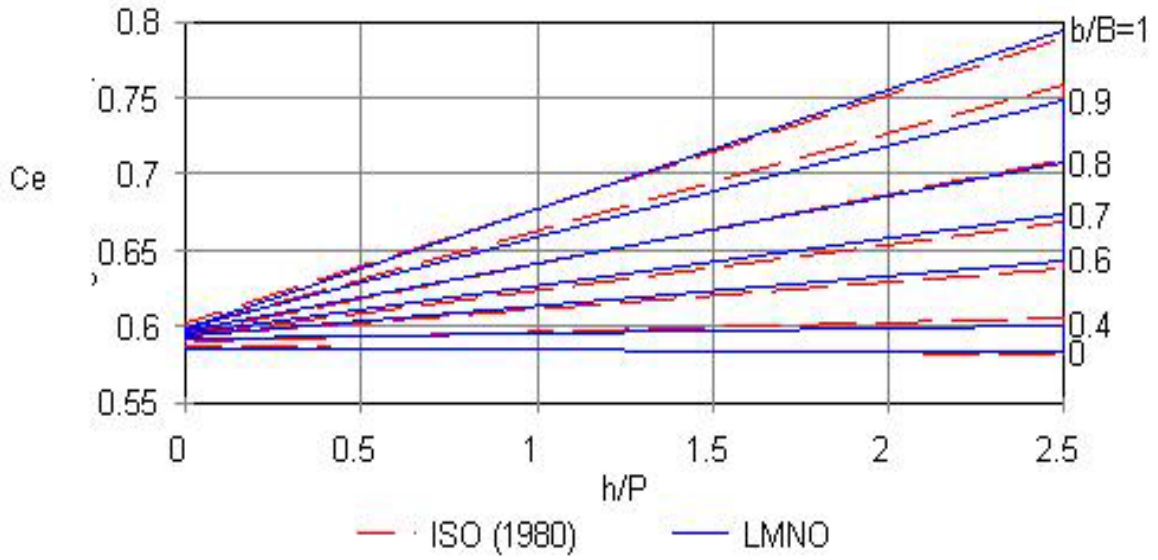
Burada;

- Q : debi, m³/sn
C_e : deşarj katsayısı, boyutsuz
g : yerçekimi ivmesi, m/sn²
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 m/sn², K_h = 0.001 m’dir. C_e, b/B ve h/P’nin fonksiyonu; K_b, b/B’nin fonksiyonudur. Şekil 2.10’da ISO (15) ve LMNO (9)’un çeşitli b/B değerlerinde h/P ye karşı C_e grafiği verilmiştir. Nümerik çözümler için çeşitli b/B oranlarında K_b değerleri ise Şekil 2.11’de verilmiştir.



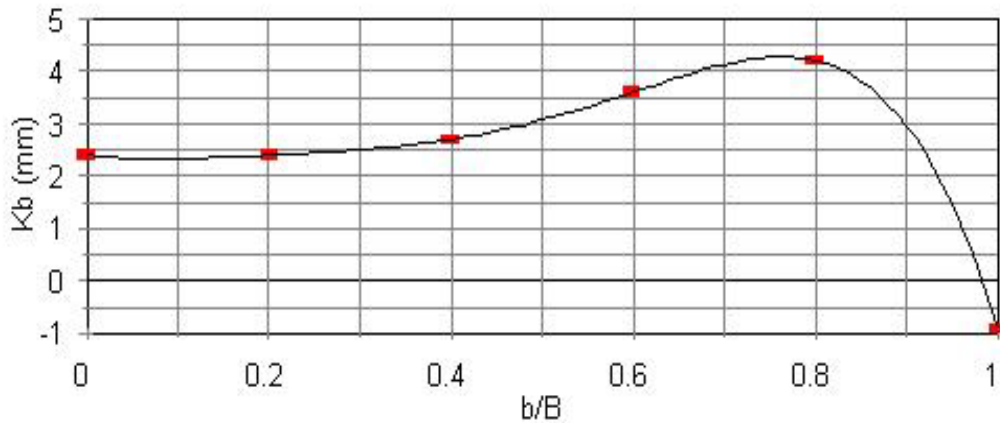
Şekil 2.9. Dikdörtgen, V ve trapez savakların şematik görünümü



Şekil 2.10. Dikdörtgen savaklarda debi katsayısı

Önerilen montaj şartları ve denklemin uygulaması (15):

- h , savak öncesi, savaktan maksimum savak yükünün 4-5 katı uzaklıkta ölçülmelidir,
- Savağın kalınlığı önemli değildir, ancak eşğin 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 (13),
- Ölçülen su seviyesi, $h \geq 0.03$ m olmalıdır,
- P , savak öncesi kretten itibaren ölçülmeli ve $P \geq 0.1$ m. olmalıdır (0.1-10000m),
- Çentik genişliği $b \geq 0.15$ m, ve savak genişliği $B \geq 0.15$ m (0.15-10000) olmalıdır,
- $0 < b/B \leq 1$ ve $0 < h/P \leq 2.5$ olmalıdır,
- $b < B$ (daraltılmış savaklarda) ise $(B-b) \geq 0.2$ m olmalıdır.



Şekil 2.11. Dikdörtgen savaklarda K_b katsayısı

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 2.9). Üçgen savaklarda deşarjdaki küçük değişimler derinlikte büyük değişimlere neden olduğundan dikdörtgen savaklara kıyasla daha hassas savak yükü ölçümlerine olanak tanır.

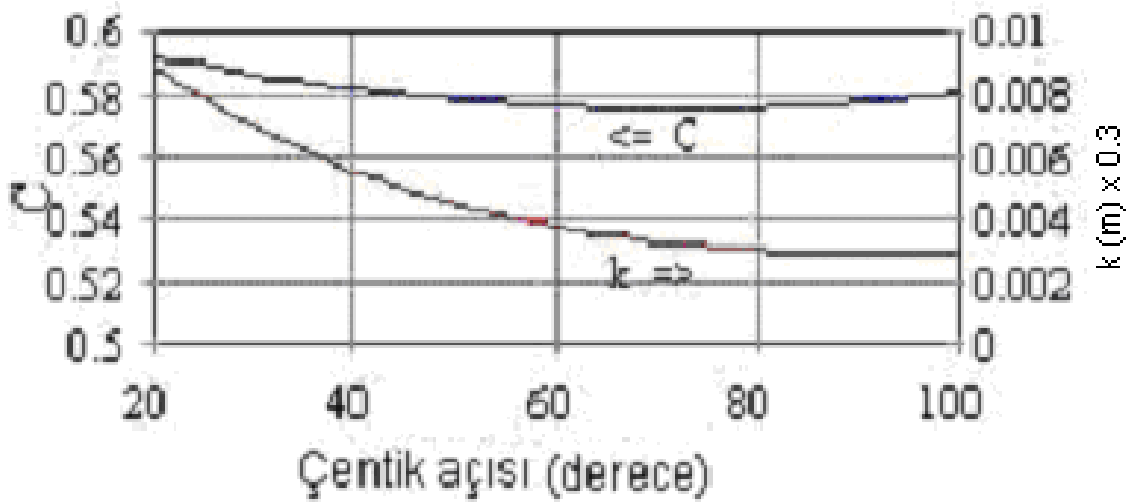
ISO (1980), ASTM (1993) ve USBR (1997) üçgen savaklar için Kindsvater-Carter denklemini önermektedirler (14), (15), (16):

$$Q = 76.98 C \tan (\Theta/2) (h+k)^{5/2} \quad (2.44)$$

Burada;

Q : Debi, m³/sn
C : Deşarj katsayısı, boyutsuz
Θ : Çentik açısı, derece
h : Savak yükü, m
k : Su seviyesi düzeltme faktörü, m

C ve k'nın açığa karşı çizilmiş grafiği Şekil 2.12'deki grafikte verilmiştir. Otomatik hesaplamalar için geliştirilmiş olan C ve k denklemleri 2.45 ve 2.46'da verilmiştir (9):



Şekil 2.12. Üçgen savaklarda C ve k sabitleri

$$C = 0.607165052 - 0.000874466963 \Theta + 6.10393334 \times 10^{-6} \Theta^2 \quad (2.45)$$

$$k (m) = 4.41655 \times 10^{-3} - 1.03495 \times 10^{-4} \Theta + 1.00529 \times 10^{-6} \Theta^2 - 3.23745 \times 10^{-9} \Theta^3 \quad (2.46)$$

Önerilen montaj şartları ve denklemin uygulaması (15):

- h, savak öncesi savaktan 4h uzaklıkta ölçülmelidir.
- Savağın kalınlığı önemli değildir, ancak suyun eşiğın V kısmından geçtiğı 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) $> 91\text{ cm}$ olmalıdır.
- V' nin tabanı savak öncesinin dibinden en az 45 cm yukarıda olmalıdır.

Eğer 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; $h < 38\text{ cm}$ yerine 61 cm 'ye kadar olabilmesi yeterlidir. Bu durumda C için farklı grafik vardır (13).

Trapez (Cipoletti) savaklar: Trapez savaklarda temel prensip, deşarjın su yüksekliği (h) ile orantılı olmasıdır. Bu mesafe su seviyesi (h) olarak adlandırılır (Şekil 2.9). Trapez savaklarda yan eğimler dik/paralel = 4:1'dir. Trapez savaklar tam daraltılmış olarak kabul edilirler. Deşarj katsayısı $C = 3.367$ olup, dikdörtgen savaklar gibi L veya P'ye bağlı değildir. U savaklar için USBR (1997) şu bağıntıyı önermektedir (13):

$$Q = 65.6 L h^{3/2} \quad (2.47)$$

Burada;

Q : debi, m^3/sn
L : savak uzunluğu, m
h : su seviyesi, m

L, su yüzeyi boyunca değil, savağın dibi boyunca ölçülür.

Önerilen montaj şartları ve uygulama (13):

- Yanal yüzlerin eğimi dik/paralel = 4:1 olmalıdır.
- H, savak öncesi savaktan en az $4h$ uzaklıkta ölçülmelidir.
- Savağın açılma bölümünde kalınlığı $0.8\text{--}2\text{ mm}$ arasında olmalıdır.
- Savak sonrası su yüzeyi trapezin alt kısmından en az 6 cm aşağıda olmalıdır.
- Ölçülen su seviyesi $h > 6\text{cm}$ ve $h < L/3$ olmalıdır.
- P, kanal öncesi kanal dibinden ölçülür ve $P > 2h_{\text{max}}$ (h_{max} =maksimum beklenen su seviyesi) olmalıdır.
- b, kanalın yanlarından ölçülür ve $b > 2h_{\text{max}}$ olmalıdır.

2.1.2.3 İz Madde Enjeksiyonu Yöntemi ile Debi Ölçümü

Türbülanslı akışlarda, çok yüksek veya düşük hızlarda akan suda fazla katı madde hareketi olması gibi durumlarda debi ani veya sürekli enjeksiyon yöntemleri ile ölçülür.

Ani enjeksiyon yöntemi: Akan suya bir kesitten ani olarak bir iz maddesi (kimyasal tuz, floresan madde veya zararsız bir radyoaktif madde) katılır. Aynı hat üzerinde başka bir kesitte bu iz maddesinin konsantrasyonunun zamanla değişimi ölçülür. Suyu ilave edilen maddenin hacmi V_1 , içindeki izleyici konsantrasyonu C_1 , iz maddesi konulmadan önceki konsantrasyon C_0 ise, hat üzerindeki kesitte zamana göre ölçülen konsantrasyon değişimi $C(t)$ olduğuna göre akarsuyun debisi kütle korunumu prensibinden (2.48) formülü ile hesaplanır.

$$Q = \frac{V_1 C_1}{\sum_0^{\infty} (C - C_0) \Delta t} \quad (2.48)$$

Konsantrasyon değişiminin yeterli hassasiyetle ölçülmesi zor olduğundan bu yöntemin uygulanmasında zorluklarla karşılaşılır.

Sürekli enjeksiyon yöntemi: Bu yöntemde iz maddesi enjeksiyonu sürekli olarak yapılır. Enjeksiyon süresi hattaki ölçüm istasyonunda ölçülen izleyici konsantrasyonunun sabit bir C_2 değerine erişmesine olanak verecek kadar uzun olmalıdır. Akan suya birim zamanda katılan kimyasal hacmi Q_1 , çözeltideki izleyici konsantrasyonu C_1 olduğuna göre yine kütle korunumu prensibinden akan suyun debisi hesaplanır (2.49).

$$QC_0 + Q_1 C_1 = (Q + Q_1) C_2$$

Başlangıçtaki iz maddesi konsantrasyonu C_0 = kabul edilerek:

$$Q = \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0} Q_1 = \left(\frac{C_1}{C_2} - 1 \right) Q_1 \quad (2.49)$$

Bu yöntemin uygulaması daha kolaydır.

Bu yöntemler kullanılırken iki kesit arasındaki uzaklığın iz maddesinin tam olarak karışmasını sağlamaya yetecek kadar uzun olmasına dikkat etmek gerekir. Yanal doğrultuda karışma düşey doğrultudaki karışmaya göre daha yavaş olduğundan enjeksiyonun kesitin çeşitli noktalarında birden yapılması daha uygundur.

2.1.2.4 Yüzgeçlerle Debi Ölçümü

Daha basit bir hız ölçme yöntemi de akım tarafından sürüklenen yüzgeçlerin belli bir yolu almaları için geçen zamanın ölçülmesi ile gerçekleşir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için akan suda yeterli uzunlukta (en az kesit genişliğinin 5 katı) düz bir parça bulunmalıdır (17). Su yüzünde hareket eden bir yüzgeç kullanılıyorsa ortalama hızı bulmak için yüzgecin hızı 0,8-0,9 gibi bir katsayı ile çarpılır. Akımın derinliği boyunca uzanan yüzgeçlerle ortalama hız için daha güvenilir bir değer elde edilir. Çok sayıda yüzgeç kullanılıp sonuçların ortalaması alınarak daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir. Ancak genellikle yüzgeçlerle elde edilen sonuçlar çok hassas değildir. Taşkın vb. gibi sebeplerle diğer yöntemlerin kullanılamadığı özel durumlarda bu yöntem kullanılır.

KAYNAKLAR

- (1) Wastewater Engineering, Treatment Disposal Reuse, Metcalf & Eddy. McGraw-Hill International Editions. Third edition.
- (2) , Syed R. Kasım, 1985, Wastewater Treatment Plants, Treatment, Design, and Operation CBS Publishing Japan Ltd.
- (3) American Society of Mechanical Engineers ASME FED 01-Jan-1971. Fluid Meters, Their Theory and Application- Sixth Edition.
- (4) Robert H. Perry, Don W. Gren, 1997, Perry's Chemical Engineers' Handbook, seventh edition, , McGraw-Hill International Editions.
- (5) American Society of Mechanical Engineers (ASME). 2001. Measurement of fluid flow using small bore precision meters. ASME MFC-14M-2001.
- (6) International Organization of Standards (ISO 1991). Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices, Part 1: Orifis plates, nozzles, venturi tubes inserted in circular cross-section running full. Reference number: ISO 5167-1:1991(E).
- (7) Engineering Data Book. Gas Processors Suppliers Association. Tulsa, Oklahoma 74103, ninth edition, 1972, revised, 1976.
- (8) UNIMAG Electromagnetic closed pipe flow meter. Application Guide, ISCO.
- (9) LMNO Engineering, Research, and Software, Ltd. 2002.
- (10) International Organization of Standards (ISO 9826). 1992. Measurement of liquid flow in open channels- Parshall and SANIIRI flumes.
- (11) American Society for Testing and Materials (ASTM D1941-91). 1991. Standard test method for open channel flow measurement of water with the Parshall flume.
- (12) International Organization of Standards (ISO 4359). 1999. Technical Corrigendum 1 for: Liquid flow measurement in open channels-Rectangular, trapezoidal, and U-shaped flumes. Reference number: ISO 4359: 1983/Cor.1:1999(E).
- (13) USBR. 1997. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation. Water measurement Manual. 1997. 3ed.
- (14) Kindsvater, C.E. and R.W.Carter. 1959. Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs. Transactions, American Society of Civil Engineers. Vol.24. Paper No. 3001.
- (15) International Organization of Standards ISO (1980) ISO 1438/1-1980(E). Water flow measurement in open channels using weirs and venture flumes-Part 1: Thin plate weirs. 1980.
- (16) American Society for Testing and Materials (ASTM (1993). ASTM D5242. Standard test method for open channel flow measurement of water with thin-plate weirs.1993.
- (17) Mehmetçik Bayazıt, 1995, Hidroloji, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.

3. BORULAMA VE HİDROLİK HESAPLAR

Basınçlı ortamda suyun iletilmesini sağlayan atmosfere kapalı yapılara borulu sistemler denir. Normal şartlar altında suyu kısmen dolu olarak geçiren yapılar ise açık kanallardır. Boru ve açık kanallarda cereyan eden akımlarda aynı hidrolik prensipler geçerlidir, dolayısıyla her iki akıma ait hidrolik problemlerinin çözümünde aynı temel formüller kullanılır. Arıtma tesisi tasarımı projesinde, arıtma üniteleri, bağlantı boruları ve diğer detaylar yerleştirildikten sonra boru hattı boyunca sürtünme kayıpları ve arıtma ünitelerindeki yük kayıpları hesaplanır. Hidrolik profil, arıtma tesisindeki hidrolik seviye hattının su yüzeyi profili grafik olarak gösterilmesidir. Proje üzerinde arıtma ünitesi ve boruların, suyun cazibe ile akabilmesini sağlamak üzere gerekli hidrolik eğimi vermek üzere konumları belirlenir.

Atıksu arıtma tesisi planlanırken başlangıç noktası arazi topografyasına göre seçilir. Yeterli eğim varsa giriş yapılarındaki kayıplar hesaplanır, aşağı mansaba doğru hareket edilerek uygun noktalarda hidrolik tahkikler yapılır. Yeterli eğim yoksa projelendirmeye deşarj noktası tarafından mansaptan başlanır ve ters istikamette yukarıya (membra) doğru çıkılır. Yük kayıpları hesaplanarak kontrol noktalarının kotları tespit edilir. Kontrol noktası olarak alıcı sudaki yüksek su seviyesi seçilerek hesaplamalar kaynağa doğru ilerletilir veya arıtma tesisinin orta noktasından her iki tarafa doğru hidrolik profil çıkartılır. Yeterli hidrolik eğim verilmediğinde birçok işletme problemi doğabilir, hatta pik yüklemelerde kontrol dışı taşmalar yaşanabilir (1), (2).

3.1. Tanımlar

Laminer akım: Akışkanın her taneciği sabit hızda, boru eksenine paralel hareket ederek boru içerisinde düzgün bir akımın oluşmasını sağlar. ($Re < 2000$).

Türbülanslı akım: Akışkanın her taneciği farklı hız ve yönde gelişigüzel hareket eder ve girdap oluşur. Bu nedenle boru kesitinde düzgün olmayan bir akımın oluşmasına sebebiyet verirler. Akım şartlarının belirlenmesinde Reynolds (Re) sayısının büyüklüğü önemli bir parametredir ($Re > 2000$). Re , 2000'e çok yakınsa sistem karasız olup, Laminer ve türbülanslı akış arasında salınır.

$$R_e = \frac{VD}{\nu} \quad (3.1)$$

Burada;

V : akışkanın boru içindeki ortalama hızı, m/sn

D : borunun iç çapı, m

ν : akışkanın kinematik viskozitesi, m^2/sn (suyun çeşitli sıcaklıklardaki kinematik viskozitesi Tablo 3.1'de verilmiştir)

Hidrolik yarıçap (R): Dolu olarak su geçiren d çap ve r yarıçapındaki daire kesitli bir boruda $r/2$ veya $d/4$ alınır.

Islak kesit (S): Akışkanın doğrudan temas ettiği boru kesiti.

Islak çevre (P): Akışkanın temas ettiği kanal veya boru duvarı, ıslak kesitin çevresini oluşturur. (Tam dolu olmayan kanal veya borudaki akışlarda ıslak çevre tanımına hava ile temas eden kesit girmez.)

Tablo 3.1. Suyun farklı sıcaklıklarda kinematik viskozitesi (3)

Sıcaklık °C	Kinematik viskozite cSt
0	1.79
10	1.31
20	1.01
30	0.804
40	0.661
50	0.556
60	0.477

3.2. Borulama

Arıtma tesisinde bir üniteden diğerine akışın sağlanabilmesi için kanal, boru ve diğer detayların yerlerinin ayarlanması önemlidir. Borulama projesinin hazırlanmasında üç temel unsur söz konusudur:

- Montaj ve işletmeye uygunluk,
- Bakım için kolay erişilebilirlik,
- İleride muhtemel bağlantı veya yeni hatların ilave edilebilmesi.

3.2.1. Hidrolik Profil

Hidrolik profil atık suyun deşarj edileceği noktaya göre belirlenir. Bir tesiste hidrolik profil hazırlanmasında göz önünde bulundurulması gereken temel prensipler şunlardır (4):

- Hidrolik profil, pik ve ortalama tasarım debisi ile minimum başlangıç debisi için hazırlanır.
- Hidrolik profil, genellikle tesis içindeki tüm ana su hatları için hazırlanır.
- Arıtma tesisindeki toplam yük kaybı, arıtma üniteleri, bağlantı boruları ve diğer detay kısımlardaki yük kayıplarının toplamıdır.
- Arıtma ünitesindeki yük kayıpları şunlardır:
 - a. Atıksu giriş yapılarındaki yük kayıpları,
 - b. Atıksu çıkış yapılarındaki yük kayıpları,
 - c. Ünitelerdeki yük kayıpları,
 - d. Diğer kayıplar.

Arıtma tesisinde en büyük yük kaybı, pik tasarım debisi şartlarında, en büyük ünite servis dışı kaldığında, geri devirli durumda oluşur. Çeşitli arıtma birimlerindeki yaklaşık yük kayıpları Tablo 3.2’ de verilmiştir.

Tablo 3.2. Arıtma birimlerindeki yük kayıpları

Arıtma birimi	Toplam yük kaybı (m)
Izgara	0,02-0,3
Kum tutucu	
Havalandırmalı kum tutucular	0,5 - 1,2
Hız kontrollü kum tutucular	1,0 - 2,5
Ön çöktürme Havuzu	0,5 - 1,0
Havalandırma Havuzu	0,3 - 0,8
Damlatmalı filtre	
Düşük hızlı ve dozlama tertibatı	3,0 - 6,0
Yüksek hızlı, tek kademeli	2,0 - 5,0
İkinci (son) çöktürme Havuzu	0,5 - 1,0
Klorlama ünitesi	0,2 - 2,5

- Bağlantı boruları ve kanallardaki toplam kayıp aşağıdakilerin toplamıdır:
 - Giriş yük kaybı,
 - Çıkış yük kaybı,
 - Daralma ve genişleme yük kaybı,
 - Sürtünme (sürekli) yük kaybı,
 - Dirsek, ara bağlantılar, kapak, vana ve metrelerdeki yük kaybı,
 - Savak ve diğer hidrolik kontroller için gereken yük,
 - Serbest düşme için gereken (yük),
 - Arıtma tesisinin ilerideki genişleme ihtimaline karşı bırakılan yük.
- Boru ve mecraların bağlantı yerlerinde sıvının akış hızı, katıların çökmesine meydan vermeyecek seviyede tutulur. Pik tasarım koşullarında minimum 0,6 m/sn hız yeterlidir. Minimum başlangıç akımında ise 0,3 m/sn hız organik katı maddelerin sürüklenmesi için yeterli görülmektedir. Maksimum ve minimum debi oranı çok büyük olduğundan başlangıç şartlarında (projenin ilk yıllarında) kendi kendini temizleme hızı sağlanamaz. Bu durumda temizleme ancak daha yüksek akış şartlarında sağlanabilir. Bu tür tasarımlarda temizlemenin sıklığı dikkate alınmalıdır. Bazı durumlarda katıları askıda tutmak için havalandırma uygulanır.
- Açık kanal ve mecralarda yersel yük kayıpları hız yüksekliği ($k.v^2/2g$) olarak hesaplanır. Yersel yük kayıpları Bölüm 3.3.1’de izah edilmiştir.
- Basınçlı borularda sürtünme kayıpları Hazen-Williams veya Prandte-Colebrook bağlantıları ile bulunabilir. Bu konu 3.3.1’de izah edilmiştir.
- Kanallarda akım yüksekliği akış şartlarına bağlıdır. Bu yüzden açık kanallarda derinlik, tasarım debi değerinde, su yüzeyi hidrolik profilini temsil edecek seviyede

tutulur. Açık kanallarda akış düzenli veya düzensiz olabilir. Kesiti, debisi ve hızı sabit olan kanallarda akış düzgün olur. Kanal tasarımında genellikle pik tasarım değerinde akışın düzgün olduğu varsayılır.

Kesit değişken veya kanala giren atıksu debisi sabit değilse akış düzensiz olur. Bu durumda sürtünme formülü geçerli olmaz. Atıksu arıtma tesislerinde geçiş akışları ve düzensiz akışlar için yeterli tolerans sağlanır. Geçiş için yük kaybı genellikle enerji denklemi kullanılarak hesaplanır.

- Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan debi ölçme cihazlarının çoğu yük kaybı esaslı ile çalışır. Hidrolik profil, debi ölçme cihazları için uygun yük kaybı hesaplamalarını da içermelidir.
- Hidrolik profil hazırlanmasında y eksenini, arıtma ünitelerini ve su yüzeyindeki yükselmeleri göstermek üzere özellikle deforme edilir. Tesiste optimum yükselmeyi belirlemek ve hidrolik kontrolleri sağlamak üzere toprak seviyesi de belirtilmelidir.

Boru hatlarında sürtünmeden kaynaklanan yük kayıpları boru çapı ile ters orantılıdır. Boru çapı büyüdükçe terfi için gerekli enerji maliyeti düşer ancak bu durumda da boru hattının amortisman maliyeti yükselir. Bu iki giderin de minimum olacağı “ekonomik çap” olarak adlandırılan bir boru çapı tanımlanmıştır. Literatürde, ekonomik çapın hesaplanması için geliştirilmiş formüller bulunmaktadır (Vibert formülü,3.2).

$$D = 1.456x \left(\frac{ne}{f} \right)^{0.154} x Q^{0.46} \quad (3.2)$$

Burada;

- D : borunun ekonomik çapı, m
n : günlük pompa çalışma saati (24'e bölünmüş)
e : kWsaat fiyatı (Fransız Frangı cinsinden)
f : hattın birim boy maliyeti (Fransız Frangı/m boru)
Q : debi, m³/sn

Bu formülde 1,456 sayısı 50 yılda %8 yıpranmayı göstermektedir. Ancak bu değerler teorik olup piyasada satılan ve “ticari çap” olarak tanımlanan değerlerle örtüşmez. Bu yüzden pratikte ekonomik çapın hemen üstünde bir boru çapı seçilir.

3.3. Yük Kayıplarının Hesaplanması

Boru veya kanalın genişlediği veya akımın doğrultu değiştirdiği yerlerde hızın büyüklüğünün ve doğrultusunun değişmesi nedeniyle enerji kayıpları meydana gelir. Bunlar yersel (lokal) enerji (yük) kayıplarıdır. Sürekli yük kaybı ise boru hattı boyunca akış uzunluğu ile orantılı olan yük kayıplarıdır. Akış yolunun kısa olduğu durumlarda yersel yük kayıpları daha fazla önem kazanır. Atıksu arıtma tesislerinde boru ve kanalların çoğu oldukça kısa olduğundan yersel yük kayıplarının mertebesi önem kazanır. Enerji kayıpları hesaplanırken yersel yük kayıpları genellikle ihmal edilir.

Bernoulli teoremi: Sürtünmesiz akış şartlarında (ideal akışkan hali), sıkıştırılamayan akışkanlar için akışkan taneciğinin potansiyel, basınç ve hareket (kinetik) enerjisi toplamı

sabittir. İdeal akış şartlarında akışkanın mekanik enerji korunumu Bernoulli denklemi ile ifade edilebilir.

Akışkan taneciğinin ağırlığı ρ , g , v ile ifade edilebilir, Bu durumda Bernoulli denklemindeki enerji ifadeleri (5):

$$\text{Potansiyel enerji} = \rho g v z / \rho g v = z$$

$$\text{Basınç enerjisi} = p v / \rho g v = p / \rho g$$

$$\text{Kinetik enerji} = (\rho v V^2 / 2) / \rho g v = V^2 / 2g$$

Netice olarak Bernoulli denklemi:

$$z + p / \rho g + V^2 / 2g = C \quad (3.3)$$

olur. Burada,

- ρ : akışkanın yoğunluğu, kg/m^3
- g : yerçekimi ivmesi, m/sn^2
- v : akışkanın hacmi, m^3
- z : akışkanın referans yatay bir düzleme göre konumu, m
- p : akışkan taneciğine uygulanan basınç, pascal (Newton/ m^2)
- V : akışkan taneciğinin hızı, m/sn
- C : sabit

Bir akışta akışkan taneciğinin P gibi bir noktaya $p / \rho g$ kadar yükseltildiğini düşünersek, P noktasının koordinatı basınç yüksekliğini, P noktasının konumu ise hidrolik gradyanı ifade eder. Akışkan taneciğini P noktasından C noktasına $V^2/2g$ değeri kadar yükselttiğimizde C noktasının konumu akışın enerji çizgisini belirler.

İdeal akış şartlarında, diğer bir deyişle sürtünmesiz ortamda, C noktasının konumu sabit olup enerji çizgisi yatay durumdadır. Gerçek akış şartlarında, sürtünmenin sebep olduğu enerji kaybı nedeniyle, akışkan içinde ve akış istikametinde farklı iki nokta arasındaki enerji çizgisi azalan bir eğilim gösterir. Bu durumda iki noktadaki enerji çizgisi arasındaki seviye farkı yük kaybı olarak tanımlanır.

3.3.1. Dairesel Kesitli Hatlarda Yersel Yük Kayıplarının Hesaplanması

Dairesel kesitli hatlardaki akış şartlarında yersel yük kaybı hesaplamalarında (3.4) formülü kullanılmaktadır. Bu formül, hattın herhangi bir noktasında mevcut genişleme ve daralma ile vana, dirsek ve benzeri bağlantıların olması durumunda, bu noktadaki basınç kaybı hesabında kullanılır. Bu bağlantıların cinsine ve niteliğine bağlı olarak yerel yük kaybı katsayıları (k) değişmekte olup k' 'nın değeri yük kaybını etkiler.

$$\Delta h = k V^2 / 2g \quad (3.4)$$

Burada;

- Δh : yerel yük kaybı, metre akışkan yüksekliği
- V : boru içinde ortalama akışkan hızı, m/sn
- g : yerçekimi ivmesi, m/s^2

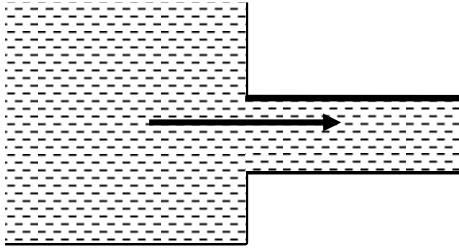
k : boyutsuz sabit, söz konusu yerin tabiatına bağlı yük kaybı katsayısı

Formül (3.4) boruların yapılara giriş ve çıkışlarında, boru daralma ve genişlemelerinde, değişik açılardaki dirseklerde, boru hattı üzerinde mevcut olabilecek muhtelif tip vana, T ve Y bağlantılarında akışın sebep olduğu yerel kayıpların hesaplamalarında da kullanılır. Aşağıda değişik yapı ve bağlantıların sebep olduğu yük kaybı hesaplamalarında kullanılan yük kaybı katsayıları (k) örneklerle verilmiştir:

1. Büyük tanklara boru bağlantısında yük kaybı katsayısı

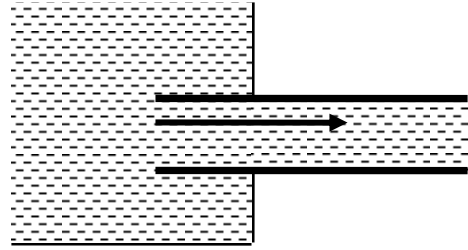
ÇIKIŞ

a) Tanktan çıkış-keskin açılı ile



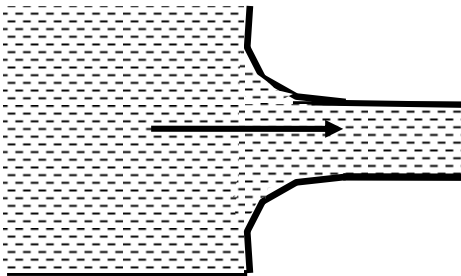
$$k=0.5; \quad \Delta h = 0.5 \frac{V^2}{2g}$$

b) Çıkış borusu tankın içinden (içeri giren kısım çapın 1-2 katı)



$$k=1; \quad \Delta h = \frac{V^2}{2g}$$

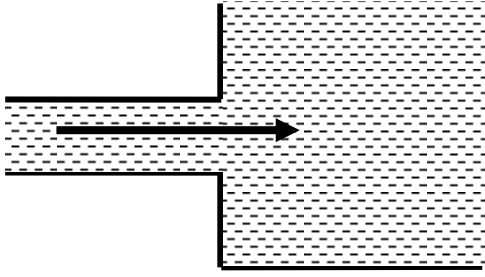
c) Yuvarlatılmış çıkış



$k = 0.05$ (bu ortalama bir değerdir, k profilin yuvarlatılma şekline bağlı);

$$\Delta h = 0.05 \frac{V^2}{2g}$$

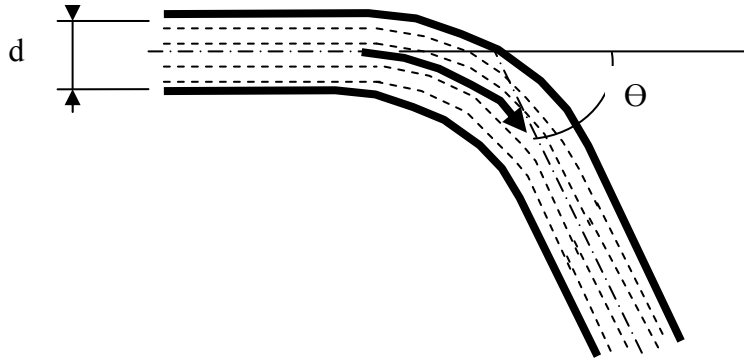
GİRİŞ



$$k = 1 \quad ; \quad \Delta h = \frac{V^2}{2g}$$

2. Borularda dönüşlerde yük kaybı katsayısı

a) geniş açılı (yumuşak) dönüş (9)



$$k = \left[0.13 + 1.85 \left[\frac{d}{2r} \right]^{3.5} \right] \frac{\theta}{180} \quad (3.5)$$

Burada;

k : yük kaybı katsayısı, $\Delta h = k \frac{V^2}{2g}$

r : kıvrımın yarıçapı, m

d : borunun iç çapı, m

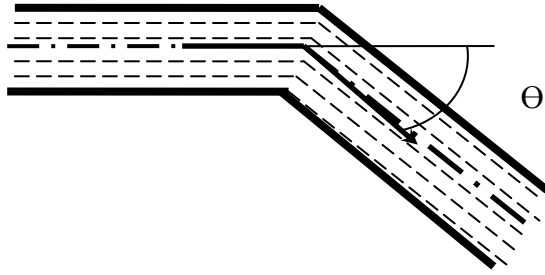
θ : açı, derece

k , 3.5 bağıntısından bulunabilir. Ayrıca Tablo 3.3'de r , d ve θ 'nın fonksiyonu olarak verilmiştir.

Tablo 3.3. Borularda geniş açılı dönüşlerde çeşitli r, d ve Θ değerlerinde yük kaybı katsayısı

r/d $\Theta(^{\circ})$	1	1,5	2	2,5
11°25	0,037	0,021	0,018	0,017
22°5	0,074	0,043	0,036	0,034
30	0,098	0,057	0,048	0,046
45	0,147	0,085	0,073	0,069
90	0,294	0,170	0,145	0,138
180	0,588	0,341	0,291	0,275

b) keskin dönüş



$$k = 67.610^{-6} \theta^{2.17} \quad (3.6)$$

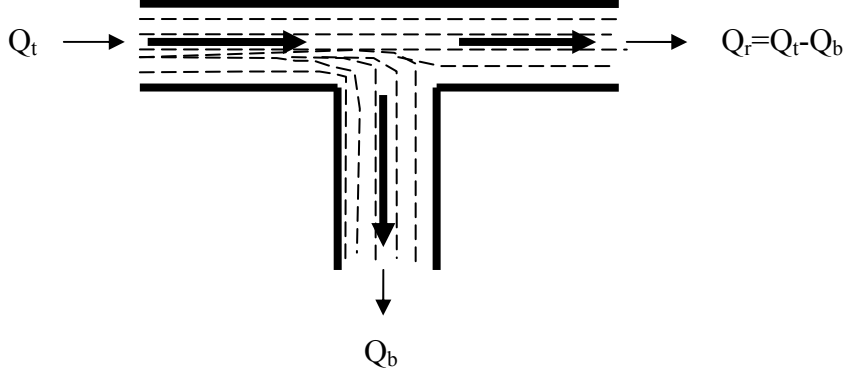
k , (3.6) bağıntısından bulunabilir (9). k yük kaybı katsayısı, çeşitli Θ açıları için Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Borulardaki keskin dönüşlerde çeşitli Θ değerlerinde k yük kaybı katsayısı

$\Theta (^{\circ})$	22,5	30	45	60	90
K	0,07	0,11	0,24	0,47	1,13

3. T (Düz boru ile aynı çapta 90° keskin açılı) bağlantılarında yük kaybı katsayısı

a) gidiş istikametinde dallanma



$$\Delta h = k \frac{V_t^2}{2g} \quad (3.7)$$

k ve Δh 'ın, düz borunun (k_r ve Δh_r) veya dallanmış kısmın (k_b ve Δh_b) dikkate alınmış olmasına göre ikişer değeri vardır.

Burada;

V_t : giriş akımı hızı, m/sn

k_r ve k_b , Tablo 3.5 de Q_t ve Q_b nin fonksiyonu olarak verilmiştir

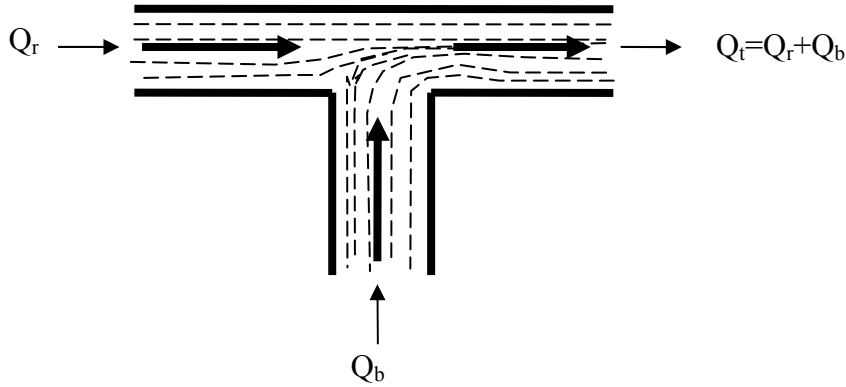
Q_t : toplam giriş akımı debisi, m³/sn

Q_b : dallanmış kısımdaki debi, m³/sn

Tablo 3.5. Gidiş istikametinde dallanma olan T bağlantılarında Q_t ve Q_b 'ya göre k_r ve k_b , değerleri.

$\frac{Q_b}{Q_t}$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
k_r	0.04	-0.08	-0.05	0.07	0.21	0.35
k_b	0.95	0.88	0.89	0.95	1.10	1.28

b) Giriş akımına bağlantı



$$\Delta h = k \frac{V_t^2}{2g} \quad (3.8)$$

k ve Δh 'ın, düz borunun (k_r ve Δh_r) veya giriş kısmın (k_b ve Δh_b) dikkate alınmış olmasına göre ikişer değerleri vardır.

Burada;

V_t : birleşimden sonraki akımın hızı, m/sn

k_r ve k_b , Tablo 3.6 da Q_t ve Q_b nin fonksiyonu olarak verilmiştir

Q_t : toplam birleşimden sonraki akımın debisi, m³/sn

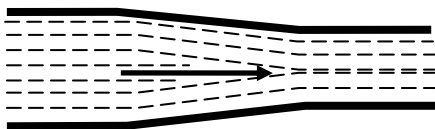
Q_b : dallanmış kısımdaki (yan giriş) debi, m³/sn

Tablo 3.6. Giriş akımına bağlantı olan T bağlantılarında Q_t ve Q_b 'ya göre k_r ve k_b , değerleri

$\frac{Q_b}{Q_t}$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
k_r	0.04	0.17	0.30	0.41	0.51	0.60
k_b	-1.12	-0.40	0.08	0.47	0.72	0.91

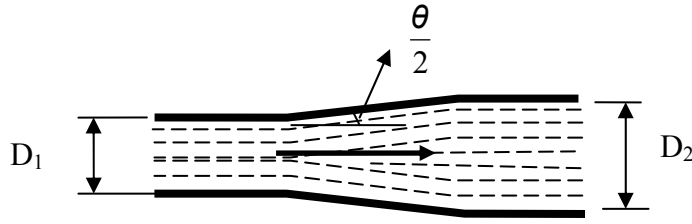
4. Konikliklerde (Redüksiyon) yük kaybı katsayısı

a) Daralan koniklik



Daralan konikliklerde yük kaybı ihmal edilebilir.

b) Açılan koniklik



1. Genişleme açısı $\leq 10^\circ$

$$\Delta h = k \frac{V_1^2}{2g} \quad (3.9)$$

k, aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir:

$$k = 3.2 - (tg \theta / 2)^{1.25} \cdot [1 - (\frac{D_1}{D_2})^2]^2 \quad (3.10)$$

Burada;

V_1 : genişlemeden önceki ortalama hız, m/sn

D_1 : genişleme öncesi borunun iç çapı, m

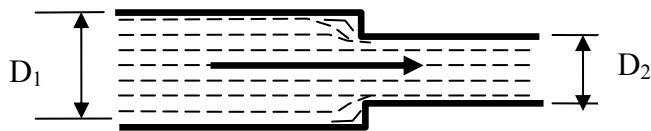
D_2 : genişleme sonrası borunun iç çapı, m

2. Genişleme açısı $> 10^\circ$

Yük kaybı aşağıda ani genişlemeler için verilen bağıntı ile bulunur (3.11).

5. Çapta ani değişimlerde yük kaybı katsayısı

a) ani daralma



$$\Delta h = k \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.11)$$

Burada;

V_2 : sıkışma sonrası ortalama hız, m/sn

D_1 : sıkışma öncesi borunun iç çapı, m

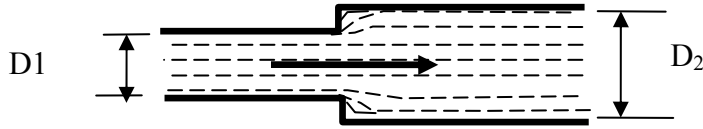
D_2 : sıkışma sonrası borunun iç çapı, m

k katsayısı, $(D_2/D_1)^2$ oranına bağlı olarak Tablo 3.7'den belirlenebilir. Özel hal için (tanktan boruya giriş halinde) $\left[\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 = 0\right]$ $k = 0.5$ alınır.

Tablo 3.7. k katsayısının $(D_2/D_1)^2$ oranına bağlı olarak belirlenmesi (8)

$(D_2/D_1)^2$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
k	0.5	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18	0.12	0.06	0.02	0

b) ani genişleme



$$\Delta h = k \frac{V_1^2}{2g} \quad (3.12)$$

$$k = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2\right]^2 \quad (3.13)$$

Burada;

V_1 : genişleme öncesi ortalama hız, m/sn

D_1 : genişleme öncesi borunun iç çapı, m

D_2 : genişleme sonrası borunun iç çapı, m

Bunların dışında hesaplamalarda gerekli olabilecek kısmi yük kaybı katsayıları Tablo 3.7'de verilmiştir.

3.3.2. Tam Dolu Borularda Yük Kayıpları

Dolu borularda yük kayıplarının hesapları için ampirik formüller kullanılmaktadır. Colebrook-White formülü her türlü akışkana uygulanabilirliği nedeniyle birçok ampirik formüle tercih edilmiştir. Ancak kompleks matematiksel yapısı dolayısı ile eşdeğer bazı ampirik formüller hala kullanılmaktadır.

1. Darcy-Weisbach formülü

Bu eşitlik aynı zamanda Darcy-Weisbach formülü olarak da bilinir. Ana iletim hatlarında yük kaybı hesabında kullanılır:

$$J = \frac{\lambda V^2}{2gD} \quad (3.14)$$

Tablo 3.8 Bazı ara elemanlarda yük kaybı katsayıları.

Ekipman	k
Baca	0,05
Terminal baca	1
Tam açık sürgülü vanalar	0,19
¼ ü kapalı sürgülü vanalar	1,15
½ si kapalı sürgülü vanalar	5,6
¾ ü kapalı sürgülü vanalar	24,0
Tam açık kelebek vanalar	0,3
20° kapalı kelebek vanalar	1,4
40° kapalı kelebek vanalar	10
60° kapalı kelebek vanalar	94
Salınımlı çek vanalar	0,6 - 2,3
Salınımlı tam açık çek vanalar	2,5
Diyafram vanalar, tam açık	2,3

Burada;

J : yük kaybı, (m su sütunu/m boru boyu), boyutsuz

λ : yük kaybı katsayısı (sürtünme katsayısı), boyutsuz

D : boru iç çapı, m

g : yerçekimi ivmesi, m/sn²

2. Manning-Strickler formülü

Kısmen dolu boru hatlarındaki (ve açık kanallarda) yük kayıpları için:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2} \quad (3.15)$$

Tam dolu borularda yük kaybı formülü:

$$J = 6.35(nV)^2 D^{-4/3} \quad (3.16)$$

Burada;

- n : Manning formülünde pürüzlülük katsayısı, boyutsuz
 V : ilgili bölümdeki ortalama sıvı akış hızı, m/sn
 R : hidrolik yarıçap, (S/P), m
 S : ıslak kesit, m²
 P : ıslak çevre, m

Muhtelif borular için n değerleri Tablo 3.8 de verilmiştir.

Tablo 3.9 Muhtelif borular için Manning formülü n katsayısı değerleri (6)

Boru cinsi	N
PVC-PRV	0,009 - 0,013
Yeni kaplanmış demir	0,010 - 0,013
Eski kaplanmış demir	0,015
Beton boru	0,012 - 0,015
Kaplanmış çelik	0,012

3. Hazen-Williams formülü

Hazen-Williams formülü de yük kaybı hesaplarında sıkça kullanılır. Bu formülde yük kaybı, yük kaybı katsayısının (C_{wh})'nin fonksiyonu olarak tanımlanır. C_{wh} , borunun çapı ve iç yüzeyinin pürüzlülüğüne göre değişir. Temel bağıntı:

$$V = 0.849 C_{wh} R^{0.63} J^{0.54} \quad (3.17)$$

Tam dolu borularda ise:

$$J = 6.824 \left(\frac{V}{C_{wh}} \right)^{1.852} . D^{-1.167} \quad (3.18)$$

Burada;

- C_{wh} : Hazen-William formülünde pürüzlülük katsayısı, boyutsuz
 Re : Reynolds katsayısı ($Re=VD/v$), boyutsuz
 v : kinematik viskozite, m²/sn

Muhtelif borular için C_{wh} değerleri Tablo 3.10' da verilmiştir.

Tablo 3.10. Muhtelif borular için Hazen-Williams formülü C_{wh} katsayısı değerleri

Boru cinsi	C_{wh}
PVC-PRV	140-150
Kaplanmış çelik, yeni	135-150
Kaplanmış çelik, eski	80-120
Beton, asbest, kaplanmış çelik	130-150

Hazen-Williams formülü türbülanslı akış şartlarında ($Re \geq 2000$) her türlü sıvı ve gaz akışkanlarına uygulanabilir. Diğer yandan, yüksek miktarda süspansiyon içeren sıvı akışkanların yük kayıplarının hesaplanması için uygun değildir.

4. Colebrook-White formülü

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k}{3.71.D} + \frac{2.51}{Re} \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \right) \quad (3.19)$$

Burada;

k : Eşdeğer pürüzlülük katsayısı, metre

Pürüzlülük katsayısı (k) değerinin seçilmesi ile Colebrook formülünden λ katsayısının hesabı mümkün olmakta ve Darcy formülünden (3.12), J yük kaybı belli akış şartlarında hesaplanabilmektedir. Tablo 3.11’de çeşitli pürüzlülük katsayıları ($k=0,03$ mm ve $k=0,10$ mm) ve D değerleri için Colebrook formülü kullanılarak bulunan yük kayıpları verilmiştir. Bu tablo kinematik viskozitesi suyun kinematik viskozitesine çok yakın olan sıvılar için hiç hesap yapılmadan kullanılabilir. Kinematik viskozitesi farklı olan akışkanlar için Colebrook’un λ formülünü çözmeye gerek kalmadan hazır tabloları kullanmaya olanak sağlayan prosedür aşağıda verilmiştir:

Colebrook formülünde, k ve D ’nin belli değerleri için, λ sadece V/v ye bağlıdır.

- v_f : yük kaybı bulunması istenilen f sıvısının kinematik viskozitesi, m^2/sn
- v_b : kinematik viskozitesi 1.3×10^{-6} ya çok yakın olan (Tablo 3.11’in hazırlandığı sıvı) referans sıvısının viskozitesi, m^2/sn
- V_f : f sıvısının söz konusu bölümdeki ortalama hızı, m/sn
- V_b : referans sıvının hızı, (V/v oranı her iki sıvıda aynı olacak şekilde)
- J_f : f sıvısının yük kaybı, (m sıvı/ m boru)
- J_b : referans sıvının V_b hızındaki yük kaybı, (m sıvı/ m boru)

Eğer;

$$V_f/v_f = V_b/v_b, \text{ her iki sıvı için de } \lambda \text{ değerleri eşit olacaktır ve buradan:}$$

$$V_b = V_f (v_b/v_f) \text{ elde edilir.} \quad (3.20)$$

V_b ’ye tekabül eden J_b tablodan (gerekirse interpolasyon ile) bulunur. Darcy formülü her iki sıvı için yazılarak aşağıdaki bağlantı bulunur:

$$J_f/J_b = V_f^2/V_b^2 = v_b^2/v_f^2$$

Buradan;

$$J_f = J_b (v_b/v_f)^2 \quad (3.21)$$

Tablo 3.11 Tam dolu borularda yük kaybı (Colebrook formülü kullanılarak hesaplanmıştır) (2), (7).

Q (l/sn)	DN 40			DN 50			DN 60		
	J (m/km)*		V(m/sn)	J (m/km)*		V(m/sn)	J (m/km)*		V(m/sn)
	k=0,03mm	k=0,1mm		k=0,03mm	k=0,1mm		k=0,03mm	k=0,1mm	
1,30	34,252	39,343	1,03	11,546	12,834	0,65			
1,50	44,479	51,569	1,19	14,949	16,754	0,76	6,173	6,754	0,53
1,80	62,155	72,937	1,43	20,805	23,578	0,92	8,567	9,465	0,64
2,00	75,482	89,197	1,59	25,206	28,752	1,02	10,362	11,515	0,71
2,50	114,150	136,889	1,99	37,920	43,874	1,27	15,529	17,483	0,88
3,00	160,406	194,632	2,39	53,051	62,109	1,53	21,655	24,651	1,06
3,50	214,198	262,418	2,79	70,574	83,450	1,78	28,725	33,016	1,24
4,00				90,468	107,894	2,04	36,730	42,573	1,41
4,60				117,456	141,321	2,34	47,557	55,614	1,63
	DN 65			DN 80			DN 100		
2,60	11,289	12,597	0,78	4,121	4,48	0,52			
4,00	24,781	28,377	1,21	8,978	9,984	0,8	3,039	3,289	0,51
4,60	32,050	37,023	1,39	11,581	12,981	0,92	3,911	4,261	0,59
5,00	37,385	43,413	1,51	13,487	15,191	0,99	4,547	4,975	0,64
6,00	52,421	61,575	1,81	18,842	21,455	1,19	6,331	6,993	0,76
6,60	62,600	73,971	1,99	22,456	25,719	1,31	7,531	8,362	0,84
7,00	69,866	82,859	2,11	25,032	28,772	1,39	8,385	9,341	0,89
9,80	131,412	159,041	2,95	46,742	54,849	1,95	15,547	17,660	1,25
13,00				79,354	94,716	2,59	26,230	30,302	1,66
	DN 125			DN 150			DN 200		
9,00	4,469	4,906	0,73	1,844	1,984	0,51			
13,00	8,756	9,806	1,06	3,595	3,935	0,74			
16,00	12,838	14,549	1,30	5,255	5,814	0,91	1,297	1,389	0,51
20,00	19,416	22,293	1,63	7,92	8,870	1,13	1,945	2,105	0,64
22,00	23,187	26,772	1,79	9,443	10,633	1,24	2,314	2,516	0,70
24,00	27,277	31,655	1,96	11,092	12,552	1,36	2,713	2,962	0,76
26,00	31,684	36,942	2,12	12,867	14,627	1,47	3,141	3,443	0,83
32,00	46,802	55,226	2,61	18,937	21,787	1,81	4,600	5,096	1,02
36,00	58,454	69,432	2,93	23,602	27,339	2,04	5,717	6,372	1,15
46,00				37,409	43,940	2,60	9,003	10,172	1,46
	DN 250			DN 300			DN 350		
46,00	3,013	3,310	0,94	1,238	1,334	0,65			
56,00	4,331	4,807	1,14	1,776	1,930	0,79	0,838	0,897	0,58
70,00	6,550	7,358	1,43	2,677	2,942	0,99	1,261	1,363	0,73
90,00	10,467	11,922	1,83	4,262	4,744	1,27	2,002	2,189	0,94
110,00	15,253	17,565	2,24	6,192	6,965	1,56	2,902	3,204	1,14
130,00	20,899	24,285	2,65	8,46	9,604	1,84	3,957	4,406	1,35
140,00	24,043	28,049	2,85	9,721	11,080	1,98	4,542	5,078	1,46
160,00				12,495	14,343	2,26	5,828	6,561	1,66
	DN 400			DN 450			DN 500		
80,00	0,841	0,902	0,64	0,474	0,503	0,50			
140,00	2,357	2,594	1,11	1,324	1,438	0,88	0,792	0,851	0,71
180,00	3,760	4,191	1,43	2,108	2,317	1,13	1,259	1,368	0,92
270,00	8,035	9,148	2,15	4,488	5,036	1,70	2,671	2,960	1,38
300,00	9,800	11,219	2,39	5,468	6,170	1,89	3,251	3,622	1,53
350,00	13,117	15,136	2,79	7,307	8,311	2,20	4,338	4,872	1,78
400,00				9,401	10,767	2,52	5,575	6,304	2,04
460,00				12,249	14,129	2,89	7,255	8,263	2,34

Q (l/sn)	DN 600			DN 700			DN 800		
	J (m/km)*		V(m/sn)	J (m/km)*		V(m/sn)	J (m/km)*		V(m/sn)
	k=0,03mm	k=0,1mm		k=0,03mm	k=0,1mm		k=0,03mm	k=0,1mm	
160,00	0,417	0,443	0,57						
230,00	0,812	0,875	0,81	0,383	0,407	0,60			
300,00	1,327	1,449	1,06	0,625	0,671	0,78	0,326	0,346	0,60
350,00	1,768	1,943	1,24	0,830	0,898	0,91	0,433	0,462	0,70
460,00	2,944	3,281	1,63	1,379	1,510	1,20	0,717	0,774	0,92
560,00	4,259	4,794	1,98	1,990	2,201	1,46	1,033	1,125	1,11
660,00	5,805	6,589	2,33	2,707	3,018	1,71	1,403	1,540	1,31
760,00	7,581	8,666	2,69	3,529	3,962	1,97	1,826	2,019	1,51
900,00				4,855	5,497	2,34	2,507	2,795	1,79
	DN 900			DN 1000			DN 1100		
460,00	0,403	0,431	0,72	0,241	0,255	0,59			
520,00	0,506	0,543	0,82	0,303	0,322	0,66	0,190	0,201	0,55
620,00	0,701	0,758	0,97	0,419	0,448	0,79	0,263	0,279	0,65
720,00	0,925	1,007	1,13	0,552	0,595	0,92	0,347	0,370	0,76
950,00	1,552	1,712	1,49	0,925	1,008	1,21	0,579	0,626	1,00
1200,00	2,406	2,685	1,89	1,431	1,578	1,53	0,895	0,977	1,26
1500,00	3,666	4,135	2,36	2,176	2,425	1,91	1,359	1,499	1,58
1750,00	4,909	5,580	2,75	2,910	3,268	2,23	1,816	2,018	1,84
1900,00	5,739	6,549	2,99	3,400	3,834	2,42	2,120	2,365	2,00
2300,00				4,885	5,559	2,93	3,042	3,425	2,42
	DN 1200			DN 1400			DN 1500		
600,00	0,162	0,171	0,53						
850,00	0,308	0,329	0,75	0,145	0,153	0,55			
1200,00	0,584	0,632	1,06	0,275	0,293	0,78	0,196	0,208	0,68
1500,00	0,886	0,968	1,33	0,416	0,447	0,97	0,297	0,317	0,85
1800,00	1,246	1,374	1,59	0,584	0,633	1,17	0,416	0,449	1,02
2400,00	2,142	2,394	2,12	1,001	1,099	1,56	0,712	0,777	1,36
2800,00	2,867	3,228	2,48	1,337	1,480	1,82	0,951	1,045	1,58
3300,00	3,917	4,444	2,92	1,813	2,033	2,14	1,296	1,435	1,87
4100,00				2,750	3,099	2,66	1,952	2,184	2,32
5300,00							3,179	3,599	3,00
	DN 1600			DN 1800			DN 2000		
1300,00	0,166	0,176	0,65	0,094	0,098	0,51			
1600,00	0,244	0,260	0,80	0,137	0,145	0,63	0,082	0,086	0,51
2000,00	0,369	0,397	0,99	0,208	0,221	0,79	0,124	0,131	0,64
3000,00	0,788	0,863	1,49	0,441	0,478	1,18	0,263	0,282	0,95
4100,00	1,418	1,576	2,04	0,793	0,870	1,61	0,472	0,512	1,31
5000,00	2,065	2,315	2,49	1,152	1,276	1,96	0,685	0,750	1,59
6000,00	2,920	3,301	2,98	1,627	1,816	2,36	0,966	1,066	1,91
7600,00				2,549	2,877	2,99	1,510	1,686	2,42
9000,00							2,083	2,343	2,86

* yük kaybı, m sıvı/km boru

KAYNAKLAR

- (1) Yılmaz Muslu, 1996, Atıksuların arıtılması, Cilt II, İ.T.Ü. Matbaası.
- (2) Pont-a-Mousson, 1992, A comprehensive ductile iron pipeline system.
- (3) Robert H. Perry, Don W. Green, 1997, Perry's Chemical Engineers' Handbook, seventh edition, McGraw-Hill International Editions.
- (4) Syed R. Kasim, 1985, Wastewater Treatment Plants, Treatment, Design, and Operation, CBS Publishing Japan Ltd.
- (5) R.E. Featherstone and C. Nalluri, 1982, Civil Engineering Hydraulics, Essential Theory with Worked Examples, Granada Publishing Limited.
- (6) Horace William King, Ernest F. Brater, 1959, Hidrolik el kitabı, T.C.Nafia Vekaleti, Devlet Su İşleri Umum Müdürlüğü Neşriyatı Sayı:70.
- (7) Biwater Industries, 1993, Water Industrial Manual Water Products and Services.
- (8) B. Mutlu Sümer, İstemi Ünsal, Mehmetçik Bayazıt, 1985, Hidrolik, Birsen Yayınevi,
- (9) Cevat Erkek, Necati Ağırlioğlu, 2002, Su Kaynakları Mühendisliği Uygulamaları, 3. baskı, Beta Yayınevi,.

4. FİZİKSEL ARITMA

Atıksu arıtma tesisindeki arıtma üniteleri: ön arıtma, birinci kademe arıtma ve ikinci kademe arıtma olmak üzere üç ana grupta toplanabilir. Her bir grupta kullanılan elektromekanik ekipman genellikle farklıdır. Arıtma çamuru için kullanılan ekipmanlar çamur bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.1. Ön Arıtma

Ön arıtmada atıksudaki kağıt, paçavra, plastik, metal gibi iri katı maddeler ile kum ve yağ-gres gibi maddelerin ayrılması işlemi uygulanmaktadır. Bu maddeler bu aşamada uzaklaştırılmadığı takdirde pompalar ve çamur giderme ekipmanına, vanalara, borulara zarar vererek arıtmada problemlere yol açabilir. Askıda katıları gidermek için de bazen ince ızgaralar ve elekler kullanılır.

4.1.1. Eleme

Kaba ızgaralar: Kaba ızgaralar koruyucu ekipman olduklarından ilk ünite olarak kullanılırlar. En yaygın olarak kullanılan kaba ızgaralar: çubuk ızgaralar, elekler ve öğütücülerdir. Çubuk ızgaralar, elekler ve öğütücülerle ilgili özet bilgi Tablo 4.1 de verilmiştir. Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde kaba ızgaralara gerek olmayabilir.

Çubuk ızgaralar: Izgara aralığı 20-40 mm mertebesinde olup evsel atıksu ile gelebilecek 40 mm'den iri maddeler (çöp, naylon, ahşap malzeme v.b) ızgarada tutulur ve zaman ayarlı temizleme mekanizması ile taranarak atıksudan uzaklaştırılır. Bu maddelerin arıtma tesisinde mevcut mekanik ekipmanlara zarar vermemesi ve boru hatlarında tıkanıklık yaratmaması için mutlaka uzaklaştırılması gereklidir. Çubuk ızgaralar için tasarım değerleri Tablo 4.2 de verilmektedir.

Çubuk ızgaraların tasarımında aşağıdaki formül kullanılır:

$$A = \frac{Q}{V} \frac{(b+s)}{s} \quad (4.1)$$

Burada:

- A : gerekli ızgara alanı, m²,
- Q : maksimum debi, m³/s,
- V : akış hızı, m/s, (genellikle 1,0 m/s seçilir),
- b : ızgara çubuk genişliği, mm,
- s : ızgara çubukları arası net açıklık, mm,

Çubuk ızgaralarda elek bölümü dikdörtgen bir kanal içine kurulur. Kanalin zemini genellikle giriş atıksu borusundan 7-15 cm aşağıdadır. Kanal zemini yatay olarak düz veya eğimli olabilir. Izgara kanalları, kum ve diğer ağır parçacıkların burada birikmesini önlemek üzere tasarlanırlar. Izgara yaklaşım kanalı, ızgaraya dik ve tüm ızgara yüzeyine üniform atıksu dağılımı sağlayacak şekildedir. Arıtma tesislerinde ızgara bölümünün herhangi bir nedenle devre dışı kalma durumunda pik debiye göre tasarımı yapılmış en az bir yedek ızgara daha olmalıdır.

Tablo 4.1. Kaba ızgaraların özellikleri (1), (2).

Tip	Yerleşim	Açıklama
Çubuk ızgaralar	Pompaların ve kum tutucuların önüne	Elle temizlemeli veya mekanik temizlemeli olabilirler. Küçük arıtma tesislerinde elle temizlemeli olanlar kullanılır.
Elekler	Çubuk ızgaranın önüne veya damlatmalı filtrenin arkasına	Çubuk ızgaraya göre daha küçük parçacıkların uzaklaştırılmasında kullanılır. Düz, sepet, kafes ve disk tipleri vardır. ızgaralar kanaldan çıkartılarak temizlenip yerine takılır. Yeni tipleri hareketli eleklerdir. Tasarımları ince ızgaralara benzer. Katılar sürekli ayrılarak oluğa boşaltılır. Uzaklaştırılacak maddelerin boyutuna bağlı olarak aralıklar 3-20 mm arasındadır.
Öğütücüler	Kaba eleklerle birlikte	Öğütücüler ızgaralarda tutulan katı maddeleri öğütür. Dönen veya titreşen bir merdane üzerinde kesme dişleri veya doğrama kısımları vardır. Öğütücüler neredeyse tamamen batmış konumdadır.

Tablo 4.2. Elle ve mekanik temizlemeli çubuk ızgaralarda tasarım değerleri

Tasarım faktörü	Elle temizlemeli	Mekanik temizlemeli
ızgarada hız (m/sn)	0,3-0,6	0,6-1,0
ızgara boyutu		
Genişlik (mm)	4-8	8-10
Derinlik (mm)	25-50	50-75
ızgara çubukları arası net açıklık (mm)	25-75	10-50
ızgaraların yatayla yaptığı açı (derece)	45-60	75-85
Müsaade edilen yük kaybı, kirli (kısmen tıkalı) ızgara, (mm)	150	150
Maksimum yük kaybı, kirli ızgara, (mm)	800	800

Çubuk ızgaralarda yük kaybı: Kaba ızgaralarda yük kaybı hesaplarında, ızgaraların temizliğine bağlı olarak üç değişik formül kullanılmaktadır (1). Temiz veya kısmen tıkanmış ızgaralarda (4.2), temiz ızgaralarda ise (4.3) formülü kullanılmaktadır. (4.4) ise genel orifis formülü olup ince ızgaralarda yük kaybı hesaplarında kullanılır.

$$h_L = \frac{V^2 - v_v^2}{2g} \cdot \frac{1}{0.7} \quad (4.2)$$

$$h_L = \beta \left(\frac{W}{b} \right)^{4/3} h_v \sin \theta \quad (4.3)$$

Burada:

- h_L : ızgara boyunca yük kaybı, m,
 V, v : ızgara boyunca ve ızgara öncesi kanalda hız ($V > v$), m/sn,
 g : yerçekimi ivmesi, 9,81 m/sn²,
 W : ızgara çubuğunun akıntıya dik istikametteki en büyük kalınlığı, m,
 b : ızgara çubukları arası en küçük mesafe, mm
 h_v : ızgara yaklaşım kanalındaki hız yüksekliği, m,
 Θ : ızgara çubuklarının yatay düzlemle yaptığı açı,
 β : ızgara şekil katsayısı, temiz ızgaralarda ızgara şekil katsayıları Tablo 4.3 de verilmiştir.

Tablo 4.3. Temiz çubuk ızgaralarda ızgara şekil katsayıları

ızgara çeşidi	β
Keskin kenarlı dikdörtgen	2,42
Yarı dairesel yüzü yukarı bakan dikdörtgen	1,83
Dairesel	1,79
Yarı dairesel yüzü yukarı ve aşağı bakan dikdörtgen	1,83
İki ucu inceltilmiş çubuk şeklinde	0,76

İnce ızgaralar ve Elekler: Çubuk aralığı genellikle 2,3-6mm mertebesinde. Bu tip ızgaralar mekanik temizleme mekanizmalarına haiz olup ızgarada tutulan katı maddeler zaman zaman otomatik olarak temizlenerek katı madde konteynerlerinde depolanır ve daha sonra uygun alanlara dökülür. İnce ızgaraların amacı ön arıtmadır. Son yıllarda ikinci kademe arıtım çıkış suyunu iyileştirmek amacıyla mikro elekler de üretilmiştir.

İnce ızgaralar, hareketli ve hareketsiz eleklerden oluşmuştur. Hareketsiz veya statik elekler dik, eğik veya yatay olarak monte edilirler. Bunlar tırmık, diş veya fırça ile temizlenirler. Hareketli elekler ise çalışma sırasında sürekli olarak temizlenirler. Her iki tip ince elekte de % 20-25 askıda katı madde ve BOI₅ giderimi sağlanır. Ayrıca bu sistemlerde yağ giderimi ve çözünmüş oksijen değerlerinde yükselme sağlanır. Hareketli eleklerde hareketsiz eleklerle kıyasla yük kaybı daha düşük fakat enerji gereksinimi daha yüksektir. Mekanik düzeneklere haiz ince eleklerde ortaya çıkabilecek arızalara karşı sistemde elle (manüel) temizlemeli ızgara da düşünülmesi acil durumlar için mutlaka gereklidir. Tablo 4.4'te farklı tipte hareketli elek özellikleri verilmiştir.

İnce ızgaralarda yük kaybı: İnce ızgaralarda yük kaybı hesaplamalarında (4.4) bağıntısı kullanılır.

$$h_L = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{CA} \right)^2 \quad (4.4)$$

Burada:

- Q : ince ızgara boyunca debi, m³/sn,
 A : suya dalmış etkili alan, m²,
 C : debi katsayısı, (temiz çubuk için C=0,60 alınır)

Izgaralarda tıkanmalardan dolayı yük kayıpları önemli mertebelere ulaşır. Bu nedenle ızgaraların periyodik olarak temizlenmesi gerekmektedir. Mekanik temizlemeli ızgaralarda ızgara yüzeyinin zaman ayarlı otomatik çalışan temizleme mekanizmaları ile temizlenmesi yük kayıplarının istenilen düzeyde tutulmasını sağlayacaktır.

Tablo 4.4. Hareketli elek tipleri

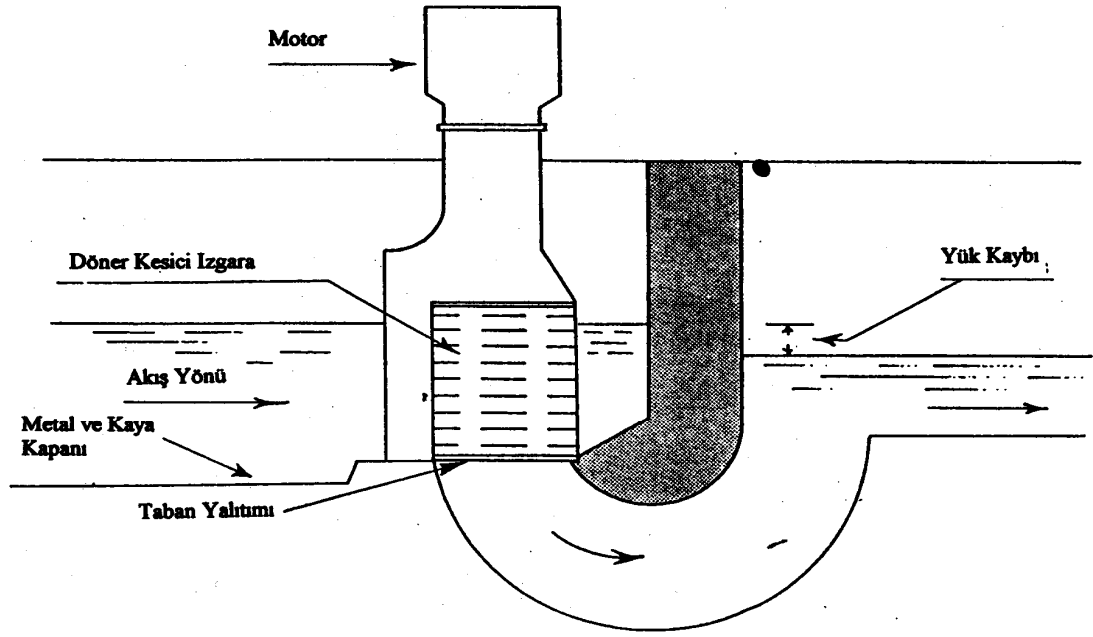
Tip	Açıklama
Bant elekler	İki silindirin üstünden geçen sonsuz delikli bir banttan oluşmuştur. Eleğin üzerinde biriken maddeleri sıyırmak için bir fırça düzeneği vardır. Tutunan kumu uzaklaştırmak için ise su jeti kullanılır.
Kanat veya kepçe elekler	Yatay düzlemde yavaşça dönen, dairesel olarak dizilmiş delikli kepçelerden oluşmuştur.
Kevgir veya merdane elek	Üstü elek kaplı dönen bir silindirden oluşur. Su silindirin içine girer ve merkezden dışarı doğru hareket eder. Biriken katı maddeler su jeti ile uzaklaştırılır ve olukta toplanır. Elek aralıkları 0,02-3mm'dir.

Öğütücüler: Kaba ızgaraların alternatifi atıksudaki büyük boyutlu katıların sudan ayrılmadan ufalanmasıdır. Öğütücülerin fonksiyonu, kaba taneli katıları parçalayarak sonraki arıtma işlemlerinde ve proseslerinde problem oluşturmalarını önlemektir. Küçülen katı parçacıkları arıtma tesisinde arıtılırlar. Öğütücülerin kullanımı özellikle pompa istasyonlarında, pompaların korunması açısından bir avantajdır. Ayrıca bir kısım katı maddelerin ızgara ile toplanması arıtma tesisine giren katı madde yükünü de azaltır. Soğuk iklimlerde öğütücülerin kullanımı donma tehlikesini önler.

Arıtma konusunda iki farklı temel görüş vardır. Bir görüşe göre atıksudan ayrılan bir madde ne şekilde olursa olsun tekrar atıksuya verilmemelidir. Diğer görüş ise katıların boyutları küçüldükten sonra arıtma tesisinin ilgili kademelerinde arıtılmalarının kolay olduğunu savunmaktadır.

Paçavraların çalkalanma hareketinde (kum tutucu ve havalandırmada) ipliksi maddelerle tekrar birleşerek pompa pervanelerinde, çamur borularında, ısı değiştiricilerde ve difüzörlerde probleme neden olmaları, öğütücüler için bir dezavantajdır.

Şekil 4.1 de bir öğütücünün şematik görünümü verilmiştir. Öğütücü, üstü bıçaklı dönen bir merdaneden (küçüklerde 6mm, büyüklerde 10mm aralıklı) oluşmuştur. Kaba tanecikler merdane üstündeki bıçakla parçalanır, alt kısma geçer buradan sifonla çıkış borusuna geçer.



Şekil 4.1. Öğütücü şematik görünümü

4.1.2. Kum Tutucular

Burada kum olarak tanımlanan maddeler, kum, taş, cüruf gibi yoğunluğu veya çökme hızı, biyolojik arıtmada parçalanabilen organik maddelere kıyasla daha yüksek olan maddelerdir. Yumurta kabukları, kemik parçacıkları, tohumlar, kahve parçacıkları ve yemek artıkları gibi organik parçacıklar da bu kapsama girmektedir. Kum olarak giderilen maddeler çoğunlukla inert ve oldukça kurudur. Kum kompozisyonu çok farklı olabilir. Örneğin rutubet %13-65 arasında, uçucu kısım %1-56 arasında değişir. Yoğunluğu genellikle 1600kg/m^3 dür. Bir miktar organik madde içerdiğinden atıksudan ayrıldıktan sonra uygun şekilde bertaraf edilmezse kolaylıkla çürür. 0,2 mm den daha büyük kum parçacıklarının arıtma tesisinin ileriki kademelerinde problem yarattığı bilinmektedir. Bazı durumlarda 0,15 mm çaplı kumların kum tutucularda % 100 giderimi sağlanmakla birlikte, bazen kum boyutu çok daha küçük olabilmekte, 0,15 mm'nin altındaki kumların kum tutucuda sadece %60 giderimi sağlanmaktadır.

Hareketli mekanik ekipmanın aşınmasını önlemek, boru ve kanallarda birikintileri engellemek ve kum birikiminden dolayı çamur çürütücünün temizlenme periyodunu azaltmak için santrifüj, ısı değiştirici ve yüksek basınçlı diyafram pompalardan önce kum tutucuların (kum ayırıcı) kullanılması şarttır.

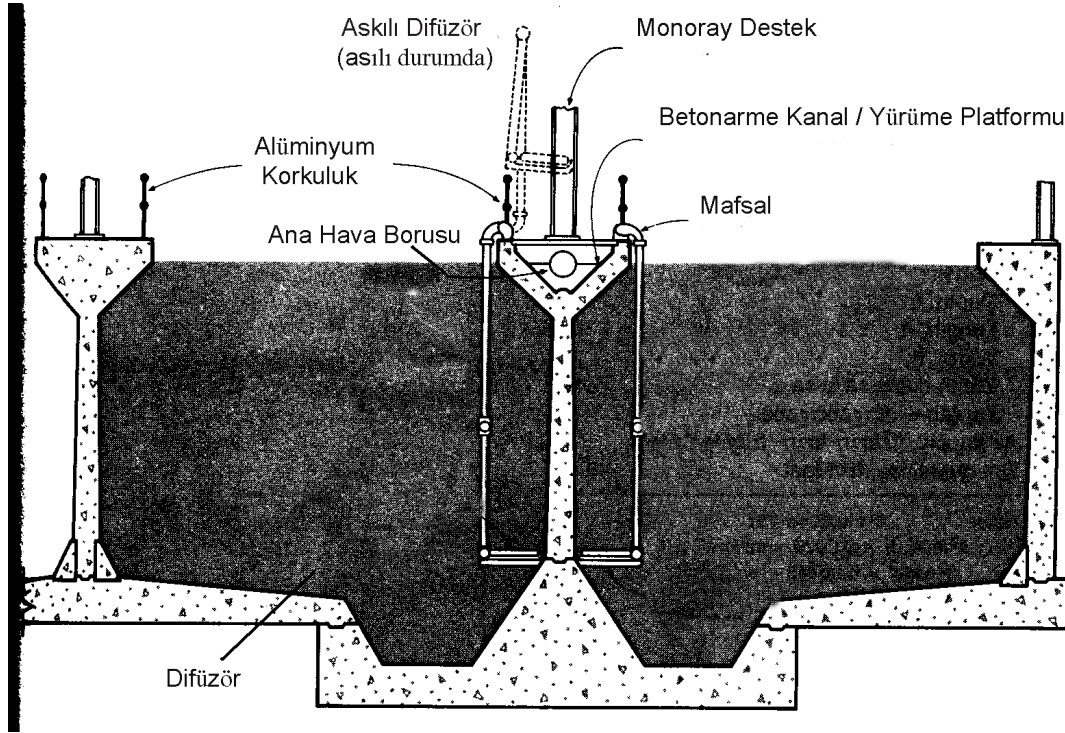
Kum tutucular genellikle kaba ızgaradan sonra ilk çöktürmeden önce kullanılırlar. Kum tutucuların ızgara ve eleklerden sonra olması, toplanan kumun temizlik ve bertarafını kolaylaştırır.

Üç tip kum tutucu vardır:

- Yatay akışlı, dikdörtgen veya kare planlı
- Havalandırılmalı,
- Vorteks akımlı.

Yatay akışlı kum tutucularda atıksu kum tutucuyu yatay doğrultuda geçer, çizgisel hız, kum tutucunun boyutu, girişte dağıtım mekanizması ve çıkışta çeşitli savaklarla kontrol edilir. Havalandırmalı kum tutucular spiral akışlı havalandırma tankından oluşur. Spiral hız, tank boyutu ve verilen hava miktarı ile kontrol edilir. Vorteks akımlı kum tutucular ise silindirik bir tanktan oluşur. Atıksu girişi teğetsel olarak giriş yaparak girdap oluşturur. Santrifüj ve yerçekimi kuvvetleri kumun çökmesine neden olur.

Şekil 4.2 de tipik bir havalandırmalı kum tutucu verilmiştir.



Şekil 4.2. Havalandırmalı kum tutucu

Kum tutucuların tasarımı, özgül ağırlığı 1,3-2,7 olan kum partikülleri içeren 15,5°C sıcaklıktaki atıksular için yapılır. Yatay akışlı havalandırmalı kum tutucular için tipik tasarım bilgileri Tablo 4.5 de, havalandırmalı kum tutucular için tasarım değerleri ise Tablo 4.6. da verilmiştir.

Kum tutucularda toplanan kumu uzaklaştırmak için kullanılan ekipmanlarının pahalı olması ve yatay akışlı kum tutucuların birçoğunda kum yıkama ekipmanı gerekmesi, havalandırmalı kum tutucuların popülerliğini arttırmıştır. Havalandırmalı kum tutucular, saatlik pik debilerde, 0,2 mm boyutunda partikülleri, 2-5 dakikalık kalma süresinde gidermek üzere tasarlanmıştır. Havalandırma difüzörleri tabanın 0,45-0,60 m yukarısına oturtulur.

Endüstriyel atıksuların da söz konusu olduğu havalandırmalı kum tutucularda havalandırmadan dolayı UOK (Uçucu Organik Karbon-VOC) oluşumu dikkate alınmalıdır. UOK oluşumu, arıtma tesisi işletmecileri açısından sağlık riski teşkil eder. UOK oluşumu önemli miktarlarda ise kum tutucu üzerine kapak yapılmalı veya havalandırmalı kum tutucular tercih edilmelidir.

Tablo 4.5 Yatay akışlı kum tutucuların tasarım kriterleri (3)

	Değer	
	Aralık	Tipik
Hidrolik kalış süresi, sn	45-90	60
Yatay hız, m/sn	0,24-0,40	0,31
Çökelme hızı:		
65 no.lu elekten geçen madde, m/dak	0,98-1,28	1,16
100 no.lu elekten geçen madde, m/dak	0,61-0,91	0,76
Kontrol bölümünde yük kaybı (kanaldaki % derinlik)	30-40	36
Giriş ve çıkışta izin verilen türbülans	$2D_m-0,5L$	

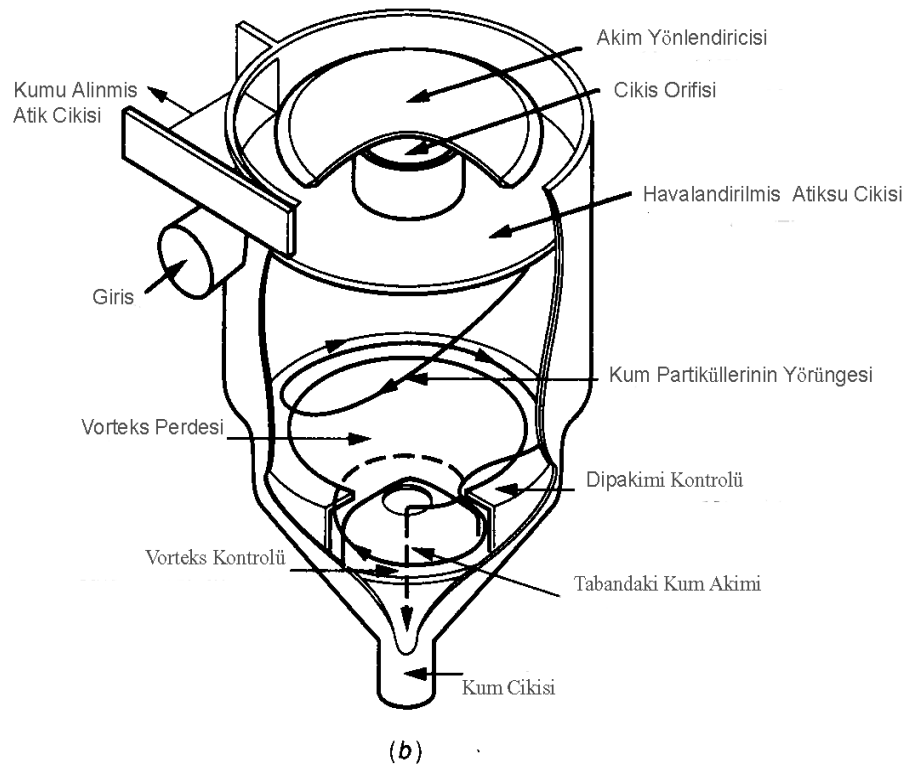
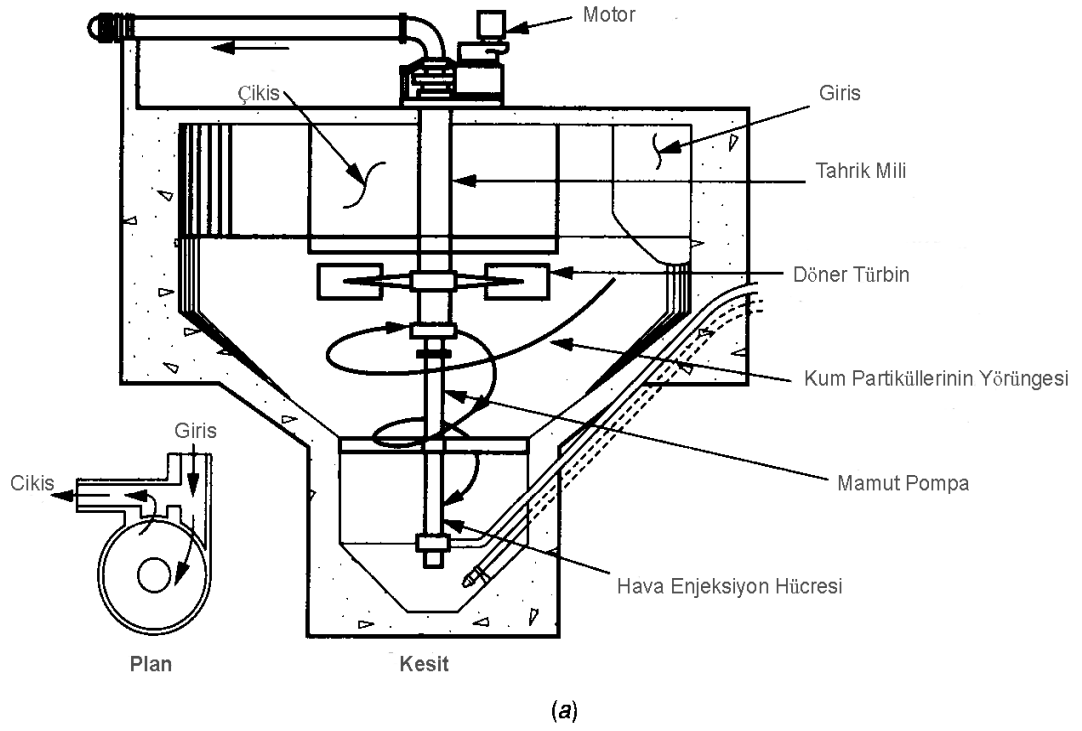
D_m : kum tutucuda maksimum derinlik, L : komit hücresinin teorik uzunluğu.

Tablo 4.6. Havalandırılmalı kum tutucularda tasarım kriterleri (1), (3).

	Değer	
	Aralık	Tipik
Pik debide hidrolik kalış süresi, dak	2,5-5	3
Boyutlar:		
Derinlik, m	0,24-0,40	0,31
Uzunluk, m	0,98-1,28	1,16
Genişlik, m	0,61-0,91	0,76
Genişlik-derinlik oranı	1:1-5:1	1,5:1
Uzunluk-genişlik oranı	3:1-5:1	4:1
Verilecek hava, $m^3/dak.m$ uzunluk	0,19-0,46	
Tutulan kum miktarı, $m^3/10^3.m^3$	0,004-0,2	0,015

Vorteks akımlı kum tutucular iki tiptir. Birinci tipte atıksu girişi ve çıkışı teğetsel olarak gerçekleşir. Dönen bir türbin sabit akış hızı sağlar. Ayarlanabilir bıçaklar ise organiklerin kumdan ayrılmasını sağlar. Dönen türbin kum parçacıkları için silindirik akış sağlar. Kum yerçekimi ile oluğun içine çöker. Olukta biriken kum, kum pompası veya havalı kaldırmalı (mamut) pompa ile uzaklaştırılır (Şekil 4.3a)

İkinci tip Vorteks akımlı kum tutucular ise giriş akımının ünitenin üst kısmından teğetsel girişi ile serbest girdap sağlanır. Atıksu tepeden dönen silindirin merkezinden çıkış yapar (Şekil 4.3b). Silindirin içinde yerçekimi kuvveti yoğunluğu 1 den büyük parçacıkların çökmesini önler. Kum tutucunun dibine yerçekimi ile çökerken, santrifüj kuvveti ile kumdan ayrılan organikler de dahil olmak üzere tüm organikler atıksu ile birlikte sistemi terk ederler. Sistemde yük kaybı giderilen partiküllerin boyutuna bağlı olup çok ince parçacıklar söz konusu olduğunda yük kaybı miktarı yükselir. Bu kum giderme üniteleri oldukça yeni olup her biri $0,3 m^3/sn$ debiyi kaldırabilir. Bu sistemler çok ağır olduğundan ya derin temelli olmalı veya toprak seviyesinin üstünde olacaksa terfi istasyonu yapılmalıdır. Vorteks akımlı kum tutucuların tasarım kriterleri Tablo 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.3 Vorteks akımlı kum tutucu

Tablo 4.7. Girdap tipli kum tutucular için tipik tasarım kriterleri (1),(3).

	Değer	
	Aralık	Tipik
Pik debide hidrolik kalış süresi, sn		30
Boyutlar:		
Çap		
Üst hücre, m	1,22-7,32	
Alt hücre, m	0,91-1,83	
Yükseklik, m	2,74-4.88	
Giderim hızı, %		
50 no.lu elekten geçen (0,30mm)		95
70 no.lu elekten geçen (0,24 mm)		85
100 no.lu elekten geçen (0,15 mm)		65

Kum miktarı: Tutulan kum miktarı kanalizasyon sisteminin yerine, durumuna, yolların buzlanmaya karşı ne sıklıkta kumlandığına, endüstriyel atıksu türüne, lavabo öğütücüsü kullanım oranına, yöredeki kumlu toprak miktarı gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Tutulan kum miktarı $0,004-0,21 \text{ m}^3/10^3 \text{ m}^3$ aralığında değişir. Kum tutucu sisteminin performansı, gerçek datalar kullanılarak yeni bir kum tutucu sistemi tasarımı yapıldığında yükseltilebilir. Tablo 4.8’de muhtelif atıksu arıtma tesislerinde elek üstü ve kum miktarları verilmektedir. Atıksu karakterindeki ve ekipman verimliliğindeki farklılıklar, akış hızı ve toplanan ızgara/elek üstü maddeler ile kum arasında korelasyon yapılmasını imkansız kılmaktadır.

Kum uzaklaştırılması: Bazı büyük sistemlerde kum çamurla birlikte yakılır. Yürürlükteki yönetmeliklere de bağlı olarak kireçle stabilize edilip düzenli çöp depolama alanlarında bertaraf edilebilir.

Bazı arıtma sistemlerinde kum tutucular kullanılmaz, kum ön çöktürme tankında çöktürülür. Kum giderimi, seyreltik birincil çamurun siklon tip kum tutucuya pompalanması ile sağlanır. Siklon kum tutucu santrifüj ayırıcısı olarak görev yapar. Yani ağır kum ve katı parçacıklar girdap hareketi ile küçük parçacıklardan ve sıvı kısımdan ayrılır. Bu sistemlerin faydası, kum tutucuların maliyetinden kurtulmaktır. Mahzurları ise şunlardır:

- Seyreltik çamurun pompalanması çamur yoğunlaştırıcı gerektirebilir.
- Kumun birincil çamur ile pompalanması, çamur kolektörlerinin ve çamur pompalarının bakım gereksinimini ve çamur terfi maliyetini artırır.

4.1.3 Dengeleme

Arıtma sistemlerinde dengelemenin amacı atıksu karakteristiklerindeki değişiklikleri minimize ederek arıtım kademelerinde optimum şartları sağlamaktır. Dengeleme ünitesinin boyutu ve tipi atık suyun miktarı ve değişimi ile ilgilidir. Dengeleme tankı, atıksu debisindeki farklılıkları ve üretimden dolayı zaman zaman atılan veya istemeyerek dökülen

bazı konsantre atıksu akımlarını biriktirebilecek boyutta dizayn edilir. Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde dengelemenin amaçları şunlardır (4):

- Biyolojik sisteme şok yüklemeyi önlemek amacıyla organik yük dalgalanmalarını yumuşatmak,
- Yeterli pH kontrolü sağlamak veya nötralizasyon için gerekli kimyasal madde miktarını minimize etmek,
- Üretim olmadığı zamanlarda biyolojik sisteme sürekli atıksu sağlamak,
- Kanalizasyon sistemine daha kontrollü ve çok değişken olmayan su deşarj etmek,
- Biyolojik sisteme yüksek konsantrasyonda toksik maddelerin girişini önlemek.

Dengeleme ünitesinde, konsantrasyonun dengelenmesi ve çökelmenin önlenmesi amacıyla karıştırma uygulanır. Buna ilaveten karıştırma ve havalandırma ile yükseltgenebilen maddelerin ve BOI' nın kısmi oksidasyonu gerçekleşir. Dengeleme tanklarında karıştırma yöntemleri şunlardır:

- Giriş akımının dağıtımı ve perdeleme
- Türbinlerle karıştırma
- Difüzörle havalandırma
- Mekanik havalandırıcılarla havalandırma

Dengeleme ünitesi tasarımında şu hususlar irdelenir:

- Dengeleme ünitesinin arıtma tesisi içindeki yeri
- Dengelemenin hat üzerinde ya da hat dışında olması
- Gerekli dengeleme havuzu hacmi

4.1.3.1 Dengeleme Ünitesinin Yeri

En uygun dengeleme tankı yeri, arıtmanın türü ile atıksu ve atıksu toplama sistemi özelliklerine bağlı olduğundan değişik dengeleme tankı yerleri için detaylı çalışma yapılmalıdır. Dengeleme tankının ön arıtmadan sonra, biyolojik arıtmadan önce bir yerde olması uygundur. Ön arıtmadan hemen sonra dengeleme, çamur ve köpük problemlerini azaltacaktır. İlk çöktürmeden ve biyolojik arıtmadan önce yapılacak dengeleme ünitelerinde, katı maddelerin çökmesini ve konsantrasyon dalgalanmalarını önlemek için yeterli karışım, koku problemine karşı da yeterli havalandırma sağlanmalıdır.

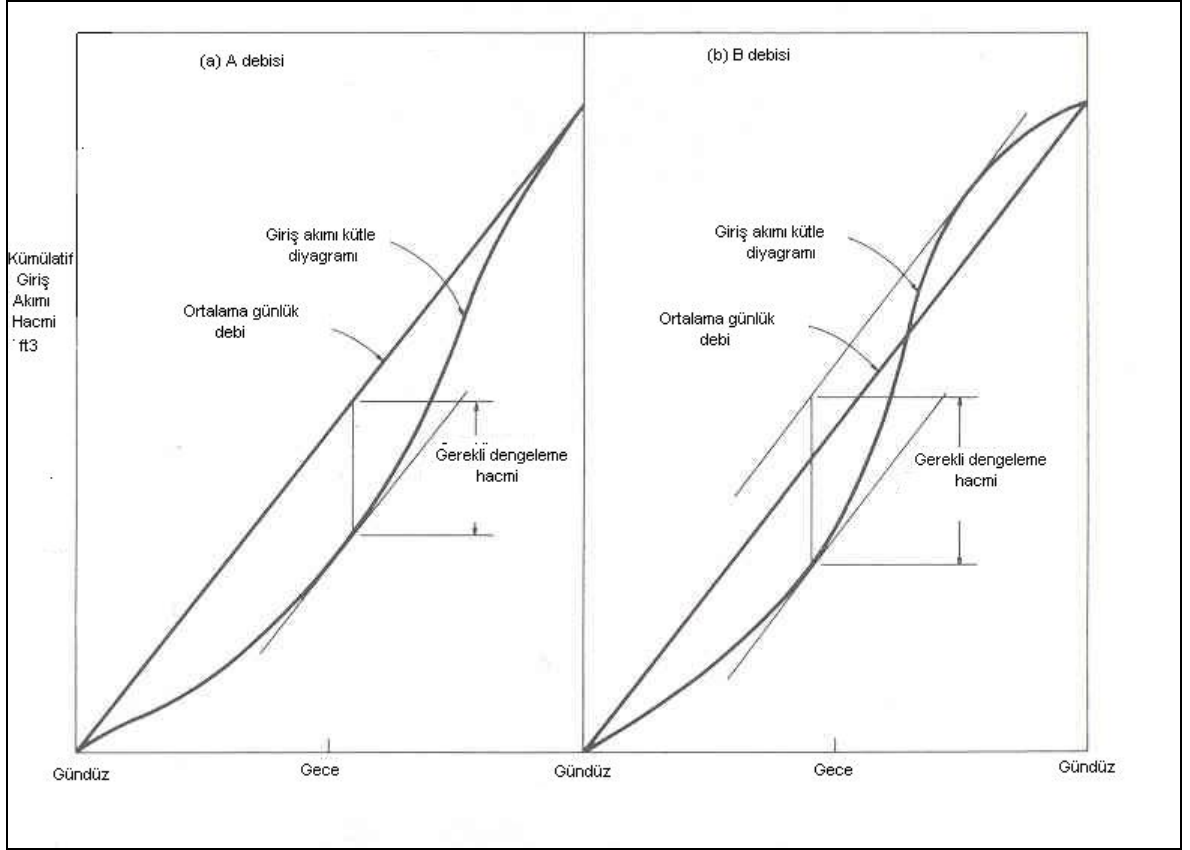
4.1.3.2 Hat Üstü veya Hat Dışı Dengeleme

Dengeleme havuzu atıksu hattına yerleştirilebildiği gibi hat dışına da yerleştirilebilir. Hat dışı dengelemede ortalama günlük debinin üzerindeki debi fazlası by-pass'a yerleştirilmiş dengeleme havuzundan geçirilir, ortalama debi düşünce suyu boşaltmaya başlar. Atıksu hattına yerleştirildiğinde bütün debi bu havuzdan geçer. Bu yüzden konsantrasyon ve debi, hat dışı sisteme kıyasla büyük ölçüde dengelenir.

4.1.3.3 Gerekli Dengeleme Havuzu Hacmi

Debi dengelenmesinde gerekli hacim, toplam akış hacminin zamana karşı çizilmesi ile hesaplanır. Aynı diyagrama ortalama günlük akış hızı (orijin ile son noktanın birleştirildiği

düz çizgi) da çizilir (Şekil 4.4). Kütle akış eğrisine teğet, ortalama günlük akış hızı eğrisine paralel bir doğru çizilir. Gerekli dengeleme hacmi, teğet çizilen noktanın ortalama günlük akış hızı doğrusuna dik doğrultudaki uzaklığıdır. Eğer akış hızı grafiği Şekil 4.3-B deki gibi ortalama akış hızı doğrusunun üstüne çıkıyorsa gerekli dengeleme hacmi, iki teğet doğru arasındaki dik uzaklıktır. Uygulamada dengeleme tankı hacmi teorik olarak hesaplanan değerden daha büyük tutulur.



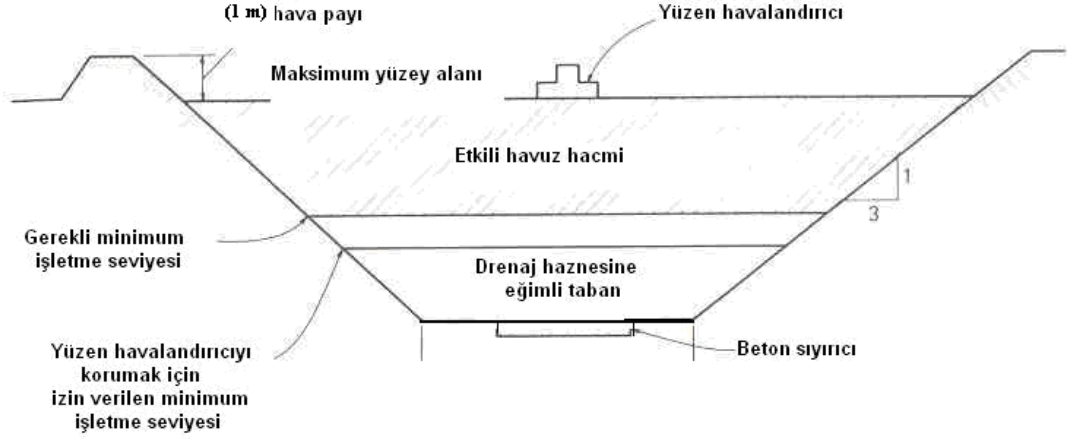
Şekil 4.4 Tipik iki akış hızında gerekli dengeleme hacmi bulunmasında kullanılan kütle diyagramı (1)

4.1.3.4 Dengeleme Havuzu İnşası

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.

Dengeleme Havuzu Malzemesi: Dengeleme havuzları toprak, beton veya çelikten inşa edilebilir. Torak havuzların maliyeti daha düşüktür. Yerel şartlara bağlı olarak yanal eğim 3:1 ve 2:1 olabilir. Tipik bir dengeleme tankı kesiti Şekil 4.5 de verilmiştir. Yeraltı suyu kirliliğini önlemek için havuz geçirimsiz bir malzeme (liner) ile kaplanır. Havasız şartların oluşmasını önlemek için difüzyon havalı havalandırma veya yüzer havalandırıcılar kullanılır. Yüzer havalandırıcı kullanıldığında korozyona karşı koruma sağlamak amacıyla havalandırıcının altına beton bir plaka yerleştirilir. Yüzer havalandırıcılarda havalandırıcıyı korumak amacıyla minimum çalışma seviyesi 1,5-2 metre olarak öngörülmektedir.

Havuz Şekli: Havuz şekli hat üstü veya hat dışı dengeleme kullanılması durumuna göre değişir. Hat üstü dengeleme uygulandığında dengeleme havuzu mümkün olduğu kadar tam karışımlı bir reaktör gibi çalışacak şekilde 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 kompartıman gibi uygulamalar gerekebilir.



Şekil 4.5 Tipik bir dengeleme havuzu kesiti (1)

İşletme Teçhizatı: Dengeleme tankı tasarımına dahil edilmesi gereken işletme teçhizatı şöyle özetlenebilir: Havuz duvarlarında birikebilecek katılar ve yağı temizle düzeneği, pompa arızası durumuna karşı acil taşma düzeneği, yüzer madde ve köpük için yüksek çıkış ve köpük problemi varsa havuzun kenarlarında köpük birikimini önlemek üzere su spreyi.

4.1.3.5 Karıştırma ve Hava Gereksinimi

Dengeleme tanklarının düzgün çalışması için karıştırma ve havalandırma gerekmektedir. Karıştırma tank içeriğinin karışmasını sağlamak ve tankta katıların çökmesini önleyecek düzeyde olmalıdır. 220 mg/l askıda katı madde içeren orta kuvvette bir evsel atıksu için karıştırma gereksinimi 0,004-0,008 kW/m³ dür. Havalı şartları korumak için de 0,01-0,015 m³/m³.dak debide hava verilmelidir. Ön çöktürme sonrası ve kısa kalma süreli (iki saatten daha az) dengelemede havalandırma gerekmebilir.

4.1.3.6 Pompa ve Pompa Kontrolü

Dengeleme, atıksu arıtma tesisine ilave bir su seviyesi farkı gerektirdiğinden pompalama gerektirir. Pompalama dengelemeye veya dengeleme çıkışına uygulanır ancak arıtma tesisinin güvenilirliği açısından dengeleme havuzuna pompalama tercih edilir. Minimum pompalama su seviyesi farkı, dinamik kayıplar ve yüzey seviyesindeki değişimlerin toplamıdır. Bazı durumlarda hem atıksu girişi hem de çıkışı için pompalama gerekebilir.

4.1.4. Ön Çöktürme

Ön çöktürme, hareketsiz şartlarda özel tasarımı yapılmış çöktürme tanklarında çökebilir ve yüzebilir katıların ayrılmasıdır. Ön çöktürme tanklarının üç ana fonksiyonu vardır:

- Çökeltme ile sıvıdan katıları (çamur) ayırma,
- Yüzdürme ile sıvıdan katıları (köpük, yağ, yüzen birikintiler) ayırma,
- Katıları yoğunlaştırma.

Tablo 4.8. Değişik atıksu arıtma tesislerinde kum ve elek üstü madde miktarları (3).

Tesisin yeri	Debi, m ³ /gün	Kum m ³ /10 ³ m ³	Elek üstü m ³ /10 ³ m ³
Uniontown, Pennsylvania	11,400	0,074	0,006
East Hartford, Connecticut	15,100	0,017	0,009
Duluth, Minnesota	45,400	0,006	0,004
Lamberts Point Water Pollution Control Plant, Norfolk, Virginia	75,700	0,034	0,009
Village Creek W.W. Treatment Plant, Ft. Worth, Texas	170 000	0,009	0,005
County of Milwaukee, Wisconsin, South Shore	454 000	0,003	0,004
Twin Cities Metro W.W Treatment Plant, Minnesota	825 000	0,034	0,008
Chicago, Illinois	1 260 000	0,003	0,006

Ham atıksudan katıların giderilmesi ile bir miktar askıda katı ve BOI₅ de giderilmiş olur, böylece biyolojik arıtma ünitesinde arıtılacak organik yük azaltılmış olur. Organik yükteki azalma biyolojik arıtma ünitesinde sisteme verilmesi gerekli oksijen miktarının azalmasına, dolayısı ile enerji gereksiniminin ve oluşan fazla aktif çamur miktarının azalmasına neden olur. Ham atıksudaki köpüğün giderilmesi ile de havalandırma tankı ve çöktürme tanklarında köpük oluşumu azalmış olur. Ön çöktürme tanklarının bunların dışındaki yararları Tablo 4.9 da verilmiştir.

Ön çöktürme tankları Tablo 4.9 da belirtilen işlevlerin de sağlanması için genellikle büyük kapasiteli (>3800 m³/gün) atıksu arıtma tesislerinde kurulur. Daha küçük tesislerde eğer ikinci kademe arıtma ünitesi tüm yükü kaldırabilecekse ve köpük, yağ ve yüzen kalıntılar işletme problemi yaratmayacaksa ön çöktürme ünitesi kurulmaz. Damlatmalı filtre, döner biyolojik disk ve batmış biyolojik reaktör gibi ikinci kademe arıtma üniteleri mevcutsa ekipmanın zarar görmemesi için mutlaka sistemin önüne ön çöktürme tankı konulmalıdır. Çöktürme tankları ya dairesel veya dikdörtgen şeklindedirler. Seçim, tesisin büyüklüğü, yerel arazi şartları, mevcut birincil arıtma ekipmanı, ilgili mühendisin kararı, mal sahibinin tercihi, yatırım ve işletme maliyeti gibi faktörlere bağlıdır.

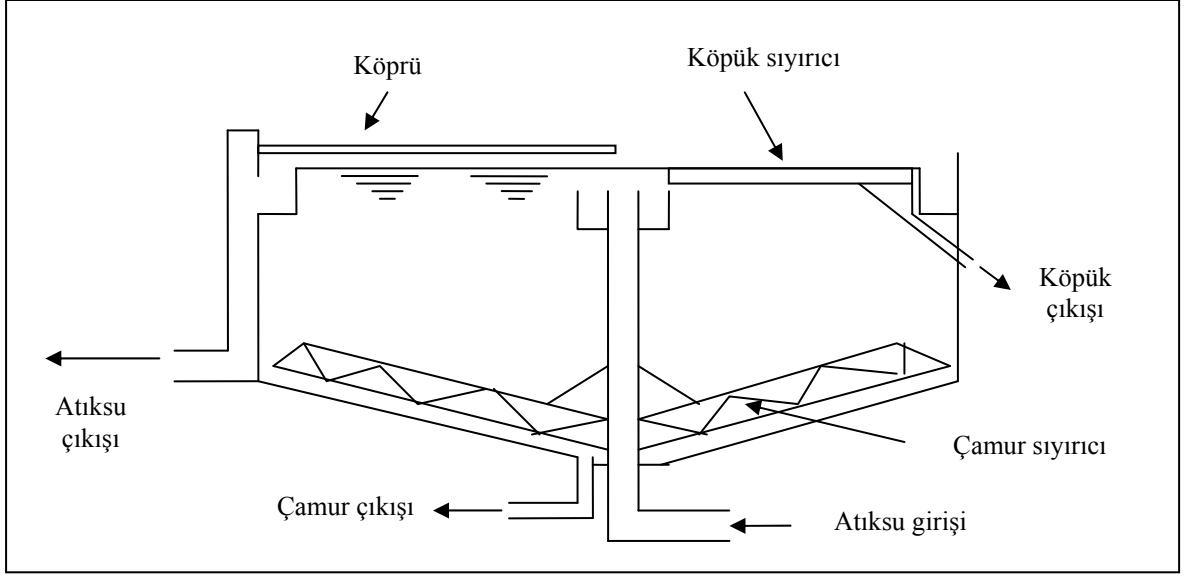
Dairesel ön çöktürme tankları: Dairesel ön çöktürme tanklarında besleme merkezden yapılır. Atıksu merkezden dış duvarlara doğru hareket eder ve dış çevre boyunca uzanan savaktan çıkış yapar. Çöken çamur sıyrıcılarla merkeze doğru itilir. Üstte toplanan yüzer maddeler döner bir sıyrıcı ile toplanarak bir haznede birikir. Dairesel bir çöktürme tankı Şekil 4.6 da verilmiştir.

Tablo 4.9. Ön çöktürme tanklarının diğer işlevleri (5), (6).

İşlev	Etki
Ham atıksu kalite ve debisinin dengelenmesi	Sabit debi sağlayarak ikinci kademe arıtma ünitesinin performansının iyileşmesi sağlanır.
Kum tutucu	Ayrı bir ünite yoksa, çamur ve kum giderimini bir yerde toplar.
atık suyun BOI ₅ ve Askıda Katı Madde giderimini arttırmak ve besin elementi giderimi için ham atık suyun kimyasal arıtımı	Ön çöktürme tankına kimyasal madde ilavesi ile BOI ₅ ve Askıda Katı Madde giderimi arttırılır ve besin elementi giderimi (genellikle fosfor) sağlanır.

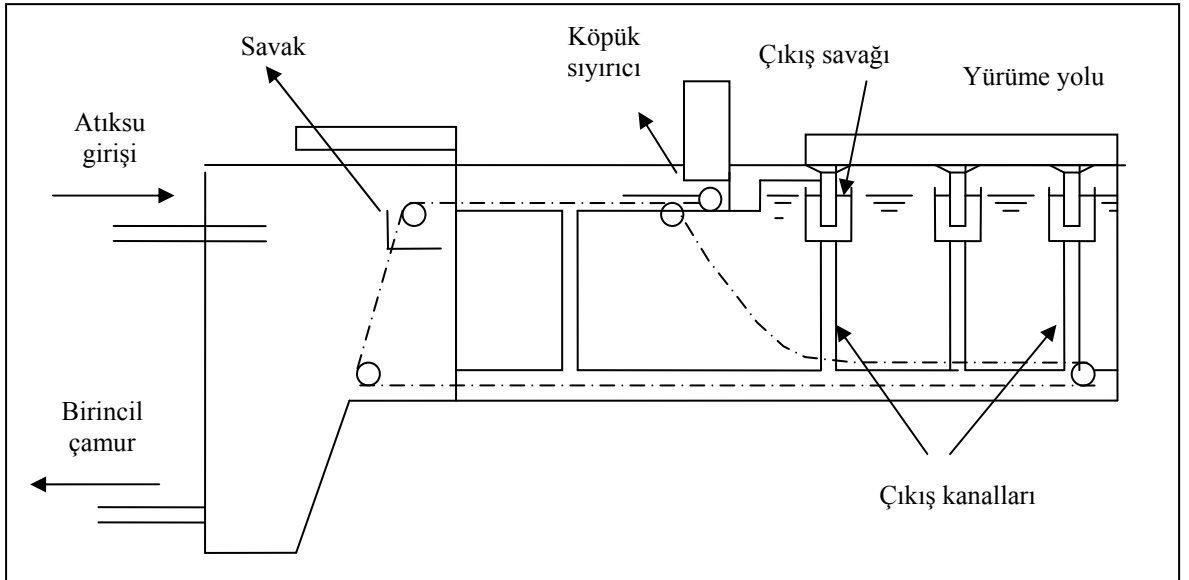
Dikdörtgen ön çöktürme tankları: Dikdörtgen ön çöktürme tanklarında atıksu beslemesi bir uçtan yapılır, atıksu uzun kenar boyunca hareket ederek öbür uçtan tankı terk eder. Çöken çamur dip kısmında atık suyun ters yönünde hareket eden sıyrıcılar vasıtasıyla toplama bölümüne itilir. Tüm su yüzeyinde dolaşan köpük toplayıcılar yüzeydeki köpüğü toplayarak atıksu çıkışı tarafındaki köpük toplayıcı hazneye iter (Şekil 4.7).

Ön çöktürme tankları yüzey yüküne göre boyutlandırılırlar. İyi bir performans elde etmek için bunun dışında tank derinliği, kalma süresi, çamur sıyrıcı taşıma kapasitesi gibi parametrelerin de dikkate alınması gereklidir. Yüzeysel taşma hızı, tüm geri devir akımları da dahil, çöktürme tankına giriş debisinin toplam tank alanına (çıkış akımı toplama olukları da dahil) oranıdır. Ön çöktürme tanklarında yüzeysel taşma hızı değerleri Tablo 4.10 da verilmiştir.



Şekil 4.6 Dairesel çöktürme tankı şematik görünümü

Bu yükleme hızlarında iyi tasarımı yapılmış ve düzgün işletilen bir ön çöktürme tankında ham evsel atıksuda %30-35 BOI_5 , % 50-60 askıda katı madde giderimi sağlanır. Endüstriyel atıksu durumunda ise atıksudaki çözünmüş BOI_5 miktarı farklı olduğundan bu oranlar değişir. Ön çöktürme tankına kimyasal ilavesi yapılırsa arıtım oranları yükselir. Çöktürme tankında hidrolik kısa devre, atıksu debisindeki aşırı değişiklikler, çok yüksek ya da düşük atıksu sıcaklıkları, yüksek geri devir oranları BOI_5 ve Askıda Katı giderimlerinin tipik değerlerin altına düşmesine neden olur.



Şekil 4.7 Dikdörtgen ön çöktürme tankı

Ön çöktürme tankının iyi çalışmaması veya aşırı yüklenmesi durumunda ön çöktürme tankı yüklemesi de artmış olacaktır. Ancak son çöktürme tankı daha yüksek yüklemeleri kaldıracak şekilde tasarlanmışsa bu durum bir problem oluşturmaz. Aynı şekilde ön çöktürme tankı yüzeysel taşma hızının önerilenin üstünde olması durumunda, aktif çamur sistemi daha yüksek organik yükü kaldıracak şekilde tasarlanmışsa problem olmayacaktır. Tablo 4.10. Ön çöktürme tanklarında tasarım bilgileri (1), (6).

	Aralık	Tipik
Ön çöktürme (son çöktürme var):		
Kalma süresi, saat	1,5-2,5	2
Taşma hızı, m ³ /m ² /gün		
Ortalama akış	33-49	
Pik saatlik debi	81-122	102
Savak yükü, m ³ /m/gün	124-496	248
Aktif çamur geri dönüşlü ön çöktürme:		
Kalma süresi, saat	1,5-2,5	2,0
Taşma hızı, m ³ /m ² /gün		
Ortalama akış	24-33	
Pik saatlik debi	49-69	61
Savak yükü, m ³ /m/gün	124-496	248

Savak yükünün ön çöktürme tankı performansına etkisi çok azdır. Savak yükleme hızının 124-496 m³/m/gün aralığında olması önerilmektedir. Aşırı su hızını önlemek üzere yeterli tank derinliği ve çıkış suyu olukları arasında yeterli mesafe olması önerilmektedir. Böylece dipte toplanan çamurun hareketlenip çıkış suyu ile sürüklenmesi önlenmiş olur.

Ortalama tasarım debisinde bekleme süresi 2,5 saati geçmemelidir. Uzun kalma sürelerinde septik şartlar oluşur ki bu da çöktürme tankı performansının düşmesine (havasız çürüme şartlarında oluşan gazlar çamurun çökmesini engeller) ve koku oluşmasına sebep olur (havasız çürüme sırasında çıkan gazlar). Uzun çamur yaşı ise çöken organik katıların çözünmesine neden olur bu da takip eden arıtma üniteleri için daha yüksek organik yükleme demektir. Düzgün tasarlanmış çamur toplama üniteleri, toplanan çamurun uygun sürede nakli ile tankın dibinde çamur birikimini önleyecektir. Çamur kalınlığı, septik şartların oluşumunu ve uzun çamur kalma yaşını önlemek üzere minimize edilmelidir.

Çöktürme işlemlerinde çöken çamurun akışkan tarafından sürüklenmemesi için akışkanın yatay hızı büyük önem taşımaktadır. Akışkanın yatay hızının belirli bir değerden büyük olması durumunda akışkanın çökeltme tankı tabanında birikmiş çamuru sürüklemeye riski vardır. Kanalizasyon borularında yatay hız, katı parçacıkların kanalda çökmesini önlemek için yüksek tutulur. Kritik yatay hız aşağıdaki formülle hesaplanır (1),(7).

$$V_H = \left(\frac{8k(s-1)gd}{f} \right)^{1/2} \quad (4.5)$$

Burada:

- V_H : kritik yatay hız, m/sn,
 s : partikül yoğunluğu, (kg/m³),
 g : yerçekimi ivmesi, m/s²,
 d : partikül çapı, m,
 k : sabit (kum için 0,04, yapışkan çamur için 0,06)
 f : Darcy-Weisbach sürtünme faktörü (0,02-0,03)

Boyutlandırma: Dikdörtgen ve dairesel ön çöktürme tanklarının tipik boyutları Tablo 4.11 de verilmiştir.

Tablo 4.11. Ön çöktürmede kullanılan dikdörtgen ve dairesel çöktürme tankı tasarım değerleri.

	Aralık	Tipik
Dikdörtgen		
Derinlik, m	3-4,5	3,7
Uzunluk, m	15-90	24-40
Genişlik, m	3-24	5-10
Sıyırıcı hızı, m/dak	0,6-1,2	0,9
Dairesel		
Derinlik, m	3-4,5	3,7
Çap, m	3-60	12-45
Taban eğimi, mm/m	62-167	83
Sıyırıcı devir sayısı, dev/dak	0,02-0,05	0,03

4.2. Atıksu Pompaları ve Pompa İstasyonları

Atıksu pompalama, atıksu, yağmur suyu, çamur ve arıtılmış suların uzaklaştırma işlemlerini kapsar. Debilerdeki dalgalanmalar ve bir problem durumunda çevreyi kirletme riski dolayısıyla kanalizasyon ve yağmur suyu pompa tesisleri, emniyetli ve bakımı kolay olmalıdır. Özellikle büyük pompa istasyonlarında pompa verimi ve atıksu içindeki katıların çökmeden pompalanması çok önemlidir.

Doğru pompa ile ekipmanlarının seçimi ve kullanımı tecrübe gerektirir. Bu bölümde atıksu pompaları seçimine yardımcı olacak temel bilgiler verilmiştir.

Pompalar teorik olarak kinetik enerjili pompaları ve pozitif yer değiştirmeli pompalar olmak üzere iki ana grupta toplanır. Pompa istasyonları ise ıslak ortamlı ve kuru hazneli olmak üzere iki grupta toplanır. Islak hazneli pompalar düşey milli ve dalgıç pompalardır. Islak hazneli düşey milli pompalarda motor ıslak hazne sıvı seviyesinin üstünde monte edilir fakat pompa batmış kalır (Şekil 4.8a). Dalgıç pompalar sıvı içinde çalışmaya uygun, özel izolasyonlu entegre motorludurlar (Şekil 4.8b).

Kuru hazneli terfi merkezleri kuru tip veya kendinden emişli santrifüj pompalardır. Pozitif emmenin mümkün olabilmesi için pompa eksenini ıslak taraftaki suyun alt seviyesi hizasında olmalıdır (Şekil 4.8d). Diğer bir alternatif de kuru Şekil 4.8c de görüldüğü gibi pompanın bir kademe teşkili sonucu ıslak bölümün içinde olmasıdır. Bunların dışındakiler vidalı (Şekil 4.8e), hava yükseltmeli (mamut) (Şekil 4.8f), basınçlı havalı (Şekil 4.8g) pompalardır. Çeşitli pompa tipleriyle ilgili kısa açıklamalar ve uygulama alanları Tablo 4.12’de verilmiştir.

Yükseklik: Belirli bir seviyenin üstündeki belli yükseklikteki sıvı kolonuna eşit hidrolik enerjiyi (kinetik veya potansiyel) tanımlar. Yükseklik ve basınç birbirleri cinsinden ifade edilebilirler (1m su = 9,81 kPa). Terfili iletmede adı geçen başlıca yükseklik tipleri, emme yüksekliği, basma yüksekliği ve geometrik yüksekliktir.

Bir pompanın toplam terfi yüksekliği (H_m) ise geometrik yükseklik (H_0), toplam yük kaybı (h_f) (yerel yük kayıpları dahil), ve hız yüksekliği (h_v) toplamıdır. Yük kaybı borulardaki yük kaybı olup (emme ve basma). Darcy-Weisbach veya Hazen-Williams formülleri ile hesaplanabilir. Yerel yük kayıpları (h_m), bağlantılar, vana, dirsek, giriş, çıkış gibi yerlerde oluşur ve hız yüksekliği cinsinden hesaplanır.

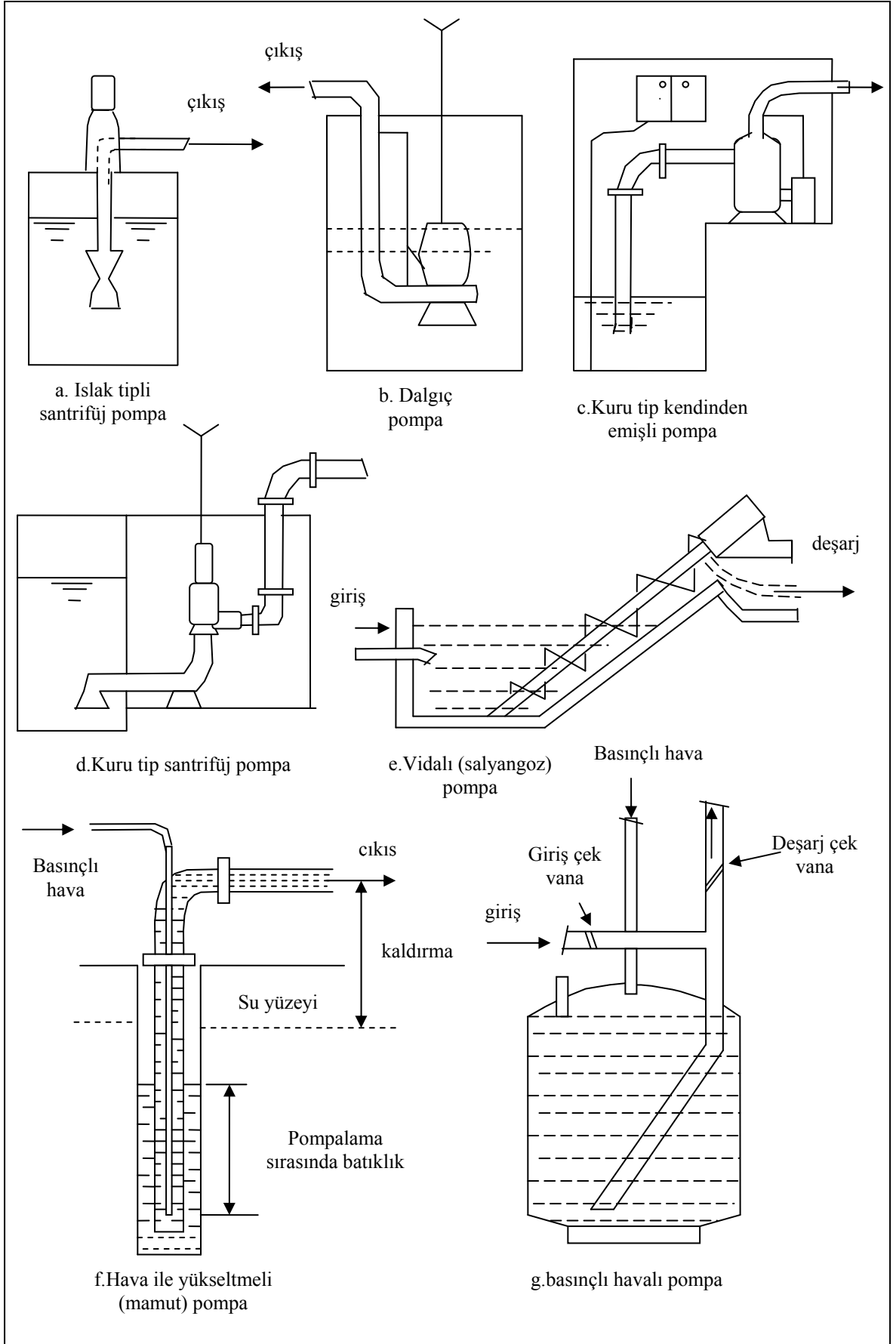
$$H_m = H_0 + h_f + h_m + h_v \quad (4.6)$$

Pompalarda enerji gereksinimi: Pompalarda enerji gereksinimi (4.7) formülü ile kW olarak hesaplanır (8).

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot r} \quad (4.7)$$

Burada:

- Q : gerekli pompa debisi, m³/sn,
- r : pompa verimi (%)
- ρ : pompalanacak sıvının yoğunluğu, kg/m³,
- H_m : toplam terfi yüksekliği,
- g : yerçekimi ivmesi, m/sn²,



Şekil 4.8 Çeşitli pompa ve pompa istasyonları (1)

Tablo 4.12. Pompa çeşitleri ve atıksu arıtımında uygulama alanları (1),(2)

Ana sınıflama	Pompa tipi	Kısa açıklama	Başlıca uygulamaları
Kinetik enerjili	Santrifüj	Sürücü giriş ve deşarj bağlantıları ile bir haznede bulunur. Yük santrifüj kuvveti ile oluşur.	Ham atıksu, biyolojik çamur geri devir ve atma, ön çöktürme çamuru, yoğunlaştırılmış çamur, çıkış.
	Vorteks	Hücre içindeki sürücü, akımdan bağımsız bir haznede bulunur.	Köpük, kum, çamur ve ham atıksu
	Tork akışlı	Dönen element sıvıyı kapalı bir hazne içinde döndürerek deşarj borusuna iter	Yağlama yağları, kimyasal çözeltiler, küçük debide su ve atıksu
Pozitif yer değiştirmeli	Vidalı	Eğimli bir hazne içinde spiral bir vidadan ibarettir.	Kum, çöktürülmüş ön ve biyolojik çamur, kıvamlaştırılmış çamur, ham atıksu
	Diyafram	Bir silindirin etrafına tutturulmuş esnek bir diyafram veya disk	Kimyasal çözeltiler
	Pistonlu	Silindir içinde hareket eden bir piston veya şırıngadan ibarettir. Her bir defada belirli miktar sıvı pompalar	Köpük, ön, biyolojik ve çöktürülmüş çamurlar. Kimyasal çözeltiler
	Hava ile yükseltmeli	Kısmen batmış dik bir tüpün içine hava gönderilir. Hava kabarcıkları tüpün içindeki akışkanın birim ağırlığını düşürür. Yüksek birim hacim ağırlığındaki akışkan düşüğüyle yer değiştirerek onu tüp içinde yükselmeye zorlar.	Biyolojik çamur geri devri ve deşarjı, kum
	Basınçlı havalı	Hava giriş hücreğine basınçla gönderilir, basınçlı hava atıksuyu iter.	Küçük tesislerde (100-600 l/dak) ham atıksu

4.3. Karıştırma

Atıksu arıtımının birçok kademesinde karıştırma gereklidir. Örneğin: bir maddeyi diğeri ile tamamen karıştırmak, sıvı süspansiyonlarını karıştırmak, flokülasyon, ısı transferi gibi. İkinci kademe çöktürme tankı çıkış suyunun dezenfeksiyon için klor veya hipoklorit ile karıştırılması gerekir. Aktif çamur prosesinde havalandırma tankı muhteviyatının karıştırılması, sisteme mikroorganizmalar için hava veya oksijen verilmesi gerekir. Aktif çamur sistemlerinde havalandırma sistemi aynı zamanda karışımı da sağlar. Çamurdan suyun ayrılmasının kolaylaşması için çamur bazı kimyasallarla karıştırılır. Havasız arıtmada, biyolojik dönüşümün hızlanması ve tüm reaktörün homojen olarak ısınmasının sağlanması için karıştırma uygulanır.

Karıştırma boru veya kanalda veya reaktörde olarak sınıflandırılır. Boru veya kanalda karışımında amaç bir maddeyi diğerinin içinde sürekli karıştırmaktır. Karıştırma süresi saniye mertebesinde. Kimyasalların bir sıvıda hızlı karıştırılması çeşitli şekillerde yapılabilir:

- Açık kanallarda hidrolik sıçrama
- Venturi kanallarda
- Borularda
- Pompalama ile
- Statik mikserlerle
- Mekanik mikserlerle

Bunlardan ilk dördünde karışım türbülansla sağlanır. Statik mikserlerde türbülans enerji dağılması ile sağlanır. Mekanik mikserlerde ise türbülans, dönen bir çark vasıtasıyla enerji verilmesi ile sağlanır.

Reaktörde karıştırmada ise amaç bir reaktör veya tanktaki muhtevayı sürekli karışım halinde tutmaktır. Sürekli karıştırma çeşitli şekillerde yapılabilir:

- Mekanik mikserlerle
- Basıncı havalı (pnömatik)
- Statik mikserlerle
- Pompalama ile

Basıncı hava ile karıştırma biyolojik arıtmada havalandırmada uygulanır.

4.3.1. Karıştırmada Enerji Dağılımı

Birim sıvı hacmine verilen enerji, karıştırmanın etkinliği için yaklaşık bir ölçümdür.

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (4.8)$$

Burada:

- G : ortalama hız gradyanı, l/sn,
 P : enerji gereksinimi, W,
 μ : dinamik viskozite, N.sn/m²,

V : reaktör hacmi, m³.

Bu bağıntıda her iki taraf teorik hidrolik kalma süresi $t_d = V/Q$ ile çarpılırsa:

$$Gt_d = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{PV}{\mu}} \quad (4.9)$$

Burada:

t_d : kalma süresi, sn,

Q : debi, m³/sn.

Muhtelif karıştırma işlemleri için verilen G değerleri Tablo 4.13 de verilmiştir.

4.3.2. Karıştırmada Enerji Gereksinimi

Karıştırma şekline göre enerji gereksinimi aşağıda verilmiştir.

Pervane ve türbin karıştırıcılar: Karıştırma hızı ve türbülans ne kadar büyükse karıştırma da o kadar etkilidir. Laminer ve türbülanslı şartlar için aşağıdaki formüller kullanılır.

Laminer akış için ($Re < 10$):

$$P = k \mu n^2 D^3 \quad (4.10)$$

Tablo 4.13 Atıksu arıtma proseslerinde tipik hız gradyanı ve kalma süreleri

Proses	Değer aralığı	
	Kalma süresi	G , sn ⁻¹
Hızlı karıştırma		
Atıksu arıtımında tipik hızlı karıştırma işlemleri	5-20 sn	250-1,500
Temaslı filtrasyon proseslerinde hızlı karıştırma	<1-5 sn	1,500-7,500
Yumaklaştırma		
Atıksu arıtımında kullanılan tipik flokülasyon prosesleri	10-30 dak	20-80
Doğrudan filtrasyon proseslerinde flokülasyon	2-10 dak	20-100
Temaslı filtrasyon proseslerinde flokülasyon	2-5 dak	30-150

Türbülanslı akış için ($Re > 10\ 000$):

$$P = k \rho n^3 D^5 \quad (4.11)$$

Burada:

P : Enerji gereksinimi, W,

k : sabit, (Tablo 4.13),

μ : sıvının dinamik viskozitesi, N.sn / m²,

ρ : akışkanın kütle yoğunluğu, kg / m³,

D : karıştırıcı pervane çapı, m,
 N : saniyede devir sayısı, dev/sn.

Reynolds sayısı 4.12 formülü ile bulunabilir.

$$Re = \frac{D^2 n \rho}{\mu} \quad (4.12)$$

Burada:

Re : Reynolds sayısı,
 D : pervane çapı, m,
 N : dev/sn
 ρ : sıvının yoğunluğu, kg/m³,
 μ : dinamik viskozite, N.sn/m².

k değerleri Tablo 4.13 de verilmiştir. Havuzdaki girdap şartlarının, dört adet perde ile ortadan kaldırıldığı kabul edilmektedir (perdelerin her biri tank çapının %10 u genişliğindedir).

Pedallı karıştırıcılar: Pedallı karıştırıcılar genellikle yavaş dönerler. Fiziko-kimyasal arıtmada atıksuya alüminyum veya demir sülfat ve polielektrolit ilave edilirse pedallar flokleştirici olarak görev yapar. Flokülasyon yavaş hareket eden pedallarla ve hafif karıştırma ile hızlanır. Karıştırma hızlı olursa oluşan floklar parçalanır ve küçülür böylece çökmeleri zorlaşır. Flokleşme 10-30 dakikada tamamlanır. 0,6-0,9 m/sn pedal ucu hızında flokları kırmadan yeterli türbülans sağlandığı bildirilmektedir. Pedallı sistemlerde enerji gereksinimi pedalların sürüklemeye kuvveti ile ilişkilendirilir (4.14).

$$F_D = \frac{C_D A \rho v_p^2}{2} \quad (4.14)$$

$$P = F_D v_p = \frac{C_D A \rho v_p^3}{2} \quad (4.15)$$

Tablo 4.14. Karıştırmada enerji gereksinimi k değerleri

Sürücü	Laminer akım	Türbülanslı akım
Pervaneli, kare aralıklı, 3 kanatlı	41,0	0,32
Pervaneli, iki dış aralığı, 3 kanatlı	43,5	1,00
Türbin, 6 düz kanatlı	71,0	6,30
Türbin, 6 eğik kanatlı	70,0	4,80
Fan türbini, 6 kanatlı	70,0	1,65
Türbin, 6 ok tipli kanatlı	71,0	4,00
Düz kanatlı, 6 kanatlı	36,5	1,70
Kaplanmış türbin, 2 eğik kanatlı	97,5	1,08
Bobinli kaplanmış türbin (perdesiz)	172,5	1,12

Burada:

- F_D : sürüklenme kuvveti, N,
 C_D : akışkana dik yönde hareket eden pedalın sürüklenme katsayısı,
 A : pedalların enine kesiti, m^2 ,
 ρ : akışkan kütle yoğunluğu, kg/m^3 ,
 v_p : pedalların akışkana kıyasla rölatif viskozitesi, m/sn, genellikle pedal ucu hızının 0,6-0,75 katı kabul edilir.
 P : enerji gereksinimi, W.

Statik karıştırıcılar: Statik karıştırıcıların hareketli parçaları yoktur. Tipik örnek boru hatlarındaki statik karıştırıcılardır. Hattaki statik karıştırıcılarda hızda ani değişiklikler oluşturulur. Statik karıştırıcılar, kimyasalların karıştırılmasında, şaşırtmalı perdeliler ise flokülasyonda kullanılır. Statik karıştırıcılarda kullanılan enerji miktarı (4.16) ile bulunabilir.

$$P = \gamma Q h \quad (4.16)$$

Burada:

- γ : suyun özgül ağırlığı, kN/m^3 ,
 Q : debi, m^3/sn ,
 h : yük kaybı, m.

Basıncılı hava ile karıştırmalı: Karıştırma tanklarına, havalandırılmalı kanallara, flokülasyon tanklarına tankın dibinden hava verilerek karıştırma sağlanır. Karıştırma veya flokülasyon tanklarına hava verildiğinde hava kabarcıklarını yükselten enerji (4.17) formülü ile hesaplanabilir.

$$P = p_a V_a \ln \frac{p_c}{p_a} \quad (4.17)$$

Burada:

- p_a : atmosfer basıncı, kN/m^2 ,
 V_a : atmosfer basıncında hava hacmi, m^3/sn ,
 p_c : deşarj noktasında hava basıncı, kN/m^2 .

Atmosfer basıncında hava debisi m^3/dak ve basınç metre olarak alınırsa (4.17) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P = K Q_a \ln \left(\frac{h + 10.33}{10.33} \right) \quad (4.18)$$

Burada:

- K : sabit (1,689),
 Q_a : atmosfer basıncında hava debisi, m^3/dak ,
 h : deşarj noktasındaki hava basıncı, m.

Hız gradyanı G, (4.18) den bulunan P değeri, (4.8) de yerine konularak bulunur.

4.4. Yüzdürme

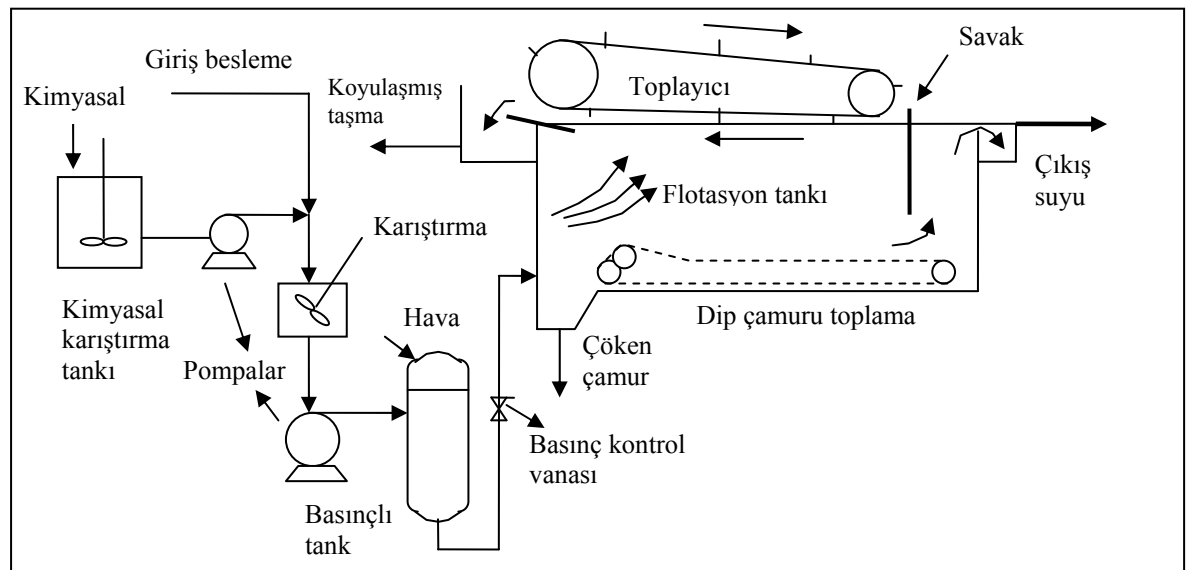
Yüzdürme sıvı fazda sıvı veya katı partiküllerin ayrıldığı bir işlemdir. Ayırma ince gaz kabarcıklarının (genellikle hava) sıvı faza verilmesi ile sağlanır. Hava kabarcıkları partiküllere tutunur ve birlikte yüze yükselirler.

Atıksu arıtımında yüzdürme, askıda maddeleri uzaklaştırarak, biyolojik çamurun yoğunlaşmasını sağlar. Yüzdürmenin çöktürmeye göre temel üstünlüğü, yavaş çöken çok küçük boyutlu ve hafif partiküllerin çok daha çabuk ve tamamen uzaklaştırılabilmesidir. Yüze çıkan partiküller yüzeyden sıyrılarak toplanırlar.

Yüzdürme işleminde hava kabarcıkları değişik yöntemlerle oluşturulur:

- Sıvı basınç altındayken hava enjekte edilir, sonra basınç kaldırılır (Şekil 4.9) (çözünmüş-hava ile yüzdürme DAF),
- Atmosfer basıncında havalandırma (hava ile yüzdürme),
- Atmosfer basıncında hava ile doyurma, daha sonra sıvıya vakum uygulama (vakum ile yüzdürme).

Bu sistemlerin tümünde giderim verimi bazı kimyasalların kullanımı ile arttırılabilir.



Şekil 4.9. Çözünmüş hava ile yüzdürme sistemi (DAF) şematik görünümü

4.5. Havalandırma

atık suyun havalandırılmasında iki temel yöntem vardır:

- hava veya saf oksijenin atıksuya batmış difüzörlerle veya diğer havalandırma cihazları ile verilmesi veya
- atık suyun mekanik olarak karıştırılarak havanın suda çözünmesinin hızlandırılması.

Difüzörlü hava sistemleri; atıksuya batmış difüzörler ve üfleyiciden (blower) ibarettir. Çeşitli havalandırma sistemlerinin üstünlük, kısıt ve oksijen transfer değerleri Tablo 4.15A ve Tablo 4.15B de verilmiştir.

4.5.1. Difüzörler

Önceleri difüzör sistemleri, ince kabarcıklı ve kaba kabarcıklı olarak iki grupta inceleniyordu. Ancak bu terimlerin tam tanımı, ince ve kaba kabarcıkların boyutları açık olmadığından son yıllarda difüzörlü havalandırma sistemlerini, cihazın fiziksel karakteristikleri ile ifade etmek tercih edilmektedir. Bu şekilde üç esas sınıf belirlenmiştir:

- Gözenekli veya ince gözenekli difüzörler
- Gözenekli olmayan difüzörler
- Jet tipi, aspiratörlü ve U-tüpü havalandırıcılar

Oksijen transferi: Atıksu arıtımında gaz transfer hızı, o andaki gazın çözeltideki yoğunluğu ve denge yoğunluğu farkı ile orantılıdır.

$$r_m = K_g A (C_s - C) \quad (4.19)$$

Burada:

- r_m : kütle transfer hızı,
 K_g : gaz difüzyon katsayısı,
 A : gazın difüze olduğu alan,
 C_s : gazın çözeltideki doymunluk konsantrasyonu,
 C : gazın çözeltideki konsantrasyonu

$$r_m = V \frac{dC}{dt} \quad (4.20)$$

$$r_c = \frac{dC}{dt} = \frac{r_m}{V} = K_g \frac{A}{V} (C_s - C) \quad (4.21)$$

$K_g \frac{A}{V}$ yerine orantı faktörü $K_L a$ yazılarak:

$$r_c = \frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C) \quad (4.22)$$

Burada:

- r_c : konsantrasyon değişimi, mg/l.sn,
 $K_L a$: toplam kütle transfer katsayısı, sn⁻¹,

(4.22) Formülünün $C=C_0$, $C=C$, $t=0$, $t=t$ aralığında integrali alınırsa (4.23) elde edilir.

$$\frac{C_s - C_t}{C_s - C_0} = e^{-(K_L a)t} \quad (4.23)$$

$(C_s - C_t)$ ve $(C_s - C_0)$ terimleri başlangıç ve sonuçtaki doymunluk eksikliğini gösterir.

Tablo 4.15A. Çeşitli havalandırma sistemlerinin üstünlük, kısıt ve oksijen transfer değerleri (Basınçlı hava sistemleri) (2),(9).

Havalandırma sistemi	Açıklama	Avantajlar	Dezavantajlar	Transfer verimi (%)	Transfer hızı (standart kgO ₂ /kW.h)
Basınçlı hava sistemi	Hava tankın dibine yakın bir yerden gözenekli veya gözeneksiz difüzörlerden verilir. Hava kabarcıkları yüzeye çıkarken oksijen transferi ve karışma gerçekleşir.				
İnce kabarcıklı	Seramikten yapılmış gözenekli plaka, tüp, kubbemsi difüzör veya lastik esnek membran	İyi karıştırma, hava debisini değiştirerek işletme esnekliği ve iyi oksijen transferi, enerji gereksinimi düşük, membran tiplilerin bakım masrafları düşük	Yüksek yatırım ve bakım masrafları, hava filtresi gerekiyor.	10-30	1,2-2,0
Orta kabarcıklı	Üstü kaplanmış delikli paslanmaz çelik tüp	İyi karıştırma, kaplama malzemesi değiştirilebildiğinden bakım maliyeti düşük	Yatırım maliyeti yüksek, hava filtresi gerekebilir	6-15	1,0-1,6
İri kabarcıklı	Basınçla dağılan hava esnek diskin yerinden oynatabilir.	Tıkanma olmaz, bakımı düşük, hava filtresi gerekmez, spiral akış için kullanılır	İlk yatırım masrafı yüksek, oksijen transferi düşük, enerji gideri yüksek	4-8	0,6-1,2
Jet Havalandırıcı	Basınçlı hava ve sıvı karıştırılıp öyle veriliyor. İnce kabarcıklar yükselirken karışma ve oksijen transferi sağlar.	Maliyet orta, derin tanklar için uygun, yüksek transfer verimi	Üfleyici (blower) ve pompalama ekipmanı gerektirir, ağızda (nozzle) tıkanma	10-25	1,2-1,4

Tablo 4.15B. Çeşitli havalandırma sistemlerinin üstünlük, kısıt ve oksijen transfer değerleri (Mekanik havalandırma sistemleri) (2),(9).

Havalandırma sistemi	Açıklama	Avantajlar	Dezavantajlar	Transfer verimi (%)	Transfer hızı (standart kgO ₂ /kW.h)
Mekanik sistem	Hava dolambaçlı yoldan yukarı doğru bir tüp içinden akar. Karışma ve oksijen transferi sağlanır.	Yatırım maliyeti düşük, transfer verimi yüksek	Karışım düşük	-	1,2-1,6
Radyal akışlı düşük hız 20-60 dev/dak	Düşük hız, büyük çaplı pervane kullanılır, yüzer veya sabittir, vites değiştirici kullanır.	Tank şekli ve boyutu uyarlanabilir, iyi karışma.	İlk yatırım yüksek, soğuk iklimde buzlanma, vites düşürücü bakım problemi yaratabilir.	-	1,2-2,4
Eksenel akışlı yüksek hızlı 300-1200 dev/dak	Yüksek hız, daha küçük çaplı pervane kullanılır. Yüzer yapı.	İlk yatırım düşük, çeşitli su seviyelerine ayarlanabilir, esnek işletme.	Soğuk iklimde buzlanma, bakım zor, karışım yetersiz.	-	1,2-2,4
Döner fırçalı	Havalandırma ve sirkülasyon sağlar, çevresinden çelik fırça çıkan silindir şeklinde.	Havalandırma ve sirkülasyon sağlar, oksidasyon hendeklerinde kullanılır, ilk yatırım orta, bakım kolay.	Tank şekli limitli, verim düşük.	-	1,2-2,4
Batmış türbin	Şiddetli karışım sağlar, sıkıştırılmış hava pervanesinin altından verilir. Sabit köprü gerektirir.	Karışım iyi, birim hacim için kapasite yüksek, derin tanklar için uygun, işletme esnekliği, buzlanma ve sıçrama yok.	Üfleyici ve devir düşürücü gerektirir, toplam enerji gereksinimi yüksek, ilk yatırım yüksek.	-	1,0-1,5

Aktif çamur sisteminde K_La değeri, mikroorganizmaların oksijen kullanımı bazında hesaplanır. Havuzda oksijen 1-3 mg/l mertebelerinde tutulur ve oksijen verilir verilmez mikroorganizmalar tarafından kullanılır. Bu ilişki denklem (4.24) de verilmiştir.

$$\frac{dC}{dt} = K_La(C_s - C) - r_M \quad (4.24)$$

Burada:

r_M : mikroorganizmaların oksijen kullanım hızı, (2-7 gO₂/g uçucu askıda katı madde / gün),

Oksijen seviyesi sabit tutulursa dC/dt 0 olur. Buradan 4.24 tekrar düzenlenirse:

$$r_M = K_La(C_s - C) \quad (4.25)$$

Bu durumda C de sabit olur. Warburg cihazında r_M bulunarak aşağıdaki bağıntı yardımı ile K_La hesaplanır.

$$K_La = \frac{r_M}{C_s - C} \quad (4.26)$$

Toplam kütle transfer katsayısı, K_La , sıcaklığın, karıştırma hızının (aynı zamanda havalandırma cihazı tipi ve karışma hücresi şekli) ve sudaki maddelerin de fonksiyonudur. Bu faktörler aşağıda kısaca anlatılmıştır.

- Sıcaklığın etkisi: (4.27) formülü ile ifade edilir.

$$K_La_{(T)} = K_La_{(20^\circ C)} \Theta^{T-20} \quad (4.27)$$

Burada:

$K_La_{(T)}$: T sıcaklığında oksijen kütle transfer katsayısı, sn⁻¹,
 $K_La_{(20^\circ C)}$: 20°C de oksijen kütle transfer katsayısı, sn⁻¹.
 Θ : sıcaklık-aktivite katsayısı (1,015-1,040, difüzörlü ve mekanik havalandırma sistemleri için tipik değer 1,024 dür).

- Karıştırma ve tank şeklinin etkisi: Karıştırma hızı ve tank şeklinin K_La ya etkisini teorik bazda bulmak çok zordur. Havalandırma sistemlerinde sistem seçimi verimle, verim de K_La ile ilişkili olduğundan mutlaka bulunması gerekmektedir. Havalandırma sistemlerinin genellikle musluk suyu kullanılarak ve düşük çözünmüş oksijen seviyelerinde özellikleri belirlenir. Gerçek sistemde K_La 'yı bulmak için α faktörü kullanılır:

$$\alpha = C_s(atıksu)/C_s(musluk suyu) \quad (4.28)$$

α değeri havalandırma sistemi tipi, şekli, karıştırma şekli ve atıksu karakteristiklerine göre değişir (0,3-1,2). Difüzörlü sistemlerde 0,4-0,8, mekanik havalandırma sistemlerde ise 0,6-1,2 arasındadır. Gerçek havalandırma tankı geometrisi, deney için kullanılandan çok farklıysa uygun α değerinin seçilmesine çok dikkat edilmelidir.

- Atıksu karakterinin etkisi: Üçüncü düzeltme faktörü β , test sistemi oksijen transfer hızını, sudaki tuzların, partikül maddelerin ve yüzey aktif maddelerin oksijenin çözünürlüğüne etkisini düzeltmek amacıyla kullanılır:

$$\beta = C_s(\text{atıksu})/C_s(\text{çeşme suyu}) \quad (4.29)$$

β 0,7-0,98 arasında değişir. Atıksu için genellikle $\beta = 0,95$ kullanılır. β 'nın tayini, atıksu arıtma tesisi laboratuvarlarında kolaylıkla yapılabileceğinden kullanılacak değerlerin laboratuvarda doğrulanması önerilmektedir.

Düzeltilme faktörlerinin uygulaması: Yukarıda bahsedilen düzeltme faktörlerinin kullanımına örnek olarak, deneysel ölçümler yardımı ile mekanik yüzey havalandırıcılı arazi ölçekli sistemde oksijen transfer hızının bulunması örnek olarak verilmiştir.

$$OTR_f = SOTR \left(\frac{\beta C_s - C_w}{C_{s20}} \right) \theta^{T-20} (\alpha) \quad (4.30)$$

Burada:

- OTR_f : gerçek işletme şartlarında gerçek oksijen transfer hızı, g O₂/kW.h,
- $SOTR$: 20°C ve 0 çözünmüş oksijen test şartlarında standart oksijen kullanım hızı, gO₂/kW.h,
- C_s : musluk suyu için arazi şartlarında oksijen doygunluk konsantrasyonu, mg/l,
- C_w : işletme şartlarında atıksudaki oksijen, seviyesi mg/l,
- C_{s20} : çeşme suyu için 20°C de oksijen seviyesi, mg/l.

Difüzörle havalandırmada (4.30)'daki C_s değerleri havanın, tankın dibinden salıverilmesi nedeni ile atmosferik doygunluk konsantrasyonundan daha yüksek olacağı dikkate alınarak düzeltilmelidir.

Difüzörlerin performansı: Oksijen transfer verimi şu faktörlere bağlıdır:

- difüzörün tipi, boyutu ve şekli
- hava debisi
- suya batma derinliği
- tank şekli (difüzörün yeri de dahil)
- atıksu karakteristikleri

Havalandırma teçhizatı önce temiz suda denenir, sonuçlar dönüşüm faktörleri ile işletme şartlarına uyarlanır. Tablo 4.16 da çeşitli difüzörlerin temiz suda oksijen transfer verimleri ve hava debileri verilmiştir. Standart Oksijen Transfer Verimi (SOTE) değerleri 4,57 m difüzör derinliği, 20°C sıcaklık, 101,3 kN/m² basınç ve 0mg/l başlangıç çözünmüş oksijen seviyesinde yapılmıştır.

Gözenekli difüzörlerde Oksijen Transfer Verimi (OTE), iç tıkanmalar veya dış köpürmeler nedeniyle düşebilir. İç tıkanmalar sistemde kullanılan basınçlı havadaki kirliliğin hava filtresinde tutulmamış olmasından kaynaklanabilir. Dış köpürmeler ise genellikle biyofilm veya inorganik çökelti oluşumundan kaynaklanır.

Tablo 4.16 Çeşitli difüzör sistemleri için temiz suda oksijen transfer verimleri

Difüzör tip ve konumu	Hava debisi m ³ /dak difüzör	SOTE (%) (derinlik 4,57m)
Seramik disk- ızgara	0,011-0,096	25-40
Seramik disk- ızgara	0,014-0,071	27-39
Seramik plaka- ızgara	0,609-1,524 ^a	26-33
Homojen gözenekli plastik tüpler		
Izgara	0,068-0,113	28-32
Çift taraflı spiral merdane	0,085-0,311	17-28
Tek taraflı spiral merdane	0,057-0,339	13-25
Homojen olmayan gözenekli plastik tüp		
Izgara	0,028-0,198	26-36
Tek taraflı spiral merdane	0,057-0,198	19-37
Delikli membran tüpleri		
Izgara	0,028-0,113	22-29
Çeyrek noktalar	0,057-0,169	19-24
Tek yönlü spiral merdane	0,057-0,169	15-19
Jet havalandırma		
Yan başlıklı	1,528-8,490	15-24
Gözeneksiz difüzörler		
Çift taraflı spiral merdane	0,093-0,283	12-13
Orta genişlik	0,0283-5,348	10-13
Tek taraflı spiral merdane	0,283-0,991	9-12

^abirim: m³/m² difüzör.dak

4.5.2. Üfleyiciler (Blower)

Yaygın kullanılan üfleyici tipleri: santrifüj üfleyiciler, pozitif yer değiştirmeli üfleyiciler, santrifüj türbinleridir. Santrifüj tipliler 85 m³/dak nın üstündeki birim kapasitelerde kullanılırlar. Deşarj basıncı 48-62 kN/m² arasındadır.

Atıksu arıtımında üfleyiciler geniş hava debisi ve düşük basınç aralığında ve farklı çevre şartlarında çalışabilmelidir. Üfleyiciler genellikle belirli işletme şartlarında çalışırlar. Atıksu arıtma tesisinde geniş bir hava debisi ve basınç aralığı gerekebileceğinden üfleyicilerin işletme şartlarındaki değişikliğe ve yeni düzenlemeye uygun olduğu konusunda üreticiden onay alınmalıdır. Değişiklik ve düzenleme yöntemleri şöyle sıralanabilir:

Santrifüj üfleyicilerin işletme özellikleri düşük devirli santrifüj pompalara benzer. Basma basıncı kapatma anında kapasitesinin %50'sinde maksimuma yükselir ve sonra düşer. Üfleyicinin işletme noktası santrifüj pompalar gibi basma yüksekliği kapasite eğrisi ile sistem eğrisinin kesişme noktasıdır. Üfleyici özellikleri standart hava şartlarına göre verilir (20°C,

760 mm cıva basıncı ve %36 nispi nem oranı). Standart havanın özgül ağırlığı 1,2 kg/m³ dür. Havanın yoğunluğu santrifüj üfleyicinin performansını etkiler, giriş hava sıcaklığı veya barometrik basınçtaki değişiklik, sıkıştırılmış havanın yoğunluğunu değiştirecektir. Gazın yoğunluğu ne kadar yüksek olursa basınç da o kadar yüksek olur, bunun sonucu olarak sıkıştırma için daha fazla enerji gerekir. Üfleyici seçimi, sıcak yaz günlerinde yeterli kapasiteyi sağlayacak, soğuk kış günlerinde ise yeterli gücü sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Adyabatik sıkıştırma için enerji gereksinimi (4.31) de verilmiştir.

$$P_w = \frac{wRT_1}{29.7ne} \left[\frac{(p_2)^{0.283}}{p_1} - 1 \right] \quad (4.31)$$

Burada:

- P_w : her bir üfleyici için enerji gereksinimi, kW,
- w : akan havanın ağırlığı, kg/sn,
- R : havanın ideal gaz sabiti, 8,314 kJ/k mol °K,
- T_1 : giriş sıcaklığı, °K,
- p_1 : giriş basıncı, atm,
- p_2 : çıkış basıncı, atm,
- n : hava için $(k-1)/k = 0,283$
- k : hava için 1,395,
- e : verim (sıkıştırma için 0,70-0,90)

Basma basıncı 55 kN/m²'nin üstünde ve serbest hava birim üniteye 85 m³/ dak'nın altında ise pozitif yer değiştirmeli üfleyiciler kullanılır. Pozitif yer değiştirmeli üfleyiciler su seviyesinde önemli değişiklikler beklendiğinde de kullanılırlar. Bunlar sabit kapasitede değişken basınçta çalışır.

4.5.3. Mekanik Havalandırıcılar

Mekanik havalandırıcılar yatay milli ve düşey milli olmak üzere iki grupta toplanır. Her iki grup kendi aralarında tekrar yüzeysel ve batmış havalandırıcılar olarak iki gruba ayrılır. Yüzey ve batmış havalandırıcılarda oksijen atmosferden alınır, fakat bazı batmış tiplerde hava veya saf oksijen tanka dipten verilir. Her iki durumda da pompalama ve havalandırma hareketi karışımı sağlar.

4.5.3.1. Düşey Milli Yüzey Havalandırıcılar

Yüzer ya da sabit motora tutturulmuş batmış veya kısmen batmış pervaneden oluşmuştur. Yüzeysel havalandırıcılar pervane tipine bağlı olarak (santrifüj, dönel) veya pervanenin dönüş hızına (düşük hızlı, yüksek hızlı) bağlı olarak sınıflandırılabilir. Santrifüj tipleri aynı zamanda düşük hızlı kategorisine girer. Dönel akış tipleri ise yüksek hızda çalışır. Düşük hızlı havalandırıcılarda pervane elektrik motoruna bağlı devir düşürücü ile çalışır. Motor ve dişli kutusu platforma veya yüzen kısma monte edilir. Yüksek hızlı havalandırıcılarda pervane motorun döner parçasına tutturulur ve mutlaka yüzen kısma monte edilirler. Bu sistemler su yüzeyi değişiminin çok değişken olduğu veya sabit bir yerin uygun olmadığı gölet ve lagünlerde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Yüzeysel havalandırıcıların gücü 0,75-100 kW aralığındadır.

4.5.3.2. Düşey Milli Batmış Havalandırıcılar

Mekanik havalandırıcıların çoğu oksijen transferini sağlamak üzere su yüzeyini hava ile şiddetli karıştırma prensibine dayanır. Batmış mekanik havalandırıcılarda pervanenin altından hava veya saf oksijen de verilebilir. Pervane hava kabarcıklarını dağıtır ve tankı içeriğinin karışmasını sağlar. Batmış mekanik havalandırıcıların gücü 0,75-100 kW aralığındadır.

4.5.3.3. Yatay Milli Döner Mekanik Havalandırıcılar

Yatay milli mekanik havalandırıcılar yüzeyde ve batmış olmak üzere iki grupta toplanır. Fırça tipli havalandırıcılar, su seviyesinin tam üstünde olacak şekilde fırçalı (çelik fırçalı, plastik çubuklu veya bıçaklı) yatay bir silindirden ibarettir. Çalışma sırasında motora bağlı silindir hızla dönerken suyu tank boyunca spreyley ve atık suyun içine hava alır. Oksidasyon hendeklerinde kullanılır.

Batmış Yatay milli mekanik havalandırıcılar prensip olarak yüzeysel tiplere benzer. Ancak farklı olarak batmış tiplerde, döner şafta tutturulmuş pedal veya diskler vardır. Disklerin, çapın 1/8- 3/8 i kadarı suya batmıştır ve sürekli şekilde suya girerler. Disklerin durması, disk döndüğünde su yüzeyinin altında hava sıkışmasına yol açar. Disklerin yerleştirilmeleri oksijen ve karışma gereksinimine bağlı olarak değişir. Tipik enerji gereksinimi 0,1-0,75 kW/disk'tir.

4.5.3.4. Havalandırıcı Performansı

Mekanik havalandırıcılar standart şartlarda $\text{kgO}_2/\text{kW-h}$ olarak belirtilen oksijen transfer hızına göre değerlendirilirler. Standart şartlar, 20°C sıcaklık, 0,0 mg/l çözünmüş oksijen (Ç.O), ve test suyu çeşme suyu durumudur. Test ve değerlendirme kararsız-durumda oksijeni sodyum sülfite ile giderilmiş temiz su ile yapılır. Ticari boyutlu yüzey havalandırıcıların verimi 1,2-2,4 $\text{kgO}_2/\text{kW-h}$ aralığındadır. Çeşitli mekanik havalandırıcıların oksijen transfer değerleri Tablo 4.17 de verilmiştir. Üretici firma tarafından havalandırıcı performansı olarak verilen verim değerleri, söz konusu havalandırıcının gerçek model ve boyutunda yapılan test sonuçları ile doğrulandığında kabul edilmelidir. Tasarımda ise standart performans verileri, arazi şartlarına uyarlanmalıdır. Bu uyarılama aşağıda verilen (4.32) bağıntısı ile sağlanır. Parantez içindeki terim düzeltme faktörüdür.

$$N = N_o \left(\frac{\beta C_{Walt} - C_L}{C_{S20}} \right) 1.024^{T-20} \alpha \quad (4.32)$$

Burada:

- N : arazi şartlarında transfer edilen $\text{kgO}_2/\text{kW-h}$,
- N_o : 20°C, Ç.O.=0, şartlarındaki suda transfer edilen $\text{kgO}_2/\text{kW-h}$,
- β : tuzluluk yüzey gerilimi düzeltme faktörü, genellikle 1,
- C_{Walt} : verilen sıcaklık ve rakımda çeşme suyunun oksijen doygunluk konsantrasyonu, mg/l,
- C_{S20} : çeşme suyunun 20°C de oksijen doygunluk konsantrasyonu, mg/l,
- C_L : gerçek işletme halinde oksijen konsantrasyonu, mg/l,
- T : sıcaklık, °C,
- α : atıksu için oksijen transferi düzeltme faktörü (Tablo 4.18)

Tablo 4.17. Çeşitli mekanik havalandırıcılar için oksijen transfer değerleri (1).

Havalandırıcı tipi	Transfer hızı	
	Kg O ₂ /kW-h	
	Standart ^a	Arazi ^b
Yüzey, düşük-hızlı	1,22-3,04	0,73-1,46
Yüzey düşük-hızlı, tüplü	1,22-2,80	0,73-1,28
Yüzey, yüksek-hızlı	1,22-2,19	0,73-1,22
Yüzey, aşağı doğru türbinli	1,22-2,43	0,61-1,22
Batmış türbin, serpme cihazlı	1,22-2,01	0,73-1,09
Batmış pervaneli	1,22-2,43	0,73-1,09
Yüzey, fırça ve bıçaklı	0,91-2,19	0,49-1,09

^a standart şartlar, musluk suyu ,20°C sıcaklık, 101,3 kN/m² basınç, Ç.O.=0,0 mg/l.

^b Arazi şartları, atıksu, 15°C sıcaklık, 152,4m yükseklik, $\alpha = 0,85$, $\beta = 0,9$, işletme Ç.O =2mg/l.

Tablo 4.18.Düşük hızlı yüzeysel havalandırıcılarda bazı atıksular için tipik α değerleri (1).

Atıksu	BOI ₅ , mg/l		α faktörü ^a	
	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
Evsel atıksu	180	3	0,82	0,98
Kağıt ve kağıt hamuru	187	50	0,68	0,77
Ambalaj kağıdı	150-300	37-48	0,48-0,68	0,7-1,1
Ağartılmış kağıt	250	30	0,83-1,98	0,86-1,0
İlaç üretimi	4,500	380	1,65-2,15	0,75-0,83
Sentetik elyaf üretimi	5,400	585	1,88-3,25	1,04-2,65

^aSon araştırmalar α değerinin daha düşük ve değişken olabileceğini göstermiştir.

4.5.4. Karıştırma İçin Enerji İhtiyacı

Etkin bir karıştırma için havalandırma tankı şekil ve boyutu çok önemlidir. Havalandırma tankları kare veya dikdörtgen planlı olabilir. Havalandırma tankında birden fazla havalandırıcı bulunabilir. Mekanik yüzey havalandırıcıları durumunda havalandırma tankının derinlik ve genişliği havalandırıcı boyutuna bağlıdır (tipik değerler Tablo 4.19 da verilmiştir). Batmış tip karıştırıcılar için derinlik 10,7 m'ye kadar çıkabilir.

Tablo 4.19. Mekanik yüzey havalandırıcılar için tipik tank boyutları

Havalandırıcı gücü, kW	Tank boyutu, m	
	Derinlik	Genişlik
7,5	3,0-3,7	9,1-12,2
14,9	3,7-4,3	10,7-15,2
22,4	4,0-4,6	12,2-18,3
29,8	3,7-5,2	13,7-19,8
37,2	4,6-5,5	13,7-22,9
55,9	4,6-6,1	15,2-25,9
74,6	4,6-6,1	18,3-27,4

Büyük kabarcıklı difüzörlü havalandırma sistemlerde yeterli karışımın da garantili olabilmesi için, hava gereksinimi, 1 m³ tank hacmi için 20-30 L/dak. (spiral döner havalandırma düzeneği için), ince kabarcıklılar için 7-10 L/dak. dır (10). Difüzörlerin havalandırma tankının dibine üniform olarak dizildiği havalandırma sistemlerinde havalandırma hızı 1 m³ tank hacmi için 10-15 L/dak. olarak önerilmektedir. Mekanik havalandırıcılarla tam karışımın sağlanabilmesi için enerji gereksinimi havalandırıcı tasarımı ve tank şekline bağlı olarak 19-39 W/ m³ aralığındadır. Evsel atıksular için havalandırılmalı lagün tasarımında karıştırma için gerekli enerji ihtiyacının kontrol edilmesi çok önemlidir çünkü çoğu durumda belirleyici faktördür.

KAYNAKLAR

- (1) Metcalf & Eddy, 2000, Wastewater Engineering, Treatment Disposal Reuse,. McGraw-Hill International Editions.
- (2) Syed R. Kasim, 1985, Wastewater Treatment Plants, Treatment, Design, and Operation, CBS Publishing Japan Ltd.
- (3) Environmental Protection Agency, EPA, 2003, Wastewater Technology Fact Sheet, Screening and Grit Removal, 832-F-03-011.
- (4) W.Wesley Eckenfelder,Jr. 1989, Industrial Water Pollution Control, ,McGraw-Hill International Editions.
- (5) Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers, 1991, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants. Manual of Practice No.8, Chapter 10.
- (6) Water Environment Federation, 1996, Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants, Manual of Practice No. 11, Chapter 19.
- (7) Biwater Industries & Services, 1993, Water Industries Manual. Walker & Connell Ltd.
- (8) Pont-a-Mousson, 1992, A Comprehensive Ductile Iron Pipeline System.
- (9) Environmental Dynamics inc., 2003, Energy Consumption and Typical Performance of Various Types of Aeration Equipment,
- (10) USPA., (1989), Design Manual- Fine Pore Aeration Systems, Center for Environmental Research, Cincinnati, Ohio.

5. BİYOLOJİK ARITMA

Hızlı nüfus artışı ve endüstrileşme sonucunda oluşan atıksular doğanın özümleyebileceği miktarı aşmış ve alıcı ortamları kirlenme tehlikesi ile karşı karşıya bırakmıştır. Doğadaki ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkileyebilecek ve diğer faydalı kullanımlarını engelleyecek bu durumun önüne geçebilmek için atıksuları uzaklaştırmadan önce arıtma zorunluluğu doğmuştur. Atıksuların özellikleri kaynaklarına bağlı olarak önemli farklılıklar gösterir ve bu farklılıklara göre arıtma yöntemleri de değişir. Atıksuların genellikle %99'undan daha yüksek bir kısmı su ve yalnız geri kalan kısmı kirleticilerden oluşmaktadır. Kirleticiler suyun içinde çözünmüş halde bulunabilecekleri gibi, katı madde olarak askıda da bulunabilirler. Bu maddelerin özelliklerine göre uzaklaştırılmaları için kullanılacak arıtma yöntemi de değişir. Örnek olarak organik kirleticilerin uzaklaştırılması için en etkin yöntemin “biyolojik arıtma” olduğu söylenebilir. Biyolojik arıtma atıksuyun içinde bulunan askıda veya çözünmüş organik maddelerin bakterilerce parçalanması ve çökebilen biyolojik floklarla sıvının içinde kalan veya gaz olarak atmosfere kaçan sabit inorganik bileşiklere dönüşmesidir. Biyolojik arıtmanın esasları organik kirleticilerin doğada yok edilmeleri için yer alan biyoflokülasyon ve mineralizasyon proseslerinin kontrolü ile çevrede ve optimum şartlarda tekrarlanmasıdır. Böylece doğadaki reaksiyonların hızlandırılarak daha kısa bir sürede, emniyetli ortamda gerçekleştirilmeleri sağlanmaktadır.

Biyolojik arıtma sistemleri değişik şekillerde sınıflandırılabilirler. Ortamda oksijen varlığına göre havalı (aerobik) ve havasız (anaerobik) olarak sınıflandırılan bu sistemler kullanılan mikroorganizmaların sistemdeki durumuna göre askıda ve sabit film (biyofilm) prosesleri olarak da sınıflandırılabilirler.

5.1 Biyolojik Arıtma Sistemleri

Atıksu arıtımında biyolojik arıtımın fonksiyonu ve mikroorganizmaların rolü bu bölümde verilecektir.

5.1.1 Biyolojik Arıtmanın Amacı

Biyolojik arıtmanın amacı, atıksudaki çökelmeyen kolloidal katıları pıhtılaştırarak gidermek ve organik maddeleri kararlı hale getirmektir. Evsel atıksu arıtımında organik madde içeriğinin yanı sıra azot ve fosfor gibi besin maddeleri de biyolojik arıtımda giderilir. Çoğu kez durumda toksik olabilecek eser (iz) miktardaki organik maddeleri gidermek de önemlidir. Tarım alanlarından geri dönen sularda önemli olan azot ve fosforun arıtılması kritik önem taşır. Endüstriyel atıksular için, organik ve inorganik bileşiklerin arıtımı önemlidir. Bu bileşiklerden çoğu mikroorganizmalar üzerinde toksik etki yaptıkları için genellikle özel zaman ön arıtma gerekebilir.

5.1.2 Biyolojik Arıtmada Mikroorganizmaların Rolü

Atıksudaki BOİ'nin giderimi, çökmeyen kolloidal katıların pıhtılaştırılması ve organik maddelerin kararlı hale gelmesi, başta bakteriler olmak üzere çeşitli mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Mikroorganizmalar, kolloidal ve çözünmüş karbonlu organik maddeleri çeşitli gazlara ve yeni hücrelere dönüştürerek kullanırlar. Hücre dokusunun özgül ağırlığı sudan daha fazla olduğundan arıtılmış sudan çökerek ayrılır. Bu

mikroorganizmaları ortamdan ayırmadıkça arıtım tamamlanmış olmaz. Mikroorganizmalar organik yapıda olduklarından atıksuda BOI veya KOI cinsinden ölçülürler ve suya bir miktar kirlilik verirler.

5.2 Mikrobiyolojik Metabolizmanın Tanımı

Biyolojik arıtma sistemlerinin tasarımında ve sistem seçiminde, mikroorganizmaların biyokimyasal aktivitelerinin iyi anlaşılması gerçekleştirir. Bu bölümde iki önemli konudan bahsedilecektir. Bunlar, atıksu arıtımında karşılaşılan mikroorganizmaların besin maddesi ihtiyacı ve moleküler oksijen ihtiyacına dayalı mikrobiyal metabolizmaların yapısıdır.

5.2.1 Mikroorganizma Çoğalmasında Besin Maddesi İhtiyacı

Mikroorganizmalar, üremelerini ve diğer hayati fonksiyonlarını devam ettirmek için,

- enerji kaynağına,
- yeni hücre sentezi için karbona,
- azot, fosfor, sülfür, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi inorganik elementlere

ihtiyaç duyarlar. Organik besin maddeleri de hücre sentezi için gereklidir. Mikrobiyal faaliyetler için gerekli karbon ve enerji kaynaklarına substrat adı verilir.

5.2.2 Karbon ve Enerji Kaynakları

Mikroorganizmalar için en önemli karbon kaynakları organik madde ve karbondioksittir. Hücre dokusu oluşturmada organik karbon kullanan organizmalar *heterotrof*, yalnızca karbondioksit kullanan organizmalar ise *ototrof* olarak adlandırılırlar. Karbondioksitin organik hücre dokusuna dönüşümü, enerji girdisi gerektiren bir indirgeyici prostestir. Bu nedenle Ototrofik organizmalar, hücre sentezi için Heterotrof'lardan daha çok enerji harcadıklarından daha düşük büyüme hızına sahiptirler.

Hücre sentezinde gereken enerji ışık veya kimyasal oksidasyon ile sağlanır. Işık enerji kaynağı olarak kullanan bu organizmalar, *fototrof* olarak adlandırılırlar. Fototrofik organizmalar, heterotrofik (bazı sülfür bakterileri) veya ototrofik (alg ve fotosentetik bakteri) olabilirler.

Enerjilerini kimyasal reaksiyonlardan karşılayan organizmalar, *kemotrof* olarak bilinirler. Fototrof ve kemotroflar, heterotrof (protozoa, fungi ve bakterilerin çoğu) veya ototrofik (nitrifikasyon bakterisi) olabilirler.

Kemototrof'lar, indirgenmiş amonyak, nitrit ve sülfid gibi inorganik bileşiklerin oksidasyonundan oluşan enerjiyi kullanırlar. Kemoheterotrof'lar ise organik bileşiklerin oksidasyonu sonucu açığa çıkan enerjiyi kullanırlar. Mikroorganizmaların sınıflandırılması aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 5.1. Enerji ve karbon kaynaklarına göre mikroorganizmaların genel sınıflandırılması (1).

Sınıflandırma	Enerji kaynağı	Karbon kaynağı
Autotrophic: Fotoototrofik	Işık	CO ₂
Kemoototrofik	İnorganik yükseltgeme-indirgeme reaksiyonu	CO ₂
Heterotrofik: Kemoheterotrofik	Organik yükseltgeme-indirgeme reaksiyonu	Organik karbon
Fotoheterotrofik	Işık	Organik karbon

5.2.3 Nütrient ve İz Element İhtiyacı

Besi maddeleri, karbon ve enerji kaynağı olmaktan ziyade hücre sentezi ve büyümesinde kısıtlayıcı rol oynarlar. Mikroorganizmanın ihtiyaç duyduğu başlıca inorganik besi maddeleri; N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na ve Cl'dur. İkinci derece önemli besi maddeleri ise; Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, Ni, V ve W'dir.

İnorganik besi maddelerine ilave olarak bazı organizmalar için organik besi maddeleri de gerekebilmektedir. Büyüme faktörü olarak bilinen bu organik besi maddeleri, organizmaların ihtiyacı olan ve yalnızca hücre sentezinde kurucu olan maddelerdir. Büyüme faktörü bir organizmadan diğerine farklılık gösterse de temel büyüme faktörleri üç temel grupta sınıflandırılabilirler:

- aminoasitler
- purinler ve pirimidinler
- vitaminlerdir.

5.3 Biyolojik Arıtmada Önemli Mikroorganizmalar

Hücre yapıları ve fonksiyonları dikkate alınırsa mikroorganizmalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar:

- Eucaryotes
- Eubacteria
- Archaeobacteria

Prokaryotik grup (eubacteria ve archaeobacteria) arıtmada birincil derecede önemli olup kısaca bakteri olarak bahsedilir. Ökaryotik grup bitki, hayvan ve protistleri içerir.

5.3.1 Bakteri

Bakteriler tek hücreli prokaryotic organizmalardır. Atıksu arıtma ünitelerinde oldukça yaygın olarak bulunurlar ve karbon, azot, fosfor ve kükürt bileşiklerinin giderilmesinde kullanılırlar. Bakteri hücrelerinin büyüklükleri 0,5-3 μm (10^{-6}) aralığındadır ve şekillerine göre değişik isimler alırlar.

5.3.2 Bakterilerin Hücre Kompozisyonu

Bakterilerin incelenmesi sonucu %80'inin su ve %20'sinin kuru maddeden meydana geldiği bulunmuştur. Kuru maddenin de %90'ı organik ve %10'u inorganiktir. Bakteri hücresinin bileşiminin tipik değerleri Tablo 5.2 de verilmektedir.

Tablo 5.2. Tipik bir bakteri hücresi bileşimi (1).

Elementler	Kuru madde yüzdesi	
	Aralık	Tipik değerler
Karbon	45-55	50
Oksijen	16-22	20
Azot	12-16	14
Hidrojen	7-10	8
Fosfor	1-5	3
Sülfür	0,8-1,5	1
Potasyum	0,8-1,5	1
Sodyum	0,5-2	1
Kalsiyum	0,4-0,7	0,5
Magnezyum	0,4-0,7	0,5
Klorür	0,4-0,7	0,5
Demir	0,1-0,4	0,2
Diğerleri	0,2-0,5	0,3

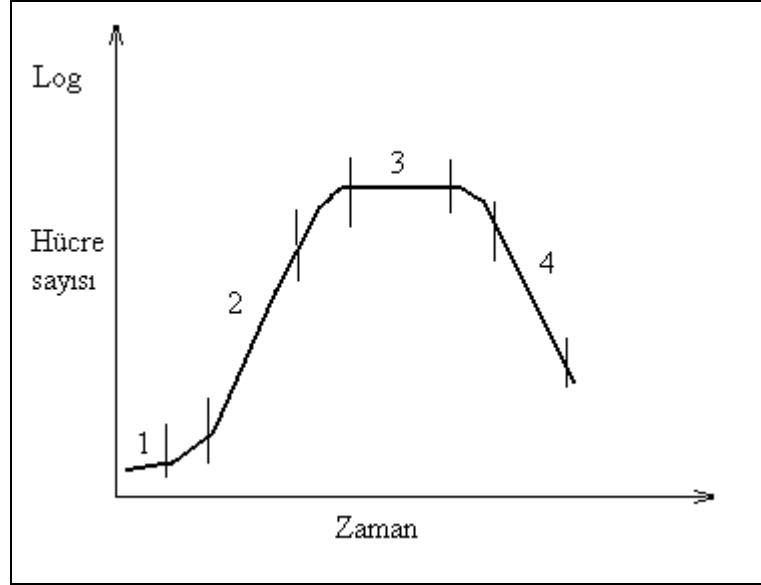
5.4 Bakteri Büyümesi

Organizmalar, büyüme ortamına konduklarında ortamdaki besi maddelerini (C, N, O, H, P, S, mineral vd.) kullanarak büyürler. Kesikli beslenen reaktörde büyümede hemen hemen dört dönem gözlenir.

1. Adaptasyon dönemi (lag fazı): organizmaların yeni ortama uyum için geçirdikleri bekleme dönemidir. Bu dönemde, besi ortamının bileşimine ve şartlara göre organizmaların iç yapısında bazı değişiklikler olur. Organizmaların yeni çevreye uymaları ve daha sonra bölünmeleri için belli bir zaman gerekecektir.
2. Logaritmik büyüme dönemi: Ortama adapte olan organizmalar, bu dönemde maksimum hızla büyürler. Bu döneme kararlı büyüme dönemi de denir.
3. Kararlı büyüme dönemi: Bu dönemde hücre konsantrasyonu sabit kalır. Net büyüme hızının sıfır olduğu bu dönemde, büyüme hızı ölüm hızına eşittir. Net büyüme sıfır olmakla birlikte, hücreler metabolik olarak aktiftirler ve ikincil

ürünleri üretirler. Bu dönemde hücreler, ortamda büyüme için gerekli olabilecek substrat ve besin maddelerini tüketmişlerdir.

4. Ölüm dönemi: Bu dönemde bakteri ölüm hızı yeni hücre üreme hızının üzerindedir ve hücre konsantrasyonu zamanla düşer. Ölüm hızı çevre şartları ve canlı popülasyonun fonksiyonudur.



Şekil 5.1. Bakteri büyüme eğrisi (1.alıştırma fazı, 2. büyüme fazı, 3. durgun faz, 4. ölüm fazı) (1) .

5.5 Biyolojik Büyüme Kinetiği

Mikroorganizmaların büyümesi için uygun çevresel şartlar, pH ve sıcaklık kontrolü, besin maddesi ve eser element ilavesi, oksijen ilavesi veya ortamdan uzaklaştırılması ve uygun karıştırma. Bu çevre şartlarının kontrolü, mikroorganizmaların büyümesi için gerekli uygun çevre ortamını sağlar.

5.5.1 Hücre Büyümesi

Kesikli ve sürekli beslenen sistemlerde bakteri hücresi büyüme hızı aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$r_g = \mu X \quad (5.1)$$

r_g = bakteri büyüme hızı, kütle/hacim.zaman

μ = Birim zamanda özgül çoğalma hızı katsayısı, zaman⁻¹

X = mikroorganizma konsantrasyonu, kütle/hacim.

Kesikli beslenen arıtma sisteminde, bakteri büyüme hızı, $dX/dt = r_g$ olduğundan bu tür reaktörler için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (5.2)$$

5.5.2 Substrat Limitli (kısıtlı) Büyüme

Kesikli sistemlerde büyüme için gerekli, substrat veya besi maddesinden yalnızca birisinin limitli olması durumunda önce konsantrasyon düşer ve büyüme durur. Sürekli beslemeli sistemlerde, büyüme limitlidir. Deneysel olarak limitli substrat veya besi maddesinin etkisi aşağıdaki Monod eşitliği ile belirlenir.

$$\mu = \mu_{\max} \left[\frac{S}{K_s + S} \right] \quad (5.3)$$

Burada,

μ = Birim zamanda özgül büyüme hızı, zaman⁻¹

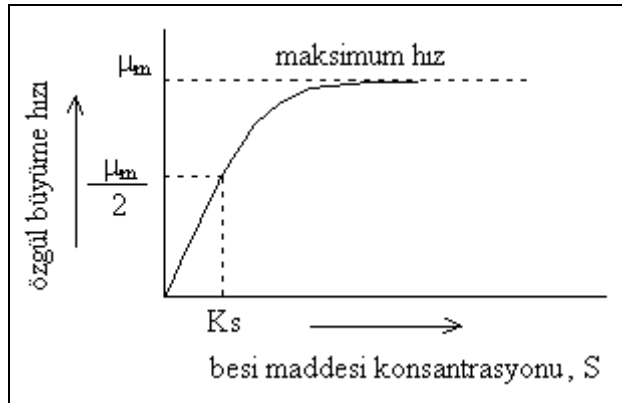
S = Substrat konsantrasyonu, kütle/hacim

$K_s = (\mu = \mu_{\max}/2)$ iken substrat konsantrasyonu (yarı hız sabiti), kütle/hacim

$\mu_{\max}$ = Substrat sınırlı değilken, verilen şartlarda maksimum μ değeri

Substrat konsantrasyonunun özgül büyüme hızına etkisi şekil 5.2 de verilmektedir. μ değeri eşitlik 5.1 deki yerine konulacak olursa, büyüme hızı aşağıdaki gibi olur.

$$r_g = \frac{\mu_m X S}{K_s + S} \quad (5.4)$$



Şekil 5.2. Besi maddesinin büyüme hızına etkisi.

5.5.3 Hücre Büyümesi ve Substrat Kullanımı

Biyolojik oksidasyon proseslerinde BOI giderim mekanizmasının açıklamasında birkaç matematik model önerilmiştir. Ancak bütün modellerin gösterdiği ortak bir sonuç vardır. Yüksek BOI konsantrasyonlarında birim hücrenin giderdiği BOI giderim hızı sabit kalmaktadır. Bu durumda hız konsantrasyona bağlı olup düşecektir.

Ortamda tek bir substrat varsa reaksiyon hızı sıfırıncı derece olup son derece düşük seviyelere kadar substrat artırılır. Birden fazla substrat olması durumunda substratlar farklı hızlarda ortamdan arıtılırlar. Substatlardan bir tanesi tamamen ortamdan giderilene kadar sabit maksimum giderim hızı hakim olacaktır. Diğer substratlar sırayla giderildikçe, toplam reaksiyon hızı düşecektir.

Kesikli ve sürekli sistemlerde, substratın bir kısmı yeni hücrelere dönüştürülürken, bir kısmı da inorganik ve organik son ürünlere oksitlenir. Substrat kullanım hızı ile hücre büyüme hızı arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle verilebilir;

$$r_g = -Y r_{su} \quad (5.5)$$

Burada,

r_g = bakteri büyüme hızı, kütle/hacim.zaman

Y = maksimum verim (biyokitle dönüşüm) katsayısı, kütle/kütle

r_{su} = substrat kullanım hızı, kütle/hacim.zaman

Laboratuar çalışmaları sonucunda, ürünün

- karbon ve besi elementinin oksidasyonuna,
- substrat polimerizasyon derecesine,
- metabolizma safhalarına,
- büyüme hızına ve
- bu mekanizmanın çeşitli fiziksel parametrelerine

bağlı olduğu bulunmuştur.

$$r_{su} = - \frac{\mu_m X S}{Y(K_s + S)} \quad (5.6)$$

Yukarıdaki bağıntıda (μ_{max}/Y) teriminin yerine aşağıda verilen k terimi konulabilir. Bu yeni terim, birim zamanda maksimum substrat kullanımını ifade eder. Tipik olarak $BOI\mu$ ($\approx KOI$) esasına göre $k=8 \text{ gün}^{-1}$ dir.

$$r_{su} = - \frac{k X S}{K_s + S} \quad (5.7)$$

Arıtma kinetikleri, K_s ve S 'nin göreceli değerlerinden etkilenirler. Eşitlikte iki sınır şartı belirlenebilir:

1. $S \gg K_s$ için,

$$r_{su} \cong k.X \quad (5.8)$$

Bu durumda giderim, substrat konsantrasyonundan bağımsızdır ve giderim hızı, sistemdeki mevcut biyokitle konsantrasyonuna bağlıdır.

2. $S \ll K_s$ için,

$$r_{su} \cong k.X (S/K_s) \cong k^1 X S \quad (5.9)$$

Burada,

$$k^1 = k / K_s = \text{Özgöl substrat kullanım hızı, (mg/l)}^{-1} (\text{t})^{-1}$$

5.5.4 İçsel Solunum Metabolizmasının Etkileri

Atıksu arıtımında kullanılan biyolojik sistemlerde, hücre yaşı dağılımında, mikroorganizmalar hep büyüme fazında değildirler. Büyüme hızı, hücre için gerekli enerjinin hesaplanmasında kullanılır. Ölüm gibi diğer faktörlerde, hesaplamalarda dikkate alınmalıdır. Genellikle bu faktörlerin hepsi göz önüne alınır ve hücre kütlesindeki azalmanın ortamdaki mevcut organizma konsantrasyonu ile orantılı olduğu düşünülür. Literatürde bu azalma içsel solunum olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi formüle edilir;

$$r_d (\text{içsel solunum}) = - k_d X \quad (5.10)$$

Burada,

k_d = Birim zamanda içsel solunum hızı katsayısı. Gözlemlenen tipik k_d değerleri 0,07-0,1 gün^{-1} dür.

X = mikroorganizma konsantrasyonu, kütle/hacim

Bakteri büyüme hızı, r_g ile r_d (eşitlik 5.4 ve 5.5) birleştirilirse, aşağıdaki net büyüme hızı elde edilir;

$$r_g^1 = \frac{\mu_m X S}{K_s + S} - k_d X \quad (5.11)$$

$$r_g^1 = - Y r_{su} - k_d X \quad (5.12)$$

$$r_g^1 = \text{net bakteri büyüme hızı, kütle/hacim.zaman}$$

Özgöl net büyüme hızı aşağıdaki gibidir;

$$\mu^1 = \mu_m \frac{S}{K_s + S} - k_d \quad (5.13)$$

$$\mu^1 = \text{net özgöl büyüme hızı, zaman}^{-1}$$

İçsel solunumun, gözlenen verime etkisi aşağıdaki gibidir;

$$Y_{göz} = \frac{r_g'}{r_{su}} \quad (5.14)$$

Tablo 5.3. Atıksuların arıtımında kullanılan tipik kinetik katsayı değerleri (3).

Atık	Kaynak	verim	K _d	μ _{max} (gün ⁻¹)	K _s (mg/l)	k (gün ⁻¹)	k ¹
Evsel	BOİu	0,57	0,052	0,67	54	-	0,0234
Evsel	KOI	0,4	0,09	≈3,2	60	8	-
Evsel	BOİ ₅	0,37	0,098	-	45	8,35	-
Evsel*	BOİ ₅	0,73	0,075	-	-	-	0,017-0,03
Petrokimyasal	BOİ ₅	0,31-0,72	0,05-0,18	-	-	-	0,003-0,012

*Giren atıksudaki askıda katılar da dahildir.

5.5.5 Çevre Koşullarının Biyolojik Reaksiyona Etkisi

Çevre koşullarının (sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, çözünmüş karbondioksit, redox potansiyeli, toksisite vb.) organizmalar üzerine etkileri önemlidir. Mikroorganizmaların metabolizmaları (özellikle büyüme faaliyetleri) kendilerini çevreleyen fiziksel ortamın özelliklerine geniş ölçüde bağlıdır.

5.5.5.1 Sıcaklığın etkisi

Mikroorganizmaların metabolizma ile ilgili faaliyetlerinin tümü kimyasal reaksiyonlara dayanmaktadır. Kimyasal tepkimeler gibi, mikroorganizmaların meydana getirdiği tepkimeler de sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık yalnız metabolik aktiviteleri etkilemekle kalmaz biyolojik çamurun çökme özelliği, gaz transfer hızı gibi faktörleri de etkiler. Biyolojik proseslerin reaksiyon hızı üzerindeki sıcaklık etkisi aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$r_T = r_{20} \theta^{(T-20)} \quad (5.15)$$

Burada;

r_T = T°C deki reaksiyon hızı,
 r_{20} = 20°C'deki reaksiyon hızı,
 θ = sıcaklık aktivite katsayısı
 T = sıcaklık, °C

Biyolojik prosesler için θ değeri Tablo 5.4 ve 5.5'de verilmiştir.

Tablo 5.4. Çeşitli biyolojik sistemler için sıcaklık aktivite katsayıları (1).

Sistemler	θ değeri	
	Aralık	Tipik
Aktif çamur	1,00-1,04	1,02
Havalandırılmalı lagün	1,06-1,12	1,08
Damlatılmalı filtre	1,02-1,14	1,08

Tablo 5.5. Evsel ve Endüstriyel atıksular için sıcaklık aktivite katsayıları (3).

Sistem ve atıksular	θ değeri
Aktif çamur (evsel atıksu)	
> 0,6 kg BOI/kg MLSS	1,0-1,01
< 0,6 kg BOI/kg MLSS	1,01-1,04
Aktif çamur (çözünmüş endüstriyel atık arıtımı)	1,04-1,10
Havalandırılmalı lagünler, stabilizasyon havuzları	
Evsel atıksu	1,035
Endüstriyel atıksu	1,035-1,10

Sıcaklık aralıklarına göre organizmalar üç gruba ayrılırlar:

Psikofilik; düşük sıcaklıkta ($T < 20^{\circ}\text{C}$) büyürler.

Mesofilik; orta sıcaklıkta ($20^{\circ}\text{C} < T < 50^{\circ}\text{C}$) büyürler.

Termofilik; yüksek sıcaklıkta ($T > 50^{\circ}\text{C}$) büyürler.

5.5.5.2 pH

Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), organizmaların aktivitelerini ve büyümelerini önemli ölçüde etkiler. Bu özellik hidrojen iyonunun enzim faaliyetine etkisi ile açıklanabilmektedir. Her organizmanın maksimum aktivite gösterdiği bir optimum pH aralığı vardır. Genellikle bakteriler $\text{pH} = 3-8$, mantarlar $\text{pH}=3-6$, küfler $\text{pH}= 3-7$, bitki hücreleri $\text{pH}=6,5-7,5$, arasında optimum aktivite gösterirler. Organizmaların aktivitelerini maksimize edebilmek için ortamın $\text{pH}'ı$ asit/baz ilavesi ile kontrol edilebilir.

Ortamın $\text{pH}'ı$ aynı zamanda organizmaların aktiviteleri ile de değişir. Örneğin amonyum (NH_4^+) azot kaynağı olarak kullanıldığında ortama H^+ verildiğinden pH düşer. Çünkü nitrifikasyon sırasında NH_4^+ iyonları NO_3^- 'e dönüşerek ortama H^+ iyonları vermektedir. Nitrat iyonları (NO_3^-) azot kaynağı olarak kullanıldığında ise denitrifikasyon oluşur. Burada NO_3^- , N_2 gazına dönüştüğü için ortamdan H^+ uzaklaşır ve pH yükselir.

5.5.5.3 Çözünmüş Oksijen

Çözünmüş oksijen (ÇO), havalı arıtma sistemlerinde önemli bir parametredir. Suda çözünürlüğü az olan (ÇO =7-8 mg/l, 25°C , 1 atm.) oksijenin sürekli sağlanması ve oksijen sınırlamasının önüne geçilebilmesi için oksijen transfer hızının oksijen kullanma hızından daha büyük olması gerekir. Kritik oksijen konsantrasyonu, bakteri ve mantarlar için

doymunluk konsantrasyonunun %5-10'u arasındadır (1-2 mg/l), küfler için ise doymunluk konsantrasyonunun %10-50'si arasındadır (1-5 mg/l). Ortamda oksijen sınırlamasını gidermek için saf oksijen kullanılabileceği gibi, sistem yüksek basınç altında (2-3 atm) da çalıştırılabilir.

5.5.5.4 Çözünmüş Karbondioksit

Çözünmüş karbondioksit (CCO_2) de organizmaların aktivitelerini etkiler. Yüksek konsantrasyonları toksik, düşük konsantrasyonları da sınırlayıcı etki yapar. Bazı organizmalar (ototrofik) CO_2 'i karbon kaynağı olarak kullanırlar.

5.5.5.5 İyon Konsantrasyonu

Ortamin iyonik kuvveti (iyon konsantrasyonu) de organizmaların metabolik fonksiyonlarını, O_2/CO_2 'nin çözünürlüğünü ve iyonların hücre içine ve dışına aktarımını etkileyen önemli bir faktördür.

5.5.6 Büyüme ve Substrat Giderim Kinetiklerinin Biyolojik Arıtma Uygulanması

Arıtmada kullanılan biyolojik proseslerden tek tek bahsetmeden önce biyolojik büyüme ve substrat giderim kinetiklerinin uygulama esaslarından bahsedilecektir. Bunun amacı;

- mikroorganizma ve substrat dengesini oluşturmak,
- arıtılmış suda mikroorganizma ve substrat konsantrasyonlarını tahmin etmektir.

Burada tam karışım, çamur geri devirsiz havalı arıtma prosesleri esas alınacaktır.

5.5.7 Mikroorganizma ve Substrat Kütle Dengesi

Mikroorganizma kütle dengesi aşağıdaki gibi ifade edilir:

1. Genel tanımı:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{sistemde} & & \text{Sisteme giren} & & \text{Sistemden çıkan} & & \text{Sistemde net} \\ \text{mikroorganizma} & & \text{mikroorganizma} & & \text{mikroorganizma} & & \text{büyüyen} \\ \text{birikme hızı} & - & \text{debisi} & - & \text{debisi} & + & \text{mikroorganizma miktarı} \end{array} \quad (5.16)$$

2. Basitleştirilmiş tanımı:

$$\text{Birikim} = \text{Giriş} - \text{Çıkış} + \text{Net büyüme} \quad (5.17)$$

3. Sembolik gösterim:

$$\frac{dX}{dt} V_r = QX_o - QX + V_r r_g^1 \quad (5.18)$$

Burada,

dX/dt = reaktörde mikroorganizma konsantrasyonu değişim hızı, kütle UAKM (uçucu askıda katı madde) / hacim.zaman

V_r = Reaktör hacmi

Q = Debi, hacim/zaman

X_o = Giriş akımındaki mikroorganizma konsantrasyonu, kütle UAKM/hacim

X = Reaktördeki mikroorganizma konsantrasyonu, kütle UAKM/hacim

r_g^1 = net mikroorganizma büyüme hızı, kütle UAKM/hacim x zaman

Eğer 5.11 eşitliğinden r_g^1 değeri yerine konursa aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\frac{dX}{dt} V_r = QX_o - QX + V_r \left[\frac{\mu_m X S}{K_s + S} - k_d X \right] \quad (5.19)$$

Burada S = Reaktör çıkışındaki substrat konsantrasyonu, mg/l

Çıkış akımında mikroorganizma konsantrasyonu ihmal edilir ve kararlı şartlar sağlanırsa ($dX/dt = 0$), 5,19 eşitliği sadeleşerek aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\frac{Q}{V_r} = \frac{1}{\theta} = \frac{\mu_m S}{K_s + S} - k_d \quad (5.20)$$

Burada θ = Hidrolik kalış süresi, V/Q

$1/\theta$ net özgül büyüme hızına karşı gelir. $1/\theta$ aynı zamanda $1/\theta_c$ 'ye de karşı gelir. Bu durumda çamur yaşı eşitliği de aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\theta_c = \frac{V_r}{Q} \quad (5.21)$$

Substrat kütle dengesi de mikroorganizma kütle dengesine benzer şekilde yazılacak olursa aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\frac{dS}{dt} V_r = Q S_o - Q S + V_r \left[\frac{k X S}{K_s + S} \right] \quad (5.22)$$

Kararlı durumda, $(dS/dt = 0)$ olduğundan eşitlik aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$(S_o - S) - \theta \left[\frac{k X S}{K_s + S} \right] = 0 \quad (5.23)$$

Burada $\theta = V_r/Q$ 'dur.

5.5.8 Arıtılmış Atıksuda Mikroorganizma ve Substrat Konsantrasyonları

Kararlı haldeki mikroorganizma (biyokitle) konsantrasyonu aşağıdaki ifadede bulunur:

$$X = \frac{\mu_m(S_o - S)}{k(1 + k_d\theta)} = \frac{Y(S_o - S)}{(1 + k_d\theta)} \quad (5.24)$$

Benzer tarzda, çıkış substrat konsantrasyonu da aşağıdaki ifadede bulunur;

$$S = \frac{K_s (1 + \theta k_d)}{\theta(Yk - k_d) - 1} \quad (5.25)$$

Böylece, kinetik katsayılar da bilinirse, Şekil 5.3'den çıkış suyundaki mikroorganizma ve substrat konsantrasyonları tahmin edilebilecektir. Burada önemli bir husus, yukarıdaki eşitlikle tahmin edilebilen çıkış substrat (BOI_5 , KOI) konsantrasyonu çözünmüş formda olup giriş atıksuyunda bulunabilecek askıda katıları hesaba katmaz. Arıtma sisteminden gerçekte çıkan substrat ve askıda katı konsantrasyonları çöktürme tankı verimliliğine bağlıdır.

Gözlenen verim, $Y_{göz}$, aşağıdaki eşitlikle verilmektedir;

$$Y_{göz} = \frac{Y}{1 + k_d\theta_c} \quad (5.26)$$

Şekil 5.3. Tam karışımli geri dönüşümsüz reaktörde, çamur kalma yaşına karşı çıkış atık konsantrasyonu ve arıtım verimi (1).

5.6 Biyolojik Arıtma Prosesleri

Burada atıksu arıtımı için geliştirilen biyolojik arıtma proseslerinin prensiplerinden bahsedilecektir.

5.6.1 Bazı Tanımlar

Havalı (aerobik) Prosesler: Oksijenin bulunduğu ortamda faaliyet gösteren biyolojik arıtma sistemidir.

Havasız (anaerobik) Prosesler: Oksijenin olmadığı ortamda faaliyet gösteren biyolojik arıtma sistemidir.

Anoksik Denitrifikasyon: Oksijenin olmadığı ortamda nitrat azotunu biyolojik olarak azot gazına çeviren prosestir. Bu proses havasız denitrifikasyon olarak ta bilinmektedir.

Biyolojik Besi Maddesi Giderimi: Biyolojik arıtma prosesinde azot ve fosforun giderilmesidir.

Fakültatif prosesler: Organizmaların moleküler oksijenin bulunduğu veya bulunmadığı ortamlarda fonksiyon gösterebildiği biyolojik arıtma prosesleridir.

Karbonlu BOI giderimi: Atıksudaki karbonlu organik maddelerin yeni hücrelere ve çeşitli gaz formundaki son ürünlere biyolojik olarak dönüşümüdür. Bu dönüşümde, çeşitli bileşiklerde bulunan azot amonyuma dönüştürülür.

Nitrifikasyon: Amonyanın önce nitrit daha sonra nitrata dönüştürüldüğü biyolojik prosestir.

Denitrifikasyon: Nitrata azot ve diğer gaz formundaki son ürünlere dönüştüren biyolojik prosestir.

Substrat: Biyolojik arıtmada dönüştürülen organik madde veya besi maddesi anlamında kullanılır.

Askıda Büyüyen Prosesler: Biyolojik arıtma sisteminde organik ve diğer maddeleri dönüştürmekten sorumlu mikroorganizmaların sıvı ortamda askıda bulunması halidir.

Tutunarak Büyüyen Prosesler: Biyolojik arıtma sisteminde organik ve diğer maddeleri dönüştürmekten sorumlu mikroorganizmaların taş, cüruf veya özel tasarlanmış seramik veya plastik dolgu malzemelerinin üzerine tutunarak sıvı ortamda bulunmasıdır. Bu arıtma sistemleri sabit-film prosesleri olarak da bilinirler.

5.6.2 Biyolojik Arıtma Prosesleri

Atıksu arıtımında kullanılan önemli biyolojik prosesler Tablo 5.6'da verilmektedir. Arıtmada beş önemli grup bulunmaktadır, bunlar; havalı prosesler, anoksik prosesler, havasız prosesler, birleşik havalı, anoksik ve havasız prosesler ve lagün prosesleridir. Her bir proses askıda, tutunarak büyüyen veya birleşimi olacak şekilde alt gruplara bölünebilir.

Tablo 5.6 Atıksu arıtımında kullanılan önemli biyolojik arıtma prosesleri(1).

Tipi	Genel Adı	Kullanımı
Havali Prosesler: <i>Askıda-Büyüyen</i>	Aktif çamur prosesleri Konvansiyonel(piston akımlı) Tam karışımli Kademeli havalandırmalı Saf oksijenli Ardışık kesikli reaktör Kontakt stabilizasyonlu Uzun havalandırmalı A.Ç Oksidasyon hendeği Derin şaft A.Ç. sistemi	Karbonlu BOI giderimi ve nitrifikasyon
<i>Yüzeyde büyüyen (Biyofilmlı)</i>	Askıda-büyüyen Nitrifikasyon Havalandırmalı lagün Havali çürütme Konvansiyonel havali Saf oksijenli Damlatmalı Filtre Düşük hızlı Yüksek hızlı Kaba Filtre (roughing) Döner biyolojik disk Dolgulu kuleler	Nitrifikasyon Karbonlu BOI giderimi (nitrifikasyon) Stabilizasyon, karbonlu BOI ₅ giderimi nitrifikasyon Karbonlu BOI giderimi nitrifikasyon Karbonlu BOI giderimi karbonlu BOI giderimi ve nitrifikasyon “ “ “ “ “ “
<i>Birleşik askıda ve tutunarak büyüyen sistemler</i>	Aktif çamur biyofiltre prosesleri biyofiltre prosesleri aktif çamur,	“ “ “ “ “
Anoksik Prosesler: <i>Askıda büyüyen Tutunarak büyüyen</i>	Askıda büyüyen denitrifikasyon Sabit-film denitrifikasyon	Denitrifikasyon “ “ “ “
Havasız Prosesler: <i>Askıda büyüyen</i>	Havasız çürütme Standart hızlı, tek kademeli Yüksek hızlı, tek kademeli iki kademeli Havasız kontakt prosesler	karbonlu BOI giderimi “ “ “ “ “ karbonlu BOI giderimi

	Havasız çamur yataklı reaktör	karbonlu BOI giderimi
<i>Tutunarak büyüyen</i>	Havasız filtre Genleşmiş yataklı reaktör	karbonlu BOI giderimi, atık stabilizasyonu, denitrifiaksiyon. karbonlu BOI giderimi, atık stabilizasyonu
Birleşik havalı, havasız ve anoksik prosesler <i>Askıda büyüyen</i>	Tek veya çok basamaklı, çeşitli özel prosesler	Karbonlu BOI giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon P giderimi
<i>Birleşik askıda ve tutunarak büyüyen</i>	Tek veya çok kademeli prosesler	Karbonlu BOI giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon, P giderimi
Lagünler	Havalı havuzlar, Olgunlaştırma havuzları Fakültatif havuzlar Havasız havuzlar	Karbonlu BOI giderimi Karbonlu BOI gid.(nitr.) Karbonlu BOI giderimi Karbonlu BOI giderimi (atık stabilizasyonu)

5.6.3 Biyolojik Arıtma Proseslerinin Uygulamaları

Bu proseslerin temel uygulamaları;

- Atıksuda özellikle BOI, TOK (toplam organik karbon) veya KOI olarak ölçülen karbonlu organiklerin gideriminde,
- Nitrifikasyon,
- Denitrifikasyon,
- Fosfor giderimi ve
- Atık stabilizasyonudur.

Bu kitapta nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fosfor giderimi ileri arıtım metotları, katı faz stabilizasyonu da çamur arıtımı ve uzaklaştırılması bölümlerinde detaylı olarak açıklanmıştır.

5.7 Biyolojik Arıtma Sistemlerinin Tasarımı

Biyolojik prosesler, atıksudaki biyolojik olarak parçalanmış ve çözünmüş organik maddeleri çöktürme havuzunda çöktürerek gidermek üzere, çökebilen biyolojik ve inorganik floklara dönüştürmek amacıyla kullanılırlar. Bir çok durumda ikinci kademe prosesler olarak tanımlanan biyolojik prosesler, fiziksel ve kimyasal proseslerle birlikte

çalıştırılır. Birinci kademe arıtma (ön çöktürme), çökebilan katıları ayırmada etkin olmasına karşılık, biyolojik prosesler koloidal veya çözünmüş haldeki organik bileşikleri gidermede etkindirler. Bu proseslerden, havalandırmalı lagünler, stabilizasyon havuzları ve uzun havalandırmalı sistemler ön çöktürmeye tasarlanırlar.

Çok sık kullanılan biyolojik prosesler;

- Aktif çamur prosesleri,
- Havalandırmalı lagünler,
- Damlatmalı filtreler,
- Döner biyodiskler ve
- Stabilizasyon havuzlarıdır.

Aktif çamur prosesleri veya onun modifikasyonları daha çok büyük tesislerde, stabilizasyon havuzları ise küçük tesislerde kullanılmaktadır.

5.7.1 Aktif Çamur Prosesleri

Aktif çamur prosesleri orjinal ve değiştirilmiş formlarında yaygın olarak kullanılan proseslerdir. Bu proseslerin mikrobiyolojisi, reaksiyon kinetiği ve bazı işletme özelliklerinden “Biyolojik Prosesler” bölümünde detaylarıyla bahsedilmiştir. Bu proseslerin pratik uygulamalarına bu bölümde yer verilecektir.

5.7.1.1 Proses tasarımı Yaklaşımları

Aktif çamur prosesi tasarımında göz önünde bulundurulması gereken kriterler:

- Reaktör tipinin seçimi,
- Yükleme kriterleri,
- Çamur üretimi,
- Oksijen ihtiyacı ve transferi,
- Besi maddesi ihtiyacı,
- Filament (ipliksi) organizmaların kontrolü,
- Çıkış suyu özellikleri (deşarj standartları).

Reaktör Tipinin seçimi: Herhangi bir biyolojik prosesin tasarımında en önemli adımlardan biri kullanılacak reaktör veya reaktörlerin seçimidir. İşletme faktörleri;

- Arıtım prosesine hakim olan reaksiyon kinetiği,
- Oksijen transfer ihtiyacı,
- Arıtılacak atıksuyun özellikleri,
- Yerel çevresel koşullar,
- İnşaat, işletme ve bakım maliyetlerini içerir.

Bu faktörlerin önemi her uygulama için değişecektir.

Bunların aktif çamur prosesi için önemin kısaca aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Birinci faktör; reaksiyon kinetiğinin reaktör seçimi üzerine etkisidir. Çok sık kullanılan iki reaktör tipi vardır. Bunlar tam karışım ve piston akımlı reaktörlerdir. Her iki tip reaktör için de pratik açıdan bakıldığında hidrolik kalış süreleri hemen hemen aynıdır.

İkinci önemli faktör ise oksijen transfer ihtiyacıdır. Konvansiyonel piston akımlı arıtma sistemlerinde, reaktör sonunda ihtiyacı karşılayacak oksijen konsantrasyonlarına ulaşmanın imkansız olduğu bulunmuştur. Bu nedenle aktif çamur proseslerinde çeşitli modifikasyonlara gidilmiştir. Bunlar; kademeli havalandırma, kademeli beslemeli prosesler, atıksuyun reaktör boyunca dağıtıldığı prosesler ve tam karışım proseslerdir. Havalandırma reaktörün her yerinde aynıdır ve gerekli oksijen ihtiyacı veya fazlası sağlanır.

Üçüncü faktör, atıksuyun yapısıdır. Örneğin, gelen atıksu az veya çok tam karışım reaktörde takriben eşit olarak dağılır. Piston akışlı reaktöre kıyasla mikroorganizmalar çok yüklemelere daha kolay karşı koyabileceğinden alıcı ortama organik ve toksik madde deşarjı bu sistemlerde söz konusu olmayacaktır. Bu nedenle tam karışım reaktörler daha sık kullanılırlar.

Dördüncü faktör, yerel çevresel koşullardır. Bunların arasında sıcaklık, pH ve alkalinite belki de en önemlileridir. Atıksudaki sıcaklık değişimi doğrudan biyolojik reaksiyon hızını etkilemektedir. Örneğin sıcaklıktaki 10°C'lik düşme reaksiyon hızını yarı yarıya düşürür. Atıksu sıcaklığında önemli bir değişim bekleniyor ise, seri halinde tam karışım veya piston akışlı reaktörler kullanmak etkili olacaktır. Alkalinite ve pH özellikle nitrifikasyon proseslerinde oldukça önemlidir. Düşük pH nitrifikasyon bakterilerinin büyümesini engeller (ipliksi organizmaların büyümesine neden olabilir). Düşük alkaliniteli atıksular azda olsa bir tampon kapasitesine sahiptirler ve karışım pH'sı, bakteri solunumu sonucu ortama verilen CO₂ nedeniyle düşer.

Beşinci faktör, ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetleri reaktör tipi ve büyüklüğü seçimi açısından son derece önemlidir.

Yükleme Kriteri: Aktif çamur prosesinin kontrolü ve tasarımında uzun zamandır deneysel ve rasyonel parametreler kullanılmıştır. En çok kullanılan iki parametre,

mikroorganizma oranı (F/M) ve
çamur yaşıdır (θ_c).

mikroorganizma oranı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$F/M = \left[\frac{S_o}{\theta X} \right] \quad (5.28)$$

F/M = mikroorganizma oranı (çamur yükü), gün⁻¹

S_o = Giriş atıksudaki BOI veya KOI konsantrasyonu, mg/l

θ = havalandırma havuzunun hidrolik kalış süresi = V/Q, gün

V = havalandırma havuzu hacmi, m³

Q = atıksu akış debisi, m³/gün

X = havuzdaki uçucu askıda katı madde (UAKM) konsantrasyonu, mg/l

Özgül substrat (besin maddesi) kullanım hızı U aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$U = \frac{(F/M)E}{100} \quad (5.29)$$

E = proses verimi, %

Verim yerine $((S_0 - S)/S_0) \times 100$ ve F/M yerine 5.28 denklemi konulursa yukarıdaki eşitlikteki U aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta X} \quad (5.30)$$

S = Çıkış atıksuyu BOI veya KOI konsantrasyonu, mg/l

Çamur yaşı aşağıda verilen her iki denklemle de ifade edilebilir.

Havalandırma tankı hacmine göre tanımlama:

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X_w + Q_e X_e} \quad (5.31)$$

θ_c = çamur yaşı, gün

V_r = havalandırma havuzu hacmi, m³

X = havalandırma havuzundaki uçucu askıda katı konsantrasyonu, mg/l

Q_w = atılan atıkçamur debisi, m³/gün

X_w = atık çamurdaki uçucu askıda katı konsantrasyonu, mg/l

Q_e = çıkış suyu debisi, m³/gün

X_e = Çıkış atıksuyunda uçucu askıda katı konsantrasyonu, mg/l

Toplam sistem hacmine göre tanımlama:

$$\theta_{ct} = \frac{X_t}{Q_w X_w + Q_e X_e} \quad (5.32)$$

θ_{ct} = toplam sisteme bağlı olarak hesaplanması çamur yaşı

X_t = sistemde toplam uçucu askıda katı kütlesi, havalandırma havuzu, son çöktürme havuzu ve geri dönüş hattındaki çamuru içerir.

Tasarım çalışmasında 5.31 eşitliği esas alınır, buna göre bütün substratın havalandırma havuzunda arıtıldığı kabul edilir. Sistemdeki toplam çamurun büyük bir kısmı çöktürme tankı ve geri dönüş hattında bulunur. 5.32 eşitliği atılacak çamur miktarının hesaplanmasında kullanılır. Çöktürme tankındaki çamur miktarı, çamur kütlesinin % KM oranı ve geri dönüş hattındaki çamur konsantrasyonu kullanılarak hesaplanabilir.

Çamur yaşı θ_c , besi-mikroorganizma oranı F/M ve özgül substrat kullanım hızı U arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \frac{F}{M} \frac{E}{100} - k_d = YU - k_d \quad (5.33)$$

Y = verim katsayısı, kütle/kütle

E = proses verimi, %

k_d = içsel bozunma katsayısı, zaman⁻¹

F/M in tipik literatür değeri 0,05- 1 arasında değişir. İyi kalite çıkış suyu, iyi çökme özelliğine sahip çamur ve kararlı bir sistem için 3-15 gün çamur yaşı uygulanır. Havalandırma tankında tipik hidrolik kalış süresi 4-8 saat arasında değişir. Günlük BOI yükleme hızı da 0,3 –3 kg/m³.gündür.

Çamur Üretimi: Atılacak çamuru belirlemek ve çamur yoğunlaştırıcı tasarımını yapabilmek için günde üreyen çamur miktarını bilmek önemlidir. Üreyen çamur miktarı aşağıdaki eşitlikte verilmektedir.

$$P_x = Y_{göz.} Q (S_o - S) (10^3 \text{ g/kg})^{-1} \quad (5.34)$$

P_x = atılan fazla aktif çamur, kg/gün

$Y_{göz.}$ = gözlenen verim, g/g

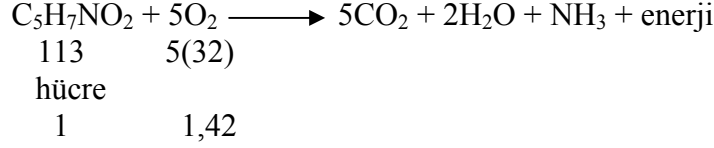
$Y_{göz.}$ aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Y_{göz.} = \frac{Y}{1 + k_d(\theta_c \text{ veya } \theta_{ct})} \quad (5.35)$$

θ_c veya θ_{ct} nin kullanılacağı, havalandırma tankındaki veya sistemin tamamındaki çamur konsantrasyonuna bağlıdır. Yüksek konsantrasyonda çamur, çöktürme tankı ve geri dönüş hattında kalıyor ise θ_{ct} 'nin kullanımı uygundur. Bu durumda havalı (veya havasız) ortamda içsel solunum ihmal edilmiş olur.

Oksijen İhtiyacı ve Transferi: Teorik oksijen ihtiyacı, atığın BOI'si ve sistemden günde atılan çamur miktarından belirlenir. Bütün BOI son ürüne dönüşüyorsa toplam oksijen ihtiyacı, uygun dönüşüm faktörü kullanarak BOI_U ye dönüşen BOI_S den hesaplanabilir. Atığın bir kısmının sistemden atılacak yeni organizmalara dönüştüğü bilinmektedir. Bu

nedenle, atılan çamurun BOI_L 'i toplamdan çıkarılır ise kalan miktar sisteme verilmesi gereken oksijen miktarını gösterir. Aşağıdaki eşitlikte de görüleceği gibi çamurun (hücrenin) 1 molünün BOI_U 'si ($\approx KOI$) hücre konsantrasyonunun 1,42 sine eşittir.



Bu nedenle, aktif çamur sistemi için atıksudaki organik maddenin giderimi için gereken teorik oksijen ihtiyacı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.;

$$kg \ O_2/\text{gün} = (\text{kullanılan } BOI_L \text{ nin top.kütlesi, kg/gün}) - 1,42 (\text{atılan çamur miktarı, kg/gün})$$

$$kg \ O_2/\text{gün} = \frac{Q(S_o - S) (10^3 \ g/kg)^{-1}}{f} - 1.42(P_x) \quad (5.36)$$

$f = BOI_5$ 'den BOI_L 'ye dönüşüm faktörü

Nitrifikasyon reaksiyonunun da sistemde gerçekleşmesi durumunda , toplam oksijen ihtiyacı aşağıda gösterildiği gibi karbon gideriminde kullanılan oksijen ile azot dönüşümü (amonyaktan nitrate) için gereken oksijen ihtiyacının toplamıdır.

$$kg \ O_2/\text{gün} = \frac{Q(S_o - S) (10^3 \ g/kg)^{-1}}{f} - 1.42(P_x) + 4.57 Q(N_o - N) (10^3 \ g/kg)^{-1} \quad (5.37)$$

N_o = Giriş atıksuyundaki TKN, mg/l

N = çıkış suyundaki TKN, mg/l

4,57 = TKN'nin tam oksidasyonunda gereken oksijen ihtiyacı için dönüşüm faktörü.

Sistemin oksijen transfer verimi biliniyorsa verilmesi gereken hava miktarı da belirlenir. Verilen hava;

- atıktaki BOI arıtımını,
- çamurun içsel solunumunu,
- ortam için gerekli karışımı,
- havalandırma tankında minimum çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 1-2 mg/l olmasını sağlayabilmelidir.

F/M oranı $>0,3$ ise, hava gereksinimi iri kabarcıklı difüzör kullanıldığında 30-55 m^3/kg giderilen BOI, ince kabarcıklı difüzör kullanıldığında 24-36 m^3/kg giderilen BOI'dir. Düşük F/M oranlarında içsel solunum, nitrifikasyon ve uzun havalandırma süresinden dolayı hava ihtiyacı arttığından önerilen değer 75-115 m^3/kg giderilen BOI'dir. Aktif

çamur proseslerinde, hava ihtiyacı 93,5 m³/kg BOI₅; uzun havalandırmalı sistemlerde ise 125 m³/kg BOI₅'dir.

Tablo 5.7. F/M'e bağlı olarak hava ihtiyacı (1).

	Gerekli hava, m ³ /kg BOI ₅
F/M>0,3	
İri kabarcıklı (gözeneksiz)	30-55
ince kabarcıklı (gözeneksiz)	24-36
F/M< 0,3	75-115
Aktif çamur	93,5
Uzun havalandırma	125

Besi maddesi ihtiyacı: Azot ve fosfor bileşikleri besi maddeleri olup atıksuda yüksek konsantrasyonda bulunmaları biyolojik reaksiyon için inhibisyon, düşük konsantrasyonda bulunmaları ise sınırlama yapar.

Organizma hücresinin bileşimi C₅H₇NO₂ olarak alınırsa, ağırlığının %12,4'ü kadar azot gerekecektir. Bu değer tipik olup sabit değildir. Çevre şartları ve organizma (çamur) yaşına bağlı olarak hücredeki azot ve fosfor dağılımı değişebilmektedir. Birçok biyolojik sistem için gerekli diğer besi maddeleri Tablo 5.8'de verilmektedir.

Tablo 5.8. Birçok organizma için gereken inorganik iyonlar(1).

Fazla miktarlar	Eser miktarlar
Sodyum	Demir
Potasyum	Bakır
Kalsiyum	Manganez
Fosfat	Bor
Klorür	Molibden (bazı protist ve hayvanlar için)
Sülfat	Vanadyum (“ “)
Bikarbonat	Kobalt (“ “)
	İyot (bazı hayvanlar için)
	Selenyum (bazı hayvanlar için)

Tablo 5.9'da *E. Coli*'nin inorganik kompozisyonu verilmektedir. Biyolojik büyüme için gerekli eser elementler yaklaşık olarak buradan hesaplanabilir. Toplam besi miktarı üreyen net mikroorganizma miktarı ile ilgilidir ve besi maddesi gereksinimi çamur yaşının uzun olması ile azalacaktır. Örneğin, iki sistem aynı olmasına rağmen farklı çamur yaşlarında çalıştırıldığında farklı karakterde atıksu çıkacak olmasının nedeni bundan kaynaklanmaktadır.

Tablo 5.9. *E.coli* 'nin inorganik bileşimi(1).

Elementler	% Kuru hücre ağırlığı
Potasyum	1,5
Kalsiyum	1,4
Sodyum	1,3
Magnezyum	0,54
Klorür	0,41
Demir	0,2
Manganez	0,01
Bakır	0,01
Alüminyum	0,01
Çinko	0,01

İpliksi (filament) Organizmaların Kontrolü: Aktif çamur proseslerinde ipliksi organizmaların büyümesi çok sık rastlanan bir işletme problemidir. Sistemde ipliksi organizmaların bulunması çamurun çökeltme özelliğini zayıflatır ve bulking (kabarma) olayı meydana gelir. Tek basamaklı tam karışimli reaktörler düşük substrat seviyelerinden dolayı ipliksi organizmaların büyümelerine çok uygundurlar. Bazı piston akışlı reaktörlerde de benzer olayla karşılaşmaktadır. Son araştırmalar, ipliksi organizmaların büyümesini engelleyen faktörleri bulmak ve pratik kontrol metotları geliştirilmek üzerine yoğunlaşmıştır. İpliksi organizmaların kontrol ve önlenmesi için bir yaklaşım, ham su ile aktif çamur geri dönüşünün karıştığı ilk temas bölgesi için ayrı bölüm veya selektör kullanmaktır. Selektör, tam karışım veya piston akışlı reaktörlerde, ayrı bir tank veya portatif bir bölme olabilir.

Selektör kavramı biyolojik prosesin yüksek F/M oranının bulunduğu ilk safhasında çözünmüş oksijen konsantrasyonunu kontrol ederek flok formundaki organizmaların büyümesini sağlamaktır. Yüksek substrat oranı nedeniyle çözünmüş organik madde hızlı bir şekilde flok formundaki organizma tarafından adsorplanır. Çözünmüş organiklerin ortamdan hızlı adsorplanması sayesinde, ortamdaki ipliksi organizmalar için daha az kullanılabilir substrat kalmış olur. Bu metodun iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yeterli bir karışım için havalandırma sağlanmalı veya mekanik karıştırıcılar kullanılmalıdır.

Selektördeki temas süresi oldukça az olup, genellikle 10 ile 30 dakika arasındadır. Tasarım parametrelerinin tespiti için pilot çalışmaların yapılması tavsiye edilmektedir. Selektörün çok küçük olması durumunda, önemli miktarda çözünmüş substrat havalandırma tankına geçebileceği gibi, çok büyük olması durumunda da seyrelmeyle düşük F/M oranı oluşumu söz konusudur.

Çıkış Atıksuyu Karakteri: Çıkış atıksuyu kalitesinin en önemli parametresi organik madde içeriğidir. Biyolojik arıtma proses çıkışının organik madde içeriği aşağıdaki üç bileşenden oluşmaktadır:

- Çözünmüş organikler
 - Biyolojik arıtmadan kaçan organikler.
 - Atığın biyolojik parçalanmasında oluşan ara ürünler.
 - Hücresel bileşimler (mikroorganizma ölümü sonucu).
- Askıda organik maddeler
 - Arıtım sırasında oluşan ve son çöktürme tankından kaçan biyolojik katılar.

- Arıtmadan ve çöktürmeden kaçan giriş atıksuyundaki koloidal organik katılar.
- Biyolojik olarak parçalanamayan organikler
 - Bunlar orijinal olarak ham atıksuda bulunurlar.
 - Biyolojik parçalanmanın ürünleridirler.

Daha önceki bölümde bahsedilmiş olan çıkış atıksuyu kalitesi için geliştirilmiş kinetik eşitlikler teorik olarak biyolojik arıtmadan kaçan çözünmüş organik atıklara uygulanır.

5.7.1.1 Proses Kontrolü

Aktif çamur proseslerinin kontrolü yaygın işletme şartları altında yüksek arıtım verimine ulaşmak için önemlidir. Proses kontrolünde kullanılan temel faktörler;

- Havalandırma tankında istenen çözünmüş oksijen seviyesini sağlamak,
- Aktif çamur geri dönüşünü (AÇG) düzenlemek,
- Atık aktif çamuru kontrol etmektir.

Daha önce yükleme kriterleri konusunda da bahsedildiği gibi aktif çamur prosesinde kullanılan en önemli parametreler F/M oranı ve ortalama çamur yaşı, Θ_c 'dir. Havalandırma havuzundaki askıda katı madde (biyokütle) konsantrasyonu da kontrol parametresi olarak kullanılmaktadır. Belli bir askıda katı konsantrasyonunu sağlamak için çamur geri dönüşü, atılacak çamur için de Θ_c 'yi kontrol etmek önemlidir. Oksijen tüketim hızının (OTH) kullanımı, aktif çamur sisteminin kontrolü ve izlenmesinde önemli parametrelerden biridir.

Çözünmüş Oksijen Kontrolü: Aktif çamur sistemi havalandırma tankındaki teorik oksijen miktarı; mikroorganizma faaliyetleri, organik maddenin oksidasyonu ve sistemi belli bir çözünmüş oksijen konsantrasyonunda tutmak için gerekli olan miktarların toplamına eşittir. Oksijenin mikroorganizma büyümesini sınırladığı durumda, ipliksi (filament) mikroorganizmalar baskın duruma geçerek aktif çamurun kalitesini ve çökebilme özelliğini zayıflatırlar. Pratikte, havalandırma tankında çözünmüş oksijen konsantrasyonu 1,5-4 mg/l aralığında tutulmalıdır ancak genel olarak 2 mg/l yeterlidir. 4 mg/l'nin üzerindeki değerler işletme şartlarını önemli ölçüde iyileştirmez, yalnız havalandırma maliyetini önemli miktarda arttırır.

Aktif Çamur Geri Devri Kontrolü: Sistemde çamur geri dönüşünün nedeni, istenen arıtım derecesine ulaşabilmek için havalandırma tankında yeterli çamur konsantrasyonunu tutabilmektir. Burada çıkış suyunda çamur kaçışını önlemek önemlidir. Katılar çöktürücünün tabanında çamur örtüsü oluştururlar. Çamur örtüsünün kalınlığı zamana göre değişir, çamur pompalama kapasitesinin yetersiz olması durumunda pik akışlarda çöktürücünün derinliği kadar kalınlığa ulaşabilir. Büyük sistemler için çamur pompalama kapasitesi atıksu debisinin %50 ile 100'si, küçük sistemlerde ise %150'sidir.

İstenen çamur geri dönüş hızını hesaplamada birkaç teknik kullanılmaktadır. Buna göre, kontrol stratejisi ya havalandırma sisteminde belli bir askıda katı konsantrasyonu sağlamayı ya da son çöktürme tankında çamur örtüsü derinliğini belirtilen düzeyde tutmayı esas almalıdır. En çok kullanılan teknikler;

- Çökebilirlik,
- Çamur örtüsü seviye kontrolü,
- İkinci çöktürme tankında kütle dengesi,
- Havalandırma tankında kütle dengesi,
- Çamur kalitesidir.

İki kütle dengesi için uygun limitler Şekilde gösterilmiştir. Çöktürme tankındaki çamur battaniyesi örtüsü sabit kaldığı faz edilir ve çöktürme tankı çıkış suyundaki katı konsantrasyonu ihmal edilirse, çöktürme tankı çevresindeki kütle dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{Birikim} = \text{Giriş akım} - \text{Çıkış akım} \quad (5.38)$$

$$0 = X(Q + Q_r) - X_r Q_r + X_r Q_w^1 \quad (5.39)$$

Burada

X = Havalandırma havuzundaki askıda katı konsantrasyonu, mg/l

Q = Giriş debisi, m³/gün

Q_r = Çamur geri dönüş debisi, m³/gün

X_r = Geri dönüşteki askıda katı konsantrasyonu, mg/l

Q_w^1 = Atık çamur debisi, m³/gün

Çamur geri dönüş debisi aşağıdaki formülden elde edilir.

$$Q_r = \frac{XQ - X_r Q_w^1}{X_r - X} \quad (5.40)$$

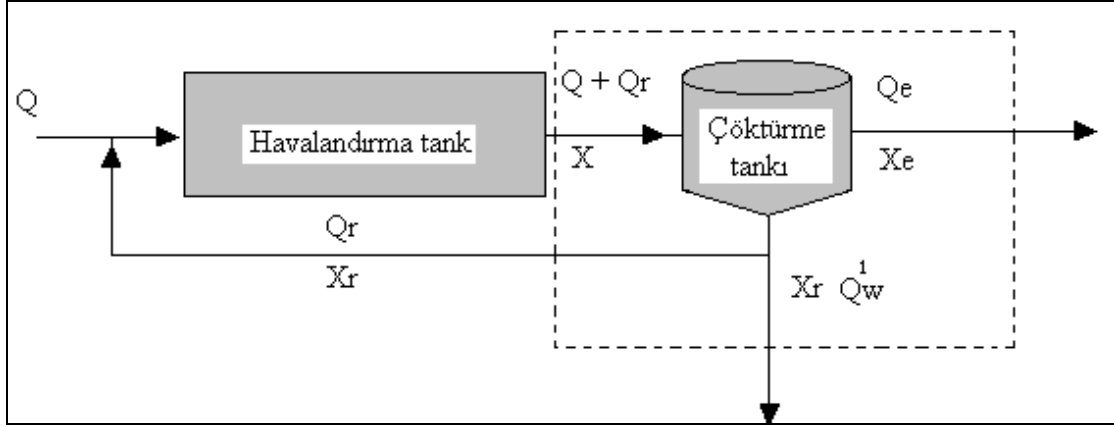
Yüksek organik yüklemelerde bu yaklaşım yanlış olabilir. Havalandırma tankına katı, çamur geri dönüşü ve ham atıksu beslemesi ile girer. Ancak girişteki katı konsantrasyonu ihmal edilirse, havalandırma tankı çevresinde kütle dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{Birikim} = \text{Giriş akımı} - \text{çıkış akımı} \quad (5.40a)$$

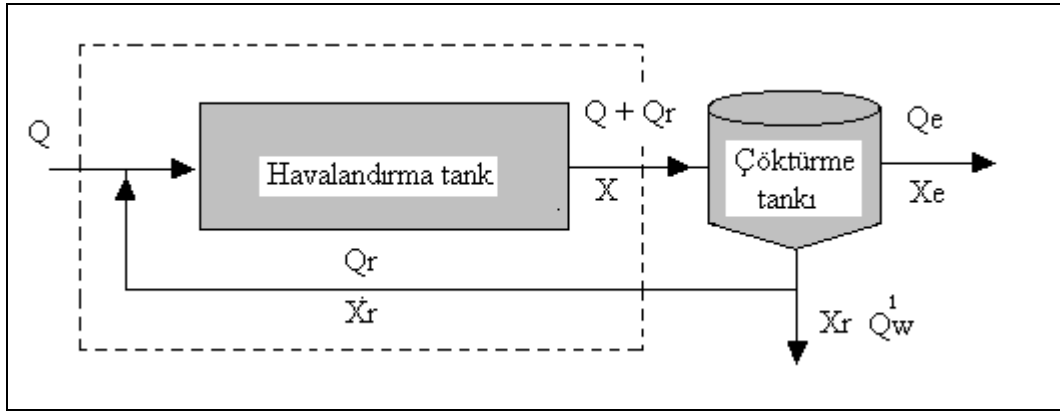
$$0 = X_r Q_r - X(Q + Q_r) \quad (5.41)$$

Q_r için eşitlik çözülürse,

$$Q_r = Q \frac{X}{X_r - X}$$



(a)



(b)

Şekil 5.4. Çamur geri dönüş kontrolü için tipik askıda katı kütle dengesi: a) Çöktürme tankında kütle dengesi, b) Havalandırma tankında kütle dengesi (1).

Çamur Atma: Sistem içinde belli F/M oranını veya çamur yaşını sürdürebilmek için üreyen fazla çamurun sistemden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bilinen en pratik yol, daha konsantre olduğu ve küçük hacimde çamur atmak gerektirdiği için çamur dönüş hattından çamurun uzaklaştırılmasıdır. Atık çamur ön çöktürme havuzuna yoğunlaştırıcıya veya çürütücüye deşarj edilir.

Proses kontrolünde çamur yaşı esas alınır, geri dönüş hattından çamur atılır ve atma hızı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\theta_c = \frac{V_r X}{(Q_w^1 X_r + Q_e X_e)}$$

(5.42)

Burada Q_w^1 = Geri dönüş hattından çamur atma hızı, $m^3/gün$
 X_r = Geri dönüş hattındaki çamur konsantrasyonu, mg/l

Çöktürme tankı çıkışında katı madde konsantrasyonu çok düşükse eşitlik kısaltılarak aşağıdaki gibi yazılır;

$$\theta_c \approx \frac{V_r X}{Q_w^1 X_r} \quad (5.43)$$

ve

$$Q_w^1 \approx \frac{V_r X}{\theta_c X_r} \quad (5.44)$$

Çamur atma hızını belirlemek için havalandırma tankı ve geri dönüş hattındaki katı konsantrasyonunun bilinmesi gerekmektedir.

Çamur yaşı proses kontrolünde kullanılıyorsa havalandırma tankından atılacak çamur debisi çıkıştaki AKM ihmal edilerek;

$$\theta_c = \frac{V_r}{Q_w} \quad (5.45)$$

veya

$$Q_w \approx \frac{V_r}{\theta_c} \quad (5.46)$$

ifadesinden hesaplanabilir.

Burada Q_w = havalandırma tankından atılan çamur debisi, m³/gün

F/M oranı proses kontrolünde esas alınmış ise, geri dönüş hattından çamur uzaklaştırma hızı aşağıdaki eşitlikle verilir;

$$P_x = Q_w X_r \quad (5.47)$$

Burada

P_x = Atık aktif çamur, kg/gün

Q_w = Atık çamur debisi, m³/gün

X_r = Geri dönüş hattındaki katı konsantrasyonu, mg/l

Bu durumda, çamur geri dönüş hattındaki katı madde konsantrasyonunun (X_r) bilinmesi gerekmektedir.

5.8 Askıda Büyüyen Havalı Arıtma Sistemleri

Karbonlu organik maddelerin gideriminde kullanılan askıda büyüyen biyolojik arıtma prosesleri,

- aktif çamur prosesleri,
- havalandırmalı lagünler (Bölüm 6.10),
- ardışık kesikli reaktörler (Bölüm 6),
- havalı çürütme prosesleridir. (Bölüm 8).

5.8.1 Aktif Çamur Prosesi

Aktif çamur prosesi İngiltere’de 1914’de Arden ve Lockett tarafından geliştirilmiştir. Bu orijinal prosesin birçok çeşitleri geliştirilerek kullanılmaktadır.

Bütün havalı (aerobik) atıksu arıtma proseslerinde atıklar a) sentez ve b) oksidasyon yolu ile yok olurlar. Diğer bir deyimle organik maddelerin bir kısmı yeni hücrelere dönüşürken (sentez) geri kalan kısmı gerekli enerjiyi üretmek için oksidasyona tabi tutulurlar. Organik maddeler yok olmaya başlayınca biyolojik hücrelerin bir kısmı gerekli enerjiyi sağlamak amacıyla kendi kendini oksitler (içsel solunum).

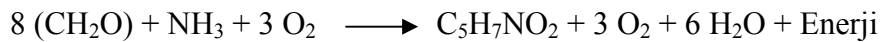
Havalı biyolojik oksidasyon reaksiyonları genel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir:

Organik madde (BOI, KOI) + O₂ + N + P → Hücre + CO₂ + H₂O + biyolojik yolla parçalanamayan çözünebilir maddeler

Hücre + O₂ → CO₂ + H₂O + N + P + parçalanmayan hücresel kalıntılar

Bu biyolojik parçalanma olayı tüm havalı biyolojik arıtma sistemlerinde yer almaktadır. Aşağıda biyolojik reaksiyon 3 adımda gösterilmektedir.

1. Adım: Biyokütlenin üretimi ve organik maddenin oksidasyonu



2. Adım: Biyokütlenin solunumu



3. Adım: Nitrifikasyon



Havalı biyolojik arıtma yöntemleri genellikle iki büyük sınıfa ayrılabilirler:

- Arıtmayı yapan bakterilerin askıda bulunduğu sistemlerdir. Buna örnek olarak aktif çamur sistemi ve çeşitleri (türevleri) gösterilebilir.

- Arıtmayı yapan bakterilerin sabit bir yüzey üzerine tutunarak büyüdüğü sistemler. Bunların başlıca örnekleri damlatmalı filtreler ve dönen biyodisklerdir.

Proses Analizi: Tam Karışımli Geri Devirli Reaktör: Tam karışımli ve geridevirli sistem Şekil 5.5 de gösterilmiştir. Reaktör girişinde mikroorganizma olmadığı farzedilmektedir. Sistemin tamamlayıcı ünitesi çöktürme olup, burada mikroorganizmalar sistemden ayrılmakta ve tekrar sisteme geri döndürülmektedir. Burada katı ayrılma ünitesi de olduğu için, kinetik modeli geliştirmede iki yaklaşım kullanılmalıdır.

- Biyolojik arıtma tarafından atık stabilizasyonu yalnızca reaktör ünitesinde meydana gelmektedir. Bu yaklaşım koruyucu bir modeldir (bazı sistemlerde çöktürme ünitesinde atık stabilizasyonu vardır).
- Tüm sistem için, çamur yaşı hesabında yalnızca reaktör hacmi kullanılır.

Gerçekte burada çöktürme tankının, havalandırma tankındaki katı atık seviyesini belli aralıkta tutmada kullanılan bir hazne vazifesi gördüğü kabul edilir. Örneğin saf-oksijenli aktif çamur sisteminde, sistemdeki toplam AKM'nin %50'sinin çöktürme tankında tutulduğu bulunmuştur. Bu durumda sistem için ortalama hidrolik kalış zamanı Θ_s aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\Theta_s = \frac{V_t}{Q} = \frac{V_r + V_s}{Q} \quad (5.48)$$

Burada,

Θ_s = reaktör ve çöktürme tankı hacmi toplamı

Q = atıksu giriş debisi

V_r = reaktör hacmi

V_s = çöktürme tankı hacmi

Reaktör için ortalama hidrolik kalış süresi Θ ,

$$\Theta = \frac{V_r}{Q} \quad (5.49)$$

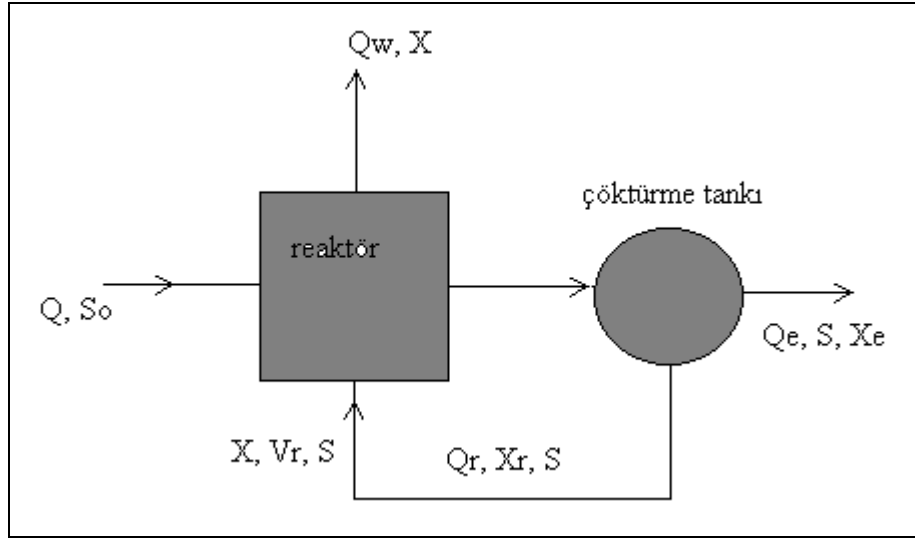
Sistem için çamur yaşı Θ_c , reaktördeki organizma kütlesinin sistemden her gün atılan kütleye bölünmesiyle ifade edilir;

$$\Theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X + Q_e X_e} \quad (5.50)$$

Q_w = sistemden atılan mikroorganizma içeren sıvı (fazla çamur) debisi

Q_e = çöktürme tankı çıkış suyu debisi

X_e = çöktürme tankı çıkış suyundaki mikroorganizma konsantrasyonu



Şekil 5.5. Tam karışımli ve geri devirli aktif çamur sistemi. (Çamur reaktör içinden atılmaktadır).

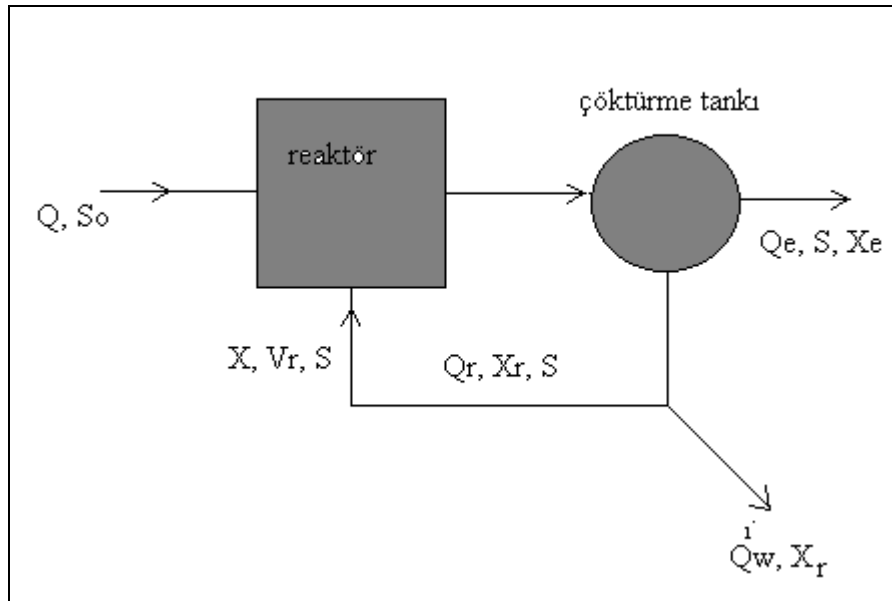
Fazla çamurun geri devir hattından atılması durumunda, θ_c , çamur yaşı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w^1 X_r + Q_e X_e}$$

(5.51)

X_r = geri devir hattındaki çamur konsantrasyonu

Q_w^1 = geri dönüş hattından atılan çamur debisi



Şekil 5.6. Tam karışımli ve geri devirli aktif çamur sistemi. (Çamur, geri dönüşüm hattından atılmaktadır).

Θ_c nin hesaplanmasında reaktördeki ve çöktürme tankındaki çamur kütlelerinin toplamı gözönüne alınır. 5.50 ve 5.51 denklemlerine bakıldığında Θ_c nin teorik olarak Θ ve Θ_s den bağımsız olduğu görülür. Ancak bunun pratikte tam doğru olduğu söylenemez. Tüm sistemde mikroorganizma için kütle dengesi aşağıdaki şekilde yazılabilir;

Birikim = giren mikroorg. – çıkan mikroorg. + net büyüme

Sembolik olarak gösterimi:

$$\frac{dX}{dt} V_r = QX_o - (Q_w X + Q_e X_e) + V_r (r_g) \quad (5.52)$$

5.11 eşitliği hücre büyümesi yerine konur, çıkıştaki hücre konsantrasyonu sıfır kabul edilir ve kararlı durumda ($dX/dt = 0$) alınırsa;

$$\frac{Q_w X + Q_e X_e}{V_r X} = -Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad (5.53)$$

eşitliğin sol tarafı $1/\Theta_c$ olduğundan, eşitlik aşağıdaki gibi tekrar yazılır,

$$\frac{1}{\theta_c} = -Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad (5.54)$$

$$r_{su} = -\frac{Q}{V_r} (S_o - S) = -\frac{S_o - S}{\theta} \quad (5.55)$$

$(S_o - S)$ = kullanılan (giderilen) substrat konsantrasyonu, mg/l

S_o = giren atıksudaki substrat konsantrasyonu, mg/l

S = çıkan atıksuda substrat konsantrasyonu, mg/l

Θ = hidrolik kalış süresi, gün

5.54 ve 5.55 eşitlikleri birleştirilip X , mikroorganizma konsantrasyonu aşağıdaki gibi belirlenir.

$$X = \frac{\theta_c}{\theta} \frac{Y(S_o - S)}{(1 + k_d \theta_c)} \quad (5.56)$$

Substrat dengesinden çıkış atıksuyundaki S, substrat konsantrasyonu,

$$S = \frac{K_s(1 + \theta_c k_d)}{\theta_c (Yk - k_d) - 1} \quad (5.57)$$

$Y_{göz}$. Aşağıdaki eşitlikle verilir;

$$Y_{göz} = \frac{Y}{1 + k_d \theta_c \text{ veya } \theta_{ct}} \quad (5.58)$$

Proses Tasarım ve Kontrol İlişkileri: Çeşitli sistem değişimlerinin etkilerini tahmin etmede 5.56 ve 5.57 eşitliğinin kullanımı faydalı olacaktır. Bunun yanısıra farklı diğer proses tasarım eşitlikleri de geliştirilmiştir. Bunlar özgül substrat kullanım hızı, ortalama çamur yaşı, ve F/M oranıdır. Eşitlik 5.54'deki $(-r_{su}/X)$, U substrat kullanım hızı olarak bilinmektedir. 5.55'deki r_{su} denklemini kullanılarak özgül substrat kullanım hızı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$U = -\frac{r_{su}}{X} = \frac{S_0 - S}{\theta X} = \frac{Q}{V_r} \frac{S_0 - S}{X} \quad (5.59)$$

6.54 eşitliğinde $(-r_{su}/X)$ yerine U konulduğunda,

$$\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d \quad (5.60)$$

5.59 eşitliğinden de görüldüğü gibi, $1/\theta_c$, net özgül büyüme hızı ile U, özgül substrat kullanım hızı birbiriyle doğrudan ilişkilidir. U'yu belirlemek için substrat kullanımı ve mikroorganizma kütlesini bilmek gerekir.

θ_c 'nin biyolojik arıtmada kontrol parametresi olarak kullanım amacı, mikroorganizma büyüme hızını ve atık stabilizasyon arıtma derecesini kontrol etmek ve sistemden atılacak günlük mikroorganizma kütlesini belirlemektir. Örneğin θ_c 'nin 10 gün bulunması durumunda, sistemden günlük atılması gereken çamur miktarı, sistemdeki toplam mikroorganizmanın %10'u kadar olacaktır.

Tam karışımli reaktörde, fazla çamur atımı reaktörden veya geri dönüş hattından yapılabilir. Çamur uzaklaştırma doğrudan reaktörden ve çıkış hattındaki katı madde konsantrasyonu X_e ihmal edilebilecek kadar az ise 5.50'deki eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\theta_c \approx \frac{V_r X}{Q_w' X_r} \quad (5.61)$$

Pratikte, yoğunlaştırıcıya sevk edilen çamuru belirlemek için, uzaklaştırma geri dönüş hattından çamur almakla sağlanır. Bu durumda tam karışım ve geri dönüş hattındaki çamur konsantrasyonunu bilmek gerekir.

F/M, özgül substrat kullanım hızı ile doğrudan ilgili olup pratikte en çok kullanılan tasarım ve kontrol parametresidir.

$$\frac{F}{M} = \frac{S_o}{\theta X} \quad (5.62)$$

U ve F/M proses verimliliği ile ilgilidir.

$$U = \frac{(F/M)E}{100} \quad (5.63)$$

E proses verimi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100 \quad (5.64)$$

E = proses verimi, %

S_o = giriş substrat konsantrasyonu,

S = çıkış substrat konsantrasyonudur. Bu proses tasarım ilişkilerinin uygulaması Bölüm sonundaki örnek problem ile verilmektedir.

Arıtma sistemi tasarımında çeşitli modelleme çalışmaları yapılmakta olup bu kitapta incelenmemiştir (6,7).

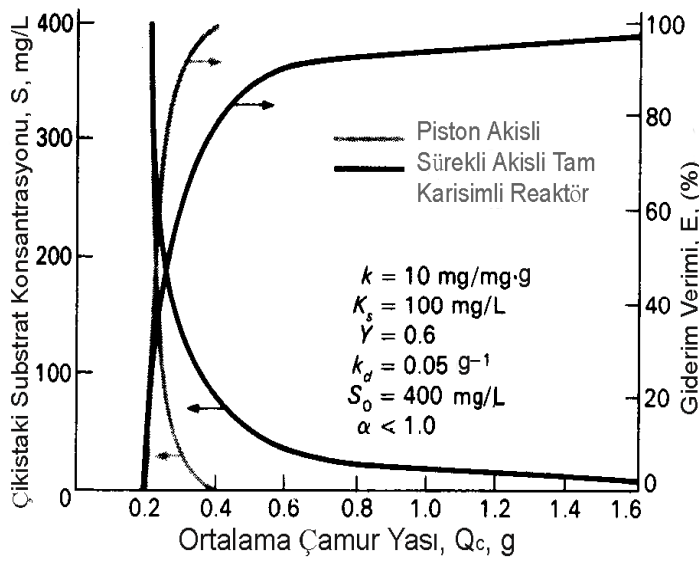
Proses Verimliliği ve Stabilitesi: Kinetiklerin sistem verimi ve atık stabilizasyonu üzerine etkisi burada daha detaylı olarak verilecektir. Eşitliklerden $1/\theta_c$, net mikroorganizma büyüme hızı, ve U, özgül substrat kullanım hızı doğrudan birbirleriyle ilgilidirler. Her iki eşitliğin birleştirilmesi sonucunda aşağıdaki eşitlikler bulunur;

$$U = \frac{kS}{K_s + S} \quad (5.65)$$

$$S = \frac{UK_s}{k - U}$$

(5.66)

Organik atıklar için, verilen biyolojik ortam ve çevresel şartlar altında, kinetik katsayılar, Y , k , K_s ve k_d sabittir. Katsayıların verilen değerleri için, reaktör çıkış konsantrasyonu Θ_c veya U 'nun doğrudan fonksiyonudurlar. Tam karışım ve geri devirli sistemlerde özgül büyüme için eşitlik 5.56 ve 5.57 Şekil 5.7'de çizilebilir. Şekilden görüldüğü gibi çıkış konsantrasyonu S ve arıtım verimi E , doğrudan Θ_c ile ilgilidirler.



Şekil 5.7. Tam karışım ve piston akımlı reaktörlerin arıtım verimi ve çıkış atık konsantrasyonlarının çamur yaşıyla değişimi (1) .

Şekilden Θ_c 'nin belli değerlerinde atık arıtımının olmadığı görülmektedir. Θ_c 'nin bu kritik değerine minimum çamur yaşı Θ_c^M denir. Fiziksel olarak Θ_c^M nin anlamı, mikroorganizmanın sistemden atılma hızının üreme hızından daha fazla olması anlamına gelmektedir. Minimum çamur yaşı 5.53 ve 5.6'dan türetilen aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$\frac{1}{\Theta_c^M} = Y \frac{kS_0}{K_s + S_0} - k_d$$

(5.67)

Atıksu arıtımında birçok durumda, S_0 , K_s 'den çok büyük olduğundan, 5.60 eşitliği tekrar aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{1}{\theta_c^M} \approx Y k - k_d \quad (5.68)$$

θ_c^M 'yi hesaplamak için gereken tipik katsayılar Tablo 5.10'da verilmektedir.

Tablo 5.10, Aktif çamur prosesi için tipik kinetik katsayılar (1).

Katsayılar	Birim	Değerler	
		aralık	tipik
k	gün ⁻¹	2-10	5
K _s	mg/l BOI ₅	25-100	60
	mg/l KOI	15-70	40
Y	mgVSS/mg BOI ₅	0,4-0,8	0,6
	mgVSS/mg KOI	0,25-0,4	0,4
K _d	gün ⁻¹	0,04-0,075	0,06

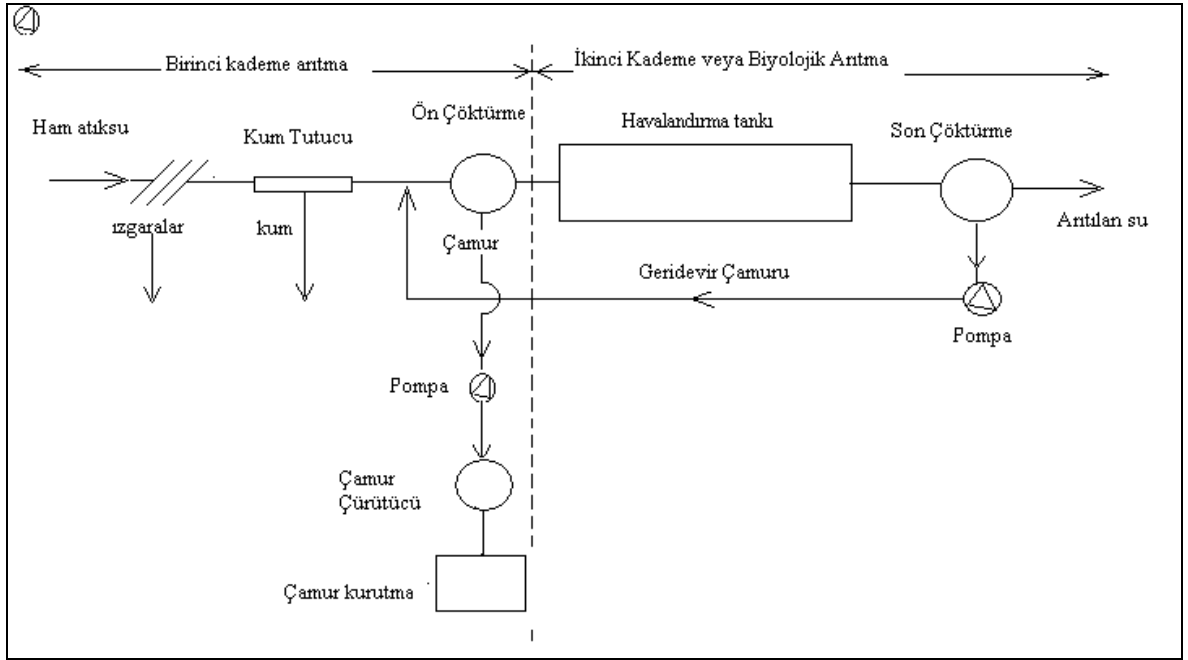
Biyolojik arıtma sistemlerinin tasarımında θ_c 'nin θ_c^M 'e eşit alınmayacağı son derece açıktır. Genellikle tasarım ve işletme çalışmalarında θ_c^M 'nin 2 ile 20 katı alınır. Gerçekte, θ_c 'nin θ_c^M 'e oranı proses emniyet katsayısı (SF) olarak kabul edilir.

$$SF = \frac{\theta_c}{\theta_c^M} \quad (5.69)$$

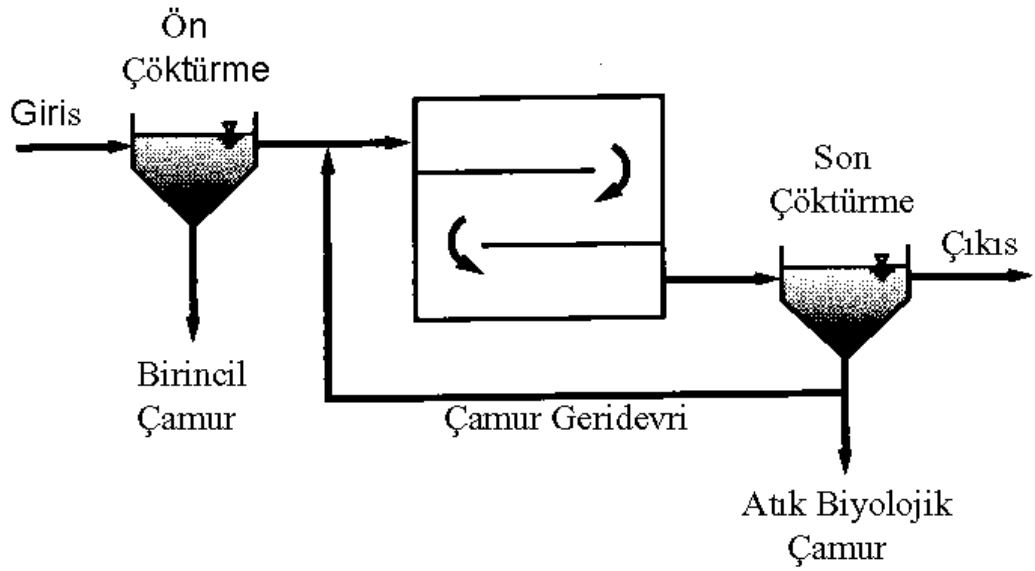
Aktif Çamur Prosesi Modifikasyonları: Aktif çamur prosesi, havalı biyolojik arıtma metotları arasında geniş uygulama alanı bulmaktadır. Bu metot 1912-1914 yıllarında geliştirilmiş ve karmaşık biyolojik mekanizması nedeni ile araştırmacıların diğer proseslere kıyasla daha fazla ilgisini çekmiştir. Bu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

Klasik aktif çamur sistemi ve farklı tiplerinin akım şemaları şekil 5.8 de gösterilmektedir. Sistem birinci kademe arıtma, ızgara, kum tutma ve çökeltme işlemlerinden oluşmaktadır. Evsel atıksularda birinci kademe arıtma ile atıksudaki BOI'nin %30-35'i giderilmektedir.

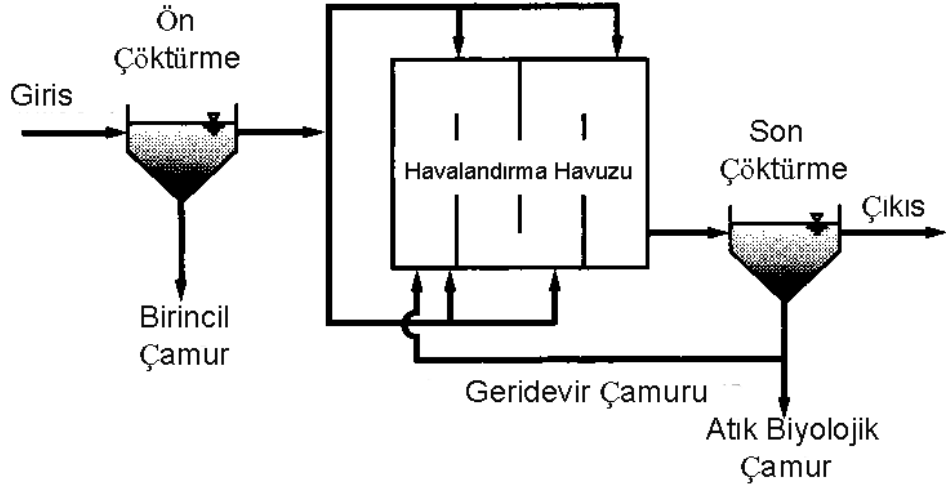
Ön çökeltmeden sonraki arıtmaya ikinci kademe arıtma denir. İkinci kademe arıtma, biyolojik havalandırma işleminin safhasıdır. Bu işlem sırasında çözünmüş organik madde, çökelebilen biyokütle haline dönüştürülür ve son çökeltme tankında çamur olarak tutulur. Daha önceden havalandırılmış olan bu çamura “aktif çamur” denir. Aktif çamurun bir bölümü havalandırma tankına geri döndürülür. Geride kalan kısım ise çoğalan çamura karşı gelen çamur olup sistemden dışarı alınarak birinci kademe arıtma sırasında çıkan çamurla karıştırılır. Karışık çamur daha sonra yoğunlaştırılır ve en sonunda daha ileri stabilizasyon sağlamak amacıyla çamur çürütücülere gönderilir. Aktif çamur prosesi ile %90'ın üzerinde BOI giderimi sağlanır.



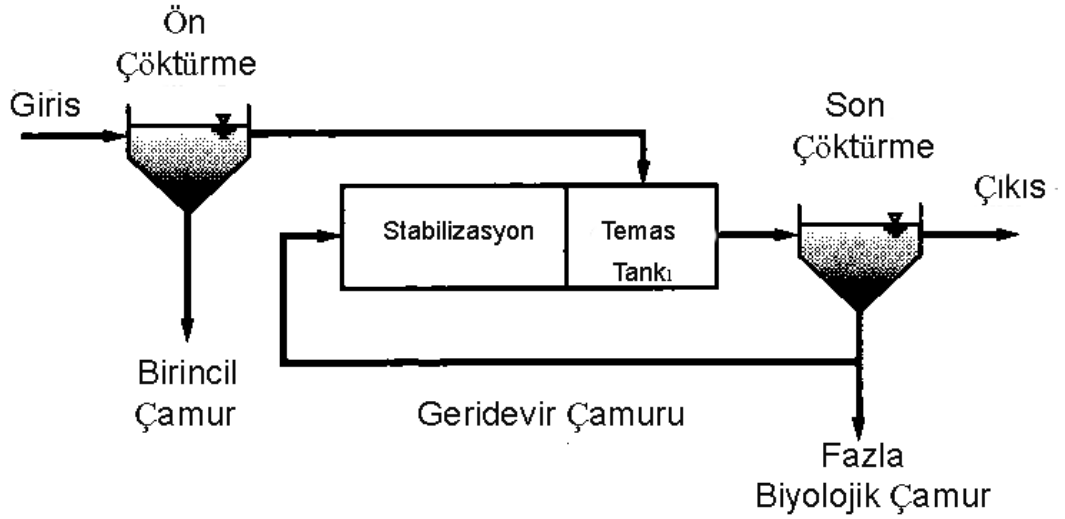
(a) Klasik bir Aktif çamur sisteminin akım diyagramı.



(b) Piston akımlı aktif çamur sistemi



(c) Kademeli beslemeli aktif çamur sistemi



(d) Temas stabilizasyonlu aktif çamur sistemi

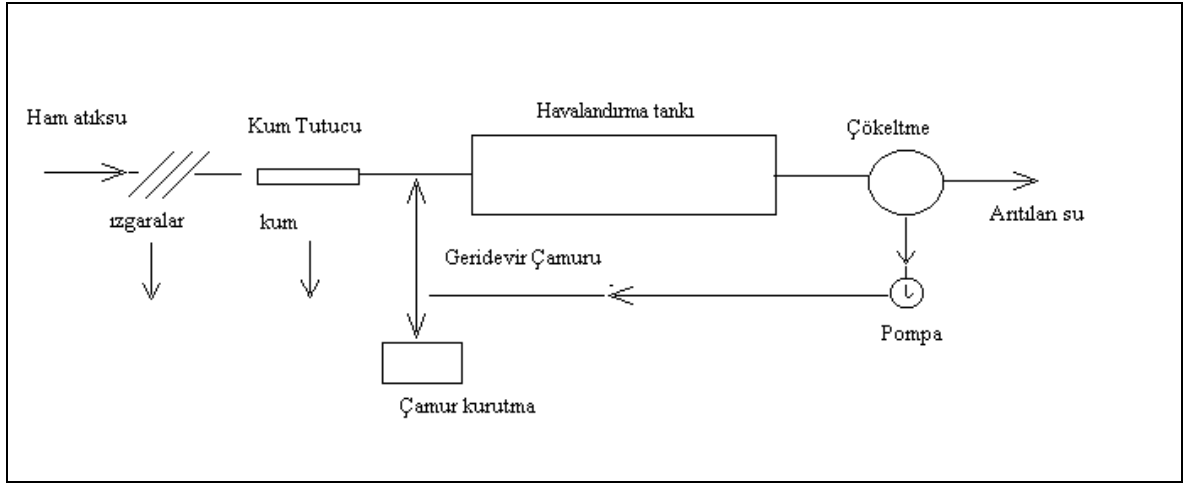
Şekil 5.8 Klasik aktif çamur sistemi ve farklı tiplerinin akım şemaları.

5.8.2 Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Prosesi

Uzun havalandırmalı A.Ç prosesi, yaygın kullanımlı bir aktif çamur çeşididir. Bu prosesin Avrupa'da Pasver tipi oksidasyon hendekleri ve Amerika'da paket tesisler şeklinde çeşitli uygulamaları vardır.

Uzun havalandırma sistemlerinde ön çökeltme havuzu ve çamur çürütücüler yoktur. Bundan dolayı, bu tip tesislerin inşaatı ve işletmesi konvansiyonel aktif çamur tesislerine göre çok daha kolaydır.

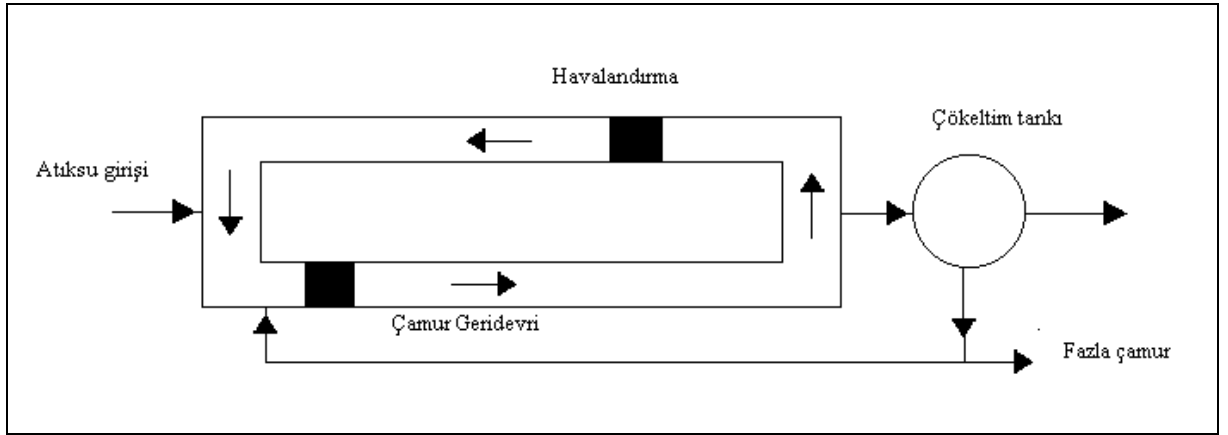
Bu sistemde ham atıksu ızgara ve kum tutuculardan sonra doğrudan doğruya havalandırma havuzuna verilir. Atıksuyun havalandırma havuzunda kaldığı sürenin uzun olmasından dolayı bu ad verilmiştir. Bu sistem her ne kadar enerji tüketimi fazla olan bir proses olsa da, işletme kolaylıkları yüksek enerji bedelini dengelemektedir. Konvansiyonel aktif çamur sistemine göre bir diğer avantajı da %97-98 mertebesinde BOI giderim kapasitesidir. Atıksu üçüncü kademe arıtmadan sonra tekrar kullanılacak ise, bu proses özellikle tercih edilen prosestir.



Şekil 5.9. Uzun havalandırmalı sistemin akım diyagramı

5.8.3 Oksidasyon Hendeği

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



Şekil 5.10 Oksidasyon Hendeği

Tablo 5.11. Aktif çamur prosesleri için tasarım parametreleri (1).

Proses çeşitleri	Θ_c , gün	F/M, kgBOI/ kgTAKM.g	kgBOI/ m ³ .g	TAKM, mg/l	V/Q, saat	Q _r /Q
Konvansiyonel	5-15	0,2-0,4	0,32-0,64	1500-3000	4-8	0,25-0,75
Tam karışımli	5-15	0,2-0,6	0,8-1,92	2500-4000	3-5	0,25-1
Kademeli besleme	5-15	0,2-0,4	0,64-0,96	2000-3500	3-5	0,25-0,75
Değiştirilmiş havalandırma	0,2-0,5	1,5-5,0	1,2-2,4	200-1000	1,5-3	0,05-0,25
Temas stabilizasyonu	5-15	0,2-0,6	0,96-1,2	(1000-3000) ^a (4000-10000) ^b	(0,5-1) ^a (3-6) ^b	0,5-1,5
Uzun havalandırma	20-30	0,05-0,15	0,16-0,4	3000-6000	18-36	0,5-1,5
Yüksek-hızlı havalandırma	5-10	0,4-1,5	1,6-16	4000-10000	2-4	1-5
Kraus prosesi	5-15	0,3-0,8	0,64-1,6	2000-3000	4-8	0,5-1
Saf oksijenli	3-10	0,25-1,0	1,6-3,2	2000-5000	1-3	0,25-0,5
Oksidasyon hendeği	10-30	0,05-0,3	0,08-0,48	3000-6000	8-36	0,75-1,5
AKR	¹	0,05-0,3	0,08-0,24	(1500-5000) ^d	12-50	¹
Derin shaft reaktörü	²	0,5-5	²	²	0,5-5	²
Tek kademeli nitrifikasyon	8-20	0,1-0,25 (0,02-0,15) ³	0,08-0,32	2000-3500	6-15	0,5-1,5
İki kademeli nitrifikasyon	15-100	0,05-0,2 (0,04-0,15) ⁴	0,05-0,144	2000-3500	3-6	0,5-2,0

¹ uygulanamaz

² bilgi yok

^a kontakt birimde, ^b katı stabilizasyon birimi

5.9 Yüzeyde Büyüyen (Biyofilmlili) Havalı Sistemler

5.9.1 Damlatmalı Filtreler

Damlatmalı filtreler üzerinde mikroorganizmaların biyofilm halinde büyüdüğü katı tanecikler içeren bir dolgulu sistemdir. Bu birim içinde 0,1-10 cm büyüklüğünde dolgu malzemesi (kırma taş, plastik, sert kömür, özel dolgu maddeleri vs.) bulunan bir tanktan oluşur. Tipik bir damlatmalı filtre sistemi akım şeması şekil 5.13'te verilmektedir. Bu tankın üzerine ilk arıtmaya (birinci kademe) tabi tutulmuş atıksu belirli bir debi ile verilir. Bu işlem genellikle tankın merkezi etrafında yavaşça hareket eden delikli bir borudan oluşan bir düzenekle (atıksu dağıtım sistemi) sağlanır. Bu şekilde filtreye verilen atıksu filtre dolgu malzemesinin üstünden süzülerek akmakta, bu arada, filtre yatağındaki boşlukların tamamı atıksu ile dolmadığından havalı şartlar devam etmektedir. Taşların üzerinde ince bir tabaka meydana getiren bakteriler atıksudaki organik kirleticileri önce adsorplamakta ve daha sonra biyolojik arıtım reaksiyonu meydana gelmektedir. Biyofilm tabakası zamanla kalınlaşmakta, oksijen ve organik maddeler tabakanın iç kısımlarına ulaşamamaktadır. Filtre dolgu maddesi yüzeyine yakın bu kesimde havasız şartlar oluşmakta, burada oluşan gazların yardımı ve sıvı hareketinden oluşan kesme kuvveti ile biyofilm dolgu malzemesinden ayrılıp çıkış suyu ile birlikte dışarı akmaktadır. Temizlenmiş biyofilmden taşın üzerinde kısa bir zaman içinde yeniden biyofilm tabakası oluşmakta ve döngü bu şekilde devam etmektedir. Damlatmalı filtreden çıkan atıksu son çökeltme tankına verilir. Çökeltme tankı çıkışından belli oranda su damlatmalı filtreye, gerekli hidrolik yükü sağlamak üzere geri verilir. Damlatmalı filtreler akış hızlarına göre “yavaş” ve “hızlı” olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yavaş filtrelerde 2 000-4 000 m³/m²-gün, hızlı filtrelerde ise 10 000-30 000 m³/m²-gün atıksu verilmektedir.

Düşük hızlı filtrelerin işletmeleri daha kolaydır ve küçük nüfuslar için kullanılırlar. Bu tip filtreler, taş ve çakıl gibi doğal malzemelerle kolayca yapılabilirler. Gerekli ekipman, sadece bir dozlama sifonu ve dağıtıcıdır. Filtre ortamı, 2-3 m derinliktedir. Filtre girişi ve çıkışı arasında 2,5-3,5 m'lik bir yük kaybı olur. Genellikle geri devirsiz olarak düzenlenirler. Bu nedenle bu tip filtrelerde pompa gerekmebilir. Arazi ihtiyacı, 0,5-0,7 m²/kişi arasında değişir. Tablo 5.12'de damlatmalı filtrelerle ilgili projelendirme kriterleri verilmektedir.

Tablo 5.12 Evsel atıksuların damlatmalı filtrelerle arıtımında tasarım kriterleri (3).

Konu	Düşük hızlı filtreler	Yüksek hızlı filtreler (taş ortam)	Yüksek hızlı filtreler (plastik ortam)	Kaba filtreler
Hidrolik yük (m ³ /m ² .gün)	1-4	10-30 ^a	40-90 ^a	60-180 ^a
Organik yük (kgBOI/m ² .gün)	0,1-0,3	0,3-1,2 ^b	1,2-3 ^a	2-6 ^b
Geri devir oranı	-	0,5-3	1-4	1-4
Derinlik(m)	1,8-3	1-3	4-12	4-12
Filtre ortamı	Taş, çakıl	Taş, çakıl	Plastik	Plastik
BOI giderim verimi (%)	80-85	65-85	65-85	40-65
Nitrifikasyon	iyi	Sınırlı	Sınırlı	-

^a Geri devir dahil

^b Geri devir dahil değil

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

Damlatmalı filtrelerin en büyük üstünlüğü organik yükün büyük değişimlere uğramasına rağmen verimin olumsuz yönde fazla etkilenmemesidir. Arıtılmış çıkış suyunun belli oranlarda geri devri ile tekrar sisteme verilmesi arıtım verimini artırır.

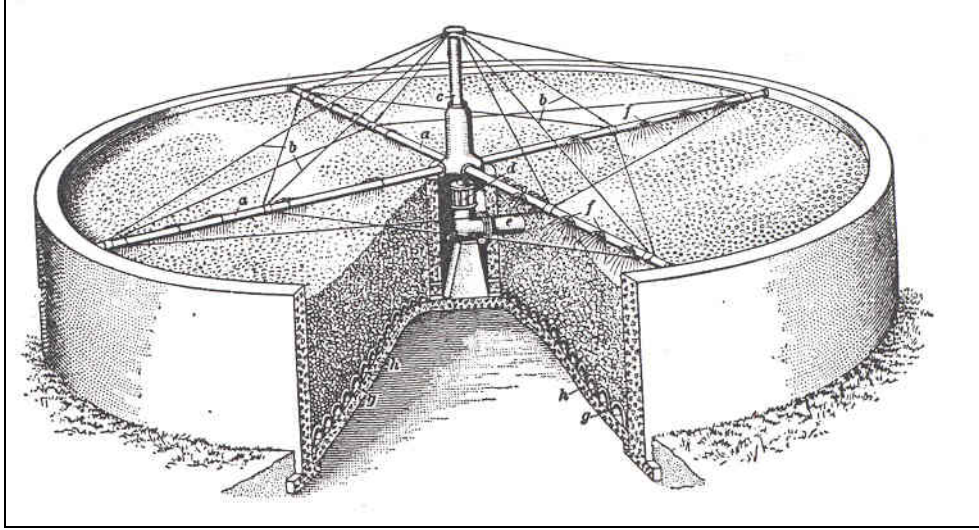
Tablo 5.13. Damlatmalı filtreler ve aktif çamur sistemlerinin karşılaştırması(2).

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

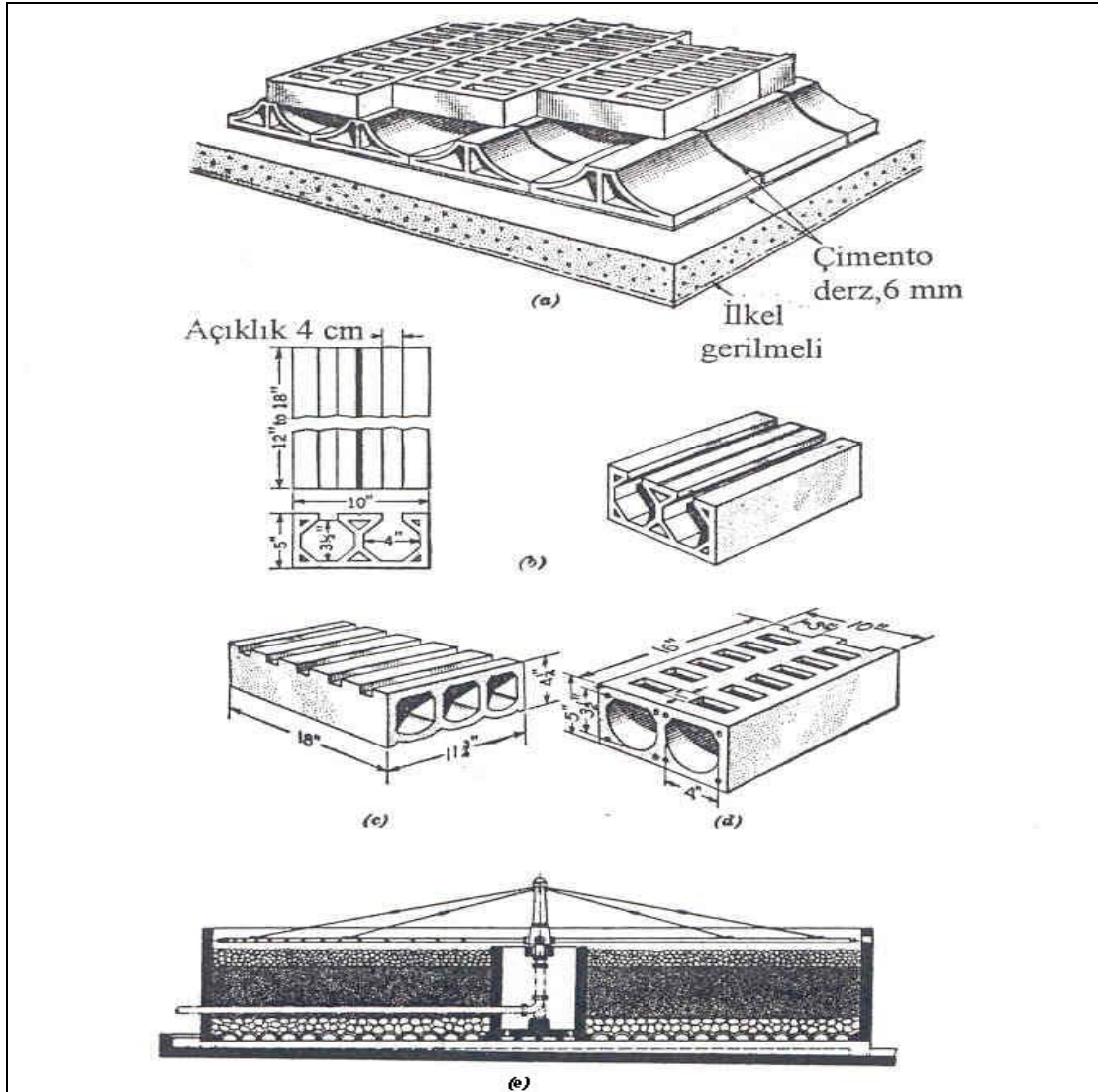
5.9.1.1 Kırma Taştan Dolgulu Biyolojik Filtreler

Bir damlatmalı filtrenin kesiti ve perspektif görünüşü, Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Sistemin başlıca bileşenleri, döner dağıtıcı, drenaj sistemi ve filtre malzemesidir. Atıksu, bir pompa ile dağıtıcının bağlı bulunduğu düşey boruya basılır. Dağıtıcıyı oluşturan borular üzerine açılmış deliklerden fişkıran su jetleri, impuls teoreminden doğan reaksiyon kuvvetleriyle, dağıtıcının dönmesini sağlar. Böylece atıksu, kırma taş üzerine eşit olarak dağılmış olur. Çıkış kanalı ve havalandırma bacaları, filtre içinde iyi bir hava akımı meydana getirecek şekilde oluşturulur (Şekil 5.10). Filtreden çıkan sular biyolojik verimi arttırmak için geri döndürülerek tekrar filtreden geçirilebilir.

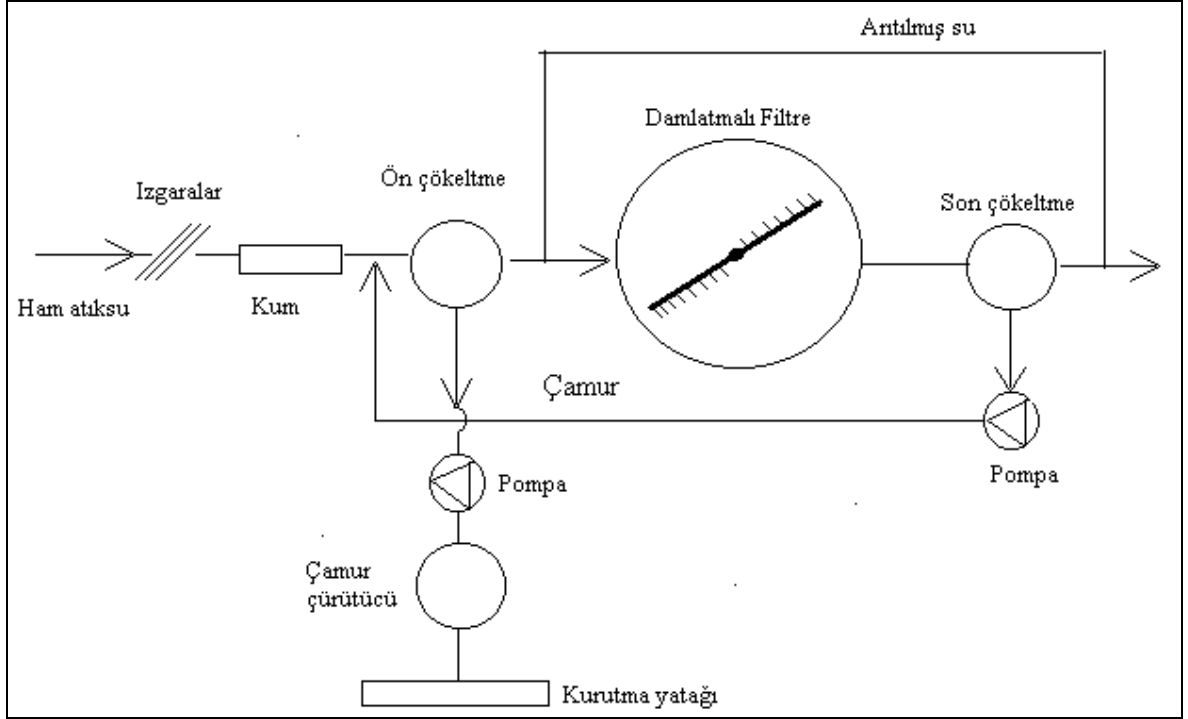
Filtre malzemesi, sağlam dayanıklı, suda erimez ve ufalanmaz cinsten olmalıdır. Bu, sebeple en çok kırma taş ve benzeri malzemeler kullanılır. Tercih edilen tane çapı 10 cm’dir. Her ne kadar daha küçük çaplı taşlar, biyofilm oluşumu için daha büyük bir yüzey alanı sağlasa da, taneler arasındaki boşluklar tıkanma eğilimi gösterirler ve hava ve su geçişini sınırlandırır. Filtre yüksekliği 1,5 m ile 2,1 m arasında değişir. Filtrenin daha yüksek yapılması BOI giderme verimini çok fazla arttırmaz (4).



Şekil 5.11. Bir Damlatmalı filtrenin perspektif görünüşü ve kesiti (4)



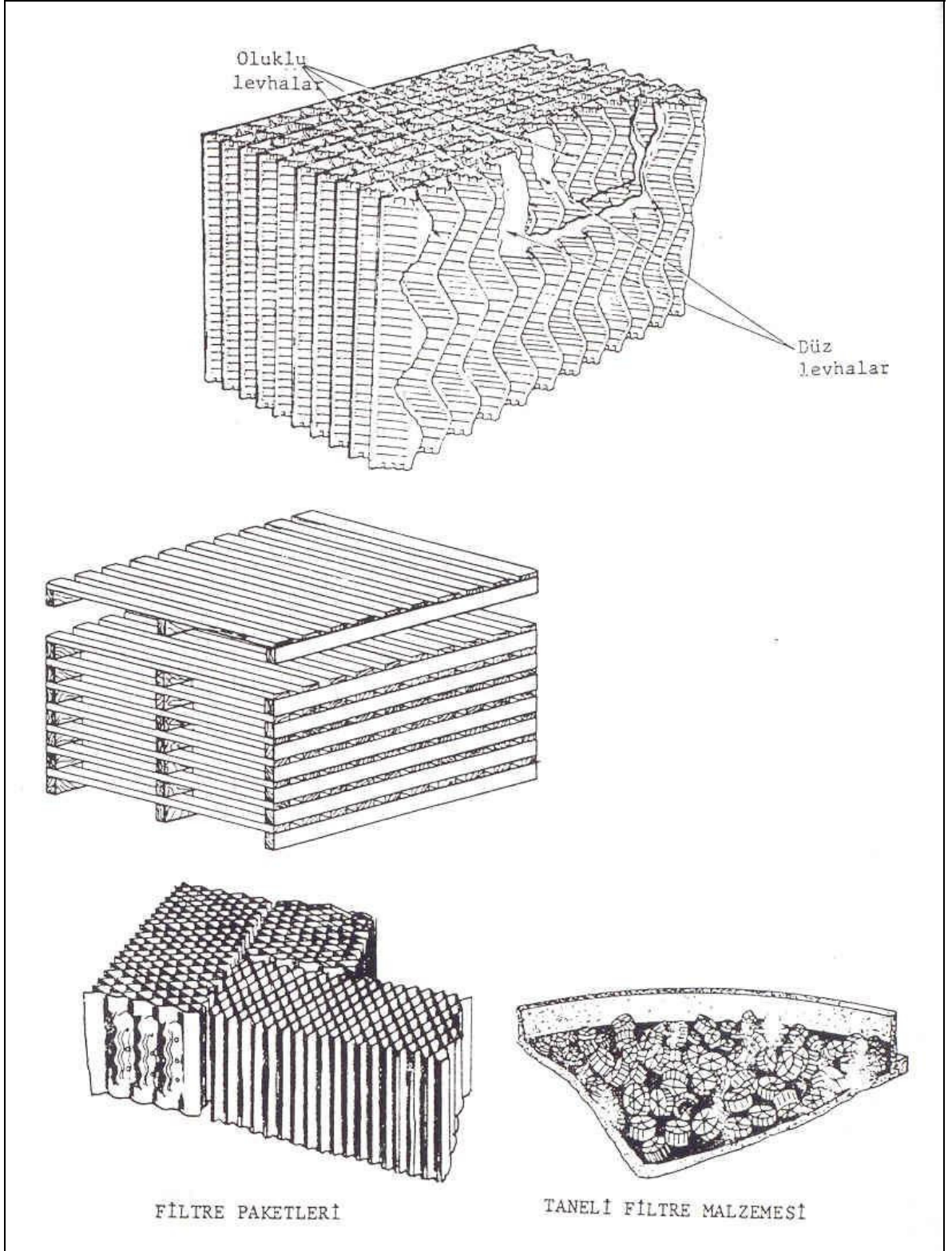
Şekil 5.12. Bir damlatmalı filtrenin kesiti ve tabandaki drenaj sisteminin detayları (4)



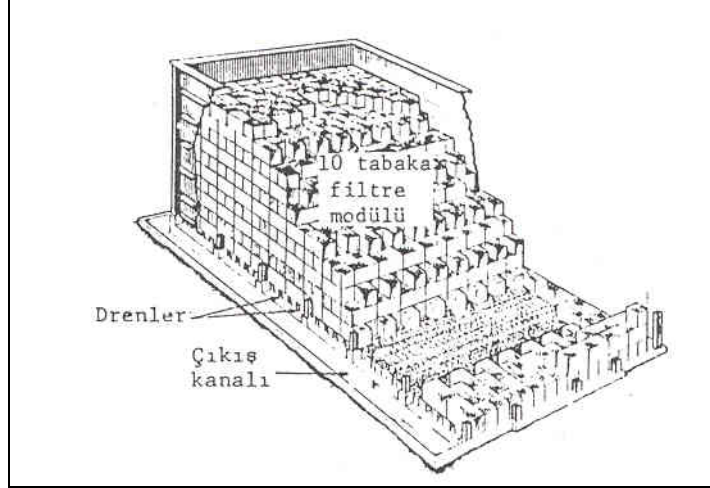
Şekil 5.13. Damlatmalı filtre sisteminin akım diyagramı

5.9.1.2 Sentetik Dolgulu Damlatmalı Filtreler (Biyolojik Kuleler)

Son yıllarda damlatmalı filtreler için birkaç çeşit sentetik dolgu malzemesi üretilmiştir. Kırma taşa kıyasla bu malzemelerin esas üstünlüğü, özgül yüzeylerinin fazla olmasıdır. Bu sayede oksijen sağlayan hava boşlukları tıkanmadan, daha fazla miktarda biyofilm üreyebilmektedir. Diğer üstünlüğü, sıvının daha iyi dağılmasını sağlayan üniform bir filtre ortamı oluşturmaları, hafif olmaları nedeniyle daha büyük bir kimyasal dirence sahip olmaları ve çok fazla organik madde içeren ve çökeltmemiş olan atıksuları arıtabilmeleridir. Plastik filtre blokları, Flocor gibi bazı ticari isimler altında piyasada satılmaktadır. (Şekil 5.14a). Bunlar 0,6m genişlik ve kalınlıkta, 1,2 m uzunlukta modüller halinde olup oluklu levhaların yanyana getirilmesinden meydana gelir. Özgül yüzey alanı $29 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'dür. Çürümeye karşı dayanıklı kızılçamdan yapılmış filtre malzemeleri de bulunmaktadır. Kalın testere ile kesilmiş kızılçam çıtaların yatay olarak $1,2 \times 1,2 \text{ m}^2$ 'lik çerçeveler haline getirilmesinden meydana gelmiştir (Şekil 5.14b). Kızılçamdan yapılmış bu filtre malzemesinin özgül yüzey alanı $14 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'dür. Plastik paketlerin oluklu yüzeyleri ve kızılçamın testere ile kesilmiş pürüzlü yüzeyleri, biyolojik filmin tutunmasını kolaylaştırır. Şekil 5.15'de modüllerin istif şekli ve sabit ağızlıktan suyun filtre üzerine ne şekilde dağıtıldığı gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Biyolojik kulelerin (filtrelerin) dolgu malzemeleri: a) Polivinilklorürden yapılmış *flocor* paketleri: b) *Del-Pak* dolgu malzemesi (4)

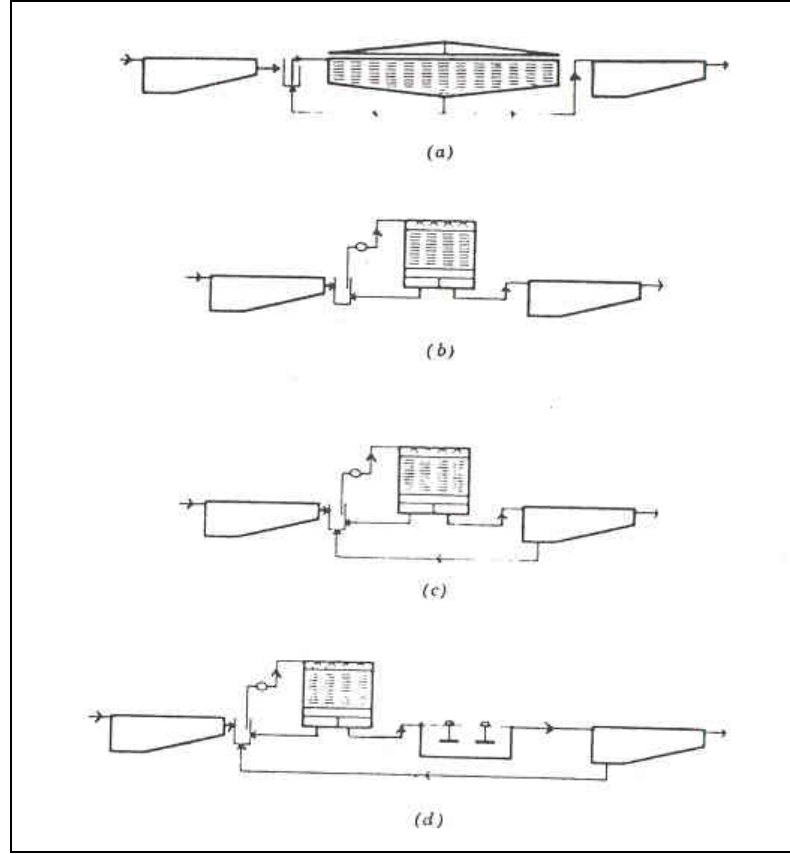


Şekil 5.15. Dikdörtgen şeklindeki bir biyolojik kulenin kesiti ve sabit dağıtıcılardan filtreye su verilmesi (4)

Sentetik malzemeli filtrelerin yapılmasıyla, endüstrilerden ve evlerden gelen atıksuların arıtılmasında biyolojik filtrasyonun uygulama alanı genişlemiştir. Genel olarak kırma taş filtreler, gıda endüstrisinden gelen çok konsantre atıksuların arıtımına uygun olmadığı halde, çok kademeli biyolojik kuleler, bu suları arıtabilmektedirler. Şekil 5.16'daki akım diyagramı, bu tip filtrelerin atıksu arıtımındaki uygulamasını göstermektedir. Mevcut sistemlerde işletme kolaylığı sağlamak veya arıtım verimini arttırmak için kırma taş malzemeyi sentetik malzeme ile değiştirmek mümkündür. Ancak döner dağıtıcısı olan bu sistemler, 1,5m ile 2m gibi küçük bir yatak derinliğine sahipse, be şekilde optimum sonuç alınamaz. Yükseklik 6m ve daha fazla ise daha iyi sonuç elde edilir. Bu kuleler, daha fazla bir temas süresine olanak verir ve atıksular döner dağıtıcılar yerine sabit dağıtıcılar yardımıyla sürekli olarak sisteme beslenir. Özel durumlarda, mevcut arıtma sistemlerinde, ilk çöktirmeden önce biyolojik bir kule inşa edilebilir. Organik yük aralığı 400-2,400 g/m³/gün'dür. Hidrolik yük 10m³/m²/gün değerine kadar çıkar. Sentetik malzemeli biyolojik filtreler, işletme güçlükleri ve koku problemine karşı kırma taş filtrelerle göre daha az sorun çıkarırlar.

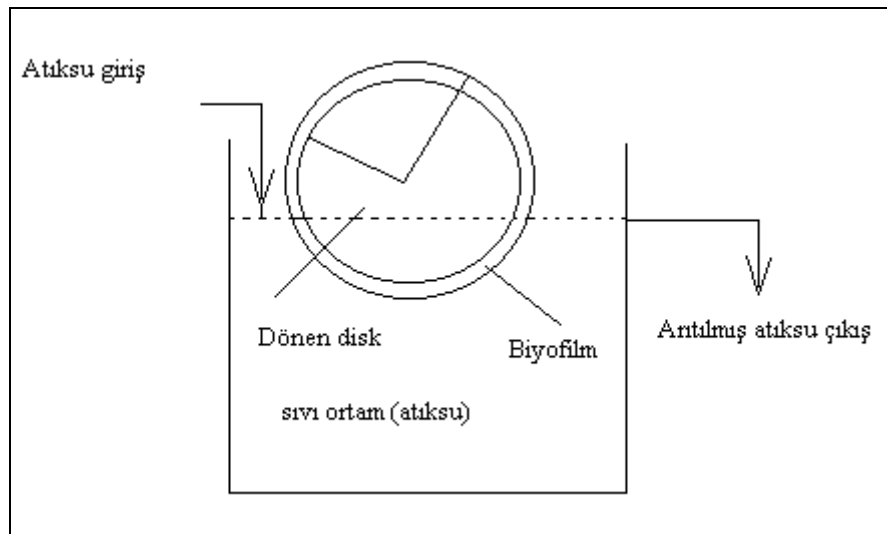
5.9.2 Biyodisk

Döner biyodisk üniteleri daha çok küçük yerleşim merkezlerinin evsel atıksularının arıtımında kullanılmakla beraber, bazı durumlarda düşük devirli endüstriyel atıksulardan BOI gideriminde de kullanılabilir. Bu sistemler plastikten yapılan 2-3 m çapında, 2-3 cm kalınlığında disklerden oluşur. Diskler bir şaft üzerine birbirine paralel olarak yerleştirilir ve şaft bir motor yardımı ile döndürülür. Atıksu, uzun ve sığ tankların içine konur ve diskler atıksu içinde %40-50 oranında batık şekilde döndürülür (2-10 devir/dakika). Mikroorganizmalar disk üzerinde biyofilm oluşturacak şekilde büyürler ve atıksudaki organik bileşikler biyofilm içine damlatmalı filtrelerde olduğu gibi adsorplanır ve biyolojik reaksiyon meydana gelir. Mikroorganizmalar oksijen gereksinimini diskin dönüşü sırasında hava ile temas ederek sağlarlar. Kalın biyofilmler substrat difüzyon limitlerine yol açtığı için; çok ince biyofilmler de daha az etkin oldukları tercih edilmezler. Sistem için önerilen optimum biyofilm kalınlığı 2-3 mm'dir. Tablo 5.14'te tipik tasarım kriterleri verilmektedir.



Şekil 5.16 Biyolojik kulelerin çeşitli uygulama alanlarını gösteren akım diyagramları, a) Mevcut filtrelerde taş malzeme yerine plastik malzeme kullanılması durumunda, b) Yüksek hızlı bir damlatmalı filtre olarak biyolojik kule, c) Aktifleştirilmiş bir biyolojik filtrasyon sistemi: son çökeltme havuzundaki aktif çamur geri dönüşü var, d) Ani yük değişimlerine karşı havalandırma ile desteklenerek aktifleştirilmiş filtre (4).

Dönen biyodisk ünitelerinin enerji gereksinimi 3m'lik diskler için 75 W/m (30 adet x 3m), 2 m'lik diskler için 50 W/m (35 adet x 2m) dir. Çıkış suyu BOI'si istenen seviyede değil ise geri devir uygulanabilir. Arıtma sonucu yaklaşık olarak 0,8-1,2 kg çamur/kg BOI oluşur.



Şekil 5.17. Tipik Biyodisk

Tablo 5.14. Döner biyodisk için Tipik tasarım kriterleri (1).

Parametreler	Arıtım Seviyesi		
	İkinci Kademe	Birlikte Nitrifikasyon	Ayrı Nitrifikasyon
Hidrolik yük, m ³ /m ² .g	0,08-0,16	0,03-0,08	0,04-0,1
Organik yükler			
kgÇBOI ₅ /m ² .g ^a	0,004-0,01	0,002-0,007	0,0005-0,0015
kgTBOI ₅ / m ² .g ^b	0,01-0,017	0,007-0,015	0,001-0,003
Birinci adımda max.yükleme			
kgÇBOI ₅ /m ² .g ^a	0,02-0,03	0,02-0,03	-
kgTBOI ₅ / m ² .g ^b	0,04-0,06	0,04-0,06	-
NH ₃ yükü, kg/m ² .g	-	0,0007-0,0015	0,001-0,002
Hidrolik kalış süresi,Θ,saat	0,7-1,5	1,5-4	1,2-2,9
Çıkış BOI ₅ , mg/l	15-30	7-15	7-15
Çıkış NH ₃ ,mg/l	-	<2	1-2

^a ÇBOI₅ = Çözünmüş BOI₅^b T BOI₅ = Toplam BOI₅

Disk ünitelerinin projelendirilmesinde ilk adım, istenen derecede biyofilm çoğalması için gerekli yüzey alanının tahmin edilmesidir. Biyofilm gelişmesi oranı, istenen BOI giderimine bağlıdır. Tablo 5.15’de günde her m² disk yüzey alanına verilebilecek BOI yükleri gösterilmektedir.

Tablo 5.15. Bazı dönen biyodisk tesislerinin verimlilikleri (3).

Ülke	Tesis	Uygulanan BOI yükü (g/m ² .gün)	Açıklama
İngiltere	Tam ölçekli	6	Çıkış BOI 20mg/l ¹ Nitrifikasyon var.
	Pilot	8	Başarılı nitrifikasyon (17-23°C)
Federal Almanya	Tam ölçekli	6-10	<%90 BOI giderimi
		12-18	²
Hindistan	Tam ölçekli (günde 10 saat)	25	% 85-89 BOI giderimi (>23°C)
Amerika	Tam ölçekli	20	%85-94 BOI giderimi

¹ Yılın %95’inde elde edilen değer.² Biraz azaltılmış verimle büyük tesislerdeki yükler uygulanabilir.

5.9.3 Akışkan Yataklı Reaktör

Damlatmalı filtre ve dolgulu kulelerde karşılaşılan ve heterojen yapıdan kaynaklanan kontrol parametrelerini (sıcaklık, pH, ÇO, besi maddesi konsantrasyonu) ortadan kaldırmak için akışkan yataklı biyofilm reaktörleri geliştirilmiştir. Bu tip reaktörlerde organizmalar destek parçacıkları üzerinde film halinde ya da içinde tutulurlar ve atıksu biyoreaktöre alttan belirli akış hızıyla verilerek üstten alınır. Atıksu debisi, biyo-parçacıkları su içinde askıda tutacak şekilde ayarlanır (büyük oranda su geridevri yapılıır). Katı parçacıklar kum, antrasit, aktif karbon, plastik, seramik ya da tel örgü parçacıkları olabilir.

Burada da atıksu, BOI giderimini arttırabilmek, akışkanlığı sağlayabilmek için çok yüksek oranda geri devir ile biyoreaktöre verilebilir. Sistem tercihen sürekli çalıştırılmaktadır.

5.10 Havalandırılmalı Lagünler

Havalandırılmalı lagünler, 2,5-5 metre derinliğinde toprak yapılar olup, havalandırma dubalar veya sabit kolonlar üzerine yerleştirilen mekanik havalandırıcılarla yapılır. Stabilizasyon havuzları ile kıyaslandığında %10-20 daha küçük hacimlere sahiptirler.

Bu arıtma sisteminin esas fonksiyonu atık dönüşümüdür. Diğer askıda katı madde sistemlerinde olduğu gibi havalandırma ile oluşturulan türbülans sistemin içeriğini askıda tutmada sağlar. Hidrolik kalış süresine bağlı olarak, havalandırılmalı lagünden çıkan arıtılmış su giren BOI'nin üçte biri ile yarısını hücre formundaki mikroorganizma oluşturur. Bu katıların çoğu deşarjdan önce çöktürülerek ortamdan uzaklaştırılır.

Bu havuzların tasarımında büyük esneklikler vardır. Bu tip lagünler bir taraftan basit fakültatif tipte, diğer taraftan da çamur geri devrinin yapıldığı daha verimli ve yoğun üniteler olarak projelendirilebilirler. Her durumda da bunların inşaatları ve işletilmeleri çok kolaydır. Bu nedenle hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde yaygın kullanım alanına sahiptirler. Havalandırılmalı lagünlerin tasarımında gözönüne alınan faktörler;

- BOI giderimi
- Çıkış suyu özellikleri
- Oksijen ihtiyacı
- Sıcaklık etkisi
- Karıştırma için gerekli enerji
- Katı ayırma (çökeltme)

BOI Giderimi: Tam karışımli geri devirsiz havalandırılmalı lagün olarak kabul edildiğinde, tasarımın temelini çamur yaşı oluşturur. Ortalama çamur yaşının hesaplanmasında dikkat edilecek hususlar:

- Mikroorganizmaların çöktürme ile kolay giderilebilmesi için flok şeklinde olması ve
- Ortalama çamur yaşı ile kıyaslandığında uygun bir emniyet katsayısının seçilmesidir.

Evsel atıksuyun arıtımında kullanılan lagünlerde tipik çamur yaşı 3-6 gündür.

Arıtılmış Atıksu Özelliği: Lagün çıkış atıksuyunda önemli parametreler BOI ve AKM konsantrasyonudur. Çıkış suyundaki BOI ve AKM konsantrasyonları bazen küçük miktarda alg'i de kapsarlar.

Oksijenİhtiyacı: Oksijen ihtiyacı aktif çamur tasarımıında kullanılan yöntemlere göre belirlenir. İhtiyaç duyulan oksijen miktarı giderilen BOI'nin 0,7 ile 1,4 katı olarak hesaplanır.

Sıcaklık: Havalandırmalı lagünler geniş iklim şartları ve sıcaklık değişimlerinde kurulup ve işletileceği düşünülerek tasarımlanırlar. Burada sıcaklığın iki önemli etkisi,

- biyolojik aktiviteyi azaltması ve arıtım verimini düşürmesi,
- buz oluşumudur.

Sıcaklığın, biyolojik aktivite üzerine etkisi daha önceki bölümlerde bahsedilen biyolojik sistemlerdeki benzerler. Buzlanma probleminin olduğu durumda lagün işletmesine olan etkisi, lagünün derinliği artırılarak veya işletme metodu değiştirilerek en aza indirilir.

Birden fazla lagünün olması durumunda ılıman iklimlerde lagünler paralel, kışın ise seri olarak işletilebilir. Kış işletme şartlarında havuzdaki havalandırıcılar durdurulur ve lagünün yüzeyinin donmasına izin verilir. Baharda buzlanmanın erimesi ile paralel çalışma şartlarına tekrar sistem alıştırılır. Bu çalıştırma şekli ile %60-70 BOI giderimi soğuk kış aylarında bile sağlanabilir.

Havalandırmalı lagünler evsel (Tablo 5.17) ve endüstriyel atıksuların (kağıt, gıda, petrokimya vd.) arıtımında başarı ile kullanılmaktadırlar. Lagünler başlıca üç tipe ayrılabilirler:

- Fakültatif
- Havalı, sürekli beslemeli
- Havalı, çamur geri devirli

Her üç tip havalandırmalı lagünde de biyolojik arıtma prensipleri aynıdır.

Tablo 5.17. Evsel atıksuları arıtan farklı tipteki lagünlerin tasarım kriterleri (3).

Özellik	Fakültatif	Havali sürekli akışlı	Havali geri devirli
Katı madde kontrolü	Yoktur (bir kısmı çöker, diğer kısmı arıtılmış su ile çıkar).	Kısmen (katılar çökmez, arıtılmış su ile çıkar).	Tam kontrol (fazla çamur kontrollü olarak sistemden çekilir).
Lagündeki AKM ¹ konsantrasyonu, mg/l	50-150	100-350	3000-5000
UAKM ² /AKM (%)	50-80	70-80	50-80
Çamur yaşı Θ_c , gün	Yüksek	Genellikle 5	Sıcak iklim:10-20 Ilık iklim:20-30 Soğuk iklim:>30
BOI giderim hızı (20°C'de günlük, filtrelenmiş), kg/m ³ /gün	0,6-0,8	1-1,5	20-30
Sıcaklık katsayısı, Θ	1,035	1,035	1,01-1,05
Hidrolik kalış süresi, gün	3-12	Genellikle 5	0,5-2
BOI giderim verimi (%)	70-90	50-60	95-98
Nitrifikasyon	Yok	Uygunsuz şartlar	Az
Koliform giderimi (%)	60-99 ³	60-90	60-90
Lagün derinliği ⁴ , m	2,5-5	2,5-5	2,5-5
Arazi ihtiyacı,(m ² /kişi)			0,15-0,25 ⁵
Sıcak iklim	0,3-0,4	0,3-0,4	0,25-0,55 ⁵
Ilık iklim	0,45-0,9	0,35-0,7	
Güç ihtiyacı, kW/kişi-yıl hp/1000	12-15 ⁶ 2-2,5 ⁶	12-14 2-2,5	18-24 ⁷ 3-5
Min.güç (kW/10 ³ m ³ lagün hacmi)	0,75-1 (eşit O ₂ yaymak)	2,75-5 (bütün katıları askıda tutmak)	15-18 (bütün katıları askıda tutmak için)
Çamur	Birikir ve birkaç yıl sonra uzaklaştırılır.	Birikim olmaz. Katı maddeler arıtılmış su ile çıkar.	Fazla çamur günlük uzaklaştırılır.
Çıkış yapısı	Arıtılmış su savakla dışarı verilir.	Kısmi veya tam boru kullanılır.	Savak veya boru.

¹ AKM: Askıda katı madde

² UAKM : Uçucu askıda katı madde

³ İki veya daha fazla ünitenin ser bağlanması durumunda yüksek verim fizibil olabilir.

⁴ Kullanılacak havalandırıcıya uygun seçilmelidir.

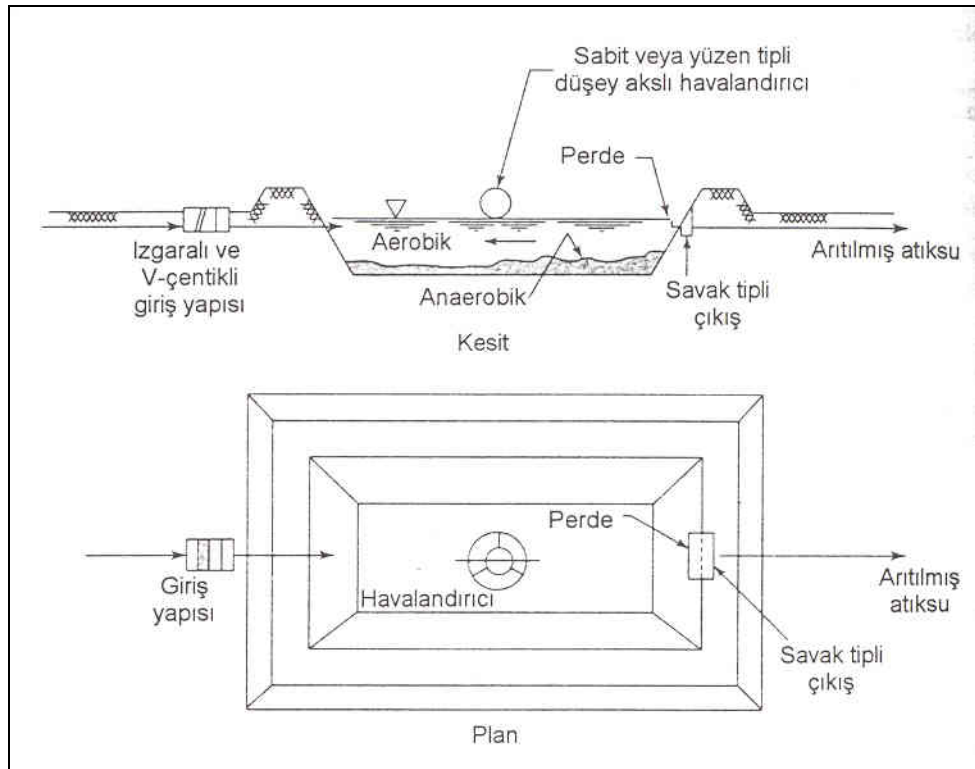
⁵ Çamur kurutma dahil

⁶ Havasız gaz üretiminden yararlanılırsa enerji ihtiyacı düşebilir

⁷ Nitrifikasyona bağlı

5.10.1 Fakültatif Havalandırmalı Lagünler

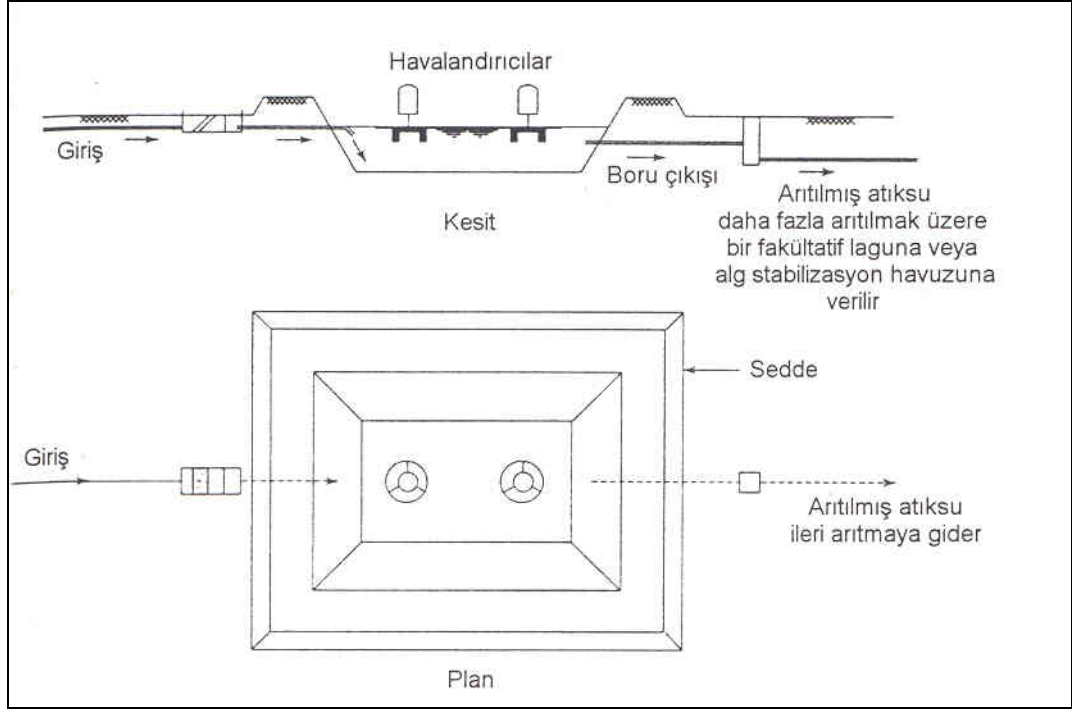
Fakültatif havalandırmalı lagünlerde birim hacme düşen enerji yoğunluğu, gerekli oksijen miktarının sıvıya verilmesi için yeterlidir. Fakat bu enerji girdisi, bütün katıları askıda tutmak için yeterli değildir. Bunun sonucunda, lagüne giren askıda katı maddelerin bir kısmı ve substrat giderimi sonucunda oluşan katı maddeler, tabana çökmeye çalışırlar ve tabanda havasız bozunma meydana getirirler (Şekil 5.18). Lagündeki aktivite kısmen havalı, kısmen de havasız olduğundan bu tip lagünlere “fakültatif” denir. Ancak bazen kısaca havalandırmalı lagünler de denilmektedir. Evsel atıksular için %70-90 oranında BOI giderimi sağlarlar.



Şekil 5.18 Mekanik havalandırmalı bir fakültatif lagün (3)

5.10.2 Sürekli Akışlı Havalı Lagünler

Bu lagünlerde enerji yoğunluğu, sadece istenilen miktarlardaki oksijeni sıvı içerisine verecek seviyede değil, aynı zamanda aktif çamur havalandırma tanklarında olduğu gibi bütün katı maddeleri askıda tutacak seviyede de olmalıdır. Bu nedenle, bu tip lagünlerde askıda katı çökmesi olmaz (Şekil 5.19). Arıtım verimi fazla yüksek değildir. Çıkış suyunda çok miktarda askıda katı madde bulunduğu için verim yaklaşık %50-60 seviyesindedir. Daha iyi BOI ve katı madde giderim istenirse ilave arıtma gerekir.



Şekil 5.19. Kesintisiz akışlı mekanik havalandırmalı lagün (3)

5.10.3 Çamur Geri Devirli Havalı Lagünler

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

5.11 Stabilizasyon Havuzları

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

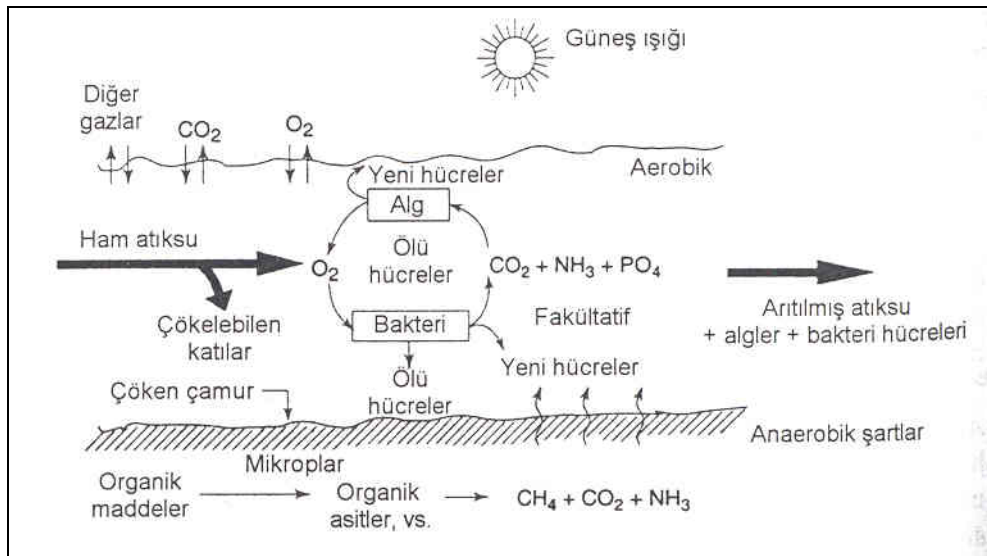
5.11.1 Havuz Tipleri

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

Havasız Stabilizasyon Havuzları: Bu tip Stabilizasyon havuzlarında mikrobiyolojik aktivite havasız ortamda gerçekleşir. Anaerobik ve fakültatif mikroorganizmalar, nitratlar

ve sülfatlardaki oksijeni kullanırlar. Bu tip havuzlar yüksek organik yükleri kabul edebilirler ve alg fotosentezi olmadan çalışabilirler. Işığın geçirimi bu havuzlarda önemli olmadığından, 3-4 m derinlikler kullanılır. Ancak günümüzde bu havuzlar yerine daha verimli oldukları için havasız çamur yataklı reaktörler (HÇYR) anaerobik çamur battaniyesi (AAÇB) sistemleri kullanılabilir.

Fakültatif Stabilizasyon Havuzları: Bu tip havuzlar kısmen havalı, kısmen de havasız olarak çalışmaktadırlar. Bu nedenle hem alg hem de fakültatif mikroorganizma gelişimi olur. Derinlik genellikle 1-2 m'dir. Gündüz güneş ışığında havuz ağırlıklı olarak havalı karakterde iken, gece havuz tabanındaki su havasızdır karakterli olur. Tabanda biriken çamurun, çamur-su arakesit yüzeyinden itibaren birkaç mm'lik kısmı hariç, geri kalan tümü ise havasızdır. Dünyadaki mevcut havuzların çoğu fakültatif tiptedir. Bu havuzlardaki havalı ve havasızlık dereceleri değişkendir (Şekil 5.20) (3).



Şekil 5.20, Tipik bir fakültatif havuzda atıksu arıtımı (3)

Hiçbir arıtmadan geçmemiş atıksuları kabul eden havuzlara ham veya birinci kademe stabilizasyon havuzları denir. Ön çökeltmeden geçmiş veya biyolojik olarak arıtılmış atıksuların geldiği havuzlara ise ikinci-kademe stabilizasyon havuzları adı verilir.

İkinci kademe stabilizasyon havuzlarına örnek olarak olgunlaştırma havuzları sayılabilir. Stabilizasyon havuzlarında veya diğer konvansiyonel arıtma tesislerinde arıtılan atıksular, daha iyi hale getirilmek üzere (özellikle, bakteri sayısı azaltılmak üzere) belli bir süre (yaklaşık 5-7 gün) olgunlaştırma havuzlarında ilave arıtmaya tabi tutulurlar. Olgunlaştırma havuzları, organik yük yönünden oldukça hafif yüklenirler. Bu tip havuzların özellikle Güney Afrika'da çok kullanıldığı rapor edilmektedir. Sıcak iklimlerde olgunlaştırma havuzları, klorla dezenfeksiyona ekonomik yönden fizibil bir alternatif olmaktadır.

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

Su Bitkisi Havuzları: Bu havuzlar, ikinci-kademe havuzlardır. İçlerinde yüzer su bitkileri (örneğin, su sümbülü) yetişmesine izin verilir; hatta bizzat yetiştirilir. Bu bitkilerin atıksuyu daha fazla arıtma ve ağır metalleri giderme kabiliyetleri vardır. Bu bitkiler, sağladıkları

besi maddeleri (N ve P) ve gazlar sayesinde yeni bitkilerin üremesine de katkıda bulunurlar.

Stabilizasyon havuzu projelendirilmesinde en sık uygulanan akım şemaları Şekil 5.21’de verilmektedir. Havuzların geometrileri farklı şekillerde olabilir. Üniteler, istenen akım rejimine bağlı olarak (piston, dispersiyonlu veya tam karışımli) seri veya paralel bağlı olarak yerleştirilirler.

Farklı tipteki havuzların verimleri, aşağıda verilen faktörlere göre değerlendirilir:

- BOI giderimi,
- Mikroorganizma giderimi,
- Besi maddesi (N ve P) giderimi.

Tablo 5.18. Havalı, havasız ve fakültatif stabilizasyon havuzları için tasarım parametreleri (5).

Parametre	Havalı	Fakültatif	Havasız
Hidrolik Kalış süresi, gün	5-20	10-30	20-50
Su derinliği, m	03-1	1-2	2,5-5
BOI ₅ yükü, kg/ha.gün	40-120	15-120	200-500
Çözünmüş BOI ₅ giderimi,%	90-97	85-95	80-95
Toplam BOI ₅ giderimi,%	40-80 ¹	70-90	60-90
Alg konsantrasyonu, mg/l	100-120	20-80	0-5
Çıkış AKM, mg/l	100-250	40-100	70-120

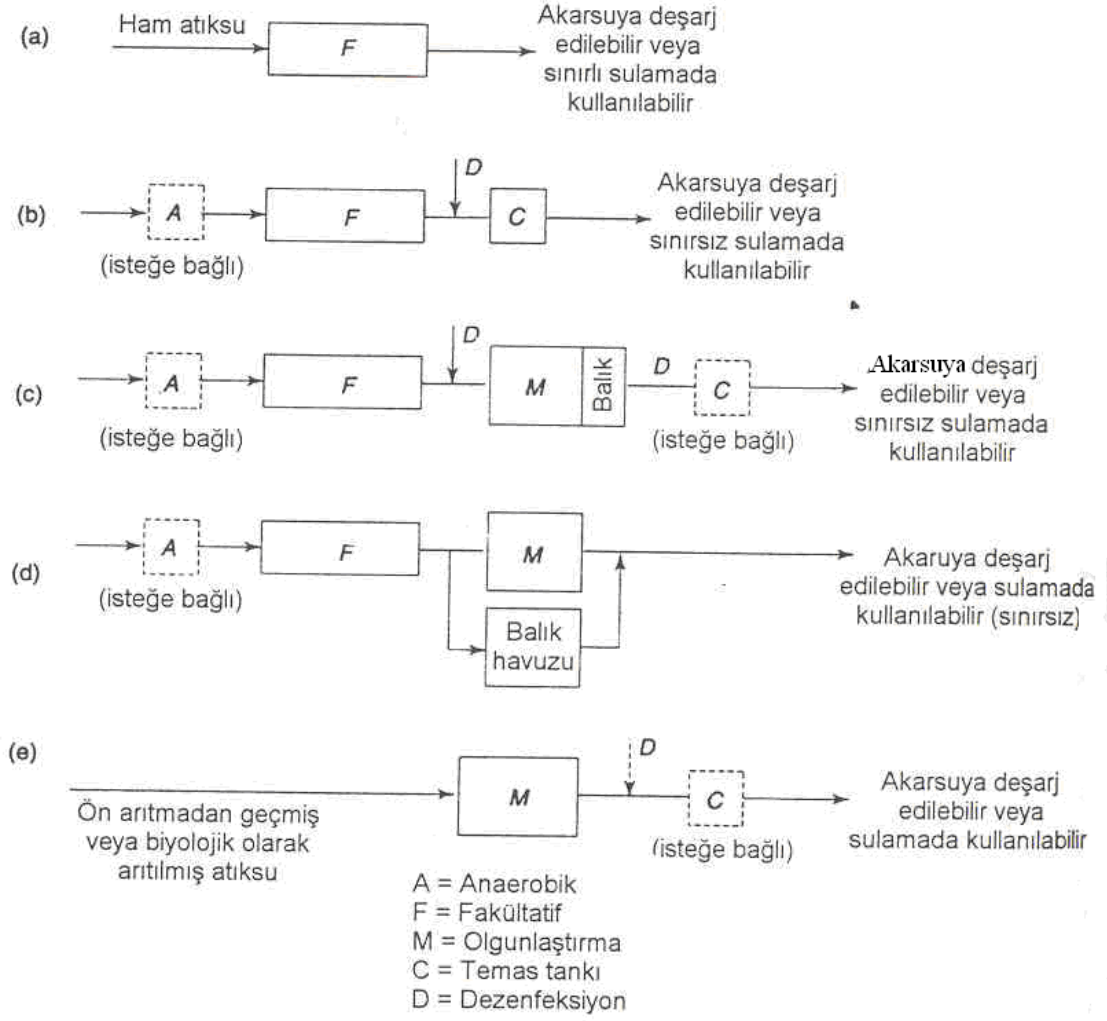
¹ çıkışta yüksek alg konsantrasyonundan dolayı toplam BOI₅ giderimi düşüktür.

5.11.2 Havuz Ekosistemini Etkileyen Faktörler

Havuz projelendirilmesini etkileyen çeşitli faktörler, aşağıda verilmektedir:

- Atıksu özellikleri ve değişimi
- Çevresel faktörler (radyasyon, ışık, sıcaklık ve bunların değişimleri)
- Alg büyüme modeli, bunun günlük ve mevsimsel değişimi
- Bakteri büyüme modelleri ve ölme hızları
- Akımın Hidrolik rejimi
- Buharlaşma ve sızma
- Katı madde çökmesi, sıvılaşma, gazlaşma, aşağıdan yukarı difüzyon ve çamur birikimi
- Ortak yüzeylerde gaz transferi

Simülasyon yapmak için, kütle denge denklemlerinin kullanıldığı matematiksel modellerden yararlanılır.



Şekil 5.21. Stabilizasyon havuz sistemleri için bazı tipik yerleşim biçimleri (3)

5.12 Havalı Atıksu Arıtma Sistemleri Özelliklerinin Özeti

Tablo 5.20’de atıksu arıtma sistemleriyle ilgili önemli parametreler (alan, enerji gereksinimi, ve verimlilik) verilmektedir. Bu tablodaki değerler belli bir durumda seçim yaparken bir ön yaklaşımda bulunmak amacıyla kullanılabilir. Projelendirmede daha detaylı hesap metotları kullanılmaktadır.

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

Tablo 5.20, Farklı atıksu arıtma metodlarında arıtım verimlerinin karşılaştırması

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

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

Tablo 5.21. Farklı atıksu arıtma metodlarının işletme ve ekipman açısından karşılaştırması.

Arıtım	Çamur işleme	Ekipman(*)	İşletme özellikleri	Nüfusun birim maliyete etkisi	Ayırıcı özellik
Uzun havalandırmalı AÇ	Çürütme yok,kurutma veya susuzlaştırma	Havalandırıcı,pompa,çamur sıyrıcı	Aktif.ç.dan basit	Küçük	Yüksek BOI giderimi ve nitrifikasyon, enerji iht.fazla, küçük-orta ölçekli işletmeler
Konvansiyonlu Aktif çamur	Çamur çürütülür,kurutulur veya susuzlaştırılır	Havalandırıcı,pompa, sıyrıcı,çürütücü,gaz ekipmanları	Tecrübeli işletme gerekir	Oldukça fazla	Fazla ekipman, tecrübeli işletme iht., büyük işletmeler için uygun
Konv.damlatmalı filtre	Çürütme, kurutma veya susuzlaştırma	Filtre kolları, pompa,sıyrıcı,yoğunlaştırıcı, gaz ekipmanları	Tecrübeli işletme gerekir	Oldukça fazla	Fazla ekipman, tecrübeli işletme iht., Aktif çamura göre az enerji iht.
Fakültatif havalı lagun	5-10 yılda bir elle temizleme	havalandırıcı	Basit	Az	Enerji iht. Aktif çamura benzer, inşaat ve işletme daha kolay, Genişletme veya yer değiştirme kolay
HÇYR	kum yataklarında kurutma veya susuzlaştırma	Yok(enerji üretilecekse gaz toplayıcı)	Aktif çamurdan daha basit	Az	Minimum enerji iht., ekonomik, arazi iht.az
Stabilizasyon havuzu	5-10 yılda bir elle temizleme	Yok	En basiti	Çok az	En basit arıtma metodu,enerji iht.yok, Çok alan gerektirir
Arazide arıtma/sulama	çamur problemi yok	Yayma ekipmanları veya damlatma sistemleri	-	Çok az	Bitki ve dağıtım sistemine bağlı ön arıtım gerektirir,elde edilecek mahsul masrafları fazlasıyla karşılar

*ızgaralar ve kum tutucular hariç

5.13. Küçük Atıksu Arıtma Sistemleri

5.13.1. Genel Özellikler

Düşük nüfus 1000 veya daha az kişiden oluşan topluluk için tanımlanmaktadır. Böyle bölgeler için atıksuların merkezi toplama ve arıtımında, finansal, teknik ve stratejik problemlerle karşılaşmaktadır. Bu tür durumlarda karşılaşılan temel problemler,

- Sıkı deşarj standartları,
- Yüksek sistem maliyeti
- Kısıtlı yatırım, işletme ve bakım bütçesi

olarak özetlenebilir.

Deşarj Standartları

Çevreyi korumak amacıyla, hem büyük hem de küçük arıtma sistemleri için deşarj değerleri aynıdır. Sonuç olarak küçük sistemler de deşarj kriterlerini sağlamak amacıyla yüksek bir arıtım veriminde işletilmelidir. Bunun için de belli bir ekonomik girdinin olması gerekir.

Yüksek Sistem Maliyeti

Klasik arıtma sistemleri büyük boyutlu olması ve inşaat maliyetinden dolayı, küçük yerleşim yerleri için ekonomik olmayabilir. Örneğin 1000 kişilik nüfusta kişi başına düşen maliyet, 100,000 kişilik nüfusta kişi başına düşen maliyetten 2 ila 4 katı daha fazladır.

Kısıtlı Finansman

Küçük yerleşim birimlerinde arıtma sisteminin giderlerini karşılamak aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı zordur;

- *Düşük Gelir:* Küçük yerleşim birimlerindeki halkın gelir seviyesi genellikle büyük şehirdekinden daha düşüktür. Bu bölgelerdeki yoksulluk seviyesi de daha yüksektir. Diğer taraftan, özellikle Büyükşehirlerin hemen yanında az nüfuslu ancak zengin yerleşim birimlerine de rastlanabilir.
- *Konut Vergisi:* Ticari ve endüstriyel vergi girdisinin az olduğu nüfusu küçük bölgelerde ev sahipleri verginin büyük bir kısmını karşılamak durumundadır.
- *Maliyet:* Küçük yerleşimlerin sermaye piyasasına girmesi zor olduğundan kaynak ve kar girdisi düşüktür. Bu nedenle daha yüksek faiz ödemek durumundadırlar.
- *Ticari Kısıtları:* Ticari hareketliliğin azlığı nedeniyle zayıf bir ekonomi vardır.

Kısıtlı İşletme ve Bakım Olanakları

Küçük yerleşim bölgelerinde çoğu kez arıtma sistemlerinin işletilmesi için gerekli olan ekonomik kaynak ve teknoloji kısıtlıdır. Problem genellikle tasarım, yetersiz danışmanlık hizmeti, proje yönetimi, hesaplama, ücretlendirme, işletme ve bakımdan kaynaklanmaktadır. Arıtmanın sistem bütünlüğü dahilinde tamamlanabilmesi için bu

problemleri aşmak gerekir. Örneğin bu aşamada arıtma sistemi operatörü için gereken ücret büyük bir ihtimalle bölgenin belediye başkanının maaşını bile aşabilir. Tam oturmamış bölgelerde, bu tip sosyal problemler çözümsüz kalabilir. Bu bölgeler için farklı özel çözümler üretmek gerekir.

Küçük Sistemlerde Debi ve Atıksu Karakteri

Küçük sistemlerde debi ve atıksu karakteri, büyük sistemlere kıyasla daha büyük farklılıklar gösterir. Böylece, tahmin edilen atıksu debi ve karakterini bilmek etkili tasarım çalışması için temel teşkil eder.

Atıksu Debisi

Ortalama atıksu debisi genellikle 150-300 L/kişi.gün olarak verilir. Ancak bu tipik değerler büyük yerleşim bölgelerinde ticari ve endüstriyel tesislerinden katılım ve sızıntı suyu girdilerinden dolayı beklenenden daha yüksektir. Çeşitli yerleşimler için kişi başına tahmin edilen debiler Tablo 5.22’de verilmektedir. Ancak merkezi kanalizasyonun olmadığı yerleşimlerdeki tipik debi değeri 210 L/kişi.gün’dür.

Tablo 5.22 Tek aileli konuttan kaynaklanan atıksu debisi (1).

Yerleşim tipi	Debi, L/kişi.gün	
	Aralık	Tipik
Müstakil ev		
Düşük gelir	150-210	170
Orta gelir	150-300	210
Yüksek gelir	190-380	250
Apartman ve ortak apartman	130-210	150

Atıksu Karakteri

Tablo 5.23’te günde kişi başına deşarj edilen dışkı ve idrar miktarları verilmektedir. Konuttan kaynaklanan tipik atıksu karakteri Tablo 5.24’te verilmektedir.

Tablo 5.23 Günlük insan dışkısının tipik değerleri (2).

Kirletici	Birim	Değer	
		Aralık	Tipik
Dışkı	g/kişi.gün	100-140	120
İdrar	L/kişi.gün	0.8-1.3	1.1

Tablo 5.24. Özel konutlardan kaynaklanan atıksu karakteri ve debi değerleri (2)

Kirlilik	Debi, g/kişi.gün	Değer		
		Birim	Aralık ²	Tipik ³
BOI ₅	81.7	mg/l	216-540	392
AKM ¹	90	mg/l	240-600	436
NH ₃ , N olarak	3.2	mg/l	7-20	14
Org.N, N olarak	9	mg/l	24-60	43
TKN, N olarak	12.2	mg/l	31-80	57
Org.P, P olarak	1.4	mg/l	4-10	7
İnorg.P, P olarak	2.7	mg/l	6-17	12
Gres		mg/l	45-100	70
Toplam Koliform		Sayı/100mL	10 ⁷ -10 ¹⁰	10 ⁸
Sıcaklık		°C	27-47	38
PH			5-8	7.2

¹Mutfat atıkları hariç, Mutfak atıklarının dahil olması durumunda, BOI= 99 g/kişi.gün, AKM= 117 g/kişi.gündür. Nütrient değerleri aynı kalır.

² 380- 150 L/kişi.gün'e göre değerler

³ 210 L/kişi.gün'e göre değerler

5.13.2 Küçük Atıksu Arıtma Sistemi Tipleri

Küçük atıksu arıtma sistemleri, 190-1900 L/gün ile 380 m³/gün aralığındaki atıksu debileri için boyutlandırılabilir. Küçük yerleşim bölgelerinde (1) kanalizasyona bağlı olmayan özel konut ve küçük yerleşimler, (2) kanalizasyona bağlı küçük yerleşimler için arıtma sistemi tipleri verilmiştir.

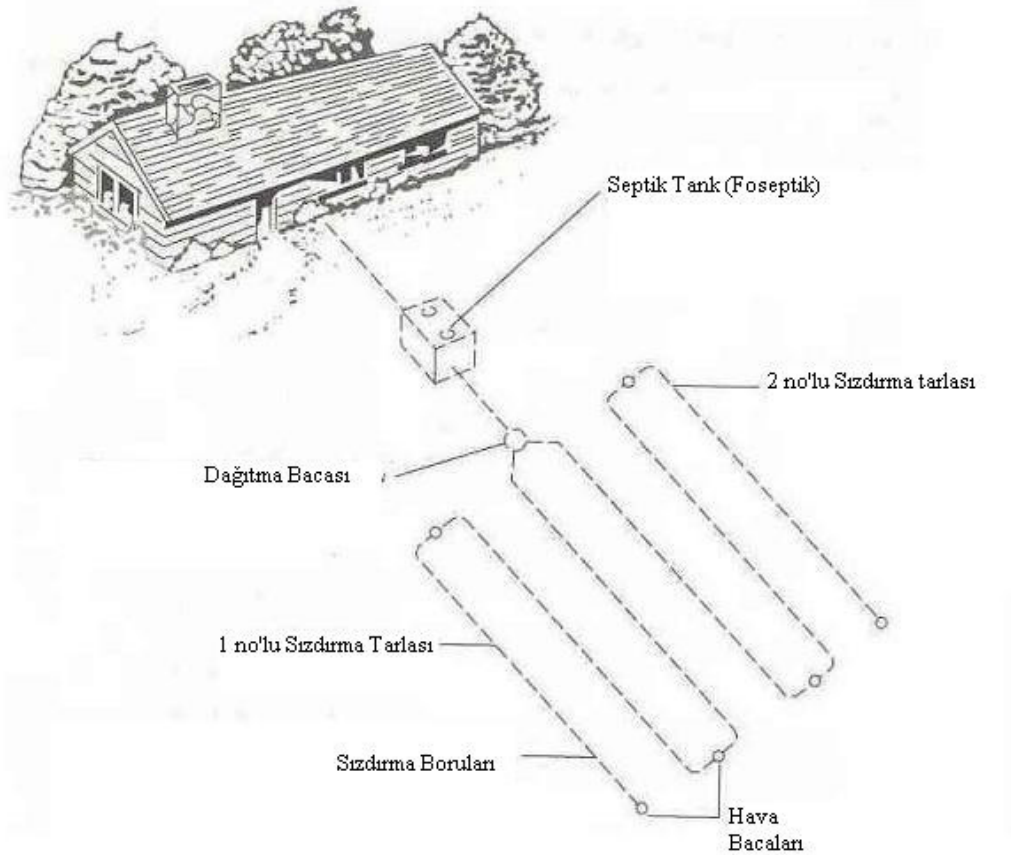
a) Kanalizasyon Bağlantısı Olmayan Bölgeler için Atıksu Yönetim Seçenekleri

Özel konut ve diğer küçük bölgelerin atıksu arıtım ve deşarjı genellikle yerinde yapılır. Alternatif seçenekler Tablo 5.25'te verilmiştir. Arazide çeşitli sistemler olmasına rağmen en bilinen yöntem atıksuyun fosseptik tankında kısmi arıtımı ve çıkışın araziye toprak yüzeyi altından verilmesi şeklindedir (Şekil 5.22).

Tablo 5.25 Kanalizasyonun olmadığı bölgeler için atıksu yönetim seçenekleri (2)

Atıksu kaynağı	Atıksu arıtma sistemleri	Atıksu uzaklaştırma
Özel konut Birleşik Atıksu Siyah su Gri su Halka açık tesisler Ticari Kuruluşlar	Birinci kademe arıtım Fosseptik İmhoff tankı İkinci kademe arıtım Anaerobik/Aerobik üniteler Aerobik üniteler Aralıklı kum filtre Geridevirli granüler filtre Sulakalanlar Geri kullanımlı arıtma sistemleri Arazide tutma Depolama tankı Özel yerler	Yüzeyin altında uzaklaştırma Uzaklaştırma alanı Sızdırma yatağı Sığ kum filtresi Yapay toprak yığınınından sızdırma sistemleri Buharlaştırma/sızdırma yatakları Damlatmalı filtre uygulamalar Buharlaştırma Sistemleri Buharlaştırma yatağı Buharlaştırma hendeği Sulak alanlar (Bataklık) Su ortamına deşarj Yukarıdakilerin birleşimi

Meskun bölgeler dışındaki uzaklaştırma alanlarında bir çok alternatif teknikler geliştirilebilir. Bunların içinde en verimlisi kesikli beslenen geri devirli granüler filtrelerdir. Kesikli kum filtreler, yüksek verim, güvenilirlik ve nispeten düşük maliyet nedeniyle tek konutlu yerleşimlerde oldukça yaygın kullanılır. Geri devirli kum filtreler daha büyük debiler için kullanılır. Tam geri devirli (kazanmalı) sistemler ticari binalar için geliştirilmiştir. Arazide deşarj sistemi kurulamamışsa arıtılmış su depolama tankında tutulur.



Şekil 5.22 Fosseptik ve kesikli cazibeli akışlı uzaklaştırma alanından klasik arazide arıtma sistemi (2)

b) Kanalizasyonlu Bölgeler için Atıksu Yönetim Seçenekleri

Özel konut alanının çok dar olması veya nihai uzaklaştırma için arazi ve zemin yapısının uygun olmaması durumunda küçük bir toplama sistemi kurulur. Bu sistemler, 1) Atıksuyun herbir yerleşimden toplanması, 2) Arıtılması ve 3) Arıtılmış suyun deşarj sisteminden oluşmaktadır.

Toplama sistemi tipleri;

- Klasik cazibeli akışlı kanal,
- Küçük çaplı değişken eğimli cazibe akışlı kanal,
- Küçük çaplı basınç ve vakumlu kanal sistemleridir.

Toplama sistemi seçimi, genellikle bölgenin topografyası ve maliyet unsurlarına göre belirlenir. Küçük ev siteleri için büyük fosseptik tankı kullanılabilir. Imhoff tankı pahalı olduğundan günümüzde kullanımı oldukça azdır. Bazı bölgelerde fosseptik, katı maddeleri çöktürmek ve yağ&gresi ayırmak için kullanılır. Yüksek arıtma verimi gereken durumlarda geri devirli kum filtresi, fosseptik ile birlikte kullanılır. Daha yüksek debiler için paket biyolojik arıtma sistemi veya özel tasarlanmış tesisler kullanılır. Küçük tesislerde arıtılmış su deşarjı önceden belirlenmiş arazilere yapılabilir.

5.13.3 Kanalizasyonun Olmadığı Bölgelerde Özel Konut ve Diğer Yerleşimler için

Arazide Arıtma Sistemleri

Küçük yerleşim alanlarında kullanılan arıtma sistemleri; fosseptik, yağ tutucu, imhoff tankı, uzaklaştırma arazisi, uzaklaştırma yatağı ve çukuru, kesikli kum filtresi, geri devirli kum filtresi, basınçlı sıg kum hendeği uzaklaştırma alanı, tümsek toprak sistemler (mound system), tam geri devirli üniteler, gri su sistemleridir.

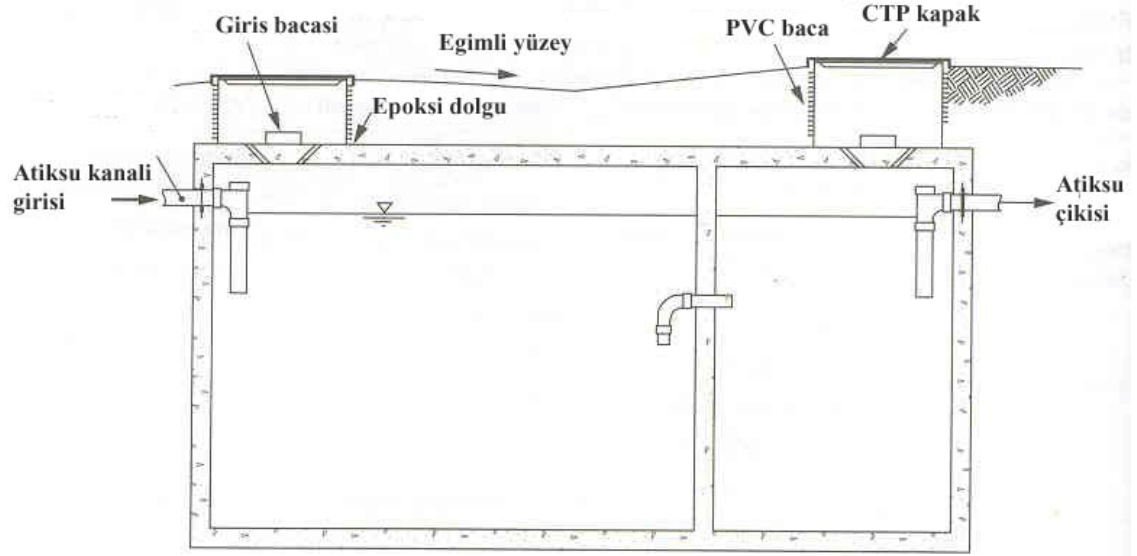
Fosseptik Tank

Şematik olarak Şekil 5.23'te verilen fosseptik prefabrike olup, çöktürme ve sıyırma işlemlerini birlikte yapabilen, karıştırma ve ısıtmasız anaerobik çürütücü bir tanktır. Fosseptiğin en eski kullanımı 1860'lı yıllarda Fransa'ya kadar gitmektedir.

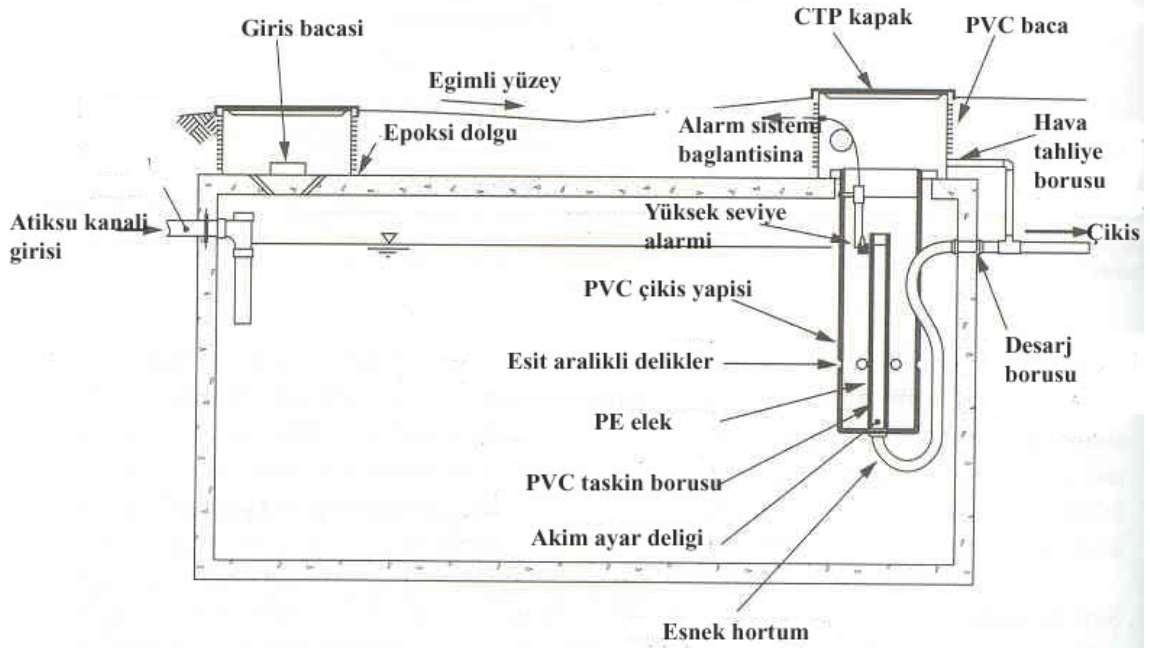
Günümüzde yaygın olarak beton veya CTP fosseptikler başarıyla kullanılmaktadır. Bu tür tanklar aynı zamanda su sızdırmaz ve sağlam bir yapıda olmalıdır. Bu nedenle kurulmadan önce ve sonra sızdırmazlık ve yapısal sağlamlık kontrolü yapılmalıdır.

Tankta, içini bölmelere ayıran perdeler, kolay kontrol ve temizleme amacıyla da kontrol bacası bulunur. Yağ-gres ve diğer hafif maddeler köpük ile birlikte yüzeyde toplanır.

Böylece çöktürülmüş ve yüzeyi sıyrılmış atıksu, köpük ve çamur tabakası arasından geçerek ya araziye ya da başka bir arıtım ünitesine deşarj edilir. Tankın dibinde kalan organik maddeler fakültatif ve anaerobik olarak parçalanarak CO₂ , CH₄ ve H₂S gibi daha kararlı bileşiklere dönüşür.



(a)



(b)

Şekil 5.23 Tipik fosseptik; a)Klasik iki bölmeli tip, b) Elekli tek bölmeli tip (2) .

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

Yağ ve Gres Tutma Tankı

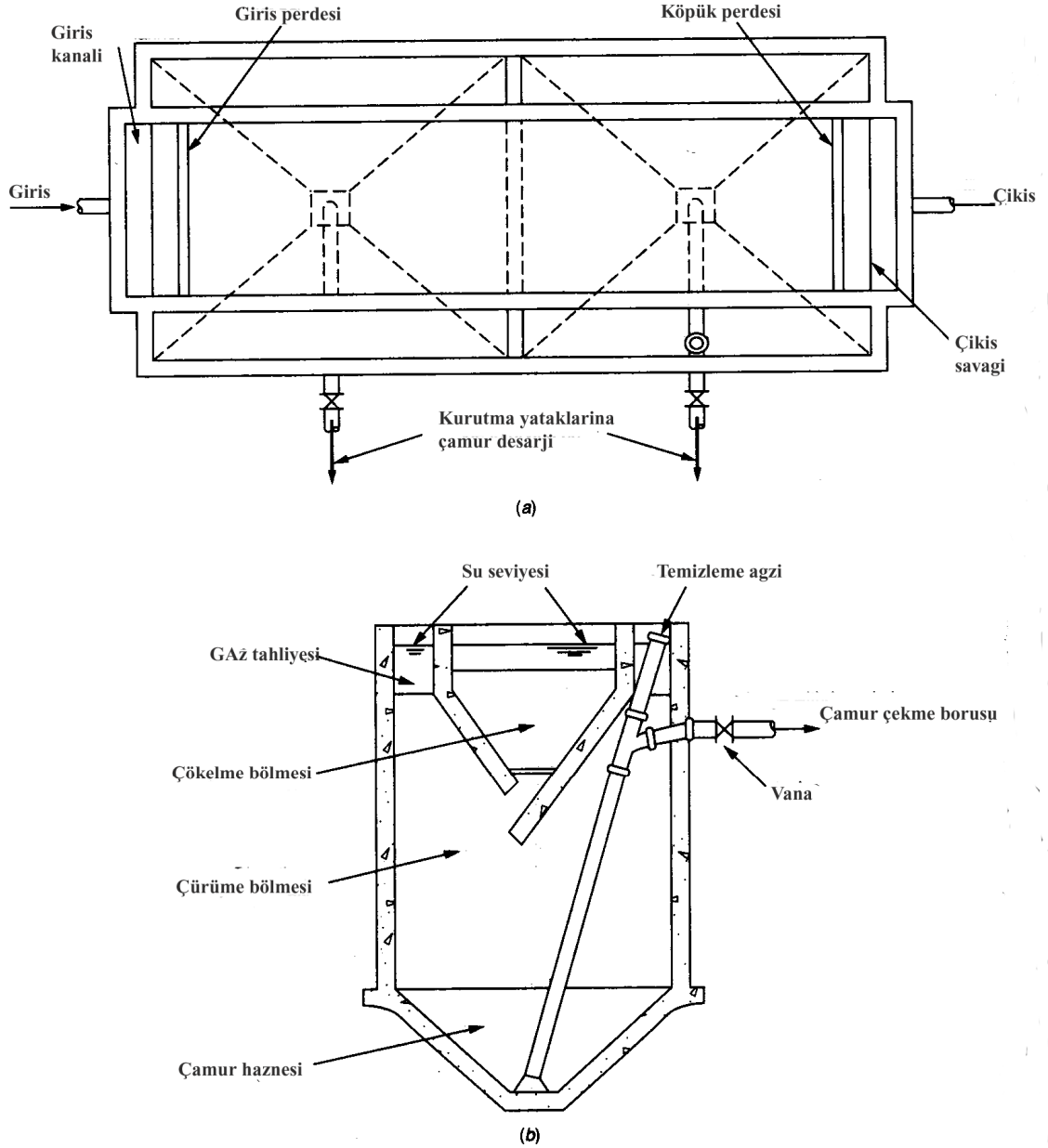
Lokanta, çamaşırhane ve benzin istasyonlarından kaynaklanan atıksular yoğun olarak yağ-gres ve deterjan içerirler. Yağ ve gresin fosseptiklere girmesine izin verilmesi durumunda, büyük olasılıkla çıkış suyu ile birlikte alıcı toprak ortamına deşarj olacaktır. Yağ ve gres askıda katı ile beraber toprak yüzeyinde birikerek, toprağın geçirimliliğini de azaltacaktır. Yağ tutucuda atıksu soğutularak gresin katılaşması sağlanır, daha sonra gres yüzdürülerek atıksudan ayrılır.

Etkili bir yüzdürme için hidrolik kalış süresinin 30 dakikadan daha fazla olması gerekir. Birçok ticari yağ-gres tutucu bulunmasına rağmen, hidrolik süresinin yetersiz olması nedeniyle verimli oldukları kanıtlanmamıştır. Yağ-gres tutucu olarak kullanılan klasik fosseptiklerin verimli ve etkin oldukları kanıtlanmıştır. Ancak fosseptikler yağ-gres tutucu olarak kullanıldığında tank yapısında bazı değişiklikler gerekebilir. Yağ-greste etkili arıtım için büyük hacimli fosseptikler uygundur. Çamaşırhane atıksularında kumaş parçalarının da bulunması deşarjda ciddi problemlere yolaçabilir. Bu durumda çıkış atıksu kanalına elek yerleştirilmesi önerilir.

İmhoff Tankı

İmhoff tankında çökebilir katıların giderilmesi ve anaerobik çürütülmesi fosseptikle benzerlik gösterir. Ancak imhoff tankı farkı iki bölmeli olup, çöktürme üst bölmede, anaerobik çürüme ise alt bölmede gerçekleşir (Şekil 5.24).

Şekilde de görüldüğü üzere katılar çöktürme bölümünün tabanındaki açıklıktan çürütme için alttaki ısıtmasız bölüme geçerler. Burada oluşan gaz havalandırma bacasından çıkar. Gaz çıkışı ve çamur kabarması, çöktürme bölümü tabanındaki özel çıkıntı dolayısıyla önlenmiş olur.



Şekil 5.24. Küçük yerleşimler için imhoff tankı; a) planı, b) kesiti (2)

Atıksu Uzaklaştırma Alanı

Fosseptik veya diğer küçük arıtma sistemlerinden çıkan arıtılmış suyun nihai arıtımı, arazi yüzeyinde zeminde adsorpsiyon yoluyla sağlanır. Zeminde adsorpsiyon sistemi: içi gözenekli madde(genellikle çakıl taşı, Şekil 5.25) ile doldurulmuş dar ve sığ (0.6-1.5 m) hendeklerdir.

Gözenekli madde kullanılmasının başlıca nedenleri;

- Uzaklaştırma alanının alt yapısını oluşturmak,
- Çıkış akımında kısmi bir arıtım sağlamak,
- Çıkış suyunu sızdırmalı toprak yüzeyine dağıtmak ve

-
- Figure 10.10 consists of two diagrams illustrating septic tank systems.
- (a) Plan view of a septic tank. The diagram shows a rectangular septic tank (Septik tank (foseptik)) connected to a distribution system. The distribution system includes a central distribution point (Vanalı dagıtma yapısı) and multiple horizontal distribution pipes (Sızdırma hendekleri). The pipes are arranged in a grid pattern, with labels for 'Sızdırma hendeki (No:1)' and 'Sızdırma hendeki (No:2)'. A dashed line indicates the 'Eğim' (slope) direction.
- (b) Cross-section of a septic tank. The diagram shows a vertical cross-section of the tank. The top layer is the 'Zemin yüzeyi' (ground surface). Below it is a 'Silt bariyeri' (silt barrier). The main body of the tank is filled with 'Çakıl drenaj tabakası' (gravel drainage layer). A '10 cm çaplı delikli boru' (10 cm diameter perforated pipe) is shown within the gravel layer. The total height of the tank is labeled as '60-75 cm'. The width of the tank is labeled as '5.5 m mak.' (maximum). The height of the gravel layer is labeled as '10 cm' and '5 cm'.

Fosseptik çıkışı uzaklaştırma alanına, cazibeli olarak, kesikli pompalama veya sifonla dozlanır.

171

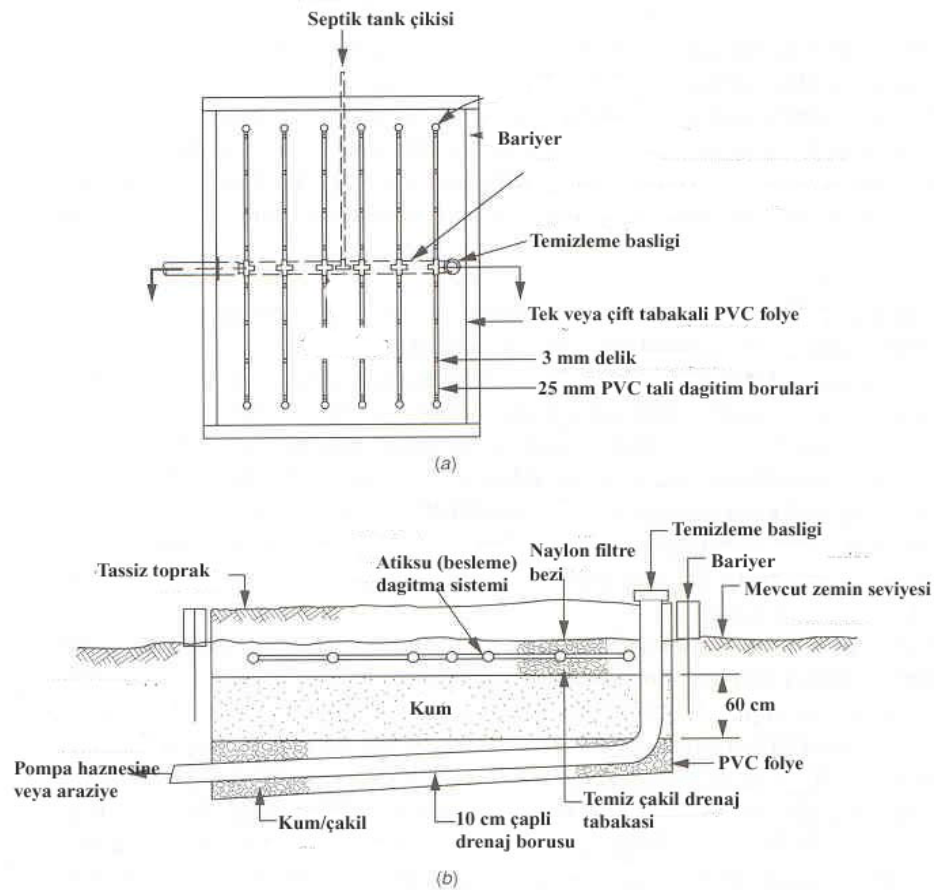
Arıtılmış su vadoz tabakadan sonra yer altı suyuna veya en yakın su tabakasına doğru hareket eder. Yer altı suyu akışı, toprak geçirgenliğine bağlı olarak yatay veya dikeydir.

Gözenekli alandaki arıtma fiziksel, biyolojik ve kimyasal mekanizmaların birleşimidir. Gözenekli ortam sürekli su altında kalması halinde batık (submerged) anaerobik filtre, periyodik uygulamalarda ise aerobik damlatmalı filtre gibi davranır.

Kesikli Beslemeli Kum Filtresi

Konum ve yerel şartlar fosseptik ve uzaklaştırma alanının kullanımı için uygun olmayabilir. Bu gibi durumlarda atıksu arıtıldıktan sonra kum filtreye verilir. Arıtılmamış fosseptik çıkışının yağmurlama yoluyla verilmesi koku ve çevresel problemi dolayısıyla uygun değildir.

Kesikli kum filtresi sıg kum yatağı olup (600-760 mm) yüzeyde dağıtım ve altta drenaj sistemine sahiptir (Şekil 5.26). Fosseptik çıkışı kum yatağı yüzeyine belli aralıklara verilir. Arıtılan su, filtrenin tabanındaki drenaj sisteminde toplanır. Filtre çıkış suyu uzaklaştırma alanına veya dezenfekte edildikten sonra yüzey sularına deşarj edilir. Kum filtrelerinin çoğu zemine gömülü olmasına rağmen açıkta da yapılabilirler.



Şekil 5.26 Kesikli kum filtrelerinin tipik şeması; a) plan, b) kesit (2)

Kum filtresinde arıtım fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım mekanizmalarını içerir. Askıda katılar, prensipte temas süresi ve çökmeye bağlı olarak mekanik süzme ile giderilir. Bakteriler, kum tanecikleri arasında tutunurlar. Bu nedenle BOI giderimi ve nitrifikasyon

reaksiyonları havalı (aerobik) şartlar altında meydana gelir. Anaerobik şartlar altında denitrifikasyon da gerçekleşir.

Bazı özel bileşikler kimyasal ve fiziksel sorpsiyon ile giderilir. Bu filtrelerde yüksek verim sağlamak için aerobik şartlar oluşturulmalıdır. Kesikli besleme ve havalandırma filtrede aerobik şartları sağlayacaktır.

Toprak Yığınının Sızdırma Sistemi

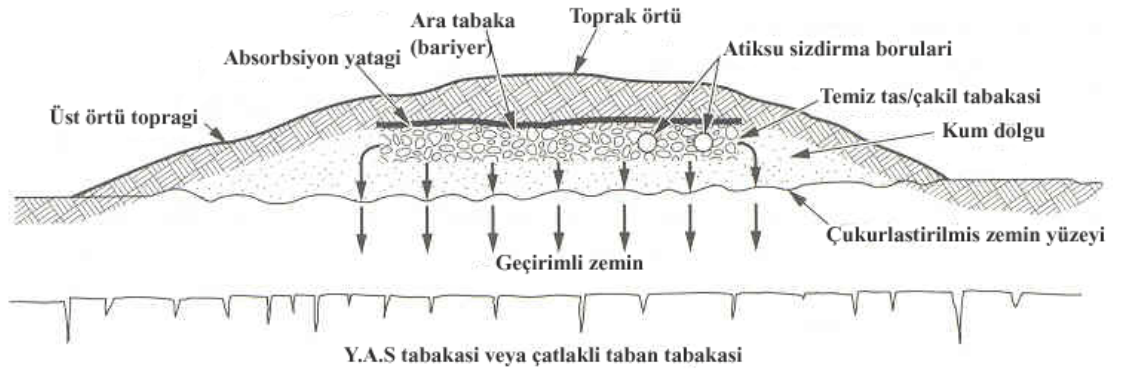
Toprak yığınının sızdırma sistemi, temelde kesikli kum filtresi olup, farkı zemin yüzeyi üzerinde yapay olarak oluşturulan bir yığın içerisinde yüzeye yerleştirilmesidir (Şekil 5.27). Zemin yüzeyi üzerinde yapay bir hendek veya yatak inşa edilir. Fosseptik çıkışı, çakıl tabaka üzerine yerleştirilen basınçlı dağıtım sistemi vasıtasıyla bu yatağa pompalanır. Engelleyici bariyer çakıl tabaka üzerine yerleştirilir ve üzeri toprak ile örtülür.

Bu sistem özellikle;

- Toprağın geçirgen ve yer altı su tabakasının sığ
- Alt katmanların çok gözenekli
- Eğimin %12'den az
- Toprağın çok yavaş geçirimli olduğu

yerlerde uygulanır.

Toprak geçirimliliğinin az olduğu yerlerde bu sistemin kullanılması durumunda biriken drenaj suları uzaklaştırılmaz.



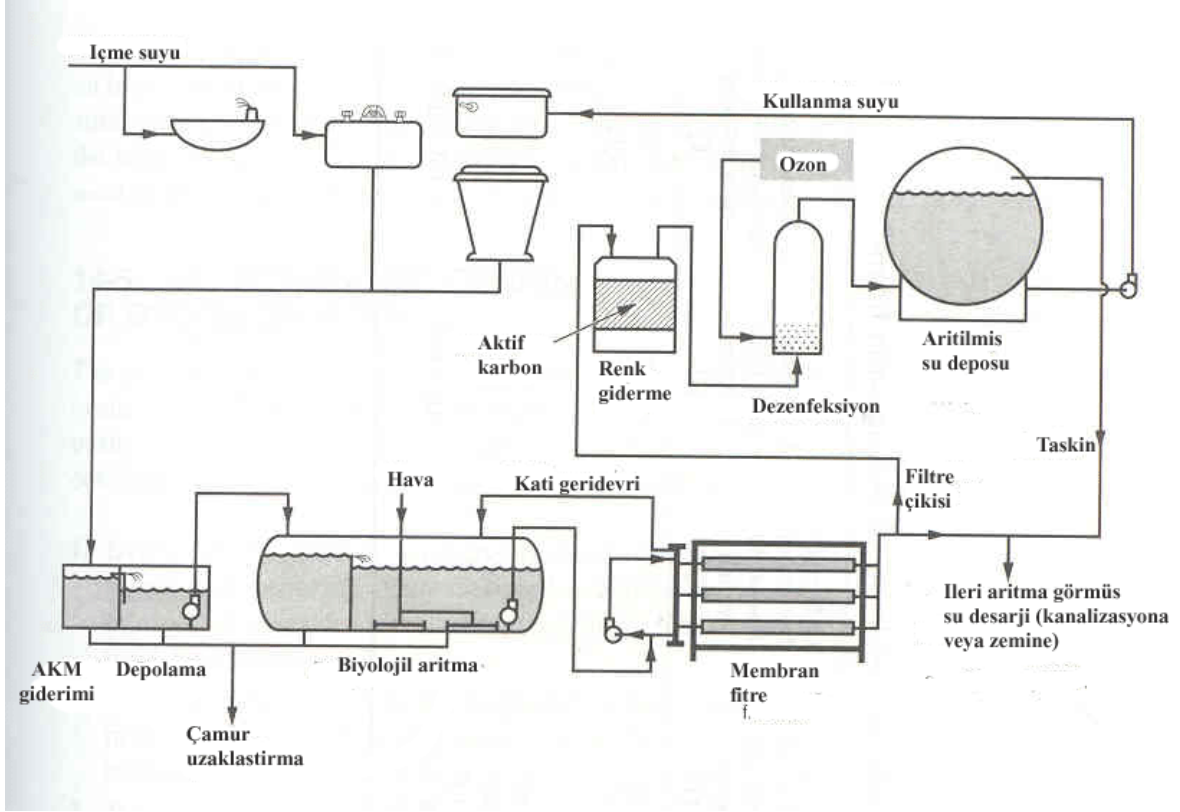
Şekil 5.27 Fosseptik çıkışı için kullanılan, toprağı geçirgen ve yüksek yer altı suyu veya sığ kırık kaya tabakası için kullanılan tipik yığından sızdırma sistemi (2)

Geri Kullanımlı Arıtma Sistemleri

Evsel atıksuların arıtmak için geliştirilmiş bu sistemde arıtılan su, tuvalet sifon suyu olarak tekrar kullanılmaktadır. Her bir ünite üç arıtma adımından oluşmaktadır;

- Atıksudaki katılar toplanır ve aerobik arıtmaya tabi tutulur ,
- Biyolojik arıtma çıkışı, bakiye organik, mikroorganizma ve askıda katıların arıtıldığı kendi kendini temizleyen ultrafiltrasyon sisteminden geçirilir ve
- Son adımda çıkış suyu aktif karbon kolonundan geçirilir (Şekil 5.28).

Ultrafiltrasyon adımıyla arıtılan maddeler ileri arıtma için birinci proses adımına geri verilebilir. Karbon filtresi çıkışı, sifon suyu olarak kullanılmadan önce ozon ile dezenfekte edilir. Bu sistemler oldukça pahalı olmalarına karşılık, kanalizasyonun olmadığı ofis binalarında ve evsel amaçlı su temininin zor olduğu durumlarda kullanılır.



Şekil 5.28 Geri kullanımlı tam arıtma sisteminin tipik akış diyagramı (1)

Gri Su Sistemi

Gri su, tuvaletler hariç, su ile çalışan alet ve ekipmanlar ile ev halkından kaynaklanan sıvı ve katıları içeren atıksu olarak tanımlanırlar. Siyah (black water)) su ise çoğunlukla tuvaletten kaynaklanan su ve katıları içeren atıksu olarak tanımlanır. Arıtma sisteminde yükü azaltmak amacıyla gri su siyah sudan ayrılırarak basit bir ön arıtmadan sonra çeşitli maksatlar için kullanılabilir.

UYGULAMALAR

Problem 5.1:

Aktif çamur proses analizi. Debisi 20 000 m³/gün olan ve ortalama 250 mg/l BOI içeren bir kasabanın evsel atıksuları bir aktif çamur sisteminde arıtılacaktır. Çıkış BOI₅ konsantrasyonu 20mg/l'den az olmak üzere, sıcaklığı 20°C kabul ederek aşağıdaki şartları sağlayacak tesisi boyutlandırınız.

1. Girişteki UKM ihmal edilebilir.
2. Geri dönüş çamur konsantrasyonu = 10 000mg/l AKM = 8 000 mg/l UKM
3. Tam karışımındaki (uçucu askıda katı) UKM= 3,500mg/ = 0,80 x toplam AKM

4. Çamur yaşı $\Theta_c = 10$ gün
5. Reaktörün hidrolik rejimi = tam karışım
6. Kinetik katsayılar, $Y = 0,65$, $k_d = 0,06 \text{ gün}^{-1}$, sıcaklık 20°C
7. Kabuller: çıkış suyu 20 mg/l biyokütle içerecek, bunun %80'i uçucu, %65'i biyolojik parçalanabilen yapıdadır. Nihai BOI den BOI₅'e dönüşüm faktörü 0,68 alınacak, $K = 0,1 \text{ gün}^{-1}$.
8. Atıksu mikroorganizma büyümesi için gereken miktarda azot, fosfor ve diğer eser besin maddelerini içermektedir.

Çözüm:

1. Çıkışta çözünmüş BOI değeri = çözünmüş BOI + çıkıştaki biyokütlenin BOI değeri

$$20 = S + 20 (0,65) (1,42) (0,68)$$

$$S = 7,4 \text{ mg/l çözünmüş BOI}_5$$

Biyolojik arıtma verimi;

$$E_s = \frac{250 - 7,4}{250} = 0,97$$

Sistemin toplam verimi;

$$E_s = \frac{250 - 20}{250} = 0,92$$

2. Reaktör (havalandırma havuzu) hacminin hesaplanması:

$$XV = \frac{YQ\theta_c(S_0 - S)}{1 + k_d\theta_c}$$

$$V \times 3.500 = \frac{0,65 \times 20.000 \times 10 \times (250 - 7,4)}{1 + 0,06 \times 10}$$

$$V = 5632 \text{ m}^3$$

3. Mikroorganizma çoğalma hızının hesaplanması:

- a) Gözlemlenen biyokütle dönüşüm verimi;

$$Y_{göz} = \frac{Y}{(1 + k_d\theta_c)} = \frac{0,65}{1 + 0,06 \times 10}$$

- b) Biyokütle çoğalma hızı;

$$Y_g \times \theta_c (S_0 - S) = 0,406 \times 20.000 \times (250 - 7,4) \times 10^{-3} = 1970 \text{ kgUKM/gün}$$

4. Reaktörden biyokütle uzaklaştırma hızının hesaplanması.

$Q_e = Q$ ve çıkış UKM = $20 \times 0,80 = 16$ mg/l alınarak:

- a) Havalandırma havuzundan atılan (çekilen) çamur debisi:

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X + Q_e X_e}$$

$$10 = \frac{5632 \times 3.500}{Q_w \times 3.500 + 20.000 \times 20 \times 0,8}$$

$$Q_w \approx 472 \text{ m}^3/\text{gün}$$

- b) Geri dönüş hattından uzaklaştırma (çekilme) hızının hesaplanması

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q'_w X + Q_e X_e}$$

$$10 = \frac{5.632 \times 3.500}{Q'_w \times 8.000 + 20.000 \times 16}$$

$$Q'_w \approx 472 \text{ m}^3/\text{gün}$$

5. Girişteki askıda katı konsantrasyonunu ihmal ederek reaktörde kütle dengesi hesabından geri devir oranının hesaplanması:

$$X = 3.500 \text{ mg/l}$$

$$X_r = 8.000 \text{ mg/l}$$

$$X (Q + Q_r) = X_r (Q_r)$$

$$Q_r/Q = R = 0,78$$

6. Reaktör havuzundaki hidrolik bekleme süresinin hesaplanması,

$$\theta = V/Q = 5.632/20.000 = 0,28 \text{ gün} = 6,7 \text{ saat}$$

7. Substrat kullanım hızı, F/M oranı ve hacimsel yük kontrolü:

- a) özgül substrat kullanım (BOI giderim) hızı:

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta X}$$

$$U = \frac{(250 - 7,4)}{0,28 \times 3.500} = 0,25$$

- b) F/M oranının hesaplanması,

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{\theta X}$$

$$U = \frac{250}{0,28 \times 3.500} = 0,255$$

c) Hacimsel yükün (L_V) hesaplanması:

$$L_V = \frac{Q \times S_0 \times 10^{-3}}{V} \cong 0,90 \text{ kg BOI}_5/\text{m}^3 \text{ gün}$$

Problem 5.2:

Plastik dolgulu bir damlatmalı filtrenin çapı ve derinliği sırası ile 10m ve 6,1 olup aşağıda özellikleri verilen ön çökeltme uygulanmış evsel atıksular arıtılmaktadır. (a) Hacimsel BOI ve TKN yüklerini bulunuz. (b) Özgül TKN yükü ne kadardır. (c) $T=20^\circ\text{C}$ 'deki takribi BOI giderim verimi ne kadardır. (d) Bu şartlarda nitrifikasyon olması beklenirmi.

Ön çökeltme çıkışı özellikler:

Parametre	Değeri
Q ($\text{m}^3/\text{gün}$)	4.000
BOI (mg/L)	120
AKM (mg/L)	80
TKN (mg/L)	25

Çözüm:

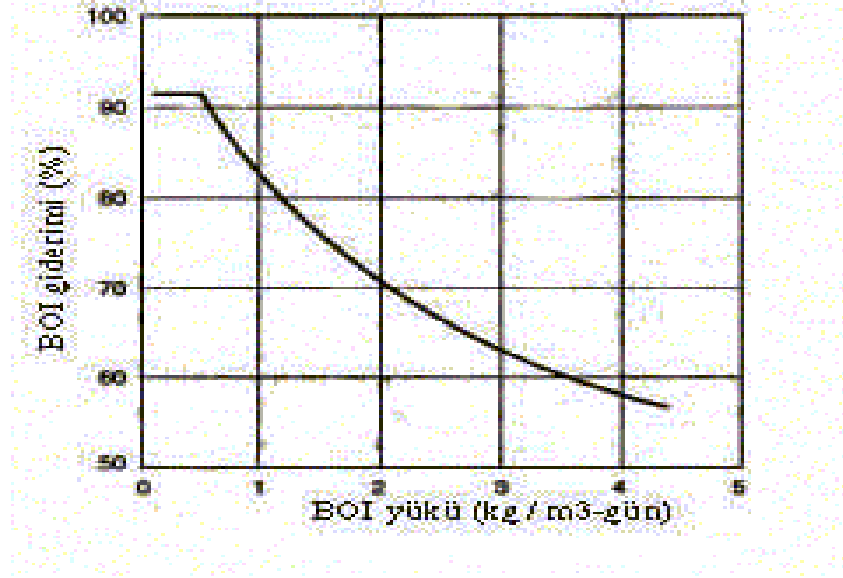
a) Hacimsel yüklerin hesabı:

$$V = \frac{\pi \times 10^2}{4} \times 6,1 = 479 \text{ m}^3$$

$$L_{BOI} = \frac{Q \times S_0}{V} = \frac{4.000 \times 0,120}{479} = 1 \text{ kg BOI}/\text{m}^3 \text{ gün}$$

$$L_{TKN} = \frac{4.000 \times 0,025}{479} = 0,21 \text{ kg TKN}/\text{m}^3 \text{ gün}$$

b) $L_{BOI}=1 \text{ kg BOI}/\text{m}^3 \text{ gün}$, $T=20^\circ\text{C}$ de plastik dolgulu D.F'lerin beklenen verimi aşağıdaki grafikten ~%82 olarak bulunur.



- c) $L_{BOI}=1 \text{ kg/m}^3\text{gün} > 0,3$ olduğunda nitrifikasyon gerçekleşemez.
d) Plastik dolgu malzemesi özgül yüzeyi $S_a=90 \text{ m}^2/\text{m}^3$ alınarak özgül TKN yükü,

$$\frac{4.000 \times 0,025}{90 \times 479} = 2,3 \text{ g TKN/m}^2\text{-g}$$

bulunur.

Problem 5.3:

Bir kasabanın ön çökeltme uygulanmış ($BOI = 200 \text{ mg/L}$) evsel atıksuları iki kademeli taş dolgulu damlatmalı filtre sisteminde arıtılacaktır. Filtre çıkış suyundaki $BOI \leq 25 \text{ mg/L}$ olacaktır. Her iki filtrenin derinliği $1,83 \text{ m}$ ve geri devir oranı 2 olduğuna göre gerekli filtre çaplarını bulunuz. (Debi = $7.570 \text{ m}^3/\text{gün}$, $T=20^\circ\text{C}$, filtre BOI giderme verimleri $E_1=E_2$ alınacaktır)

Çözüm:

- 1 Gerekli filtre verimlerinin hesabı:

$$E_{top} = \frac{200 - 25}{200} = 0,875$$

$$E_1 + (1 - E_1) \times E_2 = 0,875$$

$$E_1 = E_2 \cong 0,65$$

- 2 Geri devir faktörü:

NRC formülüne göre,

$$F = \frac{1 + R}{(1 + R/10)^2} = \frac{1 + 2}{(1 + 2/10)^2} = 2,08$$

- 3 İlk filtrenin BOI yükü:

$$W_1 = Q \times S_0 = 7.570 \times 0,200 = 1.514 \text{ kg BOI/gün}$$

4 İlk filtrenin hacmi:

$$E_1 = \frac{100}{1 + 0,4432 \times \sqrt{\frac{W_1}{V \times F}}} \quad (\text{NRC formülü})$$

$$0,65 = \frac{100}{1 + 0,4432 \times \sqrt{\frac{1.514}{V \times 2,08}}} \rightarrow V = 476 \text{ m}^3$$

$$V = A \times H \rightarrow A = \frac{476}{1,83} = 260 \text{ m}^2 \quad (D \approx 18,0 \text{ m})$$

5 İkinci kademe filtrenin BOI yükü:

$$W_2 = (1 - E_1) \times W_1 = (1 - 0,65) \times 1.514 = 530 \text{ kg BOI/gün}$$

6 İkinci filtrenin hacmi, benzer yolla:

$$V = 1.345 \text{ m}^3, \quad A = 735 \text{ m}^2, \quad D = 31 \text{ m}$$

İnşaat kolaylığı bakımından, hidrolik yük sınırı aşılmamak üzere bu tür filtrelerin eşit çaplı yapımı yoluna gidilir. Ancak bu durumda BOI giderim verimleri eşit olmayacaktır.

KAYNAKLAR

- (1) Metcalf & Eddy, 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill international Editions, Third Edition.
- (2) Recep İleri, Çevre Biyoteknolojisi, Değişim yayınları, 2000.
- (3) Soli J. Arceivala, 2002. Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Tata McGraw – Hill Publishing company limited.
- (4) Yılmaz Muslu, 1998. Çevre Mühendisliğinin Esasları, 1. Baskı, İstanbul İTÜ.
- (5) Syed R.Qasim, 1999. Wastewater Treatment Plants, Planning, Design, and Operation, Technomic publication.
- (6) Derin Orhon, N. Artan, 1994. Modelling of Activated Sludge Systems, Technomic Publishing Company
- (7) L. Grady, G.T. Daigger and H.C. Lim, 1999. Biological Wastewater Treatment, Marcel Dekker Inc.

6. İLERİ ATIKSU ARITIMI

Klasik arıtma sistemleri çıkışında arıtılmış atıksuda kalan AKM, çözünmüş madde, organik maddeler vb. gibi kirleticilerin de arıtımı ilave arıtma sistemlerini gerektirmekte olup bu sistemlere ileri arıtma sistemleri denmektedir.

Bu kirleticiler organik maddeler, askıda katı maddeler, inorganik maddeler (Ca, K, SO₄, fosfat, nitrat vb.) veya kompleks sentetik organik bileşikler olabilmektedir. Söz konusu bileşiklerin çoğunun çevre üzerine etkileri bilinmektedir. Son yıllarda özellikle zehirli bileşiklerin çevreye etkileri ise klasik ve ileri arıtma sistemlerindeki arıtım mekanizmaları araştırılmaktadır.

Tablo 6.1'den de görüldüğü gibi bazı bileşiklerin çevreye deşarjının önemli kirlilik problemlerine yol açtığı görülmektedir. Arıtılmış atıksuda geriye kalan bileşiklerin çevredeki potansiyel etkisi deşarj ortamına göre önemli değişiklikler gösterir. Her ne kadar askıda katı ve biyolojik olarak parçalanabilen organiklerin arıtımı için klasik ikinci kademe arıtma sistemleri yeterli olsa da deşarjın göl, nehir, dere veya hassas bölgelere yapılması durumunda daha fazla arıtım gerekmekte, bu da ileri arıtma sistemlerinin ilavesini zorunlu kılmaktadır. Örneğin, atıksudaki azot (N) ve fosfor (P)'un alıcı ortamlarda ötrifikasyonu hızlandırdığı ve sucul büyümeyi artırdığı görülmüştür. Bu nedenle azot ve fosforun kontrolü ve deşarjında sınırlandırılması önem kazanmıştır.

6.1 İleri Atıksu Arıtma İhtiyacı

Atıksuda bulunan bileşiklerin bilimsel olarak tespiti, genişleyen bilgi ağına ulaşım ve çevre izleme çalışmaları, arıtılmış atıksuyun deşarj limitlerinin daha sıkı ve sınırlayıcı olmasına yol açmıştır. Birçok yerde deşarj limitleri ikinci kademe arıtım sistemlerinde arılamayan organik maddenin, (askıda katının, besi maddelerinin (N ve P) ve öncelikli kirleticiler) arıtımını gerektirebilir. Dünya'da kullanma suyunun sınırlı olduğu yerlerde arıtılmış atıksuyun tekrar kullanımı giderek önem kazanmaktadır.

6.1.1 Arıtılmış Atıksudaki Artık Maddeler

Evsel atıksuyun tipik özelliği bilinmekle birlikte, rutin olarak ölçülmeyen ancak geniş bir değişim aralığı bulunan bazı eser elementler ve bileşikler de mevcuttur. Atıksuda bulunan bu bileşiklerin çevreye deşarjı durumunda Tablo 6,1'de de belirtildiği gibi bazı problemlerle karşılaştırılabilir.

6.1.2 Artıkların Etkileri

Arıtılmış atıksudaki bakiye (kalıntı) maddelerin potansiyel etkileri değişiktir. Bazı maddelerin etkileri ve kritik konsantrasyonları Tablo 6.1'de verilmektedir. Askıda katı ve biyolojik olarak parçalanabilen organikler için ikinci kademe sistemi gerekmeseyse bile, özel durumlarda (küçük göl ve akarsular veya hassas su ortamları) bu kirleticiler için ek arıtma gerekebilir.

Atıksudaki azot ve fosforun deşarjı, göllerde ötrifikasyonu hızlandırdığından ve sucul büyümeyi arttırdığından dolayı önemli olmaya başlamıştır. Atıksuyun nitrifikasyonu, alıcı su ortamında amonyak toksisitesini azaltır ve oksijen tüketimini önler.

1980'lerin başından beri otoriteler öncelikle uçucu organik bileşikler (VOC_s) ve bazı öncelikli kirleticiler üzerine yoğunlaşmışlardır. Bu kirleticilerin insan ve su hayatına toksik etkilerinin olduğu bulunmuştur.

Tablo 6.1 Arıtılmış atıksuda bulunabilecek maddeler ve etkileri (1).

Bileşikler	Etkileri	Kritik konsantrasyonları mg/l
AKM	Çamur birikimine neden olur, alıcı ortamda bulanıklık yaratır.	Değişken
Biyolojik olarak parçalanabilen organikler	Alıcı ortamda çözünmüş oksijen konsantrasyonunu düşürebilir.	Değişken
Uçucu organik bileşikler	İnsanlarda toksik etki yapar, kanserojeniktir, fotokimyasal oksidanlar oluşturur.	Bileşiğin yapısına göre değişir.
Öncelikli kirleticiler	İnsanlar için toksik, kanserojen Su canlıları için toksik	Bileşiğin yapısına göre değişir. Suda, biyotada veya sedimentte bulunma durumuna göre farklı
Besi maddeleri Amonyak	Klorür ihtiyacını artırır, proste nitrata çevrilebilir, oksijen kaynağını azaltır, fosfor ile birlikte istenmeyen sucul büyümeyi geliştirir, Balıklar için toksiktir.	Herhangi miktar
Nitrat	Alg ve sucul büyümeyi teşvik eder	Değişken
	Bebeklerde metemoglobinemia (blue babies) hastalığına sebep olur.	0,3 ¹
	Alg ve sucul büyümeyi teşvik eder. Koagülasyonu engeller	45
	Kireç-soda yumuşaklığını engeller	0,015 ¹
Fosfor	Sertliği ve toplam çözünmüş katı maddeyi artırır,	0,2-0,4
	Tuzlu tat verir, Tarımsal ve endüstriyel prosesleri engeller,	0,3
Diğer inorganikler Kalsiyum ve magnezyum	Müşil etkisi yapar	250
Klorür	Köpüklenmeye neden olur, koagülasyonu etkiler	75-200
Sülfat		600-1000
Diğer organikler Yüzey aktif maddeleri		1-3

¹ Durgun ve hareketsiz göllerde

6.2 İleri Atıksu Arıtımı için Kullanılan Arıtma Teknolojileri

Özellikle son 20 yılda birçok ileri arıtma teknolojisi geliştirilmiş ve uygulamaya sokulmuştur. Bu Bölümde bu sistemlerin sınıflandırılması yapılacak ve verimleri incelenecektir.

6.2.1 Teknolojilerin Sınıflandırılması

İleri atıksu arıtma sistemleri temel işlem ve proseslerine veya uygulanan arıtma prensibine göre sınıflandırılabilirler. Bu işlem ve proseslerin kıyaslanmasını kolaylaştırmak için aşağıdaki hususlar dikkate alınır.

- Arıtmanın amacı,
- Beklenen fonksiyonu gerçekleştirmek için kullanılan işlem ve proses tipi,
- Arıtılan atıksu özelliği ile ilgili bilgiler Tablo 6.2’de verilmektedir.

Tablo 6.2. İleri atıksu arıtma işlem ve prosesleri ile kirlilik giderimi (1).

Giderim prensibi	İşlem veya prosesin tanımı	Arıtılmış atıksu tipi
Askıda katı madde giderimi	Filtrasyon Mikroelek	BAÇ, İAÇ İAÇ
Amonyak oksidasyonu	Biyolojik nitrifikasyon	BAÇ, BiAÇ, İAÇ
Azot giderimi	Biyolojik nitrifikasyon/ Denitrifikasyon	BAÇ, İAÇ
Nitrat giderimi	Ayrı basamak biyolojik Denitrifikasyon	İAÇ + nitrifikasyon
Biyolojik fosfor giderimi	Ana akımda fosfor giderimi Yan akımda fosfor giderimi	HA, BAÇ AÇD
N ve P’nin birlikte giderimi	Biyolojik nitrifikasyon/denitrifikasyon ve fosfor giderimi	HA, BAÇ
Fiziksel ve kimyasal metotlarla azot giderimi	Hava ile sıyırma Klorlama kırılma noktası İyon değişimi	İAÇ İAÇ + filtrasyon İAÇ+ filtrasyon
Kimyasal ilavesi ile fosfor giderimi	Metal tuzları ile kimyasal çöktürme	HA, BAÇ, BiAÇ, İAÇ
Toksik bileşik ve refraktör(kararlı) organiklerin giderimi	Kireç ile kimyasal çöktürme Karbon adsorpsiyonu	HA, BAÇ, BiAÇ, İAÇ İAÇ + filtrasyon

Çözülmüş inorganik katıların giderimi	Aktif çamur toz aktif karbon	BAÇ
	Kimyasal oksidasyon	İAÇ + filtrasyon
	Kimyasal çöktürme	HA, BAÇ, BiAÇ, İAÇ
	İyon değişimi	İAÇ+ filtrasyon
	Ultrafiltrasyon	İAÇ+ filtrasyon
	Ters osmos	İAÇ+ filtrasyon
Uçucu organik bileşikler	Elektrodiyaliz	İAÇ+ filtrasyon+ karbon adsorpsiyonu
	Buharlaştırma ve gaz sıyırma	HA, BAÇ

BAÇ = Birinci kademe arıtma çıkışı

İAÇ = İkinci kademe arıtma çıkışı (çöktürmeden sonra)

BiAÇ = Biyolojik arıtma çıkışı (çöktürmeden önce)

AÇD = Aktif çamur dönüşü

HA = Ham atıksu

6.2.2 Proseslerin Arıtma Seviyeleri

Proses ve işlem seçimi

- Arıtılmış atıksuyun potansiyel kullanımına
- Atıksuyun özelliğine
- Çeşitli proses ve işlemlerin birarada uygulanabilirliğine
- Deşarj standartlarına
- Çeşitli sistemlerin çevresel ve ekonomik fizibilitesine

bağlıdır.

İleri arıtmada özel ve öncelikli kirleticilerin giderilmesi söz konusu olduğundan ekonomik fizibilite sistem tasarımında kontrol edici faktör olmamaktadır.

Uygun temel işlem ve proses düzenlemeleri ile elde edilebilecek çıkış suyu kirletici konsantrasyonları Tablo 6.3'te verilmektedir. Bu işlem ve proseslerin farklı düzenlemeleri arıtma ekonomisine ve arıtılacak maddeye bağlı olarak oluşturulabilmektedir.

Tablo 6.3. İleri atıksu arıtımında kullanılan çeşitli temel işlem ve proses düzenlemeleri ile ulaşılabilecek arıtma seviyeleri (1).

Arıtım prosesi	Arıtılmış çıkış suyu						
	AKM, mg/l	BOI ₅ mg/l	KOI, mg/l	Top.N, mg/l	NH ₃ - N, mg/l	PO ₄ - P, mg/l	Bulanıklık NTU
AÇ +GF	4-6	<5-10	30-70	15-35	15-25	4-10	0,3-5
AÇ + GF + KA	<3	<1	5-15	15-30	15-25	4-10	0,3-3
AÇ/Nit., tek basamak	10-25	5-15	20-45	20-30	1-5	6-10	5-15
AÇ/Nit-denit.(ayrı)	10-25	5-15	20-35	5-10	1-2	6-10	5-15
Metal tuz+AÇ	10-20	10-20	30-70	15-30	15-25	<2	5-10
Metal tuz+AÇ+Nit-denit.+filtrasyon	<5-10	<5-10	20-30	3-5	1-2	<1	0,3-3
BFG (ana akım)	10-20	5-15	20-35	15-25	5-10	<2	5-10
BN+BFG+filtrasyon	<10	<5	20-30	<5	<2	<1	0,3-3

AÇ = Aktif çamur

GF = Granüler filtrasyon

KA = Karbon adsorpsiyonu

Nit-denit =Nitrifikasyon-denitrifikasyon

BFG = Biyolojik fosfor giderimi

BNG = Biyolojik azot giderimi

BFG = Biyolojik fosfor giderimi

6.3 Granüler Filtrasyon ile AKM Giderimi

Bu bölümde çıkış suyundaki artık AKM giderimi için granüler filtrasyon sisteminin tasarım esasları verilmiştir. Bu konudaki temel parametreler aşağıdaki gibidir..

- Granüler filtrasyonun uygulanması
- Filtre ünitesinin sayısı ve boyutu
- Filtre tipinin seçimi
- Filtre yatağının çeşitleri
- Filtre malzemesinin özellikleri
- Filtre geri yıkama sistemi
- Filtreye ilaveler
- Filtre işletme problemleri
- Filtre kontrol sistemleri ve enstrümanları,
- Kimyasal ilaveli filtrasyon

6.3.1 Granüler Filtrasyonun Uygulanması

Granüler filtrasyonunun atıksu arıtımından önceki uygulamaları içme suyu arıtımı için geliştirilen tasarım prosedüründen doğmuştur. Fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle atıksular, doğal sulardan önemli derecede farklılık gösterirler. Bu nedenle, atıksuların granüler filtrasyon uygulamaları özel tasarım gerektirmektedir. Genel olarak, atıksu filtreleri farklı katı yüklemelerinde daha büyük, ağır ve değişik boyutlardaki tanecikleri tutabilirler. Filtrasyon mekanizması oldukça kompleks olup, direnç, ağırlık nedeniyle çökme, ortamda tanecikler arasında sıkışma gibi farklı kuvvetler vardır. Ayrıca filtre yatakları arasında mikroorganizma büyümesi, sistemde ek yük kaybı oluşturacaktır. Atıksu filtrelerinin verimlilik, yukarıda sayılan birçok faktöre bağlı olduğundan, sıkı deşarj limitlerinin olduğu durumlarda uygulama öncesinde mutlaka pilot ölçekli çalışma yapılmalıdır.

Atıksu filtrasyonu, daha çok alıcı ortama deşarjdan önce biyolojik arıtma çıkış suyunda kalan biyolojik flokların giderilmesinde kullanıldığı gibi, fosfatın metal tuzları veya kireç ile çöktürme sonrası kalan katıları arıtmak ve arıtılmış atıksuyun aktif karbon ünitesine verilmeden önce ön arıtımını yapmak amacıyla da kullanılmaktadır. Ayrıca, tarım, park ve oyun alanlarının sulanması gibi tekrar kullanım uygulamalarında insan temasının söz konusu olduğu için, arıtılmış atıksuyun filtrasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır.

6.3.2 Filtre İşletme Problemleri

Biyokütle içeren biyolojik arıtma çıkış sularının filtrasyonunda, yarı kesikli filtrelerde çamur birikmesi ve yağ-gres oluşumunu önlemek için en az 24 saatte bir geri yıkanma yapılmalıdır. Birçok durumda geri yıkama daha sık olabilmektedir.

6.3.4 Kimyasal İlaveli ile Çıkış Suyu Filtrasyonu

Biyolojik arıtma çıkış suyunun özelliğine göre, su kalitesini arttırmak için kimyasal ilavesi gerekebilmektedir. Kimyasal ilavesi aynı zamanda fosfor, metal iyonları ve humik bileşikler gibi bazı özel kirleticilerin giderilmesi için de kullanılmaktadır. Çıkış suyu filtrasyonunda sık ve yaygın kullanılan kimyasallar organik polimerler, alum ve demir klorürdür.

Organik Polimerler Kullanımı: Organik polimerler uzun zincirli organik moleküller olup, moleküler ağırlıkları 10^4 ile 10^6 arasında değişir. Organik polimerler katyonik, anyonik veya noniyonik olabilirler. Polimerler daha büyük tanecik (flok) oluşturmak için çöktürülmüş çıkış suyuna ilave edilir. Atıksuyun kimyasal yapısı polimer verimini önemli ölçüde etkileyeceğinden, deneysel çalışma yapılarak (kavanoz testi- jar test) polimer tipini belirlemek gereklidir. Araştırmalarda polimer dozajı 1 mg/l'den başlanarak artırılır ve sonuçlar gözlenir. Sonuçlara göre dozaj 0,5 mg/l veya 0,25 mg/l değerinde azaltılır ve verimi en iyi olan dozaj belirlenmeye çalışılır. Alum bileşiği özelliğinde moleküler ağırlığı daha büyük olan polimerler geliştirilmiştir. Bunların uygulamada dozajları daha fazladır (≥ 10 mg/l).

Alum kullanımı: Yüksek pH değerine sahip (7,3-8,5) atıksular için 5-10 mg/l gibi düşük alum dozajları etkili olmadığından genel olarak optimum tanecik giderimi, pH 7-8 aralığında 20-60 mg/l gibi yüksek alum dozajlarında elde edilir.

6.4 Mikroelek ile Artık AKM Giderimi

Mikroelekler, biyolojik arıtma ve stabilizasyon havuzu çıkış sularındaki askıda katıları gidermek için kullanılan eleklerdir. Bu ünitelerde elde edilen verim(AKM giderimi) yaklaşık olarak %55 olup genel olarak %10 ila %80 arasında gözlenir. Burada karşılaşılan ana problem, yüksek verimde AKM gideriminin sağlanamaması ve katı miktarlarındaki dalgalanmalara karşı sistemin dirençli olmamasıdır.

6.5 Besi Maddelerinin Kontrolü

Besi maddelerinden azot ve fosfor arıtılmış atıksuların deşarjında önemli parametrelerdendir. Azot ve fosforun deşarj edilmesi, göl ve rezervuarlarda ötrifikasyonu hızlandırır ve sığ sularda köklü sucul bitkilerle beraber alg büyümesini teşvik eder. Estetik olmayan görünümüne ilave olarak, alg ve sucul bitkilerin varlığı özellikle su temini, balık üretimi ve eğlence amaçlı kullanım gibi su kaynağının faydalı kullanımlarını engeller.

Azotun yüksek konsantrasyonlarda deşarjının sebep olduğu diğer zararlı etkileri

- Alıcı ortamda çözünmüş oksijen düşmesi
- Sudaki hayat üzerinde toksik etki
- Klorla dezenfeksiyon verimini etkilemek
- Halk sağlığına zararlı olmak
- Atıksuyun tekrar kullanım amacına uygunluğunu bozmak

olarak sıralanabilir.

Bu nedenle azot ve fosforun kontrolü su kalitesi yönetiminde ve atıksu arıtma sistemlerinin tasarımında büyük öneme sahiptir. Besi maddelerinin kontrol stratejileri, azot ve fosforun giderim ve kontrolünü içermekte olup bu bölümde detaylı olarak incelenecektir.

6.5.1 Besi Maddeleri Kontrol Stratejisi

Besi maddelerinin kontrol stratejisinin seçiminde, ham atıksu özelliklerinin belirlenmesi, mevcut arıtma sistemi ve istenen besi maddesi kontrol seviyesi önemli faktörlerdendir. Ayrıca, mevsimsel değişimlere paralel olarak yıl boyunca besi maddesi gideriminin değişimi de dikkate alınmalıdır. Besi maddesi kontrolünü amaçlayan yaklaşımlar, ilave proses yapılmasını veya mevcut biyolojik arıtma sisteminin besi maddesi giderecek duruma getirilmesini hedefler. Yaklaşım seçimi ise deşarjda istenen standartlara ulaşabilmeye, işletmenin esnekliğine ve maliyete bağlıdır.

Kimyasal, fiziksel ve biyolojik sistemlerin ilavesi ile mevcut arıtma sistemlerinde besi maddelerinin deşarjı kontrol edilebilmektedir. En çok kullanılan ilave prosesler, azot giderimi için amonyak oksidasyonu ve biyolojik nitrifikasyon-denitrifikasyon, fosfor giderimi için ise kimyasal çöktürmedir. Ancak son yıllarda fosforun yalnız veya azot ile birlikte giderimi için yeni prosesler geliştirilmiştir. Bu prosesler, kimyasal kullanımının az olmasından veya hiç kimyasala ihtiyaç duyulmamasından dolayı tasarımcılar ve işletmeciler tarafından tercih edilmektedir.

6.5.2 Azot Giderimi ve Kontrolü

Ham atıksuda azot, amonyak veya organik formda olup, her ikisi de çözünmüş ve katı halde olabilirler. Azotun nitrit ve nitrat formları ise bazı endüstriyel atıksular haricinde atıksularda yok sayılabilecek kadar az bulunurlar. Azot formlarından çözünmüş organik azot atıksuda daha çok üre ve amino asit halinde bulunur. Katı halindeki organik maddeler ise ön çöktürme ile giderilir. Biyolojik arıtma sırasında, organik azotun birçoğu amonyum ve diğer inorganik formlara dönüşürken amonyumun bir kısmı da mikroorganizmalar tarafından hücre sentezinde kullanılır. Bu nedenle biyolojik arıtma ile toplam azotun en fazla %30'u giderildiği söylenebilir.

6.5.3 Fosfor Giderimi

Birçok atıksuda, çözünmemiş halde olan ve sudaki fosforun yaklaşık %10'una karşılık gelen katı formdaki fosfor ön çöktürme ile giderilir. Mikroorganizma tarafından hücre sentezinde kullanılan miktar hariç, kalan çözünmüş fosforun konvansiyonel biyolojik arıtma ile giderimi oldukça zordur. Konvansiyonel ve diğer arıtma sistemlerinin fosfor giderimine etkileri Tablo 6.4'te verilmektedir.

Fosforun gideriminde kimyasal, fiziksel ve biyolojik metotlar kullanılabilir. Demir veya alum tuzları ya da kireç ile yapılan kimyasal çöktürme fosfor gideriminde çok kullanılmaktadır. Biyolojik fosfor giderimi ise, mikroorganizmaların strese sokularak hücre büyümesi için gerekenden daha fazlasını adsorplamaları esasına dayanır. Birçok biyolojik proses kimyasal arıtmaya alternatif olarak geliştirilmiştir.

Tablo 6.4. Çeşitli işlem ve arıtma proseslerinin fosfor giderimine etkileri (1).

Arıtma işlem ve prosesleri	Fosfor giderimi (%)
Konvansiyonel	
Birinci kademe	10-20
Aktif çamur	10-25
Damlatmalı filtre	8-12
Döner biyolojik disk	8-12
Yalnız biyolojik fosfor giderimi	
Ana akımda arıtım	70-90
Yan akımda arıtım	70-90
Birleşik biyolojik azot ve fosfor giderimi	70-90
Kimyasal giderim	
Metal tuzları ile çöktürme	70-90
Kireç ile çöktürme	70-90
Fiziksel giderim	
Filtrasyon	20-50
Ters osmos	90-100
Karbon adsorpsiyonu	10-30

6.6 Biyolojik Nitrifikasyon ile Amonyak Giderimi

Atıksular karbonlu bileşiklerinin yanı sıra azot, fosfor, kükürt vb. gibi bileşikler de içerirler. Atıksulardan azot gideriminde genellikle biyolojik yöntemler uygulanmaktadır. Organik azot bileşikleri organizmalar tarafından parçalanarak amonyuma dönüştürülür. Amonyumun bir

kısmı organizmalar tarafından asimile edilerek hücresel proteine çevrilirken diğer kısmı da “Nitrifikasyon” bakterileri tarafından önce nitrit ve sonra da nitrata dönüştürülür. Bu proses “Nitrifikasyon” olarak adlandırılmaktadır. Oluşan nitrat iyonlarının “Denitrifikasyon Bakterileri” tarafından önce nitrit, sonra da azot gazına (N₂) dönüştürülmesi ise “Denitrifikasyon” olarak ifade edilmektedir.

Böylece atıksulardan azot giderimi ardışık Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon kademeleri ile sağlanır.

6.6.1 Nitrifikasyon Prosesinin Tanımı

Nitrifikasyon, atıksuda mevcut amonyum (NH₄) iyonlarının bakteriler tarafından önce nitrite sonra da nitrat iyonlarına dönüştürülmesidir. Amonyagi nitrite oksitleyen bakteri türleri *Nitrosomonos* ve *Nitrosococcus* olarak bilinmektedir. İlk basamakta nitrite (NO₂) oksitlenen amonyum iyonları, ikinci basamakta *Nitrobakter* ile nitrata (NO₃) dönüştürülür.

Birinci adıma ait enerji reaksiyonu,



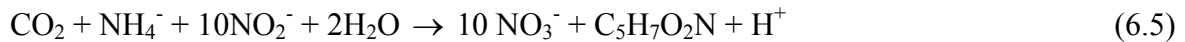
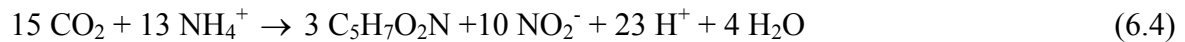
iken ikinci adıma ait enerji reaksiyonu,



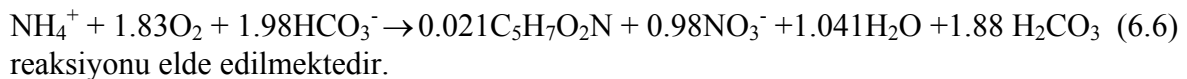
şeklinde olmaktadır. Bunlara bağlı olarak toplam enerji reaksiyonu aşağıdaki ifade ile verilebilmektedir.



(6.1) ve (6.2) reaksiyonları sonucu açığa çıkan enerjiyi her iki bakteri çeşidi hücre büyümesi ve bakımı için kullanır. Enerji elde ediminin yanı sıra, bazı amonyum iyonlarının hücre dokusu olarak kullanıldığını da gösteren ve sırasıyla birinci ve ikinci adımlara ait sentez reaksiyonları aşağıda verilmektedir.



Burada C₅H₇O₂N kimyasal formülü sentezlenen bakteri hücresi yerine kullanılmaktadır. Ardışık olarak meydana gelen oksidasyon ve sentez reaksiyonları toplanarak yazıldığında



Amonyumun nitrata oksidasyonu için gereken teorik oksijen miktarı (6.3) eşitliğinde 64/14=4,57 mg O₂/mg amonyum azotu olmaktadır.

Biyolojik azot giderimi nitrifikasyon derecesi ile doğrudan ilişkilidir. Ototrofik nitrifikasyon bakterileri düşük büyüme hızına sahiptirler ve çevre şartlarından heterotrofik denitrifikasyon

bakterilerinden daha fazla etkilenirler. Bu nedenle, nitrat oluşumu reaksiyonu azot gideriminde belirleyici rol oynar.

İnorganik azotun biyolojik reaksiyonu *Nitrobacteraceae* grubu bakteriler tarafından gerçekleştirilir. *Nitrobacter* ve *Nitrocystis* ise nitriti nitrate oksitlerler. Ototrofik nitrifikasyon bakterileri büyüme ve hücre metabolizması için gerekli bütün enerjiyi, inorganik azot bileşiklerinin oksidasyonu sonucu açığa çıkan serbest enerjiden sağlarlar. Hücre büyümesi için gereken karbon kaynağını ise karbondioksitten veya bikarbonattan elde ederler.

Kararlı halde nitrifikasyon bakterilerinin büyüme hızı Monod kinetiği ile tanımlanmaktadır. Nitrifikasyon prosesinde, nitrit oluşumunda amonyak, nitrat oluşumunda ise nitrit konsantrasyonları hız belirleyicidir. *Nitrobacter*'lerin büyüme hızı *Nitrosomonas*'lara kıyasla daha büyük olduğu için nitrifikasyon proses hızını kontrol eden adım amonyağın nitrite dönüşüm reaksiyonudur.

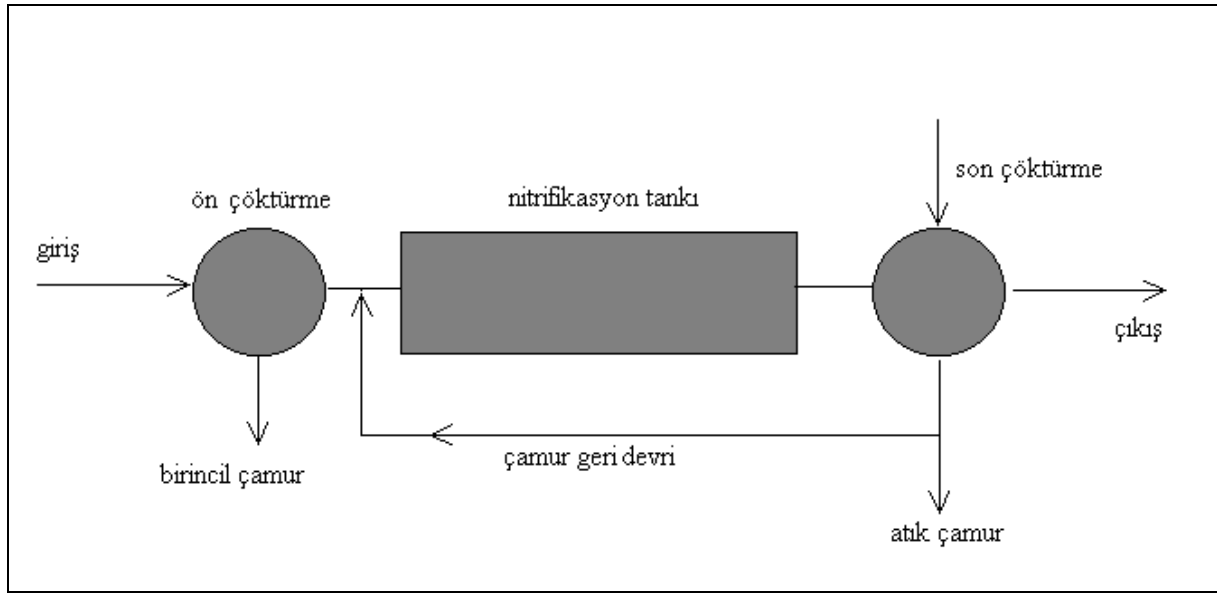
6.6.2 Nitrifikasyon Proseslerinin Sınıflandırılması

Nitrifikasyon prosesleri, karbon oksidasyonu ve nitrifikasyon reaksiyonlarının birlikte veya ayrı meydana gelmesine bağlı olarak sınıflandırılır. Karbon oksidasyonu ve nitrifikasyonun bir reaktör içinde meydana gelmesi durumunda sisteme “birleşik (tek çamurlu) sistem” denir. “Ayrık (çok çamurlu) sistem”de ise karbon oksidasyonu ve nitrifikasyon farklı reaktörlerde meydana gelir ve heterotrofik ile ototrofik mikroorganizmalar bir arada bulunmazlar. Tek ve çift çamurlu nitrifikasyon sistemleri Şekil 6.1’de gösterilmektedir.

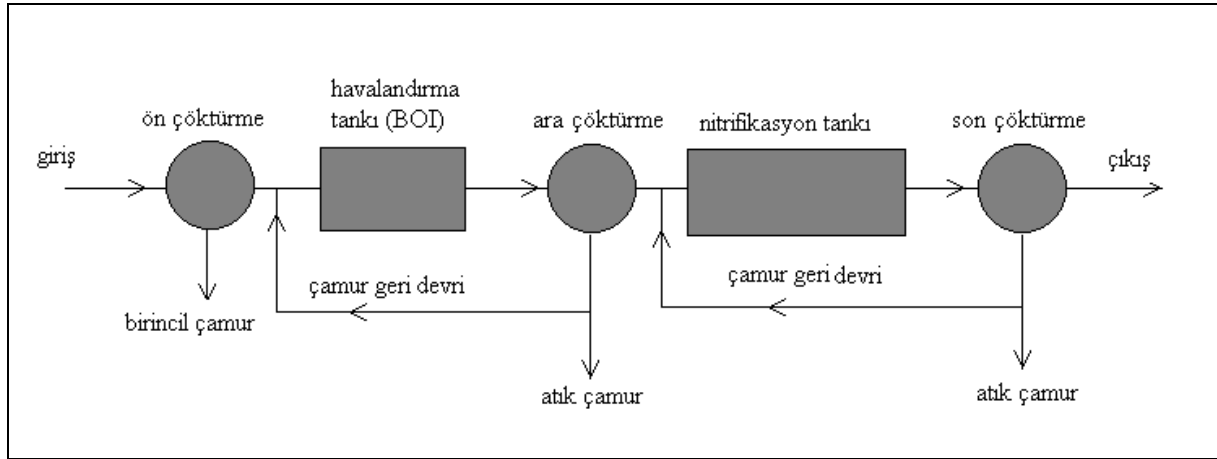
Nitrifikasyon bakterileri, genel olarak havalı arıtma sistemlerinde az sayıda bulunurlar. Aktif çamur sistemlerinde nitrifikasyonun gerçekleşebilmesi BOI_5/TKN oranı ile ilişkilidir. Bu oranın 1 ile 3 arasında olması durumunda sistem çok çamurlu nitrifikasyon sistemidir. BOI_5/TKN oranı 1 ile 3 arasında değişmesi durumunda nitrifikasyon bakterilerinin oranı 0,21’den 0,083’e kadar farklı değerler almaktadır (Tablo 6.5). Pek çok klasik aktif çamur sisteminde BOI_5/TKN oranı 5’den büyük olduğu için nitrifikasyon bakterileri fraksiyonu 0,083’den az olmaktadır ve buna bağlı olarak da nitrifikasyon tek çamurlu sistemde gerçekleştirilir.

Tablo 6.5 BOI_5/TKN oranı ile nitrifikasyon bakterileri oranı arasındaki ilişki(1).

BOI/TKN oranı	Nitrifikasyon bakterileri fraksiyonu	BOI/TKN oranı	Nitrifikasyon bakterileri fraksiyonu
0,5	0,35	5	0,054
1	0,21	6	0,043
2	0,12	7	0,037
3	0,083	8	0,033
4	0,064	9	0,029



(a)



(b)

Şekil 6.1 Tam karışımli reaktörlerde karbon oksidasyonu ve nitrifikasyon prosesleri a) bileşik tek çamurlu sistem, b) ayırık sistem

6.6.3 Birleşik (Tek Çamurlu) Sistemler

Nitrifikasyon bakterileri hemen hemen bütün biyolojik arıtma proseslerinde bulunurlar ancak sayıları oldukça azdır. Nitrifikasyon prosesi, kesikli, tam-karışımli, uzun havalandırmalı veya çeşitli modifikasyonlarında gerçekleştirilebilmektedir. Nitrifikasyon prosesinin bu sistemlerde meydana gelmesi nitrifikasyon bakterilerinin büyümesiyle ve dolayısıyla gerekli çevre şartlarının nitrifikasyon bakterilerine göre ayarlanmasıyla sağlanmaktadır. Örneğin, ılıman, artan nitrifikasyon hızı, artan çamur miktarı daha fazla hava gereksinimini de beraberinde getirir. Böylece mevsimsel olarak önlem alınmalıdır.

Damlatmalı filtre ve dönen biyodisk sistemleri, karbon oksidasyonu ve nitrifikasyonun beraber meydana geldiği biyofilm sistemlerine örnektir. Tam karışımli sistemlerde olduğu gibi, biyofilimli sistemlerde de nitrifikasyon için işletme şartları önemlidir. İşletme parametrelerine örnek olarak organik yükleme verilebilir. Yüklemenin (F/M 'in) azaltılmasıyla nitrifikasyon artacaktır.

Çeşitli nitrifikasyon sistemlerinin üstünlük ve kısıtları Tablo 6.6’da verilmektedir.

Askıda Büyüyen Prosesler: Askıda büyüyen havalı sistemler de karbon giderimi için geliştirilen kinetik eşitlikler nitrifikasyon proseslerine de uygulanabilmektedir.

Nitrifikasyon prosesi üzerine etki eden başlıca faktörler Tablo 6.7’de verildiği gibi; amonyum ve nitrit konsantrasyonları, BOI/TKN oranı, çözünmüş oksijen konsantrasyonu, sıcaklık ve pH’dır. Kinetik katsayılar ise Tablo 6.8’de verilmektedir. Kinetik yaklaşımların tam karışımli askıda büyüyen nitrifikasyon prosesine uygulanması aşağıdaki adımları içerir:

- Günlük pik yüklemeleri karşılayacak uygun bir emniyet katsayısı seçilir. θ_c için minimum emniyet faktörü 2 olarak önerilmektedir.
- Tam karışımdaki minimum çözünmüş oksijen konsantrasyonu seçilir. Minimum değerin, nitrifikasyon hızının düşmemesi için en az 2 mg/l olması gerekmektedir.

Tablo 6.6 Nitrifikasyon sistemlerinin kıyaslanması (1).

Sistem tipi	Avantajları	Dezavantajları
<i>Birleşik karbon oksidasyonu ve nitrifikasyon sistemleri:</i>		
Askıda katıda büyüyen sistemler	Tek reaktörde amonyak ve karbon arıtımı; çıkışta düşük amonyak konsantrasyonu; yüksek BOD/TKN oranına bağlı olarak kontrol.	Toksik maddelere karşı hassas; işletmede orta kararlılığa sahiptir; çamur konsantrasyonu geri dönüşünün olduğu çöktürme tankı ile ilişkilidir; soğuk iklimler için daha büyük reaktör gereksinimi vardır.
Tutunarak büyüyen sistemler	Çamur konsantrasyonu çöktürme tankına bağlı değildir.	Toksik maddelere karşı hassas; işletmede orta kararlılığa sahiptir; soğuk iklimlerde işletme pratik değildir.
<i>Ayrık karbon oksidasyonu ve nitrifikasyon sistemleri:</i>		
Askıda büyüyen sistemler	Pekçok toksik bileşiğe karşı dayanıklı; kararlı işletme şartları elde edilir; deşarjda düşük amonyak konsantrasyonu.	Düşük BOD/TKN oranında kontrol gerektirir; çamur konsantrasyonu geri dönüşünün olduğu çöktürme tankı ile ilişkilidir; daha fazla sayıda birim proses gerekir.
Tutunarak büyüyen sistemler	Pekçok toksik bileşiğe karşı dayanıklı; kararlı işletme şartları; çamur konsantrasyonu çöktürme tankına bağlı değildir.	Çıkış amonyak konsantrasyonu 1-3 mg/l’dir; daha fazla sayıda birim proses gerekir.

- Okside olan 1 mgNH₄⁺/l'e karşılık 7.14 mgCaCO₃/ alkalinite harcanır. Buna bağlı olarak proses işletme pH'ı belirlenir ve pH aralığı 7.2-9 olmalıdır.
- Nitrifikasyon bakterilerinin maksimum büyüme hızı kritik sıcaklıkta, kritik çözünmüş oksijen konsantrasyonunda ve kritik pH değerinde hesaplanır.
- Minimum çamur yaşı büyüme hızı dikkate alınarak belirlenir.
- Emniyet faktörü kullanılarak işletmede geçerli olacak çamur yaşı hesaplanır,
- Çıkış suyunda azot konsantrasyonu belirlenir.
- İstenen azot deşarj değerine ulaşabilmek için hidrolik kalma zamanı belirlenir.
- Birleşik karbon oksidasyonu ve nitrifikasyon prosesi kullanılması durumunda organik substrat kullanım hızı belirlenir.

Yukarıdaki adımlar izlenerek örnek bir problemin çözümü Bölüm sonunda verilmektedir. Burada en önemli nokta kritik çevre koşullarındaki minimum çamur yaşını belirlemek ve uygun bir emniyet faktörünü seçmektir.

Tablo 6.7 İşletme ve çevre şartlarının nitrifikasyon prosesine etkileri (1).

Faktörler	Etkilerin tanımı
Amonyak-Nitrit konsantrasyonu	Amonyak ve nitrat konsantrasyonu <i>Nitrosomonas</i> ve <i>Nitrobacter</i> lerin büyüme hızını etkilemektedir. Bu etki Monod kinetiği ile ifade edilebilir. <i>Nitrobacter</i> lerin büyüme hızı <i>Nitrosomonas</i> lardan daha büyük olduğu için modelleme <i>Nitrosomonas</i> ların proses kinetiği üzerine kurulmuştur.
BOI/TKN	Bu oranın 5 den büyük olması halinde ortamdaki nitrifikasyon bakterilerinin oranı düşer.
Çözünmüş oksijen (ÇO) konsantrasyonu	ÇO konsantrasyonunu maksimum özgül büyüme hızını etkilemektedir. $\mu_{mn} = \mu_{mn} \frac{\text{ÇO}}{K_{o2} + \text{ÇO}} ; K_{o2}=1.3 \text{ olarak kabul edilir.}$
Sıcaklık	Sıcaklığın düşmesi ile nitrifikasyon hızı da düşmektedir. Sıcaklığın büyüme hızına etkisi aşağıdaki reaksiyon ile ifade edilir: $\mu_{mn} = \mu_m e^{0.098(T-15)}$ $K_N = 10^{0.051T-1.158}$
pH	pH 7 ve 9 arasında maksimum nitrifikasyon hızına ulaşılmaktadır. Karbon oksidasyonu ve nitrifikasyonun birlikte olduğu sistemlerde pH ın etkisi aşağıdaki eşitlikle ifade edilir: $\mu_{mn} = \mu (1-0.833)(7.2 - \text{pH})$

Tablo 6.8 Askıda büyüyen nitrifikasyon sistemlerinde tipik kinetik katsayılar(1).

Katsayılar	Birimler	Değerler	
		aralık	ortalama
Nitrosomonas			
μ_m	d^{-1}	0,3-2	0,7
K_s	NH_4^+-N , mg/l	0,2-2	0,6
Nitrobacter			
μ_m	d^{-1}	0,4-3	1
K_s	$NO_2^- -N$, mg/l	0,2-5	1,4
<i>Tüm reaksiyon</i>			
μ_m	d^{-1}	0,3-3	1
K_s	NH_4^+-N , mg/l	0,2-0,5	1,4
Y	NH_4^+-N , mg UKMmg	0,1-0,3	0,2
k_d	d^{-1}	0,03-0,06	0,05

Tablo 6.9’da askıda büyüyen nitrifikasyon ve denitrifikasyon sistemlerinin analizi için kullanılan kinetik tanımların özeti verilmektedir.

Tablo 6.9 Askıda büyüyen nitrifikasyon ve denitrifikasyon sistemlerinin analizi için kullanılan kinetik tanımların özeti (1).

Eşitlik	Açıklamalar
$\mu = \mu_{max} \left[\frac{S}{K_s + S} \right]$	μ : özgül büyüme hızı, zaman ⁻¹
$r_{su} = - \frac{\mu_m X S}{Y(K_s + S)}$	r_{su} : substrat kullanım hızı, kütle/hacim.zaman μ_m : maksimum özgül büyüme hızı, zaman ⁻¹
$k = \frac{\mu_m}{Y}$	S : substrat konsantrasyonu, kütle/hacim X : mikroorganizma konsantrasyonu, kütle/hacim
$r_{su} = \frac{k X S}{K_s + S}$	Y : maksimum verim katsayısı, kütle/kütle K_s : yarı doyumluk sabiti, kütle/hacim
$U = - \frac{r_{su}}{X}$	k : maksimum substrat kullanım hızı, zaman ⁻¹ k_d : içsel bozunma hızı katsayısı, zaman ⁻¹
$U = \frac{S_o - S}{\theta X}$	U : substrat kullanım hızı, zaman ⁻¹ θ : hidrolik bekleme süresi, zaman
	θ_c : çamur yaşı, zaman

$U = \frac{kS}{K_s + S}$ $\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d$ $\frac{1}{\theta_c^M} = Yk - k_d$ $SF = \frac{\theta_c}{\theta_c^M}$	θ_c^M : minimum çamur yaşı, zaman SF: emniyet faktörü S_0 : giriş konsantrasyonu, kütle/hacim
---	--

İnhibitör Bileşikler: Aktif çamur sistemlerinde nitrifikasyon birçok bileşik tarafından inhibe edilmektedir. Ancak sistemde nitrifikasyonun olmamasının nedeni her zaman inhibisyon değildir. Bazı durumlarda nitrifikasyon bakterilerinin sistemden atılmış olma ihtimali de olabilir. Tablo 6.10'da da verildiği gibi bazı ağır metaller nitrifikasyonu inhibe etmektedir. Tabloda literatürden alınan çeşitli metallerin inhibisyon konsantrasyonları bulunmaktadır ve aktif çamurdaki karbon gideren bakterilerin nitrifikasyon bakterilerine oranla daha az etkilediği görülmektedir. Sıvı ve çamur fazındaki metal iyon aktivitesinin çok farklı olması nedeniyle aktif çamurdaki bakteriler yüksek metal konsantrasyonuna daha fazla direnç gösterirler. Sülfür bileşikleri, anilin, fenoller ve siyanür gibi bazı organik bileşikler çok kuvvetli inhibisyon etkisi gösterirler. Mikroorganizmalar birden fazla inhibitör bileşiğine aynı anda maruz kalırsa genellikle bir bileşiğin inhibisyonu baskın olmaktadır.

Tablo 6.10 Metallerin nitrifikasyona inhibisyonu (10).

Metal	g/m ³	Etkileri
Cu	0,05-0,056	Nitrosomonas inhibisyonu (saf kültür)
Cu	4	Aktif çamurda inhibisyon yok
Cu	150	Aktif çamurda %75 inhibisyon
Ni	>0,25	Nitrosomonas büyümesi inhibisyonu (saf kültür)
Cr ³⁺	>0,25	Nitrosomonas büyümesi inhibisyonu (saf kültür)
Cr ³⁺	118	Aktif çamurda %75 inhibisyon
Zn	0,08-0,5	Nitrosomonas inhibisyonu (saf kültür)
Co	0,08-0,5	Nitrosomonas inhibisyonu (saf kültür)

Biyofilm Prosesleri: Başlıca tutunarak biyofilm sistemleri, damlatmalı filtre ve döner biyodisklerdir. Bu sistemlerin nitrifikasyon verimleri organik yüklemeye bağlıdır. Tablo 6.11'de nitrifikasyonun gerçekleştiği yükleme değerleri verilmektedir.

Tablo 6.11 Biyofimli sistemler için tipik yükleme hızları (1).

Proses	Nitrifikasyon verimi, %	Yükleme hızı, kg/m ³ .gün
Damlatmalı filtre,(taş dolgulu)	75-85	0,16-0,096
	85-95	0,096-0,048
Biyolojik Kule (plastik dolgulu)	75-85	0,288-0,192
	85-95	0,192-0,096
Döner biyodisk	<2 ¹	0,00245-0,0073 ²

¹ Çıkış amonyum konsantrasyonu

² kg/m².gün

Damlatmalı filtrelerde taş dolgu maddesi kullanılması durumunda, yüksek organik yüklerde biyofilm heterotrofik bakteri ağırlıklı olacağından nitrifikasyon verimi düşük olacaktır. Ancak dolgu maddesinin plastik olması durumunda, daha geniş yüzey alanı elde edileceğinden bakteri tutma kapasitesi de daha fazla olacaktır. Bu nedenle, yüksek organik yüklerde bile yüksek nitrifikasyon verimlerine ulaşılabilecektir. Plastik malzeme kullanımının diğer faydası ise daha fazla oksijen transferi sağlamasıdır. Bileşik karbon oksidasyonu ve nitrifikasyon sisteminde kullanılan dolgu malzemesinin taş veya plastik kullanılması durumunda nitrifikasyon verimleri karşılaştırıldığında, plastik malzeme içeren sistemin %80 daha fazla yüzey alanı sağladığı ve sistemde %60 daha fazla amonyum oksidasyonun gerçekleştiği belirlenmiştir.

Döner biyodisklerde amonyumun oksidasyon verimi sistemdeki yüzey alanına bağlıdır. Nitrifikasyon için gerekli yüzey alanı iki adımda belirlenebilmektedir. Birinci adımda, BOİ giderimi için gerekli yüzey alanı, ikinci adımda ise giriş amonyum konsantrasyonunu istenen seviyeye kadar artırmak için gereken disk yüzey alanı bulunur. İki yüzey alanının toplamı birleşik karbon oksidasyonu ve nitrifikasyon prosesinin gerçekleşmesi için gerekli toplam alanı vermektedir.

6.6.4 Ayrık Nitrifikasyon Sistemleri

Askıda ve yüzeyde tutunarak çoğalan sistemlerin her ikisi de ayrık veya birleşik nitrifikasyon prosesi için kullanılmaktadır. Nitrifikasyonun ayrı reaktörde olması, büyük bir proses esnekliği ve emniyeti sağlamaktadır. Karbon giderimi ve nitrifikasyon prosesleri birbirlerinden bağımsız olarak işletilebilmektedir. Ayrıca, nitrifiyerler için toksik olabilecek organik bileşiklerin potansiyel etkisi de karbon oksidasyonu sırasında azaltılabilmektedir.

Nitrifikasyon prosesinin gerçekleştiği askıda çoğalan sistemlerin akım şeması Şekil 6.2’de verilmektedir. Şekil 6.2a’da birleşik sistem gösterilmektedir. Bu sistem işletmesi kolay olduğundan tercih edilmektedir. Havalandırma tankı hacmi büyük olduğundan yük değişimlerine karşı daha dayanıklıdır ve uygulanan yüksek θ_c değerleri nedeniyle, genellikle daha düşük hacimde fazla çamur tutulabilmektedir. Çamurun %1-2’sini nitrifikasyon bakterileri oluşturmaktadır.

Şekil 6.2b’de gösterilen sistemde ise, birinci tanka yüksek F/M oranında yükleme yapılabileceğinden bu tankın hacmi daha küçük yapılabilmektedir. Fakat bu durumda sistem yük değişimine karşı daha hassas bir duruma gelmektedir. Bu tip reaktörlerde daha çok çamur oluşur. Ancak, her iki tanktaki çamuru birbirlerinden ayrı tutmak için ek bir çökeltme havuzu yapılmaktadır. Bu sisteminin en önemli faydası nitrifikasyon veriminin yüksek olmasıdır. Özellikle gelen atıksuda toksik madde bulunma ihtimali varsa bu sistem daha faydalı olmaktadır. Çünkü toksik bileşiklerin ilk havuzda giderilmesi veya etkisini kaybetmesi söz

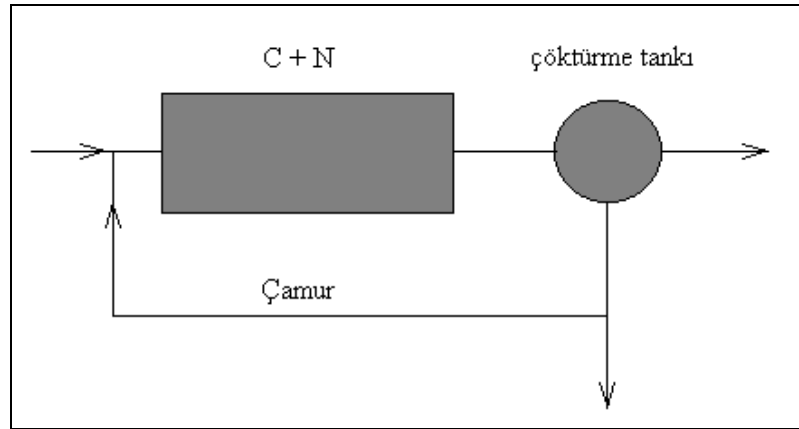
konusu olur. Böylece tesisin ikinci bölümünde yer alan nitrifikasyon bakterileri etkilenmemiş olur.

Şekil 6.2c’de de temas stabilizasyonlu sistem verilmektedir. Havalandırma tankında hidrolik bekleme süresi nitrifikasyon için yeterli ise temas aşamasında biyolojik reaksiyonlarla birlikte nitrifikasyon da meydana gelmektedir. Temas stabilizasyonlu sistemlerin projelendirilmesinde yalnızca çamur yaşı değil temas süresinin de yeterli olması gereklidir.

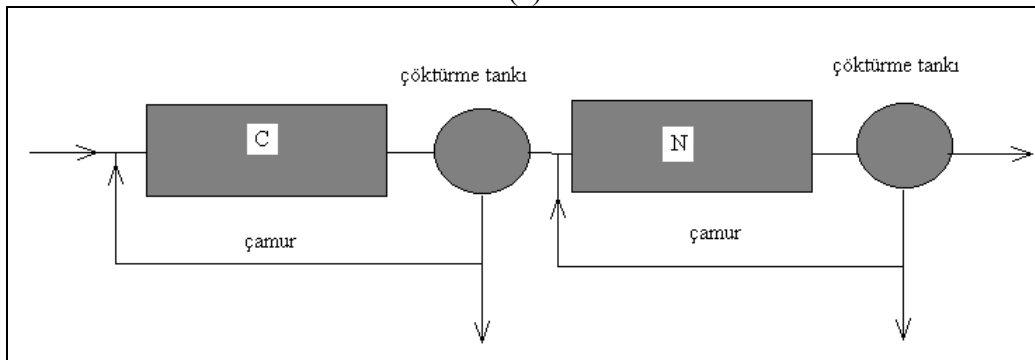
6.6.5 İşletme Şartları

Sisteme gerekli hava sağlanmalıdır. Nitrifikasyon bileşik aktif çamur sisteminde gerçekleşiyorsa sistemin kararlılığı için aşağıdaki işletme koşulları sağlanmalıdır:

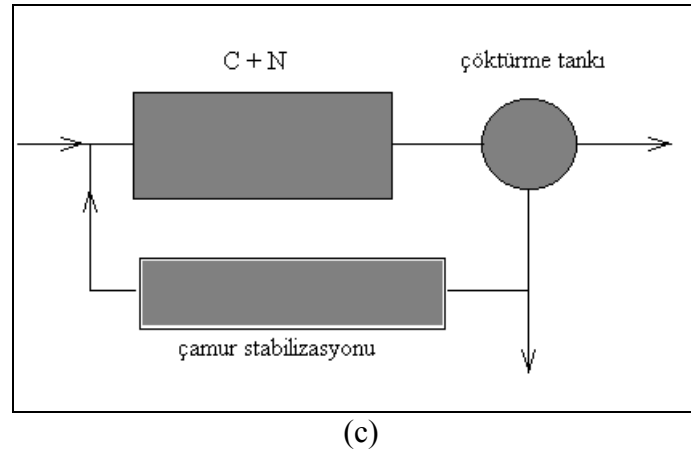
- Nitrifikasyon için ilave oksijen gereklidir.
- Uzun çamur yaşı seçilmelidir. Nitrifikasyon bakterileri ototrofik bakteriler olup, organik maddeleri parçalayan heterotrofik bakterilerden daha yavaş büyüme hızına sahiptirler. Bu nedenle bu bakterilerin etkin olabilmesi için daha büyük çamur yaşına ihtiyaç vardır.
- Mikrobiyolojik dönüşüm nedeniyle ortamın pH’sı düştüğünde kireç veya soda ilavesiyle pH ayarlaması yapılmalıdır.



(a)



(b)



Şekil 6.2 Askıda çoğalan nitrifikasyon sistemlerine ait akım şemaları; a) karbon ve azotlu maddelerin aynı tankta oksitlendiği birleşik sistem, b) ayrık sistem, c) ayrık çamur stabilizasyonlu sistem; (C: karbonlu maddelerin biyolojik oksidasyonu, N: nitrifikasyon).

6.7 Azotun Biyolojik Nitrifikasyon-Denitrifikasyon ile Giderimi

Biyolojik nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi, aşağıdaki sebepler dolayısıyla azot gideriminde kullanılan en yaygın metodlardandır.

- Arıtma verimi yüksektir.
- Proses kararlılığı ve güvenilirliği fazladır.
- Proses kontrolü diğer sistemlere kıyasla kolaydır.
- Az alan gereklidir.
- Maliyeti çok yüksek değildir.

Atıksudaki azot konsantrasyonuna bağlı olarak tek veya iki adımda arıtma yapılabilir. Birinci adımda amonyum havalı ortamda nitrata dönüştürülürken (nitrifikasyon) ikinci adımda ise nitrat azot gazına dönüştürülür (denitrifikasyon). Atıksudaki azot nitrat formunda olup sulama suyu olarak kullanılacak ise yalnızca denitrifikasyon yeterli olabilmektedir. Denitrifikasyon metanol veya uygun organikler ilavesi ile ayrı bir reaktörde veya birleşik nitrifikasyon-denitrifikasyon sistemlerinde yapılabilir. Tablo 6.12’de karbon kaynağının türüne göre denitrifikasyon hızları verilmektedir.

Tablo 6.12 Çeşitli karbon kaynakları için tipik denitrifikasyon hızları.

Karbon kaynağı	Denitrifikasyon hızı (U_{DN}) $mgNO_3^-/mgUKM.gün$	Sıcaklık $^{\circ}C$
Metanol	0,21 - 0,32	25
Metanol	0,12 - 0,9	20
Atıksu	0,03 - 0,11	15-27
İçsel metabolizma hidroliz ürünleri	0,017 - 0,048	12-20

Denitrifikasyon hızı aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır.

$$U'_{DN} = U_{DN} \times 1,09^{(T-20)} \times (1 - DO) \quad (6.6)$$

Burada,

U_{DN}^I = toplam denitrifikasyon hızını

U_{DN} = özgül denitrifikasyon hızını ($\text{mgNO}_3^-/\text{mgUKM.gün}$)

T = atıksu sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

DO = çözülmüş oksijen konsantrasyonunu (mg/l) göstermektedir.

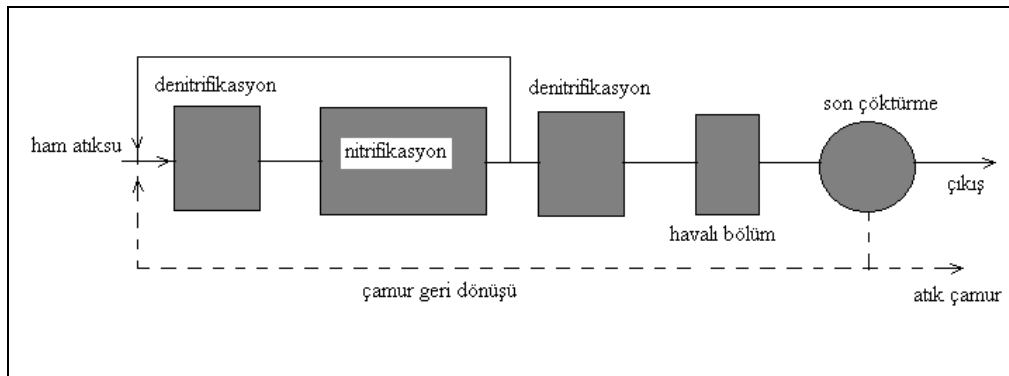
Yukarıdaki eşitlikte çözülmüş oksijen konsantrasyonunun 1 mg/l olması durumunda denitrifikasyon hızı sıfır olur. Denitrifikasyon hızının hesaplan metodu Bölüm sonundaki örnekte verilmektedir.

6.7.1 Birleşik Karbon Oksidasyonu, Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon Prosesi

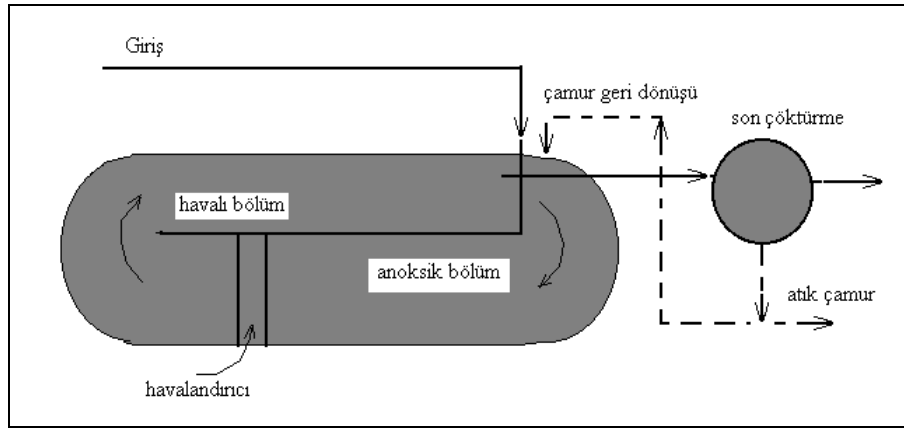
Maliyetinin yüksek oluşu dolayısıyla karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon tek sistem içinde gerçekleştirilir ve ara adım uygulanmaz. Bu proseslerin aşağıda belirtildiği gibi pek çok üstünlüğü vardır.

- Nitrifikasyon ve BOI giderimi için gerekli olan oksijen kullanımını azdır.
- Denitrifikasyonun tamamlanması için gereken karbon kaynağı ilavesi gerekmemektedir.
- İlave çöktürme havuzuna ve çamur geri dönüşüne gerek duyulmamaktadır.

Bu sistemlerin çoğu toplam azotun %60-80'inin arıtabilmektedir. Birleşik sisteme örnek akış diyagramı Şekil 6.3'te verilmektedir. Bu sistemlerde, havalandırmanın sonunda arıtmadan artan karbonlu bileşikler denitrifikasyon basamağında kullanılmaktadır. Şekil 6.3b'den de görülebileceği gibi anoksik ortam oksijenin kontrolü ile oksidasyon hendeğinde de sağlanabilmektedir. Bunlara alternatif olarak ardışık kesikli reaktörlerde de havalı ve anoksit şartlar oluşturularak nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonları birlikte gerçekleştirilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 6.3 Birleşik nitrifikasyon-denitrifikasyon sistemleri: a) Dört basamaklı Bardenpho prosesi ve b) Oksidasyon hendeği.

Bardenpho Prosesi (Dört basamaklı): Dört basamaklı Bardenpho prosesinde denitrifikasyonun olabilmesi için karbon kaynağı olarak hem atıksudaki karbon, hem de içsel solunum hidrolizi sonucu oluşan karbon kullanılır. Karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon için havuzda ayrı bölümler kullanılır. Atıksu öncelikle anoksik olan denitrifikasyon reaktörüne girer. Bu reaktöre aynı zamanda karbon oksidasyonu-nitrifikasyon reaktörü çıkış suyu da geri döndürülerek verilmektedir (Şekil 6.3a). Atıksudaki karbon, geri döndürülen sudaki nitrati denitrifiye etmek için kullanılır. Organik yükleme yüksek olduğundan, denitrifikasyon da hızlıdır. Atıksudaki amonyum ilk anoksik ortama girmektedir ve hiçbir değişime uğramadan sistemdeki ilk havalandırma tankına gelir. Bu tanktan çıkan nitrifiye olmuş atıksu, ikinci anoksik reaktöre girer. Bu ikinci reaktörde içsel solunum ile karbon sağlanır ve denitrifikasyon gerçekleştirilir. İkinci havalı reaktör nispeten küçük olup, azot gazının ortamdan uzaklaştırılması için kullanılır. İkinci anoksik reaktörde son havalandırmada nitrifiye olmuş çamurdan ayrılan amonyağın denitrifikasyonu gerçekleştirilir. Bardenpho presesinin geliştirilmiş şekli olan beşli reaktör sistemi de azot ve fosforun birlikte arıtımı için kullanılmaktadır.

Hollanda'da eşdeğer nüfusu 500 kişi olan arıtma sistemine ait araştırma sonuçları Tablo 6.13'te verilmektedir.

Tablo 6.13 Bardenpho prosesinde gözlenen denitrifikasyon hızları (2).

Anoksik tank	Karbon kaynağı	Denitrifikasyon hızı, mgNO ₃ -N/gUKM..saat	
		Güney Afrika (20°C)	Hollanda (10°C)
Birinci anoksik tank	Ham atıksu	3.6	1.1
İkinci anoksik tank	İçsel solunum (hidroliz)	1.3	0.5

Oksidasyon Hendeği: Oksidasyon hendeği nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonları için de kullanılmaktadır. Oksidasyon hendeğinde atıksu havalandırıcılarla havalandırılır ve aynı zamanda iterek kanalda düşmesi sağlanır (Şekil 6.3b). Hendeğe havalı bölüm

havalandırıcının yönlendirdiği su akışının önünde, anoksik bölüm ise havalandırıcının arkasında oluşur.

Atıksuyun anoksik bölümden geçiş hızı kontrolü ile karbon kaynağının bir kısmının denitrifikasyon için kullanılması sağlanmaktadır. Atıksu çıkışı reaktörün havalandırılmalı bölümünden yapılmaktadır. Sistemde yalnız bir tane anoksik bölüm olduğundan, azot giderimi Bardenpho prosesine kıyasla daha düşüktür.

Birleşik Nitrifikasyon-Denitrifikasyon Sistemleri için Proses Tasarımı: Askıda büyüyen sistemlerin tasarımı kullanılan proses tipine bağlıdır. Havalı ve anoksik bölümlerde kalma zamanlarının ve geri devir oranının belirlenmesi için kolaylaştırılmış tasarım metodu aşağıda verilmektedir.

Anoksik bölüme geri döndürülen NO_3^- 'ün tamamının denitrifiye olduğu ve azot asimilasyonun ihmal edildiği varsayımına göre, geri dönüş oranının hesabı aşağıdaki gibidir:

$$R = \frac{(NH_4^+ - N)_0 - (NH_4^+ - N)_e}{(NO_3^- - N)_e} - 1 \quad (6.7)$$

Burada,

R = Toplam geri dönüş (atıksu + geri dönen çamur) oranı

$(NH_4^+ - N)_0$, $(NH_4^+ - N)_e$ = sırasıyla giriş ve çıkış amonyum konsantrasyonu, mg/l

$(NO_3^- - N)_e$ = çıkış nitrat azotu konsantrasyonudur, mg/l.

Nitrifikasyon bakterileri yalnız havalı ortamda üreyebildiklerinden, nitrifikasyon için gereken çamur yaşı:

$$\theta'_c = \frac{\theta_c}{V_{\text{havalı}}} \quad (6.8)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada,

θ'_c = birleşik sistemde nitrifikasyon için gereken çamur yaşı, gün

θ_c = konvansiyonel sistemde nitrifikasyon için gereken çamur yaşı, gün

$V_{\text{havalı}}$ = havalı bölümün hacim yüzdesidir.

Reaktördeki biyokütle konsantrasyonu:

$$X = \frac{\theta_c}{\theta} \frac{Y(S_0 - S)}{(1 + k_d \theta_c)} \quad (6.9)$$

Sistemde havalı bölümdeki toplam bekleme süresi:

$$\theta_a = \frac{\theta'_c Y_h (S_0 - S)}{X_a (1 + k_d f_{vss} \theta'_c)} \quad (6.10)$$

Burada,

θ_a = havalı bölümde hidrolik bekletme süresi, gün

Y_h = heterotrofik dönüşüm oranı, mgUKM/mgBOI₅ (0,55 olarak alınır)

$S_o - S$ = sistemde giderilen BOİ, bazı durumlarda BOİ giderimi olmadığından eşitlik S_o 'a eşittir, mg/l

k_d = içsel solunum hız katsayısı, gün⁻¹

X_a = ototrofik mikroorganizma konsantrasyonu, mg UKM /l

f_{vss} = havalı bölümdeki UKM'nin biyolojik ayrışabilirlik yüzdesini göstermektedir.

UKM'nin biyolojik ayrışabilirlik yüzdesi, çamur yaşına ve içsel solunum hızına bağlıdır ve f_{vss} aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$f_{vss} = \frac{f'_{vss}}{(1 + (1 - f'_{vss})k_d \theta_c^i)} \quad (6.11)$$

Burada,

f_{vss}^i = üremede UKM'nin biyolojik ayrışabilirlik yüzdesini göstermektedir (maksimum biyolojik ayrışabilirlik yüzdesi genel olarak 0,75-0,8 arasında değişmektedir).

Anoksik bölmedeki bekletme süresi:

$$\theta_{DN} = (1 - V_{havalı}) \theta_a \quad (6.12)$$

Denitrifikasyon için anoksik bekletme süresi θ_{DN} :

$$\theta_{DN}^i = \frac{N_{Denit.}}{U_{DN} X_a} \quad (6.13)$$

Burada,

$N_{Denit.}$ =denitrifiye edilen nitrat miktarı, mg/l

U_{DN} = Denitrifikasyon hızını göstermektedir, gün⁻¹.

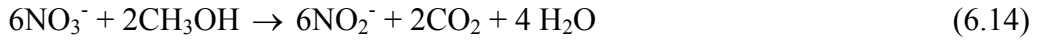
$\theta_{DN} = \theta_{DN}^i$ ise hesaplama tamamlanmış olur. Ancak $\theta_{DN} \neq \theta_{DN}^i$ ise farklı bir $V_{havalı}$ değeri verilerek hesaplama $\theta_{DN} = \theta_{DN}^i$ oluncaya kadar tekrarlanır.

6.7.2 Ayrık Denitrifikasyon Sistemleri

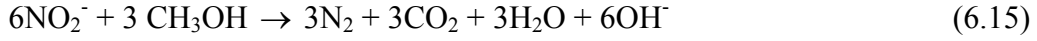
Önceleri, genel olarak kabul edilen yaklaşım nitrata gidermek amacıyla denitrifikasyon sisteminde karbon kaynağı olarak metanol kullanılmasıydı. Ancak ilave edilecek metanol formundaki karbonun fazlası çıkış suyunda BOİ kirliliği olarak görülecektir. Bu nedenle tasarım ve işletme şartlarına dikkatlice uymak gerekmektedir.

Denitrifikasyon Stokiometrisi: Karbon kaynağı olarak metanol kullanılması durumunda ayrışarak denitrifikasyon stokiometrisi aşağıdaki gibidir;

Enerji reaksiyonu 1. adım:



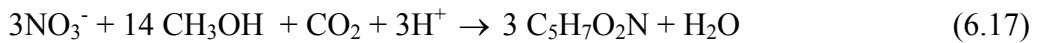
Enerji reaksiyonu 2. adım:



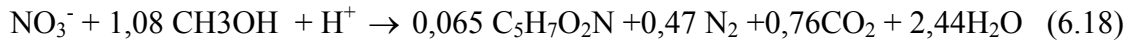
Toplam enerji reaksiyonu:



Tipik sentez reaksiyonu :



Pratikte enerji için gerekli olan metanolün %25-30'u, sentez için gerekir. Laboratuvar çalışmaları esas alındığında toplam nitrat gideriminin deneysel eşitliği aşağıda verilmektedir.



Bütün azot, nitrat formunda ise, toplam metanol ihtiyacı yukarıdaki eşitlikten haseplanabilir. Ancak biyolojik olarak arıtılan atıksu bir miktar nitrit ve çözünmüş oksijen de içermektedir. Ortamda nitrat, nitrit ve çözünmüş oksijenin bulunması durumunda metanol ihtiyacı aşağıdaki deneysel eşitlikle hesaplanır:

$$C_m = 2,47 N_o + 1,53 N_1 + 0,87D_o \quad (6.19)$$

Burada,

C_m = gerekli metanol konsantrasyonu, mg/l

N_o = başlangıç nitrat konsantrasyonu, mg/l

N_1 = başlangıç nitrit konsantrasyonu, mg/l

D_o = başlangıç çözünmüş oksijen konsantrasyonu, mg/l

Denitrifikasyon prosesi için kinetik parametreler Tablo 6.14'de verilmektedir.

Tablo 6.14 Denitrifikasyon prosesi için tipik kinetik katsayılar (1).

Katsayılar	Birim	Değerler	
		Aralık	Ortalama
μ_m	d^{-1}	0,3-0,9	0,3
K_s	mg/l $\text{NO}_3^- \text{N}$	0,06-0,2	0,1
Y	mg VSS/mg $\text{NO}_3^- \text{N}$	0,4-0,9	0,8
k_d	d^{-1}	0,04-0,08	0,04

Askıda Büyüyen Denitrifikasyon Sistemleri: Askıda büyüyen denitrifikasyon sistemleri organik madde gideriminde kullanılan aktif çamur sistemlerine birçok konuda benzerlik göstermektedir. Tam karışımlı ve kesikli reaktörlerin her ikisi de kullanılabilir. Denitrifikasyon prosesinde ortama bırakılan azot gazı, genellikle biyokütleyle yapışık halde

olduğundan, reaktör ve çöktürme tankı arasında biyokütleyi ayırmak için azot gazı giderme adımı yer alır. Bu nedenle, floklama yapılmış azot gazını ortamdan uzaklaştırmak için, biyolojik reaktör ile çöktürme tankı arasındaki kanalda veya kısa kalma zamanlı (5-10 dakika) ayrı bir tankta havalandırma yapılır.

Evsel atıksudan ayrık sistemde azot giderimi Şekil 6.4’de verilmektedir. Tipik tasarım parametreleri de Tablo 6.15’de verilmektedir.

Tablo 6.15 Evsel atıksudan azotun gideriminde iki kademeli biyolojik arıtma sisteminin tasarım parametreleri (1).

Arıtma prosesi	Reaktör tipi	Tasarım parametreleri				
		$\theta_c, \text{gün}^a$	θ, saat^a	UKM mg/l	pH	Sıcaklık Katsayısı ^b
Tek-basamak Nitrifikasyon	Kesikli	8-20	6-15	2000-3500	7-8 ^c	1,08-1,1
Denitrifikasyon ^d	Kesikli	1-5	0,2-2	1000-2000	6,5-7	1,14-1,16

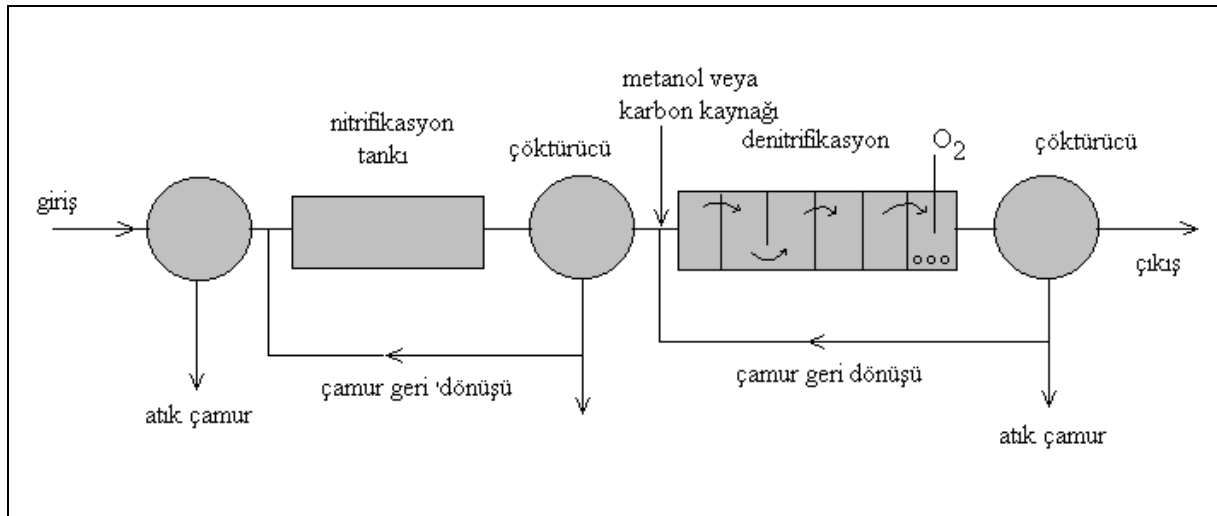
^a 20°C deki değerler

^b $K_T = K_{20} \theta^{T-20}$

^c düşük değerler bulunmuştur

^d metanol gereksinimi yukarıdaki eşitliğe göre bulunur

^e katı taşıyıcısının derecesine göre yüksek değerler gözlenebilir.



Şekil 6.4 Azot gideriminde iki basamaklı biyolojik arıtım prosesi akım diyagramı.

Bu proseste, nitrifikasyondan sonra çöktürme tankına alum ilave edilerek aynı zamanda fosfor giderimi de yapılabilir. Denitrifikasyon adımıdan sonra çıkış suyu askıda katı ve fosfor giderimi için filtrelenir veya alum ile çöktürme yapılır.

Nitrifikasyon reaktöründeki bakteriler, azot ve BOI’yi arıtan bakterilerden oluşmaktadır. Bu iki grup organizmanın dağılımı iki reaktörde değişiklik gösterir. Nitrifikasyon tankındaki toplam askıda katı miktarı, uçucu askıda katı miktarından %50-100 daha fazladır. Fosfor giderimi de yapılıyor ise çamur kimyasal çöktürücüleri de içerir.

Denitrifikasyonu etkileyen başlıca işletme ve çevre değişkenleri Tablo 6.16’da verilmektedir.

- Tabloda verilen kinetik değerlerden, denitrifikasyon için minimum çamur yaşı θ_c^M belirlenir. Kinetik sabitler Tablo 6.16'dan yararlanarak işletme sıcaklığı için düzeltilir.
- $SF = \theta_c / \theta_c^M$, emniyet faktörü eşitliğinden yararlanarak tasarımda kullanılan θ_c değeri hesaplanır.
- $1/\theta_c = (YU - k_d)$, eşitliği kullanılarak U, substrat kullanım hızı hesaplanır.
- $U = (kS / (K_s + S))$ eşitliği kullanılarak S, substrat konsantrasyonu hesaplanır.
- Hidrolik kalma zamanı belirlenir $U = (S_o - S) / \theta X$
- çamur atma hızı hesaplanır.

Sıcaklık sistem arıtım verimini önemli ölçüde etkileyeceğinden dikkate alınmalıdır. Örneğin, sıcaklık katsayısı 1,12 kullanıldığında, 10°C'deki reaktör hacmi, 20°C'de gereken reaktör hacminin 3 katı olacaktır. Tasarım yapılırken, reaktör hacmi seçiminde esnek davranmak gerekir. Ek reaktör hacmi, kesikli reaktör ilavesi ile sağlanabilir. Bu reaktörlerde hacim reaktör uzunluğu ayarlanarak azaltılabilir, arttırılabilir veya alternatif olarak soğuk hava şartlarına adaptasyon için sistemde çamur miktarı arttırılır veya reaktörde ısı yalıtımı yapılır.

Tablo 6.16 Denitrifikasyon Prosesi Üzerine İşletme ve Çevre Faktörlerinin Etkileri (1).

Faktör	Etkinin açıklaması
Nitrat konsantrasyonu	Maksimum mikroorganizma büyümesini etkiler. Aşağıdaki model ile gösterilir.
Karbon konsantrasyonu	$\mu'_D = \mu_{mD} \frac{M}{K_{SN} + C_N}$ Karbon konsantrasyonunun etkisi de Monod eşitliği kullanılarak modellenir. Karbon kaynağı olarak metanol alındığında aşağıdaki eşitlik kullanılır. $\mu'_D = \mu_{mD} \frac{M}{K_M + M}$ M= metanol konsantrasyonu, mg/l K_M = metanol için yarı doygunluk sabiti, mg/l
Sıcaklık	Sıcaklığın etkisi önemlidir, aşağıdaki eşitlik ile belirlenir. $P = 0,25 T^2$ P = 20°C 'deki denitrifikasyon hızı yüzdesi T = sıcaklık, °C
PH	Optimum pH aralığı 6,5-7,5, optimum pH şartı ise 7'dir.

Biyofilimli Sistem: Tablo 6.17 ve 18'de de görüldüğü gibi birçok biyofilimli denitrifikasyon sistemi geliştirilmiştir. Akışkan yatak ve döner biyodisk reaktörleri bu amaçla çok kullanılan

sistemlerdir. Akışkan yatakta atıksu, kum, antrasit gibi ince taneli dolgu maddelerini askıda veya akışkan halde tutabilecek hızda geçirilir. Reaktörü akışkanlaştırma, özgül yüzey alanını artırır ve reaktörde yüksek biyokütle konsantrasyonu oluşumunu sağlar. Bu tip reaktörler için küçük alanlar yeterli olup diğerlerine kıyasla işletmesi de daha kolaydır.

Döner biyolojik disklerin denitrifikasyon işletmesi havalı proseslerde olduğu gibidir. Ancak anoksik ortam sağlanabilmesi için diskin tamamı suya gömülü olarak çalışır. Fazla çamuru gidermek için çöktürücü gerekmektedir.

Tablo 6.17 Biyofilmlili denitrifikasyon sistemlerinin tanımı(1).

Sınıflandırma	Tanımlama	Tipik giderme hızı kg/m³.gün
Dolgulu kolon reaktörü Gaz-dolumlu	Reaktör anoksik şartları sağlamak için azot gazı ile doldurulur.	1,6- 1,79
Sıvı-dolumlu	Yüksek ve düşük gözenekli dolgu kolonların her ikisinde de, biyokütleyi kontrol etmek için dolgunun geri yıkaması gerekir.	0,096- 0,128
Akışkan yatak Yüksek gözenekli ortam, ince kum	Gözeneklilik, ortam yoğunluğunun ve akış hızının ayarlanması ile değiştirilir.	12- 16
Yüksek gözenekli, aktif karbon		4,8 – 6
Döner biyolojik disk	Sistem havalı prosesteki gibidir, ancak disk batık durumdadır.	0,00245-0,0073 ^a

^a kg/m².gün

Tablo 6.18’de döner biyolojik diskte BOI giderimi ve nitrifikasyon verimliliği ile ilgili çeşitli ülkelerde yapılan çalışmaların sonuçları verilmektedir.

Tablo 6.18 Döner Biyodisk tesislerinin verimleri (2).

Ülke	Tesis	Uygulanan BOI g/m ² .gün	Açıklama
İngiltere	Tam ölçekli	6	-Aritılmış atıksu BOI'si 20mg/l(yılın %95'inde gerçekleşmekte) -Nitrifikasyon gerçekleşiyor, -Başarılı nitrifikasyon (17-23°C)
Federal Almanya	Pilot	8	-%90'ın üzerinde BOI giderimi, -Azaltılmış randımanla büyük tesislerdeki yükler uygulanabilir,
Hindistan	Tam ölçekli 10saat/gün	6-10 12-18	-%85-89 BOI giderimi (>23°C)
Amerika	Tam ölçekli	25	%85-94 BOI giderimi
		20	

6.7.3 Denitrifikasyon Proseslerinin Kıyaslanması

Çeşitli denitrifikasyon proseslerinin genel kıyaslaması Tablo 6.19'da verilmektedir. Birçok proses hala deneme aşamasındadır. Hemen hemen tüm durumlar için, pilot çalışmalar önerilir. Böyle bir ön çalışma olanağı yoksa tasarım kriterlerinin seçiminde emniyetli olunması önerilmektedir.

Tablo 6.19 Denitrifikasyon sistemlerinin kıyaslaması (1).

Sistem tipleri	Üstünlükleri	Mahzurları
Askıda büyüyen Metanol ilavesi + nitrifikasyon	Denitrifikasyon hızlıdır, küçük alt yapı ilavesi gerekir, işletmede kararlılık, arıtmada az limitasyonlar, ilave metanol oksidasyon adımı kolaylıkla ilave edilebilir, sistemdeki her bir proses ayrı olarak optimize edilir, yüksek derecede nitrifikasyon gerçekleşir.	Metanol gereksinimi vardır, işletme stabilitesi çöktürme tankı ile ilişkilidir, bileşik sistemden daha çok birim proseslere ihtiyaç duyulur.
Biyofilmlili sistem Metanol ilavesi + nitrifikasyon	Denitrifikasyon hızlıdır, küçük alt yapı ilavesi gerekir, işletmede kararlılık, kararlılık çöktürme tankı ile ilişkili değildir, yüksek azot arıtımı, her bir proses ayrı olarak optimize edilebilir.	Metanol gereksinimi vardır, metanol oksidasyonu için gerekli kademe kolaylıkla sisteme adapte edilemez, bileşik sistemden daha çok birim proseslere ihtiyaç duyulur.
Birleşik karbon oksidasyonu + nitrifikasyon + denitrifikasyon (askıda)	Metanol ilavesi gerekmemektedir, daha az sayıda birim proses gerekir.	Denitrifikasyon hızı çok yavaştır, büyük hacimler gerektirir, metanol ilaveli

büyüyen sistem ve içsel karbon kullanımı)		sistemden daha düşük azot verimliliğine sahiptir, sistem stabilitesi çöktürme tankı ile ilişkilidir, toksinlere karşı karşı koruma sağlanamamaktadır, nitrifikasyon ve denitrifikasyonu ayrı optimize etmek güçtür,
Birleşik karbon oksidasyonu + nitrifikasyon + denitrifikasyon (askıda büyüyen sistem ve atıksu karbonunun kullanılması durumunda)	Metanol ilavesi gerekmemektedir, daha az sayıda birim proses gerekir.	Denitrifikasyon hızı çok yavaştır, büyük hacimler gerektirir, metanol ilaveli sistemden daha düşük azot verimliliğine sahiptir, sistem stabilitesi çöktürme tankı ile ilişkilidir, çamur kabarması olma ihtimali çok yüksektir, , toksinlere karşı koruma sağlanamamaktadır, nitrifikasyon ve denitrifikasyonu ayrı optimize etmek güçtür.

Tablo 6.20. Nitrifikasyon ve Denitrifikasyonda oksijen ve alkalinite kullanımı (10).

Proses	Oksijen kullanımı			Alkalinite kullanımı	
	molO ₂ /molN	gO ₂ /gN	gO ₂ /gN*	Eşdeğer.alk./molN	Eşdeğer.alk./molN*
Nitrifikasyon	2	4,57	4,3	2	1,9
Denitrifikasyon	-1,25	-2,86	-2,4	-1	-0,8
Nitrifikasyon+ Denitrifikasyon	0,75	1,71	1,9	1	1,1

* Pratik değerler, çamur üretimindeki azotu da içermektedir.

6.8 Biyolojik Fosfor Giderimi

Son yıllarda kimyasal arıtıma alternatif olarak birçok biyolojik fosfor giderim prosesleri geliştirilmiştir. Fosforun biyolojik olarak giderilmesi, ortofosfat, polifosfat ve organik bağlı fosforun mikroorganizma hücre dokusuyla bağlanması esasına dayanır. Toplam giderilen miktar ortamdaki net çamur miktarı ile bağlantılıdır. Mikroorganizma hücre yapısındaki fosfor içeriği, azot içeriğinin beşte biridir. Ancak çevre şartlarına bağlı olarak bu oran üçte bir ile yedide bir arasında değişebilmektedir. Ortalama olarak, biyolojik arıtım esnasında atılan çamur ile birlikte fosforun giderimi de %10 ile %30 arasında değişmektedir. Sistemin geliştirilmesi durumunda ise verimlilik bu değerlerinde üzerine çıkabilmektedir.

Biyolojik fosfor gideriminde mikroorganizmalar sırasıyla havasız ve havalı şartlar altında kalırlar. Değişen şartlar mikroorganizma üzerinde baskı yaratır ve ortamdan normalin

üzerinde aşırı fosfor alırlar. Fosfor yalnızca hücre bakımı, sentezi ve enerji aktarımı amacıyla kullanılmaz, depolanarak sonraki safhada mikroorganizmaların kullanımı için de saklanır.

Fosfor gideren tipik biyolojik arıtma sistemleri;

- A/O prosesi,
- Phostrip prosesi,
- Ardışık kesikli reaktörler (AKR)

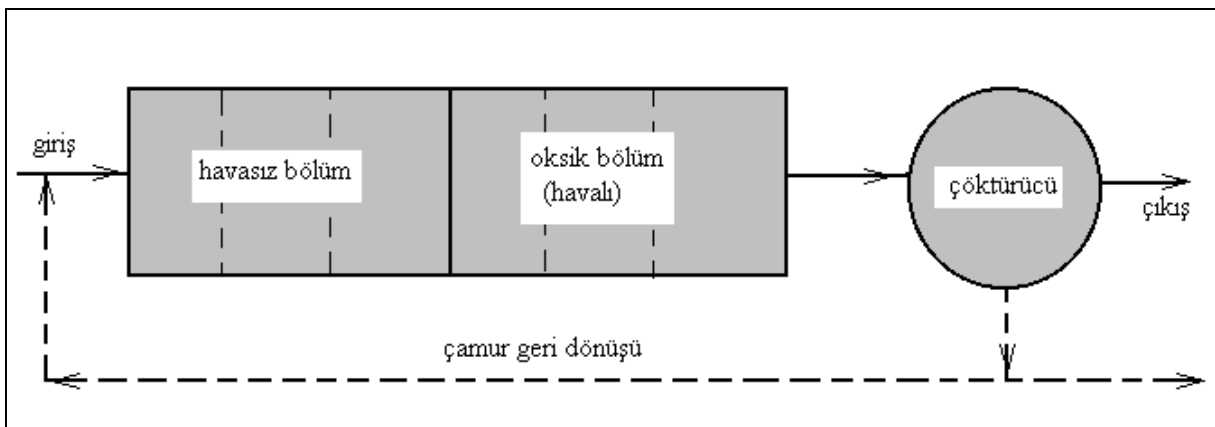
AKR'ler düşük debili atıksular için uygun olup, aynı zamanda esnek işletme şartları da sağlarlar. Bu reaktörlerde fosfor yanında azot giderimi de olur.

6.8.1 A/O prosesi

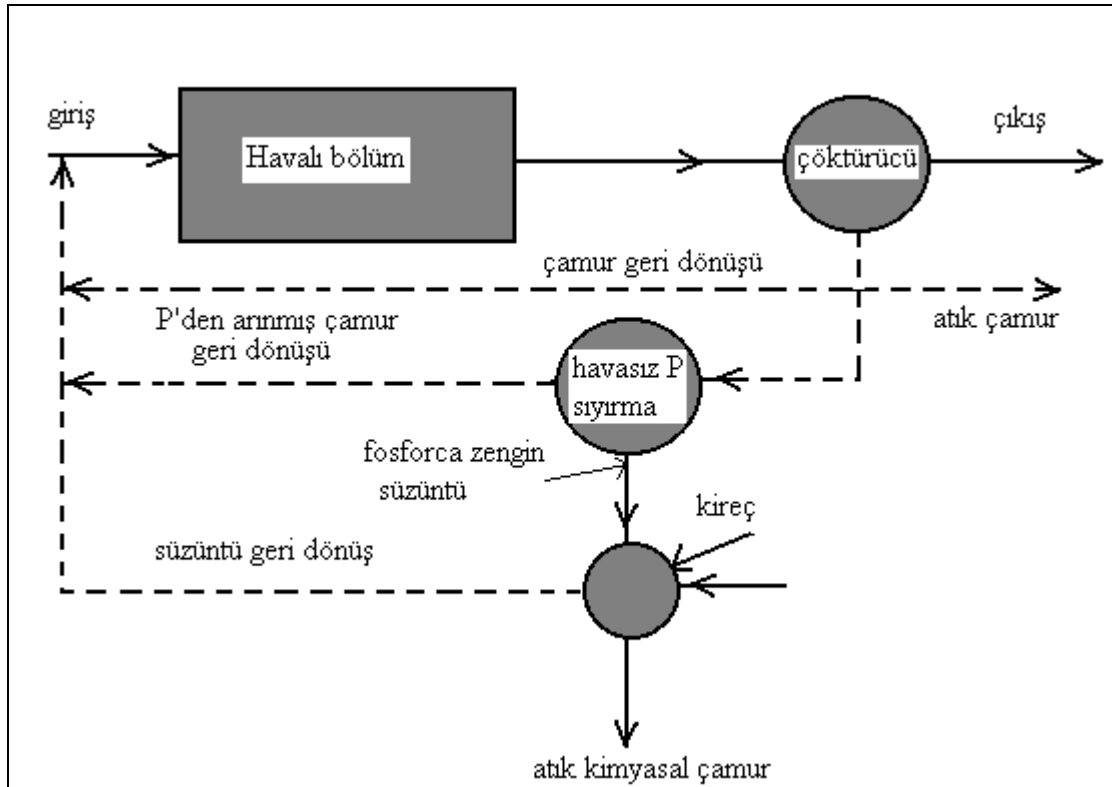
A/O prosesi, atıksulardan karbon ve fosfor gideriminde kullanılır. Askıda büyüyen tek sistem olup havalı ve havasız bölümler bir tankta oluşturulmuştur. Havalı bölümde gerekli kalma zamanı oluşturulduğunda nitrifikasyon için uygun şartlar sağlanmış olur. Sistemde çöken çamur geri döndürülerek giriş atıksuyu ile karıştırılır. Havasız şartlardaki bölümde, geri dönen çamurda tutunmuş fosfor ortama geri verilir. Bu safhada BOI arıtımı olur. Ortama verilen fosfor, havalı şartlarda tekrar mikroorganizma tarafından tutulur. Böylece atıksudaki fosfor konsantrasyonu azalmış olur. Fosfor arıtma verimi, atıksuyuda BOI'nin P oranına bağlıdır. Bu oran 10/1'i aştığında çıkış suyundaki fosfor konsantrasyonu 1mg/l veya daha altına düşer. BOI/P oranının 10/1'den daha küçük olması durumunda metal tuzları ile fosfor ilave giderimi yapılır.

6.8.2 PhoStrip Prosesi

PhoStrip prosesinde arıtma sisteminin geri devir çamurunun bir kısmı havasız fosfor sıyırma tankına alınır (Şekil 6.5b). Sıyırma tankında kalma zamanı 8-10 saat arasında değişir. Sıyırma tankında fosfor tutunmuş halde bulunduğu çamur fazından sıvı faza geçer, böylece çamurun fosfor konsantrasyonu düşmüş, atıksuyunki ise yükselmiştir. Bu çamur tekrar sisteme geri döndürülür. Fosfor bakımından zengin atıksu ise ayrı bir tanka alınarak, fosfor, kireç veya koagülantlarla çöktürülür. Bu sistemde fosfor kimyasal olarak ortamdan uzaklaştırılmış olur. Bu sistemler çıkış suyunda ki fosforu 1,5 mg/l'ye kadar düşürebilir.



(a)



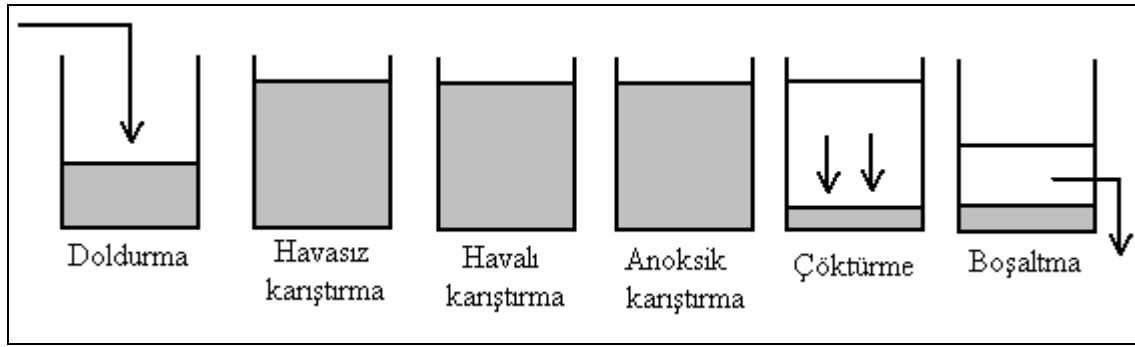
(b)

Şekil 6.5 Alternatif biyolojik giderim sistemleri: a) A/O prosesi, b) Phostrip prosesi

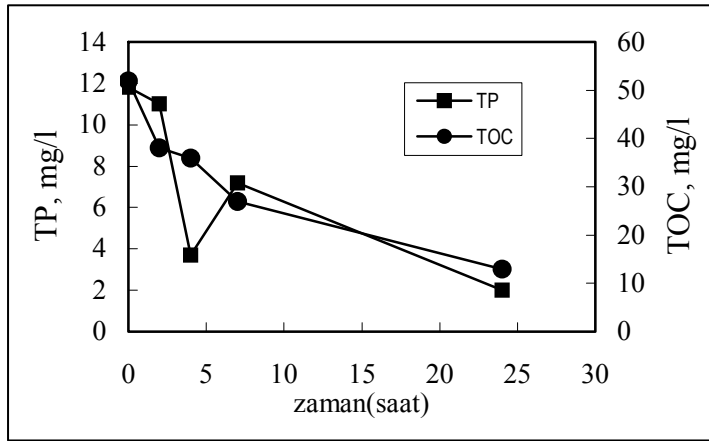
6.8.3 Ardışık Kesikli Reaktör

Bu reaktörler, hem karbon oksidasyonu, hem de azot ve fosfor giderimi için kullanılırlar (Şekil 6.6). Gerekli arıtma reaktörün işletme şartlarını değiştirerek gerektiğinde kimyasal ilavesi ile sağlanabilir. Fosfor, koagülant ilavesi ile veya biyolojik olarak giderilebilir. Bu sistemde reaksiyon zamanı 3 ile 24 saat arasında değişebilir. Havali ve havasız reaksiyon süreleri değiştirilerek nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonları da aynı sistemde gerçekleştirilebilir.

Ortamın havali ve havasız (veya anoksik) olması durumlarında sıvı fazdaki fosfat konsantrasyonunda sırasıyla artma ve azalma görülür. Anoksik şartlarda organizmalar ortama fosfat verdiği için sıvı fazda fosfat konsantrasyonu yükselir. Havali şartlarda ise fosfat organizmalar tarafından tutulduğundan sıvı fazdaki fosfat konsantrasyonu azalır. Anlatılan bu mekanizma Şekil 6.7'deki deneysel çalışma sonuçlarında da görülmektedir (4). Şekil 6.6'da yaklaşık 24 saat süreli ardışık kesikli sistemdeki çalışma şartları: 2 saat havasız, 2 saat havali, 3 saat havasız, 16,5 saat havali şartlarda çalıştırılmıştır. 0-2 saat arasında TP'da az değişim görülmüş, 2-4 saat aralığında havali şartta TP konsantrasyonunda büyük bir azalma görülmüş, 4-7 saat aralığında havasız ortamda tekrar TP konsantrasyonu artmış, 7-24 saat aralığında havali şartta TP konsantrasyonu yaklaşık 2 mg/l'ye kadar azalmıştır (Şekil 6.7).



Şekil 6.6. Karbon, azot ve fosfor gideriminde ardışık kesikli reaktör.



Şekil 6.7. Ardışık kesikli reaktörde toplam fosfor ve TOK konsantrasyonunun zamanla değişimi (4).

Tablo 6.21 Biyolojik Fosfor giderim proseslerinin tipik tasarım bilgileri (1).

Tasarım parametreleri	Birim	Proses		
		A/O	PhoStrip	Ardışık kesikli reaktör
F/M oranı	mgBOI/mgUAKM.gün	0,2-0,7	0,1-0,5	0,15-0,5
θ_c çamur kalma yaşı	gün	2-25	10-30	-
X	mgUAKM/l	2000-4000	600-5000	2000-3000
Hidrolik kalma zamanı, θ	saat			
Havasız bölüm		0,5-1,5	8-12	1,8-3
Havali bölüm		1-3	4-10	1-4
Çamur geri devir yüzdesi	Besleme debi %si	25-40	20-50	-
İç çevrim yüzdesi	Besleme debi %si		10-20 ^a	

^a Havasız fosfor sıyırıcı alt akımı

6.8.4 Biyolojik Fosfor Giderim Proseslerinin Kıyaslanması.

Çeşitli biyolojik fosfor giderim prosesleri Tablo 6.22’de kıyaslanmıştır. Arıtma prosesine besi maddesi giderimi de ilave edildiğinde, biyolojik prosesler birçok üstünlüğe sahip olurlar. Besi maddelerinin giderim gerekliliği arttıkça, proseslerin çeşitliliği de artacaktır. Bu proseslerin iyi bir verimde çalışması, yerel şartlara bağlıdır. Pilot tesis çalışmaları, işletme verilerini ve tasarım kriterlerini geliştirmek için önerilmektedir.

6.9 Azot ve Fosforun Biyolojik Olarak Giderimi

Azot ve fosforun birlikte arıtımı için birçok biyolojik proses geliştirilmiştir. Bunların çoğu özel sistemler olup, azot ve fosfor giderimi için havalı, havasız ve anoksik bölümlerin bileşiminden oluşmuş aktif çamur prosesi formundadır. Bu proseslerin bazıları temelde fosfor giderimi için geliştirilmiş olup, daha sonra azot ve fosforun birlikte arıtılabileceği sistemlere dönüştürülmüştür. Çok yaygın olarak kullanılan sistemler:

- A^2/O prosesi,
- Beş basamaklı Bardenpho prosesi,
- UCT prosesi,
- VIP prosesidir. Bu 4 proses Şekil 6.8’de şematik olarak gösterilmiş olup tipik tasarım kriterleri de Tablo 6.23’de verilmiştir. Ardışık kesikli reaktör, aynı şekilde birleşik azot ve fosfor gideriminde de kullanılabilir.

Tablo 6.22 Biyolojik fosfor giderim proseslerinin avantaj ve dezavantajları (1).

Proses	Üstünlükleri	Kısıtları
A/O	İşletme kolaylığı, Çamur P içeriği %5-7 olduğundan iyi gübre özelliğine sahip, Kısa hidrolik kalma zamanı, P giderim verimi düşürüldüğünde, tam nitrifikasyon meydana gelir.	Aynı zamanda yüksek azot ve fosfor giderim verimliliğine ulaşamaz, Soğuk iklim işletme şartları altında verim düşmektedir. Yüksek BOI/P oranı gerekli, Havalı çamur yaşı azaltıldığında, yüksek oksijen transferi sağlayan havalandırıcılar gerekebilir. Proses kontrol esnekliği azdır.
PhoStrip	Mevcut aktif çamur sisteminde kolaylıkla dönüştürülebilir. Proses esnektir, P giderimi BOI/P oranı ile kontrol edilmez, kimyasal çöktürmeden daha az kimyasal kullanımı vardır, 1,5mg/l’den daha çıkış ortofosfat konsantrasyonuna ulaşılır.	P giderimi için kireç ilavesi gerekir, Son çöktürücüde P sıyırılmasını önlemek için yüksek çözünmüş oksijen konsantrasyonu gerekir, Sıyırma için ek bir tank gerekir, Kabuk oluşumu bakım problemi yaratabilir,
Ardışık Kesikli Reaktör	Birleşik azot ve fosfor giderimi için sistem oldukça esnektir. Prosesi çalıştırmak oldukça kolaydır, Çamur hidrolik değişiklikte deşarj edilmez.	Yalnızca küçük debili atıksular için uygundur. Gereğinden fazla üniteler gerekir, Çıkış suyu kalitesi güvenli boşaltmaya bağlıdır, Çok az tasarım verisi yeterli olabilir.

6.9.1 A²/O Prosesi

A²/O prosesi, A/O prosesinin bir modifikasyonu olup, denitrifikasyon için anoksik bölüm de içermektedir. Anoksik bölümde kalma zamanı yaklaşık olarak bir saattir. Anoksik bölümde çözünmüş oksijen düşüktür, ancak nitrit ve nitrat formundaki kimyasal bağlı oksijen havalı bölümden geri devirle sisteme verilmektedir. Çıkışta filtrasyon olmaksızın, 2 mg/l'den daha az fosfor konsantrasyonu olabilmektedir. Çıkış suyunun filtrasyonu ile fosfor konsantrasyonu 1.5mg/l'den daha düşük olabilir.

6.9.2 Bardenpho Prosesi (Beş basamaklı)

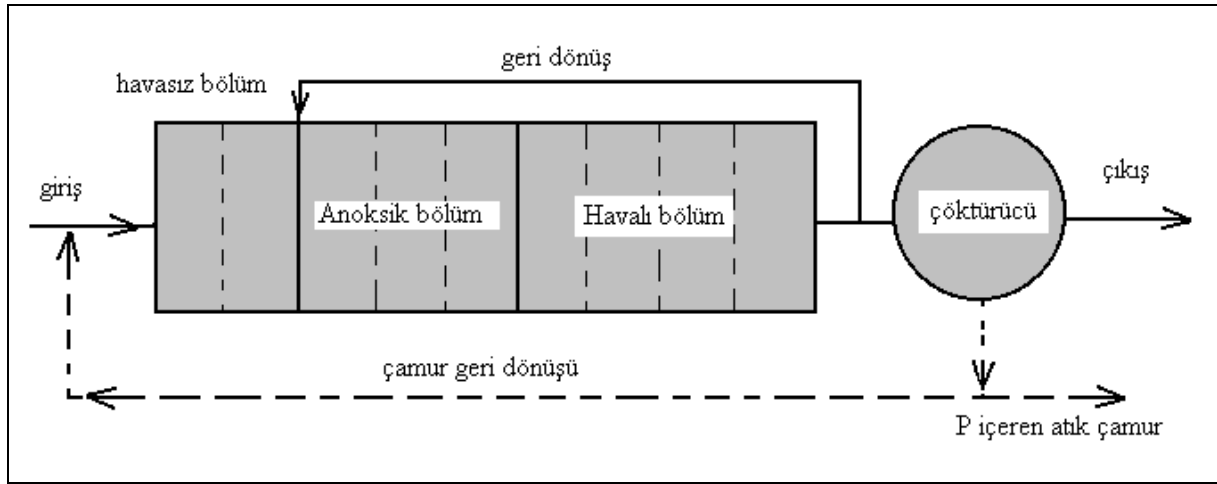
Azot gideriminde kullanılan Bardenpho prosesinin, azot ve fosfor giderimi için değiştirilmiş şeklidir. Fosfor giderimi amacıyla ortama beşinci basamak (havasız) konulmuştur. Beş basamaklı sistemde havalı, havasız ve anoksik bölümler fosfor, azot ve karbon gideriminde rol oynarlar. İkinci anoksik bölüm, havalı bölümde oluşan nitrati elektron alıcı, içsel organik karbonu ise elektron verici olarak kullanıp ilave denitrifikasyonu sağlar. Son havalı bölüm ise kalıntı azot gazını çözeltiden sıyırmak ve son çöktürücüde fosfor açığa çıkmasını en aza indirmek için kullanılır. Sıvı karışım birinci havalı bölümden anoksik bölüme geri beslenir. Uzun çamur kalma yaşında çalıştırıldığından dolayı (10-40 gün) karbon oksidasyon kapasitesi de yüksektir.

6.9.3 UCT Prosesi

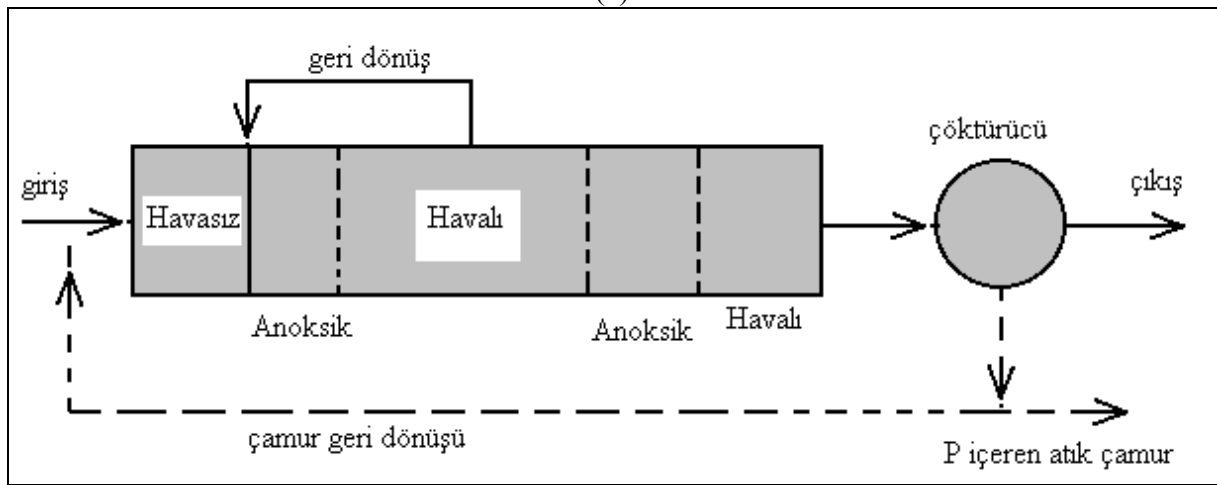
Cape Town üniversitesi tarafından geliştirilen UCT prosesi, iki durum hariç A²/O prosesine benzemektedir. Aktif çamur dönüşü havalı bölüm yerine, anoksik bölüme geri döndürülür ve iç döngü ise anoksik bölümden havasız bölümedir. Aktif çamurun anoksik bölüme geri döndürülmesi ile nitrat havasız bölüme girmez, böylece havasız bölümde fosforun daha iyi açığa çıkması sağlanır. İç döngü ise havasız bölümde organik kullanımı artışını sağlar. Anoksik bölümdeki karışım, önemli miktarda çözünmüş BOI ve az miktarda nitrat içerir. Anoksik karışımın geri dönüşü, havasız bölümde fermentasyon hızı için optimum şartları sağlar.

6.9.4 VIP Prosesi

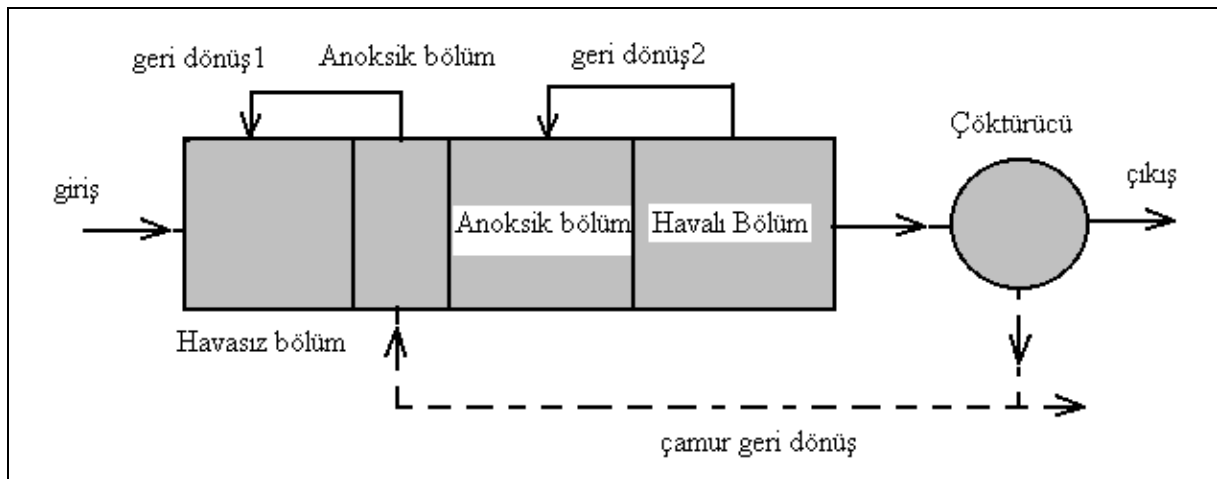
VIP prosesi, geri döngüler hariç A²/O ve UCT proseslerine benzer. Aktif çamur geri dönüşü, havalı bölüm geri dönüşü ile birlikte anoksik bölüme verilir. Anoksik bölümün karışımı havasız bölüme geri beslenir. Deneysel verilere dayanarak, atıksudaki organik maddenin bir kısmı havasız mekanizma tarafından stabilize olur, bu da prosesin oksijen ihtiyacını azaltır.



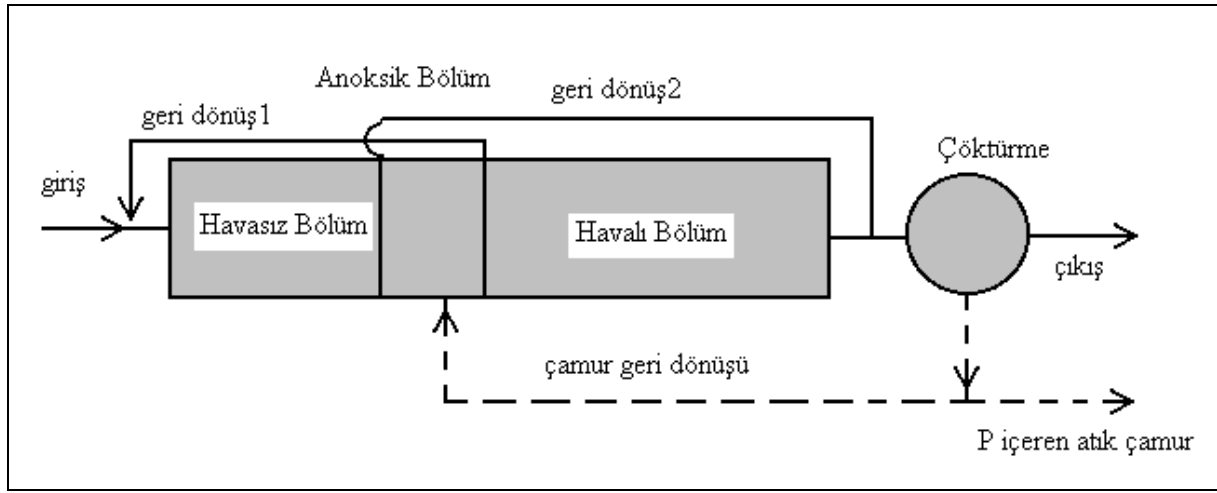
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6.8 Birleşik azot ve fosfor giderim prosesleri; a) A²/O prosesi, b) beş-basamaklı Bardenpho prosesi, c) UCT prosesi, d) VIP prosesi.

Tablo 6.23 Birleşik azot ve fosfor gideriminde biyolojik proseslerin tipik tasarım bilgileri (1).

Tasarım parametreleri	Prosesler			
	A ² /O	Bardenpho 5-basamak	UCT	VIP
F/M (mgBOI/mgUAKM.gün)	0,15-0,25	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2
θ_c , gün	4-27	10-40	10-30	5-10
X, mgAKM/l	3000-5000	2000-4000	2000-4000	1500-3000
Hidrolik kalma zamanı, θ (saat)				
Havasız bölüm	0,5-1,5	1-2	1-2	1-2
Anoksik bölüm-1	0,5-1	2-4	2-4	1-2
Havali bölüm-1	3,5-6	4-12	4-12	2,5-4
Anoksik bölüm-2	-	2-4	2-4	-
Havali bölüm-2	-	0,5-1	-	-
Aktif çamur geri dönüşü	20-50	50-100	50-100	50-100
Besleme debisi %'si				
İç döngü	100-300	400	100-600	200-400
Besleme debisi %'si				

Tablo 6.24. Aktif çamur ve Bardenpho proseslerinin çıkış suyu özelliklerinin karşılaştırılması (3).

Parametre	Aktif çamur	Bardenpho
BOI ₅	20	<5
KOI	80-120	15-40
Toplam azot	50-70	1-2
Nitrat	<1	2-3
Amonyum	15-30	<0,5
AKM	30	<10
Fosfor	15-25	0,5-1

Biyofilmlı Sistemler: Organik madde arıtımında kullanılan biyofilmlı sistemler azot ve fosfor giderimi için de kullanılmaktadır. Damlatmalı filtre ve diğer filtre çeşitleri ile akışkan yatak sistemleri bu amaçla kullanılmaktadır. Bu sistemler yüksek arıtma verimlerinde çalıştıklarından çıkışta oldukça düşük N ve P konsantrasyonlarına ulaşılabilir. (Tablo 6.25).

Tablo 6.25 Azot ve Fosfor gideriminde biyofilmlı sistemlerin çıkış suyu değerleri (5,6,7,8,9).

Sistemler	Çıkış konsantrasyonları
Batmış filtre	<2 mgP/l ve <5 mg TKN/l
Akışkan yatak	0,02 mgP/l
Batık yüzen dolgulu filtre	<1mgPO ₄ -P/l
Yukarı akışlı kum filtre	0,15mgP/l ve 0,5-2 mgN/l
Yukarı akışlı granüler dolgulu havalı filtre	<1mgPO ₄ -P ve <1mgNH ₄ -N/l

6.9.5 Proses Seçimi

Yukarıda bahsedildiği gibi besi maddelerinden yalnızca birini veya her ikisini gidermeye yönelik değişik biyolojik prosesler geliştirilmiştir. Havalandırmadan sonra denitrifikasyonun mahzuru ilave karbon kaynağına ihtiyaç duyulmasıdır. Bu prosesin verimi biyolojik olarak kolay parçalanabilen organik maddelerin miktarına bağlıdır ve genellikle işletme giderleri fazladır.

Nitrifikasyonun tam olarak gerçekleşebilmesi ve nitrifikasyon bakterilerinin gelişebilmesi için çamur yaşı kritik değerden büyük olmalı ve karbonlu organik maddelerin oksidasyonu için gerekli çamur yaşına göre 1,5-2 kat daha fazla tutulmalıdır. BOI/TKN oranı da prosesin verimini etkilemektedir.

Biyolojik olarak giderilecek fosfor miktarını KOI/TP oranı belirler. Kolay parçalanabilen karbon kaynakları biyolojik fosfor giderme prosesinin veriminde önemli rol oynarlar. Fosfor depolayan organizmaların polifosfat depolayabilmeleri, düşük molekül ağırlıklı organiklerin, özellikle uçucu yağ asitlerinin bulunmasına bağlıdır. Biyolojik olarak giderilebilecek fosfor miktarı, havasız bölmede fosfor depolayan organizmaların çözünmüş fermentasyon ürünleri ile olan temasına bağlıdır. Fosfor depolayan bakteriler havasız ve havalı olarak değişen koşullara karşı hassastırlar.

BOI/P oranı ve biyolojik olarak parçalanabilen organik madde içeriği, proses seçiminde etkili faktördür. Biyolojik fosfor giderme proseslerinde BOI/P oranı <20 ise 1-2 mg/l çıkış fosfor konsantrasyonu elde etmek oldukça zordur. Phostrip prosesi, teorik olarak giriş fosfor konsantrasyonuna daha az hassastır. Zayıf atıksuların arıtılmasında tercih edilir. Biyolojik olarak parçalanabilen organik madde içeriği artarsa fosfor giderme verimi de artar. Azot giderimi gerekli değil ise A/O ya da PhoStrip prosesi ile fosfor giderilebilir. PhoStrip prosesi ile 1mg/l çıkış fosfor konsantrasyonu elde etmek mümkündür. A/O prosesi ile bu değere ulaşmak zordur.

Sadece amonyum giderimi ya da toplam azot konsantrasyonunu 6-12mg/l'ye getirmek yeterli ise, tek anoksik üniteli prosesler uygundur.

Atıksuların içerdikleri besi maddelerini sadece fiziksel/kimyasal veya klasik aktif çamur ya da tamamıyla biyolojik proseslerle gidermek yeterli olmayabilir. Bu sebeple çalışmada bahsedilen proseslerden alıcı ortamların hassasiyetine göre, ülke şartları ve ekonomi de gözönünde tutularak uygun olanının seçilmesi gerekir. Doğru bir sistem tasarımı, besi maddesi ve karbon giderimi esaslarının belirlenmesini ve bu süreçleri sağlayacak organizma gruplarının gelişmesini içine almalıdır (3).

6.10 Kimyasal Yöntemlerle Fosfor Giderimi

Kimyasal fosfor gideriminin temeli çözünmüş haldeki fosforun katı tanecik formuna dönüştürülerek ortamdan uzaklaştırılmasıdır. Fosforun bir kısmı klasik ikinci kademe arıtma sisteminde, birinci ve ikinci kademe arıtma prosesinin her ikisinde de giderilir. Birinci kademe çöktürmede giderim fosforun katı tanecik formunda olması ile sınırlanmış olup çöktürücünün verimine bağlıdır. İkincil arıtma prosesinde, fosfor mikroorganizma yapısına girdiğinden dolayı, son çöktürmede çöken mikroorganizmaların uzaklaştırılması ile giderimi sağlanmış olur. Böylece, konvansiyonel ikinci kademe arıtma ile giderilen fosfor miktarı mikroorganizma üremesinin bir fonksiyonudur.

Çıkış suyunda toplam fosfor konsantrasyonu, $C_{TP, çık.}$ Aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$C_{TP, çık.} = C_{CP, çık.} + X_{ çık.} \cdot m_{px}$$

Burada,

$C_{CP, çık.}$ = çözünmüş fosfor konsantrasyonu (genel olarak ortofosfat), mg/l

$X_{ çık.}$ = çıkış askıda katı konsantrasyonu, mg/l,

m_{px} = askıda katı kuru maddedeki fosfor konsantrasyonu, mg P/mg askıda katı

Konvansiyonel aktif çamur için, m_{px} değeri 20-25 mgP/ g uçucu askıda katıdır. Kimyasal fosfor giderimi için m_{px} değeri 40 ile 100 mgP/mg askıda katı (4-10%) arasında değişir.

Aşağıda verilen tipik katyonlar fosforun atıksudan çöktürülmesi için kullanılır:

- Alüminyum
- Demir ve
- Kalsiyum

Uygun koşullarda altında bu üç katyon ortofosfat ile çözünmez formda çökelti oluşturur. Bu nedenle çözünmüş ortofosfat kimyasal arıtımla giderilen birincil fosfordur. Diğer fosfat formları (polifosfatlar, kolloidler, ve fosfor içeren tanecikler) adsorpsiyon, koagülasyon, sedimentasyon, filtrasyon veya biyolojik yöntemler gibi ikinci kademe arıtma mekanizmaları ile ortamdan giderilirler.

Kimyasal fosfat gideriminde oluşan çökeltilerin yapısı çok iyi bilinmemektedir. Tablo 6.26'da fosfat giderimi sırasında oluşan kimyasal katılar verilmektedir.

Tasarım, işletme ve kimyasal fosforun analizinde üç önemli parametre aşağıdaki gibidir:

- Gerekli dozaj
- Ulaşılabilen minimum fosfat konsantrasyonu
- pH'nın etkisi

Tablo 6.26 Kimyasal giderim sırasında oluşan muhtemel çökeltiler (11).

Katyonlar	Çökeltiler
AL(III)	Aluminyum fosfat [$AL_r(H_2PO_4)(OH)_{3r-1}$] Aluminyum hidroksit [$AL(OH)_3$]
Fe(II)	Demir (II) fosfat [$Fe_3(PO_4)_2$] Demir (II) hidroksit [$Fe(OH)_2$]
Fe(III)	Demir (III) fosfat [$Fe_r(H_2PO_4)(OH)_{3r-1}$] Demir (III) hidroksit [$Fe(OH)_3$]
Ca(II)	Trikalsiyum fosfat [$Ca_3(PO_4)_2$] Hidroapatit [$Ca_5(OH)(PO_4)_2$] Kalsiyum karbonat [$CaCO_3$]

Fosfor gideriminde en yaygın kullanılan metal tuzları olan demir klorür ve aluminyum sülfatın yanı sıra polimerler de bu metal tuzları ile birlikte çok kullanılırlar. Kireç, daha fazla miktarda çamur oluşturduğu için metal tuzları kadar yaygın kullanılmaz. Fosfor gideriminde kimyasal seçimini etkileyen faktörler Tablo 6.27’de verilmektedir.

Tablo 6.27 Fosfor giderimi için kimyasal seçimini etkileyen faktörler (1).

- Giriş suyunda fosfor seviyesi
- Atıksudaki akım
- Alkalinite
- Kimyasalların fiyatı (ulaştırma dahil)
- Kimyasalların güvenilirliği
- Çamur çöktürme işlemleri
- Son uzaklaştırma metotları
- Diğer arıtma proseslerine uygunluk

Çöktürücü olarak alum, demir veya kireç kullanıldığında çamur miktarının hesabı için gereken reaksiyonların özeti Tablo 6.28’de verilmektedir.

Tablo 6.28 Çamur üretimini hesaplamada kullanılacak kimyasal reaksiyonlar (1).

Reaksiyon	Çamurdaki kimyasal
Kireç	
1. $5\text{Ca}^{+2} + 3\text{PO}_4^{-3} + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$
2. $\text{Mg}^{+2} + 2\text{OH}^- \leftrightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2$	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
3. $\text{Ca}^{+2} + \text{CO}_3^{-2} \leftrightarrow \text{CaCO}_3$	CaCO_3
Alum	
1. $\text{Al}^{+3} + \text{PO}_4^{-3} \leftrightarrow \text{AlPO}_4$	AlPO_4
2. $\text{Al}^{+3} + 3\text{OH}^- \leftrightarrow \text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Al}(\text{OH})_3$
Demir Fe(III)	
1. $\text{Fe}^{+3} + \text{PO}_4^{-3} \leftrightarrow \text{FePO}_4$	FePO_4
2. $\text{Fe}^{+3} + 3\text{OH}^- \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$

6.10.1 Metal Tuzları ve Polimer Kullanılarak Fosfor Giderilmesi

Demir ve alüminyum tuzları arıtım prosesinin farklı noktalarında sisteme ilave edilir. Fakat, polifosfat ve organik fosfor ortofosfordan daha zor giderildiği için alum ve demir tuzlarının ikinci kademe arıtmada ilavesi daha iyi sonuç verir. Kimyasal ilavesine bağlı olarak iyi bir çöktürmeden dolayı azot giderimi de görülür. İlave edilen kimyasallar nedeniyle çözünmüş katı maddede artış görülebilir.

İlk Çöktürmeye Metal Tuzları İlavesi: Alüminyum veya demir tuzları arıtılmamış atıksuya ilave edildiğinde çökelti oluşturmak için çözünmüş ortofosfat ile reaksiyona girer. Organik fosfor ve polifosfatlar floklar üzerine adsorplanarak daha karışık bir mekanizma ile giderilirler. Çözünmez formdaki fosfor ile birlikte önemli miktarda BOI ve askıda katı sistemden birincil çamur olarak giderilir. Uygun karıştırma ve flokülasyon ayrı bir üniteye veya mevcut sistem bu işlemi görecektir şekilde değiştirilerek sağlanmalıdır. Polimer ilavesi çöktürmeye yardım için gerekebilir. Düşük alkaliniteli sularda, pH'ı 5-7'de tutmak için baz ilavesi gerekebilir. Alum için tavsiye edilen dozlar Tablo 6.29'da verilmektedir.

Tablo 6.29 Çeşitli fosfor giderim seviyeleri için tipik alüm dozajları (1).

Fosfor Giderimi, %	Mol oranı, Al:P	
	Aralık	Tipik
75	1.25:1 – 1.5:1	1.4:1
85	1.6:1 – 1.9:1	1.7:1
95	2.1:1 – 2.6:1	2.3:1

İkinci Kademe Arıtmaya Metal Tuzları İlavesi: Metal tuzları aktif çamur havalandırma tankında ham atıksuya veya son çöktürme tankı girişine ilave edilebilir. Damlatmalı filtre sistemlerinde, tuz ham atıksuya veya çıkışa ilave edilebilir. Birden fazla noktadan da ilave yapılabilir. Fosfor giderimi çöktürme, adsorpsiyon, iyon değişimi ve flokleşme reaksiyonlarının tümünü kapsamakta olup birincil, ikincil veya her iki çamurun

uzaklaştırılması ile ortamdan giderilir. Teorik olarak AlPO_4 'ün minimum çözünürlüğü pH 6,3 de ve FePO_4 'ünkü ise pH 5,3'tedir. Ancak pratik uygulamalarda en iyi sonuç pH'nın 5,5-7 aralığında elde edilmektedir.

Yalnız yüksek pH'larda iyi sonuç verdiği için demir tuzlarının fosfor arıtımında kullanımı sınırlıdır. Düşük alkaliniteli sulara, sodyum alüminat ve alümin veya kireç ilaveli demir 5,5'in üstünde pH sağlamak için birlikte kullanılabilirler. İyi bir çöktürme ve düşük BOI için son çöktürücüye polimer ilave edilir. Metal iyonu- fosfor molar oranı 1-3 aralığında uygulanır.

Son Çöktürmeye Metal Tuzları ve Polimer İlavesi: Damlatmalı filtre ve uzun havalandırma aktif çamur prosesleri için bazı durumlarda, çamur floküle olmayabilir ve son çöktürme tankında çökmeyebilir. Bu çöktürme problemi sistemin aşırı yüklenmesi durumunda görülebilir. Alüminyum veya demir tuzlarının ilavesi metalik hidroksil ve fosfatların çökmesine neden olacaktır. Bunların polimerlerle birlikte kullanımı koloidal tanecikleri koagüle ederek giderimini kolaylaştıracaktır. Alum ve demir tuzlarının dozajında metal/ fosfor'un molar oranı, ikinci kademe çıkışında fosfor konsantrasyonu 0,5mg/l'den büyükse 1-3 aralığında seçilir .

6.10.2 Kireç Kullanarak Fosfor Giderimi

Fosfor gideriminde kireç kullanımı

- metal tuzu kullanımına kıyasla çamur miktarında artış olduğundan
- kirecin besleme, depolama ve tutma safhalarında bakımı ve işletme problemlerinden dolayı

azalmaktadır. Kireç kullanıldığında, dozaj kontrolünde esas değişkenler, gerekli arıtım derecesi ve atıksuyun alkalinitesidir.

Her ne kadar kireç kullanımı kimyasal maliyeti düşürse de, yalnızca büyük sistemlerde fizibil olabilecek alternatif yöntemdir. Kireç geri kazanım sisteminin kullanıldığı durumlarda, sistem çamurdaki kalsiyum karbonatı ısıtma ile (980°C) kirece dönüştüren termal rejenerasyonu da içerir.

İlk Çöktürme Tankına Kireç İlavesi: Düşük veya yüksek dozlu kireç arıtımının her ikisi de fosforun %65-80 oranlarında çöktürülmesinde kullanılır. Kireç kullanıldığında, kalsiyum ve hidroksitin her ikisi de ortofosfat ile çözünmez hidroksiapatit [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$] oluşturmak üzere reaksiyona girer. Yüksek dozlu kireç sistemlerinde, PH'yı 11'e yükseltmek için yeterli kireç ilave edilir. Çöktürmeden sonra, çıkış suyu biyolojik arıtıma öncesi tekrar karbonatlandırılır. Aktif çamur sisteminde, birinci kademe çıkış pH'ı 9,5-10'u aşmamalıdır. Düşük-kireç dozlarında $\text{Ca}(\text{OH})_2$ olarak uygun aralık 75-250 mg/l' dir. Birincil çöktürmede BOI giderimi pH 9,5'da %50-60 elde edilir.

6.11 Yapay Sulak Alanlar

Yapay sulak alanlar seçilen bir arazide atıksu arıtımı amacıyla oluşturulan sulak alanlardır. Başlıca aşağıdaki amaçlar için kullanılırlar:

- Yerleşim birimlerinde septik tanklardan (veya imhoff tanklarından) gelen atıksuların arıtılması
- Yüksek deşarj standartlarını sağlamak amacıyla, havalandırmalı lagünlerde veya konvansiyonel arıtma tesislerinde arıtılmış atıksulara üçüncü derece arıtma sağlanması.

Bu tip arıtmanın hangi büyüklükte nüfuslara uygulanacağı, mevcut arazi durumu, iklim, zemin şartları çeşitli yerel faktörlere bağlıdır.

Yapay sulak alanlar, çok büyük arazi gerektirir (2-5 m²/kişi). Almanya’da bir tekstil tesisinin atıksularını arıtan sulak alanın büyüklüğü 23,5 ha’dır.

Su Bitkileri Çeşitleri: Yapay sulak alanlarda kullanılacak bitkiler, o bölgede kolayca yetişen mahalli bitkilerden seçilmelidir. Seçilen bitki türü, hızla büyümeli, besi maddeleri (N ve P) yönünden zengin atıklara dayanmalı ve sulak ortamda yaşayabilmelidir. Aşağıdaki belirtilen bitki çeşitlerinden biri seçilebilir:

- *Phragmites australis* ve *phragmites communis*
- *Typha* spp. (Cattail)
- *Schoenoplectus validus* (büyük hasır otu)
- *Juncus ingens* (dev hasır otu)

Su bitkileri, havadan aldıkları oksijeni köklerine taşırlar ve bir kısmını sıvı substrata yayarlar. Su bitkilerinin oldukça derin kökleri vardır. Kök gövdeler, suda oldukça büyük hacim tutarlar (Şekil 6.9). Bunlar:

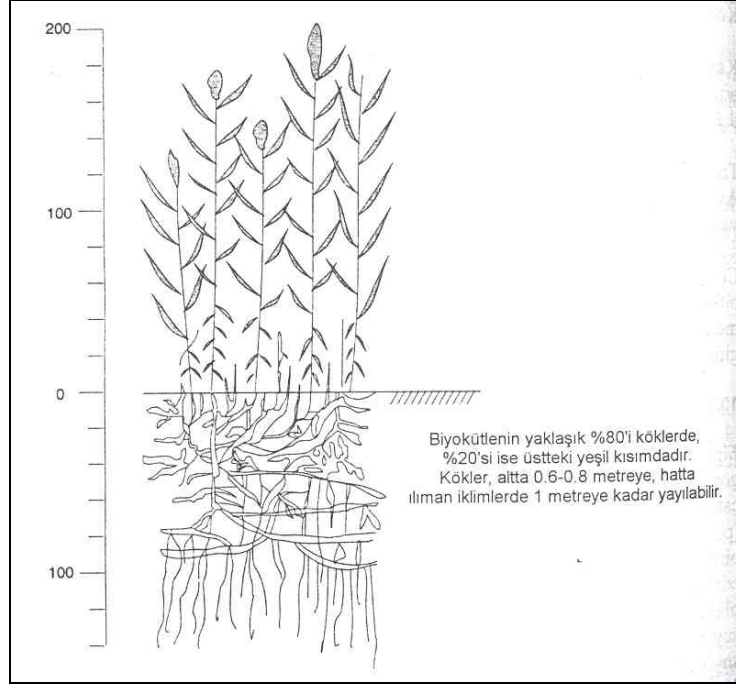
- Substrat içindeki mikroorganizmalara oksijen sağlarlar
- Zeminin hidrolik geçirgenliğini düzenlerler.

Bitkiler oksitlenmiş mikrozonlar oluştururlar. Aksi halde, anoksik ve havasız şartlar oluşacaktır. Bitkiler, ayrıca organik maddeleri stabilize ederler ve nitrifikasyon-denitrifikasyon hızını arttırırlar.

Kök ve kök gövdeler, zemini delerken toprağı gevşetirler ve geçirgenliği arttırırlar. Kamış yatakları, aynı zamanda büyüme mevsimlerinde terleme ve buharlaşmayı da arttırırlar (1.5-1.8 m²/m³/yıl veya 10-15 mm/gün). Tropik iklimlerde bu miktar, daha yüksektir ve yataktan çıkan su da bununla ters orantılı olarak azalır.

Tropik iklimlerde bazen, amaç bu olmamakla beraber, sıfır debi görülebilir. Orta Avrupa’nın iklim şartlarında, 8 m²/kişi eşdeğer nüfusa göre projelendirilen kamış yataklarından hiç su çıkmamaktadır.

Yapay sulak alanlarda çok-bileşenli organik madde giderimi de olmaktadır. Kuzey Avrupa’daki *phragmites* bitkilerinde fenol giderimi araştırılmış; bunun % 72’sinin zemin organizmalarının metabolizması, %16,7’sinin bitki dokuları ve %9,1’inin de uçma sonucu giderildiği görülmüştür.

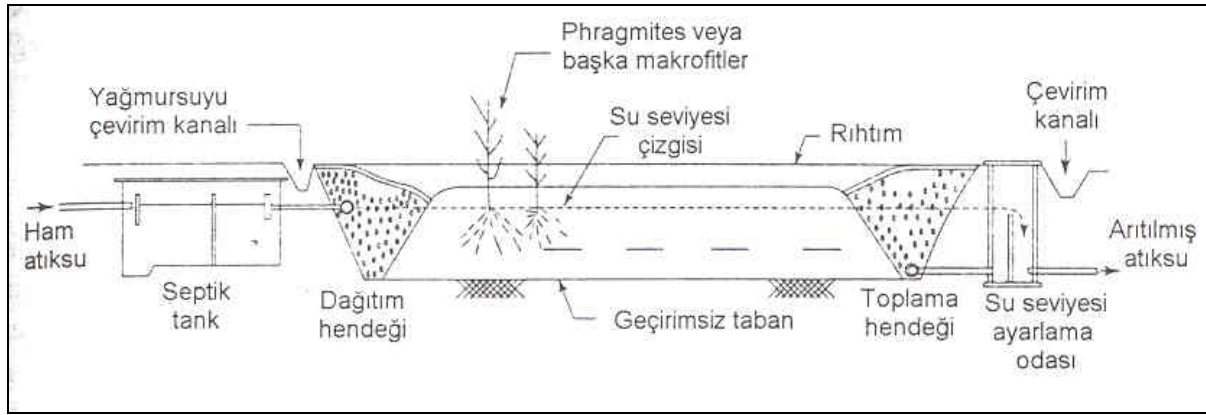


Şekil 6.9 Kök tabakası arıtımı için kamış yatağı kullanımı. Burada tipik *phragmites australis* tipi makrofüt gösterilmektedir (2).

İnşaat: Tipik bir kamış yatağı veya makrofüt hendeği Şekil 6.9'da görülmektedir. Bu, yaklaşık 0.6-0.8 m derinliğinde sıg bir yataktır. Yatak, çakıl (<15 mm), kum veya seçilmiş toprakla doldurulur. Zeminin geçirgenliği %42 civarında olmalıdır. Bu geçirgen kitle bir zemin, kumlu toprakla biraz karıştırılarak veya kompost ile mahalli toprak karıştırılarak elde edilebilir. Bu zeminin hazırlanması, en önemli maliyet unsuru olabilir. Yatak, planda dikdörtgen olabilir (uzunluk/genişlik =3/1). Yatağı çevresindeki yer altı suyundan korumak için, kil veya polietilen kaplama yapılabilir. Böylece, yer altı suyunun kirlenmesi de önlenmiş olur. Tabanın geçirimsizliği (hidrolik geçirgenlik 10^{-8} - 10^{-9} m/s ve daha az olmalıdır), doğal kil veya gerekirse bentonit kullanılarak sağlanabilir.

Havuzun başlangıcında bir dağıtım kanalı bulunur. Bu kısmında bir giriş borusu vardır ve kanal, çakılla (50mm) doldurulur (Şekil 6.10). Havuzun çıkış kısmında da yine çakılla (50mm) dolu bir toplama hendeği vardır. Burada bir de çıkış borusu bulunur. Arıtılan atıksu, deşarj edilmeden önce çıkış borusundan geçerek su seviyesi düzenleme odasına gelir. Bu odadaki perdeler, havuzdaki su seviyesini belirlemek amacıyla ayarlanabilir şekilde yapılırlar. Başlangıçta havuzdaki yük kaybı, sadece 50 mm civarında iken, sonradan köklerin kapladığı hacim sebebiyle 0.6 metreye kadar yükselir. Bu durumda, perde seviyesi düşürülür.

Yatağın her m²'sine yaklaşık 3-5 *phragmites* bitkisi dikilir. Tam büyümüş durumdaki bitkilerin boyları, 3-4 m olabilir. Metre kare başına 100-150 kamış bulunur. Normal olarak yapay sulak alanlarda çalışanların yataklara basmalarına izin verilmez. Sivrisineklerle mücadelede kesin bir başarı elde edilememektedir çünkü bitkiler oldukça sıktır. Eğer sudaki krom miktarı 10 mg/l'den fazla ve kadmiyum miktarı da 500 mg/l'nin üzerinde ise , kamış büyümesi olmaz. Xylene, toluen ve alkylated benzen de toksik etki yapmaktadırlar.



Şekil 6.10 Tipik bir kamış yatağının boyuna kesiti (Ön arıtma yapılmaktadır) (2).

Batmış (Altın) Akım: Özellikle tropik iklimlerde sivrisinek üremesini ve kötü kokuyu önlemek amacıyla batmış akım sağlanır. Birkaç yıllık işletmeden sonra, ölü yaprakların ve gövdelerin döküntüleri üzerinde de akım olabilir. Bu, yıl içerisinde bazen debinin yükselmesiyle de meydana gelir. Bu durumda yatağın büyütülmesi gerekir. Sıtma tehlikesi olan yerlerde sivrisinek kontrolü yapılmalıdır. Batmış akımlı yapay sulak alanların bazı tasarım kriterleri Tablo 6.30’da verilmiştir. Bu konuda iki önemli husus göz önünde tutulmalıdır:

- Organik madde giderimi
- Hidrolik akım şartları

Tablo 6.30 Altın akışlı sulak alanlar için proses tasarım kriterleri (2)

Parametreler	Tipik değerler
Kalma süresi, gün	2-7
Max. BOI yüklemesi, kg/ha/gün	75*
Hidrolik yükleme, mm/gün	2-30*
Alan ihtiyacı, m ² /eşdeğer nüfus	(sıcak iklimlerde) 2-5 (ılıman iklimlerde) 5-10
Yatakta boy/en oranı	5:1’ e kadar
Sivrisinek kontrolü	Sıcak iklimlerde gerekli
Hasat sıklığı, yıl	3-5

* Daha yüksek yükleme değerlerinde de kayda değer biyokimyasal /kimyasal oksijen ihtiyacı (BOI/KOI) ve toplam askıdaki katı madde (TSS) giderimi elde edilir. Fakat, amonyak azotundaki azalma çok fazla değildir. BOI giderimi, hidrolik yükleme ve boy/en oranına fazla bağımlı değildir.

6. 12. Diğer İleri Arıtma Yöntemleri

Arıtılmış atıksuların alıcı ortama deşarjı söz konusu olduğunda bazı özel durumlar dışında konvansiyonel arıtım yöntemleri deşarj yönetmeliklerini sağlamada yeterli olmaktadır. Ancak sulama da dahil olmak üzere tekrar kullanım söz konusu olduğunda atıksuyun daha ileri arıtımı gereklidir. Uygulamada kullanılan bazı ileri arıtım yöntemleri bu bölümde verilmiştir.

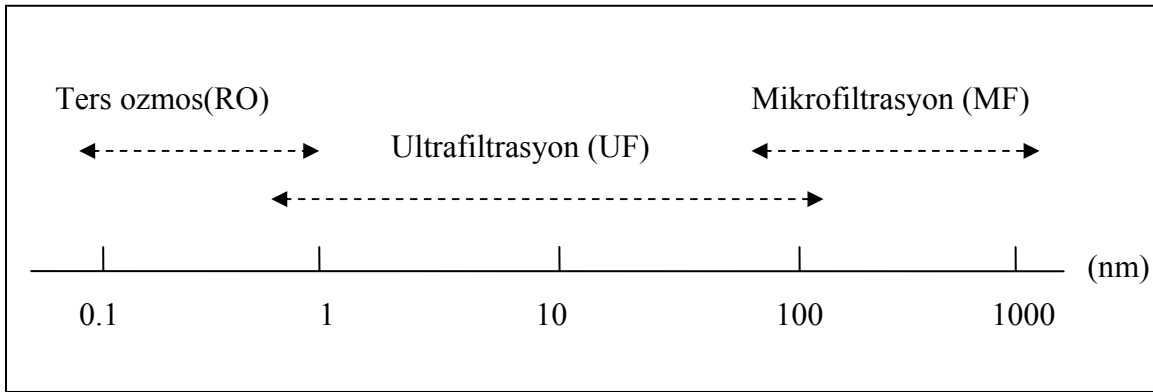
6.12.1 Membran Sistemler

Son yıllarda geliştirilen bazı arıtma teknolojileri ile atıksuyun tekrar kullanımı ekonomik olarak mümkün olmaktadır. Özellikle suyun kıt olduğu yörelerde ve çok su kullanan

endüstrilerde önemli altyapı yatırımları yapılmadan önce evsel atıksuların ve kötü kalitedeki yüzey sularının tekrar kullanımı ekonomik bir alternatif olarak dikkate alınmalıdır. Membran prosesleri atıksuların tekrar kullanımını mümkün kılarak onların alternatif su kaynağı olarak değerlendirilmelerini gündeme getirmiştir.

Membran, iki farklı fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve bir tarafından diğer tarafa maddelerin seçici bir şekilde taşınmasını sağlayan geçirgen bir tabakadır. Tüm membranla ayırma teknolojilerinde membrandan geçme yönünde akış sağlamak üzere itici bir kuvvet ve bazı maddelerin geçişini engelleyen ayırma faktörü, temel iki prensiptir. Kütle transferi, konsantrasyon farkı, basınç farkı ve elektriksel potansiyel farkı gibi itici güçler yardımıyla gerçekleşmektedir. Membran proseslerinde en yaygın itici kuvvet basınçtır.

Membran ayırma prosesleri mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters ozmos (RO), elektrodializ (ED), ve pervaporasyondur. Bu yöntemlerde ayırma, moleküllerin boyutlarına ve molekül kütlelerine göre olur. Bu membranlar geçirdikleri maksimum molekül ağırlığına göre ayırt edilirler (Şekil 6.11).



UF ve MF’da itici kuvvet tamamen basınçtır. Pervaporasyon ve RO proseslerinde ise kısmen basınç kısmen de konsantrasyondur. Membran prosesleri arasındaki temel fark kullanılan gözenek boyutundaki farklılıklardır. Bakteriler 100nm den büyük oldukları için 100nm’den düşük membranlarda tutulurlar.

RO sisteminde temiz suyu kirli sıvıdan ayıran yarı geçirgen bir membran vardır. Kirli tarafa bir basınç uygulandığında kirli taraftaki su temiz tarafa diffüze olur. Proses sonunda, istenmeyen kimyasal maddeler yoğunlaşarak temiz sudan ayrılır. RO prosesi atıksudan inorganik tuzları ayırmada ve atıksudaki belli organik çözücülerin gideriminde kullanılır. En küçük gözenek boyutuna sahip olan ve bu yüzden çok yüksek basınca ihtiyaç duyan RO prosesinin en yaygın uygulama alanı deniz suyu veya tuzlu sudan içme suyu elde edilmesidir.

UF ve MF proseslerinde membranların gözenek boyutları daha büyük olduğundan ayırma için daha düşük basınç gerekir. UF prosesinde 0.1-0.01µm büyüklüğündeki partiküller tutulur. UF prosesi atıksudan makro molekül ve kolloidlerin konsantre edilerek ayrılmasında kullanılır. Atıksu belirli gözenek boyutundaki geçirgen zarın bir tarafında basınç altında bulunur. Gözenek boyutundan küçük tüm maddeler membrandan geçer, büyük boyutlular kirli su tarafında kalır. UF prosesi, RO prosesi öncesi ön arıtım kademesi olarak da kullanılır.

Elektrodializde elektrik yüklü membranlar kullanılır. Katyon veya anyonlar seçici membran tarafından reject edilirler. Bu reject edilen anyonlar elektrodializ hücresinden deşarj edilirler.

En yaygın uygulaması peynir altı suyunun tuzsuzlaştırılmasıdır. Yeni iki katmanlı membranlarla atık seyreltik tuz çözeltilerinden asit ve baz üretilerek geri kazanma gerçekleşmektedir.

Membrandan geçmeyen maddelerin, tıkanmaya neden olmamaları için periyodik olarak toplanarak membranın temizlenmesi gerekir.

6.12.1.1. Belli Başlı Membran Prosesi Uygulama Alanları

Son yirmi yılda geliştirilen membran prosesleri sayesinde kötü kalite suların güvenilir, emniyetli ve ekonomik olarak kullanımının mümkün olduğu kanıtlanmıştır. Membran proseslerinin belli başlı kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir:

- Yer altı suyunun tuzlu su geçişini önlemek üzere tekrar yüklenmesi, (bu amaçla kullanılacak arıtılmış suyun içilebilir su kalitesine getirilmesi gerekmektedir) (13),
- Dolaylı içilebilir su olarak, (içilebilir su kalitesine getirilmiş suyun rezervuarlara alınması, burada bir süre bekletilmesi ve tekrar arıtım için şebekeye geri verilmesi),
- Doğrudan içilebilir su olarak,
- Sulama suyu olarak, (arıtılmış sudaki mineral seviyesine göre MF sonrası RO da gerekebilir),
- Endüstrinin tekrar kullanımı, (Boiler' a besleme, soğutma suyu olarak veya uygun diğer proseslerde).

Membran prosesi ile arıtılarak tekrar kullanımı mümkün olan atıksu kaynakları evsel atıksular veya endüstriyel alanlarda kanal ve nehirlerdeki kirlenmiş yüzey sularıdır. Kirlenmiş yüzey suları durumunda, arıtılacak suya arıtılmış kanalizasyon suyu karışmış olması olasıdır. Endüstriyel atıksu arıtma tesisi çıkışları da kaynak olabilir. Ancak gıda içki ve sağlıkla ilgili diğer endüstrilerde membran prosesi çıkışı içilebilir su kalitesine getirilse dahi bu endüstrilerde kullanılmaz.

Membran teknolojileri bir çok atıksuyun arıtımında kullanılır. Örneğin: Yarı geçirgen malzeme üretimi ve bazı metal ve oksit üretimi gibi proseslerde çok saf su kullanılır ve proses sonunda çözünmüş ve askıda katı içeriği yüksek bir atıksu oluşur. Bu tür atıksuların arıtımında MF veya MF +RO prosesleri ile etkin katı giderimi sağlandığı belirtilmektedir (14). Organik ve inorganik kirliliği yüksek düzenli çöp depo alanı sızıntı sularının arıtımında; metal üretiminden kaynaklanan ve çözünür yağ içeren atık suların arıtımında; metal işleme yıkama sularında çözücü-su , ve yağ-su karışımlarının arıtımında da membran prosesleri kullanılır. Tekstil endüstrisindeki ıslak prosesler boya, deterjan ve askıda katı yönünde çok yüksek kalitede ve miktarda su gerektirir. Atıksu arıtma tesisi çıkışının deşarj standartlarını sağlaması için konvansiyonel fiziko-kimyasal ve biyolojik arıtma tesisleri kullanılır. Arıtılmış su çıkışını üretim prosesine geri döndürebilmek için ise konvansiyonel arıtma tesislerine ilave olarak daha ileri arıtım gerekmektedir. Aktif çamur çıkışının UF ve RO proseslerinden geçirildikten sonra tekstil endüstrisinin tüm ıslak proseslerinde kullanılabileceği belirtilmektedir (15). Evsel atıksuların MF ve UF yöntemleri ile arıtımı deneysel ve pilot ölçekli sistemlerde denenmiş, böyle sistemlerin kısmen ticari boyutta üretimi yapılmıştır. Evsel atıksularla membran prosesi sonrası tekrar kullanım için uygun su kalitesine ulaşabildiği (KOI<30 mg/l, BOI<10mg/l, TOK<10mg/l, bulanıklık=1NTU, AKM=2mg/l) gösterilmiştir (16). Kağıt endüstrisi atıksularının havasız ve/veya havalı arıtım çıkışının iki kademeli UF-RO sisteminden geçirilerek %60 ının proste tekrar kullanımının mümkün olduğu belirtilmektedir (17).

6.12.1.2. Membran Çeşitleri

Membranların performansını, geçirimsizlik derecesi, çözünen madde akımını reject etme derecesi, geçirim derecesi ve çözücünün membrandan geçme kolaylığı gibi kriterler belirler. Selüloz asetat membranlar bu kriterlerin kombinasyonunu sağladığından yaygın olarak kullanılırlar. Günümüzde kullanılmakta olan değişik membran tipleri ve bunların değişik biçimlerde bir araya getirildiği değişik modüller vardır. En yaygın membran çeşitleri; borulu, hollow fiber, spiral kıvrılmış ve plaka ve çerçeve şeklindeki membranlardır.

Membran yüzeyinde tutunan ve çöken maddelerin membran deliklerini tıkamasını önlemek için türbülanslı akış şartlarının sağlanması gerekmektedir (Reynolds sayısının 2000 in üstünde olması gerekir). Bu da genellikle çıkış akımının geri devri ile sağlanır. Membranlarda tıkanmayı önlemek için askıda madde, bakteri ve çökebilir iyonların ön arıtımla giderilmesi önerilmektedir.

Köpüklenmeyi önlemek ve bakteri/virüs ve besin elementi giderimini sağlamak üzere membran prosesine ilave olarak aktif karbon adsorpsiyonu ve flokülasyon prosesleri uygulanır.

6.12.1.3. Membran Performansı

Membran performansı akı ve giderme verimi ifadeleri ile belirtilir. Akı birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır ($m^3/m^2/sn$ veya $l/m^2/saat$). Giderme verimi ise membranın tuttuğu madde miktarının ölçüsüdür. Membranların performansını etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir:

Basınç: Akı, uygulanan basınç ile membrandaki ozmotik basınç farkı ile artar. Uygulanan basınç ne kadar fazla ise akı da o kadar fazladır. Ancak membrana uygulanabilecek basınç limitlidir. Genellikle 68 atm olarak alınır. Uygulamada 27-41 atm olarak alınır (18).

Sıcaklık: Akı besleme atıksuyu sıcaklığı ile artar. Standart sıcaklık 21°C olarak verilmektedir, ancak 29°C a kadar sıcaklıklar tolere edilmektedir. 29°C ın üstündeki 38°C a kadar olan sıcaklıklar membranın bozulmasını hızlandırmakta olup uzun süre işletmeye dayanamaz.

Membran diziliş yoğunluğu: Birim hacme yerleştirilebilecek membran alanı olarak tanımlanır. Bu faktör ne kadar büyükse sistemden çıkan toplam akı da o kadar büyük olur. Tipik membran yoğunluğu 160-1640 m^2/m^3 olarak verilmektedir (18).

Akı: Borululu sistemler için akı 6×10^{-3} - $10,2 \times 10^{-3}$ $m^3/m^2/gün$, plakalı sistemler için ise $6,1 \times 10^{-1}$ - $10,2 \times 10^{-1}$ $m^3/m^2/gün$ dür. Akı çalıştırma süresi ile ve 1-2 yıl işletmeden sonra azalır.

Geri kazanım faktörü: Sistemin kapasitesini gösterir, uygulamada ulaşılan maksimum değer %80 dir. Daha yüksek geri kazanım faktörü proses suyunda daha yüksek tuz konsantrasyonu olduğunda ulaşılır. Yüksek konsantrasyonlarda membranın yüzeyinde çökme fazla olur, bu da işletme veriminin düşmesine neden olur.

Tuzun reject etme: Atıksudaki tuzun reject etme kullanılan membranın tip, karakter ve atıksudaki tuzun konsantrasyon dağılımına bağlıdır. Bu değeri %95 alınır.

Membran ömrü: Atıksudaki fenol, bakteri, mantar gibi maddelerin varlığı, yüksek sıcaklık ve yüksek veya düşük pH değerleri membran ömrünü etkiler. Membranlar en fazla iki yıl kullanılırlar.

pH: Selüloz asetat membranlar yüksek ve düşük pH larda hidroliz olurlar. Optimum işletme pH aralığı 4,5-5,5 tur.

Ön arıtma: Membran sistemlerinin Toplam Çözünmüş Katı (TÇK) miktarı 10 000 mg/l nin üstündeki besleme akımlarına doğrudan uygulanması uygun değildir. Bunun dışında kalsiyum karbonat, kalsiyum sülfat, demir oksit ve hidroksitleri, mangan ve silikon, baryum ve stronsyum sülfat, çinko sülfür ve kalsiyum fosfat gibi tabakalaşma yapan maddelerin ön arıtma ile kontrol altına alınmaları gerekir. Bu maddeler pH ayarlaması kimyasal arıtım, çöktürme, inhibisyon ve filtrasyon gibi yöntemlerle kontrol altına alınabilirler. Organik kalıntılar ve bakteri filtrasyon, karbonla ön arıtım ve klorlama ile kontrol edilebilir. Yağ ve gres ise membranın yüzeyini saracağından ve tıkanmaya neden olacağından membran prosesi öncesi giderilmelidir.

6.12.2. Kimyasal Oksidasyon

Kimyasal oksidasyon ile atıksulardaki kirleticiler son ürünlere veya daha kolay ayrışabilen veya adsorpsiyon ile uzaklaştırılabilen ara ürünlere dönüştürülür. Kimyasal oksidasyon pH ve katalizatör varlığına bağlıdır.

6.12.2.1 Ozonlama

Ozon normal sıcaklık ve basınçta gaz halindedir. Ozonun suda çözünürlüğü, sıcaklığa, ozonun gaz fazındaki kısmi basıncına ve pH'a bağlıdır. Ozon kararsız olup kendi kendine bozunma hızı sıcaklık ve pH'a bağlıdır. Bozunma OH⁻ iyonu, O₃ ün radikal bozunma ürünleri, çözünen organik maddelerin bozunma ürünlerine, alkali, geçiş metalleri, metal oksitler ve karbon gibi maddelerin varlığın ile katalizlenir. Pratik olarak doymuş hidrokarbonların ve halojenli alifatik maddeler gibi reaktif olmayan maddelerin tam parçalanması sadece O₃ ile mümkün olmaz. Ozon ses veya ultraviyole gibi harici bir enerji kaynağı ile birlikte kullanıldığında refraktör (kararlı) maddelerin parçalanması sağlanır.

Organik maddelerin ozonla oksidasyon mekanizması şöyledir:

1. Alkollerin aldehitlere ve sonradan organik asitlere oksidasyonu:



2. Oksijen atomunun aromatik halkaya girmesi
3. Karbon çift bağının açılması

Ozon kuru havadan veya oksijenden yüksek voltajda elde edilir. Teorik olarak 1kilowat-saat elektrik enerjisinden 1058 gram ozon üretilir, pratikte ise bu değer 150g/kW-h dir.

Ozonlama dezenfeksiyon renk ve bakiye refraktör organik madde gideriminde kullanılır. Ozonlama sonucu refraktör organikler daha kolay parçalanan organiklere dönüşeceğiinden ozonlama çıkışı suyun BOI'si girişe kıyasla daha yüksek olabilir (Tablo 6.31).

Ultraviyole (UV), ozon moleküllerini ve organik maddeleri aktive ederek organik madde giderimini artırır. Bu yolla pestisitlerin CO₂ ve H₂O'ya parçalanması mümkün olmaktadır.

Tablo 6.31. Biyolojik arıtım çöktürme tankı çıkışı ozonlama sonuçları

	F/M=0.15		F/M=0.60	
Parametre	0	60	0	60
BOI,mg/l	27	22	97	212
KOI,mg/l	600	154	1100	802
pH	7,1	8,3	7,1	7,6
Org-N,mg/l	25.2	18.9	40	33
NH ₃ -N,mg/l	3,0	5,8	23	25
Renk(Pt-Co)	3790	30,0	5000	330

155mgO₃/dak yükleme

6.12.2.2. Hidrojen Peroksit'le Oksidasyon

Hidrojen peroksit demir katalizörlü ortamda (OH^{*}) radikali oluşturur. Hidroksil radikali de ozon gibi organik maddelerle reaksiyona girer:



Hidrojen peroksitle sülfür oksidasyonu:

Asidik veya nötr pH'da reaksiyon süresi 15-45dakika:

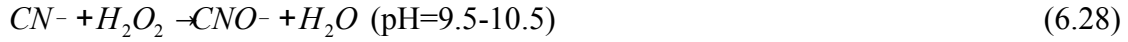


(Fe katalizli pH=6,0-7,5) reaksiyon süresi 1-2 saniye)

Bazik pH reaksiyon süresi 15 dak:



Hidrojen peroksit ile siyanür oksidasyonu:



Toksik atıksuların hidrojen peroksitle oksidasyonunda toksisite ile birlikte organik madde miktarı da azalır. Bazı tipik sonuçlar Tablo 6.32 de verilmiştir.

Tablo 6.32. Konsantre atıksuların katalizli hidrojen peroksit oksidasyonu

Örnek	TOK(mg/l)	KOI(mg/l)	BOI(mg/l)	LC ₅₀
Atıksu 1				
H ₂ O ₂ öncesi	92	301	135	16,3
H ₂ O ₂ sonrası	52	184	57	29,7
Giderim,%	43,4	38,9	57,8	-
Atıksu 2				
H ₂ O ₂ öncesi	2150	2040	300	2,4
H ₂ O ₂ sonrası	95	850	42	3,0
Giderim,%	95,5	58,3	86	-

Arıtım verimi hidrojen peroksitin kabul edilebilir bir yan ürün oluşturma derecesine bağlıdır (6.30):

$$f = \frac{H_2O_2}{HPD_L} \quad (6.30)$$

Burada:

F : H₂O₂ gereksinimi oranı,
H₂O₂ : kullanılan hidrojen peroksit, mg/l,
HPD_L : 2.13x başlangıç KOI, mg/l

Hidrojen peroksit UV ile kombine olarak asetat, organik asit ve patlayıcıların oksidasyonuna uygulanmış UV nin oksidasyon hızını arttırdığı görülmüştür.

6.12.3. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, çözülmüş maddelerin uygun bir ortamda toplanmasıdır. Ortam sıvı ile gaz, katı, veya diğer bir sıvı arasında olabilir. Burada sadece katı-sıvı arasındaki adsorpsiyondan söz edilecektir. Geçmişte adsorpsiyon prosesi atıksu arıtımında kullanılmıyordu. Daha iyi kalitede arıtılmış su gereksinimi aktif karbon ile adsorpsiyon prosesinin kullanımı konusunu gündeme getirmiştir.

Atıksuların çoğu oldukça kompleks yapıda olup içerdikleri maddelerin adsorplanma kapasiteleri farklıdır. Moleküler yapı, çözünürlük gibi özellikler adsorplanma kapasitesini etkiler (Tablo 6.33).

Tablo 6.33. Moleküler yapı ve diğer faktörlerin adsorplanma kapasitesine etkisi

Çözünmüş maddenin çözünürlüğü arttıkça adsorplanabilirliği azalır	
Dallı zincirler düz zincirlere kıyasla daha kolay adsorplanabilir, zincir uzadıkça çözünürlük azalır.	
İlgili gruplar adsorplanmayı etkiler	
İlgili grup	Etkileme tarzı
Hidroksil	Genellikle adsorplanmayı azaltır, Bu azalmanın derecesi ana molekülün yapısına bağlıdır
Amino	Etki hidroksile kıyasla biraz daha fazladır. Birçok amino asit hid adsorplanmaz
Karbonil	Etki karbonil grubunun bağlı olduğu ana maddeye göre değişir. Glioksilik asit asetik asitten daha kolay adsorplanır, fakat daha yüksek yağ asitleri durumunda benzer kolaylık görülmez.
Çifte bağ	Karbonilde olduğu gibi değişken etkiler
Halojenler	Değişken etki
Sulfonik	Genellikle adsorplanmayı düşürür
Nitro	Adsorplanmayı arttırır
Kuvvetli iyonize çözeltiler zayıf iyonize olanlar kadar kolay adsorplanmazlar	
Büyük moleküller küçüklere kıyasla daha kolay tutunabilirler	
Düşük polariteli moleküller yüksek polaritedekilere kıyasla daha kolay tutunabilirler	

6.12.3.1. Adsorpsiyon Formülasyonu

Pratik uygulamalarda Freundlich izotermi kullanılır:

$$\frac{X}{M} = kC^{1/n} \quad (6.31)$$

Burada:

X : adsorplanan maddenin ağırlığı

M : adsorbantın ağırlığı

C : çözeltide kalan konsantrasyon

k, n : sıcaklık, adsorbant ve adsorplanacak maddeye bağlı sabitler

Freundlich izotermindeki sabitler 6.31 denklemi tekrar yazılarak ve C ye karşı X/M çizilerek bulunur.

$$\log \frac{X}{M} = \log k + \frac{1}{n} \log C \quad (6.32)$$

6.12.3.2. Karışımın Adsorpsiyonu

Bir karışımda her bir maddenin adsorplanma kapasitesi tek bir maddenin adsorplanma kapasitesinden düşüktür ancak adsorbantın adsorplama kapasitesi tek bir madde olması

durumuna göre daha yüksektir. Yarışmaya dayalı inhibisyon, molekül büyüklüğü adsorplanma eğilimleri ve konsantrasyonlarına bağlıdır. Endüstriyel uygulamalarda 1 saatin altındaki temas süreleri kullanılır. Adsorpsiyon hızı aktif karbon dozu ile artar.

6.12.3.3. Aktif Karbonun Özellikleri

Aktif karbon odun, lignin, bitümlü kömür, linyit ve petrol kalıntılarından yapılır. Atıksu arıtımında çoğunlukla orta uçuculukta bitümlü kömür veya ligninden üretilmiş Granül Aktif Karbon (GAK) kullanılır. Aktif karbon üretildiği kaynak ve aktifleştirilme tarzına bağlı olarak özgün özellikleri vardır. Bitümlü kömürden yapılmış granül aktif karbonun gözenek boyutu küçük, yüzey alanı büyük, yığın yoğunluğu en yüksektir. Linyitten üretilmiş aktif karbonun ise gözenek boyutu yüksek, yüzey alanı düşük yığın yoğunluğu en düşüktür.

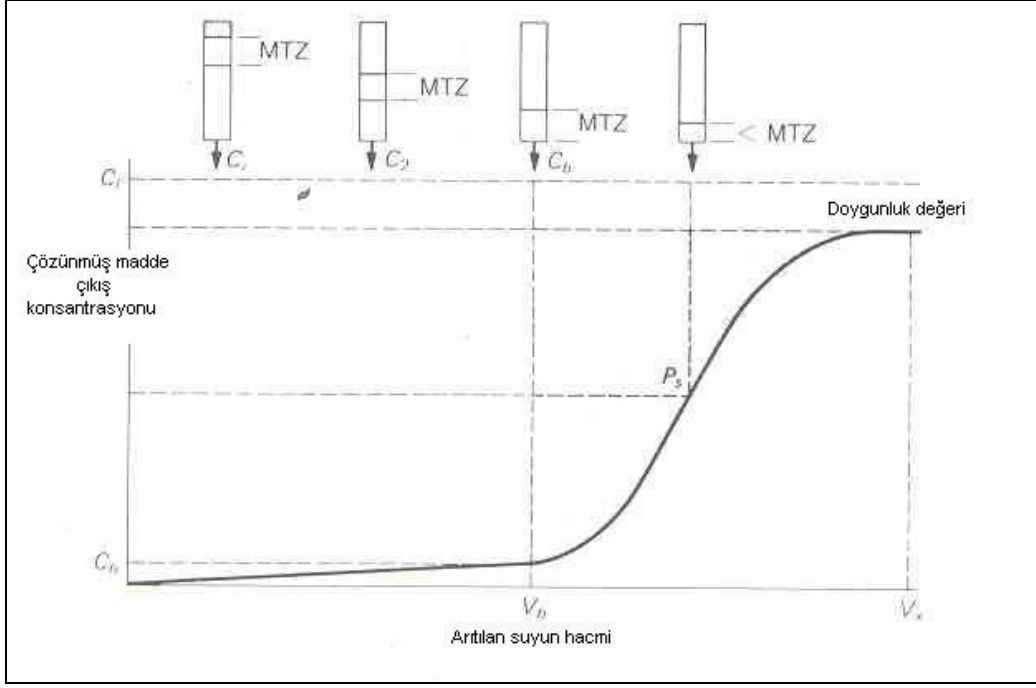
Adsorpsiyon kapasitesi, atıksudaki KOI, renk, fenol gibi kirleticilerin giderim derecesidir. Adsorpsiyon kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan çeşitli testler vardır. Tat ve koku maddelerini gidermede fenol sayısı, düşük molekül ağırlıklı maddelerin ($<2\mu\text{m}$) gideriminde iyot sayısı, yüksek molekül ağırlıklı maddelerin gideriminde (1-50 μm) melas sayısı bağıntıları kullanılır. Genellikle atıksuda düşük molekül ağırlıklı organikler ağırlıklı ise yüksek iyot sayılı, yüksek molekül ağırlıklı organikler ağırlıklı ise yüksek melas sayılı aktif karbon ile daha etkin giderim sağlanabilir.

6.12.3.4. Sürekli Akışlı Karbon Filtreler

Karbon filtreler, filtre yatağından geçen su miktarı arttıkça madde giderimi artacağından kararlı olmayan proses olarak düşünülebilirler. GAK yatağında sorpsiyonun olduğu bölge, Kütle Transfer Bölgesi (KTB) olarak adlandırılır. Atıksu, yüksekliği KTB kadar olan bölgeden geçtiğinde sudaki kirletici konsantrasyonu minimuma inmiş olur. KTB bölgesinin aşağısında daha fazla adsorpsiyon olmaz. Filtrenin üst tarafındaki granül karbon organik madde ile doyduğunda KTB bölgesi kırılma olana kadar aşağıya doğru kayar (Şekil 6.12). GAK yatağında KTB'nin oluşması için minimum bir temas süresi gereklidir. Boş yatak temas süresi çok kısa ise (hidrolik yükleme çok büyükse) KTB nin uzunluğu GAK yatağı yüksekliğinden fazla olacağından adsorplanabilecek kirletici aktif karbon tarafından tamamen giderilemeyecektir.

6.12.3.5 Karbon Rejenerasyonu

Ekonomik sebeplerle kullanılmış (doymuş) karbon rejenere edilmektedir. Rejenerasyonda karbonun gözeneklerindeki adsorplanmış olan maddelerin uzaklaştırılması gerekmektedir. Rejenerasyon termal, buharla, çözücü ekstraksiyonu, asit veya bazla muamele ve kimyasal oksitleme yöntemleri ile gerçekleştirilir. Termal rejenerasyon dışındakiler yerinde yapılabileceğinden tercih edilirler. Çok bileşenli atıksuların adsorpsiyonunun yapıldığı aktif karbonun rejenerasyonunda bu yöntemlerle yüksek verim sağlanamaz. Rejenerasyon sırasında ağırlıkça %5-10 oranında karbon kaybı olur. Rejenere edilen karbondaki gözenek boyutundaki değişiklik, gözeneklerde birikim gibi nedenlerle bir sonraki kullanımda bir önceki kullanıma kıyasla kapasite düşüklüğü olmaktadır.



Şekil 6.12. Kütlesel transfer zonunu gösteren aktif karbon kırılma eğrisi

6.12.4. İyon Değiştirme

İyon değiştirme atıksudaki istenmeyen anyon ve katyonların giderilmesinde kullanılır. Katyonlar hidrojen veya sodyum ile anyonlar ise hidroksil iyonları ile yer değiştirir. İyon değiştirici reçineler, organik ve inorganik yapıdaki maddelere bağlı fonksiyonel gruplardan oluşmaktadır. Atıksu arıtımında kullanılan iyon değiştirici reçineler pürüzlü üç boyutlu yapıların içine organik maddelerin polimerizasyonu ile yapılan sentetik reçinelerdir. Reçinelerin iyon değiştirme kapasitesi reçinenin birim kütlesindeki fonksiyonel grupların sayısı ile belirlenir.

İyon değiştirme reçineleri pozitif iyonları değiştiriyorsa katyonik, negatif iyonları değiştiriyorsa anyonik olarak adlandırılırlar. Katyon değiştirici reçineler sülfonik gibi asidik fonksiyonel grup, anyon değiştirici reçineler ise amin gibi bazik fonksiyonel grup içerirler. İyon değiştirici reçineler fonksiyonel grubun yapısına göre sınıflandırılırlar. Örneğin: kuvvetli asit, zayıf asit, kuvvetli baz, zayıf baz gibi. Asitlik veya bazlığın kuvveti fonksiyonel grubun iyonizasyon derecesine bağlıdır. Yani sülfonik asit fonksiyonel gruplu bir reçine kuvvetli asidik katyon değiştirici reçine olarak davranacaktır.

En yaygın kullanılan kuvvetli asit iyon değiştirici reçine stiren ve divinilbenzenin kopolimerizasyonu ve oluşan kopolimerin sülfonlanması ile üretilir. Karşılıklı bağlanma başlangıçtaki monomer karışımındaki divinilbenzen oranı ile kontrol edilir.

Diğer iyon değiştirici reçineler için en yaygın fonksiyonel gruplar zayıf asit olarak karboksil ($-\text{COOH}$), kuvvetli baz olarak dört değerlikli amonyum ($-\text{R}_3\text{N}^+\text{OH}^-$), zayıf baz olarak da amindir ($-\text{NH}_2$ veya $-\text{RNH}$).

Reaksiyonlar kimyasal dengeye bağlı olup bir iyonun diğeri ile yer değiştirmesinden ibarettir. Sodyum çevrimli bir katyon değişimi reaksiyonu aşağıda verilmiştir:



Burada R reçineyi temsil etmektedir. Sodyumun tümü kalsiyum ile yer değiştirdiğinde reçine yatağı içinden konsantre sodyum iyonu çözeltisi geçirilerek rejenere edilir. Böylece reaksiyon tersine döner ve kalsiyumla sodyum yer değiştirir. Rejenerasyon için %5-10 luk tuz çözeltisi kullanılır:



Hidrojen çevrimli katyon değişiminde de benzer reaksiyonlar olur:



%2 ve %10 luk H₂SO₄ ile



Anyon değişiminde de anyonlar hidroksil iyonları ile yer değiştirir:



%5-10 luk sodyum hidroksit rejenerasyon için yeterlidir:



İyon değişiminde performans ve maliyet reçinenin iyon değiştirme kapasitesi ve rejenerantın miktarına bağlıdır. Yatak kapasitesi 1 litre yatak hacmi için eşdeğer olarak verilir. Bazı durumlarda (kg CaCO₃/yatak hacmi) veya (iyon kütlesi/yatak hacmi) olarak da verilir. Benzer şekilde atıksudaki giderilecek iyonun miktarı (eşdeğer/litre arıtılacak su) olarak verilir.

Sabit yataklı iyon değiştiricilerde yatağın işletme kapasitesi ile kullanılan rejenerant miktarı ilişkilidir.

Kompleks organik atıksu durumunda gerekli tasarım parametrelerini saptamak üzere laboratuvar ölçekli sistemlerde çalışma yapılması önerilmektedir. Deneysel çalışmalar sonunda reçine kullanımı ve rejenerant verimliliği arasındaki ilişki tespit edilerek sistemin optimum işletme düzeyi seçilir.

Endüstriyel atıksu arıtımında iyon değiştiricilerin kullanıldığı en önemli alan kaplama endüstrileridir. Kaplama endüstrisinde atık kaplama banyolarındaki kullanılmış kromik asitin geri kazanımı için, kromik asit banyo suyundaki diğer iyonları (Fe, Cr⁺³, Al gibi) gidermek üzere katyon değiştirme reçinesinden geçirilir ve çıkış suyu kaplama banyosunda tekrar kullanılır.

6.12.5. Elektro-koagülasyon

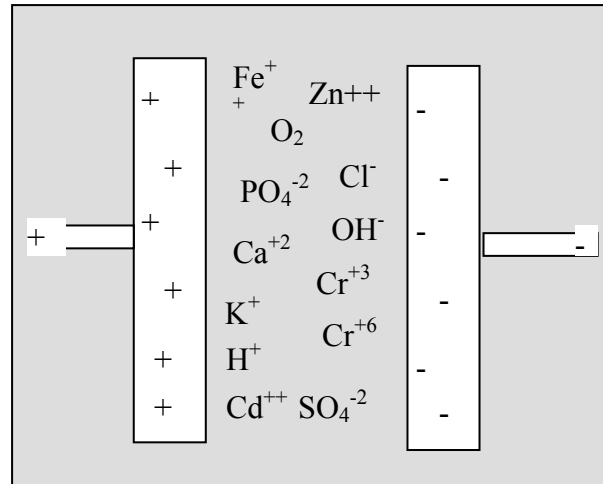
Kolloidal karışımları destabilize etmek ve çözünmüş metal ve diğer inorganik kirleticileri sulu fazdan katı faza geçirmek ve oluşan katı fazı filtreleme ile ayırmak için kimyasal koagülasyon

yöntemleri kullanılmaktadır. Kimyasal arıtmada alum, kireç, demir tuzları ve/veya polimerler kullanılır. Bu prosesler sonucu yüksek miktarda bağlı su içeren dolayısı ile filtrelenebilir ve susuzlaştırılması zor yüksek hacimde çamur oluşur. Kimyasal koagülasyonda arıtılmış su çıkışı toplam çözünmüş katı konsantrasyonu yüksek olduğundan endüstriyel uygulamalarda tekrar kullanımı mümkün değildir.

Elektro-koagülasyon (EK), kimyasal madde kullanılmadan atıksulardaki çözünmüş ve askıdaki katıları gidermede kullanılan bir arıtma yöntemidir. EK prosesi, atıksudan kontrollü olarak elektrik enerjisi geçirilerek partiküllerin destabilize edilmesi, böylece stabil çökelti oluşturularak atıksudan ayrılması prensibine dayanır. EK sistemlerinin diğer kimyasal arıtma sistemlerine kıyasla kimyasal madde kullanılmaması ve az çamur oluşumu gibi üstünlükleri vardır. Elektrokoagülasyon ünitesi şematik görünümü Şekil 6. 13 de verilmiştir (19).

Atıksuyun içinden elektrik akımı geçirildiğinde metaller, hidrokarbonlar ve organik maddeler de dahil olmak üzere askıdaki ve çözünmüş katılar destabilize olurlar. Destabilize olan iyonlardan , farklı elektrik yüklü parçacıklar birleşerek (koagüle olarak) çökelti oluştururlar. Oluşan çökelti çeşitli çöktürme yöntemleri ile sıvı fazdan ayrılır. Prosesin uygulanmakta olduğu atıksular ve potansiyel uygulama alanları aşağıda verilmiştir:

- Ağır metal giderimi
- Askıda katı ve kolloid madde giderimi
- Yağ-su emülsiyonunun kırılması
- Yağ ve gres giderimi
- Kompleks organiklerin giderimi
- Bakteri ve virüs giderimi
- BOI, posfat ve azot giderimi



Şekil 6.13 Tipik bir elektrokoagülasyon hücresi (20)

Bu yöntemin uygulanabileceği bazı alanlar ise:

- Yer altı suyu temizlenmesi
- Proses yıkama ve durulama suları
- İçme suyu arıtımı
- Evsel atıksu arıtımı
- Soğutma kuleleri
- Membran filtrasyonu öncesi ön arıtım
- Mezbaha, et işleme
- Otomobil üretimi ve makine
- Gıda
- Çamaşırhaneler
- Kağıt ve kağıt işleme
- Tekstil
- Petrol ve gaz rafinerileri, petrokimyasal emülsiyonlar

Elektrokoagülasyon prosesinin kimyasal koagülasyona kıyasla birçok üstünlüğü vardır. Bu üstünlükler kısaca (21),(22):

- Ekonomik tasarruf: ilk yatırım 12 aydan kısa bir sürede geri dönüyor
- Çöktürme sonrası elde edilen arıtılmış su kalitesi yüksek: prosese geri döndürülebilir ya da tekrar kullanılabilir
- Deşarj standartları rahatlıkla sağlanır (EPA), arıtım sonrası deşarj maliyeti düşer
- Daha düşük hacimde ve daha kolay suyunu verebilen çamur elde edilir. (kimyasal koagülasyonda yüksek hacimli ve suyunu kolay vermeyen çamur oluşur) filtrelendirme hızı %76 daha fazla olan %83 daha az çamur oluşur
- Oluşan çamur EPA'nın toksik karakterli çamurlarla ilgili standartlarını sağlar (kimyasal koagülasyonda oluşan stabil olmayan metal hidroksitleri zararlı atık olarak sınıflandırılırlar)
- İşletme giderleri birçok standart arıtma yönteminden daha ekonomiktir.
- Bakım ve işletmesi kolay, fazla yer kaplamaz

UYGULAMA

Problem 6.1:

Evsel atıksuyunun arıtılacağı askıda büyüyen, karbon oksidasyonun ve nitrifikasyonun birlikte gerçekleşebileceği, tek çamurlu ve tam karışımli sistemlerden olan aktif çamur sisteminin nitrifikasyonu sağlayacak şekilde tasarımı yapılacaktır (1). Gerekli bilgiler aşağıda verilmektedir:

Atıksu debisi = 3400 m³/gün

Ön çöktürmeden sonraki BOI = 200 mg/l

Ön çöktürmeden sonraki TKN = 40 mg/l

Minimum sıcaklık = 15°C

Reaktördeki çözünmüş oksijen konsantrasyonu = 2.5 mg/l

Atıksu tampon kapasitesi, atıksuyun pH'ını 7.2 veya üzerinde tutacak şekildedir.

Tablo 6.14'te verilen kinetik katsayılar kullanılacak olup, μ_m 0.5 gün⁻¹ alınacaktır.

Çözüm:

- Emniyet faktörü 2.5 alınmıştır.
- Nitrifiyerlerin işletme şartları altında maksimum büyüme hızı belirlenir.

a) Tablo 6.9'da verilen eşitliklerden aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir;

$$\mu_m^1 = \mu_m e^{0.098(T-15)} \times \frac{CO}{K_{O_2} + CO} \times (1 - 0.833(7.2 - pH))$$

↓ Sıcaklık düzeltme
↓ ÇO düzeltme faktörü
↓ pH düzeltme faktörü

Bu eşitlikte;

μ_m^1 = sıcaklık, ÇO ve pH'ın belirlenen şartlarında büyüme hızı

μ_m = maksimum özgül büyüme hızı

T = sıcaklık

ÇO = çözünmüş oksijen

K_{O_2} = çözünmüş oksijen yarı doygunluk sabiti = 1.3 mg/l

pH = işletme pH'ı, yukarıdaki eşitlikte pH = 7.2 olduğunda düzeltme faktörü 1 alınır.

b) Bilinen değerler yerine konularak μ_m^1 hesaplanır;

$$\mu_m = 0.5 \text{ gün}^{-1}$$

$$T = 15^\circ\text{C}$$

$$CO = 2.5 \text{ mg/l}$$

$$K_{O_2} = 1.3 \text{ mg/l}$$

$$pH = 7.2$$

$$\begin{aligned} \mu_m^1 &= (0.5) e^{0.098(T-15)} \times \frac{2.5}{1.3 + 2.5} \times (1 - 0.833(7.2 - 7.2)) \\ &= (0.5 \text{ gün}^{-1}) (2.5 / (1.3 + 2.5)) \\ &= 0.33 \text{ gün}^{-1} \end{aligned}$$

c) Maksimum substrat kullanım hızı (k) hesaplanır;

$$k^1 = \mu_m^1 / Y$$

$$\mu_m^1 = 0.33 \text{ gün}^{-1}$$

$$Y = 0.2$$

$$k^1 = 0.33 / 0.2 = 1.65 \text{ gün}^{-1}$$

d) Çamur yaşının belirlenmesi:

➤ Minimum θ_c^M ,

$$1 / \theta_c^M \sim Yk^1 - k_d$$

$$Y = 0.2$$

$$k^1 = 1.65 \text{ gün}^{-1}$$

$$k_d = 0.05 \text{ gün}^{-1}$$

$$1/\theta_c^M = 0.2 (1.65) - 0.05$$

$$= 0.28 \text{ gün}^{-1}$$

$$\theta_c^M = 1/0.28 = 3.57 \text{ gün}$$

➤ EF (emniyet faktörü) = 2.5 olduğunda θ_c tasarım değeri,

$$\theta_c = EF (\theta_c^M) = 2.5 (3.57) = 8.93 \text{ gün}$$

e) Amonyum oksidasyonu için substrat giderim faktörü, U'nun tasarım değeri,

$$\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d$$

$$U = \left(\frac{1}{\theta_c} + k_d \right) \frac{1}{Y} = \left(\frac{1}{8.93} + 0.05 \right) \frac{1}{0.2} = 0.81 \text{ gün}$$

f) Çıkış suyundaki amonyum konsantrasyonunun belirlenmesi

$$U = \frac{kN}{K_N + N}$$

$$k = 1.65 \text{ gün}^{-1}$$

$$T = 15^\circ\text{C}$$

$$N = \text{çıkış } \text{NH}_4^+ \text{-N konsantrasyonu, mg/l}$$

$$K_N = 10^{0.051T-1.158} = 0.4 \text{ mg/l}$$

$$= 0.81 \text{ gün}^{-1}$$

$$N = \frac{1.65N}{0.81} - 0.4$$

$$N = 0.39 \text{ mg/l}$$

g) Aktif Çamur prosesi için BOI_5 giderim hızının belirlenmesi,

$$\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d$$

$$Y = 0.5 \text{ mgUKM/mgBOI}_5$$

$$k_d = 0.06 \text{ gün}^{-1}$$

$$\theta_c = 8.93 \text{ gün}$$

$$U = \left(\frac{1}{8.93} + 0.06 \right) \frac{1}{0.5}$$

$$U = 0.34 \text{ mg BOI}_5/\text{mgUKM.gün}$$

h) BOI oksidasyonu ve Nitrifikasyon için gerekli hidrolik kalma zamanının belirlenmesi,

$$U = \frac{S_o - S}{\theta X}$$

➤ BOI oksidasyonu:

$$\theta = \frac{S_o - S}{UX}$$

$$S_o = 200 \text{ mg/l}$$

$$S = 20 \text{ mg/l}$$

$$U = 0.34 \text{ gün}^{-1}$$

$$X = 2000 \text{ mg/l}$$

$$\theta = \frac{(200 - 20) \text{ mg/l}}{0.34 \text{ gün}^{-1} (2000 \text{ mg/l})} = 0.26 \text{ gün} = 6.4 \text{ saat}$$

➤ Amonyum Oksidasyonu,

$$\theta = \frac{N_o - N}{UX}$$

$$N_o = 40 \text{ mg/l}$$

$$N = 0.39 \text{ mg/l}$$

$$U = 0.81 \text{ gün}^{-1}$$

$$X = 2000 \text{ mgSS/l} \times 0.8 = 160 \text{ mgUKM/l}$$

$$\theta = \frac{(40 - 0.39) \text{ mg/l}}{0.81 (2000 \text{ mg/l} \times 0.08)} = 0.31 \text{ gün} = 7.3 \text{ saat}$$

Sonuç olarak, nitrifikasyon prosesi için gerekli hidrolik kalış süresi tasarım çalışmalarında esas alınır.

i) Gerekli havuz hacminin hesaplanması:

$$V = Q \cdot \theta = 3400 \text{ m}^3/\text{gün} \times 0.31 \text{ gün} = 1054 \text{ m}^3$$

j) Toplam oksijen ihtiyacının hesaplanması:

➤ Toplam oksijen ihtiyacı aşağıdaki eşitlik ile belirlenir:

$$O_2 = \frac{Q(S_o - S)}{f} - 1.42 (P_x) + 4.57 Q(N_o - N)$$

- Q = atıksu debisi
 S_o = giriş BOI₅, mg/l
 S = çıkış BOI₅ mg/l
 8.34 = dönüşüm faktörü
 f = 0.68 (BOD₅/BOD_L)
 P_x = biyokütle üretimi
 1.42 = dönüşüm faktörü (BOD_U/UKM)
 N_o = giriş TKN, mg/l
 N = çıkış TKN, mg/l
 4.57 = dönüşüm faktörü (O₂/NH₄⁺-N)

➤ Alternatif olarak, aşağıdaki eşitlikde oksijen ihtiyacını yaklaşık olarak belirlemede kullanılabilmektedir:

$$O_2 = Q (kS_o + 4.57 \text{ TKN})$$

k = Nitrifikasyon sistemine düşük BOI yüklemelerinde dönüşüm faktörü, 1.1 ile 1.25 aralığındadır.

k=1.15, emniyet faktörü 2.5 alınarak hesap yapılmıştır.

$$O_2 \text{ (kg/gün)} = 3400 [(1.15 (200) + 4.57(40))] \times 2.5 \times 10^{-3}$$

$$= 3509 \text{ kg/gün}$$

Problem 6.2:

Birleşik tek çamurlu nitrifikasyon/denitrifikasyon reaktöründe havalı ve anoksik bekletme sürelerinin hesaplanması.

- Giriş BOİ = 200 mg/l
 Giriş amonyum-azotu = 25 mg/l
 Çıkış amonyum-azotu = 1.5 mg/l
 Çıkış nitrat-azotu = 5 mg/l
 Sıcaklık = 15°C
 Y_h = 0.55 mgVSS/mgBOI
 k_{d(15°C)} = 0.04 gün⁻¹
 U_{DN(15°C)} = 0.042 mgNO₃⁻N/mgUKM.gün
 Çözünmüş oksijen konsantrasyonu = 2 mg/l
 X_a = 2500 mg/l UKM
 θ_c = 8.9 gün denitrifikasyon için
 V_{havalı} = 0.71
 f'_{VSS} = 0.8

Çözüm:

- Geri devir oranının hesabı:
 $R = (25 - 1.5) / 5 - 1$

$$R = 3,7$$

- Toplam çamur yaşı hesabı:

$$\theta_c^1 = 8,9/0,71$$

$$\theta_c^1 = 12,5 \text{ gün}$$

- f_{VSS} 'nin hesabı:

$$f_{VSS} = \frac{0.8}{1 + ((1 - 0.8) (0.04) (12.5))}$$

$$f_{VSS} = 0,73$$

- sistemde havalı (aerobik) bölümdeki toplam hidrolik kalış süresi hesabı:

$$\theta_a = \frac{(0.55) \times (200) (12.5)}{2500 (1 + (0.04) (0.73) (12.5))}$$

$$= 0,4 \text{ gün} = 2,9 \text{ saat}$$

- anoksik bekletme süresi hesabı:

$$\theta_{DN} = (1 - 0,71) (0,4)$$

$$= 0,12 \text{ gün} = 2,9 \text{ saat}$$

- Denitrifikasyon için gerekli anoksik bekletme süresi hesabı:

$$\theta_{DN}^1 = (25 - 1,5 - 5) / (0,042) (2500)$$

$$\theta_{DN}^1 = 0,18 \text{ gün} = 4,3 \text{ saat}$$

$\theta_{DN} \neq \theta_{DN}^1$ olduğundan yeni bir havalı oranı ile hesaplar tekrarlanır.

$V_{havalı} = 0.6$ olsun.

$$\theta_c^1 = 8.9/0.6 = 14.8 \text{ gün}$$

$$f_{VSS} = \frac{0.8}{1 + (1 - 0.8) \times 0.04 \times 14.8} \cong 0.72$$

$$\theta_a = \frac{0.55 \times 200 \times 14.8}{2500(1 + 0.04 \times 0.72 \times 14.8)} \cong 0.46$$

$$\theta_{DN} = (1 - 0.6) 0.46 = 0.184 \text{ gün} > \theta_{DN}^1 = 0.18 \text{ gün olduğundan}$$

$\theta_{DN} = 0.184 \text{ gün yeterlidir.}$

KAYNAKLAR

- (1)Metcalf & Eddy, 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill international Editions.
- (2) Soli J. Arceivala, 2002. Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Tata McGraw –Hill Publishing company limited.
- (3) Recep İleri, 2000, Çevre Biyoteknolojisi, Değişim yayınları.
- (4) Altınbaş, U., 2001. Nutrient removal from low strength domestic wastewater in sequencing batch biofilm reactor, Water Science and Technology, Vol.44, No.1, pp 181-186.
- (5) Gonçalves, R.F. and Rogalla, F, 1994. “Continuous biological phosphorus uptake in submerged biofilters with nitrogen removal” Water Science and Technology, Vol. 29, No.10-11, pp.135-143.
- (6)Shimizu, T., Tambo, N., Kudo, K., Ozawa, G., Hamaguchi, T., 1994. “An anaerobic fluidized pellet bed bioreactor process for simultaneous removal of organic, nitrogenous and phosphorus substances” Water Research, Vol.28, No.9, pp.1943-1952.
- (7) Gonçalves, R.F. and Rogalla, F, 1992. “Continous biological phosphorus removal in a biofilm reactor”, Water Science and Technology, Vol. 26, No.9-11, pp.2027-2030.
- (8)Hultman, B., Jönsson, K., Plaza, E., 1994. “Combined nitrogen and phosphorus removal in a fullscale continuous up-flow sand filter” Water Science and Technology, Vol. 29, No.10-11, pp.127-134.
- (9) Gonçalves, R.F. and Rogalla, F, 1992. “Biological phosphorus removal in fixed films reactors” ” Water Science and Technology, Vol. 25, No.12, pp.165-174.
- (10) Mogen Henze, Poul Harremoes, Jes la Cour Jansen, Erik Arvin, 1997. “Wastewater Treatment: Biological and Chemical Prosesses” Second edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- (11) Water Environmental Federation, 1998. Biological and Chemical Systems for Nutrient Removal, A special publication.
- (12) Bilstad T. 1997. Membrane Operations. Wat. Sci. Tech. Vol. 36, No.2-3, 17-24.
- (13) Ernst, M., and Jekel, M. 1999. Advenced Treatment Combination for Groundwater Recharge of Municipal Wastewater by Nanofiltration and Ozonation. Wat.Sci.Tech. 40, No.4-5, 277-284.
- (14) <http://www.kinetico.com/industrl/microfil.htm>
- (15) Ciardelli, G., Corsi, L., Marcucci, M., 2000. Membrane Separation for Wastewater Reuse in the Textile Industry, Resources, Conservation and Recycling 31, 189-197.

- (16) Ahn, K.H., Song, K.G. 1999. Treatment of Domestic Wastewater Using Microfiltration for Reuse of Wastewater. *Desalination*, 126, 7-14.
- (17) Yalçın, F., Koyuncu, I., Öztürk, İ., and Topacık, D. 1999. Pilot Scale UF and RO Studies on Water Reuse in Corrugated Board Industry. *Wat. Sci. Tech.* Vol.40, No.4-5, 303-310.
- (18) W.Wesley Eckenfelder, Jr., 1989. *Industrial Water Pollution Control*. McGraw-Hill International Editions.
- (19) <http://www.powellwater.com>
- (20) <http://www.kaselco.com>
- (21) <http://www.apexprocess.com.au/coagulation2.htm>
- (22) N.P. Barkley, C Farrell, and T. Williams, 1993. *Electro-Pure Alternating Current Electrocoagulation*, EPA/540/S-93/504.

7. HAVASIZ ARITMA SİSTEMLERİ

Havasız çürütme, çamur stabilizasyonunda kullanılan en eski prosestir. Günümüzde atıksu arıtımından çıkan konsantre çamurların stabilizasyonun yanısıra bazı endüstriyel atıksuların arıtımında da kullanılmaktadır. Havasız arıtıma prosesleri, yüksek miktarda organik kirlilik içeren atıksuların arıtımında oldukça geniş kullanım alanı bulmuştur. Kuvvetli atıkların arıtımında havalı arıtıma proseslerine kıyasla çok daha ekonomik olduğu belirlenen havasız arıtım prosesleri son yıllarda evsel atıksu arıtımında da kullanılmaktadır.

Havasız arıtma prosesleri organik maddelerin oksijensiz ortamda biyokimyasal olarak ayrıştırılması esasına dayanmaktadır. Arıtma esnasında oluşan biyogaz yaklaşık olarak %65-85 metan ve %15-35 karbondioksit karışımından oluşmaktadır. Havasız arıtma teknolojilerinin gelişimi 19. yüzyılın başlarına dayanmaktadır ve II. Dünya Savaşı sonrası enerji kaynaklarında yaşanan kriz nedeni ile hızlı bir gelişme yaşanmıştır (Alvarez, 2003).

Havasız çamur çürütücüler standart-hızlı ve yüksek-hızlı olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Standart-hızlı olanlarda reaktörde karışma ve ısıtma yoktur. Hidrolik bekletme süresi 30-60 gün olup hidrolik bekletme süresi çamur yaşına eşit veya çok yakındır. Yüksek-hızlı havasız reaktörlerde ise karışım ve ısıtma yapılır. Hidrolik bekletme süreleri 20 günün altında tutulur. Kuvvetli organik atıkların anaerobik olarak arıtıldığı yüksek hızlı reaktörlerde ise 1 günden az hidrolik kalış sürelerinde bile yüksek verimlerle karbonlu organik madde giderimi sağlanabilmektedir.

7.1. Havasız Arıtmaya Genel Bakış

Havasız arıtma sistemleri biyolojik ve fizikokimyasal arıtmalarda oluşan arıtma çamurlarının stabilizasyonunda uygulandığı gibi endüstriyel ve evsel nitelikli, askıda katı madde içeren veya içermeyen sıvı atıkların arıtımında da kullanılmaktadır.

Atıksu içerisindeki organik maddelerin havasız ortamda ayrışması en basit haliyle iki temel aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşamada (hidroliz ve asit fermentasyonu), organik maddelerin asit bakterileri tarafından organik asitlere, alkollere ve CO₂'ye dönüşümü gerçekleşmektedir. İkinci aşama (metan oluşumu) ise asit bakterilerinin parçalama reaksiyonları sonucunda oluşan ürünlerin, metanojenler tarafından metan, CO₂ ve suya dönüştürülmesini içermektedir.

Bu prosesler sonucu oluşan metan gazının kalorifik değeri yüksektir ve enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Havasız arıtma esnasında yağlar, proteinler, karbonhidratlar, amino asitler ve organik asitler gibi kompleks veya monomer yapıda olan çeşitli organik maddeler parçalanabilmektedir. Bu farklı reaksiyonlar sonucunda oluşacak metan miktarları da farklılık göstermektedir. Örneğin; yağların ayrışması sonucunda yüksek metan yüzdesine sahip biyogaz elde edilebilirken, protein ve karbonhidratların parçalanmasında daha az miktarda biyogaz ve metan yüzdesi elde edilmektedir (UNIDO, 1992).

7.1.1 Havasız Arıtma Sistemlerinin Üstünlükleri

Havasız prosesler, ilk uygulamalarda ön arıtma ünitelerinden veya biyolojik arıtma proseslerinden oluşan, yüksek miktarda su (%95) ve organik madde ihtiva eden çamurların arıtılmasında kullanılmıştır. Bu proseslerde çamurun çürütülmesiyle stabilizasyon

sağlanarak çamur hacminde azalma ve patojen mikroorganizmaların giderilmesi sağlanabilmektedir.

Yüksek organik madde ($BOI_5 > 1000-1500$ mg/l) ve düşük katı madde içeren konsantre atıksuların arıtılmasında aerobik proseslerin uygulanmasının pahalı oluşu havasız proseslerin gelişmesine neden olmuştur (UNIDO, 1992). Havasız arıtma teknolojisinin faydaları ana başlıklarla Tablo 7.1’de verilmektedir.

Tablo 7.1 Havasız Biyoteknolojinin Olumlu Özellikleri (4)

• Proses stabilitesinin sağlanabilmesi • Biyokütle atığının bertaraf maliyetinin düşüklüğü • Besi maddesi sağlama maliyetinin düşüklüğü • İnşa alanı gereksiniminin azlığı • Enerjinin korunması ile ekolojik ve ekonomik fayda sağlaması • İşletme kontrolü gereksiniminin minimize edilmiş olması • Oluşan gazın hava kirlenmesi açısından kontrol edilebilir olması • Köpük probleminin olmaması • Havasız şartlarda biyolojik olarak parçalanamayan maddelerin parçalanabilmesi • Atıksudaki mevsimsel değişikliklerde arıtmanın stabilitesinin sağlanabilmesi
--

Havasız ile havalı biyoteknolojiler karşılaştırıldığında havasız arıtmanın birçok üstün yönü olduğu görülmektedir. İlk olarak, havasız proseslerde biyolojik büyüme hızı aerobik sistemlere göre daha azdır. Havasız proseslerde organik maddenin sadece %5-15’i biyokütleyle dönüşmektedir. Bu durum, arıtma sonrasında biyolojik çamur bertarafının aerobik sistemlere göre daha kolay ve düşük maliyetli olacağını göstermektedir.

Biyolojik proseslerde biyokütle sentezi için ortamda fosfor ve azot gibi temel besin maddeleri mutlaka bulunmalıdır. Endüstriyel atıksular her zaman bu maddeleri yeterli oranda ihtiva etmediklerinden biyolojik arıtma öncesi besin maddesi ilavesi gerekmektedir. Ancak havasız sistemlerde biyolojik büyüme hızının düşük olmasına bağlı olarak ilave besin maddesi ihtiyacı da daha az olmaktadır.

Havasız arıtma esnasında metan gazının oluşması sistemin diğer bir üstünlüğüdür. Metan elektrik veya ısı enerjisi üretimi için kullanılabilir enerji kaynağıdır ve enerji değeri standart şartlarda (0°C , 760 mmHg basıncı) 35,8 kJ/l’tir. Havalı sistemlerin işletilmesi esnasındaki yüksek enerji ihtiyacına karşın, havasız sistemlerde hem enerji sarfıyatı daha az olmakta, hem de sistem kullanılabilir enerji kaynağı üretmektedir.

Havasız sistemler çok yüksek organik yüklemelerde çalıştırılabilmektedir. Buna karşın, havalı sistemlerde oksijen transferi sınırlı olduğundan yüksek organik yükler uygulanamamaktadır. Bu durumda, KOI değeri 5000 mg/l’ten büyük olan atıksuların arıtılmasında havasız sistemlerin kullanılması daha verimli arıtma sağlamaktadır (Rittmann ve McCarty, 2001).

7.1.2 Havasız Arıtma Sistemlerinin Kısıtları

Havasız arıtma biyoteknolojisinin genel olarak olumsuz özellikleri Tablo 7.2’de verilmektedir. Havasız arıtmanın kısıtlarının başında mikroorganizmaların büyüme hızlarının düşük olması gelmektedir. Havasız arıtma için önemli olan metanojenlerin çoğalma hızları, havalı arıtmadaki mikroorganizmalara göre yarı yarıya daha azdır. Buna bağlı olarak, havasız proseslerde hem başlangıçta sistemin dengeye gelme süresi uzun olmakta, hem de olumsuz çevre şartlarından dolayı sistemde biyokütle kaybı yaşanması durumunda sistemin tekrar eski haline gelmesi uzun sürmektedir.

Tablo 7.2 Anaerobik Biyoteknolojisinin Olumsuz Özellikleri (4).

• Biyokütle gelişimi için uzun başlangıç evresinin gereksinimi • Seyreltik atıksularda yeterli alkalinitenin üretilmemesi • Bazı durumlarda çıkış suyunda istenilen standart değerlerin sağlanamaması • Seyreltik atıksuların arıtılması durumunda oluşan biyogaz miktarının az olması ve elde edilen enerjinin sistemi ısıtmaya yetmemesi • Aşırı sülfatlı atıksularda koku probleminin olması • Nitrifikasyonun mümkün olmaması • Metanojenlerin toksit maddelere ve çevre şartlarına aşırı duyarlı olması • Düşük sıcaklıklarda kinetik hızların daha da düşük olması • Biyokütlenin maksimum aktivitesi için gerekli olan azot konsantrasyonunun daha fazla olması
--

Havasız sistemlerin diğer bir olumsuz tarafı atıksuda sülfat bileşiklerinin olması durumunda ortaya çıkmaktadır. Sülfatların indirgenmesi veya proteinlerin parçalanması sonucu ortaya çıkan H_2S hem toksik, hem de korozif niteliktedir. Ayrıca, gazdaki H_2S istenmeyen kötü kokulara neden olmaktadır. Biyogazın yakılması durumunda H_2S ’nin SO_2 ’ye oksitlenmesi ile koku problemi azalmaktadır. Ancak, bu durumda da hava kirletici parametre olan SO_2 meydana gelmektedir. Bu nedenle, Havasız arıtmada H_2S oluşumu her zaman kontrol altında tutulmalıdır.

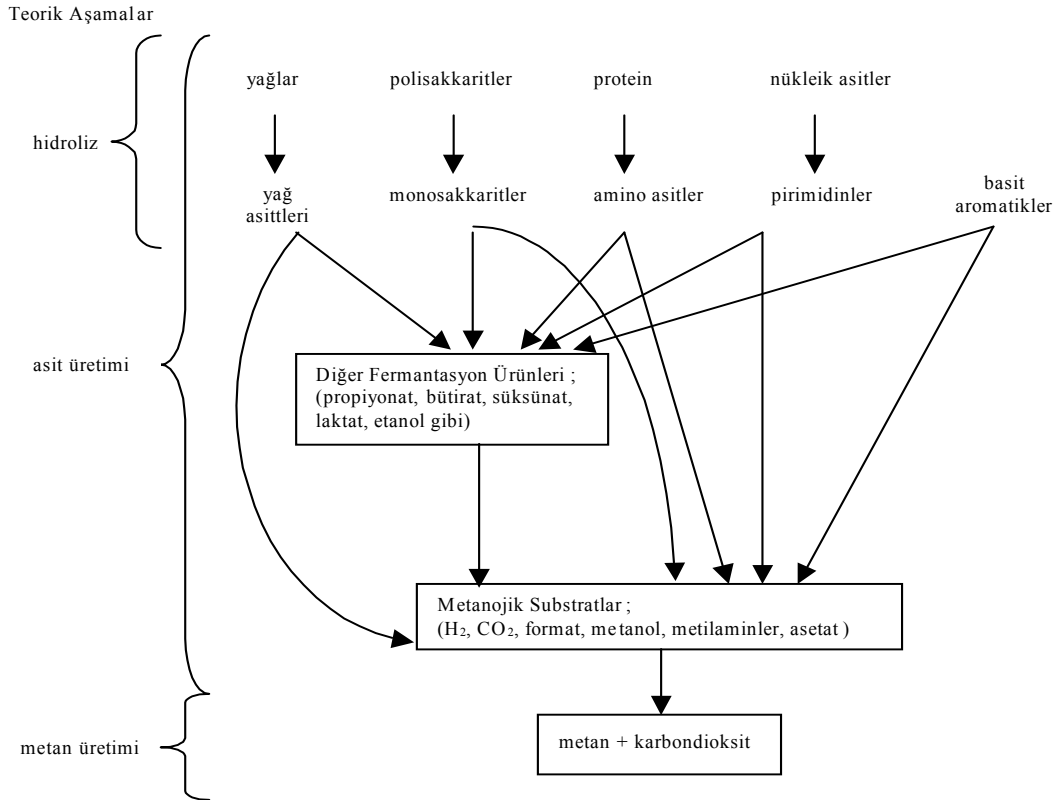
Anaerobik ayrışma esnasında ara ürün olarak organik asitlerin oluşması ortamın pH değerini sürekli düşürmektedir. Metan üreten bakterilerin yaşayabileceği pH aralığı 6,5 ile 8,0 olduğundan sistemde sürekli pH kontrolü yapılmalı ve tampon maddesi ilave edilmelidir. Havasız arıtmada bu ihtiyacın sağlanması havalı sistemlere göre hem daha hassas, hem de daha maliyetli olmaktadır.

Bunlara ek olarak, KOİ değeri 1000 mg/l’ten az olan seyreltik atıksuların havasız proseslerde arıtılması durumunda havalı sistemlere göre daha düşük arıtma verimi elde edilmektedir. Ancak, gelişmekte olan ülkelerde evsel atıksuların arıtılmasında havasız sistemler, istenilen çıkış standart değerleri elde edilememesine rağmen yukarıda belirtilen faydalar dolayısıyla kullanılmaktadır (Rittmann ve McCarty, 2001).

7.2. Havasız Arıtmanın Esasları

7.2.1 Mikrobiyolojik Prosesler

Havasız arıtma proseslerinde kompleks organik bileşiklerin metan gazına dönüştürülmesinde çeşitli tür ve özellikte mikroorganizma grupları yer almaktadır. Bu kompleks organiklerin havasız ayrıştırılması hidroliz, asit üretimi ve metan üretimi olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamalar Şekil 7.1’de gösterilmektedir.



Şekil 7.1 Anaerobik Proseslerdeki Karbon Dönüşümünün Şematik Gösterilmesi (6).

Birinci aşama olan hidroliz kademesinde, katı veya çözünmüş halde olan yağ, polisakkarit, protein ve nükleik asit gibi kompleks organik maddeler daha basit yapıya dönüştürülür. Hidroliz hızını etkileyen en önemli faktörler pH, sıcaklık ve çamur yaşıdır. Yağ, selüloz ve lignin gibi hidroliz hızı yavaş olan maddeler içeren atıksuların havasız arıtımında hidroliz kademesi hız sınırlayıcıdır.

Asit üretimi olan ikinci kademe ise asetojenik bakteriler birinci kademe hidroliz ürünlerini asetik, bütirik, izobütirik, valerik ve izovalerik asit gibi ikiden daha fazla karbonlu yağ asitlerine dönüştürürler. Kararlı şartlarda yağ asitleri konsantrasyonu oldukça düşük seviyelerdedir (100-300 mgHAc/l) (Öztürk, 1999). Kararlı olmayan şartlarda örneğin havasız reaktörün devreye alınması aşamasında uçucu asit konsantrasyonu 1000-1500 mg HAc/l'ye ulaşabilir.

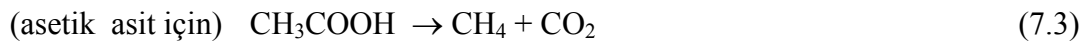
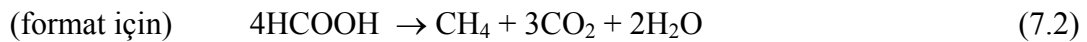
Üçüncü aşama olan metan üretimi kademesinde de diğer iki kademe de oluşan ürünler metan üreten bakterilerce metan gazına dönüştürülür. Metan üretimi yavaş bir süreç olup havasız arıtmada hız sınırlayıcı safhadır. Metan, asetik asidin parçalanması ve/veya H₂ ile

CO₂'in sentezi sonucu üretilir. Oluşan metanın yaklaşık %30'u H₂ ve CO₂'den, %70'i ise asetik asidin parçalanmasından oluşmaktadır. Hidrojenden metan oluşumu, hidrojenin elektron vericisi ve karbondioksitin elektron alıcısı olarak kullanılması ile gerçekleşmektedir. Asetattan metan oluşumu ise, fermantasyon reaksiyonları sonucu asetatin metil grubundan metanın, karboksil grubundan da karbondioksitin oluşması ile gerçekleşmektedir. Bu kompleks ve birbirlerine etki eden prokaryotik organizmalar literatürde temel olarak asit bakterileri ve metanojenler olarak tanımlanmaktadır.

Kompleks organiklerin metan gazına dönüştürülmesi esnasında proseslerde organik asit ve hidrojen oluşum hızı metan oluşum hızına göre daha hızlıdır. Bunun sebebi, ilk aşamada gerçekleşen fermantasyon reaksiyonlarında oluşan serbest enerjinin metan oluşumundakinden daha fazla olmasıdır. Bu nedenle, metanojenlerin çoğalma hızları düşüktür ve proseste hız kısıtlayıcıdır. Ancak, hidrolizi zor olan kompleks yapıdaki organikleri içeren atıksu veya çamurun ayrıştırılmasında hidroliz aşaması hız kısıtlayıcı aşama olmaktadır (Rittmann ve McCarty, 2001).

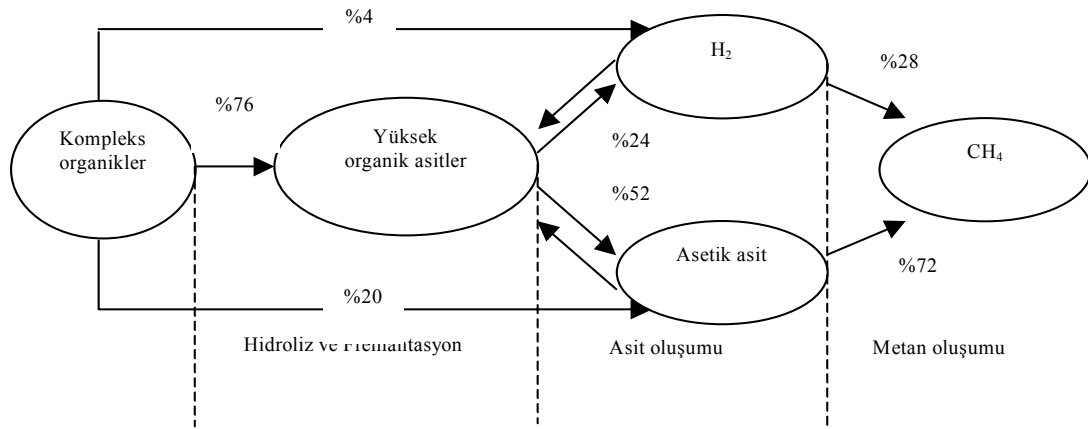
7.2.2 Mikrobiyolojik Yapı

Anaerobik bozunma prosesi süresince birbirleriyle etkileşim halinde olan mikroorganizmaların birinci grubu, organik polimer ve yağların, monosakkaritler ve amino asitler gibi daha basit ve temel yapılara hidrolizinden sorumludurlar. İkinci grup anaerobik bakteriler ise parçalanmış ürünleri organik asitlere dönüştürürler. Bu gruptaki mikroorganizmalar metanojik olmayan, fakültatif ve zorunlu anaerobik bakterilerdir. Bunlar literatürde “asitojenler” veya “asit üreticiler” olarak adlandırılırlar. Bu hidroliz ve fermantasyon bakterilerine *Clostridium spp.*, *Peptococcus anaerobus*, *Bifidobacterium spp.*, *Desulphovibrio spp.*, *Corynebacterium spp.*, *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Staphylococcus* ve *Escherichia coli* gibi örnekler verilebilir. Üçüncü grup mikroorganizmalar da temel olarak, hidrojen (H₂ + CO₂) ve asetik asitten, metan gazı ve CO₂ üretenlerdir. Diğer substrat kaynakları format, metanol ve metilaminlerdir. Bu mikroorganizmaların gerçekleştirdiği metan oluşum reaksiyonları aşağıda verilmektedir. Bu organizmalar anaerobiktirler ve “metanojenler (archaea)” veya “metan üreticiler” olarak adlandırılırlar. Bu organizmalarda, çubuksu olan *Methanobacterium* ve *Methanobacillus* ile küresel olan *Methanococcus* ve *Methanosarcina* proseste hakim durumdadır.



Havasız arıtma prosesleri içerisinde birbirleriyle ilişki halinde olan tüm bu mikroorganizmalar arasındaki enerji akımı şematik olarak Şekil 7.2'de gösterilmektedir. Sistem stabilitesinin amaçlanan şekilde elde edilebilmesi için yukarıda ifade edilmiş olan hidroliz, fermantasyon ve metanojenler birbirleriyle dinamik dengede olmaları gereklidir. Bu stabilitenin sağlanabilmesi temel olarak, ortamda oksijenin ve inhibe edici

kimyasalların bulunmamasına ve gerekli çevre şartlarının sağlanmasına bağlıdır. (Tchobanoglous ve Burton, 1991).



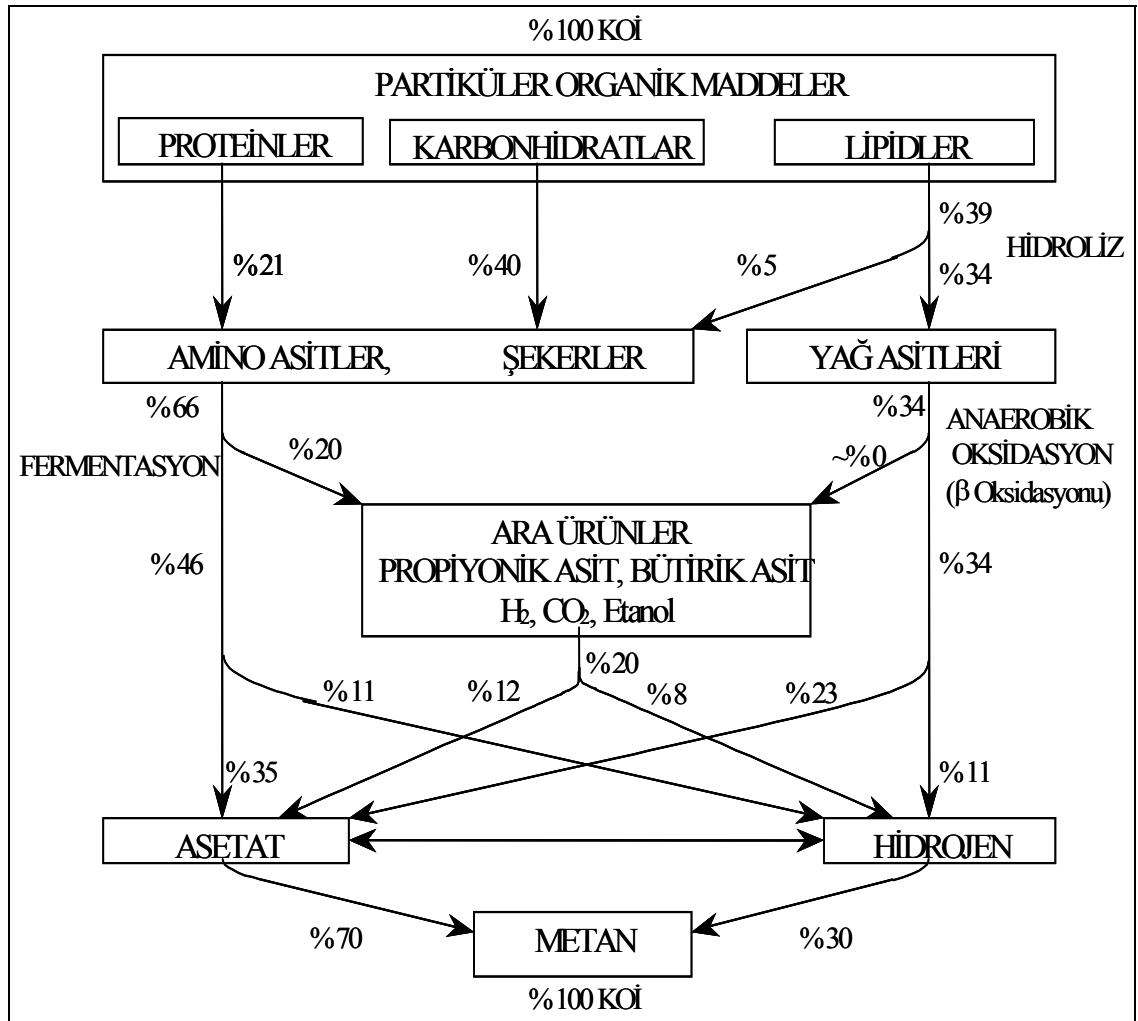
Şekil 7.2 Havasız Proseslerde Enerji Akımı (6)

7.2.3 Biyoreaksiyonlar

Havasız arıtma proseslerinde organik maddelerin parçalanması çok sayıda mikrobiyal populasyon ile gerçekleşmektedir. Bakteri türlerinin çok olması parçalanmadaki reaksiyon adımlarını da çeşitli ve kompleks hale getirmektedir. Parçalanma reaksiyonlarındaki adımların KOİ akım yüzdeleriyle gösterimi Şekil 7.3'te verilmektedir. Bu reaksiyonları sağlayan mikroorganizma populasyonlarının dağılımı substrat yapısına, proses süresince oluşan ara ürünlerin konsantrasyonlarına ve pH, sıcaklık, H₂ konsantrasyonu gibi çevresel şartlara bağlıdır. Biyoreaksiyon adımları şu şekilde tanımlanmaktadır:

- Polimerlerin monomerik organiklere hidrolizi hidrolitik mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Bu türler çözülmüş veya çözünmemiş halde bulunan yüksek moleküler ağırlıklı organik bileşiklerin indirgenmesini sağlayan enzimlere sahiptirler ve ürettikleri enzim türüne göre sınıflandırılırlar. Ortamda şeker veya amino asit birikmesiyle inhibe olurlar.
- Monomerik organik substratlardan hidrojen veya format, CO₂, pirüvat, uçucu yağ asitleri, etanol ve laktik asit gibi diğer organik ürünlerin oluşması fermentasyon bakterileri tarafından gerçekleştirilir. Bu reaksiyonlar bakterilerin bünyelerinde meydana gelmektedir.
- İndirgenmiş bileşiklerin H₂, CO₂ ve asetata oksidasyonu hidrojen üreten asitojenler (OHPAs) tarafından gerçekleştirilir.
- Bikarbonatların asitojenik solunumu homoasitojenlerce (HA) olmaktadır. Ancak bu bakteriler hidrojen tükettikleri için metanojenler ile rekabete girerler.
- Ortamda sülfat veya nitrat olması durumunda alkoller, bütirik ve propiyonik asitler gibi indirgenmiş bileşiklerin CO₂ ve asetata oksidasyonu sülfat indirgeyen (SRB) ve nitrat indirgeyen (NRB) bakteriler tarafından gerçekleştirilir.
- SRB ve NRB'ler asetatin karbondioksit oksidasyonunu gerçekleştirirler.

- SRB ve NRB'ler hidrojenin oksidasyonunda da rol oynarlar.
- Asetik asidin metana dönüşümü metanojenler tarafından sağlanır. Bunlar asetik asidi kullanarak metan üreten arkeleridir (AMA) ve en önemlileri *Methanothrix* ile *Methanosarcina* dır. Her iki mikroorganizmanın çoğalma hızları düşüktür ve ikilenme süreleri yaklaşık olarak 24 saattir. Ayrıca bunların aktiviteleri ortamdaki hidrojenin varlığına bağlıdır.
- Karbondioksitten metan oluşumu hidrojen kullanan metanojenler (HMB) tarafından gerçekleştirilen metanojik solunum ile olur. Bunlar AMA'lara göre daha hızlı çoğalırlar ve ikilenme süreleri 4 ila 6 saat arasındadır (Alvarez, 2003).



Şekil 7.3 Kompleks Maddelerin Biyoreaksiyon Adımları (1)

Yukarıda ifade edilen biyoreaksiyonların serbest enerji değerleri Tablo 7.3'te verilmektedir.

Tablo 7.3 Bazı Anaerobik Biyoreaksiyonların Serbest Enerji Değerleri (1).

	Reaksiyon	ΔG_0 , kJ
Oksidasyon Reaksiyonları		
propiyonat → asetat	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- + 3\text{H}_2$	+76,1
bütirat → asetat	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	+48,1
etanol → asetat	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	+9,6
laktat → asetat	$\text{CHCHOHCOO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	-4,2
laktat → propiyonat	$3\text{CHCHOHCOO}^- \rightarrow 2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$	-165
laktat → bütirat	$2\text{CHCHOHCOO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{HCO}_3^- + 2\text{H}_2$	-56
asetat → metan	$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{CH}_4$	-31
glikoz → asetat	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{HCO}_3^- + 4\text{H}^+ + 4\text{H}_2$	-206
glikoz → etanol	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 2\text{HCO}_3^- + 2\text{H}^+$	-226
glikoz → laktat	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{CHCHOHCOO}^- + 2\text{H}^+$	-198
glikoz → propiyonat	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{H}_2 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$	-358
Solunum Reaksiyonları		
HCO_3^- → asetat	$\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	-104,6
HCO_3^- → metan	$\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$	-135,6
sulfat → sülfid	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{HS}^- + 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{S}$	-151,9 -59,9
nitrat → amonyak	$\text{NO}_3^- + 4\text{H}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$ $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{NO}_3^- + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HCO}_3^- + \text{NH}_4^+$	-599,6 -511,4
nitrat → azot gazı	$2\text{NO}_3^- + 5\text{H}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	-1120,5

7.2.4 Mikroorganizmalar Arasındaki Karşılıklı İlişkiler

Havasız arıtmada 3 grup bakterinin ortak çalışması gerekmektedir. Asetat kullanan metanojenler fermantasyon bakterileri ile müşterek çalışarak asetik asit konsantrasyonunu ve pH değerini kontrol ederler. Asetat kullanan metanojenlerin çoğalma hızları fermantasyon bakterilerine göre daha yavaş olduğundan organik yükün artması durumunda asit üretimi istenilen düzeyde gerçekleşebildiği halde, metan üretimi aynı hızda olmayabilir ve reaktörde aşırı asit birikimi ile karşılaşılabilir.

Gaz fazındaki H_2 konsantrasyonunun artması halinde hidrojen kullanan bakterilerce CO_2 ve H_2 'den CH_4 üretimi azalmaktadır. Organik madde ani olarak verildiğinde fermantasyon

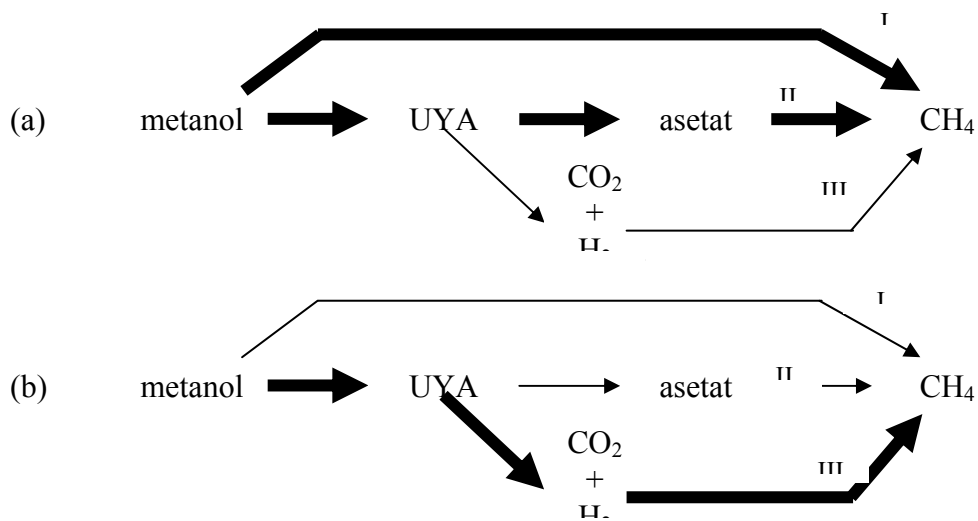
bakterileri bu şok yüke kısa sürede uyum göstererek asetik asit ve hidrojen gazı üretirler. Ancak, bu durum pH'yı düşürür ve metanojenlerin rol oynadığı reaksiyonların hızını yavaşlatarak ortamda H₂ birikmesine neden olur.

Kompleks organik maddelerin metana dönüştürülmesinde hidrojen üreten ve hidrojen kullanan mikroorganizmaların yine müşterek çalışması önemlidir. Buna göre, propiyonik asidin asetik asit ve hidrojene parçalanabilmesi için ortamdaki H₂'nin kısmi basıncının 10⁻⁴ atmosferi (100 mg/l) aşmaması gerekmektedir. Bu düşük basınç ortamında hidrojen kullanan metanojenler için gerekli enerji kısmi basıncın 1 atm olması haline göre önemli ölçüde azaltılmış olmakta ve sonuç olarak reaksiyon kolaylaşmaktadır. Diğer bir değişle birim hacim H₂'yi kullanmak için gerekli bakteri miktarı daha az olmaktadır. Bu nedenle, H₂ kullanan metan arkelerinin maksimum hızla faaliyeti için H₂ kısmi basıncının 10⁻⁴-10⁻⁶ atm aralığında tutulması büyük önem taşımaktadır (3).

Ortamda elektron vericisi olarak sülfatın bulunması durumunda, sülfat indirgeyen bakteriler aktif hale gelmektedir. Sülfatın sülfide indirgenmesi esnasında hidrojen kullanımı vardır. Bu durumda, sülfat indirgeyen bakteriler, metanojen ve homoasitojenlerle rekabete girerler. Ortamda H₂ konsantrasyonunun kısıtlı olması durumunda, rekabet halinde olan bu bakterilerin aktiviteleri, sülfatindirgeyenler>metanojenler>homoasitojenler şeklinde sıralanmaktadır ve prosesteki biyolojik denge bozulmuş olur (7).

7.2.5 Metanojen Populasyonun pH ile Değişimi

Anaerobik arıtmada pH temel proses kontrol parametrelerindendir. Metanojenler pH değişimine hassastırlar ve buna bağlı olarak da, metan üretimindeki reaksiyonları değişiklik göstermektedir. Metan gazının hidrojen veya asetik asit kullanılarak meydana gelme yüzdeleri en ufak pH değişimi ile farklılık gösterir. Biyoreaksiyon adımlarındaki bu değişim Şekil 7.4'te verilmektedir. Burada pH'nın $\approx 7,0$ değeri ve pH'nın 5,0-6,0 aralığındaki değerleri için metanolün parçalanma reaksiyonlarındaki baskın adımlar gösterilmektedir.



Şekil 7.4 Metanolden Metan Üretimi (a) pH $\approx 7,0$ için, (b) pH=5,0-6,0 için (8)

Metanolden metan üretimi aşamalarında pH $\approx 7,0$ değeri için I. ve II. adımların baskın olduğu ve ortamda asetik asit birikiminin yaşanmadığı belirlenmiştir. Buna karşılık olarak,

pH=5,0-6,0 aralığında ise metan oluşumunda hidrojen kullanan metanojenlerin daha aktif olduğu görülmüş. Sonuç olarak, ortamda asetik asit birikmesi gözlenmiş ve bunun nedeninin düşük pH değerlerinde asetik asitten metan oluşumunu sağlayan metanojenlerin aktivitesinin düşmesi olduğu saptanmış. (8).

7.2.6 Biyogaz Üretimi

Havasız arıtma prosesinde son ürün olarak üretilen metanın KOİ eşdeğeri aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanabilir:



Denkleme göre standart şartlar altında (0°C, 1atm basınçta) 1 mol CH₄ 'ın (22.4 litre) oksidasyonu için 2 mol (64gr) O₂ gereklidir. Standart şartlarda giderilen 1 gr KOİ için 0.35 l CH₄ üretilir. Bu miktar, 35°C sıcaklık ve 1atm basınçta 0.395 l CH₄/gr KOİ_{gid} 'e tekabül etmektedir.

Mezofilik işletme şartlarında endüstriyel ölçekli havasız arıtma tesislerinde 0.2-0.5 m³ gaz/kg KOİ (giderilen) mertebesinde biyogaz oluşmaktadır. Biyogazın enerji değeri 6.5-8 kw-sa/m³ olup, %65-80 oranında metan içermektedir (Tablo 7.4). Yakma ekipmanında ortalama verim %80 alınarak, giderilen 1kg KOİ'nin enerji değeri:

0.3 x 0.80 x (6.5~8) ≈ 1.56-1.92 kw-h olarak bulunur.

Tablo 7.4 Çeşitli atıklardan üretilen biyogazların CH₄ içeriği ve enerji içerikleri

Biyogaz tipi	CH ₄ %	Enerji içeriği kw-sa/m ³
Çamur çürütücü	60-70	6-7
Havasız endüstriyel atıksu arıtma tesisi gazı	50-85	5.8.5
Çiftlik atıklarının havasız arıtımından çıkan gaz	55-75	5.5-7.5
Çöp depolama sahası gazı	35-55	3.5-5.5

Enerji dönüşüm verimi klasik içten yanmalı motorlarda %30, gaz türbinlerinde ise %50 civarındadır.

7.2.7 Havasız Arıtmada Alkalinite İhtiyacı

CO₂ kısmi basıncı ile ortamdaki karbonat konsantrasyonu arasında (7.8) daki ilişki vardır.

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] = k_H \cdot P_{\text{CO}_2} \quad (7.8)$$

$$k_1 = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}^+]}{\text{H}_2\text{CO}_3} \quad (7.9)$$

$$[\text{H}^+] = \frac{k_1 k_H P_{\text{CO}_2}}{\text{HCO}_3^-} \quad (7.10)$$

T=35°C de:

$$\begin{aligned} \text{Iyonik güç (IG)} &= 0.2 \text{ için } k_1 = 10^{-6} \\ \text{IG} &= 0 \text{ için } k_1 = 0.48 \times 10^{-6} \\ k_H &= 0.0246 \text{ mol/l-atm} \\ [H^+] &= 12.8 \times 10^{-4} [P_{CO_2}/BAlk], \text{ IG} = 0.2 \\ [H^+] &= 6.2 \times 10^{-4} [P_{CO_2}/BAlk], \text{ IG} = 0.0 \end{aligned}$$

Toplam alkalinite bikarbonat alkalinitesi ve uçucu asit alkalinitesi arasında (7.10) da verilen bağıntı geçerlidir:

$$TA = B.Alk + (0.83)(0.85)TUA \quad (7.11)$$

Burada:

B.Alk : bikarbonat alkalinitesi, mgCaCO₃/l,
TUA : toplam uçucu asit alkalinitesi, mgHAc/l,
0.85 : pH=4 de titre edilen TUA'nin %85 ini
0.83 : CaCO₃(e.a)/HAc(e.a)=50/60
e.a : eşdeğer ağırlık

TUA alkalinitesi H₂CO₃'ün tamponlanmasında katkı sağlar, ancak iyonize olmamış uçucu asitlerin tamponlanmasında yetersiz kalır. Bu yüzden TUA alkalinitesinin tampon etkisi ihmal edilir. Bikarbonat alkalinitesi önem taşır. Bikarbonat alkalinitesi hesaplanırken asit titrasyonu pH = 4.0-4.2 yerine 5.8 de kesilir. Bu pH'da B.Alkalinitesinin %80'i, TUA alkalinitesinin ise çok küçük bir kısmı titre edilmiş olur.

Havasız reaktörlerde pH>6.2-6.5 ise belli miktarda rezerv alkalinite vardır. Rezerv alkalinite sadece B.Alkalinitesini yansıtır.

Havasız sistemlerde alkalinite ihtiyacını azaltmak üzere:

- Arıtılmış su geri devri,
- Üretilen biyogazın bünyesindeki CO₂' in alkali sıvı çözeltilerde (kireç, kostik) absorblandıktan sonra reaktör tabanından geri beslenmesi,
- Termofilik şartlarda işletme,
- Faz ayrımı,

gibi yöntemler uygulanır.

7.2.8 Sülfatın Havasız Arıtmaya Etkisi

Bazı endüstriyel atıksularda ve evsel atıksularda bulunan sülfat iyonları havasız arıtım sırasında sülfür iyonlarına dönüşür. Sülfür iyonlarının havasız arıtımı inhibe etmesi yanı sıra, arıtma ekipmanlarında korozyona ve kokuya yol açması sebebiyle sülfat içeren atıksuların havasız ayrıştırılması sırasında dikkatle izlenmelidir.

Havasız ayrışma sırasında ortamdaki sülfat iyonları sülfat indirgeyen bakterilerin (SRB) artmasına neden olur. Sülfat indirgeyen bakteriler metan indirgeyen bakterilerle aynı substrat için (H₂ ve asetat) yarışır. Sülfatın asetik asit kullanarak hidrojen ve sülfüre dönüşümü reaksiyonu(6):



Genel reaksiyon ise (7.8) deki gibi yazılabilir:



Sülfat indirgeyici bakteriler asetat dışında şekerler, alkoller, poliol, gliserol, amino asitler, fenolik bileşikler, propiyonik asit, peynir altı suyu, laktik asit, sitrik asit, ve evsel atıksu gibi substratları da kullanırlar (5,6,7,8).

Sülfat indirgenmesinden dolayı iki tür inhibisyon olur (4): 1) substrat için rekabetten dolayı, 2) Çözünmüş sülfür iyonlarının metanojenlerin hücre fonksiyonlarını etkilemelerinden dolayı olan inhibisyon.

Sıvı fazda ortam pH ına bağlı olarak H_2S , S^{2-} ve H^+ iyonları arasında bir denge vardır.



Nispeten asidik ortamda S ün büyük bölümü daha az toksik olan H_2S halindedir. Atıksudaki $KOI/SO_4 > 10$ ise oluşan sülfürün büyük bölümü H_2S formunda ve gaz fazda, $KOI/SO_4 < 10$ ise oluşan sülfürün büyük bölümü S^{2-} formunda ve sıvı fazda bulunur. Havasız arıtılmış su çıkışındaki S^{2-} ani oksijen ihtiyacına yol açacağından arıtılmış suyun yüzey sularına deşarjında dikkate alınmalıdır.

7.3 Havasız Arıtma Teknolojileri

Havasız reaktörler üst kısmı kapalı ve hava ile temas olmayacak şekilde inşa edilirler. Tank içerisinde karışım atıksuyun tabandan beslenmesi, oluşan biyogazın hareketi veya geri devri, mekanik karıştırıcılar ve çamur geri devri yoluyla sağlanmaktadır. Ayırışmanın daha hızlı ve tam olması için reaktör ısıtılır. Bunun için gerekli olan enerji, proses esnasında oluşan biyogazdan sağlanabilmektedir. Tüm reaktörlerde sıvı-katı-gaz fazlarının birbirlerinde ayrılması amaçlanmaktadır (2).

7.3.1 Havasız Reaktör Tipleri

Anaerobik reaktör tipleri; mikroorganizmaların askıda çoğaldığı reaktörler ve biyofilmlili reaktörler olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.

7.3.1.1 Askıda Çoğalan Sistemler

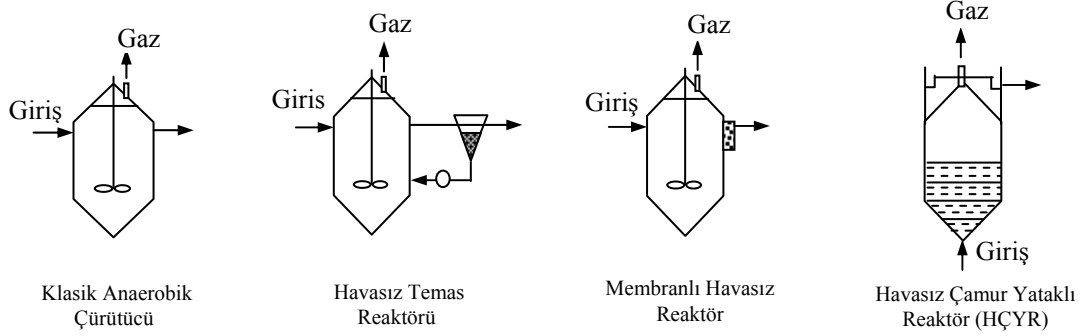
Askıda çoğalan sistemlerin başlıca uygulamaları:

- Klasik Havasız Çürütücüler
- Havasız Temas Reaktörleri
- Membranlı Havasız Reaktörler
- Havasız Çamur Yataklı Reaktörler'dir.

Bu sistemlerin reaktör tipleri Şekil 7.5'te verilmektedir.

Klasik anaerobik çürütücüler; tam karışım ve geri devirsiz reaktörlerdir. Geri devirsiz olduklarından çamur yaşı hidrolik bekletme süresine eşittir. Yavaş çoğalan metan arkelerinin sistemden yıkanmaması için çamur yaşı en az 10 gün olmalıdır. Bu nedenle, 15-20 günlük hidrolik bekletme sürelerinde işletilirler ve buna bağlı olarakta, reaktör hacimleri

büyüktür. Hem hacmin büyüklüğü, hem de çıkış suyundaki askıda katı madde konsantrasyonunun yüksekliği bu sistemlerin en önemli mahzurlarındandır. Uygulamada, atıksuların arıtılmasından ziyade arıtma çamurlarının çürütülmesi için kullanılırlar.



Şekil 7.5 Askıda Çoğalan Reaktör Tipleri (3)

Havasız temas reaktörleri, klasik anaerobik çürütücülere çöktürme tankı ilavesi ile geliştirilmiştir. Çöktürme tankının olması, sisteme geri devir yapılabilmesini mümkün kıldığından daha uzun çamur yaşlarında işletilebilirler. Böylece, hidrolik bekletme süresi azaltılarak reaktör hacimleri küçültülmektedir (3). Bu sistemlerde yaşanan en önemli problem çamurun çöktürülmesidir. Çöktürme tankına çıkış suyu ile aktarılan biyokütle çöktürme esnasında da biyogaz oluşturmaya devam eder ve çöktürme istenilen etkinliğe ulaşamaz (5). Çöktürme verimini arttırmak için vakumlu gaz ayırıcı, termal şok veya plakalı çöktelticiler kullanılmaktadır.

Membranlı havasız reaktörlerde ana reaktör tam karışımli bir anaerobik reaktör olup katı madde ayrımı için çöktürme yerine ultrafiltrasyon birimi kullanılır. Membran üzerinde akarken suyu alınan biyokütle sisteme geri döndürülerek çamur yaşı istenilen seviyede tutulmaktadır. Genelde KOİ değeri 10000 mg/l'tin üzerindeki konsantrasyon ve debisi küçük endüstriyel atıksular için uygun sistemlerdir.

Havasız çamur yataklı reaktörlerde (HÇYR) arıtma, reaktörün alt kısmındaki granüler çamur yatağı ile bunun üst kesimindeki çamur örtüsünde gerçekleşir. Beslenen atığın organik madde muhtevasına bağlı olarak kuvvetli atıklarda çamur yatağı, seyreltik atıklarda ise çamur örtüsü arıtmada ağırlıklı rol oynamaktadır (3). Reaktöre atıksu tabandan, uygun yukarı akım hızında verilerek reaktörde çamur yatağının genişlemesi sağlanır ve bunun sonucu olarak, granüler çamur ile atıksuyun teması artırılmış olur. Çamur yatağının genişlemesi ile etkin çökelmenin birlikte sağlanabilmesi için gerekli akım hızı 0,5-3 m/saat'tir. Ancak, gerekli karışımın sağlanamadığı durumlarda bu değer 6,0 m/saat'e kadar artırılabilir (15). Yapılan araştırmalar sonucunda, granüler çamur oluşumunun 15 mg/l'te Ca^{2+} ile artırılabilir ve 5-10 mg/l'te Fe^{2+} ilavesi ile de filamentli bakterilerin oluşumunun engellenebileceği bulunmuştur. Stabilitesi sağlanmış reaktörün çamur yatağında 100-150 gr/l konsantrasyonlarında çamur olabilmektedir. Bu da, yüksek organik yüklemelerde çalışmayı mümkün kılmaktadır. Pilot tesislerde yapılan çalışmalarda, 15-40 kg KOİ/m³-gün aralığındaki yüklemelerde 3-8 saatlik bekletme süreleri ile etkin giderme verimlerinin sağlanabileceği tespit edilmiştir.

HÇYR sisteminde anaerobik ayrışma atıksu çamur yatağından yukarı çıkarken gerçekleşir ve biyogaz üretimi olur. Oluşan biyogaz reaktörün sıvı-katı-gaz ayırıcı birimine ulaştığında ortamdan ayrılır. Bu esnada, yukarı ulaşan biyokütle de sıvı fazdan ayrılarak tekrar çamur yatağına döner ve çıkışta katı madde gözlenmez (14).

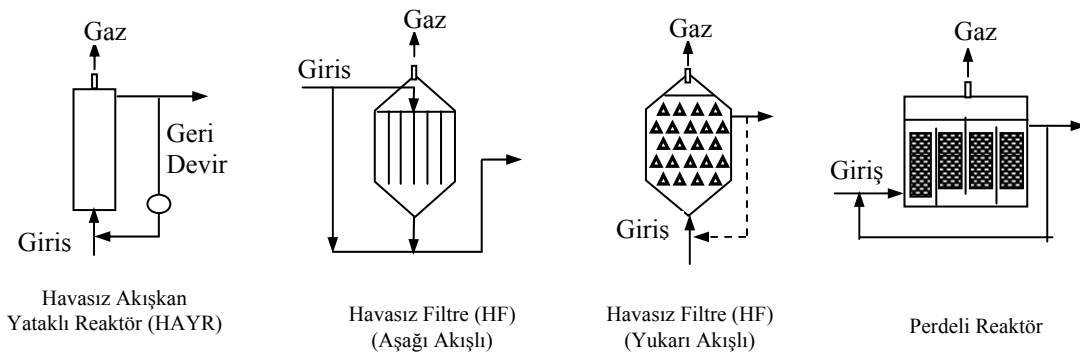
Reaktörün proses stabilitesi, çamur çökmesinde yaşanan problemlerden veya granüler çamurun aktivitesinin düşmesinden kolayca etkilenmektedir. Çamurun çökmesinde yaşanan problemler çamur yatağının homojenliğini bozar ve çamurun aşırı kabarak kaçmasına neden olur. Atıksu içerisindeki inorganik yapının artması ise granüler çamurun aktivitesinin düşmesine neden olabilmektedir. Ayrıca, giriş suyunda askıda katı madde ve yağ muhtevasının artması tıkanma, çamur yatağında kanallanma ve köpük oluşumu gibi işletme problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (15).

7.3.1.2 Biyofilm Sistemleri

Biyofilm sistemlerinin başlıca uygulamaları:

- Havasız Akışkan Yataklı Reaktörler (HAYR)
- Havasız Filtreler (HF)
- Havasız Döner Diskler
- Perdeli Reaktörler'dir.

Bu sistemlerin reaktör tipleri Şekil 7.6'da verilmektedir.



Şekil 7.6 Biyofilm Sistemlerinin Reaktör Tipleri (3)

Havasız akışkan yataklı reaktörlerde (HAYR) biyokütle akışkan haldeki, 0,1-0,6 mm çaplı kum, antrasit, aktif karbon gibi ince tanecikli yatak malzemesi üzerinde tutunur. Akışkan haldeki yatak malzemesinin üzerinde 30000 mg/l gibi yüksek konsantrasyonlarda biyokütle tutulabilmektedir. HAYR'ler 40-60 kg KOİ/m³-gün gibi yüksek organik yükler uygulanabilen ve hidrolik bekletme süresi 1,5-3 saate kadar indirilebilen sistemlerdir. Bunların en büyük mahzuru, yatağın akışkan tutulabilmesi için gerekli olan geri devirdeki terfi maliyetidir.

Havasız filtreler; içerisinde kırma taş veya plastik dolgu malzemesi bulunan reaktörlerdir. Yukarı veya aşağı akışlı olarak işletilebilirler. Dolgu malzemesi bakterilerin tutunması için yüzeyi arttırır. Bununla birlikte, yapılan çalışmalar sonucunda, filtre içerisindeki mevcut biyokütlenin takriben %60'ının filtre malzemesinin boşluklarında olduğu ve arıtmanın büyük bir kısmının burada gerçekleştiği tespit edilmiştir. 100,000 mg/l konsantrasyonlarında biyokütle filtre içinde tutulabilmektedir. Çeşitli inhibitörler karşısında biyokütle kaybı sınırlı olup, sistemin yeni durumlara uyum sağlaması daha rahat

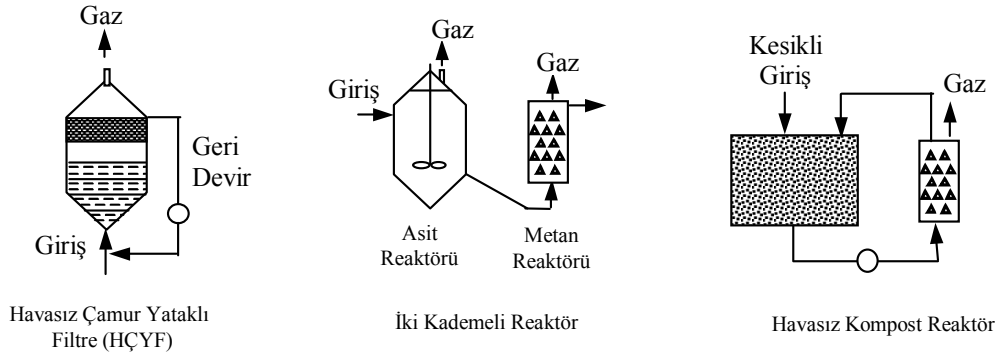
olabilmektedir. Buna karşılık olarak, biyofilm teşekkülünün zaman alması, yüksek oranda askıda katı madde ihtiva eden atıksularda tıkanma, kanallanma ve kısa devre ihtimalleri oluşu ve özellikle dolgu malzemesinin pahalı olması bu reaktörlerin önemli mahzurlarındandır (3).

7.3.1.3 Diğer Sistemler

Farklı olarak uygulanan diğer reaktör tiplerinin başlıcaları:

- Hibrid Filtreler
- İki Kademeli Reaktörler
- Havasız Kompost Reaktörleri'dir.

Bu uygulama tipleri Şekil 7.7'de verilmektedir.



Şekil 7.7 Uygulanan Diğer Reaktör Tipleri (3)

Hibrid filtreler; alt kısım havasız çamur yatağı üst kısım ise havasız filtre olarak teşkil edilir. Filtre kısmındaki dolgu malzemesi yüksekliği 2 m'den az olmayacak şekilde filtre kısmını toplam hacmin %50-70'ini kapsamalıdır. Bu reaktörlerde biyolojik arıtmanın büyük kısmı çamur yatağında gerçekleşir. Üst kısımdaki filtre yapısı sıvı ve katı fazlarının ayrımını sağlar ve biyokütle kaçışını engeller. Ancak son uygulamalarda dolgu malzemesi içinden geçen biyogazdan dolayı çökelmede istenilen etkinliğin sağlanamadığı saptanmıştır. Bu nedenle, dolgu kısmının reaktör dışında ayrıca teşkilinin daha faydalı olacağı belirtilmiştir. Havasız çamur yataklı filtrenin 5-10 kgKOİ/m³-gün'lük organik yüklerde başarıyla çalışan birçok kurulu örneği bulunmaktadır.

İki kademeli reaktörlerde, asit ve metan üretimi ayrı reaktörlerde gerçekleştirilir. Faz ayrımının uygulanmasıyla havasız arıtmada organik yükün %50'ye yakın oranda arttırılması mümkündür. Böyle bir uygulama ile toplam hacimde %30-40 oranında bir küçülme sağlanabilmektedir. Tam karışimli bir havasız tank veya derin havasız lagün asit reaktörü olarak kullanılabilir (3).

Havasız reaktörlerin, tek veya iki kademeli işletmelerine göre genel karşılaştırılması Tablo 7.5'de verilmektedir.

Tablo 7.5 Tek ve İki Kademeli İşletmenin Mukayesesi (3)

	Tek Kademeli	İki Kademeli
Üstünlükleri	- o Daha az yatırım maliyeti - o İşletme ve kontrol kolaylığı	- o Daha hızlı işletmeye alma - o Prosesin daha kararlı olması - o Arıtma veriminin daha yüksek oluşu - o Katı organik maddelerin daha iyi ayrışması - o
Kısıtları	- o Daha uzun sürede işletmeye alma - o Daha kararsız proses - o Organik yük değişimlerine daha hassas oluşu	- o Daha yüksek yatırım maliyeti - o Kontrolün daha zor oluşu - o Dikkatli pH kontrolü gerekliliği

7.3.2 Havasız Reaktörlerin Karşılaştırılması

Hacimsel organik yükü olabildiğince yükseltilmesi havasız reaktör hacminin küçültülmesi ve karşılaşılan problemlerin giderilmesi için geliştirilen havasız arıtma sistemlerinin organik yük ve KOİ giderme verimleri bakımından karşılaştırılmaları Tablo 7.6'da verilmektedir.

Tablo 7.6 Havasız Arıtma Sistemlerinin, Organik Yük ve Verim Bakımından Karşılaştırılması (3)

Reaktör Tipi	Organik Yük (kg KOİ/m ³ -gün)	KOİ Giderme Verimi %
Havasız Temas Reaktörü	1-6	80-95
Havasız Filtre	1-18	80-95
Havasız Akışkan Yataklı Reaktör	1-60	80-90
Havasız Çamur Yataklı Reaktör	5-15	85-95
Membranlı Havasız Reaktör	1-30	85-95

Endüstriyel atıksuların arıtımı uygulamalarında yaygın olarak kullanılan havasız çamur yataklı reaktörlerde, havasız filtrelerde ve havasız akışkan yataklı reaktörlerde yaşanan en önemli işletme sorunları Tablo 7.7'de verilmektedir. Ayrıca, yaygın olarak kullanılan reaktörlerin genel avantajları ve kısıtları Tablo 7.8'de belirtilmektedir.

Tablo 7.7 HÇYR, HF ve HAYR Sistemlerinin Başlıca İşletme Sorunları (3)

HÇYR	HF	HAYR
Yatak genişmesinin kontrol gücü Değişken giriş suyu özelliklerine bağlı proses stabilitesi sorunu Şok yüklerde biyokütle kaybı İnert katı madde birikimi Biyokütle yüzmesi	Giriş akımının üniform dağıtma zorluğu Yatakta tıkanma ve kanallanma riski Filtrenin periyodik olarak geri yıkanma gereği İnert katı madde birikimi Çıkışta AKM ayırma (çökeltme) ihtiyacı	Yatak genişmesini kontrol gücü Giriş akımının üniform dağıtma gücü Biyopartikül kaçı Akışkanlaşma özelliklerinin değişkenliği Biyofilm kopması Vanalarda arıza Sürekli geri devir Gereği

7.4 İşletmeye Alma ve Proses Kontrolü

Havasız arıtma süreçlerinde birçok faktör arıtma verimini etkilemektedir. Bunlar; hidrolik bekleme süresi (HBS), çamur yaşı ve hacimsel organik yükleme (L_v) gibi yükleme faktörleri, sıcaklık, pH, besi maddesi, toksit maddeler gibi çevresel faktörler veya karıştırma ve atıksu özellikleri gibi işletme faktörleridir (16). Bunlara bağlı olarak, proses kontrolünün hassas ve zor oluşu, işletmeye alma süresinin uzun olması anaerobik sistemlerin yaygın olarak kullanılmasını engellemektedir (3).

7.4.1 Çevre Şartları

7.4.1.1 İşletmeye Alma

Başarılı işletmeye alma aşaması ve uygun işletilme ile anaerobik sistemler mikrobiyal olarak dengeye gelir ve stabil verimler elde edilir. Bu dengenin kurulması öncelikle uygun aşının kullanılmasıyla olur. Daha sonra, işletmeye alma süresince organik asit oluşumunun ve pH'nın sürekli kontrolü gereklidir (5).

Düşük hızlı reaktörlerde ($L_v = 1-5 \text{ kgKOİ/m}^3\text{-gün}$) işletmeye alma süresi daha düşük biyokütle konsantrasyonlarında ve daha kısa sürelerde tamamlanır. Buna karşılık olarak, yüksek hızlı ($L_v = 5-25 \text{ kgKOİ/m}^3\text{-gün}$) havasız sistemler için daha yüksek reaktör biyokütle konsantrasyonlarına ihtiyaç vardır. İşletmeye alma süresini etkileyen başlıca faktörler Tablo 7.9'da verilmektedir. Organik madde miktarının biyokütle konsantrasyonuna oranı (F/M) $0,5-1 \text{ kgKOİ/kgUKM-gün}$ için düşük ve yüksek hızlı havasız reaktörlerde olması gerekli aktif biyokütle konsantrasyonları sırasıyla $2000-10000 \text{ mg/l}$ ve $10000-50000 \text{ mg/l}$ aralıklarında kalmalıdır. Düşük biyokütle sentezi (Y), aşı özellikleri ve biyokütle birikme verimine bağlı olarak yüksek hızlı havasız sistemlerde kararlı mikrobiyolojik denge haline ulaşılabilmesi için, 1-12 aylık süreler gereklidir. Termofilik reaktörlerde, Y değerleri daha da düşük olduğundan bu süre bir yıla ulaşmaktadır.

Tablo 7.8 Havasız Reaktörlerin Üstünlük ve Kısıtları (16)

	Avantajları	Kısıtları
Havasız Klasik Çürütücü	✓ Farklı atıksular için uygundur ✓ Yüksek askıda katı madde içeren atıksularda etkili olarak uygulanır ✓ Tam karışım ile homojen ortam kolaylıkla sağlanır ✓ Verim çamur stabilitesine bağlı değildir ✓ Özellikle biyolojik çamurda etkili arıtım sağlar	• Geniş reaktör hacmi gerekli • Parçalanamayan organik madde girişi ile çıkış kalitesi düşer • Aşırı biyokütle olması çıkış katitesini düşürür • Düşük çamur yaşmalarında stabilite ve verim çok düşer • Mekanik karıştırıcı gerekli
Havasız Reaktörü	✓ Konsantre atıksular için uygundur ✓ Tam karışım ile homojen ortam kolaylıkla sağlanır ✓ Diğerlerine göre daha yüksek kaliteli çıkış suyu elde edilir ✓ Klasik havasız çürütücüye göre reaktör hacmi azdır ✓ Özellikle biyolojik çamurda etkili arıtım sağlar ✓ Proses kontrolü kolaylıkla yapılır	• Biyokütle stabilitesi etkin verim için kritiktir • Sistem mekanik olarak komplekstir • Düşük hidrolik bekletme sürelerinde stabilite sağlanamaz
Havasız çamur reaktör	✓ Yüksek biyokütle konsantrasyonları ve uzun çamur yaşları sağlanır ✓ Yüksek hacimsel organik yükleme yapılabildiğinden hacimleri çok daha azdır ✓ Yüksek kalitede çıkış sağlanır ✓ Mekanığı kolaydır ✓ Etkin karışmış sağlanır	• Verim granüler çamur oluşumuna bağlıdır • Atıksu askıda katı madde içerirse çok düşük yüklerde çalışılır • Deneyime bağlı olarak reaktör tipi değişir • Proses kontrolü tam sağlanamaz • Düşük hidrolik bekletme sürelerinde stabilite sağlanamaz
Havasız akışkan reaktör	✓ Yüksek biyokütle konsantrasyonları ve uzun çamur yaşları sağlanır ✓ Yüksek hacimsel organik yükleme yapılabildiğinden hacimleri çok daha azdır ✓ Çok iyi kütle transferi mevcuttur ✓ Yüksek kalitede çıkış sağlanır ✓ İnşa alanı ihtiyacı çok azdır ✓ Verim granüler çamur oluşumundan bağımsızdır ✓ Etkin karışım sağlanır ✓ Proses kontrollüdür	• Uzun başlangıç evresi gerekli • Çamur yatağının akışkanlaşması ve genleşmesi için yüksek enerji gereklidir • Mekaniksel olarak komplekstir • Dolgu malzemesi maliyeti vardır • Düşük hidrolik bekletme sürelerinde stabilite sağlanamaz
Havasız filtre	✓ Yüksek biyokütle konsantrasyonları ve uzun çamur yaşları sağlanır ✓ Yüksek hacimsel organik yükleme yapılabildiğinden hacimleri çok daha azdır ✓ Yüksek kalitede çıkış sağlanır ✓ Mekanığı kolaydır ✓ İnşa alanı ihtiyacı çok azdır ✓ Verim granüler çamur oluşumundan bağımsızdır ✓ Etkin karışım sağlanır	• Askıda katı madde birikimi verimi düşürür • Yüksek askıda katı madde içeren atıksular için uygun değildir • Proses kontrolü tam sağlanamaz • Dolgu malzemesi maliyeti vardır • Düşük hidrolik bekletme sürelerinde stabilite sağlanamaz
Hibrid filtre	✓ Yüksek biyokütle konsantrasyonları ve uzun çamur yaşları sağlanır ✓ Yüksek hacimsel organik yükleme yapılabildiğinden hacimleri çok daha azdır ✓ Yüksek kalitede çıkış sağlanır ✓ Mekanığı kolaydır ✓ İnşa alanı ihtiyacı çok azdır ✓ Verim granüler çamur oluşumuna az da olsa bağlıdır	• Askıda katı madde içeren atıksularda düşük yükler uygulanır • Proses kontrolü tam sağlanamaz • Düşük hidrolik bekletme sürelerinde stabilite sağlanamaz

Tablo 7.9 İşletmeye Alma Süresini Etkileyen Faktörler (3)

• Hedeflenen organik yük ve/veya biyokütle konsantrasyonu • Aşı çamurunun reaktörde kalan kısmının oranı • Biyokütle birikme verimi • Giren atığın biyokütleye dönüşüm verimi

Anaerobik sistemlerin işletmeye alınma devresinde karşılaşılan esas problem arıtılacak atıksuya uygun mikroorganizma topluluğunun yetiştirilememesidir. Uygun nitelikte aşı olması halinde süreler azalır. İstenilen özellikte aşı yok ise evsel atıksu arıtma tesisi çürütücülerinden veya İmhoff tankından alınan çamurla ve hayvan gübresi ile aşılama yapılabilir. Böyle durumlarda alıştırma devresi 2-3 ay sürebilir. Metanojenlerin çoğalma hızının düşük olması nedeniyle sistemin, arzu edilen organik yüklerde, kararlı işletme durumuna ulaşması 4-8 ay alabilir. Termofilik sistemlerde bu süre daha da uzamaktadır. Yeterli miktarda uygun aşı varsa anaerobik reaktörler 30-45 gün içinde kararlı işletme şartlarına ulaştırılabilir.

Yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktörlerde, granüle aşı kullanılmaması halinde 1-2 kgKOİ/m³-gün'lük organik yükü sistem alıştırılmaya başlanır. Reaktördeki toplam uçucu asit (TUA) konsantrasyonu 1500 mg/l't'i geçmeyecek şekilde organik yük kademeli olarak 20-30 gün sonra 5 kgKOİ/m³-gün'e çıkartılır. Yüksek biyolojik aktivitesi olan ağır granüler çamur elde edilebilmesi için organik yükün 5 kg/m³-gün'den fazla olması gerekmektedir. Normal şartlarda, atığın türüne de bağlı olmakla birlikte 40 gün sonunda bu yüke ulaşılabilir.

Anaerobik reaktörlerde işletmeye alma süresinin kısaltılabilmesi için bu dönemdeki biyokütle kaybının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yüksek oranda geri devir uygulanabilir veya sistemi terkeden biyokütle, geçici olarak tesis edilen bir ultrafiltrasyon biriminde tutularak reaktöre geri döndürülebilir (3).

7.4.1.2 Optimum Çevre Şartları

Havasız arıtmayı gerçekleştiren mikroorganizma topluluğunun kapasitesinden en verimli şekilde yararlanabilmek için reaktörde optimum çevre şartlarının sağlanması gerekir. Anaerobik mikroorganizmalar için optimum çevre şartlarının genel değerlendirilmesi Tablo 7.10'da verilmektedir.

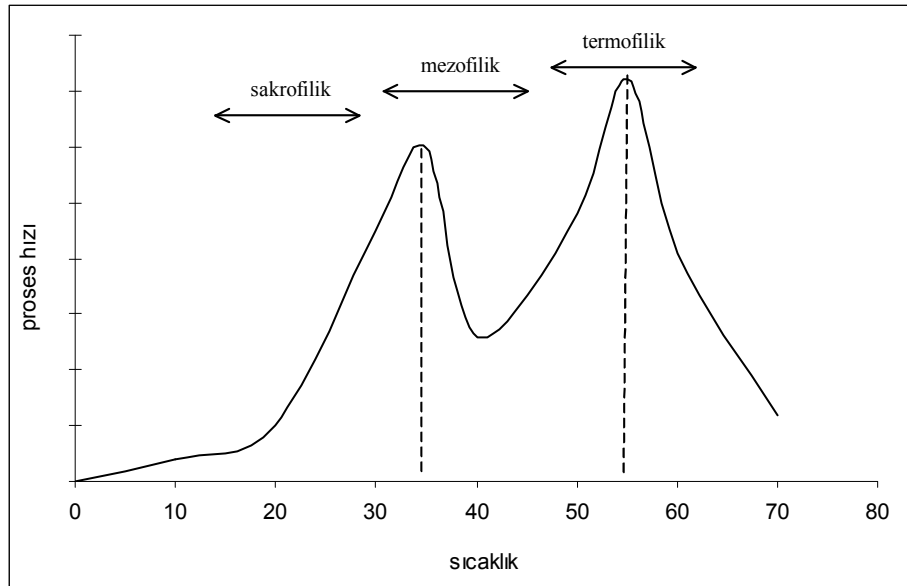
Sıcaklık faktörü anaerobik reaktörleri hem kinetik, hem de termodinamik açıdan etkiler. Anaerobik proseslerde, sıcaklık atışı ile biyokütlenin çoğalma hızının artması ve parçalanma reaksiyonlarının daha çabuk olması nedeniyle proses verimi sıcaklık ile artış göstermektedir. Şekil 7.8'de anaerobik parçalama proses hızının sıcaklık ile değişimi gösterilmektedir. Şekilde, sıcaklığın 35°C ve 55°C olduğu durumlarda pik noktaların verimin en yüksek değerde olduğu gözlenmektedir.

Termofilik sıcaklıklarda çalışmak biyolojik ayrışabilirliği yüksek olan atıksuların arıtımında problem ortaya çıkarabilmektedir. Sıcaklık artışı ile artan kinetik aktivite ve çoğalma hızı, asitojenlerin metanojenlerden daha hızlı asit üretmesine neden olur ve mikroorganizmalar arasındaki dengeyi bozarak ortamda asit birikmesine yol açabilir. (1).

Tablo 7.10 Anaerobik Mikroorganizmalar İçin Optimum Çevre Şartları (3).

Parametre	Optimum Şatlar
Arıtılan atığın bileşimi	Karbon, temel (N,P) ve iz elementler bakımından dengeli olmalı, O ₂ , NO ₃ , H ₂ O ₂ , SO ₄ gibi oksitleyici maddeler, toksit ve inhibitör elementler içermemeli
KOI/N/P	300/5/1
PH	6,5-8,2
Sıcaklık	25-40 (35-37) [°] C~50-60 (55) [°] C
Alkalinite	1000-4000 (2000) mg/lt CaCO ₃
TUA	<1000-1500 mg/lt (astetik asit olarak)
TUA/Alkalinite	<0,1

Yüksek sıcaklıklarda reaksiyonların daha hızlı gerçekleşmesi, uygulamada sıcaklık artışı ile HBS'lerin düşürülebilmesine imkan sağlamaktadır (16). Havasız çamur yataklı reaktörler için tasarım yükünün sıcaklıkla değişimi Tablo 7.11'de verilmektedir.



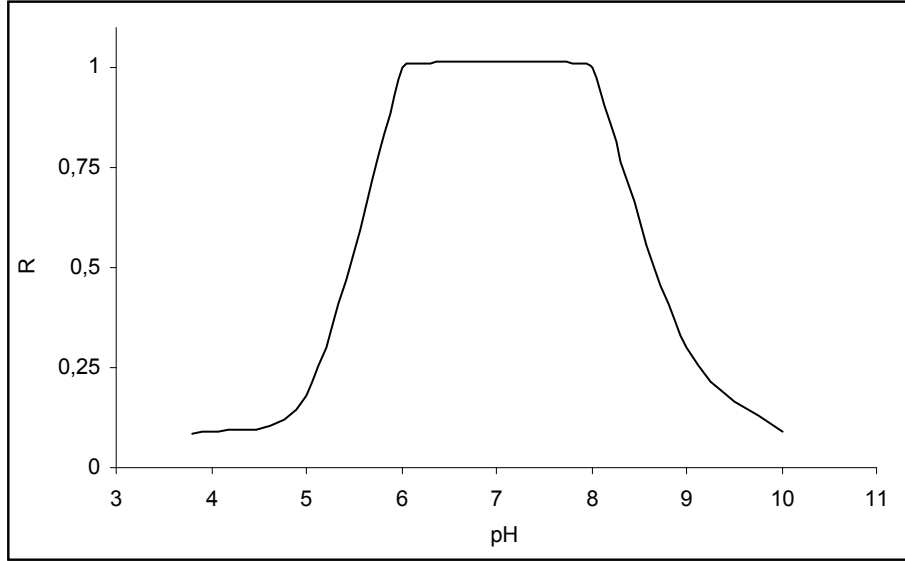
Şekil 7.8 Anaerobik Parçalanma Prosesi İçin Sıcaklık Aralıkları (1)

Tablo 7.11 Havasız Çamur Yataklı Sistemlerde Tasarım Yükünün Sıcaklıkla Değişimi (3)

Sıcaklık °C	Tasarım Yüğü (kgKOİ/m ³ -gün)
40	15-25
30	10-15
20	5-10
15	2-5
10	1-3

Metanojenler için optimum pH aralığı 6,5-8,2 kabul edilir. $pH > 8$ için aktivitenin aniden düşmesi ortamdaki serbest amonyak miktarıyla ilgilidir. $pH < 5,5$ halinde ise hem metan, hem de asit bakterileri inhibisyona uğrarlar. Metanojenlerin reaktif aktivitelerinin (asetat kullanım hızlarının) pH ile değişimi Şekil 7.9’da verilmektedir. Havasız arıtmada, işletmeye alma ve aşırı yükleme devreleri dışında genellikle pH kontrolü gerekmez.

Havasız ayrışma esnasında reaktördeki pH, CO_2 ve alkalinite parametreleri birbirlerine bağlı parametrelerdir. Dolayısıyla bunlardan ikisinin bilinmesi diğ erinin tahminini mümkün kılar (3).



Şekil 7.9 Metanojenleri Reaktif Aktivitelerinin (R) pH ile Değişimi (3)

Ortamda işletme esnasında TUA/Alkalinite oranı 0,1 değerini aşmamalıdır. Ortamın pH’sının düşmesi ve bunun sonucu olarak, alkalinitenin azalması durumunda sistemin alkalinitesinin ilave kimyasallar ile arttırılması gereklidir. Yaygın olarak kullanılan kimyasallara örnek olarak $Ca(OH)_2$, $NaHCO_3$, Na_2CO_3 , $NaOH$, NH_3 veya NH_4HCO_3 verilebilir (5).

Tüm biyolojik sistemlerde olduğu gibi anaerobik proseslerde de biyokütle sentezi için ortamda besi maddeleri ve iz elementlerin mevcut olması gereklidir. Arıtılan atığın $KOİ/N/P$ bakımından dengeli olması çok önemlidir. Böyle bir denge yok ise üre, H_3PO_4 , amonyum fosfat gibi kimyasal maddeler ilave edilerek bu denge sağlanır. Alıştırma devresinde $KOİ/N/P$ oranı 300/5/1~500/5/1 arasında tutulmalıdır. Kararlı hale gelen sistemde ise 700/5/1 oranı uygulanabilir. Ayrıca, çamur yaşının çok uzun tutulduğu durumlarda bu oran uygun şekilde düşürülebilir.

Azot (N) ve fosfor (P) gibi makro nütrientlerin yanısıra Na, K, Mg, Fe, S, Ni, Co, Mo, Se ve W gibi iz elementleri de proses için gereklidir. Özellikle tüm çevre şartlarının optimum olduğu durumda etkin $KOİ$ giderimi ve düşük UA seviyeleri elde edilemezse, iz elementin eksikliği sözkonusu olabilir. Bu durumda, Fe, Co ve Ni gibi üç önemli iz elementi reaktöre, 0,1 mg/lt seviyesi elde edilecek miktarlarda, özel formüller halinde dozlanması gereklidir. Tablo 7.12’de anaerobik arıtma için gerekli besi maddeleri ve bunlara ait değerler verilmektedir.

Tablo 7.12 Anaerobik Arıtma İçin Nutrient İhtiyacı (5)

Elementler	İhtiyaç (mg/grKOİ)	Maksimum Konsantrasyonlar (mg/l)	Eklenen Formları
Makro besi maddeleri			
Azot	5-15	50	NH ₃ , NH ₄ Cl, NH ₄ HCO ₃
Fosfor	0,8-2,5	10	NaH ₂ PO ₄ , H ₃ PO ₄
Sülfür	1-3	5	MgSO ₄ .7H ₂ O
Mikro besi maddeleri			
Demir (Fe)	0,03	10	FeCl ₂ .4H ₂ O
Kobalt (Co)	0,003	0,02	CoCl ₂ .2H ₂ O
Nikel (Ni)	0,004	0,02	NiCl ₂ .6H ₂ O
Çinko (Zn)	0,02	0,02	ZnCl ₂
Bakır (Cu)	0,004	0,02	CuCl ₂ .2H ₂ O
Mangan (Mn)	0,004	0,02	MnCl ₂ .4H ₂ O
Molibdat (Mo)	0,004	0,05	NaMoO ₄ .2H ₂ O
Selenyum (Se)	0,004	0,08	Na ₂ SeO ₃
Tungsten (W)	0,004	0,02	NaWO ₄ .2H ₂ O
Boron (B)	0,004	0,02	H ₃ BO ₃
Genel Katotlar			
Sodyum (Na)		100-200	NaCl, NaHCO ₃
Potasyum (K)		200-400	KCl
Kalsiyum (Ca)		100-200	CaCl ₂ .2H ₂ O
Magnezyum (Mg)		75-250	MgCl ₂

Havasız arıtmada kararlılığın sağlanabilmesi için ortamda kesinlikle serbest oksijen bulunmamalıdır. Oksijen kimyasal olarak bağlı olsa bile arıtma sürecini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle, NO₃⁻, H₂O₂, SO₄²⁻, HS⁻ vb. maddeler havasız sistemlerin verimini olumsuz yönde etkiler.

Atıksu içerisinde aşırı miktarda sülfat olması durumunda, sülfat indirgeyen bakteriler baskın duruma gelir ve reaksiyon sonucunda ara ürün olarak H₂S ortaya çıkar. Ortaya çıkan H₂S'nin yüksek konsantrasyonları havasız arıtmada inhibisyon etkisi yapmaktadır.

Yüksek seviyede NH₄ veya protein ihtiva eden atıksularda NH₃ toksiditesi de önemli bir sorundur. Su ortamındaki serbest (iyonize olmamış) NH₃ yüzdesi pH ve sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle, amonyak inhibisyonunda sıcaklık ve pH gibi ortam şartları inhibisyon derecesini etkilemektedir.

Mikroorganizmaların faaliyetlerini yavaşlatan veya durduran zararlı maddelerin, daha sonraki safhalarında olduğu gibi, alıştırma evresinde de dikkatli kontrolü gerekir. Bu tür zararlı maddelerin anaerobik ayrışma sürecini ileri derecede yavaşlatan konsantrasyonları Tablo 7.13'te verilmektedir. Zehirli ve zararlı maddelerin etkisinin giderilmesi için kaynağında kontrol, seyreltme veya mikroorganizmalara yeterli alışma sürelerinin sağlanması gereklidir (3).

Tablo 7.13 Zararlı Maddelerin Anaerobik Ayrışma Sürecini Engelleyen Konsantrasyonları (3)

Madde	Zararlı Konsantrasyon Seviyesi (mg/l)
NH ₄ , NH ₃	1500-2000 (pH>7,5 halinde)
Çözünmüş H ₂ S, HS ⁻ , S ²⁻	100-150
Na	4000-6000
K	3000-5000
Ca ²⁺	3000-5000
CN ⁻	0,5-1
Alkil benzen sülfonat	500-700

7.4.2 Havasız Süreçlerin İzlenmesi ve Kontrolü

Havasız ayrışmanın istenilen düzeyde olabilmesi için arıtma sisteminin sürekli izlenmesi ve kararsızlıklara karşı gerekli tedbirlerin zamanında alınması gerekir. Etkili bir işletme ve izleme sonucu, yüksek verimli arıtmanın sağlanması, metana dönüşüm oranının yüksek olması ve olabildiğince az arıtma çamuru oluşması gibi yararlı sonuçlar elde edilir (3).

7.4.2.1 Proses Kontrolü

Proses kontrolünün amacı arıtma sistemindeki düzensizliklerin mümkün olan en erken sürede tespit etmektir. Havasız arıtmada proses kontrolü bakımından dikkatle izlenmesi gereken parametreler Tablo 7.14’de verilmektedir. Prosesin izlenmesi amacıyla, bu parametrelere ilaveten özellikle çamur yaşı ve atık kompozisyonun da kontrolü gereklidir.

Tablo 7.14 Havasız Arıtma Proses Kontrolü İçin İzlenmesi Gereken Parametreler (1)

Sıvı Fazda	Gaz Fazında
UA pH Alkalinite L _v KOİ Sıvı seviyesi Çözünmüş H ₂	Gaz üretim hızı Metan veya CO ₂ üretim hızı Biyogazdaki CO ₂ yüzdesi Biyogazdaki H ₂ yüzdesi

Kararlılığını kaybeden bir anaerobik reaktörde dengesizlik ilk önce sistemdeki TUA konsantrasyonunun artması sonucu pH’da ani bir düşüş ile kendini gösterir. pH’daki düşüşten bir süre sonra alkalinite de ani azalma gözlenir. Bu esnada gaz üretiminin yavaşlaması nedeniyle gaz debisinde azalma ve gazdaki metan yüzdesinde düşüş olur. Bunların sonucu olarak reaktör çıkışındaki KOİ konsantrasyonu yükselir ve sistemin verimi düşer (3).

7.4.2.2 Prosesteeki Kararsızlıklar

Havasız sistemlerde prosesteeki kararsızlığa sebep olan faktörler başlıca iki ana kısımdan oluşur. Bunlardan, ekipman arızaları, sıcaklıktaki ani değişme, organik yükteki ani artış ve atığın bileşimindeki değişiklikler kısa süreli kararsızlıklar, atıksu içerisindeki zararlı

maddeler, arıtılan atıksuyun veya reaktörün pH'sındaki ani düşüş veya artış evresindeki mikroorganizma çoğalma hızının yavaş oluşu gibi değişiklikler de uzun süreli kararsızlıklar olarak ifade edilir.

Proses stabilitesi kaybolan bir anaerobik reaktörün tekrar kararlı hale gelmesi için öncelikle pH 7 civarına getirilir. Kararsızlığa neden olan sebepler belirlenir ve uygun tedbirler uygulanır. Sistem kararlı duruma gelinceye kadar pH dikkatlice izlenir. Kararsızlık sonucu düşen pH değerini uygun seviyeye yükseltmek için çeşitli çözümlerden biri kireç ilavesidir. Kireç, reaktörde pH'nın 6,5'den daha düşük olması durumunda uygulanmalıdır. Aksi takdirde, kireç suda çözünmez ve ilave edilen kireç CaCO_3 olarak sistemde çökelir sonuçta hiçbir yararı olmaz. Kireç kullanımının diğer bir mahzuru, kalsiyumun ortamdaki fosforu kalsiyum orta fosfat halinde kendine bağlamasıdır. Bunun sonucunda, ortamda besi maddesi eksikliği yaşanır. Bu sakıncalarından dolayı özellikle endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde kireç ile pH kontrolü , pH çok düşmediği sürece yapılmaz. Bunun yerine genellikle NaOH ve NaHCO_3 birlikte kullanılır. Ancak bu durumda da Na konsantrasyonunun aşırı değerlere ulaşmamasına dikkat edilmelidir. Na konsantrasyonunda problem yaşanması durumunda NaHCO_3 yerine KHCO_3 veya NH_4HCO_3 kullanılır.

Bazı kararsızlık durumlarında reaktörde pH'nın artırılmasına ve organik yükün azaltılmasına rağmen sistemde uçucu asit konsantrasyonu düşmeyebilir. Bu durum, uçucu asidin propiyonik asit ağırlıklı olduğunu göstermektedir. Bu durumda, reaktör iyice seyreltilmiş atık veya yangın suyu (temiz su) ile yıkanır. Uçucu asit konsantrasyonu normal seviyeye geldikten sonra organik yükleme kademeli olarak artırılır.

Gaz debisindeki düşme ve CH_4 yüzdesindeki azalma havasız reaktörlerde kararsız durumun iyi bir göstergesidir. İyi işletilen reaktörlerde metan yüzdesi %70'in üzerindedir. Bu değer %65'in altında ise sistem dengesi bozulmuş demektir (3).

Havasız sistemlerde kararsızlığa neden olabilecek bazı durumlar ve bunun sonucu oluşabilecek problemler ve etkileri Tablo 7.15'de verilmektedir.

Tablo 7.15 Anaerobik Reaktörlerdeki Kararsızlıklar ve Tahmini Sonuçları (1)

Kararsızlıklar	Oluşabilecek Problemler	Sonuçları
Besleme debisinin artması	Mikroorganizma yıkanması Metanojenlerin bekletme süresinin azalmasından etkilenmesi	Metan yüzdesinin düşmesi pH'nın düşmesi Alkalinitenin düşmesi Gaz üretim hızının azalması
Yükleme artışı Toksik madde varlığı Sıcaklık salınımları Oksijen varlığı	Öncelikle metanojenler etkilenir UA birikmesi	UA konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak pH düşmesi Asetik asit haricindeki uçucu asitlerin birikmesi

7.5 Temel Proses Kinetiği

7.5.1 Mikrobiyal Reaksiyon Kinetiği

Biyolojik sistemlerde reaksiyonlar mikroorganizmalarca gerçekleştirildiğinden reaktör kinetiği mikrobiyal aktiviteye bağlıdır. Bu nedenle, proses davranışlarının tahmininde mikrobiyal büyüme, substrat kullanımı ve ürün oluşumu iyi bilinmelidir.

Biyokütle Çoğalma Hızı:

Ortamda mikroorganizmalar için enerji, karbon kaynağı ve elektron alıcısı gereksinimlerinin tam olması durumunda biyokütle çoğalma hızı (Alvarez, 2003)

$$\frac{dX}{dt} = \mu \cdot X \quad (7.15)$$

eşitliğince ifade edilmektedir.

Burada,

X = biyokütle konsantrasyonu (mgUAKM/l)

μ = biyokütle özgül çoğalma hız sabiti (gün^{-1})'dir.

Substrat Kullanım Hızı:

Substrat kullanım hızı, biyokütle konsantrasyonuna bağlı olarak, birinci derece kinetik ile aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir (Horan, 1990).

$$\frac{dS}{dt} = q \cdot X \quad (7.16)$$

Burada,

q = substrat kullanım hızı sabiti (gün^{-1})'dir.

Substrat kullanımı ile biyokütle çoğalması arasındaki ilişki

$$Y = \frac{dX/dt}{dS/dt} \quad (7.17)$$

şeklinde verilmektedir. Burada,

Y = biyokütle dönüşüm oranı (mgUAKM/mgKOİ)'dir.

Denklem (3.1), (3.2) ve (3.3)'e bağlı olarak

$$Y = \frac{\mu}{q} \quad (7.18)$$

olmaktadır.

Biyokütle Ölüm Hızı:

Biyokütle ölüm kinetiği biyokütle konsantrasyonuna bağlı olarak

$$\frac{dX}{dt} = b.X \quad (7.19)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Burada,

b = biyokütle içsel solunum hızı (gün^{-1})

Net Biyokütle Değişimi:

Net biyokütle değişimi çoğalma hızı ile ölüm hızı toplanarak belirlenir ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir (1).

$$\left(\frac{dX}{dt} \right)_{net} = Y \left(\frac{dS}{dt} \right) - b.X \quad (7.20)$$

7.5.2 Mikroorganizma Çoğalma Kinetiği

Anaerobik proseslerde substrat kompleks yapıda olduğundan ve buna bağlı olarak, çeşitli mikroorganizma türleri görev yaptığından çoğalma kinetiği farklı şekillerde ifade edilmektedir (1).

Monod İfadesi:

Mikroorganizma çoğalma hızı zamanla hız kısıtlayıcı olan substrat konsantrasyonuna bağlı olarak ifade edilmektedir. Eşitlik

$$\mu = \mu_{maks} \frac{S}{K_s + S} \quad (7.21)$$

şeklinde verilmektedir.

Burada,

μ_{maks} = mikroorganizmaların maksimum çoğalma hız sabiti (gün^{-1})

S = substrat konsantrasyonu (mg KOİ/l)

K_s = yarı doygunluk sabiti ($\text{KOİ/KOİ}_{\text{hücre}}$)'dir.

Denklem (3.7) substratın kısıtlayıcı olmadığı durumda ($S \gg K_s$)

$$\mu = \mu_{maks} \quad (7.22)$$

ve substratın kısıtlayıcı olduğu durumda ise ($S \ll K_s$)

$$\mu = \mu_{maks} \frac{S}{K_s} \quad (7.23)$$

olmaktadır.

Contois İfadesi:

Mikrobiyal populasyon yoğunluğunu belirleyen kütle transferinin büyüme hızı üzerine etkisini yansıtan mikroorganizma çoğalma hızı,

$$\mu = \mu_{maks} \frac{S}{K.X + S} \quad (7.24)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir.

Burada,

K = kinetik sabit'tir.

Chen ve Hashimoto İfadesi:

Giriş substrat konsantrasyonunun etkisinin Contois ifadesine ilavesi ile geliştirilmiştir:

$$\mu = \mu_{maks} \frac{S}{K.S_0 + (1 - K)S_0} \quad (7.25)$$

olarak ifade edilmektedir.

Burada,

S_0 = giriş substrat konsantrasyonu (mgKOİ/l't)'dir.

Çoklu Substrat Kullanım İfadesi:

Ortamda iki farklı substratın olması durumunda iki ayrı substrat kısıtlayıcı denklem tanımlanmıştır ve ifade

$$\mu = \mu_{maks} \frac{S_1}{K_{S1}.S_1} \times \frac{S_2}{K_{S2}.S_2} \quad (7.26)$$

şeklinde verilmektedir.

7.5.3 Kinetik ve Stokiyometrik Sabitler

Proseslerin tam olarak matematiksel ifadelerinin yazılabilmesi için kinetik ve stokiyometrik sabitlerin değerleri belirlenmelidir. Bu amaçla yapılan çalışmalar sonucunda bazı organik maddelere ait sabitler belirlenmiştir (1).

Hidroliz aşamasının birinci derece reaksiyon ifadesindeki denklem sabitinin (K) literatürdeki değerleri, farklı organik maddeler için Tablo 7.16'da verilmektedir. Monomerlerin fermantasyonunda amino asit ve şeker substratları için yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen fermantasyon sabitleri ise Tablo 7.17'de verilmektedir.

Tablo 7.16 Hidroliz Sabiti Değerleri (1)

Organik Madde	K (gün ⁻¹)
Karbonhidratlar	0,5-2
Yağlar	0,1-0,7
Proteinler	0,25-0,8

Tablo 7.17 Fermantasyonun Kinetik ve Stokiyometrik Sabitleri (1)

Sabitler	Değerler
μ_{maks} (gün ⁻¹)	3-9
q_{maks} (grKOİ/grKOİ-gün)	24-120
K_S (mg/l)	300-1400
Y (grUAKM/grKOİ)	0,1-0,06
b (gün ⁻¹)	0,02-0,3

Hidrojen üreten asitojenler için uzun zincirli yağ asitlerinin veya uçucu yağ asitlerinin kullanılması durumuna göre sabitler Tablo 7.18’de verilmektedir. Metanojenler için ise stokiyometrik ve kinetik sabitler metan üretiminde hidrojenin veya asetatin kullanılmasına göre değişik değerler almaktadır. Bu değerler Tablo 7.19’da verilmektedir.

Tablo 7.18 Asitojenler İçin Kinetik ve Stokiyometrik Sabitler (1)

Sabitler	Kısa Zincirli Yağ Asitleri	Uçucu Yağ Asitleri
μ_{maks} (gün ⁻¹)	0,1-0,5	0,3-1,3
q_{maks} (grKOİ/grKOİ-gün)	2-20	5-20
K_S (mg/l)	100-4000	100-4000
Y (grUAKM/grKOİ)	0,04-0,1	0,02-0,07
b (gün ⁻¹)	0,01	0,01-0,04

Tablo 7.19 Metanojenler İçin Kinetik ve Stokiyometrik Sabitler (Alvarez, 2003)

Sabitler	Asetat Kullananlar	Hidrojen Kullananlar
μ_{maks} (gün ⁻¹)	0,1-0,4	1-4
q_{maks} (grKOİ/grKOİ-gün)	2-7	25-35
K_S (mg/l)	50-600	0,01-0,1
Y (grUAKM/grKOİ)	0,02-0,05	0,01-0,04
b (gün ⁻¹)	0,02-0,04	

7.6. Evsel Atıksuların Havasız Arıtımı

Yakın zamana kadar havasız arıtma proseslerinin 20°C’nin altındaki sıcaklıklar ve seyreltik atıksular için uygun olmadığı düşünülmekteydi. Günümüzde geliştirilen reaktör tipleri ile düşük sıcaklıktaki ve seyreltik atıksuların havasız olarak arıtımı yüksek hidrolik yüklemelerde ve çok iyi karışım sağlanarak mümkün olmaktadır. Evsel ve diğer seyreltik atıksuların havasız arıtımı ile ilgili literatür verileri Tablo 7.20 de verilmiştir.

Tablo 7.20 Evsel ve seyreltik atıksuların havasız arıtımı literatür verileri (2)

KOI _{giriş} mg/l	AKM _{giriş} mg/l	Sıcaklık °C	HBS saat	KOI _{çıkış} mg/l	AKM _{çıkış} mg/l	KOI giderimi %	Reaktör tipi
150-530	140			96-285	43	44	HF
197	83	13-27			17	44	HF
77-1170	118	20-35	24	55-121	32	73	HF
473		37	2.4-38	145-364		18-52	HÇYR
104-1106	78	17-25	6.4	74-225	50	47	HÇYR
46-187	16	22-29	1.7-5.0	43-114	27	37	HÇYR
204-1253		12-16	24	79-304		78	HÇYR
117-1100		7-20	12	35-299		67	HÇYR
435	61	16	24	173	21	60	HF
328	72	29	24	110	10	66	HF
322-950		20				60-89	HÇYR
100-900		20	8-48			65-80	HÇYR
170-320		20	8			68-92	HÇYR
140-220		20	2-1			57-84	HÇYR
215		20	2			77	HÇYR
119-205		20	8-24			68-72	HÇYR
250-572		25-33	5			71	HF
500		20	24-45	75-110		78-90	HF
200				80		60	HF
200-900	<300	8-20				50-85	HÇYR
500-700		12-18	7-12			40-60	HÇYR
32-780		5-28	6-24	65-114	50	67-78	HÇYR

HF: havasız filtre, HÇYR: havasız çamur yataklı reaktör, HBS: hidrolik bekleme süresi

Havasız arıtma sistemleri, uzun süre atıksu beslemesi ve ısıtma yapılmadan bekletildiğinde hiçbir koku problemi olmaz ve mikroorganizmaların yeniden aktif hale gelmesi çok kısa sürede gerçekleşir. Bu yüzden mevsimlik atıksu oluşumu söz konusu olan turistik tesislerin atıksularının arıtımı için çok uygundur. Ancak evsel atıksuların KOI'ı düşük olduğundan oluşan biyogaz ekonomik olarak değerlendirilemez.

Evsel atıksuların havasız arıtımında HF ve HÇYR'ler yaygın olarak kullanılır. BOI 200-300 mg/l olan evsel atıksuların 20°C nin üzerinde arıtıldığı HÇYR leri için önerilen tasarım değerleri Tablo 7.21'de verilmiştir.

Evsel atıksuların havasız arıtımı sırasında oluşan çamurun fazlası reaktörden çekilerek susuzlaştırıldıktan sonra gübre olarak kullanılır. Havasız ayrışma sırasında atıksudaki azot ve fosfor önemli ölçüde giderilmediğinden arıtılmış su kontrollü olarak sulamada kullanılabilir.

Tablo 7.21 Evsel atıksuların HÇYR lerinde arıtımı için önerilen tasarım değerleri (3).

Parametre	Değer
Hidrolik bekletme süresi	ort. debide>8-10 saat pik debide>4 saat
Çamur yaşı	30-50 gün
Çamur yükü F/M	0.3-1.0 kgKOl/kgUKM-gün (çamur yatağı hacmi için)
Hacimsel organik yük, L_v	1-3kgKOl/m ³ -gün
%BOI ₅ (KOl) giderimi	75-85(74-78)
Debi dağıtım noktaları	Min.1/3.7-4 m ² taban alanı
Yukarı akış hızı ($u=Q/A$)	0.5m/sa-ort; 1.2m/sa-pik
Çamur üretimi	0.15-0.25kgTKM [*] /m ³ debi
Biyogaz üretimi	0.1m ³ biyogaz (%75 CH ₄)≈1.4kw-sa enerji
N,P giderimi	%5-10

*TKM : toplam katı madde (biyokitle+girişteki AKM)

KAYNAKLAR

- (1) Alvarez, M.J., 2003. Biomethanization of The Organic Fraction Of Municipal Solid Wastes, pp. 1-43, Iwa Publishing, London.
- (2) UNIDO, 1992. Anaerobic Treatment, *How to Staff Manufacturing Industries*, File:z18, Austria.
- (3) Öztürk, İ., 1999. Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, s. 11-46, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- (4) Speece, R.E., 1996. Anaerobic Biotechnology For Industrial Wastewaters, pp. 3, 6, 36, Archae Press, USA.
- (5) Rittmann, B.E. and McCarty, P.L., 2001. Environmental Biotechnology: Principles and Applications, pp. 570-596, McGraw-Hill, Inc., New York.
- (6) Tchobanoglous, G. and Burton, F.L., 1991. Wastewater Engineering, pp. 423-425, McGraw-Hill, Singapore.
- (7) Weijma, J., Gubbels, F., HulshoffPol, L.W., Stams, A.J. M., Lens, P. and Lettinga, G., 2002. Competition For H₂ Between Sulfate Reducers, Methanogens and Homoacetogens In A Gas-Lift Reactor, *Water Science and Technology*, 45, 10, 75-80.
- (8) Bhatti, Z.I., Furukawa, K. and Fujita, M., 1996. Feasibility Of Methanolic Waste Treatment In UASB Reactors, *Wat. Res.*, 30, 11, 2559-2568.
- (9) Olthof M., Kelly W.R., Oleszkiewicz J., Weinreb H.G., 1985. Development of anaerobic treatment process for wastewater containing high sulfates, Proc. of 40th Ind. Waste Conf. Purdue Univ. 871-877.
- (10) Anderson G.K., McKeown K.J., Donnely T., 1984. The application of anaerobic packed-bed reactors to industrial wastewater treatment. *Water Pollution Control.*, 491-496.
- (11) O'Flaherty V., Lens P., Leahy B., and Colleran E., 1998. Long term competition between sulfate reducing and methane-producing bacteria during full-scale anaerobic treatment of citric acid production wastewater. *Wat. Res.* 32/3, 815-825.
- (12) O'Flaherty V., and Colleran E., 1999. Effect of sulfate addition on volatile fatty acid and ethanol degradation in anaerobic hybrid reactor. I: process disturbance and remediation. *Bioresource Technology*. 68,101-107.
- (13) Anderson G.K., Donnely T., McKeown K.J., 1982. The application of anaerobic packed-bed reactors to industrial wastewater treatment. Proc. of 37th Ind. Waste Conf. Purdue Univ. 651-659.
- (14) Eckenfelder, W.W., 1989. Industrial Water Pollution Control, pp. 247, McGraw-Hill, Inc., Singapore.

- (15) Annachhatre, A.P., 1996. Anaerobic Treatment Of Industrial Wastewaters, *Resources, Conservation and Recycling*, 16, 161-166.
- (16) Grady, C.P.L., Daigger, G.T. and Lim, H.C., 1999. Biological Wastewater Treatment, pp. 619, 626, 630, Marcel Dekker, Inc., New York.
- (17) Horan, M.J., 1990. Biological Wastewater Treatment Systems Theory and Operation, pp. 168, John Wiley&Sons, England.
- (18) Metcalf & Eddy, 1999. Wastewater Engineering, Treatment Disposal Reuse. McGraw-Hill International Editions.

8. ÇAMUR ARITIMI VE UZAKLAŞTIRILMASI

Atıksu arıtma sistemi çamur, kum ve köpük tutma birimlerini de ihtiva eder. Arıtma işlemi sonunda çıkan çamur genellikle sıvı veya yarı katı formda olup kullanılan prosese ve işletmeye bağlı olarak %0.25-12 oranında katı içermektedir. Çıkan çamur hacimce büyük olup, işlenmesi ve bertarafı atıksu arıtma alanında oldukça karmaşık bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Çamur probleminin karmaşık olmasının başlıca sebepleri,

- Arıtılmamış atıksu içindeki önemli miktarlarda koku veren maddeler,
- Biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamurun, ham atıksu içerisindeki organik maddelerden farklı bir yapıda, bozunma ve kokuşma eğiliminde olması,
- Çamurun sadece küçük bir kısmının katı madde, büyük bir kısmının ise sudan oluşması, bu yüzden büyük hacimler işgal etmesi,

olarak özetlenebilir.

Arıtma tipine ve amacına göre, arıtma çamurlarının cinsleri farklılık gösterir. Bunlar;

- Çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltim çamurları,
- Kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar,
- Biyolojik arıtma işlemleri sonucu oluşan biyolojik çamur,
- İçme suyu arıtma işlemleri sonucu oluşan inorganik çamurlar,

olarak sıralanabilir.

Atık bünyesinde kirleticileri üç grup altında toplamak mümkündür. Bunlar;

Çökebilen katı maddeleri,
Askıda katı maddeler,
Çözünmüş katı maddeler,
olarak ifade edilir.

Çamur işlenmesi ve bertarafında kullanılan metotlar Tablo 8.1’de verilmiştir. Graviteli yoğunlaştırma, şartlandırma, susuzlaştırma ve kurutma, kullanılan başlıca arıtma metotlarıdır. Çürütme, kompostlama, yakma, ıslak-hava oksidasyonu ve derin shaft reaktörleri çamurdaki organik maddeleri stabilize etmek veya arıtmak amacıyla kullanılırlar.

8.1 ÇAMUR KAYNAKLARI, ÖZELLİKLERİ VE MİKTARLARI

Çamur işleme, arıtma ve bertaraf sistemlerini tasarlayabilmek için arıtma sisteminde oluşan çamurun kaynağı, özellikler, ve miktarının bilinmesi gerekmektedir.

8.1.1 Çamur Kaynakları

Çamur arıtma sistemleri, çamur kaynağı, prosesin tipi ve işletme metoduna göre değişiklik gösterir. Çamur ve katı atıkların esas kaynakları Tablo 8.2’de verilmiştir. Örneğin tam karışımli aktif çamur prosesinde, çamur uzaklaştırma veya havalandırma havuzundan yapılıyorsa, son çöktürme havuzu çamur kaynağı değildir. Diğer taraftan, uzaklaştırma çamur geri dönüş hattından gerçekleştiriliyorsa çamur kaynağı çöktürme tankı olarak kabul edilebilir. Yoğunlaştırma, çürütme, şartlandırma ve susuzlaştırma için kullanılan prosesler de çamur kaynağıdır.

Tablo 8.1. Çamur işleme ve bertaraf metotları(1).

İşletme, proses ve arıtma metotları	Fonksiyonları
Birincil İşlemler Çamur öğütme Kum ayırma Çamur karıştırma Çamur saklama	Boyut küçültme Kum ayırma Karıştırma Depolama-saklama
Yoğunlaştırıcı Graviteli yoğunlaştırıcı Flotasyonlu yoğunlaştırıcı Santrifüjlü yoğunlaştırıcı Bantlı yoğunlaştırıcı Döner elekli yoğunlaştırıcı	Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma
Stabilizasyon Kireç stabilizasyonu Isıl işlem Havasız çürütme Havalı çürütme Kompostlama	Stabilizasyon Stabilizasyon Stabilizasyon, kütle azaltma Stabilizasyon, kütle azaltma Stabilizasyon, ürün giderimi
Şartlandırma Kimyasal şartlandırma Termal (ısıl)	Çamur şartlandırma Çamur şartlandırma
Dezenfeksiyon Pastörizasyon Uzun-süreli saklama	Dezenfeksiyon Dezenfeksiyon
Susuzlaştırma Vakum filtre Santrifüj Bant filtre Pres filtre Çamur kurutma yatakları Çamur lagünleri	Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Saklama ve Hacim azaltma

Isıl kurutma Flaş kurutucu Sprey kurutucu Döner tamburlu kurutucu Çok hücreli kurutucu Çoklu etkili buharlaştırıcı	Kütle ve hacim azaltma Kütle ve hacim azaltma Kütle ve hacim azaltma Kütle ve hacim azaltma Kütle ve hacim azaltma
Termal Azaltma Çok hücreli yakıcı Akışkan yataklı yakıcı Katı atıklarla birlikte yakma Islak-hava oksidasyonu Derin şaft reaktörü	Hacim azaltma, kaynak geri kazanımı Hacim azaltma Hacim azaltma Stabilizasyon, hacim azaltma Stabilizasyon, hacim azaltma
Nihai bertaraf Arazide arıtma Dağıtım ve pazarlama Kimyasal sabitleme Düzenli depolama Lagünlerde biriktirme	Son uzaklaştırma Faydalı kullanım Faydalı kullanım, son uzaklaştırma Son uzaklaştırma Hacim azaltma, son uzaklaştırma

Tablo 8.2. Klasik atıksu arıtma sistemi çamur ve katı atık kaynakları (1).

Proses	Çamur çeşidi	Notlar
Elek	Kaba katı atık	Kaba katılar mekanik olarak veya çubuk ızgaralardan elle toplanarak atılır.
Kum tutucu	Kum ve köpük	Köpük giderme, işlemi kum tutucularda kum ile birlikte gerçekleştirilir.
Ön havalandırma	Kum ve köpük	Bazı sistemlerde ön havalandırma tankında köpük giderici yoktur, kum tutucunun bulunmaması tankta kum birikimine sebep olabilir.
Birincil (ön) çöktürme	Birincil çamur ve köpük	Çamur ve köpük miktarı toplama sistemine ve giren atıksuyun özelliklerine göre değişir.

Biyolojik arıtma	Askıda katı maddeler	Askıda katı madde biyolojik arıtma sonucu oluşur. Arıtma sisteminde oluşan fazla çamuru yoğunlaştırmak gerekebilir.
İkincil (son) çöktürme	Biyolojik çamur ve köpük	ABD EPA'ya göre köpük tutucu şart koşulmuştur.
Çamur işleme birimleri	Çamur, kompost ve kül	Son ürünün özelliği, kullanılan proses ve işletme ile çamur özelliklerine bağlıdır. Bu konudaki yasal düzenlemeler giderek ağırlaşmaktadır..

8.1.2 Çamur Özellikler

Çamur arıtımı ve son uzaklaştırma yöntemlerinin belirlenmesinde, çamur ve katı maddenin özelliği ve içeriğini bilmek çok önemlidir. Bu aynı zamanda katı atığın kaynağı, sistemdeki çamur yaşı ve proses tipi ile de yakından ilgilidir. Arıtma çamurların bazı fiziksel özellikleri Tablo 8.3'de verilmektedir.

Tablo 8.3. Arıtma sisteminden kaynaklanan çamur ve katı atıkların özellikleri (1).

Çamur ve katı atık	Tanımlama
Izgara ve elkte 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 da bağlı olarak yağ ve gres gibi organik maddeleri de içerirler.
Köpük/yağ	Birincil ve ikincil çöktürme 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, kağıt ve karton, izmarit, plastik maddeler, kum ve benzeri maddeleri içerir. Özgül ağırlığı genellikle 0.95'dir.
Birincil çamur	Birincil (ön) çöktürmeden çıkan çamur gri ve yapışkan olup, çoğu zaman yoğun kokuludur. Bu çamur kolaylıkla çürütülebilir.
Kimyasal çöktürme çamuru	Metal tuzları ile yapılan çöktürmeden çıkan 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. Yalnız 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 kahve renklidir 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 kompostlamada kullanılan odun kırıntıları ve geri döndürülen kompost dolayısıyla renk değişebilir. İyi kompostlanmış çamur kokusuz olup, ticari değerde bahçe toprağı şartlandırıcısı olarak kullanılabilir.
Foseptik (septik tank) çamuru	Siyah renklidir. İyi çürütülmemesi durumunda hidrojen sülfür ve diğer gazlardan dolayı kötü koyu yayar. Bu durumdaki çamurun kurutulmasında ciddi koku problem ile karşılaşılır.

Çamurun Genel Bileşimi: Arıtılmamış (ham) ve çürümüş çamurun kimyasal bileşimi ile ilgili bilgiler Tablo 8.4.'de verilmektedir. Son uzaklaştırma yönteminin belirlenmesinde besi maddesi de dahil olmak üzere kimyasal bileşiklerin çoğunun

bilinmesi önemlidir. Havasız çürütme sisteminin kontrolünde pH, alkalinite ve organik asit içeriğinin ölçülmesi oldukça önemlidir. Yakma ve arazide bertaraf metodunun uygulanması durumunda çamurdaki ağır metal, pestisit ve hidrokarbonlar ölçülmelidir. Yakma gibi termal proses kullanılacağında çamurun enerji içeriğinde hesaplanmalıdır.

Tablo 8.4 Ham ve çürütülmüş çamur özellikleri ve kimyasal bileşimi (1).

	Ham birincil çamur		Çürütülmüş birincil çamur		Aktif çamur sistemi çamuru
	Aralık	Tipik	Aralık	Tipik	
					Aralık
Toplam katı madde(TS),%	2-8	5	6-12	10	0.83-1.16
Uçucu katı (TS'nin %'si)	60-80	65	30-60	40	59-88
Yağ ve gres (TS'nin %'si)	6-30	-	5-20	18	-
Eterde çözünebilir	7-35	-	-	-	5-12
Eterde ekstrakte	20-30	25	15-20	18	32-41
olan	1.5-4	2.5	1.6-6	3	2.4-5
Protein (TS'nin %'si)	0.8-2.8	1.6	1.5-4	2.5	2.8-11
Azot (TS'nin %'si)	0-1	0.4	0-3	1	0.5-0.7
Fosfor((P ₂ O ₅ , TS'nin %'si)	8-15	10	8-15	10	-
Potasyum(K ₂ O, TS'nin %'si)	2-4	2.5	3-8	4	-
Selüloz (TS'nin %'si)	15-20	-	10-20	-	-
Demir (sülfatsız)	5-8	6	6.5-7.5	7	6.5-8
Silika(SiO ₂ , TS'nin %'si)	500-1,500	600	2,500-3,500	3,000	580-1,100
pH	200-2,000	500	100-600	200	1,100-1,700
Alkalinite(mg/l CaCO ₃ olarak)	23,000-29,000	25,000	9,000-14,000	12,000	19,000-23,000
Organik asitler(mg/l, HAc)					
Enerji içeriği, kJ TS/kg					

Çamurun arazide bertarafı ve faydalı kullanımını etkileyen başlıca özellikleri, organik içeriği (uçucu katı olarak ölçülür), besin 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 8.5'de verilmektedir. Araziye verilen çamur, bitki büyümesi için gereken besin 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 gerekli veya zararlı olabilir. Ağır metal konsantrasyonları Tablo 8.6'de verilmektedir. Çamurun arazide kullanım miktarı, yapısındaki ağır metal konsantrasyonuna bağlıdır.

Tablo 8.5. Ticari gübre ve çamurdaki besi maddesi seviyelerinin kıyaslanması (1).

	Besi maddesi %		
	Azot	Fosfor	Potasyum
Tarımda kullanılan gübre ¹	5	10	10
Stabilize aktif çamur tipik değeri	3.3	2.3	0.3

¹ Besi maddesi konsantrasyonu toprak ve bitki özelliğine göre değişir.

Tablo 8.6. Atıksu arıtma tesisi çamurundaki metal içerikleri (1).

Metal	Kuru çamur, mg/kg	
	Aralık	Ortalama
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
Manganez	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	1700

ABD’de üretilen çamur miktarı 1972’den beri artmakta olup, 1997 yılına göre bu değer 6.23 milyon ton/senedir. Yıllara göre çamurun uzaklaştırma yöntemi de farklılıklar göstermektedir. Örneğin 1972 de, toplam çamurun %20’si arazide uygulama ile (land application), %25’i de yakma yöntemi ile uzaklaştırılmaktaydı. Ancak 1997’de üretilen toplam çamurun %55’i arazi uygulamasında, %17’si de yakma yöntemi ile uzaklaştırılmaktadır (Tablo 8.7). Çamurun denize deşarjına ise 1991 Aralığında son verilmiştir.

Tablo 8.7. ABD’de çamur kullanma ve uzaklaştırma metotları (üretilen toplamın %’si) (4).

Uygulama	1972	1989 ¹	1997 ¹
Arazide uygulama	20	33.3	54.8
Yüzey uzaklaştırma	veri yok	10.3	19.2 ²
Arazide Depolama	40	33.9	veri yok
Yakma	25	16.1	17.3
Deniz deşarjı	15	6.3	0
Diğer	veri yok	veri yok	8.7 ³

¹ US EPA (1993)

² Katı atık ile depolama ve monofilling’i içermektedir.

³ Bazı maddelerin diğer alanlarda depolama ve uzun süreli saklamalarını içerir.

Avrupa Birliği ülkelerinde 1990’de 7 milyon ton kuru çamur üretilmiştir. Tablo 8.8’de görüldüğü gibi çamurun tarımda kullanımı %10 - %80 arasında değişmesine rağmen, yakma işlemi sadece birkaç ülkede kullanılmaktadır. Denize deşarj ise 1998’in sonlarına kadar devam etmiştir.

Tablo 8.8. 1990’da Avrupa Birliğinde kullanılan ve deşarj edilen çamur miktarı (4).

Ülke	Toplam (10 ³ kuru t/sene)	Tarım (%)	Arazi depolama (%)	Yakma (%)	Deniz (%)
Belçika	35	57	43	0	0
Danimarka	150	43	29	28	0
Fransa	900	27	53	20	0
Almanya	2750	25	65	10	0
Yunanistan	200	10	90	0	0
İrlanda	23	23	34	43	0
İtalya	800	34	55	11	0
Lüksemburg	15	80	20	0	0
Hollanda	280	53	29	10	8
Portekiz	200	80	12	0	8
İspanya	300	61	10	0	29
İngiltere	1500	51	16	5	28

Asya ülkeleri arasında Japonya’da çamur uzaklaştırma uygulamaları Tablo 8.9’da verilmektedir. Ancak Japonya’da arazide depolama ve arazi ıslahı olanakları oldukça kısıtlıdır.

Tablo 8.9. 1997’de Japonya’da uzaklaştırılan ve kullanılan çamur miktarı (ton) (4).

	Düzenli depolama	Körfezde Arazi ıslahı	Faydalı kullanım	Diğer	Toplam (%)
Susuzlaştırılmış kek	766	247	527	60	1.600 (68)
Yakmadan çıkan kül ¹	102	146	101	12	361 (15)
Kurutulmuş çamur ²	14	0	165	10	189 (8)
Çürütülmüş çamur	0	0	0	214	214 (9)
Toplam (%)	882 (37)	393 (17)	793 (33)	296 (13)	2.364 (100)

¹ cüruf içerir.

² kompost içerir.

8.1.3 Çamur Miktarı

Çeşitli proses ve işlemler sonucu üretilen çamur miktarı ve fiziksel özellikleri ile ilgili bilgiler Tablo 8.10’da verilmektedir. Bu bilgiler oldukça faydalı olmasına karşın üretilen çamur miktarının büyük değişkenlik gösterdiği unutulmamalıdır.

Çeşitli proseslerden elde çamurun konsantrasyonu ile ilgili bilgiler Tablo 8.11’de verilmektedir.

Tablo 8.10. Çeşitli arıtma sistemlerinden çıkan çamur miktarları ve fiziksel özellikleri(1).

Arıtma işlemleri ve prosesleri	Çamur katısının özgül ağırlığı	Çamurun özgül ağırlığı	Kuru madde kg/10 ³ m ³	
			Aralık	Tipik
Birincil çamur	1.4	1.02	108-167	151
Aktifçamur ^a	1.25	1.005	72-96	84
Damlatmalı filtre humusu ^a	1.45	1.025	60-96	72
Uzun havalandırılmalı sist. ^a	1.3	1.015	84-120	96 ^d
Havalandırılmalı lagün ^a	1.3	1.01	84-120	96 ^d
Filtrasyon tesisi	1.2	1.005	12-24	18
Alg giderimi	1.2	1.005	12-24	18
Ön çöktürme ^b (fosfor giderimi için)				
Düşük dozda kireç (350-500mg/l)	1.9	1.04	241-398	301
Yüksek dozda kireç (800-1600mg/l)	2.2	1.05	602-1325	795
Askıda büyüyen A.Ç. ile denitrifikasyon	1.2	1.005	12-30	18
Kaba kum filtreler	1.28	1.02	-	- ^e

^aAtık çamur

^bFosfor giderimi için kimyasal ilavesi

^c İhmal edilebilir

^d Ön arıtma yok

^e Biyolojik arıtmadan gelen çamuru da içerir

Tablo 8.11 Çeşitli proseslerden elde edilen çamurlarda katı madde yüzdeleri

Aritma İşlemleri	Çamur kuru madde konsantrasyonu % kuru madde	
	Aralık	Tipik
<i>Ön çökeltim tankı</i>		
Ön çökeltim çamuru	4-10	5
Siklona gönderilen ön çökeltim çamuru	0.5-3	1.5
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	3-8	4
Ön çökeltim ve damlatmalı filtre humusu	4-10	5
P giderimi için demir ilaveli ön çökeltim çamuru(öçç)	0.5-3	2
P giderimi için kireç (düşük doz) ilaveli (öçç)	2-8	4
P giderimi için kireç (yüksek doz) ilaveli (öçç)	4-16	10
Köpük	3-10	5
<i>Son çökeltim tankı</i>		
Aktif çamur		
Ön çökeltim havuzu olan	0.5-1.5	0.8
Ön çökeltim havuzu olmayan	0.8-2.5	1.3
Saf oksijenli aktif çamur		
Ön çökeltim havuzu olan	1.3-3	2
Ön çökeltim havuzu olmayan	1.4-4	2.5
Damlatmalı filtre humusu	1-3	1.5
Döner biyodisk sistemi	1-3	1.5
<i>Graviteli yoğunlaştırıcı</i>		
Sadece ön çökeltim çamuru	5-10	8
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	2-8	4
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	4-9	5
<i>Flotasyonlu yoğunlaştırma</i>		
Sadece aktif çamur		
Kimyasal madde ilavesi ile	4-6	5
Kimyasal madde ilavesi olmadan	3-5	4
<i>Santrifüj yoğunlaştırıcı</i>		
Sadece atık aktif çamur	4-8	5
<i>Bantlı yoğunlaştırıcı</i>		
Kimyasal madde ilavesi ile sadece atık aktif çamur	3-6	5
<i>Havasız çürütücü</i>		
Sadece ön çökeltim çamuru	5-10	7
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	2.5-7	3.5
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	3-8	4
<i>Havalı çürütücü</i>		
Sadece ön çökeltim çamuru	2.5-7	3.5
Ön çökeltim çamuru ve atık aktif çamur	2.5-7	3.5
Ön çökeltim çamuru ve damlatmalı filtre humusu	1.5-4	2.5
Sadece atık aktif çamur	0.8-2.5	1.5

Çamurda hacim-öztgöl ağırlık ilişkileri: Çamur hacmi büyük oranda içeriğindeki su miktarına ve daha az oranda ise katı madde özelliğine bağılıdır. Örneğin %10 katı maddeli çamur, ağırlık olarak %90 su içerir. Katı madde sabit (mineral) katı ve uçucu organik katıdan oluşmuş ise katı maddenin öztgöl ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\frac{W_s}{S_s \rho_w} = \frac{W_f}{S_f \rho_w} + \frac{W_v}{S_v \rho_w} \quad (8.1)$$

W_s = çamurun toplam katı madde ağırlığı
 S_s = toplam katının öztgöl ağırlığı
 ρ_w = suyun yoğunluğu
 W_f = sabit katının (mineral kısım) ağırlığı
 S_f = sabit katının öztgöl ağırlığı
 W_v = uçucu katının ağırlığı
 S_v = uçucu katının öztgöl ağırlığı

Çamur hacmi aşağıdaki eşitliğe göre tanımlanır;

$$V = \frac{W_s}{\rho_w S_s P_s} \quad (8.2)$$

W_s = kuru katı ağırlığı, kütle
 ρ_w = suyun yoğunluğu, kütle/hacim³
 S_s = çamurun öztgöl ağırlığı
 P_s = yüzde katı

Katı içeriğinin yaklaşık hesaplanmasında, hacim aşağıdaki eşitlikle verilen yüzde katı miktarı ile doğrudan ilişkili olup değişkenlik göstermektedir.

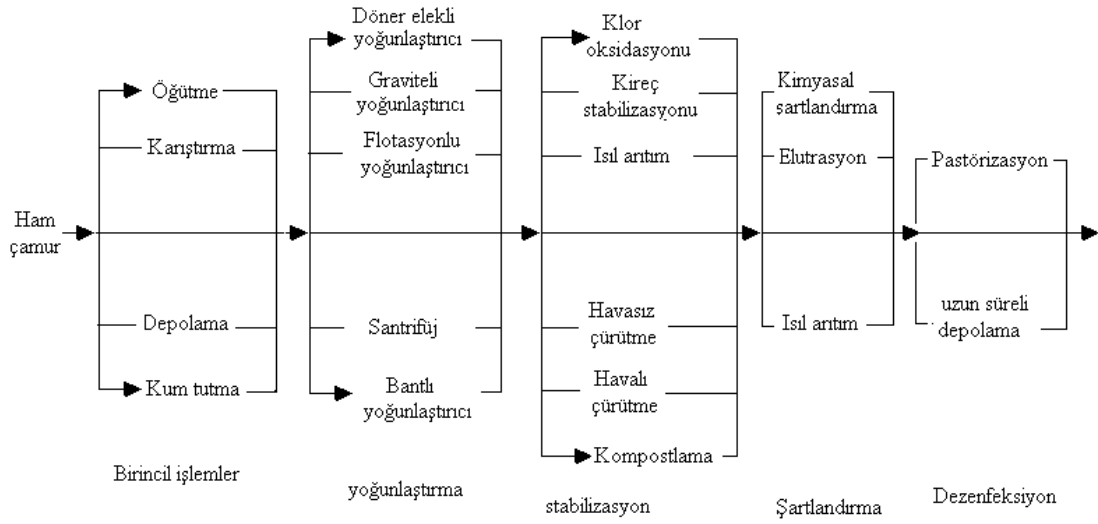
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \quad (8.3)$$

V_1 ve V_2 = çamur hacimleri
 P_1 ve P_2 = katı madde yüzdesi

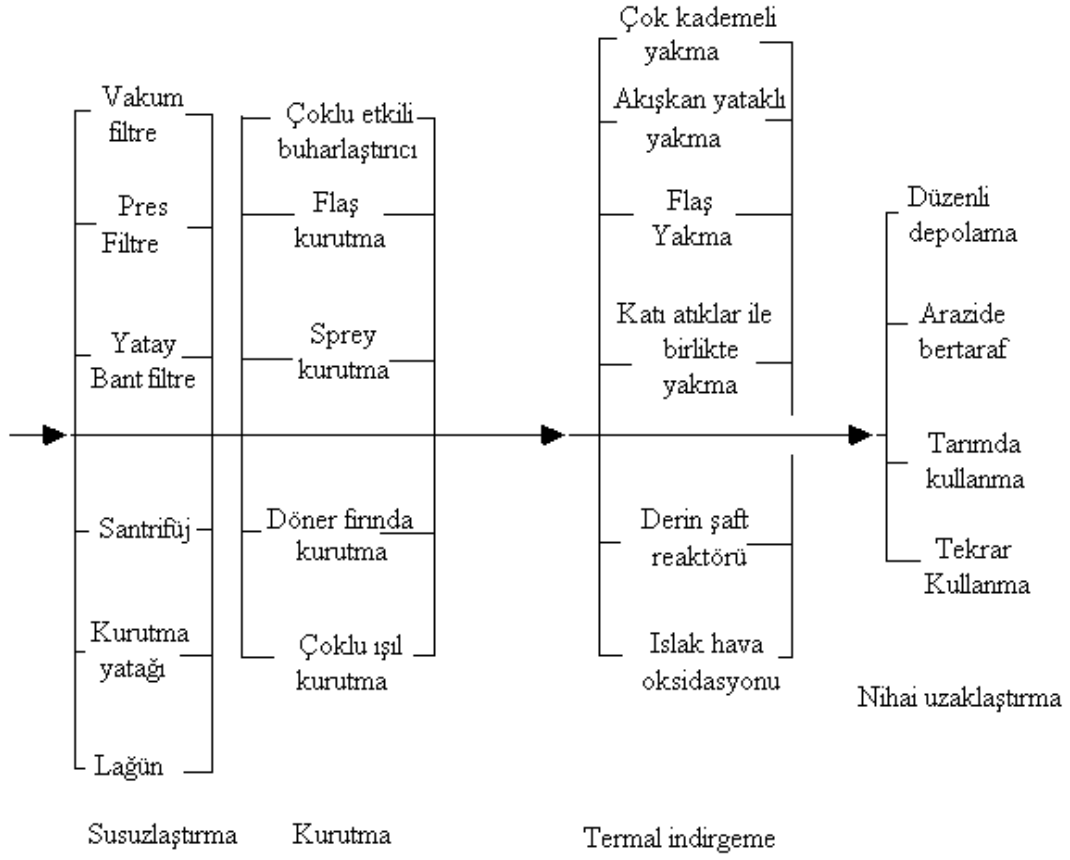
8.2 Çamur Arıtım Sistemleri Akış Şeması

Çamur arıtma proses ve işlemlerinin tek tek verildiği genelleştirilmiş akım şeması, Şekil 8.1’de görülmektedir. Pratikte biyolojik arıtmanın olduğu veya olmadığı durum gözönüne alınarak çamur arıtma akış diyagramları iki genel sınıfa ayrılır. Biyolojik arıtmanın da dahil olduğu akım şeması Şekil 8.2’de verilmektedir. Çamur kaynağına bağlı olarak, çamur stabilizasyonu, susuzlaştırma ve uzaklaştırma metotlarına bağlı olarak yoğunlaştırıcı kullanılır. Biyolojik çürütmenin devamında ekonomik imkanlar ve yerel şartlara bağlı olarak, alternatif metotların birisi çamur susuzlaştırmada kullanılabilir.

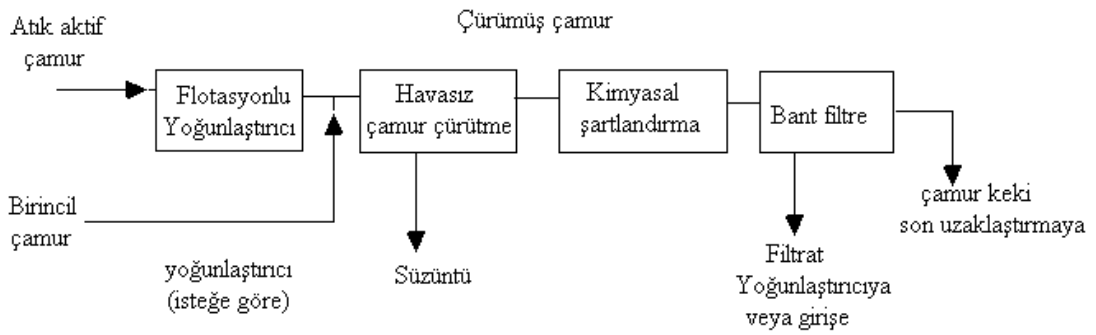
Endüstriyel ve diğer toksik atıkların bulunması çürütücülerin çalıştırılmasında sorunlara yol açabileceği için, çamur arıtımında farklı seçenekler düşünülmelidir.



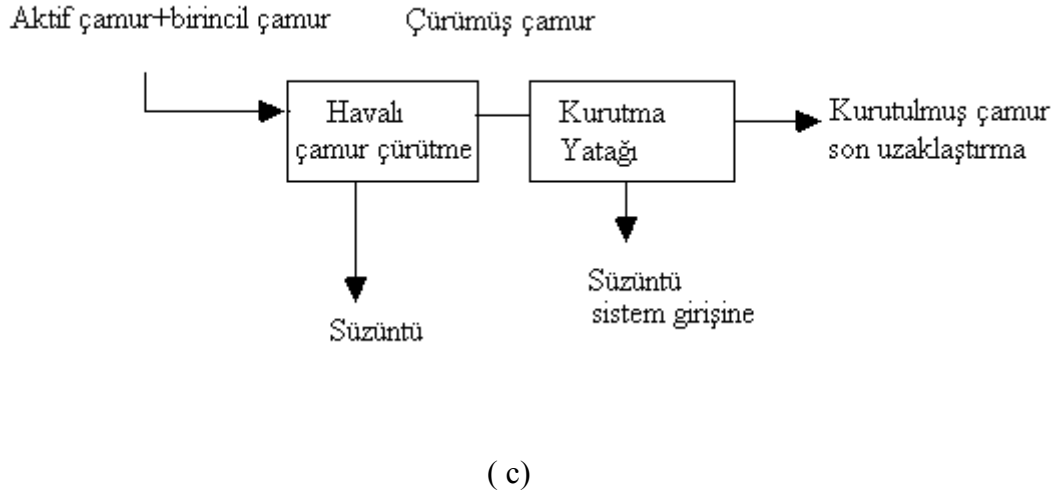
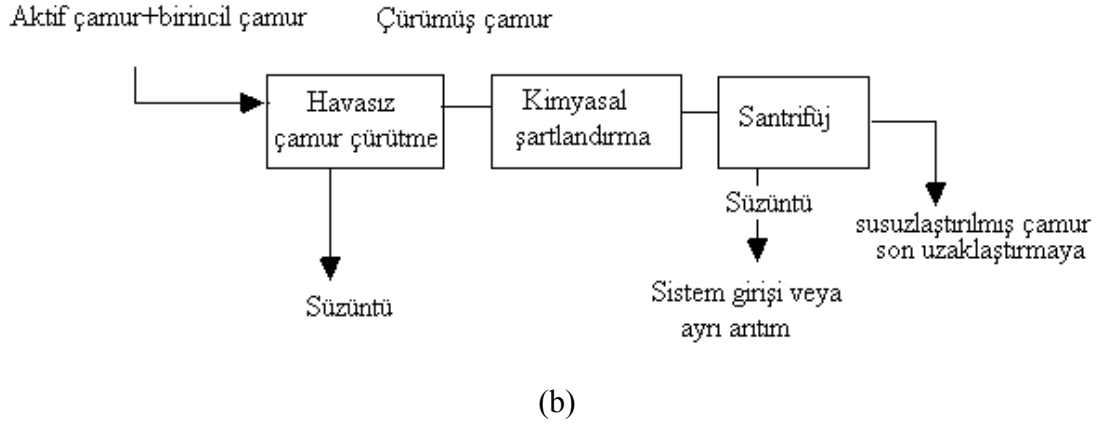
Şekil 8.1. Çamur işleme ve uzaklaştırma akış diyagramı (1).



Şekil 8.1. (Devam) Çamur işleme ve uzaklaştırma akış diyagramı



(a)



Şekil 8.2. Biyolojik çürütme ve üç farklı çamur susuzlaştırma prosesi ile tipik çamur arıtma akış diyagramı: a) Bant fitre, b) Santrifüj, c) Kurutma yatağı (1).

8.3 Çamur ve Köpük İletimi

Üretilen çamurun susuzlaştırmaya amacıyla bir sistemden diğerine taşınması gerekmektedir. Çamur, arıtmak veya atılmak üzere de taşınmak zorunda kalınabilir. Çamur tipi ve özelliklerine göre, farklı tipte pompaların kullanımı gerekebilir.

8.3.1 Pompa Tipleri

Çok sık kullanılan pompa tipleri;

- Mono pompa,
- Santrifüj,
- Tork akışlı,
- Diyaframlı,
- Yüksek basınçlı piston,

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 yapılabilir. Birincil çamurda pompa normal olarak öğütücüden sonra gelir. Pompanın bakım maliyeti, rotor ve statorda özellikle kumlu birincil çamurun pompalanmasında aşınma nedeniyle yüksektir. Bu pompaların özellikle yoğun birincil, karışık ve çürümüş çamurların iletiminde kullanılması tavsiye edilir.

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.

Tork-akışlı veya yüksek devirli santrifüj pompalar: Bu pompalar çamur taşımada oldukça etkilidirler. Tutulabilen partiküllerin boyutları, emme ve basma borularının çapı ile kısıtlıdır. 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 verilen hızlar için dar yük aralığında çalıştırılmalıdırlar, böylece sistem çalıştırma şartları dikkatlice değerlendirilmiş olur. Pompaların geniş aralıklı işletme şartlarında da çalıştırılacağı düşünüldüğünde, değişken hız kontrolleri önerilmektedir.

Yüksek basınç gerektiren uygulamalarda tork akışlı pompalar seri bağlanarak kullanılabilir.

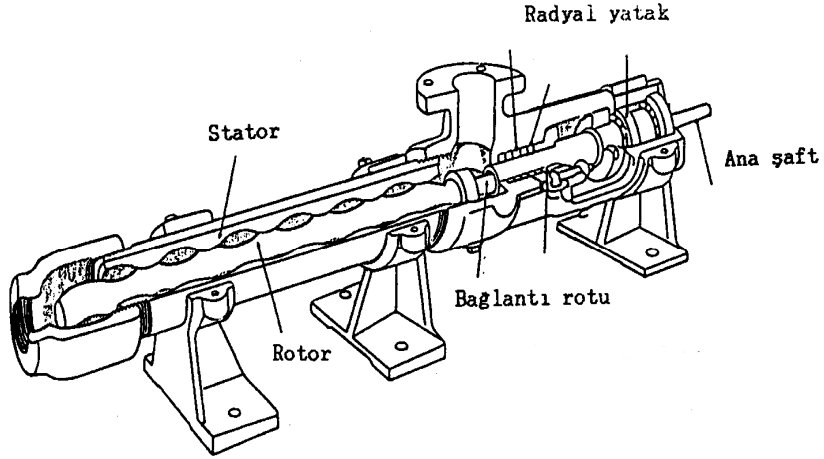
Tork akışlı santrifüj pompalar özellikle havalandırma tankına aktif çamurun geri döndürülmesi ve çürümüş çamurların iletiminde kullanılır.

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.

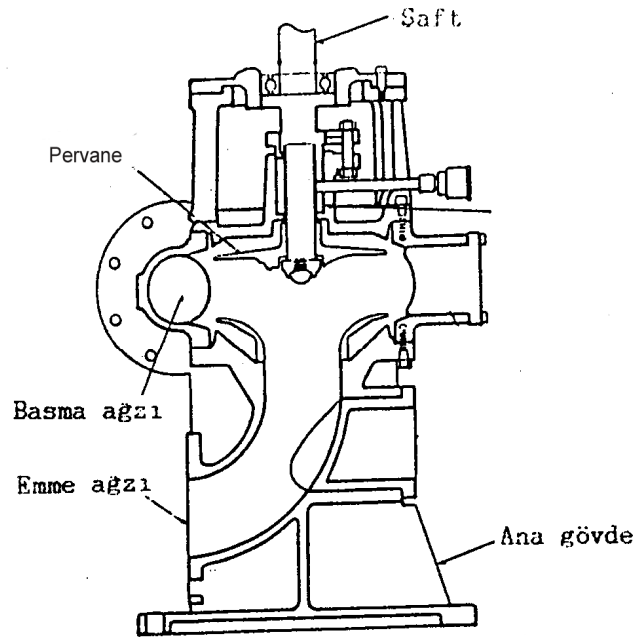
Yüksek Basınçlı Piston Pompalar: Yüksek basınçlı piston pompalar, çamurun uzun mesafelere taşınması gibi yüksek basınç uygulamalarında kullanılırlar. Yüksek basınç uygulamaları için geliştirilmiş birçok tipi vardır, işleyişi dalgıç pompalara benzer. Avantajları,

Yüksek basınçlarda küçük debiler iletebilir (13800 KN/m²),
Büyük partikülleri basabilecek çaplarda olabilir,
Belli katı konsantrasyonu aralığında çalışabilir,
Pompajı tek kademede gerçekleştirebilirler.

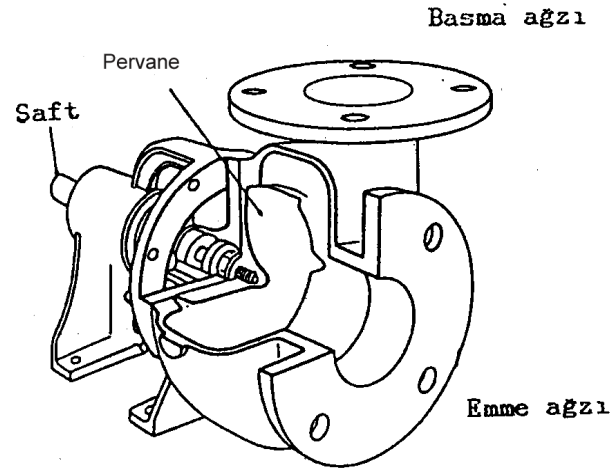
Bu avantajlarına karşılık çok pahalıdırlar.



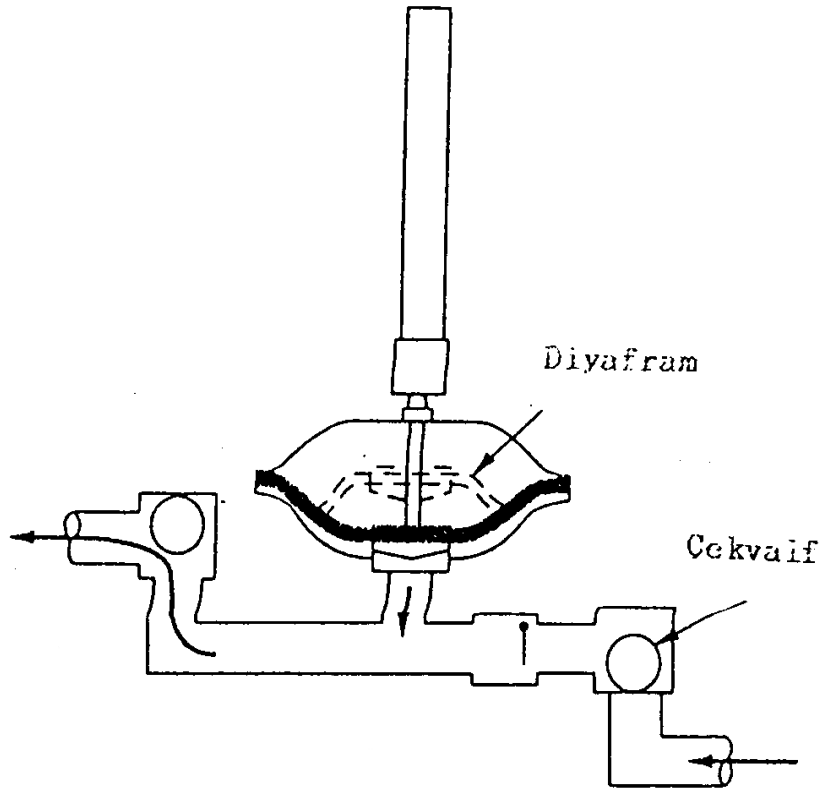
(a) Mamut Pompa



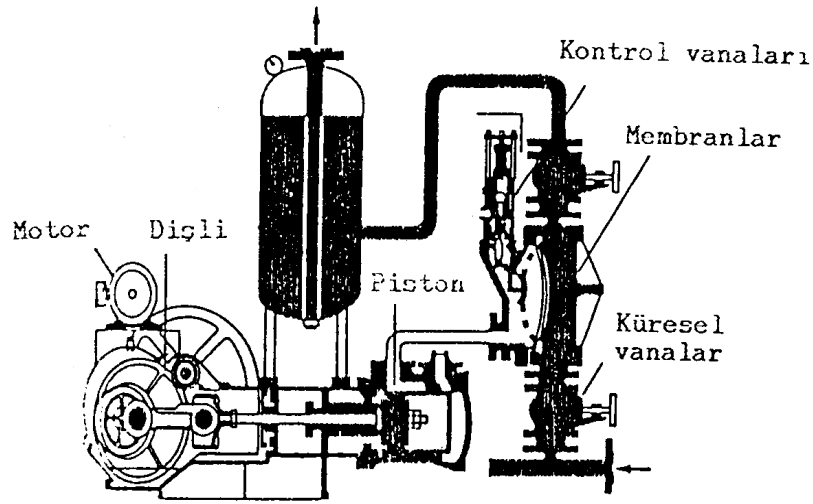
(b) Santrifuj Pompa



(c) Yüksek Devirli Santrifüj (Tork Akışlı) Pompa



(d) Diyafram Pompa



(e) Yüksek Basıncılı Piston
Şekil 8.2 (a) Çamur Pompaları

8.3.2 Çamur Tipine göre Pompa Seçimi

Pompalarla iletilen başlıca çamur tipleri birincil çamur, 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 8.12’de özetlenmiştir.

Tablo 8.12. Çamur tiplerine göre pompa seçimi uygulamaları (1).

Katı veya çamur tipi	Kullanılan pompa	Yorumlar
Elekte tutulan katı atıklar	Pompalanmaz	Pnömatik ejektör kullanılabilir
Kum	Tork akışlı (yüksek devirli) Santrifüj	Aşındırıcı karakteri ve kumaş vb bulunması pompalamayı zorlaştırır. Sürtünme ve zorlama olabilir. Pnömatik ejektör veya mammut pompa da kullanılabilir.
Köpük	Klapeli pompa, Mono pompa, Diyafram pompa, Açık fanlı santrifüj pompa	Çamur genellikle çamur pompası ile pompalanır. Vanalar, çamur ve köpük haline göre ayarlanır. Büyük sistemlerde ayrı köpük pompaları kullanılır. Pompalamadan önce, homojenleştirmek için köpük karıştırıcı kullanılır. Pnömatik ejektör de kullanılabilir.
Birincil çamur	Klapeli pompa, tork-	Birincil çamurun mümkün olduğu

	akışlı, mono pompa, santrifüj ve diyafram	kadar konsantre olması istenir, çamuru toplamak ve yoğunlaştırmak için çamur haznesinde toplanır, daha sonra pompalanır. Ham birincil çamurun özelliği, arıtma sistemi tipine, verimine ve sudaki katı özelliğine göre değişkenlik gösterir.
Biyolojik çamurlar	Birincil çamurun aynıdır.	Biyolojik arıtmada 1) Atık aktif çamur, 2) Damlatmalı filtre sonrası humus çamuru, 3) Çürütme tankı süzöntü suyu ve 4) Susuzlaştırma işleminden dönen çamur, çamur özelliğini etkiler.
Kimyasal çöktürme çamuru	Dalgıç, tork akışlı santrifüj, mono pompa, diyafram, yüksek basınçlı piston	Birçok durumda, çamurun özelliği, santrifüj pompa için uygun değildir.
Çürütülmüş çamur	Tıkanmasız ve tork akışlı santrifüj, mono pompa, klapeli ve diyafram pompalar	İyi çürütülmüş çamur homojen olup %5-8 katı madde ve gaz kabarcığı içerir, %12'ye kadar katı içerebilir. İyi çürütülmemiş çamuru kullanmak zordur. Eğer elek ve kum tutucu kullanılmış ise tıkanmasız santrifüj pompa kullanılabilir.
Damlatmalı Filtre humusu	Tıkanmasız ve tork akışlı santrifüj, mono pompa, klapeli ve diyafram pompalar	Çamur genellikle homojen karakterde olup, kolaylıkla pompalanır.
Geri dönüş veya atık aktif çamur	Klapeli, diyafram, yüksek-basınçlı piston, mono pompa, pozitif yerdeğiştirmeli	Çamur sulu ve ince katıları içerdiğinden tıkanmasız pompalar kullanılabilir. Bu pompalarda floküle partikülleri kırılmasını en aza indirmek için düşük hızlar önerilir.
Yoğunlaştırılmış çamur		Dönüşümlü kullanılan mono pompalar çamur kütlesini hareket ettirebilme özelliğine sahip olduğundan konsantre çamurlar için uygundur. Tork akışlı pompalarda kullanılabilir ancak itici güç veya sulandırma gerekebilir.

8.3.3 Yük Kaybının Hesabı

Çamur terfiinde karşılaşılan yük kaybı, çamur özelliğine, boru çapına ve akış hızına bağlıdır. Katı ve uçucu madde konsantrasyonunun artması ve düşük sıcaklık yk 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 değerin üzerine ulaştığında, akış türbülanslı olur. Yoğunlaştırılmamış aktif çamur ve damlatmalı filtre çamuru gibi sulu çamurlar, suya benzer davranışta bulunurlar. 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 pompalanmasındaki yük kaybı, suyun kaybindan %10-25 daha büyüktür. Düşük akım hızlarında birincil, çürütülmüş ve yoğunlaşma çamur plastik davranış gösterir. Bu durumda direncin yenilebilmesi için önce belli bir basınç gerekir ve sonra akış başlar. Laminer akış boyunca, düşük kritik hız 1.1m/s'ye ulaşana kadar hızın ilk kuvveti ile direnç artar. Yaklaşık 1.4m/s den daha yüksek kritik hızda akış türbülanslı olarak düşünülebilir. Birincil ve konsantre çamurlar için özellikle kritik artıhızlarda yük kaybı oldukça büyük olabilir.

Basitleştirilmiş Yük Kaybı Hesabı: Kısa çamur iletim hatları için yük kaybının hesabında nispeten kolay bir yöntem kullanılmaktadır. Yük kaybını hesaplamak için k faktörü, verilen çamur tipi ve katı konsantrasyonu için geliştirilmiş deneysel eğriden elde edilir (Şekil 8.3.a). Pompalanan çamurun yük kaybı, *Darcy-Weisbach*, *Hazen-Williams* veya *Manning* eşitlikleri kullanılarak su için bulunan yük kaybı k ile çarpılarak bulunur. Arıtma sisteminde çamur hattı genellikle kısa olduğundan, sürtünme kayıpları için basitleştirilmiş hesap yöntemini uygulamak yeterlidir. Uzun çamur hatlarında sürtünme kaybının tahmin edilmesi, mühendislik, ekonomik ve işletme durumlarını içeren daha dikkatli bir çalışmayı gerektirir.

Yük kaybının yaklaşık tahmini, Şekil 8.3b kullanılarak ta yapılabilir. Bu şekil laminer akım şartları altında;

- En düşük hız 0.8m/s olmak,
- Thixotropic davranışları dikkate alınmamak,
- Borunun yağ-gres veya diğer katılarla tıkanmadığı kabulü ile kullanılabilir.

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 yüklere 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,
- ve 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 yükü belirler.

Yük kaybı hesabında çamurun reolojik özelliklerinin dikkate alınması: Çamurun uzak mesafelere taşınması için, çamurun reolojik özelliklerini dikkate alan özel bir yük kaybı hesap metodu da geliştirilmiştir. Yük kaybı hesap metodu, Babbitt ve Caldwell tarafından deneysel ve teorik çalışmalar sonucu laminar akım şartları için geliştirilmiştir.

Su, yağ ve diğer bir çok sıvılar “Newtonian” olup, laminar akım şartlarında basınç düşüşü doğrudan hız ve viskozite ile orantılıdır. Hız artışı kritik değeri geçtikçe, akış türbülanslı olmaya başlar. Laminar akıştan türbülanslı akışa geçiş Reynolds sayısına bağlı olup, akışkan viskozitesi ile ters orantılıdır. Ancak atıksu çamuru “Newtonian” karakterde değildir. Laminar 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 ilişki vardır. Bingham plastik akışkan iki sabit ile tanımlanır;

- Sınır kayma gerilmesi, z_y ,
- Rijitlik katsayısı, η 'dır. Sınır kayma gerilmesi ve rijitlik katsayısı için tipik aralıklar şekil 8.3'te gösterilmiştir. Özel uygulamalar için reolojik verileri saptamada pilot deneysel çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Çamur için sürtünmeye bağlı basınç düşüşünü (yük kaybı) hesaplamada iki boyutsuz sayı, Reynolds sayısı ve Hedstrom sayısı kullanılabilir. Reynolds sayısı aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$Re = \frac{\rho V D}{\eta} \quad (8.4)$$

Burada, Re = Reynolds sayısı, boyutsuz,
 γ = çamurun özgül ağırlığı, kg/m^3
 ρ = çamurun özgül kütlesi, 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;

$$He = \frac{D^2 \tau_y \rho}{\eta^2} \quad (8.5)$$

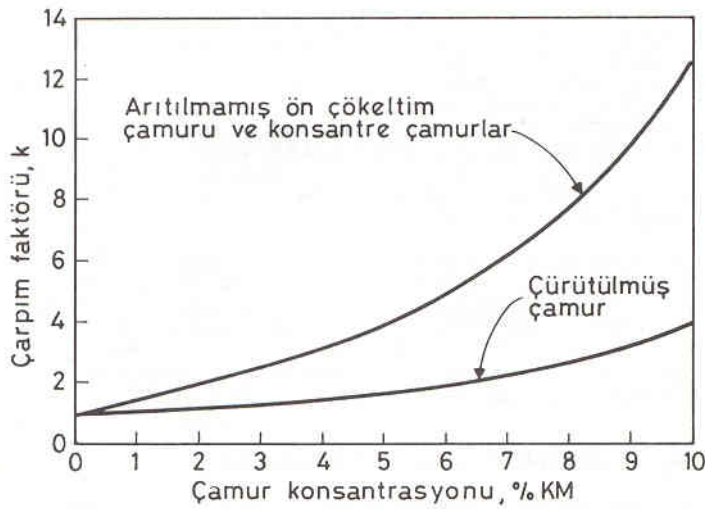
He = Hedstrom sayısı, boyutsuz
 τ_y = sınır kayma gerilmesi, N/m²
 $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ yerçekimi ivmesi

Türbülanslı şartlar için basınç düşüşü aşağıdaki gibi hesaplanır;

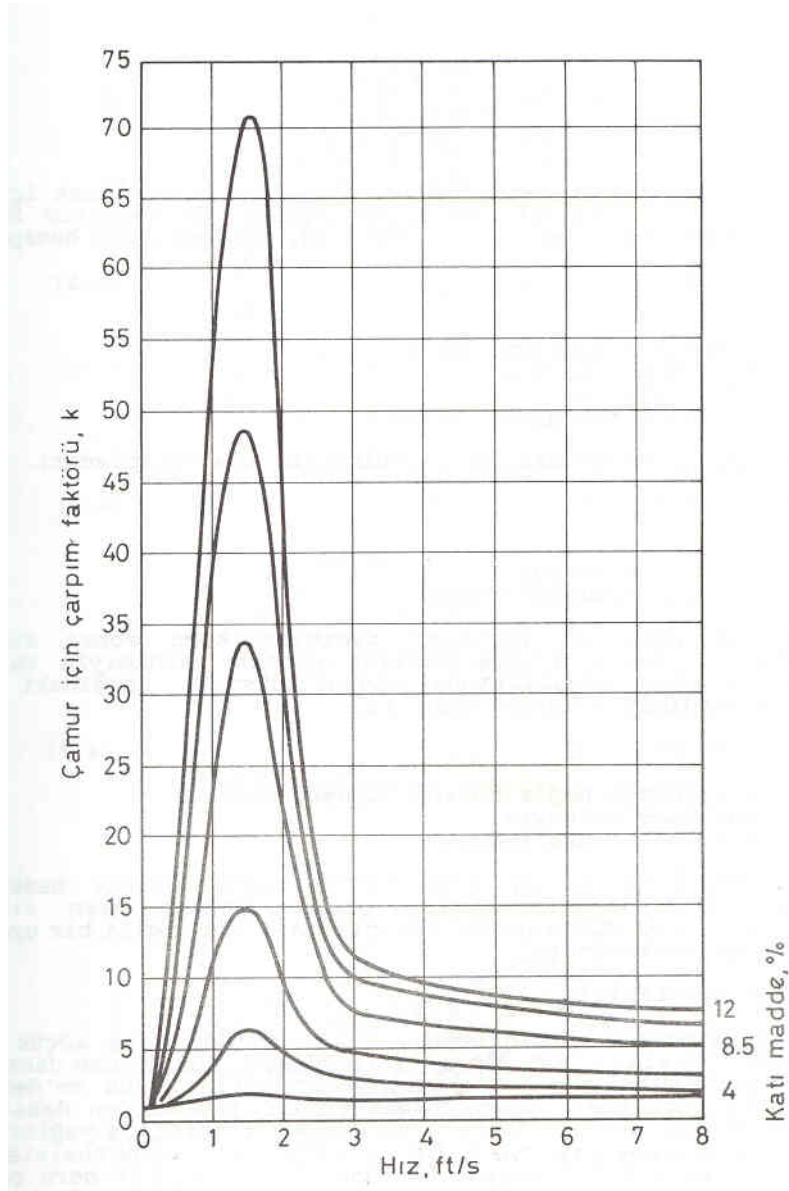
$$\Delta p = \frac{2f \rho L V^2}{D} \quad (8.6)$$

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 değerin dört katı olabilir.

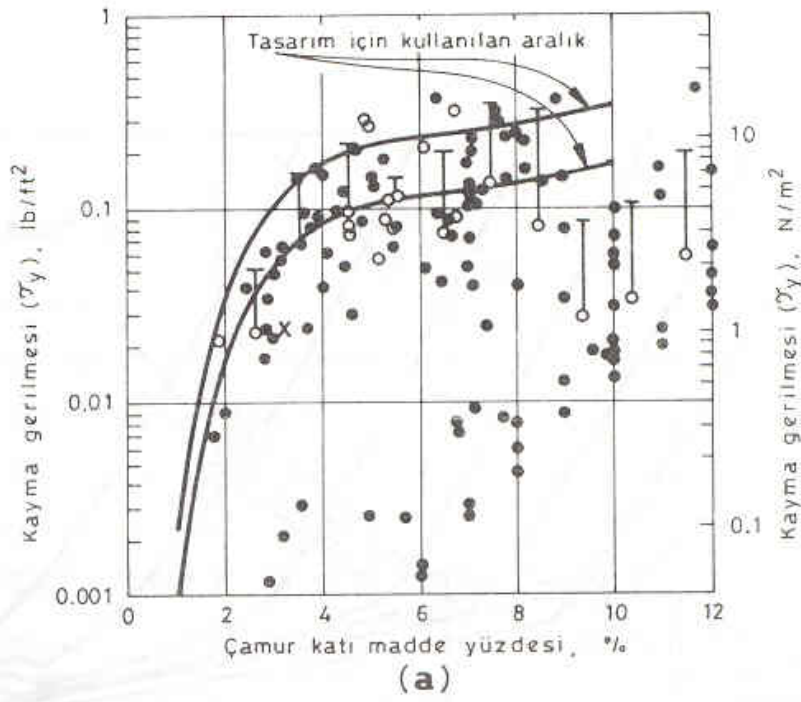


(a)



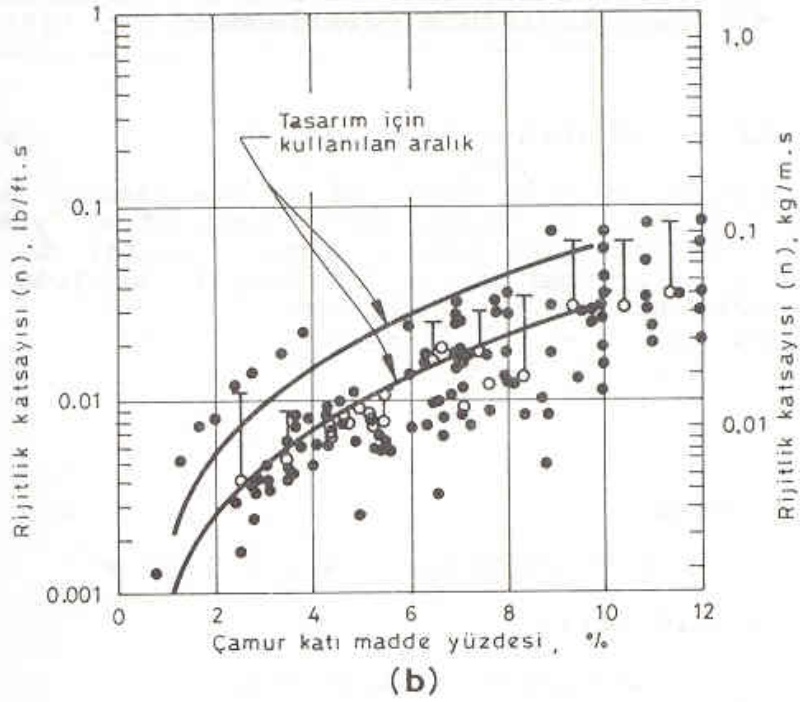
(b)

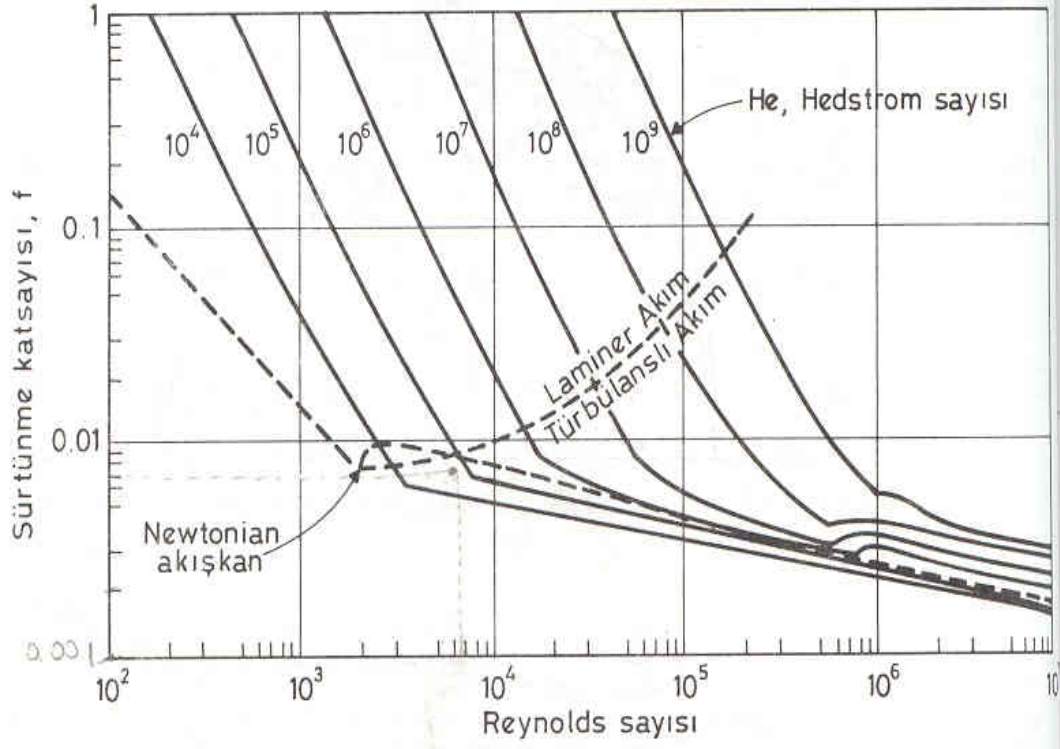
Şekil 8.3 Yük kaybı çarpım faktörleri a) farklı çamur tip ve konsantrasyonları için, b) boruda farklı hızlar ve çamur konsantrasyonları için. (1).



AÇIKLAMALAR

- o - Ham ön çökeltim çamuru
- X - Son çökeltim çamuru
- - Çürümüş çamur
- o - Medyan + standart sapma





(c)

Şekil 8.4 Çamur reolojisi yöntemlerine göre borularda yük kaybı hesabı için eğriler a) sınır kayma gerilmesine karşı % KM, b) sertlik katsayısına karşı % KM, c) Bingham plastiği olarak tanımlanan çamur için sürtünme faktörü (1).

8.3.4. Çamurun Borularla İletimi

Arıtma sisteminde, çamur ileten boru hatlarında çap 150 mm'den küçük olmamalıdır, ancak CTP hatlara daha küçük çaplar da başarılı bir şekilde kullanılır. Hız 1.5-1.8 m/s'yi aşmadığı sürece boru çapı 200 mm den büyük olmamalıdır. Çamur geri devir hattının çapı 200mm'den az olmamalıdır. Pompa bağlantı borularında da çapı 100 mm'den küçük olmamalıdır.

Birincil çamur ve köpüğün taşınımında çamurdaki gres borunun iç çeperlerini kaplama eğilimindedir. Gres birikimi büyük sistemlerde küçük sistemlere kıyasla daha fazla probleme yol açar. İç çeperlerin kaplanması, etkin çapı azaltıp terfi yükünü büyük oranda artırır. Bu yüzden, düşük kapasiteli mono pompalar için hesaplanan teorik yükün 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 sistemlerde, yağı eritmek için ana boru hattından döndürerek sıcak su, buhar veya çürütme tankı üst suyu geçirilir.

Arıtma sistemlerinde, boru boylarının kısa olması dolayısıyla sürtünme kayıpları genellikle daha az olur ve emniyet faktörü belirlemede daha az zorlukla karşılaşılır. Uzun çamur hatlarının tasarımında, aşağıda özel tasarım yöntemleri düşünülür;

- Tek boru hattının tıkanması durumuna önlem olarak iki 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 noktalar da hava tahliye ve sıvı boşaltma vanaları bulundurulur.
- Su darbesi etkileri de dikkate alınır.

8.4 Ön İşlemler

Çamur öğütme, kum ayırma, karıştırma ve depolama kademeleri, çamur işleme ünitesine homojen ve sabit özellikli bir çamur verebilmek için gereklidir. Karıştırma ve depolama, uygun tasarlanmış bir birimde veya ayrı birimlerde gerçekleştirilir.

8.4.1 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 prosestir. Çamur öğütmeyi gerektiren bazı prosesler ve amaçları Tablo 8.13’de verilmektedir. Öğütücüler yoğun bakım gerektirir, ancak tasarımılanmış düşük hızlı öğütücülerin yeni modelleri daha dayanıklı ve güvenilirlerdir. 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 8.13. Çamur öğütmeyi gerektiren prosesler veya işlemler (1).

İşlem veya proses	Öğütmenin amacı
Mono pompayla pompalama	Tıkanmayı önleme ve aşınmayı azaltma
Santrifüjle ayırma	Tıkanmayı önleme, genellikle büyük parçacıkları tutulduğu için çamur öğütme gerekmez.
Bant filtre ile susuzlaştırma	Çamur dağıtma sisteminin tıkanmasını önlemek, merdanenin eğrilmesini önlemek ve daha uniform susuzlaştırma sağlamak.
Isıl arıtma	Yüksek basınç pompasının ısı değiştiricinin tıkanmasını önlemek.
Klorla oksidasyon	Çamur partikülleri ile klorun temasını arttırmak.

8.4.2 Kum Ayırıcı

Birincil çökeltme 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 , santrüfuj kuvvetlerinin uygulanmasıdır. Bu işlem hiçbir hareketli parçası olmayan siklon kum ayırıcılarla gerçekleştirilebilir. Çamur silindirik besleme kısmına teğetsel olarak gönderilir ve üzerine bir santrüfuj 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.

8.4.3 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 oluşmaktadır. Çamurda homojen bir karışım elde edilerek daha sonraki işlem ve prosesler için hazırlanır. Çamurun uniform özellikli olması, susuzlaştırma, ısı arıtım ve yakma gibi kısa kalma zamanlı 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 çöktürme tankında :** ikincil ve ileri arıtım çamurları ön çöktürme tankına geri döndürülerek birincil çamur ile birlikte çöktürülür.
- **Borularda:** Bu durumda iyi bir karıştırma için çamur kaynağının ve besleme hızının dikkatli kontrol edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde çamurda uygun olmayan özellikler elde edilebilir.
- **Uzun bekletme süresi gerektiren çamur işleme sistemlerinde:** Havalı ve havasız çürütücüler (tam karışımli tipleri) beslenen çamurları uniform bir şekilde karıştırırlar.
- **Ayrı karıştırma tankında:** Bu yöntem karıştırılmış çamurun kalitesini kontrol etmek için en iyi imkanı sağlar.

44L/s kapasitesinin altındaki arıtma sistemlerinde, karıştırma ön çöktürme tankında gerçekleştirilir. Daha büyük sistemlerde optimum verime karıştırmadan önce ayrı yoğunlaştırıcı ile ulaşılır. Karıştırma tankı genellikle, mekanik karıştırıcı ve yönlendirme perdesinden oluşmaktadır.

8.4.4 Çamur Depolama

Çamur, debi dalgalanmalarını önlemek ve çamur arıtım üniteleri çalışmadığı zamanlarda çamurun biriktirilmesini sağlamak amacıyla depolanır. Çamur depolanmasının önemi özellikle, kireç stabilizasyonu, ısıt arıtım, mekanik susuzlaştırma, kurutma ve yakma proseslerine sabit besleme hızı sağlamaktır.

Düşük bekletme süreli çamur depolama, atıksu çöktürme tankı veya çamur yoğunlaştırma tankında yapılabilir. Uzun bekletme süreli çamur depolama, uzun bekletme süreli havalı ve havasız çürütme tankı gibi stabilizasyon tanklarında veya özel tasarlanmış ayrı tanklarda yapılır. Küçük sistemlerde çamur genellikle çöktürme 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.

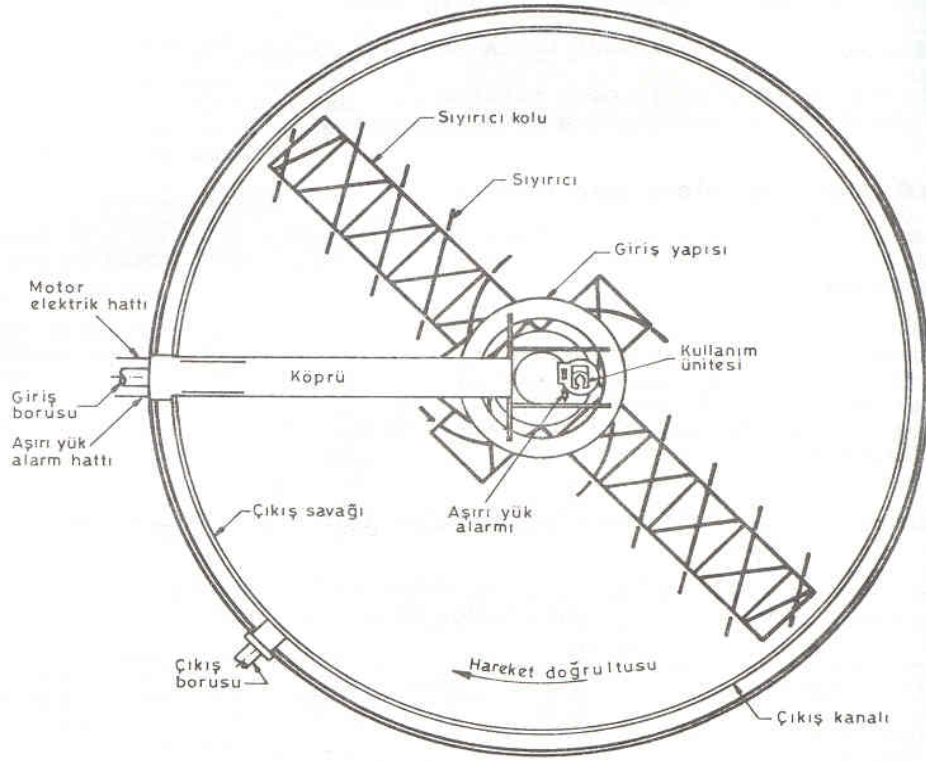
Çamur, septikleşmeyi önlemek ve karıştırmayı iyileştirmek için genellikle havalandırılır. Mekanik havalandırıcılar tam karışımın sağlanması için gereklidir. Septikleşmeyi ve kokuyu önlemek için depolama veya karıştırma tankında klor ve hidrojen peroksit kullanılmaktadır. Sodyum hidroksit veya kireç pH'ı yükselterek kokuyu kontrol etmek ve hidrojen sülfürü çözültide tutmak için kullanılır.

8.5 Yoğunlaştırma

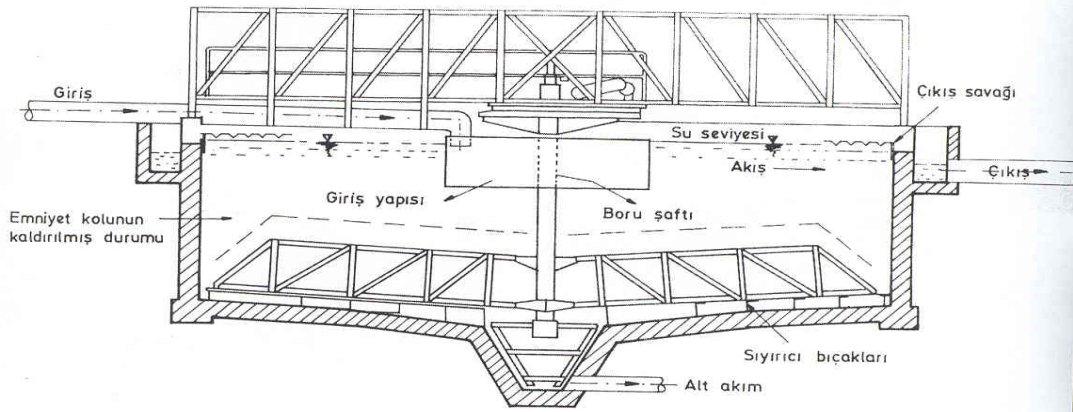
Birincil, fazla aktif çamur, damlatmalı filtre humusu veya karışık çamurların (birincil çamur + aktif çamur) katı içeriği, çamur özelliğine, çamur giderim ve iletim yöntemine ve işletme metoduna bağlıdır. Yoğunlaştırma, çamur karışımındaki sıvıyı gidererek katı içeriğinin artırılması işlemidir. İkincil çöktürme tankından pompalanan %0.8 katı içeren fazla aktif çamur, yoğunlaştırıcıda %4 katı konsantrasyonuna kadar yoğunlaştırılır, yani çamur hacminde 5 kez azalma sağlanır. Yoğunlaştırma genellikle graviteli, flotasyonlu, santrifüjlü ve graviteli bant filtre gibi fiziksel yollarla olur. Tipik çamur yoğunlaştırma yöntemleri Tablo 8.14'de verilmiştir. Graviteli yoğunlaştırıcının şeması Şekil 8.5 verilmiştir.

Tablo 8.14. Çamur proseslerindeki başlıca yoğunlaştırma teknikleri(1).

Metot	Çamur tipi	Kullanma sıklığı ve verim
Graviteli	Ham birincil çamur	Çok iyi sonuç alınır. Hidrosiklon kum tutucu ile kullanılır.
Graviteli	Ham birincil ve atık aktif çamur	Sık kullanılır. Küçük sistemlerde çamur konsantrasyonu %4-6 aralığında elde edilir. Büyük sistemde sonuçlar sınırlıdır.
Graviteli	Atık aktif çamur	Nadiren kullanılır. Düşük katı konsantrasyonları elde edilir (%2-3).
Çözülmüş-hava ile yüzdürme	Ham birincil ve atık aktif çamur	Kısıtlı kullanılır. Sonuçlar graviteli yoğunlaştırıcıya benzer.
Çözülmüş-hava ile yüzdürme	Atık aktif çamur	Yaygın kullanılır. İyi sonuç verir (%3.5-5 katı madde konsantrasyonu).
Sepet santrüfj	Atık aktif çamur	Kısıtlı kullanılır. İyi sonuç verir (%8-10 katı madde konsantrasyonu).
Helezon küreyicili santrüfj	Atık aktif çamur	Kullanımı artmakta. İyi sonuç verir (%4-6 katı madde konsantrasyonu).
Graviteli bant filtre	Atık aktif çamur	Kullanımı artmakta. İyi sonuç verir (%3-6 katı madde konsantrasyonu).
Döner elekli yoğunlaştırıcı	Atık aktif çamur	Kısıtlı kullanım. İyi sonuç verir (%5-9 katı madde konsantrasyonu).



(a)



(b)

Şekil 8.5 Graviteli yoğunlaştırıcı şeması: a) plan ve b) kesit (1).

8.5.1 Uygulama Alanları

Yoğunlaştırıcılarla başlıca hacim azaltma, sistemde daha sonra gelen üniteler, örneğin çürütme, susuzlaştırma, kurutma ve yakma, için başlıca aşağıda belirtilen dolayı faydalar sağlanır;

- Gerekli tank ve ekipman kapasitesi azalır,
- Çamur şartlandırma için gereken kimyasal miktarı düşer,
- Çürütücü için gereken ısı, ısıt kurutma ve yakma için gerekli yakıt miktarı azalır.

Çamurun önemli bir uzaklığa transfer edildiği büyük tesislerde, çamur hacminde azalma, boru çapında ve terfi maliyetinde azalmaya yol açar. Küçük tesislerde, minimum çap ve hız ihtiyacı, çamura ilave olarak önemli miktarda atıksuyu da pompalamak için gereklidir.

Çamur yoğunlaştırma, ön çöktürme, çamur çürütme ve özel tasarlanmış üniteler olmak üzere bütün atıksu arıtma sistemlerinde fayda sağlar. 44 L/s'den düşük kapasiteli arıtma sistemlerinde ayrı bir çamur yoğunlaştırıcı seyrek kullanılır. Yoğunlaştırıcı çeşitleri;

- Graviteli yoğunlaştırıcı,
- Flotasyon yoğunlaştırıcı,
- Santrifüj yoğunlaştırıcı,
- Bantlı yoğunlaştırıcı,
- Döner elekli yoğunlaştırıcı.

8.6 Stabilizasyon

Çamur stabilizasyonu başlıca aşağıdaki faydaları temin etmek üzere gerçekleştirilir:

Patojenlerin azaltılması,
İstenmeyen kokunun giderilmesi,
Kokuşmanın önlenmesi.

Mikroorganizmaların çamurda aktif kalması durumunda patojenlerin canlı kalması, koku açığa çıkması ve bozunma meydana gelir. Bu yüzden çamurun uçucu bileşeninin stabilizasyonu gerekir. Stabilizasyon prosesi;

- Uçucu bileşiklerin biyolojik parçalanması,
- Uçucu bileşiklerin kimyasal oksidasyonu,
- Mikroorganizmaları inhibe etmek üzere çamura kimyasal ilavesi,
- Çamurun sterilizasyonu veya dezenfeksiyonu için ısı uygulaması ,

İşlemlerinin en az birini veya birkaçını ihtiva eder.

Stabilizasyon prosesinin tasarımında dikkat edilecek en önemli hususlar , arıtılacak çamur miktarı ve diğer arıtma ünitelerine uygun bir entegrasyonun sağlanmasıdır. Çamur arazide kullanılacak ise, patojen giderimi bilhassa önemlidir.

Çamur stabilizasyonunda kullanılan başlıca teknolojiler;

- Kireç stabilizasyonu,
- Isıl arıtma,
- Havasız çürütme,
- Havalı çürütme, ve
- Kompostlama

olarak sıralanabilir.

8.6.1 Kireç Stabilizasyonu

Kireç stabilizasyonunda, kireç ham çamura ilave edilerek pH 12 veya üzerine yükseltilir. Yüksek pH'nın 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 stabilizasyonunda iki şekilde uygulanır;

- Çamur susuzlaştırmadan önce kireç ilavesi yapılır, bu işleme kireçle ön stabilizasyon,
- Çamur susuzlaştırmadan sonra kireç ilavesi, buna da kireçle son stabilizasyon denir.

Kireç stabilizasyonunda Ca(OH)_2 veya CaO kullanılabilir. Bazı durumlarda kül, çimento tozu, karpit kireci de kireç yerine kullanılabilir.

Kireçle ön-stabilizasyon: Sulu çamurda istenen pH seviyesine ulaşabilmek için daha fazla kireç ilavesine ihtiyaç duyulur. Buna ilave olarak, uygun patojen giderimine ulaşmak için susuzlaştırmadan önce yeterli bekleme süresi sağlanmalıdır. Önerilen tasarım kriteri, pH 12 nin üzerinde yaklaşık 2 saat kalma süresidir. Kireç dozajı çamur tipi ve katı madde konsantrasyonuna göre değişim gösterir. Tipik dozajlar Tablo 8.15'de verilmektedir.

Tablo 8.15. Sıvı çamur stabilizasyonu için tipik kireç dozları (4).

Çamur tipi	Katı konsantrasyonu, %		Kireç miktarı, $\text{gCa(OH)}_2/\text{gKM}^1$	
	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama
Birincil çamur	3-6	4.3	120-340	240
Aktif çamur	1-1.5	1.3	420-860	600
Havalı çürütülmüş çamur	6-7	6.5	280-500	380
Septik tank çamuru	1-4.5	2.7	180-1020	400

¹pH'ı 30 dakika 12 de tutmak için gereken miktar.

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 getiren miktarın yaklaşık 1.5 katı kadardır.

Kireçle son stabilizasyon: Organik maddelerin kireç ile stabilizasyonu her ne kadar bilinen bir yöntem olsa da, susuzlaştırılmış çamurun kireç ile ileri arıtımı yeni bir yöntemdir. Bu proste, Ca(OH)_2 veya CaO (sönmemiş kireç) susuzlaştırılmış çamurun pH'ını yükseltmek amacıyla kullanılır. Sönmemiş kireç çamur suyuyla exotermik 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;

- Kuru kireç kullanılabildiğinden dolayı, susuzlaştırılmış çamura su ilavesi gerekmez.
- Susuzlaştırma için ilave başka birşeye ihtiyaç yoktur.
- Kabuk problemi ve çamur susuzlaştırma ekipmanlarının bakım problemleri ortadan kalkar.

Kireç ve çamurun iyi karıştırılması durumunda, ufalanabilir iyi bir doku elde edilir. Bu çamur uzun süre saklanabilir veya araziye kolaylıkla yayılabilir.

8.6.2 Isıl Arıtım

Isıl arıtma, stabilizasyon ve şartlandırma proseslerinin her ikisinde de çamurun yüksek basınç altında kısa süreli ısıtılmasını içerir. 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 BOI, NH_4 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:

- 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 mahsurları;

- Ekipman yoğun olması ve korozyona dayanıklı malzeme kullanımı yüzünden yüksek ilk yatırım maliyetine sahiptir.
- Uсталık gerektiren bir işletme, tecrübe ve ciddi önleyici bakım programı gerektirir.
- Proseste oluşan atıksu yüksek organik karbon, amonyak ve renk kirliliğine sahiptir.
- Arıtım gerektiren kötü kokulu gazlar meydana gelir.
- Isı değiştirici, borular ve reaktörde kazan taşı oluşumu problemi görülür. Kabuk kontrolü asitle yıkama ve yüksek basınçlı su püskürtme gerektirir.

8.7 Havasız (Anaerobik) Çamur Çürütme

Havasız çürütme, çamur stabilizasyonu için kullanılan en eski proseslerde biri olup moleküler oksijen yokluğunda organik ve inorganik maddelerin parçalanması işlemi olarak tanımlanabilir. Bu sistemlerde meydana gelen biyokimyasal reaksiyonların özellikleri havasız kontakt prosesinin reaksiyonları ile aynı özelliktedir. Atıksu arıtımı sonucu oluşan arıtma çamurlarının biyolojik stabilizasyonunda ve bazı endüstriyel atıksuların arıtımında günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çürütme işlemi hava girişinin önlendiği kapalı bir reaktörde gerçekleştirilir. Havasız çürütme bir seri organizma grubu tarafından yürütülen bir biyolojik bozunma işlemidir. Havasız çürütme işleminin mekanizması daha önce Bölüm 7’de detaylı olarak açıklanmıştır.

Havasız çamur çürütücüler düşük hızlı ve yüksek hızlı olmak üzere başlıca iki tiptir (Şekil 8.6) 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 amacıyla ısıtma ve karıştırma uygulanır. Bu tip çürütücüler genellikle seri bağlı 2 reaktörden oluşur. İkinci reaktör katıların çökertilmesini ve çamur yaşının kontrolünü sağlar.

Bu iki sistemden düşük hızlı çürütücüler kesikli olarak çalıştırılmakta olup, genellikle ısıtılarak, gereken çamur bekletme süresi 30 ila 60 güne düşürülmektedir. Bu tip çamur çürütme birimlerinde organik yükleme hızı $0.5-1.5 \text{ kgUAKM/m}^3\text{-gün}$ arasında değişmektedir. Karıştırmanın uygulanmadığı standart hızlı çürütme tankları düşük kapasiteli ($4000 \text{ m}^3/\text{gün}$) biyolojik arıtma tesislerinde kullanılmaktadır.

Yüksek hızlı çürütme birimleri iki kademeli olarak işletilmekte, birinci kademede tam karışım sağlanarak çamurların ısıtılması sağlanmaktadır. İkinci tank ise çökeltme ve gaz biriktirme tankı olarak görev yapmaktadır. Bu tip tanklara $2.4-6.4 \text{ kg UAKM/m}^3\text{-gün}$ çamuryüklenabilmektedir. Birinci tanktaki çamur bekletme süresi 35°C ’de 10-15 gün arasında değişebilir. Çamur çürütme tankları genellikle dairesel olarak inşa edilmektedir. Bu tankların çapı 6m’den 35m’ye kadar değişebilir. Tank tabanı $1/4$ eğiminde olmalıdır. Merkezdeki sıvı derinliği 6 m’den 15m’ye kadar değişebilir.

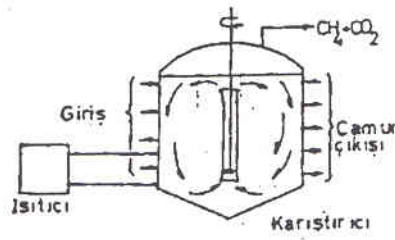
Çeşitli atıkların havasız çürütmesi için kinetik katsayıların tipik aralıkları Tablo 8.16’de verilmiştir. Sürekli akımlı tam karıştırmalı çürütücülerde çeşitli sıcaklıkları için tavsiye edilen ortalama çamur yaşı değerleri ise Tablo 8.17’de verilmiştir.

Tablo 8.16 Çeşitli atıkların havasız çürümesi için kinetik katsayıların tipik aralıkları (2).

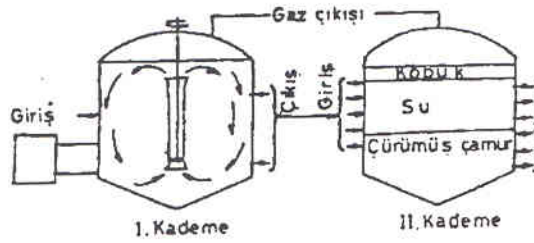
Atık türü	Kinetik katsayı	Birim	Değer(20°C)	
Evsel atıksu çamuru	Y k _d	mgUKM/mgBOI ₅ gün ⁻¹	0.04-0.1 0.02-0.04	0.06 0.03
Yağ asitleri	Y k _d	mgUKM/mgBOI ₅ gün ⁻¹	0.04-0.07 0.03-0.05	0.05 0.04
Karbonhidrat	Y k _d	mgUKM/mgBOI ₅ gün ⁻¹	0.02-0.04 0.025-0.035	0.024 0.03
Protein	Y k _d	mgUKM/mgBOI ₅ gün ⁻¹	0.05-0.09 0.01-0.02	0.075 0.014



a) Düşük hızlı çürütücü



b) Yüksek hızlı çürütücü



c) İki kademeli çürütücü

Şekil 8.6 Havasız çamur çürütücü tipleri (6).

Tablo 8.17. Sürekli akımlı tam karıştırılmalı çürütücülerde çeşitli sıcaklıklar için tavsiye edilen ortalama çamur yaşları (2).

Sıcaklık (°C)	Çamur yaşı (θ_c , gün)	
	En düşük	Tasarımda tavsiye edilen
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

Çamur konsantrasyonu ve hidrolik bekleme süresinin uçucu katı madde yükleme hızları üzerindeki etkisi Tablo 8.18’de verilmiştir.

Tablo 8.18. Çamur konsantrasyonu ve hidrolik bekleme süresinin uçucu katı madde (UKM) yükleme hızları üzerindeki etkisi (çamurun özgül ağırlığı 1.02 ve katı maddelerin %75’inin uçucu olduğu esas alınmıştır)(2).

Çamur konsantrasyonu (%)	Uçucu katı madde yükleme faktörü (kg/m ³ .gün)			
	10gün	12 gün	15gün	20gün
4	3.04	2.56	2.08	1.60
5	3.84	3.2	2.56	1.92
6	4.49	3.84	3.04	2.24
7	5.29	4.49	3.52	2.72
8	6.09	5.13	4.00	3.04
9	6.89	5.77	4.65	3.36
10	7.69	6.41	5.13	3.84

Kişi başına birim reaktör hacmi ihtiyacı Tablo 8.19’da verilmiştir. Bu değerler ısıtılmalı tanklar için geçerlidir. Isıtılmayan tanklar için kapasiteler bölgesel iklim koşullarına ve depolama ihtiyaçlarına göre arttırılmalıdır. Tablodaki değerler mutfak öğütücülerinin kullanıldığı yerlerde %60 oranında ve endüstriyel atıkların çürütücülere verilmesi durumu söz konusu ise eşdeğer nüfusa göre arttırılmalıdır. Mesofilik sıcaklık aralığında işletilen düşük hızlı ve yüksek hızlı havasız çürütücüler için tasarım kriterleri Tablo 8.20’de verilmiştir.

Tablo 8.19. Çürütücülerin hacim ihtiyaçları(2).

Tesis tipi	Kuru katı madde (g/N-gün)	Katı madde %	m ³ /10 ³ N.gün	Hacim ihtiyacı m ³ /10 ³ N
Birincil çamur	72	5	1.44	50-65
Birincil çamur + Damlatmalı filtre humusu	108	4	2.7	95-122
Birincil çamur + Aktif çamur	114	3	3.8	133-171

Tablo 8.20. Düşük hızlı ve yüksek hızlı havasız çürütücüler için tasarım kriterleri(2).

Parametre	Düşük hızlı	Yüksek hızlı
Çamur yaşı (gün)	30-60	15-20
Katı madde yükü(kgUKM/m ³ .gün)	0.64-1.6	2.4-6.4
Hacim kriterleri(m ³ /kişi)		
Birincil çamur	0.06-0.09	0.04-0.06
Birincil çamur + Damlatmalı filtre humusu	0.11-0.14	0.07-0.09
Birincil çamur + aktif çamur	0.11-0.17	0.07-0.11
Besleme konsantrasyonu(%KM)	2-4	4-6
Çıkış konsantrasyonu (%KM)	4-6	4-6

8.7.1 Çürümüş Çamur Suyu Özellikleri

Çürütücü suyu kalitesi, çürütücünün tek veya iki kademeli oluşu, karıştırma durumu ve katı maddelerin ayrılma (çökelme) oranı vb parametrelere göre değişir. Yoğunlaştırılmış birincil çamur ve biyolojik aktif çamur karışımının çürütüldüğü bir anaerobik çürütücünün tipik çıkış suyu özellikleri aşağıdaki Tablo 8.21’de verilmiştir.

Tablo 8.21. Havasız çamur çürütücü çıkış (üst) suyu özellikleri (6)

Parametre	Konsantrasyon (mg/l)
Toplam katı madde	3000-15.000
BOI ₅	1000-10.000
KOI	3000-30.000
NH ₄	400-1000
Toplam P	300-1000

8.7.2 İnhibitör ve Zehirli Maddeler

Çamur çürütücülerin organik maddeleri ayrıştırma verimleri, sisteme beslenen çamur içindeki çeşitli inhibitör maddeler nedeniyle belli ölçüde değişim gösterebilir. Çamur çürüme sürecini belirgin oranda inhibe eden, pratikte sık rastlanan inhibitör maddelerin zehirlilik eşikleri Tablo 8.22’de verilmiştir.

Tablo 8.22. Katı madde oranı %4.5 olan evsel atıksu arıtma tesisi çamurunun çürütüldüğü bir çürütücü için inhibitör madde zehirlilik sınır konsantrasyonları (6).

Madde	Zehirlilik eşiği (mg/l)
Anyonik deterjanlar	900
Metilen klorür, CH ₂ Cl ₂	1000
Kloroform, CHCl ₃	0.5-1
Karbon tetra klorür, CCl ₄	2-10
1,1,1-trikloreten	2.25
Monoklorobenzen	900
Ortodiklorobenzen	900
Paradiklorobenzen	1300 ¹
Pentakloro fenol	1-2
Siyanür	3-30 ²
Zn	590 ³
Ni	530 ³
Pb	1800 ³
Cd	1000 ³
Cu	850 ³

¹Atıksu arıtma tesisi girişindeki konsantrasyon

²Başlangıçta çok zehirli ancak zamanla anaerobik bakteriler alışabilir.

³Zehirlilik etkisi metal sülfür oluşumuna bağlı olarak değişir.

8.8 Havalı (Aerobik) Çamur Çürütme

Çeşitli arıtma işlemlerinden gelen organik çamurların biyolojik stabilizasyonu için kullanılan bir prosestir. Havasız çürütmeye alternatif olarak, atık aktif çamur havalı olarak da çürütülebilir. Atık aktif çamur ayrı bir tank içine alınır ve birkaç gün süre ile havalandırılır. Böylece çamur içindeki uçucu katı maddeler biyolojik olarak stabilize olur. Sonuçta oluşan çamur “havalı çürük çamur” adını alır. Havalı çürütmenin üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Uçucu katı madde (UKM) giderimi havasız çürütme ile elde edilene yakındır.
- Substrattaki BOI konsantrasyonları oldukça düşüktür.
- Kolayca bertaraf edilebilecek kokusuz, humusa benzer, biyolojik olarak kararlı ürün elde edilir.
- Oluşan çamurun susuzlaştırma karakteristikleri çok iyidir.
- Çamurun gübre değeri yüksektir.
- İşletme problemleri azdır.
- Yatırım maliyetleri düşüktür.

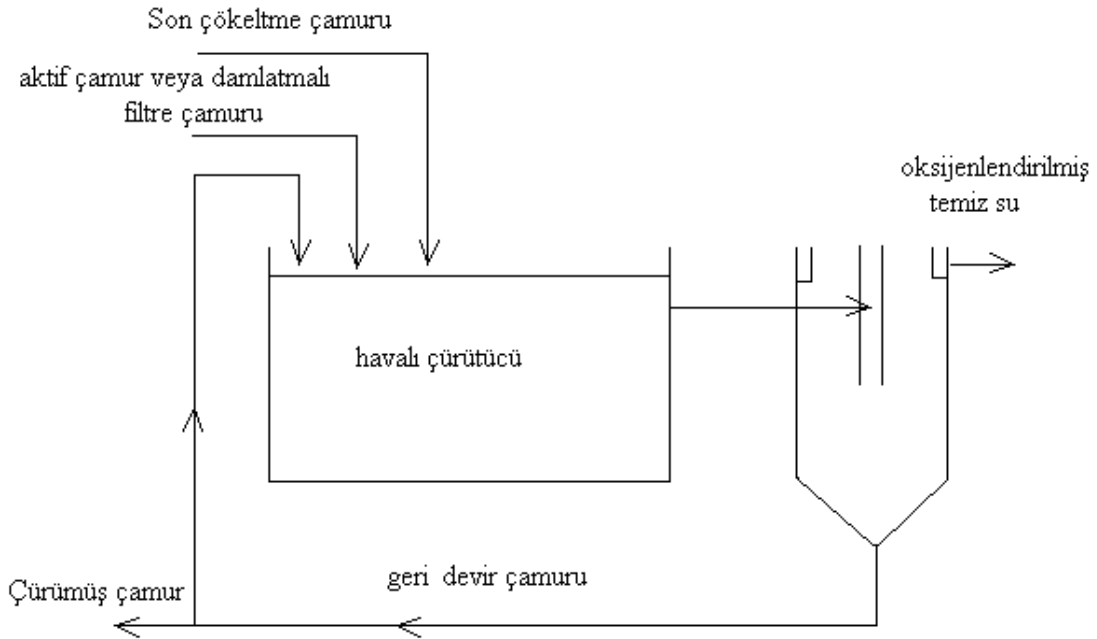
Havalı çürütmenin üstünlükleri yanında en önemli mahsuru, sisteme gerekli oksijeni sağlamak için yüksek, enerji ihtiyacıdır. Metan gibi yararlı bir son ürünün elde edilememesi de diğer bir sorunudur.

8.8.1 Havalı Çürütme Mekanizması

Havalı çürütme aktif çamur prosesine benzer. Ortamda mevcut besi maddesi miktarı azalırken, mikroorganizmalar hücre bakım reaksiyonları için gerekli olan enerjiyi eld etmek üzere kendi protoplazmalarını yiyip bitirmeye başlarlar. Bu olay başladığında mikroorganizmalar endojen fazda bulunmaktadır. Hücre dokusu, havalı ortamda su, karbondioksit ve amonyağa oksitlenir. Gerçekte hücre dokusunun yalnızca %75-80'i oksitlenir; kalan %20-25'lik kısım ise inert maddeler ve biyolojik olarak indirgenemeyen organik maddelerden meydana gelmektedir. Bu oksidasyondan açığa çıkan amonyak, sonuçta nitrata oksitlendiğinde pH düşebilir. Teorik olarak oksitlenen kg amonyak başına 7.1 kg CaCO_3 alkalinitesi giderilir. Havalı çürütücülerin tasarım kriterleri Tablo 8.23'de verilmektedir.

Aktif çamur veya damlatmalı filtre çamuru ön çökeltim çamuru ile karıştırılıp havalı olarak çürütüldüğünde ön çökeltim çamurundaki organik maddenin direkt oksidasyonu ve hücre dokusunun içsel oksidasyonu bir arada gerçekleşir. Havalı çürütücüler kesikli veya sürekli reaktörler olarak işletilebilir. Sürekli beslemeli havalı çürütücüye ait şematik kesit Şekil 8.7'de verilmiştir. Sistemin iki uygulaması vardır:

Klasik havalı çürütme,
Saf oksijenli havalı çürütme.



Şekil 8.7 Havalı çürütücü sistemine ait şematik resim.

Tablo 8.23. Havalı çürütücüler için tasarım kriterleri(2).

Parametre	Birim	Değer
Hidrolik bekleme süresi	Gün	
Atık aktif çamur		10-15
Ön çökeltimsiz aktif çamur		12-18
Birincil çamur+aktif çamur veya damlatmalı filtre çamuru		15-20
Katı madde yüklemesi	kgUKM/ m ³ .gün	1.6-4.8
Oksijen ihtiyacı	kg/kg tüketilen	
Hücre dokusu (UKM)		2.3
Birincil çamurdaki BOI ₅		1.6-1.9
Karıştırma için enerji ihtiyacı		
Mekanik havalandırıcı	kW/10 ³ m ³	20-40
Basınçlı hava ile karıştırma	m ³ /10 ³ m ³ .dakika	20-40
Sudaki çözünmüş oksijen	mg/l	1-2
Sıcaklık	°C	15
Uçucu katı madde giderimi	%	40-50

8.9 Kompostlaştırma

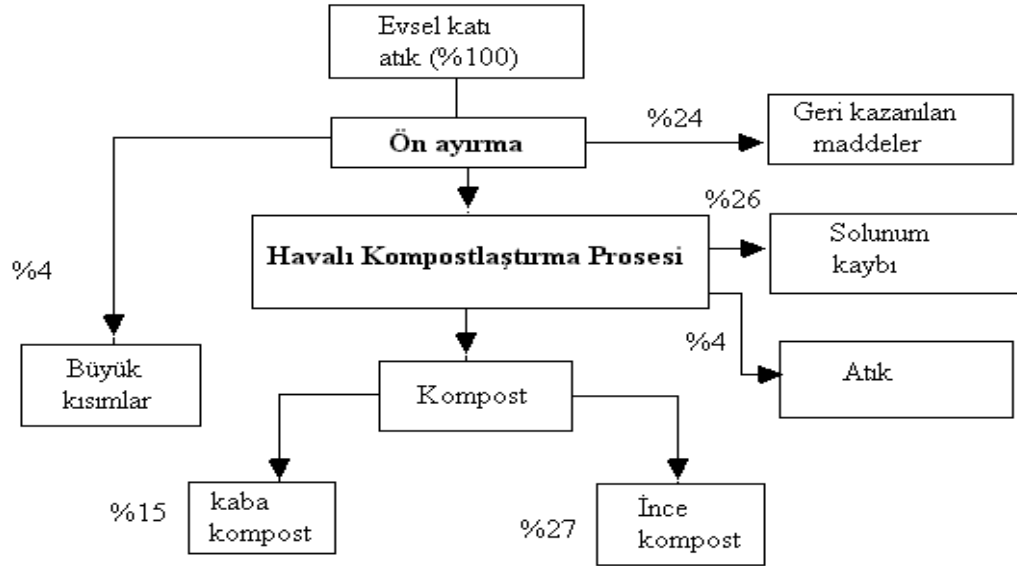
8.9.1 Havalı Kompostlaştırma

Şehirleşme ile birlikte katı atık oluşumu hızla artmış ve günümüzde en önemli çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Organik maddeler evsel katı atıkların önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu probleme ekonomik ve çevre dostu çözümler araştırılması sonucunda kompost uygulanabilir bir çözüm olarak gündeme gelmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Katı atıkların havalı şartlarda biyolojik arıtımı kompostlaştırma olarak adlandırılır. Havalı ve havasız kompostlaştırma, hacim azaltmak, stabilizasyon ve patojen giderme amacıyla uygulanan katı atık dönüştürme ve uzaklaştırma teknolojileridir.

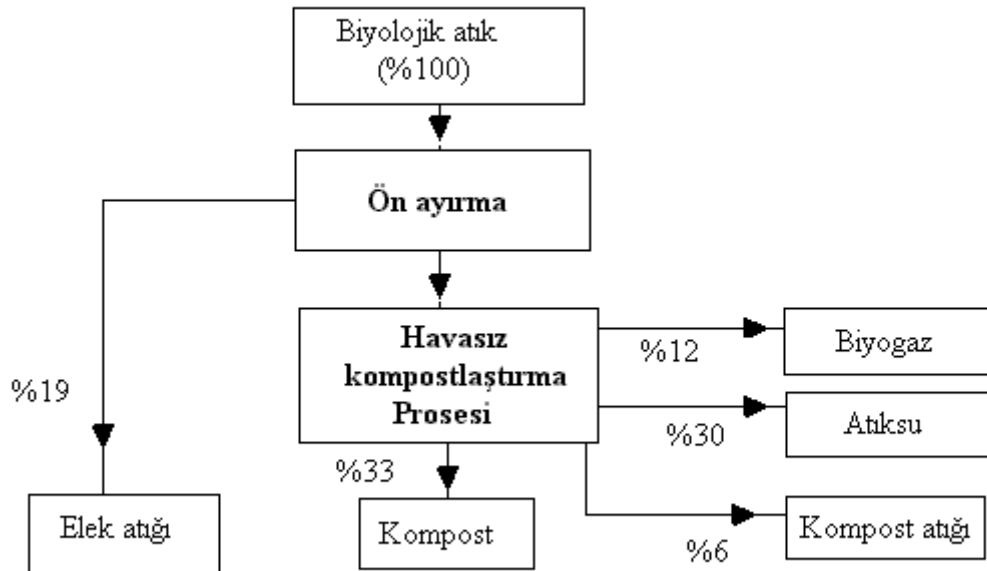
Kompostlaştırma organik atıkların, havalı termofilik çürüme ile olabildiğince stabil çamur benzeri bir humusa dönüştürülmesidir. Sonuç olarak ortaya çıkan humusta %25'e varan oranda ölü veya canlı organizma mevcut olabilir. Kompostlaştırmada pratik olarak kontrol edilmesi gereken en önemli parametreler karbon/azot oranı, sıcaklık ve havalandırmadır. Doğru bir kompostlaştırma için C/N oranı 40'tan fazla olmamalı ve nem oranı %60'ı geçmemelidir. Optimum sıcaklıkta 60°C'dir.

Mekanik havalandırma, kompostlaşma süresini 10 haftadan 2 haftaya indirebilir. Katı atıkların biyolojik arıtımı sıvı ve gaz atıkların giderilmesinden farklılık gösterir. Katı atıklar çok heterojen yapıda ve biyolojik parçalanması zor atıklardır. Katı atık oluşumunun minimize edilmesi ve geri dönüşümle sisteme verilmesi en uygun çözüm olarak görülmektedir. Metal, cam ve kağıt atıklarının geri kazanılıp tekrar kullanılması, plastiklerin de tekrar kullanılabilir cinsten olması gerekir. Katı atıkların depolama alanlarında toprak altına gömülmesi uzun dönemde kokuşma ve yer altı suyu kirliliği gibi problemlere yolaçabilir.

Biyolojik olarak parçalanabilen katı atıklar havalı veya havasız olarak kompostlaştırılabilir. Havalı prosesler kompostlaştırma olarak bilinir (Şekil 8.8 ve 8.9). Biyolojik bozunma düzeyine ve sonuç işlemine bağlı olarak kompost 4 tipte sınıflandırılabilir.



Şekil 8.8 Bir havalı kompostlaştırma tesisi için kütle dengesi.



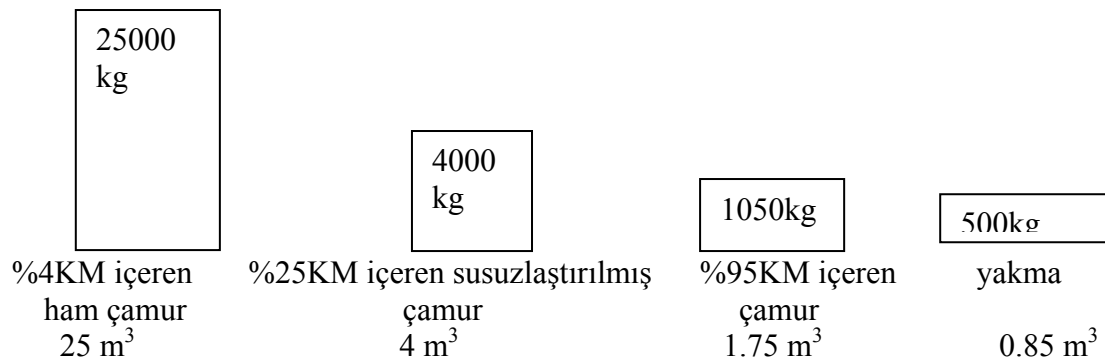
Şekil 8.9 Bir havasız kompostlaştırma tesisi için kütle dengesi.

Arıtma Çamuru: Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamur susuzlaştırıldıktan sonra kompostlaştırılabilir. Çeşitli atıksu arıtma proseslerinde oluşan çamurun bileşimi Tablo 8.24’de verilmiştir. Çamurun suyunun alınması, hacim ve ağırlığı azaltır. Örneğin %5 katı madde içeren 20 kg çamurda yalnızca 1 kg katı madde vardır. Susuzlaştırma işleminden sonra %40 katı madde içeren (hacmi 1/8 e düşen) bu çamurun ağırlığı sadece 2.5 kg gelecek yani %87.5’luk bir ağırlık azalması olacaktır.

Tablo 8.24. Arıtma çamurlarının özellikleri (2).

Çamur tipi	Nem oranı (%ağırlık)	Katı oranı (% ağırlık)	Organik katılar (%kuru ağırlık)	İnorganik katılar (% kuru ağırlık)
Ham birincil çamur	92-95	8-5	80-60	20-40
Düşük hızlı damlatmalı filtre çamuru	90-92	10-8	-	-
Yüksek hızlı damlatmalı filtre çamuru	93-95	7-5	-	-
Atık aktif çamur prosesi	96-97	4-3	75-62	25-38
Çürümüş çamur	90-93	10-7	60-45	40-55

Biyolojik arıtma işlemi sonucunda ortaya çıkan çamurların, insanlara ve çevreye değişik zararları bulunmaktadır. İçerdiği organik maddeler, mikroorganizmaların çoğalmasına fırsat tanır. Bu mikroorganizmalar değişik hastalıklara yol açacağından bu çamurların mutlaka düzenli depolama alanlarına taşınması gerekmektedir. Ancak hiçbir işleme tabi tutulmamış çamurun taşınması ve depolanması, katı madde (KM) oranının çok düşük olmasından dolayı pek akılcı bir yaklaşım değildir. Örneğin 1 ton katı madde içeren atık çamurun farklı işlem düzeylerindeki miktarları Şekil 8.10’da verilmiştir.



Şekil 8.10 1 ton katı madde (KM) içeren atık çamurun farklı işlem düzeylerindeki miktarları.

8.9.1.1 Kompostlaştırma mekanizması

Katı atıkların havalı şartlarda biyokimyasal süreçlerle stabilizasyonu kompostlaştırma olarak adlandırılır. Biyolojik olarak parçalanabilen katı atıklar (özellikle gıda sanayi atıkları) öğütülerek küçük parçacıklar haline getirildikten sonra yığın halinde alt tarafı ızgaralı bir zemin üzerine konarak gerekirse uygun mikroorganizmalarla aşılandıktan sonra alt taraftan havalandırılarak biyolojik parçalanmaya tabi tutulurlar. Kompostlaştırma süresi ortalama olarak 5-7 hafta arasında değişebilir.

Kompostlaştırma, katı organik maddelerin uygun çevresel koşullarda mikroorganizmalar tarafından havalı çürütülme ve stabilizasyonudur. Son ürün stabil, toprağa benzer ve humusça zengin hijyenik bir maddedir. Kompostlaştırma prosesinin amacı, atığın çevreye zarar vermeden biyolojik olarak parçalanabilmesidir. Kompostlaştırma, atığın biyolojik olarak parçalanabilen kısmının geri kazanılması ve yeniden değerlendirilmesi olarak görülebilir. Bu proses, biyolojik olarak parçalanabilen atığın hacmini, kütesini ve nemini azaltıp değerli birtoprak düzenleyici haline dönüştürür.

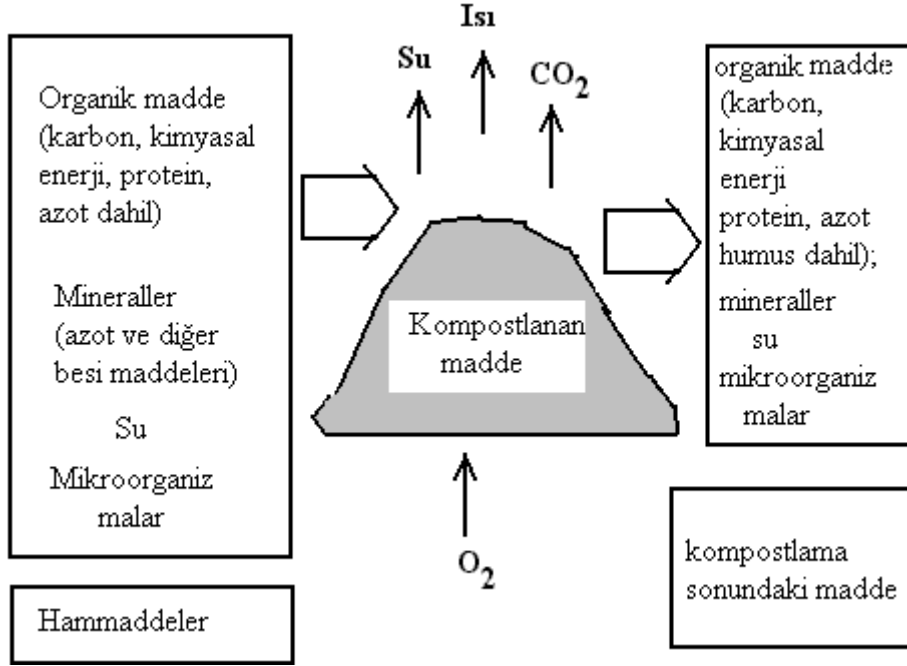
Her canlı, canlı kalabilmek ve yaşamını düzenlemek için enerjiye ihtiyaç duyar. Kompostlaştırma sırasında, mikroorganizmalar ürettikleri enzimler yardımıyla organik maddeleri parçalarken oksijen tüketirler. Havaya yüksek ısı, büyük miktarda CO₂ ve su buharı verilir ve yeni mikroorganizmalar gelişir (Şekil 8.11).

Bir grup havalı mikroorganizma, partiküllerin yüzeyini saran sıvı tabakasında oluşur. Mikroorganizmalar partikülün iç kısmını değiştirmeden bırakarak partikül yüzeyindeki uygun oksijeni kullanırlar. Partikülün suyu çekilir ve mikroorganizma faaliyetleri ile ayrışır.

Isının ortaya çıkması direkt olarak mikrobiyal aktiviteyle bağlantılı olmasına rağmen, sıcaklık proses için iyi bir indikatördür. Kompostlaştırmanın ilk günlerinde organik atıkların kolayca parçalanabilen bileşikleri metabolize olur. Sıcaklık bazı durumlarda 60°C'yi aşabilir. Bu yüksek sıcaklık patojenleri ve zararlı tohumları öldürür, ancak bu arada birçok mikroorganizma da ölmeye başlar veya daha dirençli hale gelir. Bu da daha az ısının oluşması ve sonuç olarak yığının birkaç gün sonra soğuması demektir. Yığın soğuduğunda sporlar, termofilik mikroorganizmalar ve son olarak mezofilik popülasyon oluşur. Normal olarak kompostlanan maddenin sıcaklığı 50-60°C'lik hızlı bir artışı takip eder. Bu sıcaklık aralığı birkaç hafta devam eder. Aktif kompostlaştırma yavaşladığında, sıcaklık yavaş yavaş $\pm 37^{\circ}\text{C}$ ve sonunda çevre havası sıcaklığına düşer. Sonunda yığın yeteri kadar soğur ve içinde doğal olarak toprak mikroorganizmaları, protozolar, solucanlar, mantarlar, böcekler ve diğer daha büyük mikroorganizmalar ve organik maddeler yer alır. Zaman içindeki bu sıcaklık değişimi kompostlaştırma prosesindeki ayrışmanın hızını ve tipini yansıtır.

Kompostlaştırma ham maddedeki bir çok besleyici maddeyi saklar ve bunları stabil organik bileşiklerde stoklar. Bu da bitkilere besinlerin hızlı bir şekilde sağlanmasını sağlar, ancak bunların yavaş yavaş serbest bırakılmasını sağlar.

Bu olgunlaşma periyodunu aktif kompostlaştırma dönemi izler. Maddeler daha yavaş hızda olmak üzere biyokompostlanmaya devam eder ve oksijen tüketim hızı azalır. Aktif biyokompostlaştırma döneminden sonra elde edilen komposttaki azot, amonyum (NH_4^+) halindedir. Bir çok bitki, yüksek konsantrasyondaki amonyumdan zarar görür. Kompostlaştırma prosesi belli bir noktada durmaz. Maddeler “enerji yorgunu” organikler ve inorganikler kalana kadar parçalanmaya devam eder. Her şeye rağmen kompost göreceli olarak stabil olur ve uzun süre bu durumda kalır. Olgunlaşmamış kompost tarlaya uygulandıktan sonra da oksijen tüketmeye devam eder ve topraktan bitkiye giden O_2 miktarını azaltır.



Şekil 8.11 Kompostlaştırma mekanizması.

Yığının tepesindeki olgunlaşmamış kompost yüksek seviyelerde organik asit içerebilir veya yüksek C/N oranına sahip olabilir. Olgunlaşmamış kompost ürün ve bitkilere zarar verebilir. Kompost C/N oranı, oksijen gereksinimi, sıcaklık ve koku gibi sabit karakteristikleri ile değerlendirilir.

Zamanla kompostlaştırma tamamlandıkça bileşiklerin karışımı daha üniform olur. Orjinal maddelerin çok azı ayırt edilebilir veya hiçbiri ayırt edilemez. Madde koyu kahverengiden siyaha doğru renkler alır. Partiküller küçülür, sabitleşir ve toprak gibi olur. Kompostlaştırma mikroorganizmaların gelişmesini belirleyen ve sağlayan koşullar sağlandığında en yüksek hıza ulaşır (Tablo 8.25).

Tablo 8.25. Hızlı kompostlaştırma için tavsiye edilen koşullar (2).

Koşul	Kabul edilen aralık	Önerilen aralık
C/N oranı	20:1-40:1	25:1-30:1
Nem içeriği	%40-60	%50-60
Oksijen konsantrasyonu	>%5	>>%5
Partikül çapı (cm)	0.3-5	Çeşitli
pH	5.5-9.0	6.5-8.0
Sıcaklık (°C)	40-60	50-60

8.9.1.2 Kompostlaştırma mekanizmasını etkileyen parametreler

Mikroorganizmalar: Kompostlaştırma işlemine katkıda bulunan mikroorganizmalar arasında bakteriler, mantarlar, küfler ve aktinomisetler sayılabilir. Kompostta bulunan patojenler Tablo 8.26’da verilmiştir. Düşük nem şartlarında (%50-60nem) özellikle küf ve aktinomisetler rol oynarlar. Daha yüksek nemde (%60-90), bakteriler de kompostlaştırma işleminde aktif rol oynarlar. Sıcaklıklara göre aşağıdaki mikroorganizmalar ayırt edilir:

- Mezofilik (10-40°C)
Bakteriler: *Pseudomonas*, *Proteus*, vd.
Mantarlar : *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Phanaerochaeta*, *Trichoderma*
- Termofilik:
Bakteriler (30-65°C): *Basicillus*, *Streptomyces*, *Thermoactinomyces*
Mantarlar (40-50°C): *Aspergillus*, *Fumigatus*, *Chaetomium*, *Humicola*

Tablo 8.26. Kompostta bulunan patojenler.

Mikroorganizma türü	Hastalık
<i>Salmonella spp.</i>	Bağırsaklarda bozukluk ve tifo
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amipli dizanteri
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Yuvarlak kurt
<i>Taenia spp.</i>	Yassı kurt
<i>Aspergillus fumigatus</i> vd.türler	Sporlarla akciğer enfeksiyonu

Havalandırma: Havalandırma, havalı kompostlaştırma işlemi için mutlaka gereklidir. Izgara şeklinde bir taban üzerine konan katı atıklar alttan bir blower yardımıyla sürekli havalandırılırlar. Hava genellikle 0.6-1.8 m³/kg uçucu katı gün hızıyla verilir. Havalandırma yığın belli aralıklarla aktarılacak şekilde sağlanabilir.

Nem (su) muhtevası: Kompostlaştırma işlemi atıkların nem içeriğine bağlıdır. Ortalama nem içeriği %40-70 arasında değişmekle birlikte optimum nem içeriği %55 civarı olarak bilinir. Yüksek nem içeriği bakterilerin aktivitelerini artırır ve kompostlaştırmanın daha hızlı oluşmasını sağlar. Düşük nem içeriklerinde ise küf ve aktinomisetler aktivite gösterir. Nem miktarı %40’a yaklaştıkça inhibe olur. %40’ın

altında mikrobik aktivite yavaşlar. Nem %65'i aşarsa yığındaki materyalin boşluklarındaki havanın suyla yer değiştirmesine sebep olur.

Sıcaklık: Sıcaklık ortalama 50-60°C arasında değişebilir. Yüksek sıcaklıklarda ($T > 60^\circ\text{C}$) termofilik mikroorganizmaların aktif rol alması nedeniyle kompostlaştırma hızı artar. Kompostlaştırma işlemi çok hassas sıcaklık kontrolü olmadan yapıldığına da sıcaklık genellikle yığınının üst kısımlarından tabanına doğru artış gösterir.

Besin maddeleri: Mikroorganizmalar hücrelerini beslemek ve düzenlemek için minimum miktarlarda belli elementlere gereksinim duyarlar. Bu besin maddelerinin miktarları türlerine, büyüme yerlerine ve çevresel koşullara bağlıdır. Biyokompostlaştırılan atıkta C/N oranı genellikle 40'ın üzerindedir. Ancak aktif kompostlaştırma sağlamak için C/N=40/1 civarında olması gerekir. Optimum C/P oranı 100/1 civarında olmalıdır. Bu nedenle optimum C/N/P=100/2.5/1 olarak bilinir. Katı atıklarda azot ve fosfor içeriği düşük olduğu için dışarıdan evsel atıksu çamuru veya azot ve fosfor tuzları ilave edilerek C/N/P oranı istenilen seviyeye yükseltilir. C/N oranı 40'dan fazla olursa, mikroorganizmaların fazla karbonu kullanabilmesi için kompostlaştırma süresi uzar.

pH: Kompostlaştırma işlemi $4.5 < \text{pH} < 9.5$ arasında oluşur ve optimum pH = 6.5 civarındadır. Düşük pH değerleri bakterilerin, yüksek pH değerleri küf ve aktinomisetlerin daha yoğun olmasını sağlarlar. Kompostlaştırma materyali mikroorganizmaların geniş spektrumu nedeniyle pH'a göreceli olarak daha az duyarlıdır ancak istenen aralık 6.5-8 arasındır.

Katkı Maddeleri: Katkı maddesi çeşitlerinden bazıları Tablo 8.27'de verilmiştir. Arıtma çamurlarının kompostlaştırılmasında boşluk artırıcı ve su muhtevasının azaltıcı katkı maddeleri büyük önem taşır.

Tablo 8.27 Katkı maddesi çeşitleri (2).

Ürün kalıntıları	Orta dereceden fazla nem Uygun C/N oranı Eski ürün daha kuru ve daha az azot içerir. İyi parçalanabilme
Saman	Kuru ve karbonlu İyi parçalanabilme İyi yapı sağlar
Yapraklar	Göreceli olarak kuru Yüksek karbon Orta derecede nem adsorpsiyonu İyi parçalanabilme
Yonga	Kuru Yüksek karbon Mükemmel yapı Kötü parçalanabilirlik
Çim kırıntıları	Orta derecede ıslak İyi bir azot kaynağı Karıştırmalı, sadece kırıntılar kompaktlaşma ve havasız olmasına neden olur.
Gazete	Kuru Yüksek karbon içeriği Orta derecede parçalanabilme İyi absorpsiyon Kötü yapı Muhtemel ağır metaller
Meyve ve sebze	Meyve ve sebze Kötü yapı İyi parçalanabilme
Mukavva	Kuru Yüksek karbon içeriği İyi parçalanabilme İyi nem adsorpsiyonu ve yapı

Süre: Kompostlaştırma süresi genellikle 5-7 hafta arasında değişmekle birlikte kolay parçalanabilen katılar için bu süre 3 hafta olabilir. Zor parçalanılan katılar için ise kompostlaştırma süresi 9-10 haftaya kadar uzayabilir. Biyokompostlaştırılacak atıklar belirli aralıklarla (haftada bir-iki defa) aktarılır ve böylece daha homojen bir havalandırma sağlanabilir.

Uygun nem içeriği ve C/N oranına ek olarak havalandırma kompostlaştırma periyodunu en kısa süreye indirir. Prosesi yavaşlatan koşullar, nem azalması, yüksek C/N oranı, düşük sıcaklık, yetersiz havalanma ve büyük partiküllerdir. İstenen kompostlaştırma süresi amaçlanan komposta bağlı olup, genellikle 3-6 ay sürer.

Parçacık boyutu: Kompostlaştırılacak katı atıklar genellikle 0.5-2 cm boyutlarına gelecek şekilde öğütülmesi uygun olur. Daha küçük parçacıklar, daha fazla yüzey

alanına sahip olduklarından tercih edilebilirler ancak çok küçük parçacıklar hava akımıyla sürüklenebilecekleri ve taşımada zorluk çıkaracakları için pratikte pek tercih edilmezler. Arıtma çamurlarında öğütme ihtiyacı yoktur.

8.9.1.3 Kompostlaştırma uygulamaları

Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından çıkarılan 14 Mart 1991 tarihli Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği gereği depolama sahalarının havza koruma alanları ve konut alanlarının dışında olması gerekmektedir. İstanbul Büyük Şehir Belediyesi, Eyüp İlçesi Kısırmandıra Köyü hudutlarında 32 hektarlık saha içerisinde, 1000 ton/gün kapasiteli(1-1.5 milyon nüfusça üretilen katı atığa eşdeğer) “İstanbul Katı Atık İşleme (Kompostlaştırma ve Geri Kazanma)” tesisi yapımı planlanmıştır. Bu tesise gelecek 1000 ton/gün çöpün ayıklanmasından sonra yaklaşık 500-600 tonu kompost ünitesine sevk edilecek, buradan günde 250-300 ton kompost elde edilmektedir. 400-500 ton atık da yakın mesafedeki Odayeri düzenli depolama sahasına gönderilecektir.

İstanbul’da yapılan katı atık analizlerine göre, atıkların yaklaşık %50’si değerlendirilebilir yaş atıklardan (organik atık) oluşmaktadır. Organik atık oranı, semtlerin gelir durumuna ve mevsime göre değişmektedir. Planlanan tesiste üretilen kompostun maliyetinin, 20-22 \$/ton seviyesinde olacağı tahmin edilmektedir.

Halen İstanbul’da 1 ton çöpün düzenli depolama sahasında bertarafı 12 \$ civarındadır. Burada kompost için sarf edilecek ilave bedel 8-10 \$/ton’dur. Kompostun faydalı kullanımı halinde getirisi ton başına 8-10 Doların üzerindedir ve bu nedenle mevcut maliyete ilave herhangi bir etkisi olmayacaktır. Katı atık işleme tesisinin işletme birimleri Tablo 8.28’de verilmektedir. Katı atık işleme tesisinde üretilen kompostun kalitesi hakkında bilgi vermek amacıyla, halen İzmir’de başarı ile çalıştırılan Uzundere kompostlaştırma tesisinde üretilen kompost ile İstanbul Zeytinburnu’ndan alınan çöp numunesinden üretilen bir kompost numunesinin analiz sonuçları Tablo 8.29’da verilmiştir. İstanbul tesislerinde üretilen kompost, faaliyeti bitmiş maden ocaklarının (30000 hektar civarında) ıslahı için hem dolgu malzemesi, hem de yeşillendirme çalışmalarında nebati toprak olarak değerlendirilecektir. Kompostun %20’si Orman Bölge Müdürlüğüne verilecek ve bu kompost orman arazilerinin ıslahında kullanılacaktır.

Tablo 8.28 İstanbul Katı Atık Kompost Tesisinin (Tünel reaktör) İşletme birimleri(2).

Konu	Süre	Gerekli araç ve ekipman
Araç kabulü ve ara depolama	Günlük	1 adet loder, 5m ³ hacimli kepçe
Ön şartlandırma	Sürekli	çifte döner elek (8 ve 60-68 mm delik çapı), Mıknatıs ayırıcı
Çürütme	3Kapalı+5açık=8hafta	Havalandırma tertibatı Nemlendirme tertibatı Otomatik taşıma ve karıştırma makinesi Hava çekme tertibatı
Son şartlandırma	Süresiz	İnce elek (çifte döner elek, 10 ve 40mm açıklıklı) Mıknatıslı ayırıcı Sert malzeme ayırıcısı Hafif malzeme ayırıcısı
Kompost deposu ve Pazarlama	Max.3 ay	
Ayırma	Sürekli	2 adet konveyör bandı, ilerleme hızı 0.3m/s 30'ar çalışma yeri Mıknatıslı ayırıcı
Değerlendirilebilir malzemelerin hazırlanması	Sürekli	Kağıt ve plastik için pres ve balyalama makinesi Metal pres ve balyalama makinesi Cam kırıcı
Atıkların depolama sahasına gönderilmek üzere hazırlanması	-	
Atıksu depolama ve arıtma	-	Biyolojik yıkayıcı Baca
Atıksu depolama ve arıtma	-	Arıtma tesisi

Tablo 8.29. İzmir Uzundere ve İstanbul Zeytinburnu’nda Üretilen Kompostun Ağır metal içeriği(2).

Parametre	İzmir tesis	Zeytinburnu ¹	Almanya’da Referans değeri	Ziraate kullanılabilecek maks.değerler ²
Su içeriği (yaş ağırlık,%)	28.5	33	-	-
Organik madde (%)	38.5	34.6	33.3	-
Kurşun (mg/kg)	2.7	24.7	51.3	200
Kadmiyum(mg/kg)	0.64	4.66	5.5	3.3
Krom (mg/kg)	8.7	58.1	71.4	200
Bakır (mg/kg)	18.2	123.6	274	200
Nikel (mg/kg)	2.3	24.3	44.9	33
Civa (mg/kg)	41.5	252.1	2.4	4.2
Çinko (mg/kg)	128.1	137.8	1570	500

¹Zeytinburnu’nda alınan çöp numunesinden üretilmiş kompost.

²Bu değerler her üç yılda 40ton/ha kompost (kuru madde olarak) araziye verilmesi durumunda geçerlidir. Değerler, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Tablo Ek IV-B kullanılarak hesaplanmıştır.

8.9.2 Havasız Kompostlaştırma

Kuru (yüksek katılı) havasız kompostlaştırma, çürümenin %22 veya daha yüksek toplam katı içeren bir ortamda gerçekleştiği biyokimyasal bir süreçtir. Yüksek katılı havasız kompostlaştırma nispeten yeni bir teknoloji olup, bu yolla evsel katı atığın organik kısmından enerji eldesi henüz geliştirme aşamasındadır. Bu prosesin iki önemi üstünlüğü; düşük su muhtevası ve birim reaktör hacmi başına (düşük katılı prosese göre) daha yüksek gaz üretimidir. Başlıca mahzuru ise kurulu tesis sayısı ve işletme tecrübesinin az olmasıdır.

Havasız kompost sistemlerinde proses seçiminde başlıca iki proses esas alınır. Bunlar;

- Çamur çürütme benzeri düşük katılı prosesler,
- Yüksek katılı proseslerdir.

Yüksek katılı havasız kompostlaştırma prosesi, henüz geliştirilme aşamasında olup, önemli tasarım parametreleri Tablo 8.30’da özetlenmiştir. Genellikle yüksek katılı havasız kompostlaştırma prosesi, çamur çürütme benzeri düşük katılı havasız proses

göre daha fazla organik atığı stabilize etme ve birim reaktör hacmi başına daha fazla gaz üretme potansiyeline sahiptir.

Tablo 8.30 Evsel katı atığın organik kısmının kuru havasız kompostlaştırılması prosesi için tasarım parametreleri (6).

Parametre	Açıklama
Madde boyutu	Çürütülecek atıklar parçalarak, besleme ve boşaltma mekanizmalarının çalışma verimine engel olmayacak boyuta indirilmelidirler.
Karıştırma ekipmanı	Kullanılacak reaktörün tipine bağlıdır.
Çamurla karıştırılan katı atık yüzdesi	Çamurun özelliklerine bağlıdır.
Çamur yaşı	Tasarım için 20-30 gün alınabilir. Pilot tesis çalışma sonuçları esas alınır.
Organik yük	6-7 kg KM/m ³ -gün. Daha yüksek hızlar da bildirilmiştir.
Katı (kuru madde) oranı	%20-35 arasında (tipik olarak %22-28) değişir.
Sıcaklık	Mezofilik şartlar için 30-38 °C, Termofilik şartlar için 60 °C arasındadır.
Uçucu Katı Maddelerin Giderimi	Çamur yaşı ve hacimsel yüke bağlı olarak %90-98 arasındadır.
Toplam katı giderimi	Atığın lignin içeriğine bağlı olarak değişir.
Gaz üretimi	0.625-1 m ³ /kg giderilen UKM (CH ₄ = %50, CO ₂ = %50)

8.10 Şartlandırma

Çamurun susuzlaştırma özelliğini arttırmak üzere uygulanır. Kimyasal ilavesi ve ısıtma bu amaçla çok kullanılan metotlardır. Dondurma, ısıtma ve çözücü ekstraksiyonu gibi diğer metotlar da deneysel olarak kullanılmaktadır.

8.10.1 Kimyasal Şartlandırma

Çamuru daha iyi susuzlaştırmak amacıyla şartlandırıcı kimyasalların kullanımı, yüksek verimi yüksek ve esnekliği dolayısıyla ekonomiktir. Kimyasal şartlandırma atığın özelliğine bağlı olarak, giren çamurda %90-99 su azalması sağlayarak nem muhtevasını %65-85'e düşürür. Bu yöntemin esası, katının koagülasyonu ve absorbe olan suyun açığa çıkarılmasıdır. Şartlandırma, vakum filtre, santrifüj, bant filtre ve

pres filtre gibi ileri mekanik susuzlaştırma sistemleri öncesinde kullanılır. Kullanılan başlıca kimyasallar; demir klorür, kireç, alüm ve organik polimerlerdir.

Kimyasallar kolaylıkla sıvı formunda uygulanabilirler. Toz halindeki kimyasallar için çözücü tank gerekmektedir. Çoğu sistemlerde tek vardiya dikkate alındığında bir tank yeterli olabilmektedir. Tank korozyona dayanıklı maddeden yapılmış ve/veya iç yüzeyi kaplanmış olmalıdır. Polivinil klorür, polietilen ve kauçuk tank ve boru sisteminde kullanılabilecek aside dayanıklı uygun malzemelerdir.

Çamur Şartlandırmasını Etkileyen Faktörler: Çamur şartlandırıcı malzemelerin tipi ve dozu, çamur özelliğine, karıştırma tipine, susuzlaştırma şekline bağlı olarak değişir. Önemli çamur özellikleri, çamur kaynağı, katı konsantrasyonu, çamur yaşı, pH ve alkalinitedir.

- Katı konsantrasyonu, şartlandırma maddesinin dağılımını ve dozunu etkiler.
- pH ve alkalinite, özellikle inorganik şartlandırıcının verimini etkiler. Yüksek pH ya ulaşmak için kireç kullanılması durumunda kuvvetli amonyak kokusu ve kazan taşı oluşumu gibi problemler meydana gelir.
- Susuzlaştırma metodu, farklı karıştırma ekipmanlarından ve seçilen metottan dolayı şartlandırma kimyasallarının seçiminde etkilidir. Örneğin, polimerler santrifüj ve bant filtrelerde genellikle kullanılırlar, ancak vakum ve pres filtrelerde daha seyrek kullanılırlar.

Laboratuar ve pilot tesis çalışmaları yapılarak, kimyasal şartlandırıcı madde seçimine gidilmesi tavsiye edilmektedir.

Dozaj: Kimyasal dozajı laboratuar çalışmaları ile belirlenir. Bu maksatla yapılan testlerle standart jar test, çamur özgül direnci, kapiler emme süresi (KES) belirlenir. Genellikle en düşük kes ve özgül direnci veren şartlandırıcı dozu optimum doz olarak belirlenir.

Standart jar test, kullanımı son derece kolay bir yöntem olup, farklı şartlandırıcı dozlarında hızlı karıştırma, flokleştirme ve çöktürme sonucu elde edilen çamur hacminin ve üst faz bulanıklığının ölçümüne dayanmaktadır.

Genel olarak gerekli kimyasal dozu, çamurun cinsine bağlı olarak değişir. Farklı çamurlar için susuzlaştırma metotları ve şartlandırıcı polimer miktarları Tablo 8.31’de verilmektedir.

Tablo 8.31. Farklı susuzlaştırma metodu ve çamurlar için polimer miktarları (1).

Çamur tipi	kg Polimer/10 ³ kg kuru katı		
	Vakum filt	Bant filtre	Santrifüj
Birincil çamur	1-5	1-4	0.5-2.5
Birincil ve aktif çamur	5-10	2-8	2-5
Birincil ve damlatmalı filtre humusu	1.25-2.5	2-8	-
Atık aktif çamur	7.5-15	4-10	5-8
Havasız çürütülmüş birincil çamur	3.5-7	2-5	3-5
Havasız çürütülmüş birincil + aktif çamur	1.5-8.5	1.5-8.5	2-5
Havalı çürütülmüş birincil + aktif çamur	7.5-10	2-8	-

Polimer dozajları, kullanılan polimerin molekül ağırlığına, iyonik şiddetine ve aktivite seviyesine bağlıdır. Demir klorür ve kireç, vakum ve pres filtrelerde şartlandırma için en sık kullanılan kimyasallardır.

Çamur Karıştırma: Tam bir şartlandırma için çamur ve kimyasalın birlikte iyi karışımı esastır. Karıştırma oluşan floku kırmamalı ve kalma zamanı minimumda tutulmalıdır. Karıştırma ihtiyacı kullanılan susuzlaştırma metoduna bağlı olarak değişir. Ayrı karıştırma ve flokülasyon tankı vakum ve pres filtrelerin girişinde yer alır; ayrı flokülasyon tankı bant filtre için de kullanılabilir veya şartlandırma bant filtrenin çamur besleme hattına eklenir.

8.10.2 Isıl Arıtım

Isıl arıtım sürekli bir proses olup, 260°C'ye kadar 2760 kN/m² basınçta yaklaşık 30 dk gibi kısa sürede çamurun ısıtılması esasına dayanır. Isıl arıtma hem stabilizasyon hem de şartlandırma prosesi olarak işlev görür. Çoğunlukla ısıl şartlandırma prosesi olarak sınıflandırılır. Isıl arıtma, kimyasal kullanmaksızın çamurun susuzlaştırılmasını sağlar. Çamur yüksek sıcaklık ve basınç altında kaldığında ısıl aktivite ile bağlı su çamurdan ayrılır ve çamur koagüle olur. Buna ilave olarak, proteinli maddelerin hidrolizi gerçekleşir, hücre parçalanır, çözünmüş organik bileşikler ve amonyak açığa çıkar.

8.10.3 Diğer Prosesler

Çamur şartlandırmada araştırılmış diğer prosesler;

- Organik polimer ve inorganik kimyasalları birlikte kullanarak yapılan kimyasal şartlandırma.
- Dolgu malzemesi olarak kağıt hamuru ve uçucu kül kullanımı.
- Susuzlaştırmayı iyileştirmek için çamur asidifikasyonu.
- Çamurun dondurulması ve çözülmesi.
- Çamurdan yağ ve gresin ekstraksiyonu.
- UV uygulamasıdır.

8.11 Dezenfeksiyon

Çamurun araziye yayılması ve tekrar kullanımı için yönetmelik kısıtlarından dolayı çamur dezenfeksiyonu giderek önem kazanmaya başlamıştır. Çamurun araziye verildiği alanlarda halk sağlığı açısından insanların hastalık yapan organizmalarla teması kontrol altına alınmalıdır.

Sıvı ve susuzlaştırılmış çamurda hastalık yapan organizmaların yok edilmesi için aşağıdaki yöntemler uygulanabilir:

- Pastörizasyon
- Isıl şartlandırma, ısıl kurutma, yakma ve piroliz gibi diğer ısıl prosesler
- Yüksek pH arıtımı, (kireç ile pH 12'nin üzerine getirilir, 3 saat kalma zamanı)
- Çürütülmüş sıvı çamurun uzun süreli depolanması
- Çamurun stabilizasyonu ve dezenfeksiyonu için klorür ilavesi
- Diğer kimyasallarla dezenfeksiyon
- Yüksek enerjili ışın uygulaması ile dezenfeksiyon
- 55°C'nin üzerinde tam kompostlama ve en az 30 gün olgunlaştırma

Havalı ve havasız çürütme çamuru tam dezenfekte etmemekte ancak önemli sayıda patojen bakteri azalmasına sebep olmaktadır. Bu çamurların tam dezenfeksiyonu, pastörizasyon veya uzun süreli depolama ile sağlanabilir.

8.11.1 Pastörizasyon

Pastörizasyon Avrupa'da kullanılmakta olup, Almanya ve İsviçre'de bahar ve yaz dönemlerinde özellikle toprağa verilecek çamur için uygulanmaktadır. Nemli çamurun pastörizasyonu için 30 dakika temas süresi ve 70°C sıcaklık parazit larvaları ve kist'leri etkisiz hale getirecektir.

Sıvı çamurun Pastörizasyonu için iki metot kullanılmaktadır;

- Doğrudan buhar enjeksiyonu
- Dolaylı ısı değişimi.

Isı değiştiricinin iç yüzeyinde kabuk oluşumu ve organiklerden dolayı kirlenmesi nedeniyle, doğrudan buhar enjeksiyonu çok daha uygun bir metottur. Bu metodun şematik diyagramı şekil 8.12 verilmektedir. 200 L/s kapasitenin altındaki sistemler için bu metodun kullanılması ekonomik değildir.

8.11.2 Uzun süreli depolama

Çürütülmüş çamur normal olarak toprak lagünlerde depolanır. Depolama için yeterli alan gerekir. Depolama, hava şartları veya bitki su ve gübre ihtiyacı dolayısıyla bekletme gerektiren şartlar için genellikle araziye uygulama sisteminin yanında olmalıdır. Bu durumda, depolamanın yanı sıra dezenfeksiyon da sağlanmış olur. Dezenfeksiyon için tipik bekleme süresi 20°C de 60 gün, 4°C de ise 120 gündür.

- Yakma bahis mevzuu olduğu zaman, su muhtevası azaldığından yakılması daha da kolaylaşır.
- Çamurun tamamen kokusuz olmasını ve ayrışmamasını temin eder.
- Çamurun nihai olarak araziye serilme durumunda, yeraltına sızma sonucu yer altı suyunun kirlenmesi önlenabilir.

Çamur suyunun alınması, vakum, pres, yatay band filtre, burgulu pres, santrifüj gibi usullerle veya kurutma yatakları ve çamur lagünleriyle sağlanabilir (Şekil 8.1). Vakum, pres ve yatay band 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 nisbeten 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 tasfiye tesislerinden çıkan çamurlar çürütüldükten sonra çamur kurutma yataklarına verilebilir. Aktif çamur tesislerinde çürütme öncesi tercihen çamur yoğunlaştırma uygulanmaktadır. Evsel atıksu arıtma tesislerinin çeşitli kısımlarında ortaya çıkan çamur miktarları ve özellikleri Tablo 8.32’de özetlenmiştir.

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. Klasik aktif çamur sisteminde havasız çamur arıtımının yeri Şekil 8.13’de verilmiş.

için çamur kurutma yataklarının üzerinin kapatılması veya başka bir usulün tatbiki icab etmektedir. Yukarıdaki beldeler dışındaki 46 şehir ve kasaba için ortalama değerler hesaplanarak Tablo 8.34’de gösterilmiştir.

Çamurun Mekanik Yöntemlerle Kurutulması:

- ***Santrifjlerle Kurutma:*** Santrifüjler, hızla dönen bir silindirle sulu çamurları yüksek merkezkaç kuvvetine maruz bırakırlar. Genellikle bazı kimyasallarla (poli elektrolit alum, kireç vb.) şartlandırılan çamurlar 1600-2000 dev/dak. Hızlar yatay bir eksen etrafında dönen santrifjlere verilir. Szlen su dışarı atılır, koyulaşan çamur ise eksenel yönde ilerleyerek çıkış ucundan alınır. Santrifjlerden çıkan çamur keklerinde katı madde oranı %20-25 ve katı madde tutulma nisbeti %90-95 dır (Tablo 8.35). Gerekli şartlandırıcı polimer miktarı d 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 8.34 Anaerobik Çürümüş (Ön Çöktürme+Aktif Çamir Fazla Çamuru) İçin Kurutma Yatağı İhtiyaçları

Yerleşim Merkezi	Kot M	Ort. Yıllık buharlaşma B(mm/yıl)	Ort. Yıllık Yağış Y.(mm/yıl)	Yılda yatağı kullanma sayısı	Kişi başına olan ihtiyacı
Adana	20	1307,6	646,8	9,05	0,101
Afyon	1034	1054,8	455,5	7,82	0,117
Akhisar (Manisa)	93	1162,9	609,5	7,77	0,117
Anamur (Mersin)	3	1605,4	1032,3	9,22	0,099
Ankara	894	1304,6	357,0	11,26	0,081
Antalya	42	1445,8	1058,2	7,21	0,127
Balıkesir	147	1447,8	609,2	18,85	0,064
Beypazarı (Ankara)	682	2491,9	390,2	23,91	0,038
Beyşehir (Konya)	1129	987,5	477,4	6,92	0,132
Bilecik	526	1095,3	436,3	8,41	0,108
Bolu	742	677,2	533,7	3,11	0,293
Burdur	957	1072,2	436,7	8,16	0,112
Bursa	100	1048,4	713,1	5,71	0,160
Ceylanpınar					
Viranşehir-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	1105	433,2	433,2	10,93	0,083
Erzurum	1859	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	1052,2	1052,2	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	1028	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	1220,9	1220,9	4,81	0,190
Nazilli (Aydın)	60	611,0	611,0	7,15	0,128
Niğde	1208	348,8	348,8	14,00	0,065
Rize	4	2357,0	2357,0	x	x
Samsun	44	735,0	735,0	3,01	0,303
Sinop	32	679,6	679,6	2,81	(0,325)
Sivas	1285	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	1242,9	1242,9	X	X

(*) B bölgelede açık kurutma yatağı uygun değil.

Tablo 8.35. Santrifüjlerin Kurutma Verimleri

Çamur tipi	Kekteki KM oranı (%)	Katı madde geri kazanımı (%)	Polimer ihtiyacı (kg/ton KM)
Ham ilk çökeltme	28-34	90-95	2-3
Anaerobik çürütülmüş ilk çökeltme 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 aer çürütme çamuru	12-26	90-95	6-10

- **Vakum Filtrelerle Kurutma:** 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 beher 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 8.36'de verilmiştir.

Tablo 8.36 Döner Vakum Filtrelerin 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		
Ham çamur					
İlk çök.çamuru	4 – 9	2 – 4	8 – 10	17 – 40	27 – 25
İlk çök.+aktif çam.	3 – 7	2 – 4	9 – 12	12 – 30	18 – 25
İlk çök.+damlatmalı filtre	4 – 8	2 – 4	9 – 12	15 – 35	23 – 30
Anaerobik Çürümüş Çamur					
İlk çökt.çamuru	4 – 8	3 – 5	10 – 13	15 – 35	25 – 32
İlk çökt.+aktif çam.	3 – 7	4 – 6	15 – 20	10 – 20	18 – 25
İlk çök.+Dam.filtre	5 – 10	4 – 6	13 – 18	17 – 40	20 – 27
Aerobik Çürümüş Çamur					
İlk çök.+aktif çam.	3 – 6	3 – 7	8 – 12	8 – 20	16 – 23

- % 1 lik kimyasal madde dozajı= 10 g/kg. kuru çamurdur.

- **Pres Filtrelerle Kurutma:** Pres filtreler, düşey plakalardaki çerçevelere gerilen filtre bezleri içerisine yüksek basınçta verilen çamurların süzülmesine imkan verirler. Çamur basma pompası $350-1575 \text{ kN/m}^2$ 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 nisbeti %40'a ulaşabilir. Pres filtrelerin kurutma verimleri Tablo 8.37'de verilmiştir.

Tablo 8.37 Pres Filtrelerinin Kurutma Verimleri

Çamurun Cinsi	Beslenen Çamurdaki Katı Madde %	Kimyasal Dozajı (KM'nin yüzdesi olarak)..... FeCl ₃ CaO	Filtre Verimi (kg/m ² -sa)	Kekteki Katı Madde (%)
İlk çöktürme + aktif çamur	4	5 15	5	40
Anaerobik Çürümüş İlk çök.+aktif çam.	4	6 16	5	40
Termal Şartlandırılmış İlk çök.+aktif çam.	14	0 0	12	60

- **Yatay Bant Filtrelerle Kurutma :** Yatay bant filtreler hareketli tek ve çift filtrelerle sürekli çamur sıkılmasını sağlarlar. Kesintisiz çalıştırılabilmeleri, daha yüksek kek/katı madde oranı ve düşük enerji maliyeti bu sistemin en önemli üstünlükleridir. Başlıca mahzurları ise filtre bezinin ekonomik ömrünün kısılgı ve verimin çamur özelliklerine bağlı olarak değişim gösterebilmesidir. Yatay bant filtreler gerek evsel ve gerekse endüstriyel atıksu çamurlarının suyunun alınmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bant filtrelerin tasarım ve işletme parametreleri Tablo 8.38'de özetlenmiştir.

Tablo 8.38. Yatay 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 – 1000
Katı tutma verimi (%)	90 – 95
Filtre verimi (kg/m ² -sa)	20 – 40
Filtrenin süzme hızı (kg/m-sa)	375 – 750

- **Burgu Pres:** Burgu 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 eleğin enkesit daralması ve aynı şekilde elek içindeki burgunun da hatvesinin küçülmesi ile sağlanır. Yumaklaştırmayı kolaylaştırmak ve kimyasal madde tasarrufu sağlamak üzere süzöntü suyu kısmen yumaklaştırma tankına geri devrettirilir. Tek ünite de 1-22 m³/sa debiyle sürekli çamur susuzlaştırma yapılabilen Burgu Preslerle elde edilen işletme sonuçlarından bazıları Tablo 8.39’de özetlenmiştir. Sürekli çakıştırılabilirmeleri ile işletme ve bakımlarının kolay, enerji giderlerinin çok düşük oluşu Burgu Preslerin giderek yaygınlaşmasına yol açmaktadır.

Tablo 8.39. Burgu Preslerle Çamur Susuzlaştırma Uygulamaları

Çamur Debisi (m ³ /sa)	Çamur Tipi	Katı Madde (%)	
		Girişte	Çıkışta (kekte)
4 – 19	Aerobik stabilize edilen aktif çamur	0,8 – 2,0	19 – 23
4,5 – 24	Birincil çamur	1,5 – 3,0	23 – 30
4 – 20	Anaerobik stabilize edilen D.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 tesis	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

8.12.3 Çamur Lagünleri

Çamur lagünleri, çamur kurutmaya 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, yer altı suyu kirlenmesine karşı önlemler alınmalıdır. Lagüne dışarıdan yüzey suyunun girmesi de engellenmelidir. Dışarı verilen 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. Belirli lagün sıcaklıklarında ve diğer özel çevre şartlarında bir bozunma katsayısı (K_v) belirlemek için yeterli veri yoktur. Bazı tahminlere göre, K_v değeri, 0.4-0.6 arasındadır. Katı madde birikmesi ve bozunması, zamanla artar. Net UKM birikmi, birinci-derece kinetik kabulüyle aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$W_t = \frac{W_o}{K_v} (1 - \exp (-K_v.t)) \quad (8.18)$$

Burada,

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 (3). 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 topografya uygun değilse inşaat maliyeti daha düşük olabilir.

UYGULAMALAR

Problem 8.1:

Sabit (mineral) ve uçucu (yanıcı) kısımlarının özgül ağırlıkları sırasıyla 2,4 ve 1,0 olan, bünyesinde %95 oranında su ve çamurun (%5 KM'li) özgül ağırlıklarını bulunuz. (Çamurda UKM/TKM oranının %70 olduğu kabul edilecektir)

Çözüm:

Verilenler:

$$\begin{aligned} S_f &= 2,4 & KM &= 1 - 0,95 = 0,05 \\ S_v &= 1,0 & UKM/TKM &= 0,70 \end{aligned}$$

Katı kısımların özgül ağırlığı (S_s):

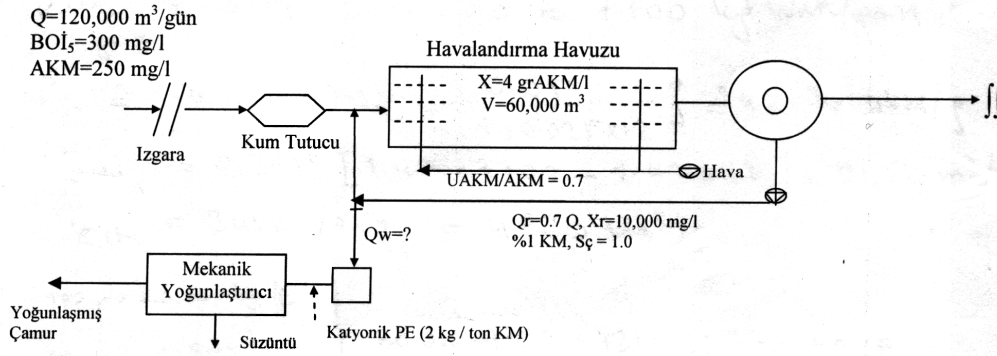
$$\frac{1}{S_s} = \frac{UKM}{S_v} + \frac{(1 - UKM)}{S_f} = \frac{0,70}{1,0} + \frac{0,30}{2,4} \rightarrow S_s = 1,21$$

Çamurun özgül ağırlığı (S_c):

$$\frac{1}{S_{\phi}} = \frac{Su}{S_s} + \frac{kati}{S_s} = \frac{0,95}{1} + \frac{0,05}{1,21} \rightarrow S_{\phi} = 1,009$$

Problem 8.2:

- Şekildeki aktif çamur sisteminde oluşacak fazla biyolojik çamur miktarını kg KM/gün ve m³/gün olarak hesaplayınız. (çamur yaşı (θ_c) 12 gün alınacaktır)
- %4 KM muhtevalı yoğunlaşma çamur miktarını ve hacim azalma oranını bulunuz. (yoğunlaştırmada kullanılan katyonik PE'in %70'inin yoğunlaşmış çamurda kaldığı kabul edilecektir)
- Yoğunlaşmış çamuru aneorobik olarak stabilize etmek için gerekli mezofilik çürütücüyü boyutlandırınız ve oluşacak %70 CH₄ içeren biyogaz debisini bulunuz. (çamurdaki UKM'nin ~%55'inin stabilize edildiğini (giderildiğini) kabul ediniz; $Y=0,05$, $k_d=0,025$ gün⁻¹ alınız)
- Çürütücüden çekilecek çürümüş çamurun santrifuj sistemi ile susuzlaştırılması sonucu oluşacak %27 KM'li kek miktarını hesaplayınız. Santrifuj öncesi 5 kg PE/ton KM dozunda şartlandırıcı katyonik PE kullanılacak ve PE'in %80'inin keke geçtiği kabul edilecektir.
- Çürümüş çamurda %4 KM ve santrifuj katı madde tutma verimi %95 olduğuna göre süzöntü suyu debisini ve AKM içeriğini (konsantrasyonunu) bulunuz. (Çürümüş çamur ve kekte özgül ağırlıklar sırasıyla 1,020 ve 1,060 alınacaktır)



Çözüm:

- Fazla biyolojik çamur debisi (Q_w) hesabı:

$$\theta_c = \frac{V \times X}{Q_w \times X_r} = \frac{60.000 \times 4}{Q_w \times 10} = 12 \text{ gün}$$

$$Q_w = 2.000 \text{ m}^3/\text{gün}, \text{ \%1 KM'li}$$

Q_w içindeki KM miktarı,

$$W_x = Q_w \times X_r = 2.000 \times 10 = 20.000 \text{ kg KM/gün}$$

- Katyonik PE = 2 kg/ton KM x 20 ton KM/gün = 40 kg/gün

$$\text{Kekteki PE} = 40 \times 0,70 = 28 \text{ kg/gün}$$

$$W_{X,YC} = 20.000 + 28 = 20.028 \text{ kg} \approx 20 \text{ ton/gün}$$

$$Q_{YC} = \frac{0,01}{0,04} \times Q_w = 500 \text{ m}^3/\text{gün}, \quad \%4 \text{ KM'li}$$

$$\text{Hacim azalması} = \left(1 - \frac{0,01}{0,04}\right) = 0,75 \text{ (\%75)}$$

c) $Q_{YC} = 500 \text{ m}^3/\text{gün}, \quad \%4 \text{ KM}, \quad 20 \text{ ton KM/gün}$

$$UKM = 0,70 \times 20.000 = 14.000 \text{ kg UKM/gün}$$

$$UKM_{gid} = 0,55 \times 14.000 = 7.700 \text{ kg UKM/gün}$$

Gerekli çürütücü hacmi:

Hacimsel yük $3 \text{ kgUKM/m}^3\text{-gün}$ alınarak,

$$L_x = \frac{14.000}{V} = 3 \rightarrow V = 4.700 \text{ m}^3$$

$$\theta_c \geq 12 \text{ gün}, \quad V = 500 \times 12 = 6.000 \text{ m}^3$$

$$\text{ise seçilen hacim:} \quad V = 6.000 \text{ m}^3 \text{ (1.kademe)}$$

$$V = 3.000 \text{ m}^3 \text{ (2 kademe)}$$

Aneorobik çamur oluşumu,

$$P_x = 1,42 \times UKM_{gid} \left[\frac{Y}{1 + k_d \times \theta_c} \right]$$

$$= 1,42 \times 7.700 \left[\frac{0,05}{1 + 0,025 \times 12} \right] = 421 \text{ kg UKM/gün}$$

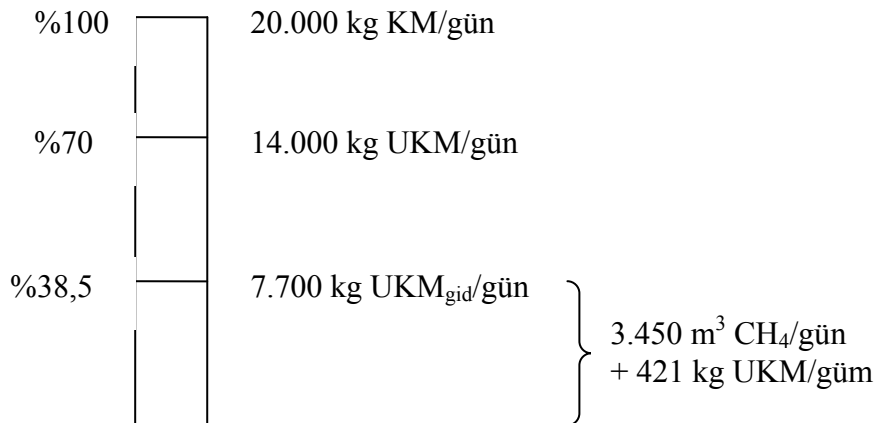
Metan üretimi ($T = 35^\circ\text{C}$, $p=1 \text{ atm}$):

$$V_{CH_4} = 0,395 [1,42 \times UKM_{gid} - 1,42 \times P_x]$$

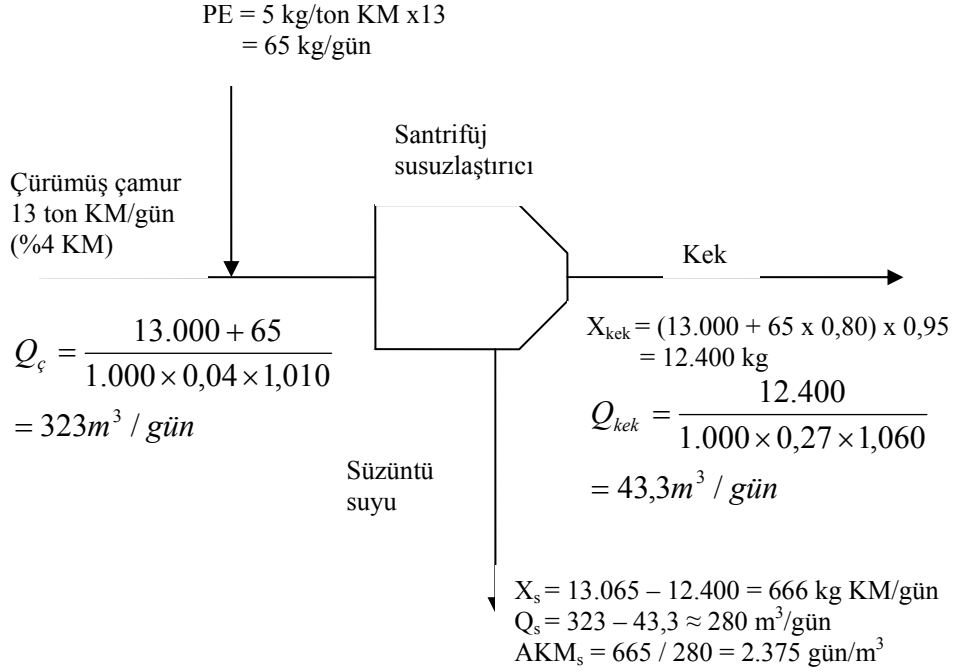
$$= 0,395 [1,42 \times 7.700 - 1,42 \times 421] = 3.450 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$Q_{gaz} = \frac{V_{CH_4}}{0,70} = 4.930 \text{ m}^3/\text{gün}, \quad \%70 \text{ CH}_4$$

Çürütücüdeki KM giderimi özeti:



d) Çürütücü sonrası çamur akışı aşağıdaki şemada özetlenmiş ve hesaplar aynı şema üzerinde gösterilmiştir.



Problem 8.3:

AKM = 300 mg/L, PO_4^{-3} = 40 mg/L ve 180 mg $CaCO_3$ /L sertlik ihtiva eden bir atıksuya sönmüş kireçle fiziko-kimyasal çöktürme uygulanmaktadır. Arıtma sonunda sertlik 200 mg $CaCO_3$ /L'ye yükselmekte ve kimyasal çamur olarak sadece $Ca_5(OH)(PO_4)_3$ oluşmakta olup, fazla kireç $CaCO_3$ formunda kalmaktadır. Uygulanan kireç dozu 250 mg $Ca(OH)_2$ /L'dir. Fosfatın tamamının $Ca_5(OH)(PO_4)_3$ halinde giderildiğine ve AKM giderim verimi de %90 olduğuna göre oluşacak toplam çamur miktarını kg KM/m³ olarak hesaplayınız. (Ca:40, P:31, O:16, H:1)

Çözüm:

$Ca_5(OH)(PO_4)_3$ çamuru:

$$\frac{Ca(OH)(PO_4)_3}{(PO_4)_3} \times PO_4 = \frac{502}{285} \times 40 = 70,5 \text{ mg/L}$$

Sertlik artışına yolaçan (çökelme reaksiyonuna girmeyen) kireç miktarı:

$$200 - 180 = 20 \text{ mg } CaCO_3/L$$

Bunun için harcanan Ca,

$$20 \times \frac{Ca}{CaCO_3} = 20 \times \frac{40}{100} = 8 \text{ mg/L}$$

Ca₅(OH)(PO₄)₃'teki Ca miktarı,

$$70,5 \times \frac{5 \times 40}{502} = 28,1 \text{ mg/L}$$

ilave edilen toplam Ca,

$$250 \times \frac{40}{Ca(OH)_2} = 250 \times \frac{40}{74} = 135,1 \text{ mg/L}$$

Çamurdaki Ca = 135,1 – (28,1 + 8) = 99 mg/L

Oluşan CaCO₃ çamuru = $99 \times \frac{100}{40} = 247,5 \text{ mg/L}$

Toplam çamur;	AKM	: 0,90 x 300 = 247,5 mg/L
	Ca ₅ (OH)(PO ₄) ₃	: 70,5 mg/L
	CaCO ₃	: 247,5 mg/L
	<u>Toplam</u>	: 558 mg/L (gün/m ³)

KAYNAKLAR

- (1) Metcalf & Eddy, 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill international Editions.
- (2) Recep İleri, 2000. Çevre Biyoteknolojisi, Değişim yayınları.
- (3) Soli J. Arceivala, 2002. Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Tata McGraw –Hill Publishing company limited.
- (4) Ludovico Spinoso and P.Aarne Vesilind, 2001. Sludge into Biosolids, Processing, Disposal and Utilization, IWA Publishing, UK.
- (5) Syed R.Qasim, 1999. Wastewater Treatment Plants, Planning, Design, and Operation, Technomic publication.
- (6) İzzet Öztürk, 1999. Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, Su vakfı yayınları, İlim Araştırma Serisi: 01.2000

9. DENİZ DESARJI UYGULAMALARI

9.1 Deşarj Öncesi Atıksu Arıtımı

Karada bir şekilde arıtıma tabi tutulmuş atıksular özümseme kapasitesi yüksek olduğundan denizlere ve büyük göllere deşarj edilirler. Atıksu, denizde seyreterek kirletici konsantrasyonu düşer. Atıksu deşarj noktasına deniz dibine döşenmiş veya gömülmüş boru veya kanallar vasıtasıyla taşınır. Alıcı ortam su kalitesi standartlarını sağlamak üzere atıksuların deniz deşarjı öncesi arıtıma tabi tutulması gerekmektedir. Bu konuda iki yaklaşım söz konusudur (1): 1) Ön arıtmanın derecesine bağlı olarak deşarj şartlarının belirlenmesi, 2) Deşarj öncesi arıtmayı takiben derin deniz deşarjı.

Birinci yaklaşımda, öngörülen su kalitesi standartlarını sağlamak üzere ön arıtmanın derecesine bağlı olarak deşarj derinliği veya deşarj hattı boyu öngörülür. Derin deniz deşarjı uygulamasında deşarj noktası kıyıdan yeterli mesafede ise, atıksu deniz ortamında seyreleceğinden, BOI_5 genellikle önemli bir parametre olmaz. Kıyıdan yapılan ve sığ deşarjlarda ise önemli bir seyrelme söz konusu olmadığından kıyı kesiminde halk sağlığı ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu bakımından bir risk söz konusudur. Deşarj hattı tasarımı, atıksu içindeki bakteri ve virüslerin (yüzme standartlarını sağlamak üzere) gerekli taşınma süresine imkan verilecek şekilde ve atıksudaki organik kirliliğin seyrelme yolu ile konsantrasyonunun azalacağı dikkate alınarak yapılmalıdır. Deşarj hattı uzunluğu yeterli değilse deşarj öncesi dezenfeksiyon uygulanarak sahil suyu kalite standartlarının sağlanması yoluna gidilir.

İkinci yaklaşımda ise geçerli deşarj standartları dikkate alınarak gerekli arıtım yapıldıktan sonra deşarj yapılır. Açık denizlerle bağlantısı sınırlı olan iç deniz ve kapalı körfezlere deşarj söz konusu olduğunda bu yöntem uygulanır. Bu tür sularda kirleticilerin birikimi söz konusudur. Özellikle besin elementleri (N,P) kapalı sularda birikerek ötrofikasyona neden olabileceğinden bu tür sulara deşarj söz konusu olduğunda deşarj öncesi N ve P giderimi gereklidir (2).

Besin elementleri dışında alıcı ortamın estetik durumunun değişmesine neden olan yüzer maddeler, yağ-gres, koku ve renk parametrelerinin kontrolü için de deşarj öncesi arıtım gerekmektedir.

Bunların dışında besin zinciri içinde veya biyolojik olarak birikimi söz konusu olan ağır metal, DDT, PCB, PCP gibi maddeler için kaynakta kontrol ve sıfır deşarj en etkin ve ekonomik kontrol yöntemidir.

Virüslerin T_{90} değeri (konsantrasyonun %90 azalması için gerekli süre) 48 saat mertebesindedir. Deşarj hatları bakterilerin yok olması için gerekli süreyi sağlamasına karşın virüsler için yetersizdir. Evsel atıksulardaki virüs konsantrasyonları 10^2 - 10^5 PFU/100 ml mertebesindedir. Teorik olarak 1 PFU'nun bile hastalık yapabileceği göz önünde tutulursa yok olma için en az 1/1000 lik seyrelme gerekir (1). Bu mertebede seyrelmenin sağlanamadığı hallerde virüslerin deşarjdan önce uygun yöntemlerle arıtılmaları gerekir.

9.2 Deniz Deşarjı Öncesi Arıtma Yöntemleri

Mekanik arıtım: Çok küçük yerleşim birimlerinde atıksuların deşarjdan önce ızgaradan geçirilmesi önerilmektedir. Izgara sonrası kum tutucu olması deşarj terfi merkezindeki pompaların ve deşarj hattının ömrünü uzatacak ve bakım masraflarını azaltacaktır. Izgara ve kum tutucularda tutulan maddeler genellikle evsel çöplerle birlikte çöp depolama yerlerinde depolanabilir. Orta büyüklükteki yerleşim birimlerinde kaba ızgara ile birlikte döner mikroelek kullanımı da yaygın bir uygulamadır (1).

Biyolojik arıtım: Orta ve büyük şehirlerin atıksularına deşarj öncesi, aktif çamur, biyodisk, stabilizasyon havuzları başta olmak üzere çeşitli biyolojik arıtma yöntemleri uygulanmaktadır. Bu sistemlerde %85-95 oranında organik karbon giderimi sağlanmaktadır (3). Klasik aktif çamur sistemlerinde nütrient giderimi %30-45, stabilizasyon havuzlarında ise %40-50 aralığındadır (Tablo 15.1). Bu yüzden nütrient gideriminin önem taşıdığı alıcı ortamlara deşarj öncesi nütrient giderimi de uygulanmalıdır. Fiziko-kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri ile etkin bir şekilde Nütrient giderimi sağlanabilir (4),(5).

Fiziko-kimyasal arıtım: Küçük ve orta büyüklükteki yerleşim birimleri ve endüstriyel atıksular için en çok uygulanan deşarj öncesi arıtım yöntemidir. Fizikokimyasal arıtma yöntemlerinin arazi ve enerji gereksinimi biyolojik sistemlere kıyasla daha azdır, sıcaklık değişimlerinden etkilenmezler ve istenildiğinde kesikli (mevsimlik) olarak çalıştırılabilirler. Fiziko-kimyasal arıtım ile %90 PO₄, %30-40N, %70-80 BOI₅ ve %50-90 ağır metal giderimi sağlanabilmektedir. Kimyasal arıtmada giderilemeyen askıdaki fosfor kimyasal arıtım sonrası hızlı kum filtresinde giderilir. Fizikokimyasal arıtımın bir dezavantajı fazla çamur evsel atıksular için biyolojik arıtmaya kıyasla 1.5-2 katı fazla çamur çıkmasıdır.

Dezenfeksiyon: Atıksuyun deşarj edileceği alıcı ortam şartlarına bağlı olarak doğrudan veya mekanik veya biyolojik arıtım sonrası atıksular dezenfekte edilerek alıcı ortama deşarj edilirler. Dezenfeksiyon için Klorlama, ozonlama veya UV yöntemleri kullanılır.

Yurdumuzda Ege, Akdeniz ve Marmara'daki koy ve sahillerde yer alan turistik beldelerdeki atıksularda büyük debi değişimleri olduğundan arıtma birimlerinin söz konusu mevsimlik ve günlük salınımlara cevap verecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Büyük şehirlerde ve turistik beldelerde derin deniz deşarjı öncesi arıtım ünitelerinin aşama aşama yapılması ülkemiz ekonomik koşulları için daha uygundur. Başlangıçta sadece mekanik ön arıtma birimlerini içeren arıtma tesisi nüfus artışı ve yatırım olanaklarına paralel olarak geliştirilerek belli bir süre sonra 2., gerekiyorsa 3. kademe biyolojik arıtma eklenebilir.

Deşarj hattının uzunluğu deşarj öncesi yapılacak arıtma derecesine göre tasarlanır. Bu yüzden atıksuların mekanik arıtım sonrası biyolojik arıtmadan da geçirileceği düşünülerek deşarj borusu uzunluğu sadece mekanik arıtım yapılması durumuna göre daha kısa tutulur. Herhangi bir nedenle biyolojik arıtım ünitesi devre dışı olduğunda deniz daha fazla kirlenir. Deşarj borusu uzunluğunun çok emniyetli seçilmesi durumunda böyle bu tür riskler ortadan kalkar.

Şekil 9.1. Arıtma sistemlerinin verimleri ve işletme özellikleri (1)

Parametre	Klasik aktif çamur sistemi	Uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemi	Damlatılmalı filtre	Fakültatif havalandırılmalı havuz	Sirkülasyon havuzu	Biyolojik
BOİ giderimi,%	85-93	95-98	65-95	70-90	70-90	85-94
N giderimi,%	30-40	15-30	-	-	40-50	-
P giderimi,%	35-45	10-20	-	-	20-60	-
Koliform giderimi,%	60-90	60-90	-	60-90	50-99.9	-
Arazi gereksinimi,m ³ /N						
Sıcak iklim	0.16-0.20	0.25-0.35	-	0.15-0.45	1.0-2.8	<0.1
Ilıman iklim	0.20-0.40	0.35-0.65	-	0.45-1.00	3-12	<0.1
Enerji gereksinimi, kw-s/N.yıl	8.17	13-20	-	12-15	yok	6-12
Çamur uzaklaştırma şekli	Çürütme yatakları, mekanik ekipman	Kurutma yatakları	Çürütme, kurutma yatakları	5-10 yılda bir çamur uzaklaştırma	5-10 yılda bir çamur uzaklaştırma	-
Gerekli alet ve teçhizat	Havalandırıcı, geri devir pompası, sıyrıcı, çamur çürütücü, gaz toplama	Havalandırıcı, geri devir pompası	Geri devir pompası, sıyrıcı, yoğunlaştırıcı, çürütücü ve gaz toplama	Havalandırıcı	-	Geri devir pompası, sıyrıcı, yoğunlaştırıcı, çürütücü
İşletme	Yetişmiş eleman	Daha az yetişmiş eleman	Yetişmiş eleman	Basit	Basit	Yetişmiş eleman

9.3 Deşarj Şartları

Atıksuların denize deşarjında göz önünde tutulması gereken hususlar şunlardır:

- Denizin estetik görünüşünü bozan yüzücü katı maddeler ve yağ-gres, deşarjdan önce atıksudan ayrılmalıdır.
- DDT, PCB, PCP, ağır metaller, solventler v.b. zehirli maddelerin kaynağa ayrılması yoluna gidilmeli, hiçbir şekilde atıksuya karışmasına meydan verilmemelidir.
- İyi projelendirilmiş ve yeterince uzun deşarj hatlarında BOI, askıda katı madde, çözünmüş oksijen, tuzluluk ve besi maddeleri gibi kirlilik parametreleri fazla önem taşımamaktadır. Ancak hassas bölgelere deşarj edilen besin elementi yükü alıcı ortamda ötrofikasyona neden olabileceğinden dikkatle irdelenmelidir.

9.4 Su Kalitesi Standartları

Su kalite standartları, kıyı sularının kullanma amacına göre değişir. Burada sadece yüzme ve su sporları için kullanılan kıyı suyu kalite standartlarından söz edilecektir.

Evsel atıksuların denize deşarjında deşarj hattı boyunun belirlenmesinde koliform mikroorganizma konsantrasyonu sınırlayıcıdır. Bu yüzden deşarj sisteminin ekonomik olarak projelendirilmesinde koliform standartları önemli rol oynar. Koliform standartları deniz suyunun halk sağlığı ve estetik bakımdan yeterli özellikte olması göz önüne alınarak belirlenir. Türkiye için koruma bölgesi sınırında zamanın %90'ındaki koliform konsantrasyonu değeri 1000/100 ml alınması öngörülmektedir. Koruma bölgesi genişliği olarak da çoğu ülkelerde olduğu gibi asgari 300 m'lik bir sahil bandı alınabilir. Çeşitli ülkelerdeki koliform standartları Tablo 9.2 de verilmiştir. Yönetmelikte ayrıca nüfusa bağlı olarak minimum deşarj boyları için de belli değerler öngörülmektedir.

Tablo 9.2 Çeşitli ülkelerin koliform standartları

Koliform (EMS)/100ml					
Ülke	Organizma türü	%50	%80	%90	%95
AT üyeleri	Toplam koliform	-	-	-	1,000
	Fekal koliform	-	-	100	-
	Fekal streptococci	-	-	-	0
ABD(California)	Koliform	230	1000	-	-
Danimarka	E.Koli	100	-	1,000	-
Japonya	"	1,000	-	-	-
Hollanda	"	100-1,000	-	-	-
Rusya	"	1000	-	-	-
İsveç	"	100	-	-	-
Türkiye	Toplam koliform	-	-	1,000	-
	Fekal koliform	-	-	200	-

Bazı ülkelerde Koliform mikroorganizma için ilk seyrelmede sınırlama getirilmiştir. ABD'nin Kaliforniya eyaletinde zamanın %50'sinde en az 100, %90'ında ise 80 misli seyrelme öngörülmektedir. İspanyol standartlarında, minimum seyrelmenin 100 veya deşarj derinliğinin 20m. olması, bunun mümkün olmaması durumunda deşarj hattı boyunun en az 2000m. olması

öngörülmektedir. Su kirliliği kontrolü yönetmeliğinde de minimum ilk seyrelmenin 40, deşarj derinliğinin 20m. olması öngörülmektedir.

Su kirliliği kontrolü yönetmeliğinde deniz deşarjına izin verilebilecek atıksularda aranan özellikler Tablo 9.3 te, uygulanacak kriterler Tablo 9.4 te, minimum deşarj boyları ise Tablo 9.5 te verilmiştir.

Tablo 9.3 Derin deniz deşarjına izin verilebilecek atıksuların özellikleri (1)

Parametre	Sınır	Açıklama
pH	6-9	
Sıcaklık (°C)	35	
Askıda katı madde (mg/l)	350	
Yağ ve gres (mg/l)	10	
Yüzer maddeler	Bulunmayacaktır	
BOI ₅ (mg/l)	250	
KOI (mg/l)	400	
Toplam azot (mg/l)	40	
Toplam fosfor (mg/l)	10	
Yüzey aktif maddeler (mg/l)	10	Biyolojik olarak parçalanması Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı yasaktır.
Diğer parametreler		Tehlikeli ve zararlı maddeler yönergesinde bu parametreler için verilen sınır değerlere uymalıdır.

Tablo 9.4 Derin deniz deşarjı için uygulanacak kriterler (1)

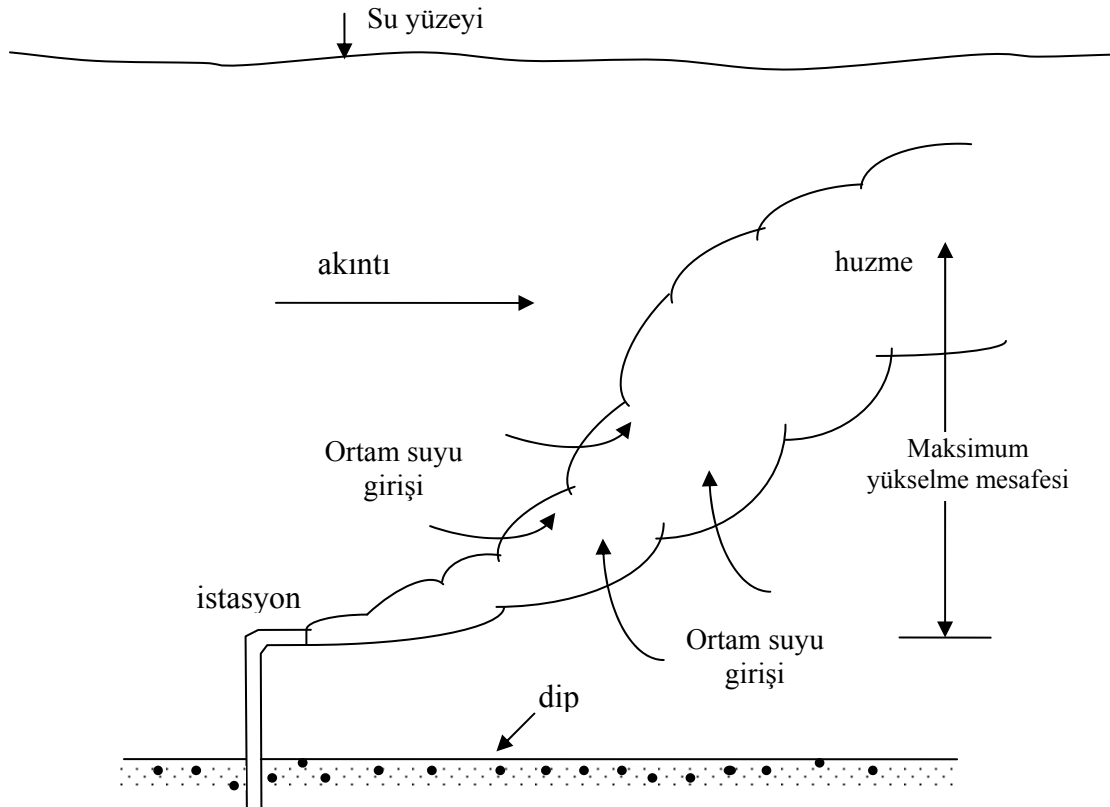
Parametre	Limit
Sıcaklık	Deniz ortamının seyrelme kapasitesi ne olursa olsun denize deşarj edilecek suların sıcaklığı 35°C'yi aşamaz. Sıcak su deşarjları difüzörün fiziksel olarak sağladığı birinci seyrelme (S ₁) sonucunda karıştığı deniz suyunun sıcaklığını Haziran-Eylül aylarını kapsayan yaz döneminde 1°C'den, diğer aylarda ise 2°C'den fazla arttıramaz.
En muhtemel sayı (EMS) toplam fekal koliformlar	Derin deniz deşarjıyla sağlanacak olan toplam seyrelme sonunda sayı (EMS) insan teması olan koruma bölgesinde, zamanın %90'ında, EMS olarak toplam koliform seviyesi ve 1000 TC/100 ml koliform seviyesi 2000 FC/100ml den az olmalıdır.
Katı ve yüzen maddeler	Difüzör çıkışı üzerinde toplam genişliği o noktadaki deniz suyu derinliğine eşit olan bir şerit dışında gözle izlenebilecek katı ve yüzer maddeler bulunmayacaktır.
Serbest bakiye klor	<0.5 mg/l yi aşmamalıdır (su ürünleri yönetmeliği).
Diğer parametreler	İlgili yönetmelikte Tablo 4 de verilen limitlere uyulacaktır.

Tablo 9.5 Evsel atıksu debilerine göre minimum deşarj boyu

Nüfus	Debi (m ³ /gün)	Minimum deşarj boyu(m)
<1000	200	500
1000-10,000	200-2000	1300

9.5 Deşarj Edilen Atıksuların Seyrelmesi

Deşarj, deşarj hattı üzerindeki tek noktadan (single-port) veya birkaç noktadan difüzörlerle yapılır. Atıksuyun yoğunluğu, alıcı ortamda dağılım yönünden kontrol edici parametredir. Deniz deşarjında atıksu yoğunluğu, ortamın yoğunluğundan daha azdır. Deniz suyunun yoğunluğu σ_t ile ifade edilir ve suyun g/l yoğunluğundan 1000 çıkartılarak elde edilir. Örneğin deniz suyu yoğunluğu 1024 g/l, veya 24 σ_t dir. Deniz suyu yoğunluğu tuzluluk ve sıcaklığa bağlıdır. Atıksu yoğunluğu ise sıcaklık ve biraz da askıda katı konsantrasyonuna bağlıdır. Genellikle atıksuyun yoğunluğu deniz suyundan daha az olduğu için difüzörlerden deşarj edilen atıksu akımı yüzeye doğru çıkma eğilimindedir. Deniz dibinde atıksu huzmesi şematik görünümü Şekil 9.1 de verilmiştir. Birinci bölgede (ilk karışma bölgesi) deşarj suyu, hızla yükselen yüzer bir huzme oluşturur. Bu huzme büyük miktarda ortam suyunu içine alarak seyrelir.



Şekil 9.1. Deniz dibinde atıksu deşarj huzmesi

Denizlerde sıcaklık ve tuzluluk farkından dolayı oluşan tabakalaşmalar nedeni ile daha derinlerdeki soğuk su katmanları, üst taraftan sıcaklığı daha fazla ve yoğunluğu daha düşük su katmanları tarafından örtülmektedir. Atıksuyun alt tabakalara deşarj edilmesi ile oluşacak atıksu-soğuk deniz suyu karışımının yoğunluğu üst katmanlardaki daha sıcak suyun yoğunluğundan fazla ise atıksuyun yüzeye çıkma olasılığı çok düşük olacaktır. Bunun

ötesinde su katmanları arasındaki tabakalaşma bu geçişi zorlaştıran faktör olmaktadır. Dolayısı ile eğer deşarj yapılan alıcı ortamda tabakalaşma varsa huzmeye girişim yapan ilk yoğun su daha az yoğun su ortamına yükselirken huzmenin yukarı doğru yüzebilirliği azalır. Bu yükseliş sırasında herhangi bir noktada huzmenin yoğunluğu ortam suyunun yoğunluğu ile eşitlenir, yükselme durur. Huzme orta denge yüksekliğine ulaşır. Şayet tabakalaşma azsa veya hiç aylarında olduğu gibi hiç yoksa, huzme su yüzeyine kadar yükselir.

Yakınalan olarak adlandırılan ilk karışma bölgesinin ötesinde, Uzakalan olarak tanımlanan bölgede atıksu ortam akıntıları ile taşınır ve difüzyonla seyrelir. Yakınalan ve uzakalanda gerçekleşen seyrelme mekanizması tamamen farklı olduğundan ayrı incelenmiştir.

9.6 Seyrelme Hesapları

Uzun bir deşarj hattı ile denize verilen atıksuların bünyesindeki kirleticiler deşarj ortamında üç değişik yolla seyreltilir.

1. İlk seyrelme (S_1) : Atık su hüzmesinin difüzör deliği ile atıksu tarlasının teşekkül ettiği seviye arasındaki hareketi esnasında uğradığı seyrelmedir.

2. İkinci seyrelme (S_2): Atıksu tarlasının türbülans difüzyonu ve boyuna dispersiyon etkisi ile yatay istikamette yayılıp, açılarak seyrelmesidir.

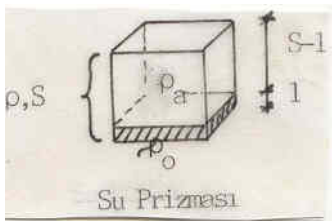
3. Üçüncü seyrelme (S_3): Atıksu içerisindeki korunamayan türden unsurların zamanla biyolojik olarak ayrışması, güneş ışığı tesiri ve çökelen maddelerle sürüklenme yoluyla uğradıkları ilave seyrelmedir.

Zamanla ayrışıp azalmayan türdeki maddeler (korunan madde) sadece 1. ve 2. seyrelme tesiri ile seyreltilir. Bu tür maddeler netice olarak $S_1.S_2$ defa seyreltilmiş olurlar. Organik madde, bakteri gibi korunamayan maddeler ise ayrıca 3. seyrelmeye uğradıkları için $S_1.S_2.S_3$ defa seyreltilirler.

Yoğunluk, seyrelme ve konsantrasyon arasındaki ilişkiler şekildeki su prizması yardımıyla ifade edilebilir.

$$\rho \bullet S = \rho_a (S - l) + \rho_o \bullet l \rightarrow S = \frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_a - \rho} \quad (9.1)$$

$$C \bullet S = C_o - l + \theta \bullet (S - l) \rightarrow C = \frac{C_o}{S} \quad (9.2)$$



Burada,

- ρ_a : alıcı ortam yoğunluğunu
- ρ : S misli deniz suyu ile karışmış atıksu-denizsuyu karışımının yoğunluğunu
- S : seyrelme sayısını

- C_0 : Başlangıçtaki kirletici konsantrasyonunu
 C : Atıksuyun seyrelmeden sonraki konsantrasyonu

göstermektedir. Öteki büyüklükler daha önce tanımlandığı gibidir.

Deniz ortamına, tabandaki bir boru üzerindeki bir delik (nokta kaynak) veya yarıktan (çizgi kaynak) deşarj edilen atıksuların seyrelmesi ile ilgili çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Abraham (1963), Fan ve Brooks (1969), Brooks (1974), Kor (1968), Cederval (1968). Değişik alıcı ortam şartları için geliştirilen ve pratikte tasarımlar için kullanılan ifadeler ve uygulama sınırları aşağıda özetle verilmiştir.

9.6.1 İlk Seyrelme Hesabı

İlk seyrelme ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve hesabı oldukça iyi bir formüle edilmiştir. Verilen teorik hesap metodları deneysel çalışmalarla da doğrulanmıştır (Şekil 9.2).

- S : Atık suyun seyrelmesi, (boyutsuz)
 c : Atık sudaki kirletici konsantrasyonu, (kg/m^3)
 y : Difüzör deliğinden itibaren ölçülen düşey mesafe, (m)
 x : Difüzör deliğinden itibaren ölçülen yatay mesafe, (m)
 s : Jet eksen boyunca difüzör deliğinden olan mesafe, (m)
 r : Jet eksenine dik eksen boyunca uzunluk, (m)
 Θ : Jek ekseninin yatayla yaptığı açı, (derece)
 u : jet elemanının hızı, (m/sn)
 g : yerçekimi ivmesi, (m/sn^2)
 ρ : yoğunluk, (kg/m^3)
 D : difüzör delik çapı, (m)
 F : densimetrik Froude sayısı, (boyutsuz)

$$F = U_0 (g' \cdot D)^{-0.5} \quad (9.3)$$

dir. İndislerin anlamları aşağıda verilmiştir.

- (m) indisi, jet eksenindeki,
(o) indisi, jet başlangıcındaki,
(a) indisi, deniz suyuna ait büyüklükleri ifade etmektedir.

9.6.1.1 Durgun ve Üniform Yoğunluklu Ortamda Yatay Dairesel Jet Deşarjında İlk Seyrelme Hesabı

(I) Atık Su Jetleri Arasında Girişim Olmaması (Nokta kaynak) Hali

Difüzör deliklerinden çıkan atıksu jetleri arasında girişim olmaması için delikler arasındaki mesafe (L), atıksu su tarlasının yüzeyde teşekkül etmesi halinde,

$$L > \frac{I}{3} h \quad (9.4)$$

batmış tarla halinde ise,

$$L > \frac{I}{3} y_{\max} \quad (9.5)$$

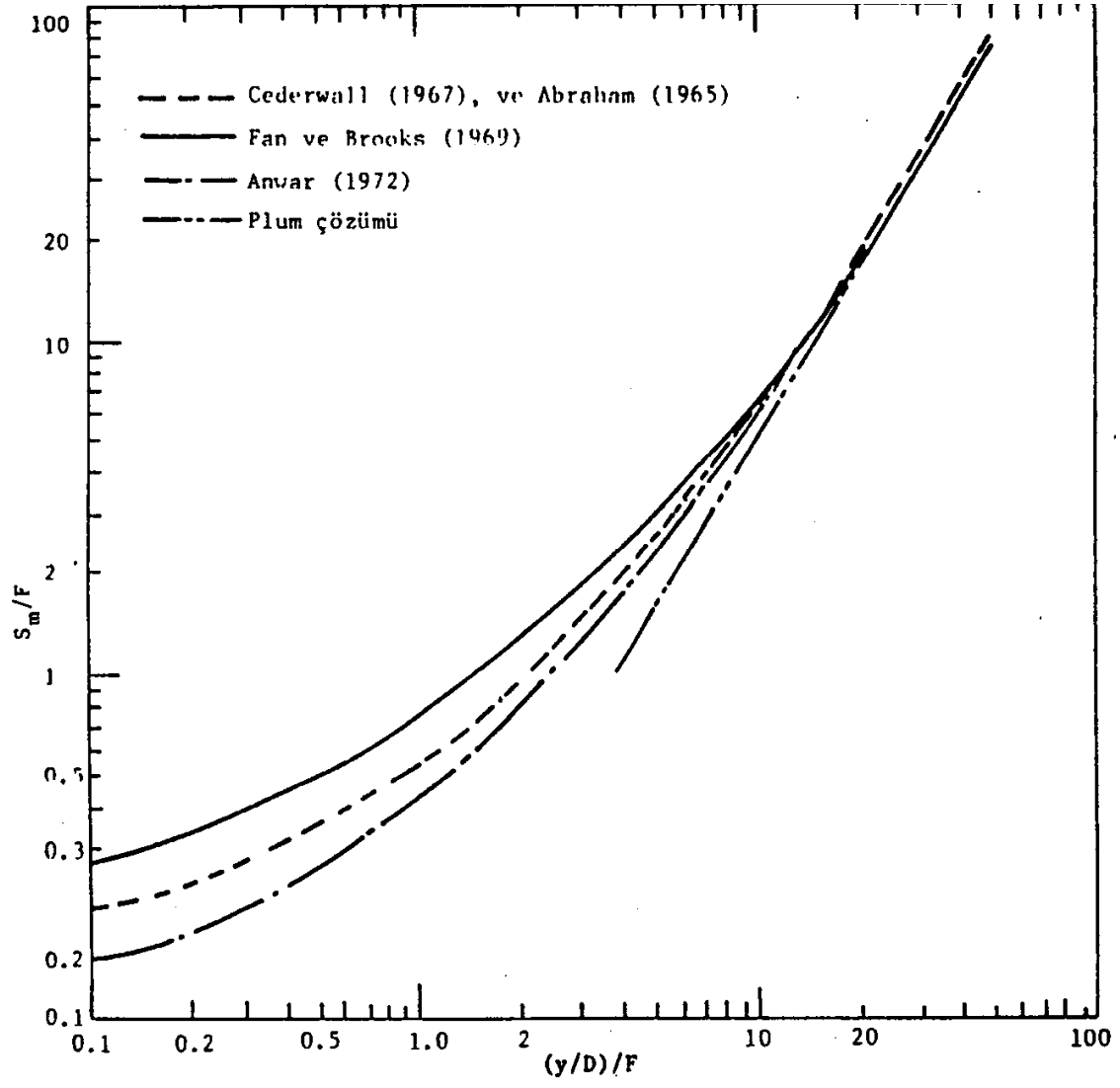
olmalıdır. Bu ifadelerde h, delik üzerindeki su derinliğini, $y_{\max}$ ise batmış atıksu tarlasının üst sınırının, difüzör deliğinden olan uzaklığını göstermektedir. Eğer difüzör delikleri şaşırtmalı ise, bu değerlerin yarısı alınabilir. Roberts (1977), $y/L > 5$ halinde girişimin ihmal edilebileceğini belirtmektedir. Hansen ve Jensen (1977), delikler arasındaki mesafenin, atıksu tarlasının yüzeyde teşekkülü halinde,

$$(2 S_m - I) U_o \frac{\pi D^2}{4} < L \bullet h \bullet u \quad (9.6)$$

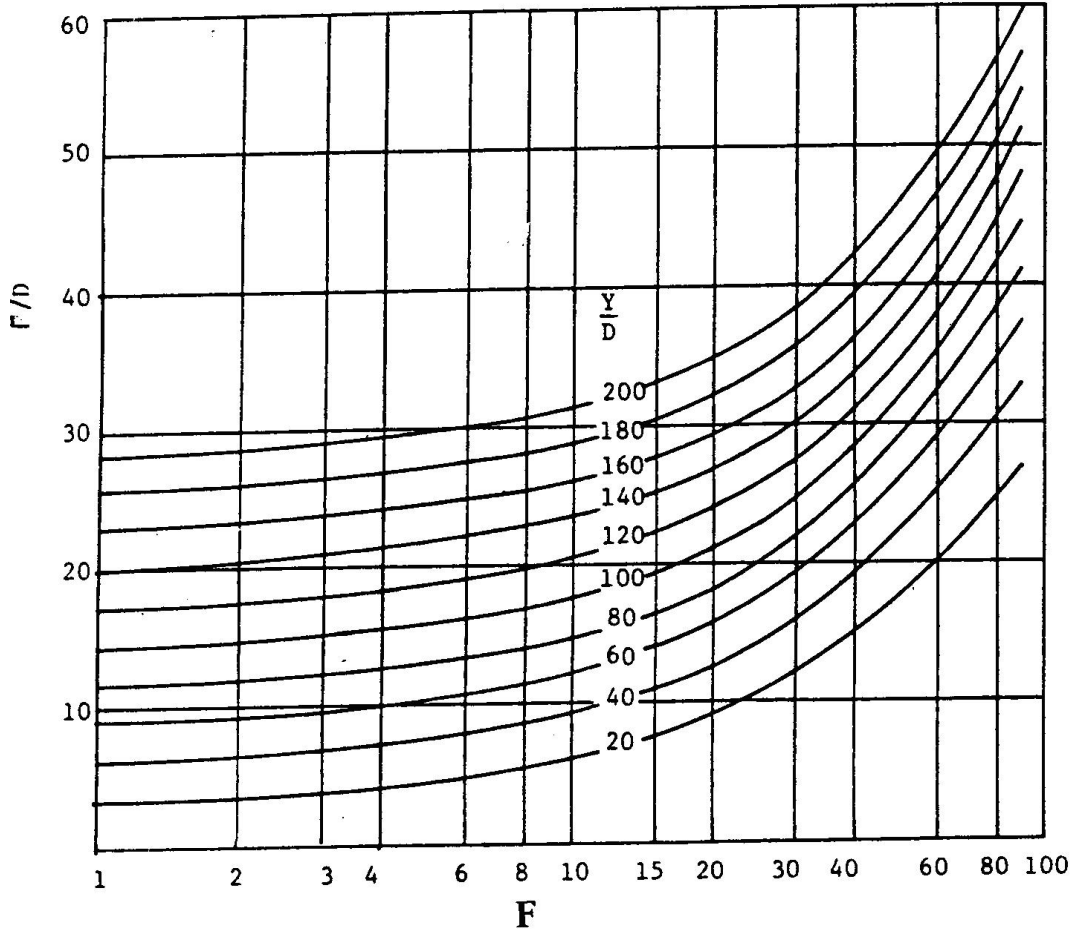
batmış tarla halinde ise,

$$(2 S_m - I) U_o \frac{\pi D^2}{4} < L \bullet y_{\max} \bullet u \quad (9.7)$$

ifadelerinden hesaplanabileceğini belirtmektedir. Burada u, difüzör eksenine dik akıntı hızını göstermektedir. Durgun ve üniform yoğunluklu ortamlara yatay dairesel delikten atıksu deşarjında jet yarıçapının hesabı için Şekil 9.3. deki grafik kullanılabilir. (Arceivala, 1982)



Şekil 9.2. Durgun ve Üniform Bir Ortamda Yatay Dairesel Jet İçin Eksenel Seyrelmeler



Şekil 9.3. Durgun ve üniform ortamlara yatay dairesel jet deşerjında jet yarıçapı(r) - Delik çapı (D) oranının hesabı için grafik (1)

Durgun (akıntısız) ve üniform yoğunluklu ortamlarda dairesel jetteki eksenel seyrelmenin hesabı,

$$S_m = f(y/D, F, \theta) \quad (9.8)$$

ifadesi analitik olarak çözülmek suretiyle yapılmıştır.

Bu çözüm Şekil 9.3'de grafik halinde verilmiştir. Şekil 9.3 den y/D ve F 'nin fonksiyonu olarak okunacak eksenel seyrelmeler (S_m), difüzör deliğinden $6D$ kadar uzaktaki noktaya göre rölatif seyrelmeyi vermektedir. Difüzörün delik kesitine göre rölatif eksenel seyrelmeyi bulmak için Froude sayısı (F) %7 arttırılarak,

$$F' = 1.07.F \quad (9.9)$$

Değeri için hesap yapılır. Jet eksenine dik eksen boyunca konsantrasyon ve hız dağılımı normal olduğundan ortalama ilk seyreltme,

$$S_0 = 2S_m \quad (9.10)$$

dir. Yatay dairesel jet ($\theta=0$) halinde $y/(D.F) > 30$ için difüzör deliğinden $6D$ mesafedeki noktaya göre rölatif eksenel seyrelme,

$$S_m = 0.095 (y/D)^{5/3} F^{-2/3} \quad (9.11)$$

difüzör deliğine göre rölatif eksenel seyrelme ((9.11) ifadesinin 1.15 katı alınarak)

$$\begin{aligned} S_m &= 0.109 (y/D)^{5/3} F^{-2/3} \\ &= 0.089 g^{1/3} \cdot y^{5/3} \cdot Q^{-2/3} \end{aligned} \quad (9.12)$$

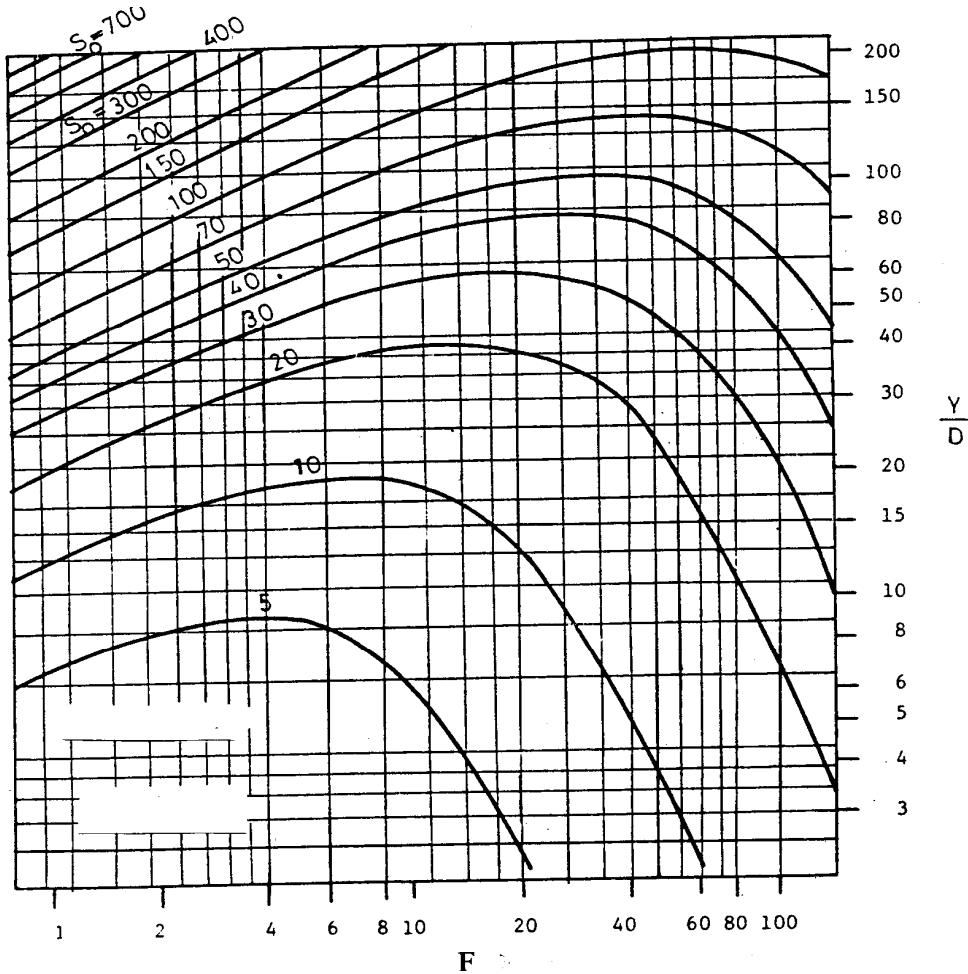
ifadelerinden hesaplanır.

Üniform ve durgun ortamlarda yatay dairesel jetlerdeki eksenel seyrelmeler için Cedervall (1968) aşağıdaki yaklaşık ifadeleri vermiştir. Bu ifadeler yaklaşık olmalarına rağmen, pratikte tasarım içib yaygın şekilde kullanılmaktadır.

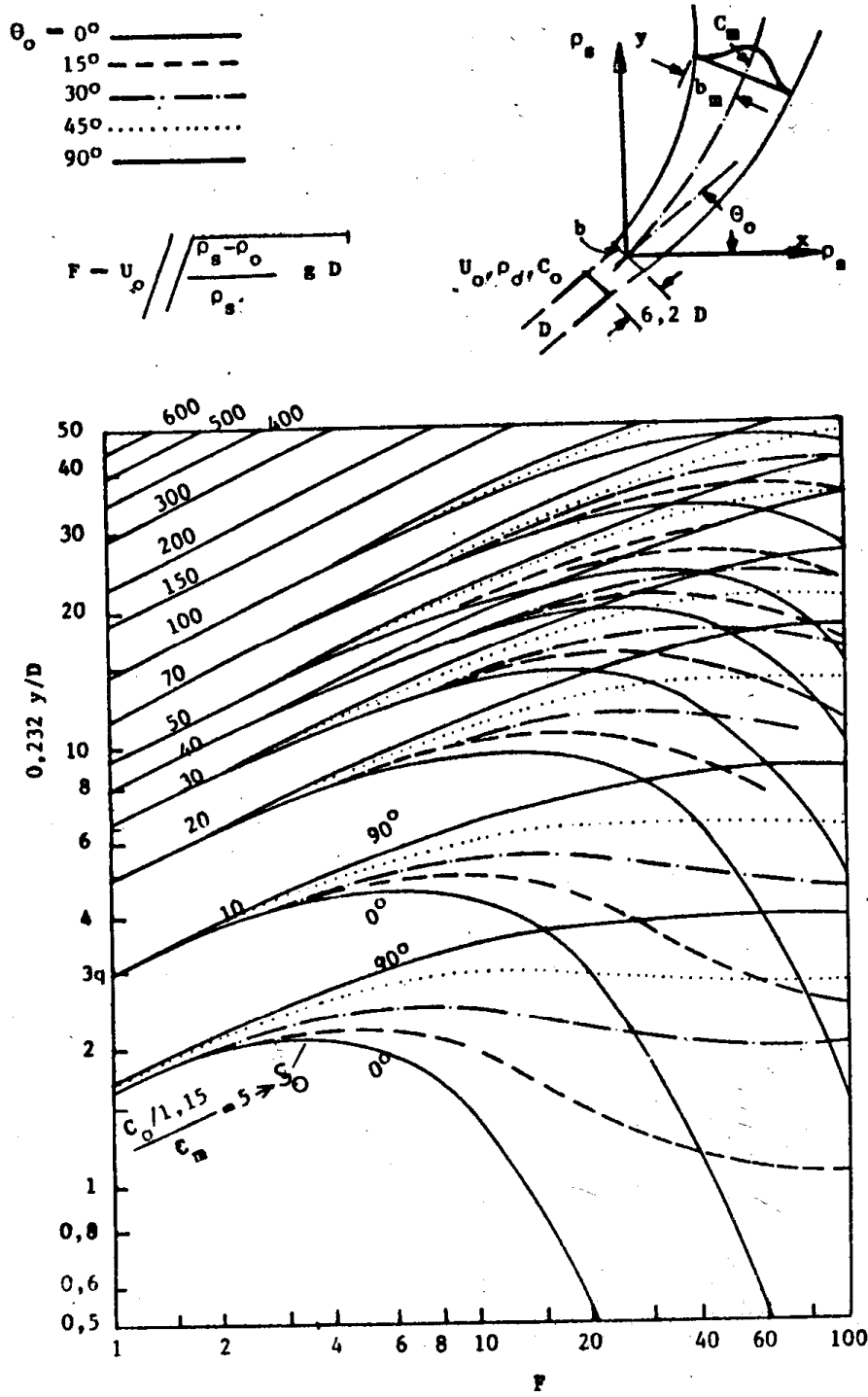
$$y/D < 0.89 F \text{ için } S_m = 0.54 F \cdot y^{0.44} \cdot (D \cdot F)^{-0.44} \quad (9.13)$$

$$y/D > 0.89 F \text{ için } S_m = 0.54 F (0.38 y \cdot D^{-1} \cdot F^{-1} + 0.68)^{1.67} \quad (9.14)$$

Difüzör delik ekseninin yatayla belli bir θ_0 açısı yapması halindeki eksenel seyrelmeler için de Şekil 9.5. daki grafik kullanılabilir.



Şekil 9.4. Durgun ve Üniform Yoğunluklu Ortamda Yatay Dairesel Jet Halinde Eksenel Seyrelmelerin Hesabı için Grafik (1)



Şekil 9.5. Atıksu Jetlerinin Yatay Eksenle θ_0 Açısı Yapması Halinde, Eksenel Seyrelmelerin Hesabı için Grafik (1)

(2) Jetler Arasında Girişim Olması (Çizisel kaynak) Halinde İlk Seyrelme Hesabı

Difüzör delikleri birbirine çok yakın olursa jetler arasında girişim meydana gelir. Bu halde atıksular adeta B kalınlıklı bir çizgisel kaynaktan deşarj ediliyor gibi düşünülür. Bu şeritvari yarığın alanı D çaplı deliğin alanına eşit alınır. Bu durumda $(y/B) \cdot F^{-4/3} > 20$ için yatay dairesel jetlerdeki eksenel seyrelme,

$$S_m = 0.38 \cdot (y/B) \cdot F^{-2/3} \quad (9.15)$$

veya

$$S_m = 0.38 \cdot g^{1/3} \cdot q^{-2/3} \cdot y \quad (9.16)$$

ifadelerinden hesaplanabilir. Burada B,

$$B = (\pi \cdot D^2) / (4 \cdot L) \quad (9.17)$$

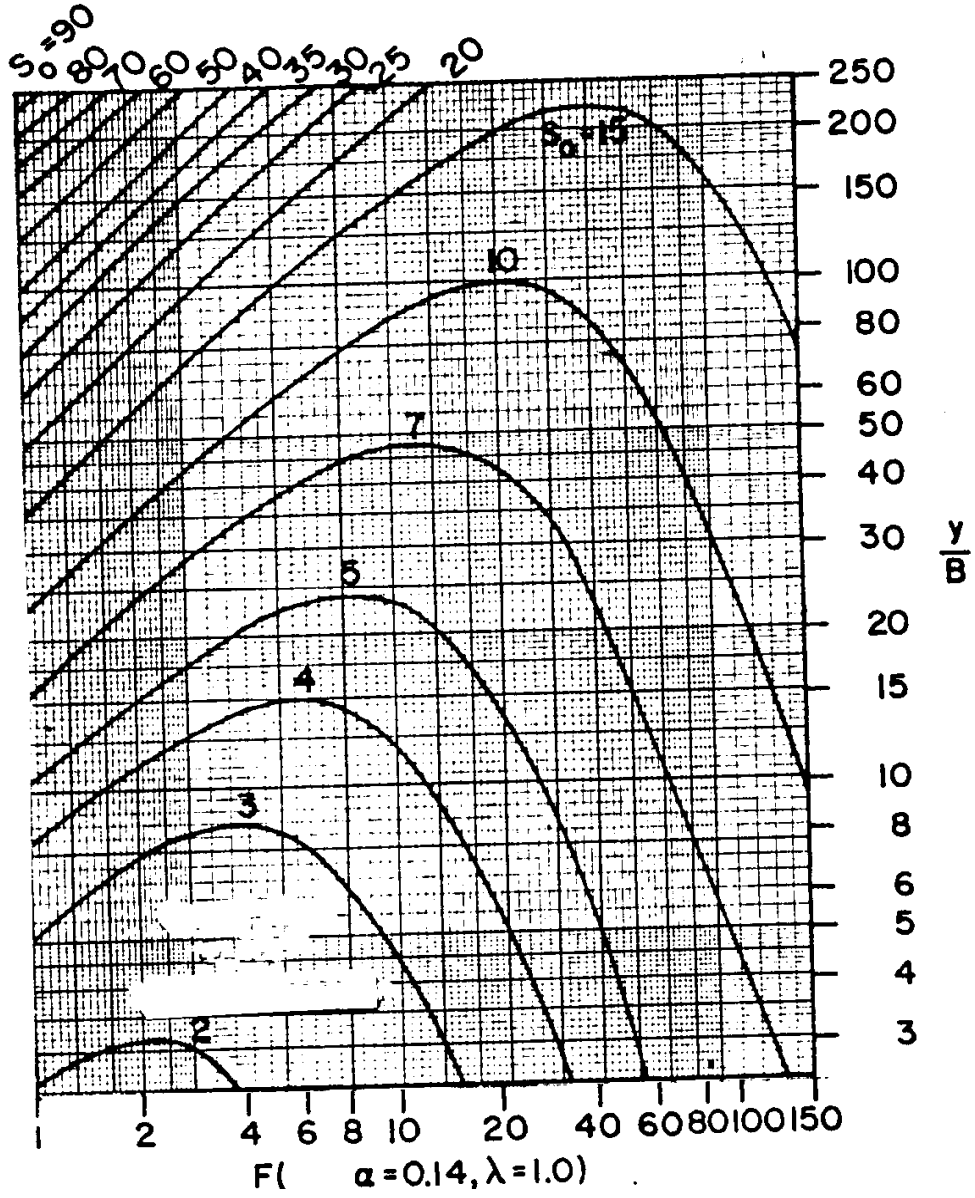
bağıntısı ile tanımlanmakta olup, çizgi kaynak formundaki girişimli jetlerin genişliğini göstermektedir. q ise birim difüzör boyu başına düşen debidir. B genişlikli yatay dairesel yarıktan yatay jet deşarjı halindeki eksenel seyrelmeler Şekil 9.6. dan hesaplanabilir.

Ortalama seyrelme de,

$$S_o = \sqrt{2} S_m \quad (9.18)$$

ifadesi ile hesaplanır.

Yoğunluk tabakalaşması bulunmayan (üniform) ortama yatay dairesel jet deşarjında, her halükarda atıksu bulutu su yüzeyine çıkar. Belli bir derinlikte tutulma sözkonusu değildir.



Şekil 9.6. B Genişlikli Yarıktan Yatay Jet Deşarjı Halindeki Eksenel Seyrelmelerin Hesabı için Diagram (Ortalama Seyrelme $\sqrt{2}S$ 'e eşittir.)

Akıntı Yolu İle Seyrelme

Roberts (1977) $3.7 < \frac{b}{h} < 30$ ve $F < 0.1$ için akıntı yolu ile olan ilk seyrelmenin aşağıdaki denklemlerle hesaplanabileceğini göstermiştir.

$$S_m = 0.27 \frac{U \cdot h}{q} \cdot F^{-1/3} \quad (9.19)$$

$$\frac{S_m}{S_o} = 0.27 F^{-1/3} \quad (9.20)$$

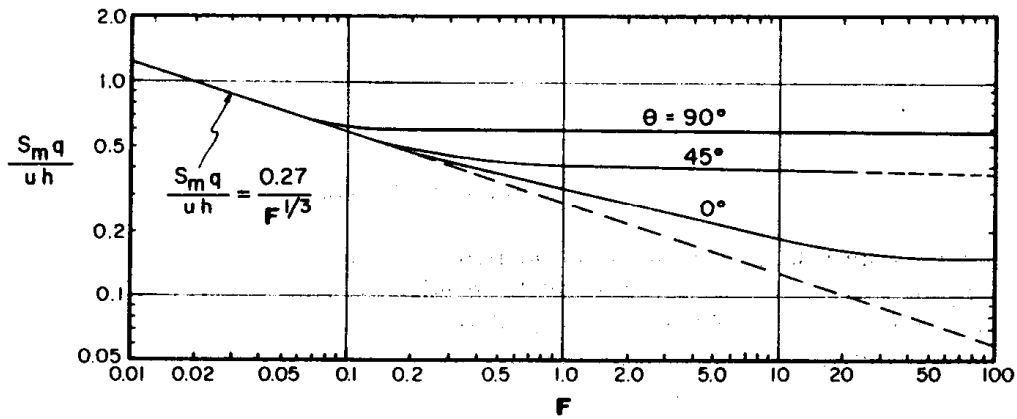
$$F = \frac{U^3}{g' \cdot q} \quad (9.21)$$

Burada,

- S_o : ortalama ilk seyrelmeyi
- U : akıntı hızını
- b : akıntıya dik difüzör boyunu
- h : su derinliğini
- q : birim difüzör boyu başına debiyi
- F : Akıntı Froude sayısını

göstermektedir.

$F > 0.1$ için akıntı yönü ile difüzör eksenini arasındaki θ açısına bağlı olarak, S_m / S_o oranları Şekil 9.6 dan hesaplanabilmektedir.



Şekil 9.7. Çizgi Kaynaktan Jet Deşarjı Halinde Akıntı Yolu İle Seyrelme

Akıntı yolu ile olan ilk seyrelme daha basit olarak, süreklilik denklemi yardımı ile

$$Q_o \cdot S_o = U \cdot b \cdot h^* \quad (9.22)$$

ifadesinden de hesaplanabilir. Burada,

- Q_o : difüzörden deşarj edilen toplam atıksu debisini
- h^* : atıksu tarlası kalınlığını

göstermekte olup, diğer büyüklükler önceden tanımlandığı gibidir. Atıksu tarlası kalınlığı, yüzeyde tarla halinde $h^* \approx h/5$, batmış tarla söz konusu olduğunda ise $h^* \approx y_{\max}/2$ alınabilir. Akıntının difüzör eksenine paralel olarak gelmesi özel durumunda, etkili difüzör boyu $b \approx h/3$ alınabilir.

9.6.2 İkinci Seyrelme (S_2) Hesabı

Denize deşarj edilen atıksular su yüzeyine veya tutulma seviyesine çıktıktan sonra akıntılara tabi olarak sürüklenirler. Bu esnada denizdeki mevcut türbülansın etkisiyle, deniz suyu ile atıksu tarlası arasında ilave karışımlar ve seyrelmeler meydana gelir. Deşarj noktasından (difüzörden) koruma bölgesine kadar olan taşınma esnasında meydana gelen seyrelmeye, türbülanslı difüzyon yoluyla seyrelme veya ikinci seyrelme denir.

Türbülanslı bir ortamda birim alandan geçen madde akısı, Fick kanununa göre,

$$Q_A = \varepsilon \frac{\partial c}{\partial x} \quad (9.23)$$

ifadesi ile verilir.

Burada,

ε : Türbülanslı difüzyon katsayısıdır.

Yatay olarak hareket eden atıksu tarlasında korunamayan türden bir kirleticinin konsantrasyonu c ise, türbülanslı bir ortamda seyrelme,

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(U \bullet C) + \frac{\partial}{\partial y}(V \bullet C) + \frac{\partial}{\partial z}(W \bullet C) = \\ \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon_x \bullet \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\varepsilon_y \bullet \frac{\partial c}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\varepsilon_z \bullet \frac{\partial c}{\partial z}) - k C = 0 \end{aligned} \quad (9.24)$$

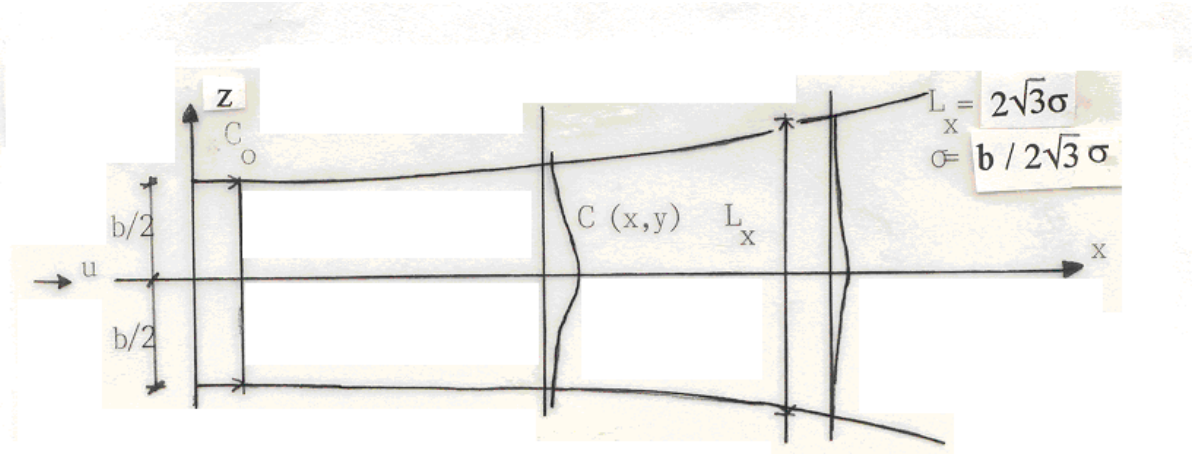
Burada,

U, V, W : Sırası ile x, y ve z eksen doğrultularındaki zamansal ortalama hızları.

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$: Türbülans difüzyonu katsayılarını

k : Kirleticinin giderilme hızı sabitini

göstermektedir.



Şekil 9.8. İkinci Seyrelmenin Şematik Gösterimi

Bu difüzyon denklemi aşağıdaki kabuller altında çözülmüştür.

- (1) $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot f(L)$ veya $L = f(x)$
- (2) Düşey karışım ihmal edilebilir ($\varepsilon_z = 0$)
- (3) Akıntı yönündeki boyuna karışım ihmal edilebilir. ($\varepsilon_x = 0$)
- (4) Akım kararlıdır ($\partial c / \partial t = 0$)
- (5) Koliform mikroorganizma konsantrasyonu giderimi 1. derece reaksiyona $(-kc)$ uymaktadır.

Bu durumda (9.24) denklemi,

$$\frac{\partial}{\partial x}(U C) - \frac{\partial}{\partial y}(\varepsilon_y \cdot \frac{\partial C}{\partial y}) + k C = 0 \quad (9.25)$$

şeklini alır. Bu diferensiyel denklemin çözümü için aşağıdaki sınır şartları esas alınmıştır.

$$x=0 \text{ için } -\frac{b}{2} < y < \frac{b}{2} \quad C = C_0$$

$$|y| > \frac{b}{2} \quad C = 0$$

Söz konusu dispersiyon denklemin genel çözümü,

$$C = \varphi(x,y) \cdot e^{-kx/u} \quad (9.26)$$

dir. Korunamayan maddelerin zamanla azalmasını ifade eden $e^{-kx/u}$ terimi ihmal edilerek $C = \varphi(x,y)$ özel çözümü elde edilebilir. Denklem (5.66), $C = \varphi(x,y)$ ve $KC = 0$ için yeniden düzenlenirse,

$$\varepsilon \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = U \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (9.27)$$

olur. Türbülans difüzyonu katsayısının,

$$\varepsilon = \varepsilon_0 f(x)$$

olduğu gözönünde tutulursa (9.27) ifadesi için,

$$\varepsilon_0 \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = \frac{U}{f(x)} \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (9.28)$$

elde edilir. Bu son denklem için Brooks (1960) tarafından aşağıdaki çözümler verilmiştir.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \quad \text{için} \quad L/b = (1 + 2\beta \frac{x}{b})^{1/2} \quad (9.29)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot L/b \quad \text{için} \quad L/b = 1 + \beta \frac{x}{b} \quad (9.30)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 (L/b)^{4/3} \quad \text{için} \quad L/b = (1 + 2/3 \beta \frac{x}{b})^{3/2} \quad (9.31)$$

Burada,

- ε_0 : $x = 0$ noktasındaki türbülans difüzyonu katsayısını
- L : x 'in belli bir değeri için atıksu tarlası genişliğini
- b : $x = 0$ noktasındaki atıksu tarlası genişliğini
- β : $12 \varepsilon_0 / u \cdot b$ ile verilen boyutsuz bir sabiti

göstermektedir. Yapılan çok sayıda deneysel çalışma sonunda başlangıçtaki türbülans difüzyonu katsayısının,

$$\varepsilon_0 = \eta L^{4/3} \quad (9.32)$$

denklemleriyle ifade edilebileceği ve Eddy difüzyonu katsayısı (η)'nin de ortalama bir değer olarak, $\eta = 0.01$ alınabileceği gösterilmiştir (Arcevia, 1982).

Atıksu tarlasının x eksenini boyunca uğrayacağı ikinci seyrelme için Brooks çözümleri aşağıdaki gibidir.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \quad \text{için} \quad S_2 = \text{erf} \left\{ 3 / (4 \cdot \beta \cdot x / b) \right\}^{-1/2} \quad (9.33)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot L/b \quad \text{için } S_2 = \operatorname{erf} \left\{ \frac{3/2}{[(1+\beta x/b)^2 - 1]} \right\}^{-1/2} \quad (9.34)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot (L/b)^{4/3} \quad \text{için } S_2 = \operatorname{erf} \left\{ \frac{3/2}{(1 + 2/3 \beta x/b)^3 - 1} \right\}^{-1/2} \quad (9.35)$$

Burada erf (.), standart hata fonksiyonunu göstermekte olup değeri Tablo 9.6 'dan alınabilir.

Atıksu tarlasının x eksenini boyunca yatay hareketi sırasında konsantrasyon dağılımı normal olup,

$$C(x,y) = C_{\max} \cdot \exp \left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{y^2}{\sigma^2} \right) \quad (9.36)$$

denklemini ile ifade edilebilir (Şekil 9.9). x eksenini üzerindeki eksenel konsantrasyon da,

$$C(x,0) = C_{\max} = C_0 / S_2 \quad (9.37)$$

olacaktır. Burada C_0 , S_1 seyrelmesi sonundaki kirletici konsantrasyonunu göstermektedir.

$C(x,y)$ dağılımının standart sapması, σ ,

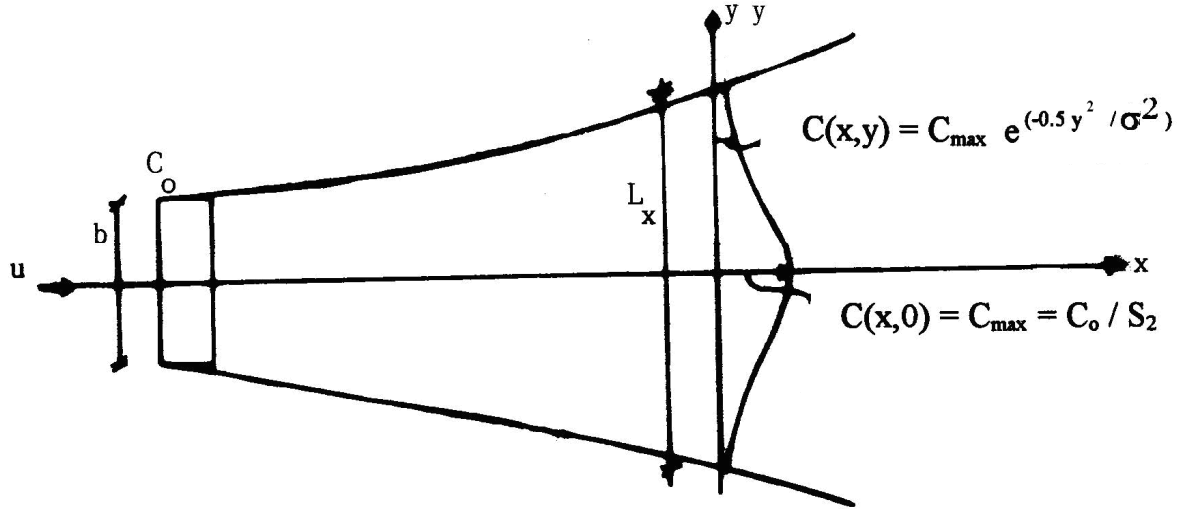
$$\sigma = \frac{L}{2\sqrt{3}} \quad (9.38)$$

alınabilir. Atıksu tarlası sınırı civarındaki konsantrasyon,

Tablo 9.6. Standart Hata Fonksiyonu Değerleri

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

x	erf x	x	erf x	x	erf x	x	erf x
0.00	0.00000 00000	0.50	0.52049 98778	1.00	0.84270 07929	1.50	0.96610 51465
0.01	0.01128 34156	0.51	0.52924 36198	1.01	0.84681 04962	1.51	0.96727 67481
0.02	0.02256 45747	0.52	0.53789 86305	1.02	0.85083 80177	1.52	0.96841 34969
0.03	0.03384 12223	0.53	0.54646 40969	1.03	0.85478 42115	1.53	0.96951 62091
0.04	0.04511 11061	0.54	0.55493 92505	1.04	0.85864 99465	1.54	0.97058 56899
0.05	0.05637 19778	0.55	0.56332 33663	1.05	0.86243 61061	1.55	0.97162 27333
0.06	0.06762 15944	0.56	0.57161 57638	1.06	0.86614 35866	1.56	0.97262 81220
0.07	0.07885 77198	0.57	0.57981 58062	1.07	0.86977 32972	1.57	0.97360 26275
0.08	0.09007 81258	0.58	0.58792 29004	1.08	0.87332 61584	1.58	0.97454 70093
0.09	0.10128 05939	0.59	0.59593 64972	1.09	0.87680 31019	1.59	0.97546 20158
0.10	0.11246 29160	0.60	0.60385 60908	1.10	0.88020 50696	1.60	0.97634 83833
0.11	0.12362 28962	0.61	0.61168 12189	1.11	0.88353 30124	1.61	0.97720 68366
0.12	0.13475 83518	0.62	0.61941 14619	1.12	0.88678 78902	1.62	0.97803 80884
0.13	0.14586 71148	0.63	0.62704 64433	1.13	0.88997 06704	1.63	0.97884 28397
0.14	0.15694 70331	0.64	0.63458 58291	1.14	0.89308 23276	1.64	0.97962 17795
0.15	0.16799 59714	0.65	0.64202 93274	1.15	0.89612 38429	1.65	0.98037 55850
0.16	0.17901 18132	0.66	0.64937 66880	1.16	0.89909 62029	1.66	0.98110 49213
0.17	0.18999 24612	0.67	0.65662 77023	1.17	0.90200 03990	1.67	0.98181 04416
0.18	0.20093 58390	0.68	0.66378 22027	1.18	0.90483 74269	1.68	0.98249 27870
0.19	0.21183 98922	0.69	0.67084 00622	1.19	0.90760 82860	1.69	0.98315 25869
0.20	0.22270 25892	0.70	0.67780 11938	1.20	0.91031 39782	1.70	0.98379 04586
0.21	0.23352 19230	0.71	0.68466 55502	1.21	0.91295 55080	1.71	0.98440 70075
0.22	0.24429 59116	0.72	0.69143 31231	1.22	0.91553 38810	1.72	0.98500 28274
0.23	0.25502 25996	0.73	0.69810 39429	1.23	0.91805 01041	1.73	0.98557 84998
0.24	0.26570 00590	0.74	0.70467 80779	1.24	0.92050 51843	1.74	0.98613 45950
0.25	0.27632 63902	0.75	0.71115 56337	1.25	0.92290 01283	1.75	0.98667 16712
0.26	0.28689 97232	0.76	0.71753 67528	1.26	0.92523 59418	1.76	0.98719 02752
0.27	0.29741 82185	0.77	0.72382 16140	1.27	0.92751 36293	1.77	0.98769 09422
0.28	0.30788 00680	0.78	0.73001 04313	1.28	0.92973 41930	1.78	0.98817 41959
0.29	0.31828 34959	0.79	0.73610 34538	1.29	0.93189 86327	1.79	0.98864 05487
0.30	0.32862 67595	0.80	0.74210 09647	1.30	0.93400 79449	1.80	0.98909 05016
0.31	0.33890 81503	0.81	0.74800 32806	1.31	0.93606 31228	1.81	0.98952 45446
0.32	0.34912 59948	0.82	0.75381 07509	1.32	0.93806 51551	1.82	0.98994 31565
0.33	0.35927 86550	0.83	0.75952 37569	1.33	0.94001 50262	1.83	0.99034 68051
0.34	0.36936 45293	0.84	0.76514 27115	1.34	0.94191 37153	1.84	0.99073 59476
0.35	0.37938 20536	0.85	0.77066 80576	1.35	0.94376 21961	1.85	0.99111 10301
0.36	0.38932 97011	0.86	0.77610 02683	1.36	0.94556 14366	1.86	0.99147 24883
0.37	0.39920 59840	0.87	0.78143 98455	1.37	0.94731 23980	1.87	0.99182 07476
0.38	0.40900 94534	0.88	0.78668 73192	1.38	0.94901 60353	1.88	0.99215 62228
0.39	0.41873 87001	0.89	0.79184 32468	1.39	0.95067 32958	1.89	0.99247 93184
0.40	0.42839 23550	0.90	0.79690 82124	1.40	0.95228 51198	1.90	0.99279 04292
0.41	0.43796 90902	0.91	0.80188 28258	1.41	0.95385 24394	1.91	0.99308 99398
0.42	0.44746 76184	0.92	0.80676 77215	1.42	0.95537 61786	1.92	0.99337 82251
0.43	0.45688 66945	0.93	0.81156 35586	1.43	0.95685 72531	1.93	0.99365 56502
0.44	0.46622 51153	0.94	0.81627 10190	1.44	0.95829 65696	1.94	0.99392 25709
0.45	0.47548 17198	0.95	0.82089 08073	1.45	0.95969 50256	1.95	0.99417 93336
0.46	0.48465 53900	0.96	0.82542 36496	1.46	0.96105 35095	1.96	0.99442 62755
0.47	0.49374 50509	0.97	0.82987 02930	1.47	0.96237 28999	1.97	0.99466 37246
0.48	0.50274 96707	0.98	0.83423 15043	1.48	0.96365 40654	1.98	0.99489 20004
0.49	0.51166 82612	0.99	0.83850 80696	1.49	0.96489 78648	1.99	0.99511 14132
0.50	0.52049 98778	1.00	0.84270 07929	1.50	0.96610 51465	2.00	0.99532 22650

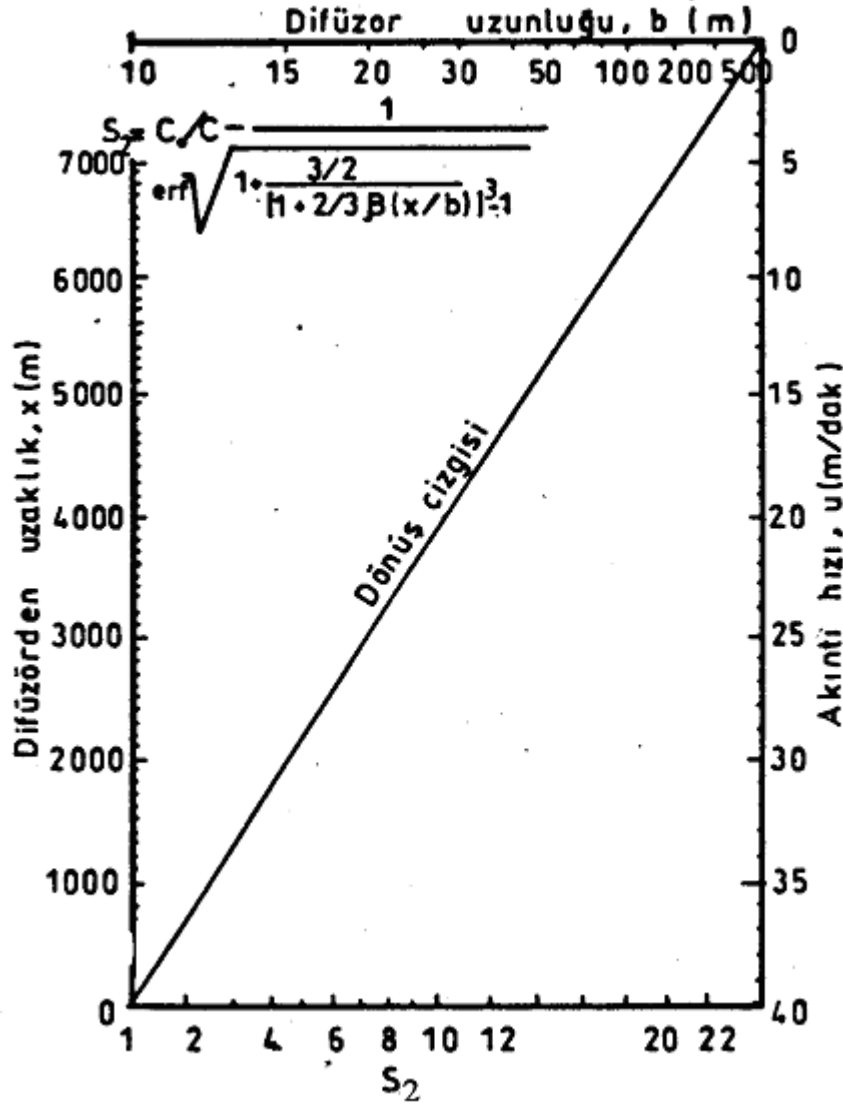


Şekil 9.9. Yatay Yönde Yayılan Atıksu Tarlasındaki Konsantrasyon Dağılımı

$$C(x, -\frac{L}{2}) = e^{-3/2} \cdot C_{\max} \quad (9.39)$$

dır. Dolayısı ile $C_{\max}/C(x, -\frac{L}{2})$ oranı 4.5 dir.

İkinci seyrelmenin x, b ve u akıntı hızının fonksiyonu olarak hesabına imkan veren abaklarda geliştirilmiştir (Şekil 9.10). Özel bir hal olarak akıntının difüzör eksenine paralel yönde etkili olması durumunda, başlangıçtaki ($x=0$) atıksu tarlası genişliği $b=h/3$ alınabilir. Denklem (9.26) de bakterilerin zamanla yok olmasını ifade eden ikinci terimin yol açtığı ilave seyrelmenin üçüncü seyrelme hesabı Bölüm 9.6.3. de ayrıca verilmiştir.



Şekil 9.10. İkinci Seyrelme (S_2) Hesabı İçin Abak

9.6.3 Üçüncü Seyrelme (S_3) Hesabı

Denize deşarj edilen atıksu içerisindeki korunamayan türden maddelerin, atıksu tarlasının yatay hareketi esnasında güneş ışınlarının radyasyon tesiri, tuzluluk ve çökelen maddelere tutunma gibi etkiler sonucu seyreltilirler. Mikroorganizmaların su ortamındaki yok olma olayı, genel olarak aşağıdaki 1.derece reaksiyonu ile ifade edilir.

$$\frac{dC}{dt} = -k C \quad (9.40)$$

Bu diferensiyel denklemin çözümü sonunda,

$$C_t = C_0 \cdot e^{-kt} = C_0 \cdot 10^{-kt} \quad (9.41)$$

ifadesi elde edilir.

Burada k ile gösterilen, bakteri azalma hızı katsayısı T_{90} parametresinin fonksiyonudur. T_{90} , mikroorganizmaların %90'nının yok olması için geçen süredir. T_{90} sonunda $C_t = 0.1 C_0$ olacağından, k için,

$$k = 1/T_{90} \quad (9.42)$$

eşitliği yazılabilir.

T_{90} değeri mevsimlik değişim gösterir. Bu sebeple yaz, kış ve bahar mevsimleri için ayrı ayrı hesaplanarak değerlendirilmesi gerekebilir.

Türkiye'nin çeşitli yerlerinde değişik zamanlarda ölçülen T_{90} değerleri Tablo 5.2 de verilmiştir.

Tablo 5.2. Türkiye'nin Muhtelif Denizlerinde Tesbit Edilen T_{90} Değerleri

Yer	Yıl	T_{90} (Saat)
İstanbul	1968	0.8-1.7 (1.1)
Bodrum	1977	1.0
Erdek	1977	1.1
Ayvalık	1977	0.5-0.8
İskenderun	-	1.1
Karadeniz	1988	2.0-2.5
Ege Denizi	-	1.0-1.5
Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği :		
Ege Denizi ve Akdeniz		1.5
Karadeniz		2.0

Denklem (9.41) e göre t taşınma müddeti sonundaki mikroorganizma konsantrasyonu,

$$C_t = C_0 \cdot 10^{-t/T_{90}} \quad (9.43)$$

olduğundan, üçüncü seyrelme, S_3 ,

$$S_3 = \frac{C_0}{C_t} = 10^{t/T_{90}} \quad (9.44)$$

ifadesinden bulunabilir. Burada t taşınma müddeti, x taşınma mesafesi ve u akıntı hızına bağlı olarak,

$$t = x / u \quad (9.45)$$

ifadesiyle verilir.

Yukarıdaki üç ayrı seyrelme sonucu meydana gelen toplam seyrelme (S_T),

$$S_T = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (9.46)$$

olarak hesaplanır. Deşarj edilen atık suyun başlangıçtaki koliform konsantrasyonu C_o ise, koruma bölgesi sınırındaki koliform konsantrasyonu (C),

$$C = C_o / S_T \quad (9.47)$$

olur. Bu şekilde bulunan C konsantrasyonu, koruma bölgesi sınırı için öngörülen standardı aşmayacak şekilde deşarj hattı uzunluğu belirlenir.

UYGULAMALAR

Problem (9.1)

Bir atıksu deniz deşarjı sisteminde 1., 2. ve 3. seyrelmeleri (S_1 , S_2 ve S_3) sırası ile 100, 10 ve 1000 dolaylarında olacağı tahmin edilmektedir. Bu atıksu içerisindeki başlangıç konsantrasyonu 10 mg/l olan L_i ve $10^8/100$ ml olan koliform mikroorganizmaların,

a) Difüzörün tam üzerinde ve deniz yüzeyinde

b) Koruma bölgesi sınırındaki konsantrasyonlarını hesaplayınız. Alıcı ortamın yoğunluğunun üniform (derinlik boyunca sabit) olduğu kabul edilecektir.

Çözüm

$$a) C_{Li} = \frac{C_o}{S_1} = \frac{10}{100} = 0.1 \text{ mg/l}$$

$$C_{koli} = \frac{C_o}{S_1} = 10^8 / 100 = 10^6 \text{ mg/l}$$

$$b) C_{Li} = \frac{C_o}{S_1 \cdot S_2} = \frac{10}{100 \cdot 10} = 0.01 \text{ mg/l (korunan madde)}$$

$$C_{koli} = \frac{C_o}{S_1 \cdot S_2 \cdot S_3} = \frac{10^8}{100 \times 10 \times 1000} = 100/100 \text{ ml}$$

Problem (9.2)

İç çapı $\phi 1000$ mm lik bir atıksu deşarj hattı ile ortalama debisi $1.57 \text{ m}^3/\text{sn}$ olan bir şehrin atıksularının -25 m derinlikten, $\rho_a = 1.02 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu bir alıcı ortama deşarjı planlanmaktadır. Evsel atıksuyun yoğunluğunu $\rho_o = 0.999 \text{ gr/cm}^3$ alarak,

- a) $D = 1000$ mm lik tek bir delikten deşarj hali için minimum ve ortalama ilk seyrelmeleri,
- b) $S_m = 30$ olması için gerekli deşarj derinliğini,
- c) $y = 25$ m de $S_m = 30$ olması için atıksuyun delikten çıkış hızını,
- d) üzerinde $D = 440$ mm çaplı $n = 3$ adet delik bulunan bir difüzör olması halinde ilk seyrelmeyi hesaplayınız.

Çözüm

$$\text{a) } U_o = \frac{4 \cdot Q}{\pi D^2} = \frac{4 \times 1.57}{\pi \times 1^2} = 2 \text{ m/sn}$$

$$F = \frac{U_o}{\sqrt{g' D}} = \frac{2}{\sqrt{\frac{1.02 - 0.99}{1.02} \cdot 9.81 \cdot 1}} = \frac{2}{\sqrt{0.20 \cdot 1}} = 4.47$$

$$F' = 1.07 \times 4.47 = 4.79$$

$$\frac{y}{D} = \frac{25 - 0.5}{1} = 24.5 \quad \} \quad \text{Şekil 9.4 ten : } S_m = 13, S_0 = 2 \times 13 = 26$$

$$\text{b) } \frac{y - 0.5}{D} = 50 \quad \} \quad \text{için Şekil 9.4 ten } S_m = 30 \text{ bulunur.}$$
$$F' = 4.79$$

Bu durumda, $y = 50 \times 1 + 0.5 = 5.05$ m olmalıdır. Dolayısı ile deşarj hattı boyu uzatılmalıdır.

$$\text{c) } \frac{y - 0.5}{D} = 24.5 \quad \} \quad \text{Şekil 9.4 ten } F' = 95 \text{ bulunur.}$$
$$S_m = 30$$

$$F = \frac{F'}{1.07} = 88.8 = \frac{U_o}{\sqrt{g' \cdot D}} = \frac{U_o}{0.45} \rightarrow U_o = 39.77 \text{ m/sn}$$

bulunur ki böyle bir hız pratik olarak sağlanamaz.

d) $D_1 = 440 \text{ mm}$, $n = 3$ delik

$$Q_1 = \frac{Q}{3} = \frac{1.57}{3} = 0.52 \text{ m}^3/\text{sn}, U_o = \frac{u \cdot 0.52}{\pi \cdot 0.44^2} = 3.5 \text{ m/s}$$

$$F = 11.74 \longrightarrow F' = 1.07 \times 11.74 = 12.56$$

$$\begin{array}{l} y \quad 24.5 \\ D_1 \quad 0.44 \end{array} \quad \} \text{ \text{şekil 5.6 den } S_m=30 ; S_0=60}$$

Delik sayısının arttırılması (difüzör teşkili) seyrelmeyi arttırır ve daha ekonomik çözüm verir. Difüzör boyu (b), difüzör hariç deşarj hattı uzunluğu (L), deniz tabanı eğimi (m), derinlik (y) ve ilk seyrelme (S_1) arasında,

$$dS_1/db$$

$$\text{---} = r = 2/3 \text{ (y/(m.b))}$$

$$dS_1/dL$$

eşitliği yazılabilir. Şayet,

$r > 1$ ise difüzör boyunun uzatılması,

$r < 1$ ise derinliğin (boru hatı boyunun) arttırılması daha ekonomik çözüm verir.

$r = 1$ halinde bu iki durumdan biri veya ikisi birlikte tercih edilebilir.

Problem (9.3)

Aşağıdaki verileri kullanarak bir kasabanın evsel atıksularını denize deşarj edecek deşarj hattını boyutlandırınız.

Proje nüfusu	: 30.000 kişi
Birim atıksu debisi	: 200 l/N.gün
Deşarj derinliği	: -25 m (sahilden 650 m uzakta)
Piknoklin derinliği	: -10 m

Akıntı Hızları,

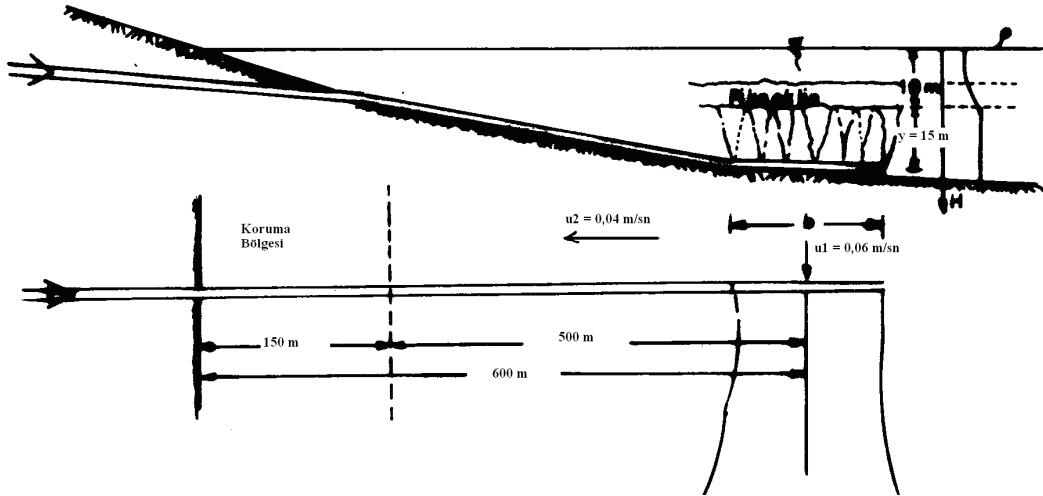
u_1	= 0.06 m/sn (Piknoklin seviyesinde, difüzöre dik doğrultuda)
u_2	= 0.04 m/sn (Piknoklin seviyesinde sahil yönünde)
T_{90}	= 1.1 saat

Koruma bölgesi genişliği : 150 m

Ham atık suyun başlangıçındaki koliform konsantrasyonu (C_o) = 10^6 /100 ml.

Çözüm

Problemin verileri aşağıdaki şekil üzerinde gösterilmiştir.



Ortalama atık su debisi $Q_{24} = 30.000 \times 200 \times 10^{-3} = 6000 \text{ m}^3/\text{gün}$

$$Q = 0.0694 \text{ m}^3/\text{s}$$

Deşarj borusu enkesit alanı : $A = Q / V = 0.0694 \text{ m}^3/\text{s} / 1.0 = 0.0694 \text{ m}^2$

$$\text{Boru çapı: } D = \left(\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot l} \right)^{1/2} = \left(\frac{4 \times 0.0694}{\pi \times 1.0} \right)^{1/2}$$

$$D = 300 \text{ mm}, \quad V = 0.98 \text{ m/sn}$$

Difüzör uzunluğu için $1000 \text{ m}^3/\text{gün}$ debi başına 2-3 (2) m difüzör uzunluğu düşünülerek, toplam difüzör boyu,

$$b = (6000/1000) \times 2 = 12 \text{ m}$$

elde edilir.

İlk Seyrelme Hesabı

a) Difüzör eksenine dik doğrultuda,

$$Q \cdot S_1 = u_1 \cdot b \cdot h^*$$

$$S_1 = \frac{0.06 \times 12 \times (25-10) \cdot 0.5}{0.0694 \text{ m}^3/\text{sn}} = 78$$

b) Boru eksenine paralel doğrultuda,

etkili difüzör boyu, $b = h/3$ alınarak,

$$S_1 = \frac{0.04 \times 8 \times (25-10)0.5}{0.0694} = 35$$

Akıntı doğrultusu ile difüzör, α gibi bir açı yapıyorsa, hesaplarda akıntı doğrultusuna dik difüzör boyu gözönünde tutulur.

İkinci Seyrelme Hesabı

$$\varepsilon_0 = 0.01 (800)^{4/3} = 74.1$$

$$\beta = 12 \times 74.1 / (4 \times 800) = 0.278$$

$$S_2 = \frac{1}{\text{erf}\left(\frac{3/2}{\left(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{x}{b}\right)^3 - 1}\right)^{1/2}} = 1/\text{erf}(0.0273)$$

$$\text{erf}(0.0273) = 0.05 \quad (\text{Tablo 9.6})$$

olduğundan,

$$S_2 = 1/0.05 = 20$$

dir. İkinci seyrelme şekil 5.16 ten de bulunabilir.

Üçüncü Seyrelme Hesabı

$$t = \frac{x}{u} = \frac{500}{0.04} = 12500 \text{ sn} = 3.47 \text{ saat}$$

$$S_3 = 10^{t/T_{90}} = 10^{(3.47/1.1)} = 1427 \text{ bulunur. Toplam seyrelme}$$

$$S_T = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 35 \times 20 \times 1427 = 998900$$

Koruma bölgesi sınırındaki koliform mikroorganizma konsantrasyonu,

$$C = \frac{C_0}{S_T} = \frac{10^6}{998900} \cong 1/100 \text{ ml.} < 1000/100 \text{ ml.}$$

dir. Bu netice, toplam uzunluğu 650 m ve ucunda 12 m'lik difüzör kısmı bulunan bir deşarj hattının, koliform standartlarını sağlayacak derecede bir seyrelme temin ettiğini gösterir.

KAYNAKLAR

- (1) İ., Öztürk, 2002. Atıksu ön arıtma ve deniz deşarjı sistemleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası.
- (2) Metcalf & Eddy, 1991. Wastewater Engineering, Treatment Disposal Reuse, McGraw-Hill International Editions.
- (3) WPCF Manual of Practice No.8. 1991. Wastewater Treatment Plant Design, ASCE, NY.
- (4) Murphy K.L., and Wilson R.W. 1981. Evaluation of biological nitrification – Denitrification at Penticton, Environment Canada, British Columbia.
- (5) Proceedings of NATO/CCMS workshop on advanced wastewater treatment. 1974. Ontario, Canada.

10. ARITMA SİSTEMLERİNDE VERİM, ENERJİ, BAKIM VE İŞLETME

Arıtma yöntemi, projelendirme kriterleri ve ilgili diğer ihtiyaçlar başlıca aşağıdaki faktörlerce kontrol edilir.

- Atıksu debisi ve özellikleri,
- Arıtma seviyesi,
- Verimdeki değişim ve güvenilirlik,
- Diğer proses ihtiyaçları

Atıksu debisi ve özellikleri: Proses seçimi için gereken en önemli bilgiler bu başlık altında toplanır.

Arıtma seviyesi: Evsel atıksular söz konusu olduğunda, BOI, KOI, azot, fosfor, koliformlar, helminitler, vs. gibi belli başlı parametrelerin ne oranda giderileceği arıtma seviyesini belirler. Arazide arıtma sistemleri için arıtma seviyesi, yüzey sularına deşarj sistemi için gerekli arıtma seviyesinden daha düşüktür. Arazide arıtma ayrı azot ve fosfor giderimi gerektirmediğinden, fizibil olduğu takdirde çoğu kez daha uygundur.

Arıtmada yalnızca BOI giderimine ağırlık vermek doğru bir yaklaşım değildir. Arıtma prosesi seçilirken, bütün önemli parametrelerin giderim verimleri belirlenip atıksuyun alıcı ortamlara deşarj limitleri göz önüne alınmalıdır.

Verimdeki değişim ve güvenilirlik: Atıksu debi ve kirletici özellikleri devamlı değişim gösterir. Bu yüzden deşarj standartlarının istatistiksel bazda sağlanması gerekir. Örneğin, İngiltere’de arıtma sisteminin, arzulanan BOI standardını, zamanın %95’inde karşılaması beklenmektedir.

Farklı arıtma prosesleri farklı verim dalgalanmaları gösterir. Eğer arıtılmış su deşarj standardı BOI 30 mg/l ise, sürekli bu standardı sağlamak amacıyla bir prosesi 25 mg/l, diğer bir prosesi ise 20 mg/l arıtım yapacak şekilde emniyet payı bırakarak projelendirmek gerekebilir.

Diğer proses ihtiyaçları: Proses seçimini etkileyen diğer bazı faktörler aşağıda sıralanmaktadır.

- Gerekli alan ihtiyacı.
- Gerekli enerji: Enerji konusu iki yönden incelenebilir. Minimum enerji kullanımı ve enerji kesintilerinde tesisin çalışmaya devam etmesi.
- İşletme ve bakım için gerekli ekipman. Ekipmanın kolay ve ucuz temin edilebilirliği.
- Yetişmiş eleman ihtiyacı.
- Bakım problemleri (ekipman, makine ve diğer yapılar).
- Çamur üretimi ve bertarafı. Çamur arıtımı toplam arıtım maliyetinin çok büyük bir kısmını oluşturur.
- Mevcut hidrolik yük ve tesisteki hidrolik yük kaybı (amaç mümkün olduğu kadar terfiden kaçınmaktır).
- İleride ihtiyaç duyulması halinde tesisin tevsi imkanı.

Bazı arıtım proseslerinin enerji ve arazi ihtiyaçları Tablo 10.1’de verilmektedir.

Tablo 10.1. Değişik proseslerin arazi ve enerji ihtiyaçları(1).

Proses	Sıcak iklimler için enerji ihtiyacı (m ² /kişi) ^a	Enerji ihtiyacı (kWsaat/kişi-yıl)
Klasik aktif çamur	0,2-0,25	12-15
Uzun havalandırmalı A.Ç.	0,15-0,2	16-19
Damlatmalı filtre	0,2-0,3 ^b	7-11
HÇYR+kısa bekletmeli lagün	0,2-0,3 ^c	Yok
Fakültatif havalandırmalı lagün	0,3-0,4 ^d	12-15
HÇYR+7 günlük lagün	0,3-0,4	Yok
Oksidasyon havuzu	1,0-2,8 ^e	Yok
HÇYR+su mercimeği+balık havuzları	2,0-2,8	Yok
Yapay sulak alanlar	2,0-3,5	Yok
Vermikültür	0,3-0,4	Yok

^a kişi başına su kullanımı 180 l ve BOI=50 g/gün

^b Çamurun susuzlaştırılma sistemine bağlıdır (mekanik veya kurutma yatakları).

^c havuz yerleşimi ve standartları karşılamak için gerekli alıkoyma süresine bağlıdır.

^d 3 metre su derinliği, sedde şevleri: 2 (yatay), 1 (düşey)

^e deneysel

Enerji tasarrufu: Atıksu arıtma tesisleri projelendirilirken, enerjinin korunmasına ve enerji tasarrufuna büyük önem verilmelidir. Enerji konusunda iki kademeli bir yaklaşım uygulanabilir. Birinci yaklaşım, arıtma tesisinin maliyetini ve karmaşıklığını arttırmadan, enerji tasarrufu sağlayacak yapılabilir ve uygulanabilir metotlar seçmektir. Bunu yaparken teknolojide aşırıya kaçmamalı, proses ve ekipmanlar dikkatli seçilmeli ve iyi bir mühendislik ve mimarlık tasarımına gidilmelidir. İkinci yaklaşım, daha gelişmiş ekipman ve cihazları içeren proseslerde sadece fazla masraf analizine yoğunlaşmaktır. Bu ikinci yaklaşımın uygulanabilirliği sadece gelişmiş ülkelerle sınırlıdır. Birinci yaklaşımla ilgili metotlar aşağıda verilmektedir.

1. Arıtılmış atıksu kalite standartlarını sağlayabilecek en az enerji kullanan proses seçilmelidir. Tabloda görüldüğü gibi stabilizasyon havuzlarında hiç enerji ihtiyacı yoktur. HÇYR sisteminde çok az, fakültatif havalandırmalı lagünlerde fazla, mekanik havalandırmalı lagünlerde ise çok fazla enerji ihtiyacı vardır. Ayrıca havalı çamur çürütme sırasında havasız çürütmeye göre daha fazla enerji kullanılır. Fazla enerji kullanan bir proses seçilmiş ise, bu seçimin temelinde çok yüksek BOI giderimi, yüksek nitrifikasyon verimi, işletmenin daha güvenilir olması gibi sağlam gerekçeler olmalıdır. Basit bir stabilizasyon havuzu fizibil bulunmuş ise, herhangi bir başka enerji tasarrufuna ihtiyaç yoktur ve bu metot tercih edilmelidir. Çoğunlukla, farklı enerji ve arazi ihtiyaçları olan bu iki proses birleştirilerek toplam maliyet ve enerji

ihtiyacı optimize edilebilir. Seçilmiş belli bir proseste enerji ihtiyacını azaltmanın çeşitli yolları vardır. Örneğin, aktif çamur prosesinde ve uzun havalandırmalı AÇ sistemlerinde enerji ihtiyacını azaltmanın bir yolu, denitrifikasyon esnasında açığa çıkan oksijenden yararlanmaktır. Benzer şekilde, mekanik havalandırmalı lagünler için sıcak iklimlerde üniteler daha derin yapılarak enerji ihtiyacı azaltılabilir. Bunun yanı sıra karışım kinetiğine ve ısı kaybına karşı alınacak tedbirlere daha çok dikkat edilerek lagün hacmi ve enerji ihtiyacı küçültülebilir.

2. Proses seçme imkanımız yoksa, yani uygulanacak proses bize verilmiş ise, en az enerji tüketimi sağlayacak ekipman ve inşaat teknikleri kullanılmalıdır. Örneğin, vidalı (burgulu, salyangoz) pompalar ve dalgıç pompalar diğer pompalara göre daha az enerji tüketirler. Aynı şekilde, lagünlerdeki oksijen ihtiyacı için mekanik havalandırmalı sistemlerde enerji ihtiyacı pnömatik olanlara göre daha azdır. Arıtma tesisi yerindeki topografik eğimlerden yararlanarak, pompaj ihtiyacını azaltacak şekilde tesis yerleşimi yapılmalıdır. Soğuk iklimlerde, uygun malzemeler ve inşaat teknikleri kullanılarak ısı tasarrufu sağlanabilir.

Diğer bazı enerji tasarrufu metotlar aşağıda sıralanmıştır.

- Konvansiyonel enerji kaynakları, mümkünse rüzgar ve güneş enerjileri ile desteklenebilir. Arıtma sistemlerinde pompaların, havalandırma rotorlarının ve benzeri ekipmanın çalıştırılmasında bu tip alternatif enerji kaynaklarının kullanım imkanları araştırılmalıdır.
- Isı enerjisini geri kazanan gelişmiş cihazlar kullanılabilir. Bunlar arasında, çamur çürütücülerden ısı ve enerji üretmek amacıyla metan kazanımı önemlidir. Ancak bu sistem önemli ölçüde mekanik aksam gerektirdiğinden dolayı her zaman kullanılmamaktadır.

10.1 Maliyet Analizin Esasları

Optimum çözümü bulmak üzere düşünülen seçenekler için ilk yatırım ve işletme maliyetlerini içeren toplam maliyetler bulunur ve kıyaslanır. İlk yatırım maliyeti, tesis çalışmaya başlayana kadar yapılan bütün yatırım harcamaları içerir. Bunlar:

- Yasal ödemeler (vergiler) dahil arazi bedeli
- Mühendislik, projelendirme ve müşavirlik hizmetleri
- İnşaat, ekipman ve montaj maliyetleri
- İnşaat esnasında temin edilen paraya (kredi) ödenen faizler

İşletme maliyeti, tesis çalışmaya başladıktan sonra yapılacak işletme harcamaları ve amortismanları içermektedir. Bunlar:

- Personel
- Kimyasal maddeler
- Yakıt ve elektrik giderleri
- Nakliye masrafları
- Bakım ve tamir giderleri
- Sigorta masrafları
- Genel masraflar

10.2 Farklı arıtma metotlarının yaklaşık maliyetleri

Atıksu arıtma maliyeti atıksuyun özelliklerine, kullanılan arıtma prosesine ve arzulanan arıtma derecesine bağlıdır. Bazı atıksu arıtma prosesleri için belirlenen ortalama ilk yatırım maliyetleri Tablo 10.2’de verilmektedir.

10.3 Arıtma maliyetlerinin karşılaştırılması

Farklı proseslerin ilk maliyet ve işletme masrafları da farklı olduğundan, aralarında karşılaştırma yapmak zordur. Anapara ile işletme masrafları birbirine eklenemez. Anapara bir kerelik harcanan bir para olup, işletme masrafları ise her yıl yapılan harcamaları kapsamaktadır. Bu nedenle ya işletme ve bakım masrafları ilk yatırım bazına getirilir, ya da yatırım değeri yıllık baza indirgenir.

Bu konuda gerçekçi bir yaklaşım *bugünkü değer* metodudur. Birbirlerine alternatif olan farklı arıtma prosesleri bugünkü değer metoduyla mukayese edilebilirler.

Bugünkü değer metodu: Farklı arıtma alternatiflerini belli bir zaman aralığında kıyaslamak için kullanılan en yaygın metotlardan birisidir. Bunun için aşağıda maddeler halinde erişilen bilgilere ihtiyaç vardır.

- Toplam ilk maliyet bedeli (inşaat, elektrik, malzeme ve arazi bedeli)
- İlk yatırımın kaç yılda tamamlandığı ve her yıl ne kadar harcama yapıldığı
- Tesisin işletmeye açıldığı ilk yıldaki bakım ve işletme değerleri ve daha sonraki yıllarda tesisin ömrü boyunca enflasyon oranında artılmış yıllık bakım ve işletme değerleri
- Daha sonraki toplam bir parayı bugünkü net değere çevirmek için indirim oranı (veya faiz oranı)
- Tesisin hizmet süresi dolduğu zamanki değeri

Tablo 10.2. Atıksu arıtımında yaklaşık ilk yatırım maliyetleri (1).

Arıtma sistemi	Yaklaşık ilk yatırım maliyetleri (1995-1996 yılları için)	
	\$ ^a /kişi	\$ ^b Milyon litre/gün
Klasik aktif çamur (AÇ)	12,3-14,4	0,68-0,8
Uzun havalandırmalı AÇ	8,2-10,3	0,45-0,58
HÇYR	8,2-10,3	0,45-0,58
Havalandırmalı lagün	6,2-8,2	0,35-0,45
Stabilizasyon havuzu	3,1-4,1	0,16-0,22

^a Eşdeğer nüfus için su tüketimi 180 l/gün ve günlük BOI₅ 50 g olarak dikkate alınmıştır. Bu durumda 10⁶ l/gün 5 555 kişiye karşılık gelmektedir.

^b Arazi fiyatı hariç

10.4 İleri Biyolojik Arıtma Sistemlerinde İşletme ve Yatırım Maliyeti

Genel olarak evsel atıksu arıtma sistemleri karbonlu organik maddenin giderilmesine yönelik olarak tasarlanmaktadır. Ancak alıcı su ortamında ötrifikasyonun ve kirliliğin artması sonucu atıksu deşarjında özellikle hassas bölgeler için daha sıkı deşarj limitleri getirilmiştir. Özellikle azot ve fosfor parametrelerinin öncelikle kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu durumda pek çok ülkede yeni kurulacak ve mevcut olan arıtma sistemlerinde azot ve fosfor arıtımı için ilave maliyet ve optimizasyonlu arıtım verimi gerekli olmaktadır.

İleri Biyolojik Arıtma Sisteminde İşletme Giderleri: İşletmede olan ileri evsel atıksu arıtımında işletme maliyetini kapsayan kalemler aşağıdaki gibidir:

- Enerji giderleri: elektrik, doğal gaz vd.
- Kimyasal giderler: P gideriminde kullanılan kimyasallar
- Çamur şartlandırma için kimyasal giderleri: çamur susuzlaştırmada polimer+kireç
- Uzaklaştırma giderleri: çamur, katı atık vd. uzaklaştırma
- Onarım-bakım giderleri
- Personel giderleri
- Yönetim giderler: telefon, sigorta, posta vd.

Enerji ihtiyacı, havalandırma ile ilgili olup atıksudaki organik madde ve azot yükü ile belirlenmektedir. Kimyasal madde ihtiyacı, fosfor yüküne ve üretilen çamur miktarına bağlıdır. Bakım ve onarım maliyeti, yalnızca yük ile değil, sistemin kapasitesi ile de ilgilidir. Öncelikli olarak sistem organik madde yükünden de etkilenmektedir.

Tablo 10.3. N ve P giderimi olan evsel atıksu arıtma sisteminde işletme giderleri (50 000-200 000 kişi, sistem havasız çürütme içermektedir) (3).

Maliyet kalemleri	Tüketim		
	Aralık	Ortalama	Birim
Enerji (elektrik)	5-16	10	KWsaat/kişi-yıl
Kimyasallar (P için)	10-20	18	Mol metal/kişi-yıl
Çamur uzaklaştırma ^a	45-75	60	Kg susuz çamur/kişi-yıl
Onarım-bakım	0,5-1%	0,6%	İnşa maliyetinin% /kişi-yıl
Toplam personel ^b	0,08-0,15	0,12	Ortalama maaş /1000kişi-yıl
Diğer ^c	-	15%	Masrafların %si

¹ çamur tutma+susuzlaştırma+kurutma+kompostlaştırmayı içerir.

² tüm işçi masrafları: işletme+laboratuvar+yönetim+idari+muhasebe+temizlik vd.

³ Çamur şartlandırma ve laboratuarda kullanılan kimyasallar+büro ihtiyaçları, sigorta, görev vd.

Tablo 10.4. Avusturya’da ileri evsel atıksu arıtma sistemi işletme giderleri (100 000 kişilik) (3).

	Tüketim (birim)	Birim fiyat (€)	€ kişi-yıl
Enerji (elektrik)	10kWhsaat/kişi-yıl	0,12	1,2
Kimyasallar (P)	18 mol/kişi-yıl	0,06	1,1
Çamur uzaklaştırma	60 kg/kişi-yıl	0,04	2,4
Onarım-bakım	İnşanın %0,6’Sİ	333	2
Toplam personel	0,12 ort/1000kişi-yıl	35	4,2
Diğer	%15	-	1,7
Top.işletme masrafı	-	-	12,5

Bu tabloda verilen hesaplarda kimyasal olarak demir klorür alınmıştır. FeCl_3 demir sülfattan 3 kat daha pahalı, alüminyum tuzundan 3 kat daha ucuzdur. Çamurun uzaklaştırmasındaki hesaplarda depolama alanlarına kabul fiyatları da hesaplara katılmıştır. Bu çalışmada bakım-onarım masrafları sistemin kurulma masraflarıyla orantılı olacak şekilde verilmiştir. Avusturya’daki 200 €/kişilik birim maliyet tasarım yüküne göre belirlenen fiyattır. Nitrifikasyon ve besi maddesi arıtımı için Avusturya’da ileri evsel atıksu arıtma sisteminin işletme masrafı, atıksu arıtımı, enerji ve fosfor çöktürmede kullanılan kimyasallar için en az 3 €/kişi-yıl’dır . Bu miktar toplam işletme masrafı olan 12-15 €/kişi-yıl’nın %20’sine denk gelmektedir. Arıtma sisteminin işletmesinde en masraflı kalem personel giderleridir. Bu tüm Avrupa Birliği ülkeleri için geçerlidir (Nowak, 2000)

İleri Biyolojik Arıtma Sisteminde Yatırım Maliyetleri: Atıksu arıtma sistemlerinde maliyet, işletme ve yatırım maliyetlerinin toplamı şeklinde hesaplanmaktadır. Tasarım ve yapım masrafları üç kategoride incelenebilmektedir.

- İnşaat mühendisliği
- Makine mühendisliği
- Elektrik mühendisliği

Almanya’da toplam yatırım maliyetinin %35’inin makine mühendisliği + kontrol + ekipmanlara yapılan harcamalar oluşturmaktadır. Kum filtre ağırlıklı sistem makine-alet teçhizata dayalı olup makine mühendisliği toplam fiyatın %40’ını, elektrik mühendisliği, alet ve kontrol miktarları %10’unu oluşturmaktadır. Kalan %50 kısım inşaat mühendisliği fiyatlandırmasını oluşturur.

Tablo 10.5. Altı Avrupa Ülkesindeki Atıksu Arıtma Sistemi Maliyeti (4).

Ülkeler	Anaerobik sistem sayısı	Yatırım Maliyeti		İşletme maliyeti		Yıllık toplam maliyet
		€€/kişi-yıl	Yıllık fiyat (%)	€/kişi-yıl	Yıllık fiyat(%)	€/kişi-yıl
CH	4-6	32,5	59	23	41	55,5
D	3-6	28,5	55	23	45	51,5
DK	1-6	17	35	31,5	65	48,5
F	0-5	11,5	25	34,5	75	46
NL	3-6	20	50	20	50	40
I	2-5	10,5	34	20,5	66	31

Tablo 10.5’te verilen sonuçlar Avrupa’daki toplam 34 ileri atıksu arıtma sistemi ile ilgili ortalama sonuçları vermektedir. Almanya’da evsel arıtma sisteminin maliyeti aşağıda verilen parametrelerin arıtımı ile orantılıdır:

- Arıtılan birim kg azotun maliyeti: 5 – 7,5 €
- Arıtılan birim kg fosforun maliyeti: 12,5 -2 0 €
- Arıtılan organiklerin (KOI) kg maliyeti: 0,5 – 1 €

10.5 Çeşitli Sistemlerin İşletme Maliyetleri

Birçok İskandinav ülkesinde büyük arıtma sistemleri besi maddesini de giderebilecek şekilde düzenlenmekte veya iyileştirmektedir. Çalışmada İsviçre’de beş arıtma sistemi belirlenerek işletme maliyetleri verilmiştir. Bu sistemler:

- Sistem A: Atıksu arıtma = “N giderimi (oksik + anoksik) + Fosfor giderimi (havasız + demir sülfat)”

Çamur arıtma: mekanik yoğunlaştırıcı + havasız çürütme + susuzlaştırma

- Sistem B: Atıksu arıtma = “nitrifiye aktif çamur (metanol) + akışkan yataklı kum filtresinde son (post) denitrifikasyon + demir” ile fosfor giderimi.

Çamur arıtma: yoğunlaştırıcı + santrifüj + havasız çürütme + santrifüjde susuzlaştırma

- Sistem C: Atıksu arıtma = “kimyasal arıtma (Al + polimer) + havalı biyofiltre (BOI ve nitrifikasyon) + biyofiltre ile denitrifikasyon (metanol)”,

Çamur arıtma: mekanik yoğunlaştırıcı + havasız çürütme + filtrepreste susuzlaştırma

- Sistem D: “atıksu arıtma= nitrifikasyon-ön nitrifikasyon + demir sülfat + kum filtresi”,

Çamur arıtma: yoğunlaştırıcı + santrifüj + havasız çürütme + susuzlaştırma,

- Sistem E: “atıksu arıtma= aktif çamur-denitrifikasyon + damlatmalı filtre (nitrifikasyon) + fosfor giderimi (demir sülfat)”,

Çamur arıtma: yoğunlaştırıcı + havasız çürütme + susuzlaştırma.

Tablo 10.6. Kimyasal tüketimleri ve fiyatları (5).

	Sistem A	Sistem B	Sistem C	Sistem D	Sistem E
Kimyasallar	FeSO ₄	FeSO ₄	PE+Alum	FeSO ₄	FeSO ₄
Kullanılan,mol/yıl	11,6	21	37,6	36,9	31,6
Kullanılan,mol/molP	0,44	1,1	1,67	1,44	1,48
Polimer, kg/yıl	-	-	0,056	-	-
Metanol, kgKOI/yıl	-	13,5	10,5	-	-
Metanol, kgKOI/kgN-yıl	-	3,69	3,34	-	-
Fiyat, € /yıl	0,29	2,71	4,5	0,45	0,39
Eşdeğeri, € /yıl	0,36	2,38	6,45	0,74	1,74

Sonda-denitrifikasyon ve kimyasal ön arıtmanın olması durumunda Sistem B ve C için kimyasallara yapılan harcama diğer sistemlerden fazladır.

Tablo 10.7. Çamur arıtmada kullanılan kimyasal tüketimi ve fiyatları (5).

	Sistem A	Sistem B	Sistem C	Sistem D	Sistem E
Kimyasallar	polimer	polimer	Polimer+kireç	polimer	polimer
Kullanımı,g/yıl	145	82	84+7960	112	103
Kullanımı,kg/tonKM ^a	8	3,5	3,4+327	5,6	4,7
Fiyat, euro/yıl	0,9	0,24	1,12	0,28	0,31

^a toplam çamur (KM)

Sistem B, D ve E’de santrifüj kullanılmakta olup kimyasal fiyatları yaklaşık olarak benzerdir. Sistem A’da santrifüj kullanılmaktadır ancak kimyasal kullanımı fazla olduğu için maliyeti yüksektir. Presfiltreden önce kireç kullanıldığından maliyeti en yüksek sistemdir.

Tablo 10.8. Enerji kullanımı ve maliyeti (5).

	Sistem A	Sistem B	Sistem C	Sistem D	Sistem E
Elektrik, kum tutucu, kWsaat/yıl	22,4	98,9	46,5	21	32,6
Elektrik, kWsaat/yıl	18,6	0	19,4	19,8	19,2
Top.elektrik, kWsaat/yıl	41	98,9	65,9	40,8	51,8
Diğer enerji harc., kWsaat/yıl	0	0	0	4,7	0
Elektrik fiyatı,€/MWsaat	56,2	42,1	33,5	52,6	47,3
Enerji harcama, € /yıl	2,02	1,98	1,45	1,99	1,47

Sistem B'nin enerji gereksiniminin A ve D'den daha fazla olduğu bulunmuştur. B'de son denitrifikasyon mevcut olup akışkan yataklı sistem bulunmaktadır. Sistem C ağırlıklı olarak biyolojik filtre esaslı olup, aktif çamur sisteminden daha fazla enerji harcamaktadır. Sistem D enerjiyi yalnız ısıtma amacıyla kullanmaktadır.

Tablo 10.9. Personel ihtiyacı ve harcamaları (5).

	Sistem A	Sistem B	Sistem C	Sistem D	Sistem E
Toplam çalışan	18	41	39,4	39	55
İşletmede çalışan	17	31,3	30,6	37	40,4
Maaş+fazla mesai (maaşın %si)	1,5	5	8,6	5,9	18,6
adam-yıl	16,3	172	-	35,2	41,6
personel harcama €/kişi-2.yıl	3,41	5,1	2,19	2,64	2,35
diğer hizmetler € /kişi-2.yıl	1,94	0,21	0,55	0,56	1,09

Akışkan yatak için, 0,5 adam-yıl kabul edilir.

Yukarıdaki tabloda arıtma sisteminde çalışan personel sayıları ve toplamı verilmektedir. İdari, laboratuvar, endüstriyel gözetmen, çamur uzaklaştırma ve pompa istasyonu ve ilgili toplama sisteminde çalışan tüm personel hesaplamalarda kullanılmıştır. Uzun süreli Ar-Ge personeli bunun dışında tutulmuş, doğrudan sistemle ilgili personeller dahil edilmiştir. Personel sayısı arıtma sistemi tipi, her bir ünitenin boyutu ve sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Sistem B de ihtiyaç duyulan adam-gücü dış hizmetlerden dolayı diğerlerine kıyasla oldukça fazla çıkmıştır.

Klasik biyolojik arıtma sisteminin maliyeti: Kore'deki 42 şehirde toplam 48 arıtma sistemi bulunmaktadır. Bunun 39'u klasik aktif çamur olup diğerleri uzun havalandırmalı aktif çamur, havasız lagün, oksidasyon hendeği ve DBD (döner biyolojik disk)'dir. Bu sistemlerde BOI, KOI ve AKM arıtılmaktadırlar. Söz konusu evsel atıksu arıtma sistemleri ile ilgili bilgiler Tablo 10.10'da verilmektedir.

Tablo 10.10. Arıtma sistemlerinin işletme masrafları (1992) (6).

Sistem sayısı	Sistem kapasitesi (1000 m ³ /gün)	Toplam fiyat (1000 \$/yıl)	Fiyat/m ³ (\$)
26	2 654 951	122 519	0,46

Klasik ve ileri biyolojik arıtma sistemlerinin kıyaslaması: Hollanda'da yapılan çalışmada üç kademeli biyolojik arıtma sisteminin yatırım maliyetinin klasik 2. kademe biyolojik arıtma sistemin maliyeti ile karşılaştırılması tablo 10.11'de verilmiştir. Üç kademeli reaktörün ilk kademesinde biyolojik fosfor ve KOI giderimi yapılmakta olup ikinci reaktör biyofilm esaslı nitrifikasyon, üçüncü reaktör ise gene biyofilm esaslı denitrifikasyon reaktörüdür.

Tablo 10.11. 100 000 kişi kapasiteli atıksu arıtma sistemi yatırım maliyeti değerleri (€) (7).

	Klasik sistem ^a	Üç-kademeli sistem
Yatırım maliyeti, toplam	21 100 000	19 600 000
Yatırım maliyeti/kişi	465	432
Yıllık maliyet, toplam	4 000 000	4 206 000
Yıllık maliyet/kişi	40	42
Gerekli asgari alan (m ²)	20 000	7 500

^açok düşük yüklemelerde ve geri besleme akımlarında çalışan oksidasyon hendeği.

Verilen maliyet hesapları arazi bedelini içermemektedir. Kıyaslama Hollanda'da çok sık rastlanan düşük yüklemelerde çalışan oksidasyon hendeği ile yapılmıştır. Üç kademeli sistem oksidasyon hendeğinin kapladığı alanın %40'ını kaplamaktadır.

Tablo 10.12'de iyileştirilmiş ve geliştirilmiş uzun havalandırmalı aktif çamur sisteminin maliyet bilgileri verilmektedir. Bu sistemde nitrifikasyon ve denitrifikasyon için anoksik ve aerobik alanlar oluşturulmakta ve reaksiyonlar aynı anda meydana gelmektedir. Bu sisteme konvansiyonel olmayan sistem denilmektedir. İşletme masraflarındaki düşüş, çözünmüş oksijen konsantrasyonu nedeniyle elektrik enerjisindeki tasarruftan kaynaklanmaktadır.

Tablo 10.12. Ön-denitrifikasyon ve konvansiyonel olmayan sistemler için fiyat kıyaslaması (8).

	Önde denitrifikasyon sistemi	Konvansiyonel olmayan sistem
	Yatırım maliyeti (\$)	
Oksidasyon reaktörü	764 700	1 117 647
Denitrifikasyon	588 235	-
Havalandırma sistemi	400 000	276 470
Geri besleme	105 882	-
Dalgıç karıştırıcı	188 235	-
Diğer ¹	6 541 176	6 541 176
TOPLAM	8 588 235	7 935 294
	İşletme Masrafları (\$/yıl)	
Elektrik enerjisi	705 882	352 941
Diğer ¹	887 058	887 058
TOPLAM	1 588 235	1 240 000

¹ Diğer: Kimyasallar, çamur uzaklaştırma, onarım, personel.

Tablo10.13’de N ve P artırılabilir şekilde değiştirilen ve geliştirilen biyolojik azot giderimi esaslı VIP prosesinin fiyat analizini vermektedir.

Tablo 10.13. VIP prosesi bilgileri (9).

	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3	Sistem 4	Sistem 5
Yapım maliyeti (\$)	53 900 000	65 634 000	250 000	-	36 000 000
İşletme maliyeti (\$)	3 261 560	4 546 068	2 021 448	3 616 620	2 932 480
Kapasite, m ³ /gün	113 500	151 400	8 327	56 775	68 130
B&O ¹ fiyatı(\$)/yıl	3 262 560	4 546 068	2 021 448	2 190 000	2 932 480
B&O/1000m ³ /gün	28 724	30 027	242 758	38 573	43 042

¹ B&O: Bakım ve Onarım

Tablo 10.13 verilen Sistem 3 küçük olmasına rağmen bakım ve işletme giderleri açısından daha masraflı olmaktadır. Fosforun arıtımında kimyasal çöktürme metodundan biyolojik metoda geçilmesi sonucu işletme masraflarında yılda 68 000 \$ kar edilmiştir (Randal, 2000). Ancak bu sistemlerin devreye alınmasında problemlerle karşılaşmıştır. Fosfor arıtım veriminin atıksu girişindeki BOI/TP oranı ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür.

10.6 Türkiye’den örnekler

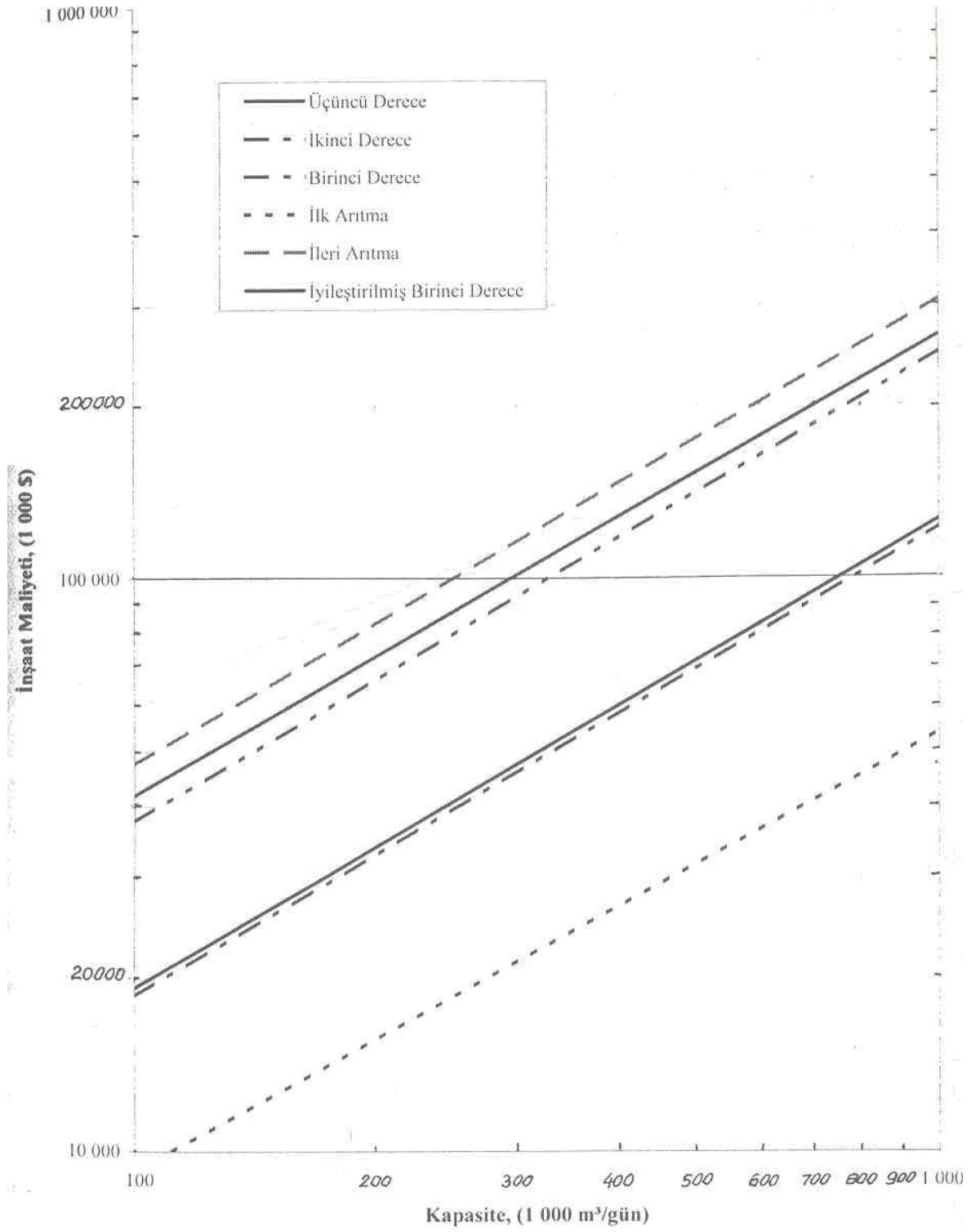
Genelleştirilmiş İlk Yatırım ve İşletme Maliyetleri (10)

Atıksu Arıtımı: İnşaat ve yıllık işletme ve bakım için genelleştirilmiş arıtma tesisi maliyet eğrileri Tablo 10.14’de verilen bilgilerin kendi içindeki ilişkileri kullanılarak üretilmiş ve sırasıyla Şekil 10.1’de ve 10.2’de gösterilmiştir. Değişik temel işlemleri ve bileşenlerini esas alan beş farklı arıtma derecesi için bunlar şu şekilde verilmiştir:

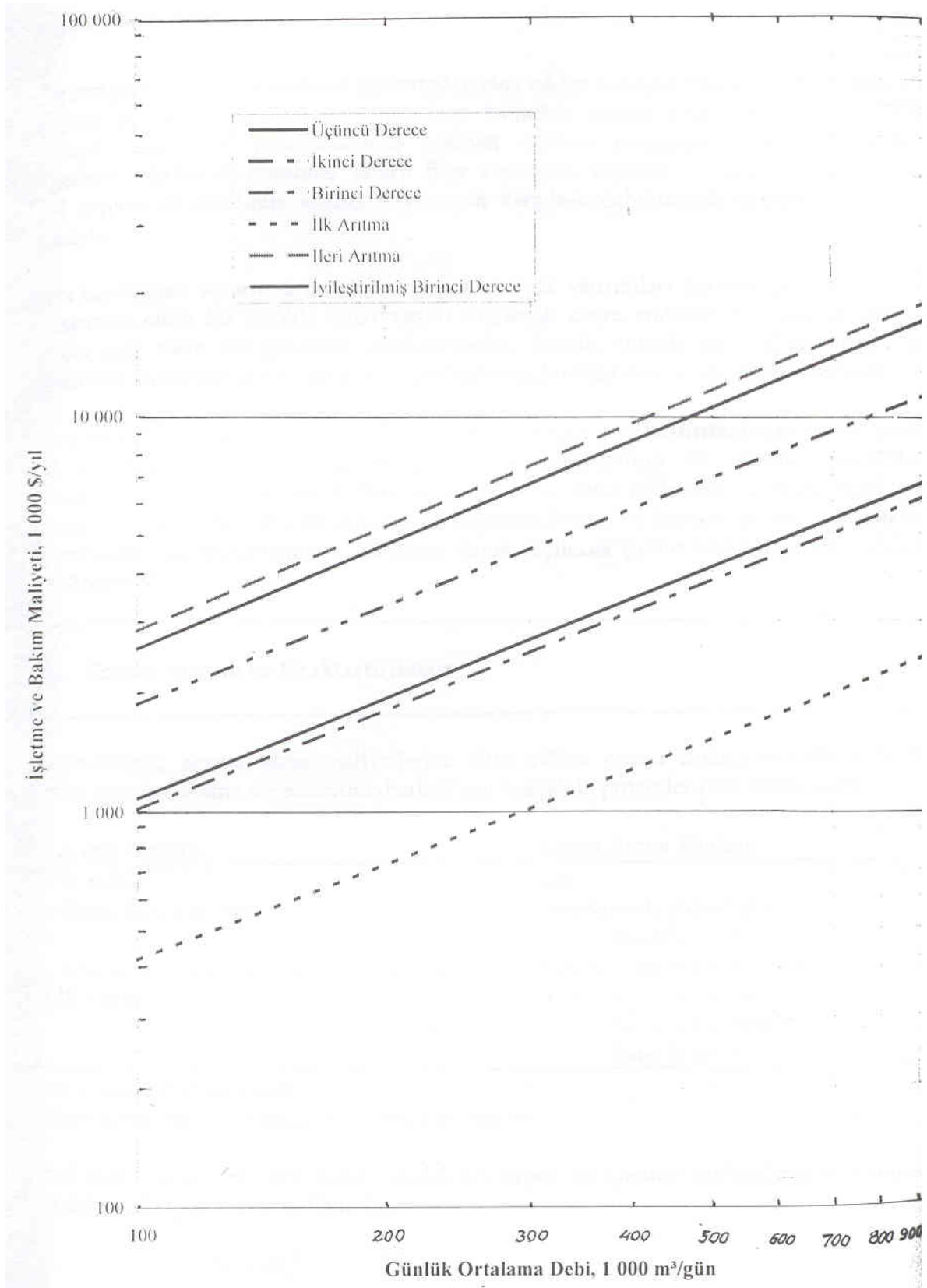
- İlk arıtma, giriş terfi merkezi, debi ölçümü, ızgaradan geçirme, kum giderme ve genel olarak binalar ve saha tanzimi kalemlerinden oluşan maliyetleri kapsamaktadır.
- Birinci derece arıtma, ilk arıtmadaki maliyet kalemlerinin yanı sıra, ilk çöktürme, klorlama ve çamurun kendi halinde bekletilerek yoğunlaştırılması, havasız çürütme ve bant filtreler su giderme maliyetlerini de kapsamaktadır.
- Bardenpho prosesi ile besi maddelerinin giderildiği ileri kademe arıtmadaki aktif çamur prosesi ile aynı temel işlemleri taşımaktadır; ancak, prosese nitrifikasyon ve denitrifikasyon için anoksik arıtma kademeleri ilave edilmiştir. Şekillerde gösterildiği gibi, üçüncü derece arıtmanın ilave edilmesi, maliyette çok az artış meydana getirmektedir. İzafi olarak küçük maliyet artışı sebebi ise İstanbul’un atıksu arıtma tesislerinin ilave besi maddesi giderimi üniteleri düşünülerek tasarımlarının yapılmış veya yapılacak olmasıdır ve besi maddesi giderimi ünitelerini ilave etmek nispeten kolaydır.
- İleri arıtmada, besi maddesi giderimine ilaveten filtrasyon kademesi de eklenmiştir.

İşçilik, enerji, malzeme, kimyasal maddeler için harcamalar ABD’deki genel deneyimlerden faydalanılarak ayrı olarak, yıllık işletme ve bakım maliyetleri ise her bir temel işlemin maliyetlerinin toplanması ile geliştirilmiştir. Yerel birim fiyatlar bu tahminlere uygulanmış ve özellikle işgücü ile ilgili fiyatlar ve uygulamalar dikkate alınmıştır.

Birincil ve biyolojik arıtma arasında bir ara arıtma kademesi niteliği taşıyan iyileştirilmiş birincil arıtma özellikle ele alınmıştır. Pıhtılaştırma ve katı maddelerin çökeltilmesini sağlamak için kimyasal madde ilave edilmesi BOI gideriminde düşük maliyetli bir proses olduğu görülmüş olup, biyolojik arıtma ile karşılaştırıldığında tasarruf sağlayabilecektir. Gelecekteki deniz modelleme çalışmaları, belli arıtma tesisleri deşarjları için BOI yüklerinin belli bir limit dahilinde sınırlanması gerektiğini gösterebilir. Bu limit, arıtma tesisi çıkış suyu kalitesi açısından birincil ve biyolojik arıtma arasına düştüğü takdirde, iyileştirilmiş birincil arıtma yeniden değerlendirilmelidir.



Şekil 10.1. Atıksu Arıtma Tesisleri için İnşaat Maliyetleri (1998 yılı ortası) (10).



Şekil 10.2. Atıksu Arıtma Tesisleri için Yıllık İşletme ve Bakım Maliyeti (1998) (10).

Tablo 10.14. Arıtma maliyetlerinin hesap şekli (10).

$$\text{Arıtma Tesisleri İnşaat Maliyetleri (Milyon \$)} = a (\text{Kapasite (1000 m}^3/\text{gün)})^b$$

	İlk Arıtma	Birinci derece	İyileştirilmiş birinci derece	İkinci derece	Üçüncü derece	İleri arıtma
a	0,330	0,530	0,552	1,060	1,274	1,378
b	0,770	0,818	0,816	0,820	0,803	0,813

$$\text{Arıtma Tesisleri Yıllık İşletme ve Bakım Maliyeti (Milyon \$)} = a(\text{Arıtılan Debi(1000 m}^3/\text{gün)})^b$$

	İlk Arıtma	Birinci derece	İyileştirilmiş birinci derece	İkinci derece	Üçüncü derece	İleri arıtma
A	0,011	0,023	0,024	0,045	0,0488	0,054
B	0,793	0,8195	0,827	0,81	0,8623	0,863

$$\text{Arıtma Tesisleri Yenileme Maliyetleri (Milyon \$)} = (\text{İnşaat maliyeti} * 0,2)$$

Hizmet süresi : 20 yıl

Mekanik&Elektrik : %20

$$\text{Arıtma Tesisleri Hurda Değeri (Milyon \$):}$$

$$((\text{İnşaat yılı} + 50 - 2040)/50) * \text{İnşaat Maliyeti}$$

Borular ve Diğer Malzemeler

$$\text{Yenileme maliyeti (Milyon \$)} = \text{Ardışık Toplam (Yeni Tesisler)} * 0,02$$

$$\text{Yıllık işletme ve Bakım Maliyeti (Milyon \$)} = \text{Ardışık Toplam (Yeni Tesisler)} * 0,006$$

İnşaat için genelleştirilmiş maliyet eğrilerinden elde edilen sonuçlar İstanbul'daki arıtma tesisleri için yerel maliyet tahminleri ve halen inşa halindeki arıtma tesislerinin ihale fiyatları ile karşılaştırılmıştır. Bu genelleştirilmiş maliyet eğrileri planlama amacına yönelik yerel maliyetlerin tahmin edilmesinde yeterli fikir vermekte, kapasite ve arıtma derecelerine göre çeşitli seçenekler dahilinde arıtma tesislerinin karşılaştırılabilmesine uyumlu bir esas teşkil etmektedir.

Atıksu kanallarına ve arıtma tesislerine yapılan büyük yatırımları korumak ve biyolojik arıtma proseslerinin etkin bir şekilde işletilmesini sağlamak üzere endüstriyel atıksu ön-arıtmasının kontrolü için etkin bir program gerekmektedir. Ancak, burada endüstriyel atıksu kontrol programının kurumsal yapıda gelişmesi için herhangi bir özel maliyet dahil edilmemiştir.

Arıtma tesisindeki çamur işleme tesisi maliyeti, tesis için genelleştirilmiş yatırım maliyeti içine dahil edilirken (Şekil 10.1 ve 10.2), çamur uzaklaştırma ve işletme maliyetleri ise genelleştirilmiş işletme ve bakım maliyetleri içerisine dahil edilmiştir. Çalışma alanına özgün

alternatif çamur yönetim planlarının ayrı bir değerlendirmesi ile birlikte, arıtma yeri için bireysel maliyet tahminleri yapılmamıştır. Bu nihai olarak seçilecek çamur yönetim stratejisine bağlıdır.

Çamur Arıtımı ve Uzaklaştırılması: Genelleştirilmiş arıtma tesisi maliyetlerine ilave edilen çamur arıtma sistemlerinde, Master Plan’da önerilen arıtma derecelerinin her biri için aşağıdaki prosesler esas alınmaktadır:

Arıtma derecesi	Çamur Arıtma Yöntemi
İlk arıtma	yok
Birinci derece arıtma	yerçekimi ile yoğunlaştırma Bant filtre ¹
İkinci derece arıtma, üçüncü derece arıtma	Yerçekimi ile yoğunlaştırma
İleri Arıtma	Yüzdürme ile yoğunlaştırma Havasız çürütme ² Bant Filtre ²

¹Birinci derece arıtmaya yönelik

² Birinci derece arıtmaya ve aktif çamur sistemlerine yönelik

Genel arıtma tesisi maliyeti içinde öngörülen inşaat ve işletme maliyetlerinin ayrılması için aşağıdaki fonksiyon kullanılabilir:

$$C = AQ^b \quad 10.1$$

Bu denklemde Q, m³/gün cinsinden ortalama atıksu debisi ve C 1000 \$ cinsinden, tahmini çamur maliyeti olmak üzere çeşitli arıtma dereceleri için aşağıdaki katsayılar uygulanmaktadır:

İnşaat Maliyetleri:

Birinci kademe arıtma A: 28 8519 ; b: 0,6463

İkinci kademe ve daha üstü A: 174 8472 ; b: 0,7384

Yıllık İşletme ve Bakım Maliyetleri:

Birinci kademe Arıtma A: 0,5554 ; b: 0,8653

İkinci kademe ve daha üstü A: 2,3851 ; b: 0,8518

Atıksuların Toplanması: Tali atıksu kanalları, kuşaklama kolektörleri, tüneller ve basınçlı hatlar için geliştirilen genel maliyet eğrileri Şekil 10.3- 10.6 ve Tablo 10.15 – 10.18’de verilmiştir. Bu maliyet eğrileri öncelikle yerel birim fiyatlara ve inşaat ihalelerinde verilen fiyatlara dayanmakta ve 1993 yılı ortalarındaki fiyatları yansıtmaktadır. Bunların USD cinsinden olması günümüz (1998/99) planlama amaçları için hala uygun kabul edilmekte, çünkü bu süre zarfında USD enflasyonunun ortalaması (Merkez Bankası tarafından yayınlanan resmi dolar deflatör endekslerine göre %15) USD bazındaki maliyetlerdeki düşüşle durma eğilimini göstermektedir. Bu durumu doğrulamak üzere fiyatlar en son tekliflerle kontrol edilmiştir. Gösterilen maliyetler sadece inşaatı içermekte, mühendislik

hizmetleri, beklenmedik masraflar ve vergileri kapsamamaktadır. Pompa istasyonları için inşaat maliyetleri, İstanbul sisteminde daha önce projelendirilmiş istasyonlar için yapılan maliyet tahminlerinden geliştirilmiştir.

Atıksu kanalizasyon birim maliyetleri baca ve baca kaplamalarını, boruları, birleşimleri, kazıları, döşemeyi, dolguyu, ulaşım ve sınıra kadar olan tali bağlantıları içerir. Tahminlerde, kaplamasız alanlar için olan değerler kullanılmıştır.

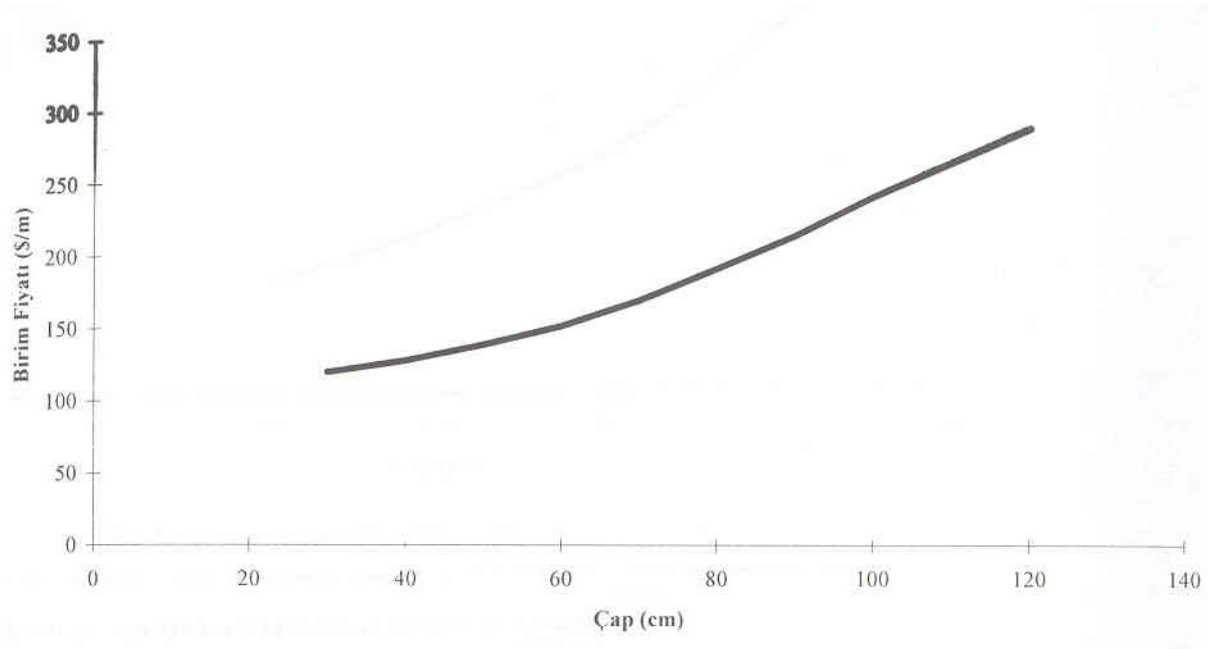
Yerel atıksu kanalizasyonu tali kanallar için inşaat maliyetleri, bacaların fiyatını, bağlantılarını (mülkiyet sınırına kadar), yol ve kaldırımların eski haline getirilmesi dahil kanalın beher metresi için 150 \$ olarak tahmin edilmiştir. Yerel tali yağmursuyu drenajı için inşaat maliyetleri, yağmursuyu kanalının beher metresi için 200 \$ olarak tahmin edilmiştir. Bu değerler, mühendislik hizmetleri, beklenmedik masraflar ve vergileri kapsamamaktadır. Atıksu kolektörleri ve yağmursuyu kanalları bilgisayar destekli tasarım yöntemine dayanarak, baca sayısını, kolektör veya kanal boyunca kazı derinliğini de dikkate alan, detaylı bir maliyet araştırması yapılarak tahmin edilmiştir.

Atıksu kanalları ve diğer borular için yıllık işletme ve bakım maliyeti, söz konusu atıksu kanalı veya boru hattının yatırım maliyetinin %0,6'sı olarak tahmin edilmektedir. Yıllık yenileme maliyeti ilk yatırım maliyetinin %2'si olarak düşünülmektedir; ancak yenileme 20 yıl sonra uygulanacaktır.

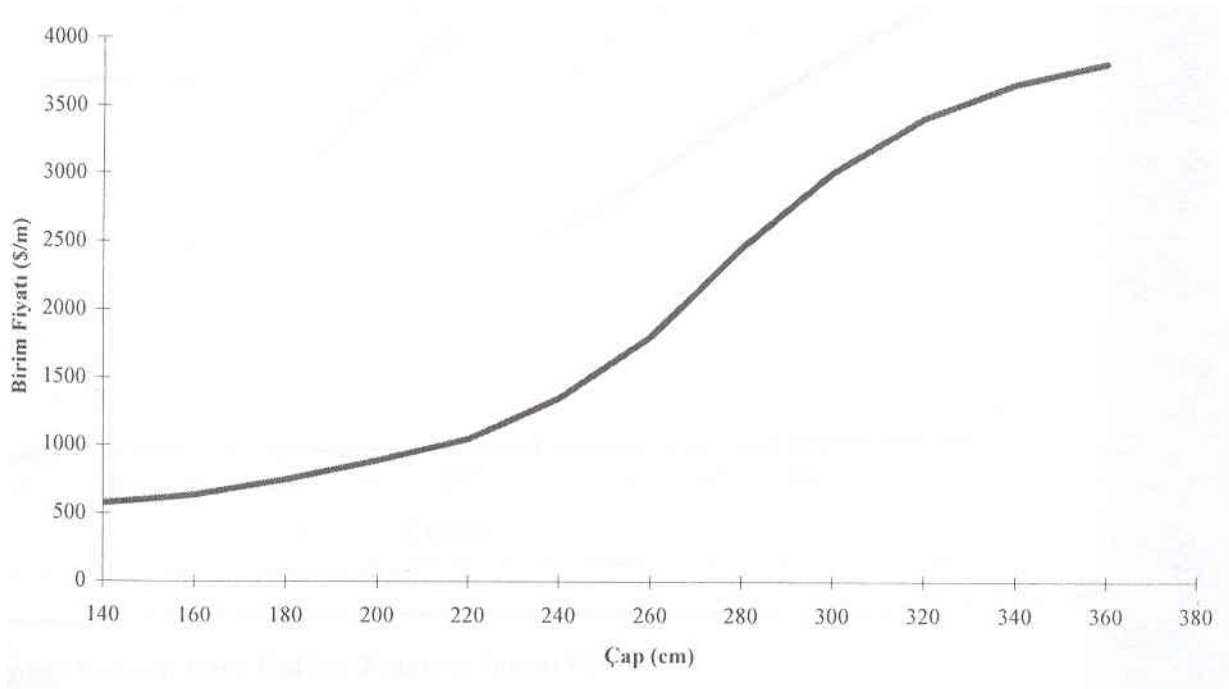
Tablo 10.15. Tali Atıksu Kanallarının Temin ve İnşaat Birim Fiyatları (1998 ortası) (10).

Çap (cm)	Birim	Kaplamasız alanlarda(\$)	Kaplamalı alanlarda (\$)	Malzeme cinsi
30	m	120	128	Beton
40	m	128	137	Beton
50	m	139	149	Beton
60	m	147	158	Beton
70	m	191	203	Betonarme
80	m	201	214	Betonarme
90	m	234	248	Betonarme
100	m	246	261	Betonarme
120	m	280	297	Betonarme

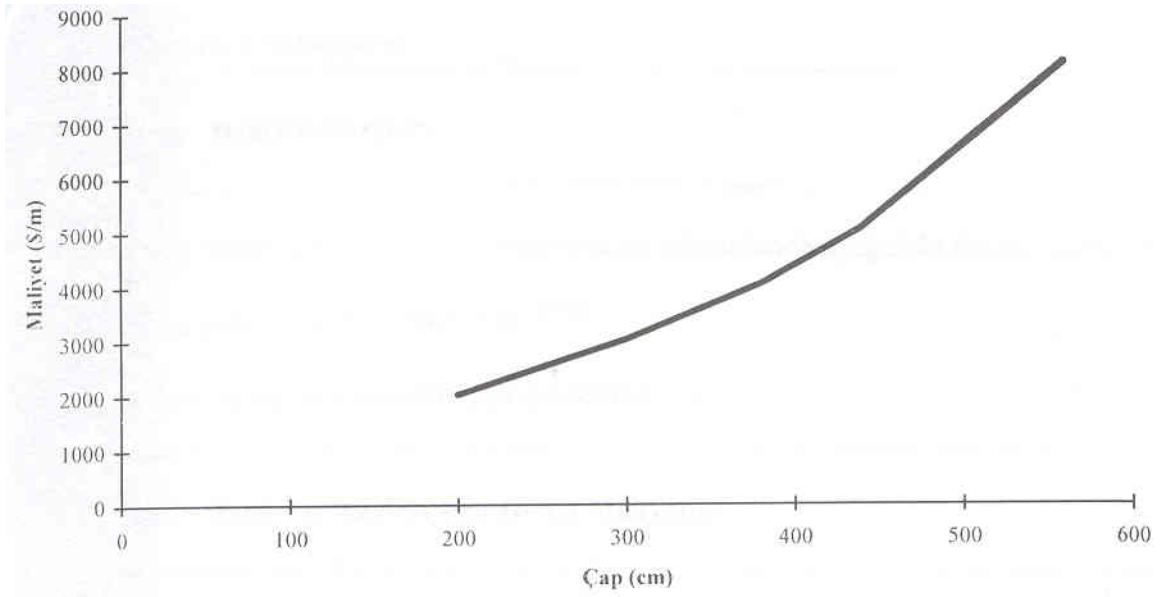
Not: yukarıdaki fiyatlara baca maliyeti, borular, fittingler, kazı, yataklama, yerleştirme, dolgu, taşıma ve mülkiyet hududuna kadar ev bağlantıları dahil, mühendislik ve beklenmeyen giderler ile vergiler hariçtir. Maliyet hesaplarında kaplamasız alan fiyatları kullanılmıştır.



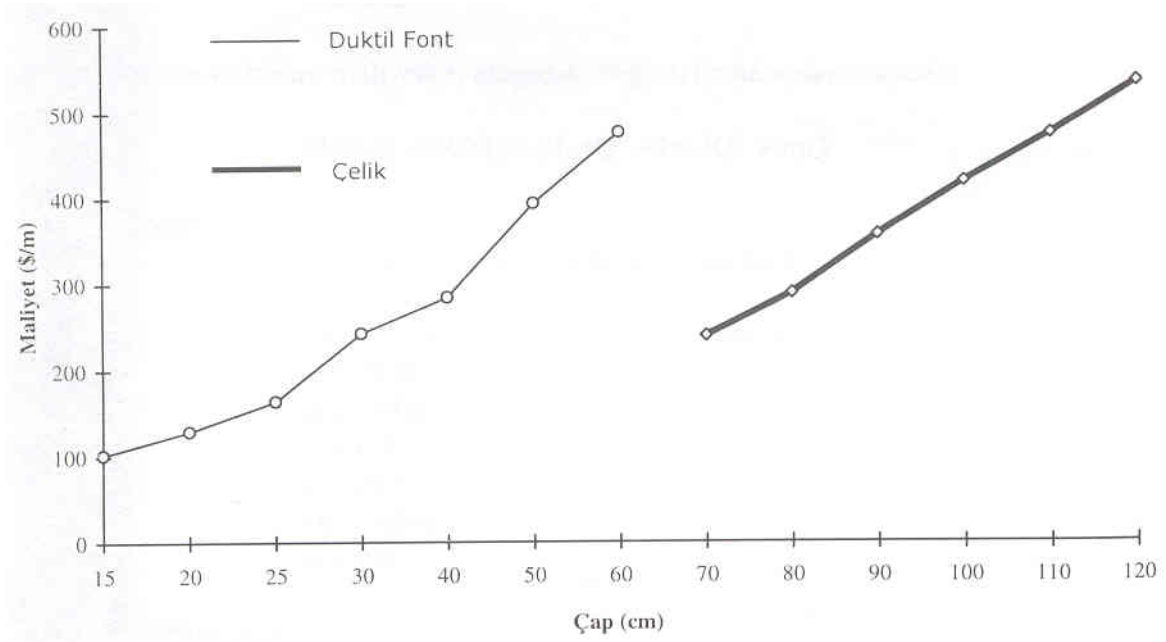
Şekil 10.3. Tali atıksu kanallarının temin ve inşaat birim fiyatları (1998 yılı ortası) (10).



Şekil 10.4. Kolektörlerin temin ve inşaat birim fiyatları (1998 yılı ortası).



Şekil 10.5. Tünellerin inşaat birim maliyetleri (1998 yılı ortası) (10).



Şekil 10.6. Atıksu basınçlı boru hatları temin ve inşaat birim tahmini maliyetleri (1998 yılı ortası) (10).

Tablo 10.16. Kolektörlerin Temin ve İnşaat Birim Fiyatları (Kaplamasız Alanlar; 1998 ortası)(10).

Çap (cm)	Birim	Birim Maliyet (\$)	Malzeme cinsi
140	m	575	Betonarme
160	m	637	Betonarme
180	m	724	Betonarme
200	m	826	Betonarme
220	m	1 047	Betonarme
240	m	1 350	Betonarme
260	m	1 748	Betonarme
280	m	2 500	Betonarme
300	m	3 000	Betonarme
320	m	3 500	Betonarme
340	m	3 650	Betonarme
360	m	3 800	Betonarme

Tablo 10.17. Tünellerin İnşaat Birim Maliyetleri (1998 ortası) (10).

Çap (cm)	Birim	Birim Maliyet (\$)	Malzeme cinsi
200	m	2 000	Betonarme
300	m	3 000	Betonarme
380	m	4 000	Betonarme
440	m	5 000	Betonarme
480	m	6 000	Betonarme
520	m	7 000	Betonarme
560	m	8 000	Betonarme

Tablo 10.18. Atıksu Basınçlı Boru Hatları Temini ve İnşaatı için Tahmini Birim Maliyetleri (1998 ortası) (10).

Çap (cm)	Birim	Birim Maliyet (\$)	Malzeme cinsi
15	m	102	Düktül Font
20	m	129	Düktül Font
25	m	164	Düktül Font
30	m	243	Düktül Font
40	m	284	Düktül Font
50	m	393	Düktül Font
60	m	476	Düktül Font
70	m	239	Çelik
80	m	288	Çelik
90	m	356	Çelik
100	m	418	Çelik
110	m	474	Çelik
120	m	534	Çelik

Deniz Deşarjları: Deniz deşarjı hatlarının birim maliyetlerinin hesabında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{Birim maliyet (\$/m)} = 3426,6 e^{0,441D} \quad 10.2$$

Burada D, metre cinsinden çapı göstermekte olup boru cinsi .

Terfi Merkezleri için Genel Maliyetler: Terfi merkezleri için genelleştirilmiş yatırım maliyeti aşağıdaki formüle göre ABD ve Dünya Bankası yöntemlerine uygun olarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Maliyet (1000 \$)} = aQ^b \quad 10.3$$

Burada,

$$\begin{aligned} Q &= 1000 \text{ m}^3/\text{gün olarak ortalama debi,} \\ a &= 54,3 \\ b &= 0,82 \end{aligned}$$

İşletme ve bakım maliyetleri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Maliyet (1000 \$)} = bf_1 eQ^n + bf_2 lQ^r + mQ^s \quad 10.4$$

Burada,

$$\begin{aligned} Q &= 1000 \text{ m}^3/\text{gün olarak ortalama debi} \\ bf_1 &= \text{enerji birim fiyatı} \\ bf_2 &= \text{günlük işçilik birim fiyatı (teknisyen)} \\ e &= 19,8 \\ n &= 0,909 \\ l &= 154 \\ r &= 0,55 \\ m &= 1,086 \\ s &= 0,82 \end{aligned}$$

göstermektedir.

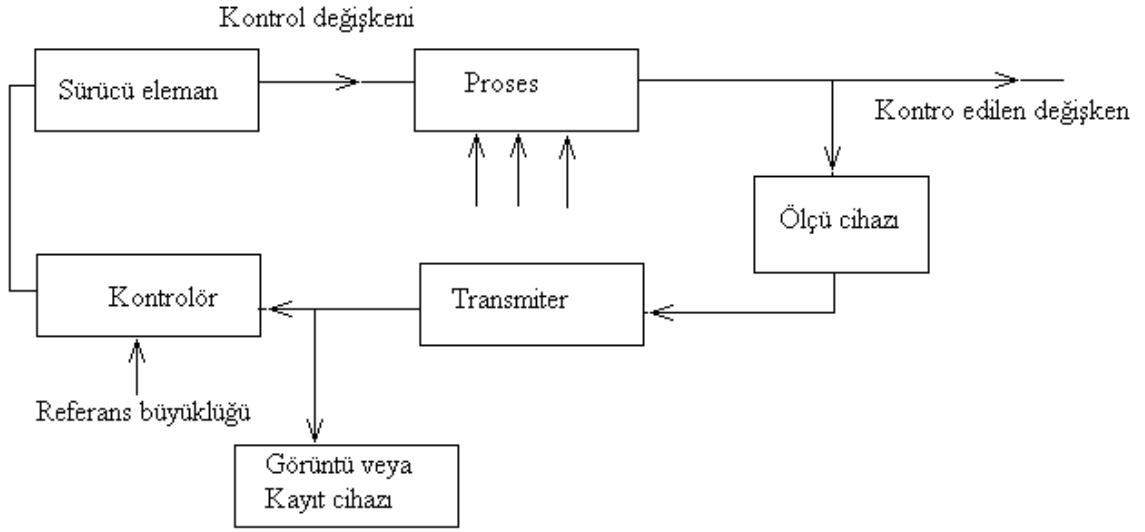
Kullanılan katsayılar Türkiye şartlarına uygundur. Atıksu terfi merkezleri için indirgenmiş nakit akışı analizlerine göre, 50 yıllık işletme dönemi, analiz edilmiş ve elektro-mekanik ekipmanların 20 yılda bir yenilenmesi kabul edilmiştir (IMC, 1999).

KAYNAKLAR

1. Soli J. Arceivala, 2002. Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Tata McGraw – Hill Publishing company limited.
2. Metcalf & Eddy, 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill international Editions.
3. O.Nowak, 2000. “Expenditure on the operation of municipal wastewater treatment plants for nutrient removal” Water Science and Technology, Vol.41, No:9, pp:281-288.
4. H.Bode and T.Grünebaum, 2000. “The cost of municipal sewage treatment-structure, origin, minimizitaion-methods of fair cost comparison and allocation”, Water Science and Technology, Vol. 41, No:9, pp:289-298.
5. P.Balmer, 2000. “Operation cost and consumption of resources at Nordic nutrient removal plants”, Water Science and Technology, Vol.41, No:9, pp:273-279.
6. I.S.Kim, J.Y.Ryu and J.J.Lee, 1996. “Status of construction and operation of large wastewater treatment plants in south Korea”, Water Science and Technology, Vol.33, No:12, pp:11-18.
7. E.H.Marsman, P.J.Roeleveld and J.H.Rensink, 1997. ”High nutrient removal in the three-sludge sewage treatment system: results and economic evaluation”, Water Science and Technology, Vol.35, No:10, pp:129-136.
8. C.Collivignarelli and G.Bertanza, 1999. “Simultaneous nitrification-denitrification processes in activated sludge plants:performance and applicability”, Water Science and Technology, Vol.41, No:9, pp:21-28.
9. C.W.Randall and E.U.Çokgör, 1999. “Performance and economics of BNR plants in the Chesapeake Bay Watershed, USA”, Water Science and Technology, Vol.41, No:9, pp:21-28.
10. IMC İstanbul Master Plan Konsorsiyumu (1999)

11. ATIKSU ARITMA SİSTEMLERİNDE ÖLÇÜ VE KONTROL

Bir proses kontrol sistemi 1) kontrol edilen proses, 2) kontrol düzeninin bileşiminden meydana gelir. Proses değişkenleri, kontrol sistemindeki algılayıcılar tarafından ölçülür. Ölçülen değer, iletilir, görüntülenir veya operatörün uygun proses ayarlamalarını yapabilmesi için kaydedilir. Kapalı çevrimli diğer otomatik kontrol sistemlerinde proses değişkenine ilişkin önceden belirlenen bir referans değeri ile karşılaştırılır ve kontrolör görevini üstlenen mikroişlemciye (bilgisayara) iletilir. Tipik bir kontrol sistemindeki elemanlar Şekil 11.1’de görülmektedir.



Şekil 11.1. Tipik kontrol sisteminin bileşenleri (1).

11.1 Kontrol Değişkenleri

Bir atıksu arıtma tesisinde çok sayıda değişken ölçülür ve kontrol edilir. Bu değişkenler, fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç gruba ayrılır. Bu değişkenlerin yaygın örnekleri aşağıda verilmiştir.

Kimyasal	: pH, bulanıklık, iletkenlik, çözünmüş oksijen vb.
Biyolojik	: Oksijen tüketim hızı, TOK azalma hızı, çoğalma hızı vb.

11.1.1 Birleşik Kontrol

Otomatik kontrol sistemi altı ana kısımdan oluşur:

1. Değişkenlerin izlenmesi için ölçüm cihazları
2. Sinyal iletim cihazı (Transmitter)
3. Veri görüntülenmesi veya kaydı
4. Kontrol çevrimi
5. Kontrolör
6. Bilgisayar ve merkezi kontrol odası

11.1.2 Ölçme Bölümü veya Algılayıcı Cihazlar

Algılayıcı cihazlar (sensörler) proses değişkenlerini algılayan, ölçen veya hesaplayan cihazlardır. Bir algılayıcı cihaz on-line, off-line, sürekli veya zamandan bağımsız olabilir. Yaygın olarak kullanılan on-line proses ölçüm cihazları ve uygulamaları Tablo 11.1’de verilmiştir.

11.1.3 Sinyal İletim Cihazları (Transmitter)

Sinyal iletim cihazları, algılayıcı cihazlardan gelen sinyalleri kayıt veya kontrol cihazına iletmek için kullanılır. Bu sinyaller mekanik, pnömatik veya elektriksel olarak iletilebilir.

11.1.4 Mekanik Sinyal İletimi

Mekanik iletim, bir kalem veya gösterge hareketi ya da bir şamandıra veya kablo ile yapılır. Bu iletim yöntemi, genellikle çalışma alanında iş görme veya kontrol biriminin yerleşimi ile sınırlanır.

11.1.5 Pnömatik Sinyal İletimi

Pnömatik iletim bir dedektör ve bir kuvvetlendiriciden meydana gelir. Dedektör bir delikten ibarettir. Düzenlenmiş hava girişi, daralan bir tüp boyunca bu deliğe girer. Klapa delikte içeri ve dışarı doğru hareket ettikçe basınç değişimi iletilir. Deliğin arka kısmındaki küçük basınç değişimleri klappenin hareketiyle orantılıdır. Basınç değişimi düzenlenir, güçlendirilir ve alıcı veya kontrol birimine gönderilir.

Pnömatik iletimin, elektrik akımı ile iletimine göre avantajları;

- Elektrik çarpma tehlikesi olmayışı,
- Sıcaklık nemden daha az etkilenmesi ve
- Donma probleminin olmayışı sayılabilir.

Ayrıca daha güvenilir, daha az kompleks ve iletişimleri daha kolaydır. Ancak bununla birlikte, uzun tüplerde sinyal kaybı olması, dedektör ile kontrol birimi arasında kısa aralıklar gerektirmesi (en az 300m), temiz ve kuru hava gerektirmesi ile sızıntı problemi gibi dezavantajları vardır.

11.1.6 Elektrik Akımı ile Sinyal İletimi

Sinyallerin elektrik akımı ile iletilmesi gerilim ve akım darbesi genişliği veya genliği değişimi ile gerçekleştirilir. Gerilim ve akım ile sinyal iletiminde, sinyaller miliamper seviyesinde doğrusal akım halinde veya gerilim sinyalleri halinde iletilir.

Darbe genişliği veya darbe sayısı değişimi ile sinyal iletiminde gerilimin genliği ölçülen data süresi ile orantılıdır. Genliğin modülasyonu halinde, sinyaller normal telefon hatları ile iletilir. Sinyaller genellikle on-off veya frekans modülasyonu yöntemi ile iletilir.

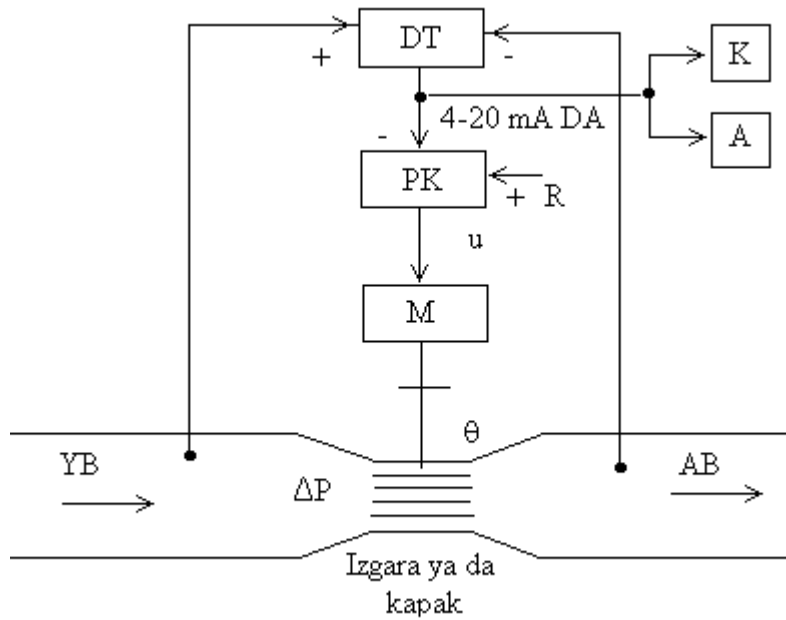
Güvenilir radyo ve mikro dalga cihazlarındaki son gelişmeler, radyo/mikrodalga ile sinyal iletimini arttırmıştır. Radyo/mikrodalga ile sinyal iletimini arttırmıştır. Radyo/mikrodalga özellikle data toplam noktalarının çok fazla ve geniş alanlara

yayıldığı ve telefon hatlarının mümkün olmadığı ya da fazla pahalı olduğu yerlerde uygulanır. Radyo/mikrodalga ile sinyal iletimi şimdiki durumda pahalı olmasına rağmen özellikle büyük sistemler için kullanımı giderek artmaktadır. Elektronik kontrol sistemleri giderek yaygınlaşmaktadır. Bunların temel üstünlükleri;

1. Zaman kaybına yol açmaksızın çok büyük uzaklıklarda kullanılabilir.
2. Elektrik sinyaller, kolaylıkla dijital bilgisayarlarla uyum içinde kullanılabilir.
3. Elektronik birimlerde çoklu sinyal girişleri rahatça kullanılabilir.
4. Emniyet teknikleri ile elektriksel problemler hemen hemen ortadan kaldırılmıştır.
5. Elektronik aletler daha az yer tutarlar ve montajları daha ucuzdur.

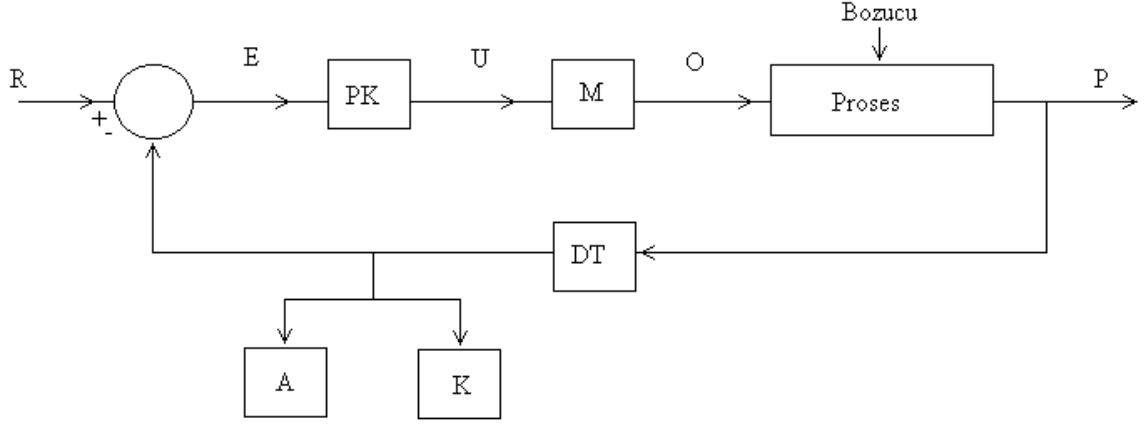
11.2 Arıtma Sisteminde Otomatik Kontrolle İlgili Değişik Uygulamalar:

11.2.1 Diferansiyel Basınç Ölçümü ile Debi Kontrolü



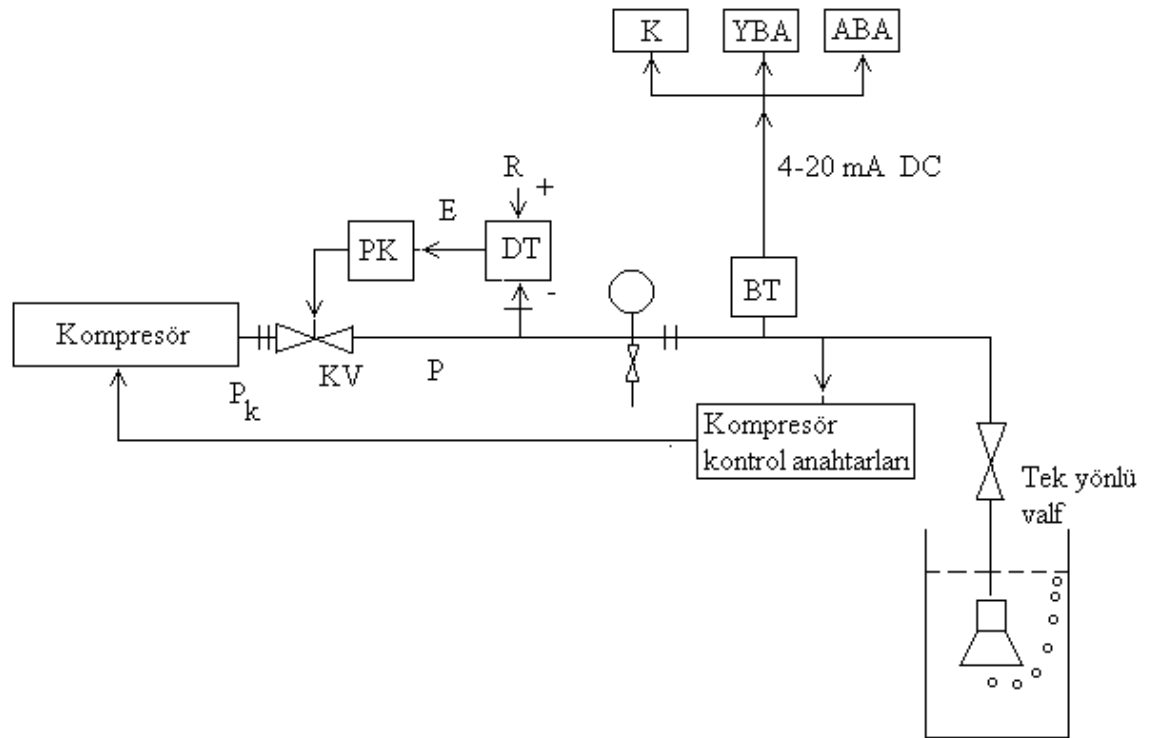
Şekil 11.2. Diferansiyel basınç ölçümü ile debi kontrolü (1).

YB, AB	= Yüksek ve alçak basınç
DT	= Diferansiyel Transmitter
PK	= Oransal Kontrolör
M	= Motor
K	= Kayıt
A	= Diferansiyel seviye alarmı
R	= Referans basınç farkı
E	= Etkin hata
U	= Kontrol işareti
θ	= kapak açısı



Şekil 11.3. Diferansiyel basınç ölçümüyle debi kontrolünün blok diyagramı (1).

11.2.2 Havalandırma Sistemi

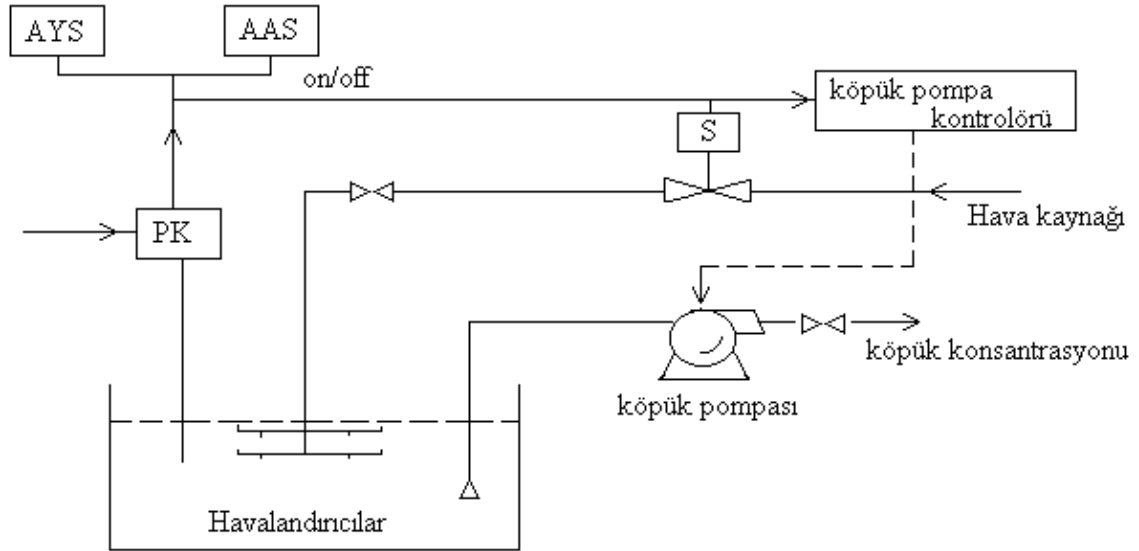


Şekil 11.4. Havalandırma sistemi kontrol stratejisi (1).

- DT = Diferansiyel Transmitter
 PK = Oransal Kontrolör
 BT = Basınç transmiteri
 K = kayıt
 YBA, ABA = Yüksek ve alçak basınç alarmı

R = Referans basınç
P = Basınç
 P_{μ} = Kaynak basıncı
E = Etkin hata
KV = Kontrol valfi

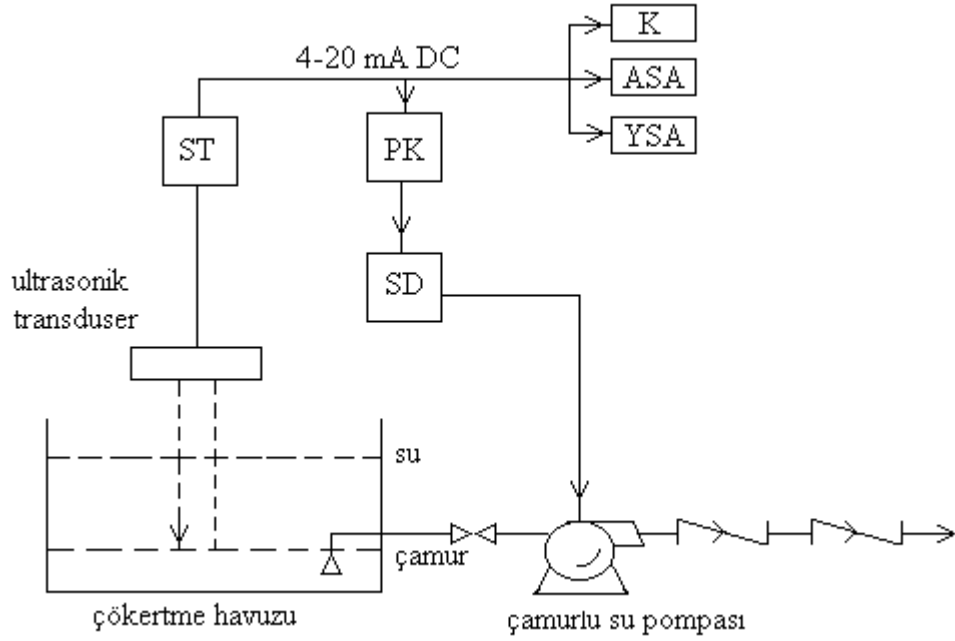
11.2.3 Köpük Pompası ve Seviye Kontrolü



Şekil 11.5. Köpük pompası ve seviye kontrolü (1).

R = Referans basınç
PK = Oransal on/off kontrolörü
AYS, AAS = Yüksek ve alçak seviye alarmı
S = Selenoid

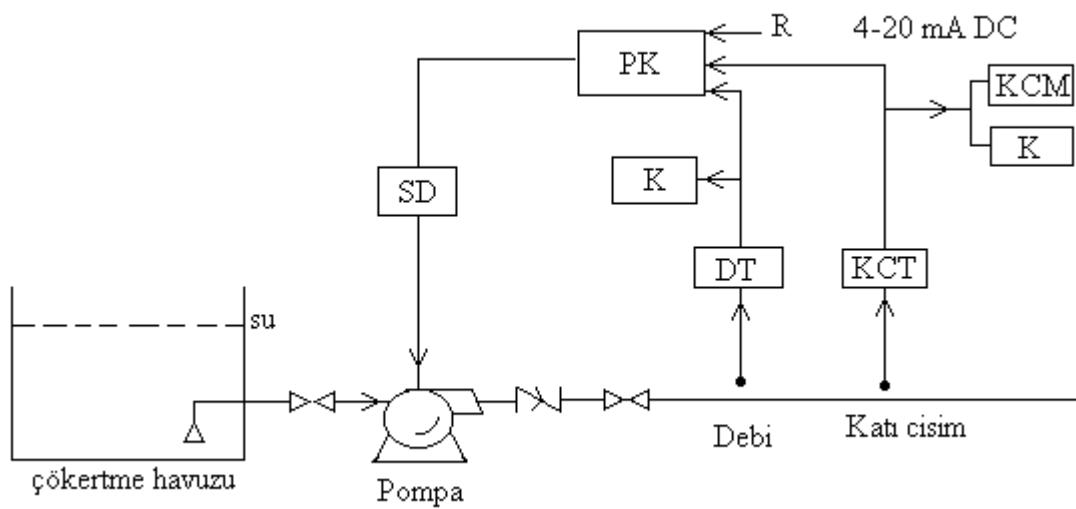
11.2.4 Çamur Pompası



Şekil 11.6. Çamur pompası (1).

ST = Seviye transmiteri
 PK = Oransal kontrolör
 SD = Sürücü devre
 K = Kayıt
 ASA, YSA= Alçak ve yüksek seviye alarmı

11.2.5 Aktif Çamur Kontrolü

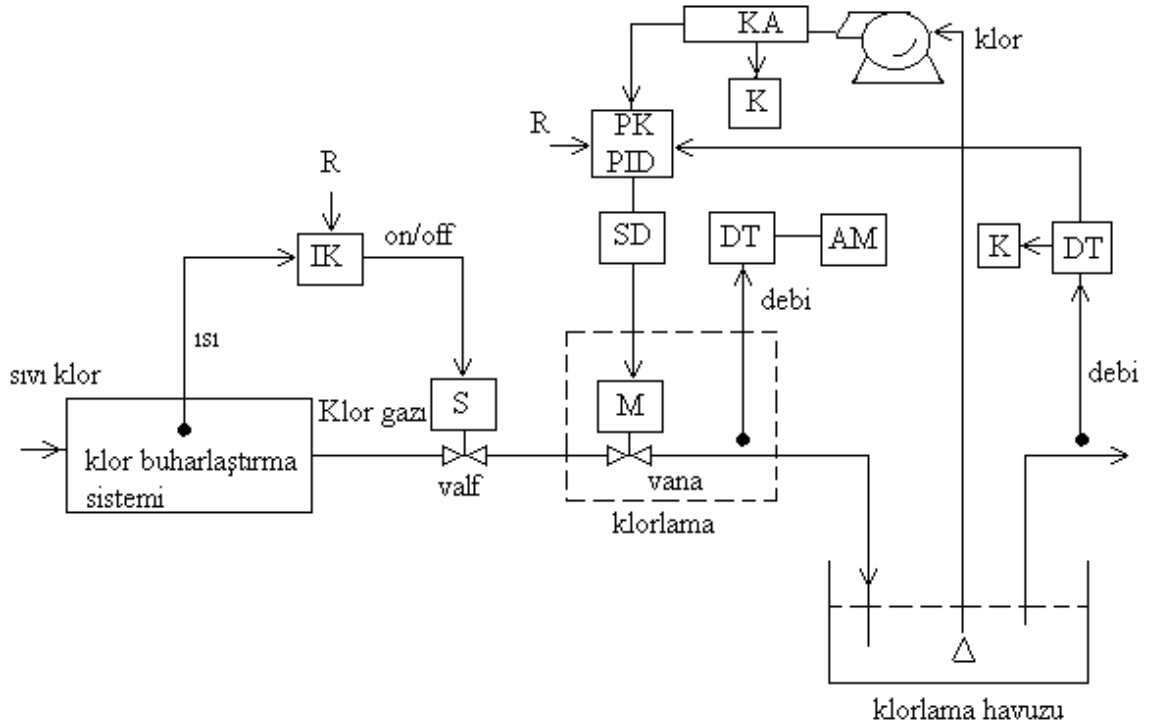


Şekil 11.7 Aktif çamur kontrolü (1).

DT = Debi transmiteri
 KCT = Kati madde transmiteri

KCM = Katı madde miktarı hesaplayıcı
K = Kaydedici
PK = Oransal kontrolör
R = Referans
SD = Sürücü devre

11.2.6 Klorlama Tesisi



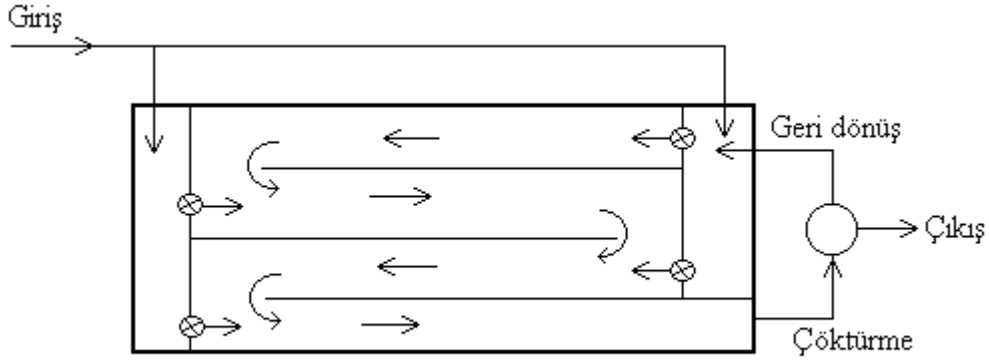
Şekil 11.8. Klorlama tesisi (1).

DT = Debi transmitteri
K = Kayıt
KA = Klor analizörü
R = Referans
SD = Sürücü devre
M = Motor
AM = Akış miktarı hesabı
S = Selenoid
P (ID) K= PID kontrolörü
IK = Isı kontrolörü

11.3 Atıksuların Arıtımında Kontrol Stratejilerinin Önemi

Atık suların kontrolünde temel felsefe giren büyüklüklerdeki değişimlerin ve çevrede gelen bozucuların etkisini kontrol çevrimleriyle en aza indirmek ve sistemde ek kapasite sağlamaktır. Bunun için de arıtmanın dinamik davranışını iyi incelemek ve iletişim kapasitesi konusunda bilgi toplamak gerekir. Arıtım sistemlerine ait modellerin tam kurulamamış olması biline gelen kontrol stratejilerinin bu proseslerde

uygulanamamasına neden olur. Gelecekte atık suların iletiminde, yönlendirilmesinde, pompalanmasında ve kimyasal katkıların uygulanmasında kontrol çevrimlerinden daha etkin bir şekilde yararlanılacağı kesindir. Bu tür uygulamalara örnek olarak aktif çamur ve çöktürme havuzları verilebilir (Şekil 11.9).



Şekil 11.9. Atıksuların arıtımda kontrol stratejisi(1).

Bu uygulamada atık sular havuza tek bir nokta yerine farklı noktalardan dahil edilir. Bunun sonucu havuzun çeşitli noktalarında eşit şartlar sağlandığından verim artar. Ancak suyun havuza verildiği noktalardaki kapakların havuzdaki koşullara uygun olarak ne şekilde kontrol edileceğinin ölçümlerin nasıl yapılacağının belirlenmesi gerekir.

Kontrol çevrimlerin çok önem taşıdığı diğer bir uygulama havasız arıtma tesislerinde görülür. Bu tür arıtmada verimin artırılması ve yan ürünlerin en yüksek seviyede tutulabilmesi ancak hassas ölçüm ve kontrol mekanizmalarının uygulamasıyla mümkündür. Atıksu arıtımında, yaygın on-line proses ölçüm cihazları ve uygulama alanları Tablo 11.1’de gösterilmiştir.

Tablo 11.1. Atıksu arıtımında, yaygın on-line ölçüm cihazları ve uygulama alanları(1).

Ölçülen değişkenler	Cihaz	Ölçülen sinyal	Yaygın uygulama
-Debi	-Venturimetre	-Basınç farkı	Gaz, sıvılar
	-Ağızlıklıklı debi ölçer	-Basınç farkı	Gaz, sıvılar
	-Orifis	-Basınç farkı	Gaz, sıvılar
	-Elektromanyetik ölçer	-Manyetik alan ve gerilim	Sıvılar, çamurlar
	-Türbin ölçer	-Pervane dönüşü	Temiz sıvılar
	-Akustik ölçer	-Ses dalgaları	Sıvılar, çamurlar
	-Parshall savağı	-Su yüzeyindeki seviye farkı	Sıvılar
	-Palmer-Bowlus savağı	-Su yüzeyindeki seviye farkı	Sıvılar
	-Savaklar	-Savaklar üzerindeki yük	Temiz sıvılar

Tablo 11.1'in devamı

Ölçülen değişkenler	Cihaz	Ölçülen sinyal	Yaygın uygulama
-Basınç	-Sıvı-hava diyafram	-Bir metal diyafram üzerinde basınç dengesi	Basınç 0-200 KN/m ²
	-Genleşme ölçer	-Sensor boyutlarında değişme	Basınç 0-35000 KN/m ²
	-Körükler	-Göstergeye bağlanmış mekanik bağlantı yeri	Basınç 0-20000 KN/m ²
	-Bourdon tüpü	-Eğri bir tüpün dairesel olmayan en kesit alanının eğrisel hareketi	Basınç 0-35000 KN/m ²
-Sıvı seviyesi	-Yüzgeç	-Sıvı yüzeyinde yüzen bir cismin hareketi	Sıvı yükü 0-11m
	-Kabarcık tüpü	-Kontrollü hava kabarcığı üreten bir tüpte,dışarıdaki statik yüke göre biraz daha yüksekteki geri basıncın ölçülmesi	Sıvı yükü 0-56m
	-Diyafram bulb	-Diğer taraftaki sıvı basıncının değişmesi nedeniyle diyaframın atmosfere açık kısmında basınç değişimi	Sıvı yükü 0-15m
-Çamur seviyesi	-Fotosel	-Bir çamur örtüsünden geçen ışığın karşı taraftan fotosel ile saptanması	Ön çöktürme son çöktürme yoğunlaştırıcı
	-Ultrason	-İki güç çevirici arasında iletilen ultrasonik sinyallerin saptanması	Ön çöktürme son çöktürme yoğunlaştırıcı
-Sıcaklık	- Sıcaklık pili	-İki farklı metalden yapılmış bir devrede meydana gelen akım	Anaerobik çürütücü, sıcak su kazanları

Tablo 11.1'in devamı.

Ölçülen değişkenler	Cihaz	Ölçülen sinyal	Yaygın uygulama
-Sıcaklık	-Termal lamba -Direnç sıcaklık ölçer	- Kapalı bir kaptaki gazın mutlak basıncının mutlak sıcaklıkla orantılı olması -Suya duyarlı bir elemanın elektriksel direncindeki değişme	Çamur boru hatları, su boru hatları Elektrik makinalarının rulman ve dönme sıcaklıkları, anaerobik çürütücüler sıcak su kazanları
-Hız	-Takometre (jeneratör veya drag cup tipi)	- gerilim, akım	Değişken hızlı pompa, blower veya karıştırıcı
-Ağırlık	-Hidrolik yük birimi veya genleşme ölçer	-Bir kol veya yay mekanizması, bir diyafram boyunca iletilen basınç, sensörde boyut değişme	Kimyasal maddeler
-Yoğunluk	-Gamma radyasyonu -Ultrasonik sensor	-Radyasyon kaynağı ile dedektör arasındaki sıvı tarafından gamma ışınlarının absorpsiyonu -Ultrasonik iletici ile alıcı arasındaki sıvı tarafından ultrasonik sinyallerin kaybı	Biyokütle konsantrasyonu, geri devredilen yoğunlaştırılan ve çürütülen çamurlar Biyokütle konsantrasyonu, geri devir yoğunlaştırma ve çürümüş çamurlar
-pH	-Seçici iyon elektrodu	-Hidrojen iyonu aktivitesi ile üretilen gerilim	Atıksu, kimyasal çözelti anaerobik çürütücü, yoğunlaştırma (su alma) çıkış suları

Tablo 11.1'in devamı.

Ölçülen değişkenler	Cihaz	Ölçülen sinyal	Yaygın uygulama
Oksidasyon/Redüksiyon potansiyeli	Elektrod	Oksidasyon veya redüksiyon sebebiyle potansiyel değişimi	Ham atıksu havalandırma havuzunda uygun çözülmüş O_2 sağlanması anaerobik çürütücü
-Toplam çözülmüş tuzlar	-İletkenlik	-Çözelti içerisinde elektrik akımı geçirilmesi	Giriş, çıkış suyu
-Çözülmüş oksijen	-Membran elektrot	-Moleküler oksijenin indirgenmesiyle meydana gelen CO_2	Giriş, havalandırma havuzu, tesis çıkışı
-Toplam organik karbon	-Karbon analizörü	-Numunenin yakılmasıyla meydana gelen CO_2	Tesis girişi, havalandırma havuzu girişi tesis çıkışı
-Kalıcı klor	-Sensor	-Elektrik çıkışı	Klor temas tankı tesis çıkışı
-Gazlar, O_2 , NH_3 , CT_2 , H_2S , CH_4	-Sensorlar	-Elektriksel impulsları kullanılan değişik türdeki sensor modülleri	Kapalı binalardaki veya tesislerin etrafında zararlı (tehlikeli) durumların kontrol edilmesi
-Oksijen kullanım hızı	-Sensor kullanan respirometreler	-Zamanla çözülmüş oksijende meydana gelen azalma	-Havalandırma havuzu
-Anaerobik biyolojik şartlar	-Sensor, yakma	- CO_2 ve CH_4 üretme hızı	Anaerobik çamur çürütücü

Kaynaklar

- (1) V.Eroğlu, İ.Öztürk vd. 1990. Kağıt Sanayii Araştırma ve Uygulama Merkezi Kurulması Projesi, 1.Ara Rapor, Kağıt Sanayiine Bakış, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- (2) Syed R.Qasim, 1999. Wastewater Treatment Plants, Planning, Design, and Operation, Technomic publication.

12. ACİL EYLEM PLANI

12.1 Amacı

Sistem kazalarına hızlı karşılık verebilmek insan ve çevre sağlığına gelebilecek zararı en aza indirmek bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu bölümde verilen acil çalışma ve eylem planı, arıtma tesisi işletme personelinin herhangi bir acil durum karşısında alması gereken önlemleri içeren bir rehber plan niteliği taşımaktadır. Acil eylem planında hedeflenen amaç, acil durumlarda en etkili olabilecek bilgilerin operatöre önceden, etkin ve yeterli biçimde verilmesidir. Atıksu arıtma tesislerinin işletilmesinde, acil eylem planının hayata geçirilerek olası sistem kazalarının olumsuz etkilerinin minimize edilmesi, ancak arıtma ünitelerinde optimum işletme şartlarının, ekipman bakımının ve sürekli izlemenin sağlanabilmesi ile mümkündür. Bu kapsamda aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

- Bakım ve kontrol programlarında optimum önlemlerin alınması,
- Acil durum donanımlarının çalışır ve kullanıma hazır durumda tutulması,
- Acil durum prosedürüne göre işletme personelinin eğitimi ve bu eğitimlerin belirli aralıklarla tekrarı,
- Taşınabilir pompa ve gerekli diğer ekipmanın kolay erişilebilir yerlerde bulundurulması,
- Acil durum karşısında en kritik müdahalelerin zamanında yapılabilmesi için öncelikler listesinin hazırlanması,
- Acil eylem durumunda operatörün ihtiyaç duyabileceği bilgilerin düzenli kaydedilerek saklanması.

Acil durum esnasında ilgili amirlik, yardımcı birimler ve şahıslar ile en erken şekilde irtibata geçilmesi son derece önemlidir. Ulaşılması gereken kişilerin isim ve erişim numaraları listesi düzenli olarak güncellenerek, işletmedeki her telefonun yanına asılmalıdır.

12.2 Hedefler

Etkili bir acil eylem planı, acil durumda su arıtma ünitelerinin çalışmasının sürekliliğini sağlayabilir. Plan aşağıdaki etkinlikleri sağlamalıdır:

- Acil durumda arıtma sistemini olumsuz etkileyecek faktörleri en aza indirme veya ortadan kaldırma,
- Acil duruma uygun karşılık verecek müdahale yöntemlerinin geliştirilmesi,
- Acil durum karşısında her bir işletme personelinin kendi sorumluluğunun bilicinde olmasını sağlayacak eğitimler,
- Acil durum donanımlarının düzenli sayımı, bakımı, gerektiğinde yenilenmesi ve işlevsellik kontrolü,
- Aşağıda verilen öncelikler listesinin geliştirilmesi ve etkinleştirilmesi:
 - Uygun hareketi belirlemek için acil durumun analiz edilmesi,
 - Uygulanabilir önleyici ölçümlerin yapılması,
 - Uzman ekibin gönderilmesi,
 - Boş kısımlar listesinin kontrolü,
 - Son çare olarak birim, proses veya proseslerin durdurulması,
 - Müdahale zamanının en aza indirilmesi.

12.3 Acil Durumun Sebebi

Acil durum şartları doğal afetler, yolların kapanması, haberleşme kayıpları, tesis içi kazalar, proseste bozulma, yanlış işletme, düzensiz bakım, personel dalgınlığı, vb. sonucunda oluşabilir.

12.3.1 Doğal Afetler

Sistemi zarara sokacak doğal afetler:

- Yıldırım
- Deprem
- Dondurucu hava
- Taşkınlar

Yıldırım: Yıldırımın ciddi hasarlarından biri, arıtma tesisinin kontrol ve kumanda merkezine yıldırım düşmesi durumunda gerçekleşir. Bu bölümün doğrudan zarar görmesi tesisteki temel elektrik ünitesinin servis dışı kalmasına yol açar. Bu durumda işletme operatörü ilgili yerlerin onarımına girişmek yerine, derhal uzman elektrikçi ile temas kurmalıdır. Onarım, normal çalışma şartlarının mümkün olduğu kadar çabuk oluşturulması için doğrudan hasar gören üniteye yapılabilir, ancak genel olarak bütün elektrik sisteminin gözden geçirilmesi gerekir.

Deprem: Deprem afeti hem yapıda hem de boru hatlarında zarara yol açabilir. Deprem nedeniyle enerji kesintisi oluşabileceği gibi doğalgaz boru hattı da kırılabilir. Deprem sırasında ve sonrasında tesis personelinin alması gereken önlemler liste halinde aşağıda özetlenmiştir:

Deprem esnasında:

- İç mekanda iseniz, sağlam bir masa veya sıra altına girin. Pencere, kapı eşiği, ağır mobilya veya araçların uzağında durun. Bina sallanırken merdiveni kullanmayın.
- Dışarıda iseniz, açıklığa ilerleyin, bina ve enerji hatlarından uzaklaşın.
- Araba sürüyor iseniz, emniyetli bir yerde durun ancak dışarı çıkmayın. Köprü üzerinde, kavşakta veya tünelde durmayın. Mümkün olduğunca çabuk trafikten çıkın. Ağaç, elektrik lambaları, enerji hatları veya levhaların altında durmayın.

Depremden sonra:

- Sakin kalmaya çalışın.
- Derhal amirinize haber verin. Tüm elemanları sayın, emniyette ve yaralanmamış olduklarından emin olun. Yaralıları bildirin.
- Tesis kontrolüne çıkın. Bu aşamada öncelikler listesini izleyin.
- Binaya girmeden önce, yapısal hasarları denetleyin. Eğer bina emniyetli görünmüyor ise veya yetersiz ışık varsa girmeyin.
- Bütün doğalgaz hatlarını sızıntıya karşı denetleyin. Gaz kaçağı olmadığından emin olana kadar yakıcı madde (çakmak, mum, vb.) kullanmayın. Gaz kaçağından şüpheleniyorsanız elektrikli cihazları çalıştırmayın.
- Denetleme ve kontrol tamamlandığında bulgularınızı derhal amirinize bildirin.

Dondurucu hava: Dondurucu hava ile ilgili önemli problemler aşağıdaki gibidir:

- Enerji kesintisi: Hava hattında kar ve buz oluşması enerji hatlarında bozulmalara sebep olur.
- Ulaşım güçlüğü: Buzlu şartlarda, yolların kayganlaşması nedeniyle hem personelin ulaşımı, hem de tesiste kimyasal ve çamur taşınımı sorun yaratabilir.

Dondurucu hava şartlarında, enerji nakil hattının donmasını ve kar tutmasını engelleyecek uygun önlemler alınmalıdır. Bu önlemler, açıktaki vanaların düzenli kontrolünü, motor ısıtmasının sağlanmasını ve boruların tam yalıtımını kapsar.

Taşkınlar: Arıtma sisteminde taşkınları ile ilgili çok kısa sürede oluşabilecek zararların etkisi başlıca iki grupta toplanabilir:

- Prosesin, taşkın sularının katılımı ile hidrolik olarak aşırı yüklenmesi,
- Tesis alanının büyük bölümünün veya tamamının sel altında kalması.

Sızıntı belli derecelerde her kanalizasyon şebekesinde bulunur ve şiddetli yağışlarla önemli ölçüde artar. Ancak, sel yalnızca şiddetli yağmurlar sırasında ve sonrasında kısa bir süre için görülür. Sızıntı suyu, yüzeysel akış ve bunların birleşimi aşağıda tanımlanmıştır:

- *Sızıntı suyu*, kanalizasyon sistemine giren su olup, kanalizasyon bağlantıları, boru bağlantıları, kontrol bacaları ve duvarlardan sızan suları içermektedir. Sızıntı suyu yüzeysel akışı içermez.
- *Yüzeysel akış*, kanalizasyon sistemine deşarj edilen su ile birlikte aşağıdaki kaynaklardan oluşan suları ve drenajları içerir: servis bağlantıları, çatı girişleri, bodrum, avlu ve alan drenajları; soğutma suyu deşarjları; doğal bataklık alanları drenajları; yağmur ve birleşik kanal bağlantıları ve kontrol bacalarından sızan sular; toplama havzasını; yağmur sularını; yüzey taşkın suları ve cadde yıkama suları.
- *Sızıntı suyu / yüzey akışı*, kaynak ayırt etmeksizin sızıntı ve yüzey akışının her ikisinin toplam miktarıdır.

Sızıntı suyu ve yüzeysel akışın sisteme girmesi, atıksu debisini önemli miktarda artırır. Tesisin ana pompaları uygun kapasitede olmasına rağmen, debi artışı tesisin yoğunlaştırıcı ve çamur geri devir hattı gibi birimlerinde hidrolik yüklemeyi artırır. Bu durumda havalandırma tankındaki biyolojik çamurun kalma zamanı azalır ve çıkış suyu kalitesi bozulur.

Bu tip hidrolik yüklenmelerde alınacak önlemler sınırlıdır; temel olarak operatörün debi artışını karşılayabilmek için bazı düzenlemeler yapması gerekir. Havalandırma hızı, mümkün olduğunca fazla çamuru sistemde tutabilmek amacıyla azaltılmalı buna karşılık havalandırma tankına geri devir hızı da yoğunlaştırıcıdaki birikimi engellemek amacıyla artırılmalıdır. Yağmur suyunun biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) çoğunlukla düşük olduğundan sistemin organik yükü artmayacaktır.

12.3.2 Personel Devamsızlığı

Personel eksikliği tesisin işletilmesinde önemli bir potansiyel tehdit oluşturur. Acil durum sırasında, yolların kapanması ve diğer kişisel kaygılar çalışanların işe gelmesini

engelleyebilir. Bu durumda yedek personel listesinin proje yürütücüsünde mevcut olması gerekir.

12.3.3 Yolların Kapanması

Tesise gelen yolun kapanması personel ulaşımını engeller. Bu durumlar için en etkili önlem, tesisin henüz kurulum aşamasında iken mevcut güzergahtan mümkün olduğunca uzakta alternatif bir yol oluşturmaktır.

12.3.4 İrtibat Kaybı

Haberleşme, günlük işlerde rutin olarak tekrarlanan bir olgu iken acil durumlarda hayati önem kazanır. Haberleşmenin kesilmesi durumunda bu bölümde anlatılmakta olan hiçbir önlem ve eylem gerçekleştirilemez.

12.3.5 Kusurlu Bakım

Düzenli bir bakım olmadığı sürece, cihazların çoğu sonunda çalışmaz hale gelecektir. Bakım şekli cihazların ne kadar iyi ve uzun süre çalışacağına işaret eder. İyi ve düzenli bakım yüksek verimlilik sunarken; hatalı bakım işletme ömrünü kısaltır.

Hatalı ve düzensiz bakımdan dolayı meydana gelebilecek beklenmeyen bozukluklar, atıksu arıtma ünitesinde ciddi zararlara neden olabilir. Tek bir ekipmanın bozulması acil durum yaratmadan çözülebilsen bile, zayıf bakımın birikmiş etkileri oldukça ciddi sonuçlar doğurabilir.

12.3.6 Kayıtsız İşletme Anlayışı

Tesis dahilinde veya yasa koyucu tarafından oluşturulmuş işletme metotlarından sapmalar ihmkalkar işletme anlayışını doğurur. Özensiz işletme, hatalı bakımın aksine kolaylıkla fark edilemeyeceğinden, sistem için daha fazla zararlı olup nedeni anlaşılamayan acil duruma yol açabilmektedir. Bu nedenle, arıtma tesisinde etkin işletme koşullarının sağlanabilmesi için öncelikle sağlıklı işletme prosedürleri geliştirilmeli ve uygulanmalıdır.

12.3.7 Kazalar

Atıksu arıtma sisteminin işletilmesinden sorumlu personel sürekli olarak olası tehlikelere maruz kalır. Kazalar yaralanmalara ve cihazlar üzerinde hasara neden olur. Tesis arazisi dışında gerçekleşen kazalar bile işletmeyi etkileyebilir. Örneğin, kanalizasyon sistemine zehirli maddenin kaza sonucu dökülmesi zamanında fark edilememiş ise arıtma sistemi ünitelerinde de ciddi sorunlara neden olabilir.

12.3.8 Proses Arızaları

Proses arızaları, atıksu arıtma sisteminin tek bir ünitesinde olabileceği gibi tümünde de çıkabilir. Her iki durumda da verimlilik düşer. Çok kısa zaman dilimlerinde prosesin tamamını etkileyecek hasara neden olan olaylar sel baskınları, deprem, yıldırım, dondurucu soğuk, güç kaybı, sabotaj ve toksik kazalardır.

12.4 Acil Eylem Planı

12.4.1 Personel Sorumluluğu

Mevcut personelin örgütlenmesi ve hareket planının hazırlanmasından kilit konumdaki idareciler sorumludur. Karmaşayı en aza indirecek planın başarıyla uygulanabilmesi için, her bir personelin acil durumda üstleneceğı sorumluluğu bilmesi gerekmektedir.

Proje yöneticisi acil eylem planının tümünden sorumludur. Güvenlik görevlileri planın uygulamasından sorumlu olup sonuçları doğrudan proje yöneticisine rapor eder. Aşağıda verilen acil eylem kontrol listesi arıtma sisteminde çalışanların sorumluluğunu tanımlayan rehber liste olarak kullanılabilir.

Proje Yöneticisi:

- Aldığı acil durum mesajı karşısında, ilk alarma dayanarak eylem planının meydana gelen olaya göre uygun olan bölümünü başlatır.
- Amirler, kilit noktadaki personel ve yardım organizasyonlarını temsilciler önceden belirlenen acil eylem merkezinde acil durumun şiddeti değerlendirilmek üzere bir araya getirir ve bu toplantıda eylem planının ana hatları çıkarılır.
- Destek personelini harekete geçirerek amirleri destekler.
- Gerekirse uzman yerlerden yardım ister.
- Normal işletme koşulları sağlanana kadar acil eylem hareketini izler ve destekler.
- Gerekğinde eylem zamanı, eylem metodunun uygunluğu, donanımlar, haberleşme, personel eğitimi, esneklik, yardımcı eleman verimliliği ve karşılıklı yardımlaşma açısından acil eylem planını değerlendirir, eleştirir ve geliştirir.

Güvenlik Görevlisi:

- Destek personeli de dahil olmak üzere tüm işletme personelini harekete geçirir, proses ayarlamalarını yapar gerekirse proses kontrol ve analizi için örnekleme yapar.
- Proje yöneticisine acil durumdaki proses şartlarını ve örnekleme sonuçlarını aktarır.
- Acil durumlarda personelin çalışmasını izler ve onlara destek verir.
- Operatörlerin acil eylem müdahalelerini değerlendirir ve eleştirir.

Bakım Amirliği:

- Bakım ekibini ve yardımcı personeli harekete geçirir.
- Operasyonu personel, ekipman, vb ile destekler.
- Karşılıklı yardımlaşmayı koordine eder, uzmanlık bilgilerini uygular.
- Normal çalışma şartları sağlanana kadar katılan ekibin çalışmalarını izler ve destek verir.
- Bakım ekibinin acil eylem çalışmalarını değerlendirir ve eleştirir.

12.4.2 Acil Eylem Merkezi

Acil eylem merkezi olarak kullanılacak ünite ve elemanlar önceden belirlenmiş ve kolaylıkla ulaşılabilen yerde bulunmalıdır. Acil durum bildirildiğinde, görevdeki operatörün acil durum

ile ilgili yapacağı eylemler bir metot olarak elinde bulunmalıdır. Bu durumda yapılacak ilk iş; alarm yerine bakım ekibini göndermektir.

Tesisin kilit personeli ve irtibata geçilmesi gereken diğer şahısların telefon numaraları da dahil diğer güncelleştirilmiş bilgileri, sistem haritası, arıtma ünitesi akım şeması, boru ve elektrik hattı şemaları yönetim binasında bulunmalı ve acil durumda operatörün kullanımına açık olmalıdır.

12.4.3 Acil Ekipman Envanteri

Acil ekipman envanteri dosyada tutulmalı ve arıtma prosesinde kullanılan tüm ekipman, malzeme ve kimyasalları içermelidir. Mevcut bulunması gereken acil ekipman listesi aşağıda verilmektedir:

- Her bina ve tehlikeli bölgelere yakın yerler için en azından bir adet karbon dioksit veya kuru kimyasal içerikli yangın söndürücü,
- Tehlikeli bölgelerdeki çalışmalar için emniyetli ve patlamaya dayanıklı ekipman,
- Tehlikeli bölgelerde yapılan çalışmalar için kıvılcımsız çalışan alet ve ekipmanlar,
- Tehlikeli bölgelerdeki atmosferi ölçmek için parlayıcı gaz indikatörü veya düşük patlama limitlerini ölçer cihazlar,
- Çevrede, tehlikeli bölgeler için taşınabilir hava kalitesi izleme cihazı,
- Hortumlu taşınabilir pompa,
- Kürek, kepçe ve süpürge,
- Kalsiyum hipoklorit,
- Çamur vidanjör,
- Kuka, çapa ve benzer ekipman ve aletler,
- Kanal onarım ekipmanları,
- Kimyasallarla çalışırken kullanmak için koruyucu giysiler ve pilot gözlüğü,
- Tüm elektrik panellerinin önüne plastik (kauçuk) paspas,
- Naylon emniyet takımı,
- Plastik eldiven,
- Uçları lastikli çizme ve donanımlı giysi,
- Vinç takımı,
- Pille çalışan el feneri ve cep feneri.

12.4.4 Kayıtların Yedeklenmesi

Kayıt yedekleme programı oluşturmanın maliyeti, acil durumda kaybolan kayıtların tekrar oluşturulması ile kıyaslandığında çok daha az masraflıdır. Yeraltı bağlantı hatlarının yerini ve durumunu gösteren kayıt ve haritalar özellikle acil durumda özel önem taşır.

Kayıtların bir kopyası mikrofilmi alınarak saklanabilir ancak harita ve diyagramların orijinal olarak saklanması tercih edilmektedir. Harita, pafta, akım şemaları, önemli pompalama hatları haritalarının tam boyutlu kopyaları her yıl yenilenerek taşkın geçirimsiz korunaklı bir yerde tutulabilir. Aşağıdaki bilgiler kolaylıkla ulaşılabilecek ve güvenli şekilde saklanmalıdır:

- Acil ve yedek personelinin adı, adresi, telefon numaraları, afet sorumlulukları, becerileri,
- Stoklanmış acil durum ekipman, malzeme, kimyasalların yeri, tipi ve miktarları,

- Acil durum teçhizatını çekmek için ekipman, araç tipi ve yerleri,
- Gezici pompa, jeneratör gibi mevcut arıtma ekipmanlarının yerleri ve tipleri,
- Ağır acil durumlar için gereksinimlerin tahminleri,
- Standart çalışma metodlarının tanımı.

12.5 Acil Eylem Prosedürü

12.5.1 Endüstriyel Kazalar ve Toksik Zehirlenme

Toksik veya potansiyel toksik maddelerin çevreye bulaşması durumunda artan risk nedeniyle bu konuda devlet bazında kanun ve yönetmeliklerin resmen ilan edilmesi söz konusudur. Bu durumda çalışma, dökülen tehlikeli maddenin kaynağını belirlemek için toplayıcı sistemde yapılmalıdır. Sayım, tüm endüstrilerin arıtma sistemine katılım paylarından yapılmalıdır. Her bir endüstri toplanan sistem haritasında yerleştirilir ve mevcut potansiyel zararlı maddelerin listelenir. Sisteme diğer endüstriyel katılımlar oldukça aynı işlemler yenileri için yapılır. Bu kayıt ve bilgiler Şehrin mühendislik ofisinde bulundurulmalıdır.

Kazanın duyurulması için erken uyarı sistemi kurulmalıdır. Herhangi sayıda zararlı madde toplu atıksu arıtma sistemine deşarj edilebilir. Toplu sisteme giren endüstriyel atıklar toksik bileşik, yağ veya diğer zararlı maddeleri içerebilir. Arıtma sisteminde ve pompa istasyonunda kaza sonucu dökülen maddeler patlama ve yanmaya neden olabilirler.

Yanıcı karışımın oluşumunu önlemek operatörün sorumluluğundadır. Tehlikeli bölgedeki tüm elektrik servislerinin patlamaya dirençli olması gerekmektedir. Kaza ve sızıntı ihtimali varsa derhal ana şalter ve pompa istasyonları kontrol edilmelidir. Kontroller yabancı kokuya, pompa istasyon çıkışında renk değişimine, gaz detektörü kullanılarak yanıcı gazlara karşı da yapılmalıdır. Etkilenen alana taze hava girmesi için tüm pencereler, kapılar, tavan açılmalı, havalandırıcılar çalıştırılmalıdır. Patlayıcı veya parlayıcı gaz seviyesinin emniyetli seviyeye inmesi durumunda normal çalışma şartlarına dönülebilir.

Yakıt, yağ, benzin veya diğer zararlı sıvılar da kaza sonucu sisteme girebilir. Örneğin, benzin tankerinin devrilmesi durumunda, yangın ekibinin yolu yıkamasıyla bacalardan kanal sistemine oldukça fazla miktarda dökülen madde karışabilir. Yakıt veya diğer zararlı maddeler suda yüzer halde görüldüğünde itfaiye aranmalı ve yardımı istenmelidir.

Yakıt, yağ, benzin ve diğer benzeri yüzen maddeler sıyırma yolu ile sudan ayrılabilirler. Bu maddeler toplanarak son uzaklaştırma yöntemi olarak sıhhi depolama tesislerine gönderilmelidirler.

Eğer sıyırma ile yağlar giderilemiyor ise operatör derhal proje yöneticisini bilgilendirmeli normal çalışmada aksamayı önleyecek şekilde acil eylem planı yapmalıdır. Atıksuda herhangi bir zararlı maddeye rastlanması durumunda personel hemen proje yöneticisine konuyu aktarmalıdır. Buna ek olarak, maddenin görüldüğü zaman ve tahmini miktarı not edilmelidir. Bu bilgiler maddenin kaynağını belirlemede yararlı olacaktır. Bu tür atıkların sisteme girmesi kanalizasyonda kirlenmeye yol açacaktır. Eğer kirlenme oluşuyorsa, daha ileri olayları önlemek için deşarj kaynağını belirlemek gerekir. Zararlı ve tehlikeli maddenin merkezi arıtma sistemine deşarjını en aza indirmek için aşağıdaki gözetim programının uygulanması önerilir:

- Merkezi arıtma sisteminin, pompa istasyonu, kuyular, endüstriyel atık kaynakları, herhangi zararlı koku, benzin buharı, yağ vb. periyodik denetlemesi yapılmalıdır. Bulunan herhangi zararlı madde örneği, özellikleri ve kaynağını belirlemek amacıyla toplanmalıdır.
- Merkezi arıtma sistemine yağ veya herhangi zararlı madde karışması durumunda hizmet verilen alandaki tüm endüstriler restoranlar da dahil olmak üzere yıllık denetimler yapılmalıdır. Bu şehir izleme görevidir.
- Problem olduğunda kanalizasyon şebekesindeki arızalar (bozulmalar) haber verilmeli ve düzeltilmelidir.
- Problem belli süre sonunda da geçmez ve düzeltme için herhangi bir çaba harcanmazsa, sorumlular yönetmelikler çerçevesinde cezalandırılır.

12.6 Mahalli Polis ve İtfaiyenin Koordinasyonu

12.6.1 Polis Merkezi

Mahalli polis amirliğinden arıtma sisteminin güvenlik derecesini kritik etmesi istenebilir. Polis Merkezinin kilit, ışıklandırma ve çevre duvarı ile ilgili tavsiyeleri yerine getirilmelidir. Alana izinsiz bir döküm olduğunda personel durumu polise bildirmelidir. Yola patlayıcı veya toksik madde dökülmesi durumunda, polisin hemen operatörü araması gerektiği belirtilmelidir. Aşağıdaki bilgiler elde edilmelidir:

- Sisteme giren malzemenin miktarı ve özellikleri
- Kazanın (dökülmenin) yeri
- Kazanın zamanı

Örneğin, zararlı ve tehlikeli madde kazalarındaki acil durumlarda polis haberleşme kapasitesinden yararlanmada işbirliğine gidilebilir. Özet olarak, Polis Bölümünün bu konudaki sorumlulukları:

- Mevcut arıtma sisteminin güvenlik derecesinin değerlendirilmesi
- Arıtma ünitesinin ve pompa istasyonlarının düzenli kontrolünü yapmak
- Arıtma sisteminde acil durum halinde yardıma hazır olmak

12.6.2 İtfaiye Merkezi

Yerel itfaiye merkezi yılda en bir kez arıtma ünitesini ziyaret ederek yangın tehlikesini en aza indirmenin yollarını önerir. Tüm binalardaki mevcut yangın söndürücü ekipmanları, elektrik hattını ve patlayıcı madde depolama alanları kontrol edilmelidir. Tüm arıtma tesisi binalarının planları yangın durumunda eylem planı hazırlamak amacıyla Yangın amirliğine verilmelidir.

12.7 Yaralanmalar

Ne yazık ki yaralanmalar her zaman olabilmektedir ve yaralı tedavi işi konunun uzmanı kişiye bırakılmalıdır. Birisi yaralandığında aşağıdaki yol izlenmelidir:

- İlk yardım uygulaması yapılır
- Derhal acil/tıbbi yardıma başvurulur
- Alanda daha fazla zararı önlemek için emniyete alınır
- Yangın olasılığına karşı araştırılır
- Dökülen maddeler temizlenir
- Tıbbi yardım ve kurtarma ekibi için alan temizlenir

KAYNAK

(1) <http://www.munchworks.com/websample/80EmergencyResponsePlan.htm>

13. ARITMA TESİSLERİNİN TASARIMI VE İŞLETİLMESİ

13.1 Tesis Yerleşimi ve Hidrolik Profil

Arıtma Tesisi Bileşenleri: Bir arıtma tesisi, başlıca aşağıdaki belirlenen ana ve yardımcı birimlerden oluşur:

- İlk ve ara pompa istasyonları
- Izgaralar, kum tutucu (gerekirse yağ kapanı) ve akım ölçerler
- Dengeleme ve ön çöktürme
- Biyolojik arıtım birimleri
- İkinci çöktürme ve geri devir sistemi
- Gerekliyse ileri arıtım (suyun yeniden kullanımı için dezenfeksiyon, ters ozmoz, vs.)
- Çamur yoğunlaştırma, şartlandırma ve çürütme
- Çamur susuzlaştırma/kurutma ve bertarafı
- Dağıtma yapıları, borular ve kanallar
- Kontrol laboratuvarı ve hizmet binaları

Yerleşim: Bir arıtma tesisindeki üniteler, arazi ihtiyacı optimum, boru boyları ve terfi yükleri minimum olacak şekilde yerleştirilmelidir. Tesis yerleşimi yapılırken çamur ve kimyasal maddelere kolay ulaşım, araç trafiği, elektrik kablolarının yerleşimi, bakım ve tamir esasları gözönünde bulundurulmalıdır.

Hidrolik Kapasite: Arıtma birimlerinin hidrolik kapasiteleri maksimum saatlik ve günlük debilere göre belirlenmelidir. Bağlantı kanalları ve borular, maksimum debilerde taşmamaları için, pik debilere göre boyutlandırılmalıdır. Izgara ve kum tutucuların bütün debilerde sabit hızla çalışmaları sağlanmalı; hız kontrolü için savaklar ve diğer uygun hidrolik kontrol yapıları kullanılmalıdır.

Biyolojik arıtma birimleri, genellikle beklenen ortalama organik yüklere göre boyutlandırılır. Bu yapılarda yüksek debilerde taşma olmaması için, yeterli hava payı bırakılmalıdır.

Tesisteki yük kaybı, ünitelerin sayısı, yerleşim planı ve ara pompa istasyonlarına bağlı olarak değişir. Bir üniteye yük kaybı iki faktöre bağlıdır:

- Üniteye, boru ve vanalardaki akım hızı
- Ünite sonunda “serbest düşü” istenip istenmediğine (örneğin çöktürme havuzunda) veya ünite içerisinden akım olup olmadığına (damlatmalı filtre gibi).

13.2 Pompa İstasyonları

Atıksu pompa istasyonları, kanalizasyon şebekelerinde, arıtma tesisi girişinde ve tesis içerisinde atıksuyu yükseltmek ya da geri devir amacıyla kullanılmaktadır. Pompa istasyonunun projelendirilmesi, kullanılacak pompa tipine (örneğin, kuru tip, ıslak tip, santrifüjlü ve vidalı pompalar) bağlıdır (Bölüm 4 ve 8).

13.3 Izgaralar

Bütün atıksu arıtma tesislerinde sonraki ünitelerdeki ekipmanları korumak amacıyla ızgaralar kullanılır. Izgaralar kaba, orta ve ince olmak üzere üç tipte ele alınır. Kaba ızgaralar, 400m³/saat'ten küçük debiler için kullanılır ve elle temizlenirler. Orta ve ince ızgaralar, daha büyük tesislerde kullanılırlar ve mekanik olarak temizlenirler. Izgara kanalının genişliği, minimum 0.6 metre seçilir. Bu kanallardaki hızın maksimum debide 1.0 m/s değerini geçmemesi, minimum debide ise 0.3 m/s'den az olmaması istenir. Belirlenen bu hızlar, kanalda birikim (çökerme) olmaması ve ızgaralarda tutulan maddelerin geçmemesi için belirlenen değerdedir. Izgaralardaki yük kaybı, normalde 0.15-0.30 metredir.

Izgaralar düzenli olarak temizlenmezse, yük kaybı artar. Izgaralarda tutulan madde miktarı, atıksuyun özelliğine ve ızgara çubuk aralıklarına bağlıdır.

13.4 Kum Tutucu

Diğer arıtma ünitelerinden önce bir kum tutucu kullanılması gereklidir. Debisi 400 m³/saat'ten az olan küçük arıtma tesisleri için, elle temizlenen basit kum tutucular yapılır. Daha büyük tesislerde ise otomatik kum temizleme düzenekleri bulunan daha karmaşık kum tutucular vardır (Bölüm 4).

13.5 Yağ ve Gres

Evsel atıksu arıtma tesislerinde yağlar, normal olarak birincil çökeltme havuzunda su üzerinde yüzerler. Bu nedenle, ön çökeltme havuzunda bir köpük ve yağ toplayıcı sistem bulunur. Endüstri tesisleri prosesleri gereği yağlı ve petrolü atıklar üretiyorsa yağların yağ kapanlarıyla kaynağa tutulması sağlanmalıdır. Yağ kapanları, mümkün mertebe ana proses ünitelerine yakın yapılmalı ve yağların diğer atıklara karışması önlenmelidir.

Kayda değer oranda yağ ve gres üreten endüstrilerin (gıda ve sabun endüstrileri, rafineriler) kendi atıksu arıtma tesislerinde genellikle bir yağ ayırıcı bulunur.

13.6 Yüzdürme Üniteleri

Daha hafif maddeleri gidermek için, bazen standart graviteli yağ yerine havalandırmalı yüzdürme birimleri kullanılmaktadır. Böylece, deterjan ve benzeri atıkların da giderimi sağlanmış olur. Üç tip yüzdürme sistemi mevcuttur. Bunlar:

- *Havalı yüzdürme:* Bu sistemde atmosfer basıncında basit havalandırma yapılarak, hafif taneciklerin ve yağ damlacıklarının yüzmesi sağlanır. Bu sisten daha çok köpük üreten atıksularda tercih edilir(ilaç ve gıda sanayi gibi).
- *Çözünmüş havalı yüzdürme:* Bu sistemde hava, kimyasal maddelerle birlikte enjekte edilir. Kağıt ve yemeklik yağ endüstrisi gibi bazı endüstrilerde iyi sonuç vermekle beraber; evsel atıksu arıtımında fazla kullanılmamaktadır. Kimyasal maddelerin yüksek maliyeti ve gerekli özel mekanik aksam da dikkate alınmalıdır. Bu sistemin uygulamaları, bazı endüstrilerle sınırlıdır.
- *Vakumlu yüzdürme:* Bu sistemde sıvı, atmosfer basıncında hava ile doyurulur ve vakum altında reaktörden boşaltılır.

13.7 Dengeleme Tankları

Atıksu arıtma tesisine endüstriyel atıklar da geliyorsa, genellikle bir dengeleme tankı gerekir. Bu tankın işlevleri aşağıda belirtilmektedir (Bölüm 4):

- Değişen debileri ve konsantrasyonları dengelemek
- Kendi kendine nötralizasyona yardımcı olmak
- Bazı proseslerde ani atık boşaltımlarının etkisinden korunmak

13.8 Ön Çöktürme

Evsel atıksuların arıtımda ön çöktürme, kimyasal madde kullanılmayan basit çöktürme şeklindedir. Ancak, bazı endüstriyel atıksuların arıtımında çökeltme sırasında kimyasal madde de eklenebilir. Her iki durumda da yumaklı çökeltme olur. Çöktürme ile ilgili detaylı bilgiler Bölüm 4’te verilmektedir.

13.9 İkinci Kademe veya Son Çöktürme Havuzları

İkinci veya son çöktürme tanklarındaki çökeltme, tabakalı ve engelli (sıkışmalı) olmaktadır. Çökeltme tankları, bu hususlar dikkate alınarak projelendirilmelidir. Belli bir konsantrasyondan sonra tabakalı çökeltme olur. Partikülleri partiküller arası bir kuvvet bir arada tutar ve tüm kütle, bir çamur “battaniyesi” halinde çökler. Bütün kütle, en hızlı partiküllerden oluşmuşçasına hızla çöker. Bu kütlenin çökeltme hızı, bir çökeltme kolonu yardımıyla deneysel olarak bulunur.

Partiküller belli bir konsantrasyona gelmişlerse ve birbirlerine fiziksel temas sağlıyorsa, altta sıkışmalı çökeltme olur. Derinlik arttıkça, partiküllerin üzerindeki sıkışma etkisi artar ve çamur kısmen yoğunlaşır.

Aktif çamur prosesinde karşılaşılan bazı işletme problemleri, biyolojik faktörlerden ziyade kötü çökeltmeden kaynaklanmaktadır. Son çökeltme tankları, hem durulama, hem de çamuru yoğunlaştırma fonksiyonları dikkate alınarak projelendirilmelidir. Bunun için bir maliyet optimizasyonu yaklaşımı yapılabilir. Geri devir miktarı artırılarak, aktif çamur havalandırma havuzu hacmi azaltılabilir. Fakat, bu durumda son çökeltme havuzundaki katı madde yüklemesi artacağından, boyutlar ve maliyet yükselecektir. Bu nedenle konuya bir bütün olarak yaklaşmak gerekir.

13.10 Biyolojik Arıtma

Biyolojik arıtma ilgili konular Bölüm 5’te detaylı olarak verilmiştir.

13.11 Çamurun Susuzlaştırılması ve Bertarafı

Bütün biyolojik atıksu arıtma proseslerinde bir miktar fazla çamur oluşur. Çamur bertarafı, bazı durumlarda hijyen ve maliyet yönünden sorunlar doğurur. Fakültatif havalandırmalı lagünlerde ve alg (stabilizasyon) havuzlarında fazla çamur, üniteye çökler ve birkaç yılda bir ünite boşaltılarak uzaklaştırılır. Üniteden alınan çamur, genellikle doğal kurumaya bırakılır ve kuruduktan sonra gübre ya da arazi dolgusu olarak kullanılır.

Uzun havalandırmalı proseslerden elde edilen fazla çamuru yeterince stabilize olduğundan, doğrudan çamur yoğunlaştırıcıya alınır ve sonra bertaraf edilir. Aktif çamur ve damlatmalı filtre çamurları çamur çürütücüye verilir ve daha fazla stabilize olması sağlanır. Çamur ancak bu işlemten sonra susuzlaştırılır. Çamurla ilgili detaylı bilgi Bölüm 8’de verilmiştir.

13.12 Arıtma Tesislerinde İşletme için Gereken Güç İhtiyacı

Bir atıksu arıtma tesisinin güç ihtiyacı, iki şekilde hesaplanabilir:

- Kurulu güç (beygir gücü veya kW cinsinden)
- Kullanılan güç (kW-saat cinsinden)

Kurulu güç, tesisteki her bir ünitenin güç ihtiyaçlarının toplanmasıyla bulunur. İşletme için gereken güç ise, kurulu güçle her bir ünitenin günlük çalışma süreleri (saat) çarpımıyla bulunur.

13.13 Personel

Bir arıtma tesisi için gerekli personel sayısı, tesisin tipine ve büyüklüğüne bağlıdır. İşletme sorumlusu bir çevre mühendisi olabilir. Başarılı bir işletme için, farklı disiplinlerden (çevre-makina) elemanlara ihtiyaç vardır. Operatörlerin genellikle makine veya elektrik konularında uzman olması gerekir. Ayrıca yeter sayıda yardımcı elemanlar da gerekir. Bütün personel, gün boyunca vardiyalı çalışır. Arıtma tesislerinin özel sektör eliyle çalıştırılması, daha ekonomik olabilir ve genellikle bu yola gidilir. Ancak, işletmeyi yapan özel sektörün de çevre ve deşarj şartlarını sağlayıp sağlamadığını denetleyecek bir üst kontrol kurumu bulunmalıdır.

13.14 Bazı İnşaat Esasları

Bu bölümde tipik ihale dokümanlarında bulunan detaylı inşaat şartnameleri değil; sadece, bazı önemli hususlar verilecektir.

- Yüklenici (müteahhit), su tutucu beton yapılar konusunda tecrübeli olmalıdır. Su tutucu bir beton yapılar baştan sağlam yapılmalıdır.
- Pompa istasyonları ve pompalarla ilgili olarak, Bölüm 4 ve 8’de belirtilen hususlar gözönünde bulundurulmalıdır.
- Sıvı derinliği 1 metreden düşük olan açık kanallar ve dağıtma yapıları, yerel tuğla veya taş malzemelerle yapılabilir.
- Üniteleri birbirine bağlayan borular, genellikle gömülü olmalıdır. Bu nedenle, özellikle basınçlı hatlarda font ve çelik borular tavsiye edilir. Borular, boru hendekleri kapatılmadan önce basınç testine tabi tutulmalıdır. Boru geçen zemin ıslak ve korozyonlu ise, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) veya PVC borular kullanılır.
- Yağış esnasında yüzey sularının ünitelere ve pompa istasyonlarına girmesini önlemek için, yağmur suyu drenaj sistemi planlanmalıdır.
- Damlatmalı filtre kullanılacaksa, kabul edilebilir ve şartnameye uygun taş ortam (veya plastik ortam) seçilmelidir. Uygun kalitede taş kullanılmazsa, atıksuyla temas sonucunda taşlar bozulabilir ve boşluklar tıkanabilir. Bu da, havalandırmayı azaltabilir.
- Klasik aktif çamur ve uzun havalandırmalı tesislerde havalandırma ekipmanları, eşit hava/oksijen sağlayacak şekilde yerleştirilmeli ve korozyona karşı korunmalıdır.

- Çamur kurutma yataklarında alt drenlerin yerleşimi, çakıl yatak malzemesi özellikleri ve derinlikleri şartnamede tarif edilmelidir.
- Gerekirse, her ünitenin kolayca boşaltılması için dip tahliye sistemi olmalıdır. İşletmede kolaylık amacıyla, üniteler, by-pass yapılacak şekilde projelendirilmeli ve inşa edilmelidir.

13.15 Bazı Mekanik/Elektriksel Hususlar

- Arıtma tesisinin mekanik ve elektrik teçhizatı, tesisin bulunduğu bölgenin iklim şartlarına ve ana elektrik tesisatına uygun olmalıdır.
 - Motorların ve straterlerin seçiminde genellikle aşağıdaki kurallar uygulanır.
- 100 hp'ye kadar sincap kafesli endüksiyon motorları, 150 hp'den büyük güçler için ise kayar halkalı motorlar seçilir. Motor kapakları, mahalli şartlara göre yapılır.

<i>Yer</i>	<i>Motor kapakları</i>
Dışarıda, normal	Başlama ve durdurma için seviye kontrolü
Dışarıda, gaz çıkma ihtimali var	Alev önleyici, fanla soğutma
Temiz, içeride	Damlayı, sızıntıyı önleyici

- Starterler, motorun tipine ve büyüklüğüne bağlıdır.

<i>Motor</i>	<i>Starter</i>
5.0 hp'ye kadar endüksiyon motoru	Direkt, sıralı
5.0-100 hp arası	Yıldız-delta
Kayar halkalı motor	Stator/rotor

<i>Kullanım</i>	<i>Kontrol</i>
Ham atıksu pompaları	Başlama ve durdurma için seviye kontrolü
Atıksu geri devir pompaları ve çamur pompaları	Alçak seviyeli durdurma anahtarları
Çamur ve humus pompaları	Zaman ayarlayıcı

- Kablolar, PVC kaplamalı olmalıdır. Dışarıdaki kablolar, kablo kanallarına yerleştirilmelidir. Bu kanallar, asgari 1 metre derinliğinde olmalı ve yerlerini gösteren işaretler konulmalıdır.
- Kontrol odasında bir kontrol paneli bulunmalıdır. Ayrıca, operatörün ne yaptığını anlaması bakımından, basit hidrolik akımı gösteren bir küçük diyagram çizilmelidir.

- Dışarıdaki tüm motorlar için kontrol panelindekilerden ayrı olarak ikinci bir kontrol düğmesi sağlanmalıdır.
- Devir düşürücülerde genel amaçlar için 1.75 faktörü, havalandırıcılar için 2.0 faktörü uygulanmalıdır.
- Genel aydınlatma alanında 50-100 lüks aydınlatma sağlanmalıdır.

13.16 Yeni Bir Arıtma Tesisinin İşletmeye Alınması

Yeni inşa edilmiş bir arıtma tesisi, adım adım işletmeye alınır. Bu adımlar:

- Kuru çalıştırma
- Yaş çalıştırma
- Tam olarak devreye alma
- Performans deneyleri

Tüm mekanik aksam, öncelikle teker teker kuru olarak çalıştırılır. Bunun amacı, bütün mekanik aksamın çalıştığından emin olmaktır. Daha sonra girişler, çıkışlar ve diğer üniteler sızdırma kontrolü için, su ile doldurularak kontrol edilir.

En sonunda, atıksu verilecek tesis normal işletmeye alınır (başlangıçta seyreltilmiş atıksu verilebilir). Bu esnada pompalar, havalandırıcılar ve geri devir ekipmanları (kısaca tüm ekipman) devreye sokulur. Proses için gerekirse, kimyasal maddeler eklenir. Biyolojik havalandırma sistemlerinde, gerek aktif çamurda yeterli askıda katı madde (AKM) oluşumu için, gerek damlatmalı filtrede taş veya plastik ortamı üzerinde biyolojik film oluşumu için, 6-8 hafta (bazen daha fazla) zaman gerekir. Soğuk iklimlerde sürüyorsa, bu süre havasız çamur yataklı reaktörlerde daha da fazla olur. Alg (stabilizasyon) havuzlarında mahalli alg türleri ürer. Başka bir yerden alg taşınmasına gerek yoktur. Mahalli türler, her zaman daha iyi sonuç verir.

Tesise bazen hidrolik, organik ve hatta toksik şok yükler geldiğinde problemler görülür. Bu durum, ya kaynaktan kontrol edilir, ya da dengeleme/nötralizasyon işlemleri uygulanır. 0.5-2 saat süreyle normalin üç katından fazla hidrolik ve organik yük (BOİ), genellikle “şok yük” olarak adlandırılır.

Tesis devreye alındıktan sonra, performans deneylerine geçilir. Bu aşamada çeşitli numuneler alınır ve analizler yapılır.

13.17 Tesislerin Rutin İşletme Esasları

Bir arıtma tesisinde rutin işletme esasları şunlardır:

- **Performans kayıtlarının tutulması:** Performans kayıtlarının tutulması, tesisin performansının artırılması için değerlendirme yapma olanağı sağlar. Enerji, kimyasal maddeler ve diğer maliyet unsurlarından tasarruf yapılarak, işletme masraflarının azaltılmasının olanakları araştırılabilir.
- **Koruyucu bakım:** Koruyucu bakımın amacı, işletme esnasında minimum kesinti sağlamaktır. Çünkü, atıksu arıtma tesisinin bir ünitesindeki arıza, ünitenin by-pass yapılarak boşaltılmasını ve arıza giderildikten sonra tekrar işletmeye alınmasını gerektirebilir. Bunların hepsi pahalı işlemlerdir. Bazı yedek parçalar ve kimyasal maddeler yedeklenmelidir. Bakım işlemleri, düzenli yapılmalıdır.

- **İşletme el kitabı:** Proje ve inşaat firması tarafından genellikle bir işletme el kitabı hazırlanır. Bu kitapçıkta aşağıdaki hususlar bulunmalıdır:
 - İşletme esasları ve deneme çizelgeleri
 - Koruyucu bakım esasları
 - Kayıt tutma
- **Kontrol laboratuvarı:** Laboratuvar, arıtma tesisinin işletilmesinde anahtar rol oynar. Bazen kalite kontrolü gereklidir. Ciddi bir kontrol yapılmazsa, aynı numune için BOİ testi bile %100 farklı sonuçlar verebilir.
- **Eğitim:** Operatör eğitimi aşırı büyütülmemelidir. İş başında eğitim yeterli olmamakla beraber; pratikte tek eğitim şekli de budur.

13.18 (Ortak) Atıksu Arıtma Tesisleri

Birçok küçük sanayi tesisine ayrı ayrı arıtma tesisi yapılması yerine, bu tesislerin hepsini kapsayacak bir ortak atıksu arıtma tesis, (OAT) yapılabilir. Ortak atıksu arıtma tesisinde çevrede bulunan evlerin ve tesiste çalışanların atıksuları da arıtılabilir. Endüstriyel olmayan atıksular, biyolojik arıtma için aşı ve nütriyent sağlayacağından faydalı olabilir.

Küçük ölçekli endüstri arıtma tesislerine ayrı ayrı arıtma yapmak yerine, ekonomik ölçekli merkezi bir arıtma tesisi yapmak daha iyidir. Bu şekilde, gelen atıksuların dengelenmesi ve kendi kendine nötralizasyonu sağlanır. Böylece, çok sayıda işletme personeline de gerek kalmaz. Ayrıca, tesislerin projelendirilmesi, inşaatı ve işletilmesi yap-işlet veya yap-işlet-devret modeliyle de yapılabilir.

Bu tesislerde de, diğer tesislerde olduğu gibi bazı işletme problemleri vardır. Bazı endüstriler, OAT kapsamında olmak istemeyebilir. Yine bazıları, üzerlerine düşen giderlere itiraz edebilirler.

Bu tip tesislerden faydalananların paylarına düşen ödeme miktarları, gerçekçi işletme esaslarına göre belirlenmeli ve aşırı olmamalıdır. Ödeme miktarları belirlenirken, her ortağın arıtmaya gönderdiği KOİ, BOİ ve askıda katı madde miktarı bilinmelidir. Bunun bilinmesi için, gelen atıksuların devamlı ölçülmesi ve analiz edilmesi gerekir. BAAT tesislerinde uygulanan bir diğer yöntem de, küçük endüstrilerden gelen atıksuları tankerlerle tesise ulaştırmaktır. Bazı durumlarda atıksuyun tankerlerle taşınması, kanalizasyon sisteminden daha ucuza gelebilir. Böylece, daha iyi bir kontrol de sağlanmış olur.

13.19 Sorunsuz İşletme Prensipleri

Kısa sürede gerçekleştirilecek en uygun teknolojilerde bile birçok detay vardır. Hatalar, genellikle detaylarda yapılır. Bu nedenler alınması gereken bazı temel tedbirler aşağıda sıralanmıştır (1):

- Pompa istasyonlarının sayısı minimum tutulmalıdır. Mümkün mertebe ara pompa istasyonlarından kaçınılmalıdır.
- Emniyet açısından pompa istasyonlarına ve ıslak haznelere havalandırma sağlanmalıdır.
- Yer altı suyu seviyesi dikkate alınmalı ve bütün derin yapılarda suyun kaldırma kuvvetine karşı önlemler alınmalıdır.
- Zayıf merdivenler ve yürüme platformları kullanılmamalıdır.

- Tamirat işlemlerini kolaylaştırmak için minimum iki pompa, iki havalandırıcı ve iki paralel bölüm (birim) bulundurulmalıdır.
- Yedek parça envanteri, mümkün olduğunca azaltılmalıdır.
- Taşmayı önlemek ve tamirat durumunda bir üniteyi devre dışı bırakmak için, yeterli by-pass düzeneği sağlanmalıdır.
- Alarmlar ve önleyici enstrümanlar karışık değil, tam aksine anlaşılır ve basit olmalıdır.
- Elektronik ekipmanlar, anahtarlar ve kablolar kolay ulaşılabilir olmalıdır.
- Otomatik vanalar için elektrik yerine pnömatik veya hidrolik sistemler tercih edilmelidir.
- Ortak çalışma prensibi doğrultusunda, atıksu pompalarıyla kimyasal dozlama pompaları birbirleriyle ilişkilendirilmelidir.
- Beklenmedik bir korozyon durumunda aşağıdaki önlemler alınmalıdır
 - Boru et kalınlıkları, gerekenden büyük seçilmeli; gerekirse beton kaplama yapılmalıdır.
 - Dayanıklı malzemeler seçilmeli.
 - Epoksi ve diğer kaplama malzemeleri kullanılmalı.
 - Galvanik korrozyona karşı katodik koruma yapılmalı
- Çökeltme tankında ve ıslak hacimlerde gerekenden uzun kalma süresi, anaerobik şartların (kötü koku, korozyon vb.) oluşumuna sebep olur.
- Havalandırma cihazı tipleri dikkatle seçilmelidir.
- Havuz ve lagün inşaatlarında zemin sıkıştırması, uygun şevler ve seddeler yapılır.
- Kanalizasyon sistemine sızıntı suyu girişi önlenmelidir. Sızıntı, (1) debinin artmasına, (2) tuzluluğun artmasına ve (3) seyrelmeyle atıksu karakterinin değişmesine yol açar.
- Bakım ve işletmenin düzgün yapılması sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

(1) Soli J. Arceivala, 2002. Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Tata McGraw –Hill Publishing company limited.

14. ENDÜSTRİYEL KİRLLENME KONTROLÜ

14.1. Endüstriyel Atıksu Kaynak ve Özellikleri

14.1.1. İstenmeyen Atık Özellikleri

Endüstrinin yapısı ve alıcı ortamın planlanan kullanım amacına bağlı olarak atıksudaki bazı maddelerin deşarjdan önce uzaklaştırılması gerekir. Bunlar şöyle özetlenebilir:

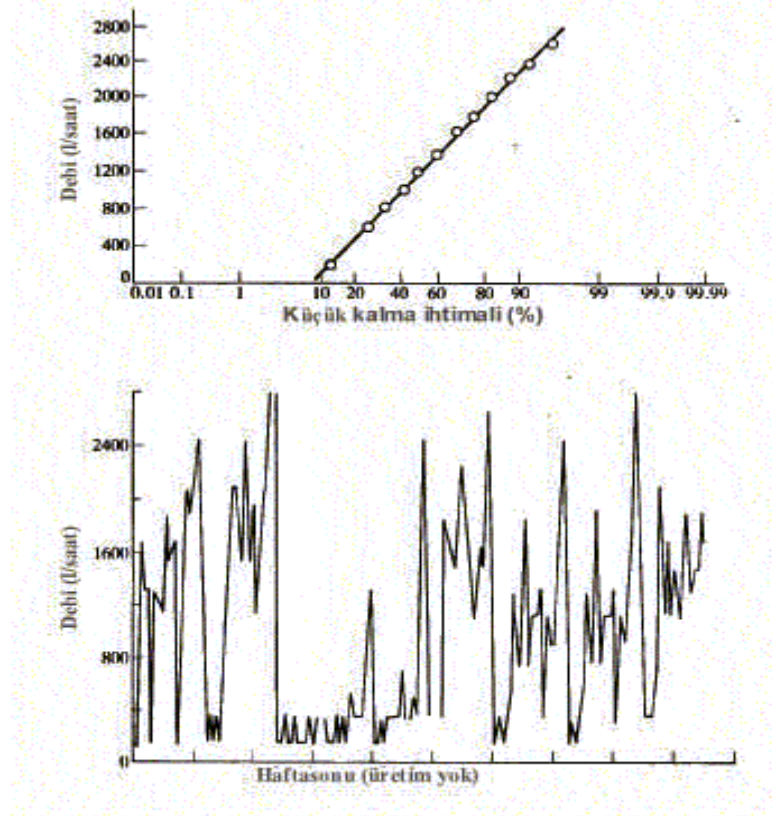
- Çözünmüş oksijenin azalmasına neden olacak çözünmüş organik maddeler. Tüm alıcı sularda minimum çözünmüş oksijen seviyesini sağlamak üzere alıcı ortamdaki çözünmüş organiklerin miktarları sınırlandırılmıştır.
- Askıda katılar. Hareketsiz bölgelerde katıların çökmesi su canlılarını etkiler. Organik katı içeren çamur örtüleri bozunma sürecinde oksijen kullanımı ve kötü kokulu gaz çıkışına neden olur.
- Eser organikler. Alıcı su içme suyu olarak kullanılacaksa deşarj edilecek endüstriyel atıksuların fenol ve diğer organik maddeleri içermemesi gerekir. Endüstriyel atıksular bu maddeler giderilmeden deşarj edilmişse ilave su arıtımı gerekir.
- Ağır metal, siyanür, ve toksik organikler. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA) özel limit gerektiren toksik organik ve inorganik kimyasalların bir listesini yapmıştır. Öncelikli kirleticiler olarak adlandırılan bu kirleticiler Tablo 14.1 de verilmiştir.
- Renk ve bulanıklık. Değişik amaçlı su kullanımında zararlı olmamakla birlikte estetik problem arz ederler. Kağıt üretimi gibi bazı endüstrilerde renk giderimi için henüz ekonomik bir yöntem geliştirilmemiştir.
- Azot ve fosfor. Atıksu göl, gölet ve diğer rekreasyonel alanlara deşarj edilecekse azot ve fosfor, ötrofikasyonu hızlandırıp istenmeyen alg büyümesine yol açar.
- Biyolojik ayrışmaya dirençli refrakter maddeler. Belirli bir su kalitesi için bu tür maddeler istenmeyebilir. Deterjanlardan kaynaklanan ABS(alkil benzen sulfonat) biyolojik olarak ayrışmaz ve köpüğe neden olur. Bazı refrakter maddeler de su canlıları için toksiktir.
- Yağ ve yüzen maddeler. Estetiği bozduğundan dolayı yönetmeliklerde kısıtlama getirilmiştir.
- Uçucu maddeler. Hidrojen sülfür ve diğer uçucu organikler hava kirliliği probleminden dolayı yönetmeliklerce kısıtlanmışlardır.

Tablo 14.1. EPA öncelikli kirleticiler listesi (1)

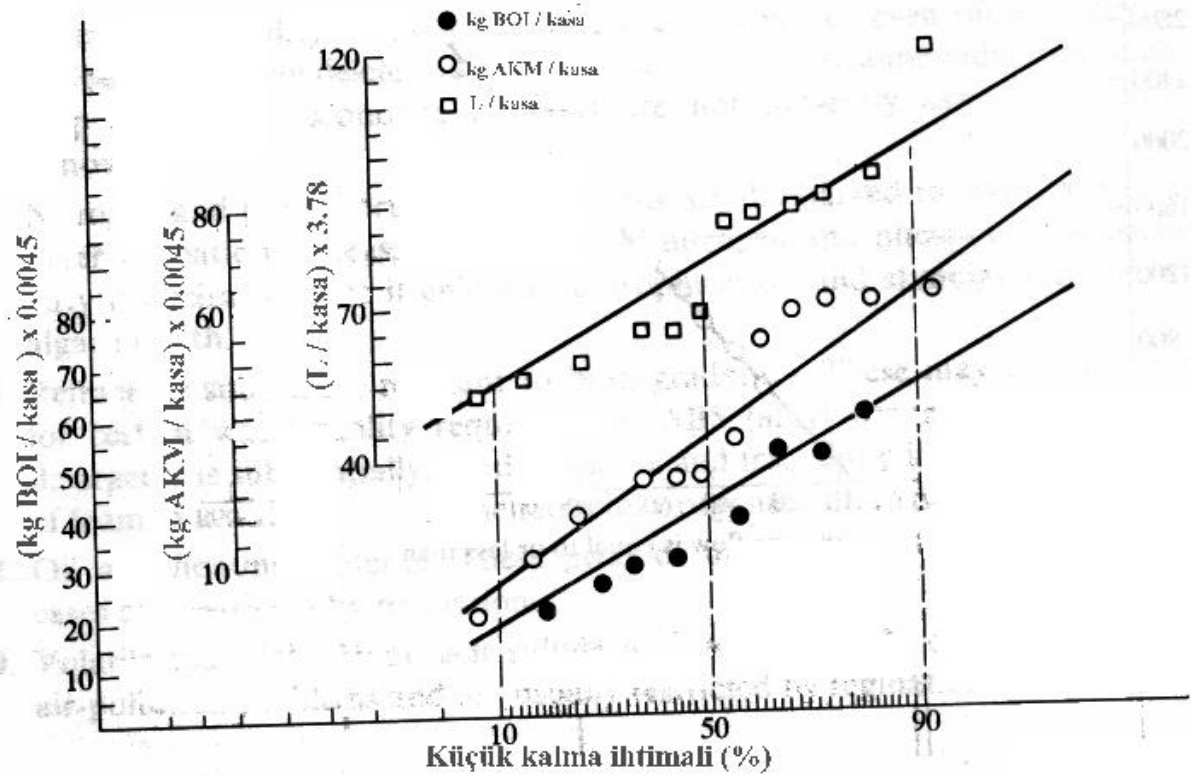
1. Asenaphthen	42. Bis(2-kloroizopropil)eter	79. Benzo(ghi)perilen (1,12-benzoperilen)
2. Akrolein	43. Bis(2-kloroetoksi) metan	80. Floren
3. Akrilonitril	44. Diklorometan	81. Fenantren
4. Benzen	45. Klorometan	82. Dibenzo(a,h)antrasen (1,2,5,6-dibenzantrasen)
5. Benzidin	46. Bromometan	83. Inden(1,2,3-cd) piren (2,3-o-penilenefrin)
6. Carbontetraklorür	47. Tribromometan	84. Piren
7. Klorobenzen	48. Diklorobromometan	85. Tetrakloretilen
8. 1,2,4-Triklorobenzen	49. Trikloroflorometan	86. Toluen
9. Hexaklorobenzen	50. Diklorodiflorometan	87. Trikloroetilen
10. 1,2-Dikloroetan	51. Klorodibromometan	88. Vinil klorür(kloroetilen)
11. 1,1,1-Trikloroetan	52. Heksaklorobütadien	89. Aldrin
12. Hexakloroetan	53. Heksaklorosiklopentadin	90. Dieldrin
13. 1,1-Dikloroetan	54. Izopron	91. Klordan
14. 1,1,2-Trikloroetan	55. Naftalin	92. 4-4'-DDT
15. 1,1,2,2-Tetrakloroetan	56. Nitrobenzen	93. 4,4'-DDE (p,p'-DDX)
16. Kloroetan	57. 2-Nitrofenol	94. 4,4'-DDD(p,p'-TDE)
17. Bis(klorometil)eter	58. 4-Nitrofenol	95. α -Endosulfan-alfa
18. Bis(2-kloroetil)eter	59. 2,4-Dinitrofenol	96. β -Endosulfan-beta
19. 2-Kloroetil vinil eter	60. 4,6-Dinitro-o-kresol	97. Endosulfan sülfat
20. 2-Kloronafthalen	61. N-Nitrozodimetilamin	98. Endrin
21. 2,4,6-Triklorofenol	62. N-Nitrozodifenilamin	99. Endrin aldehit
22. para-Kloro-meta-kresol	63. N-Nitrozodi-n-propilamin	100. Heptaklor
23. Kloroform	64. Pentaklorofenol	101. Heptaklor epoksit
24. Klorofenol	65. Fenol	102. α -BHC-alfa
25. 1,2-Diklorobenzen	66. Bis(2-etilheksil)ftalat	103. β -BHC-beta
26. 1,3-Diklorobenzen	67. Bütil benzil ftalat	104. γ -BHC(lindan)-gama
27. 1,4-Diklorobenzen	68. Di-n-bütil ftalat	105. δ -BHC-delta
28. 3,3'-Diklorobenzidin	69. Di-n-aktıl ftalat	106. PCB-1242(Aroklor 1242)
29. 1,1-Dikloroetilen	70. Dietil ftalat	107. PCB-1254(Aroklor 1254)
30. 1,2-trans-Dikloroetilen	71. Dimetil ftalat	108. PCB-1221(Aroklor 1221)
31. 2,4-Diklorofenol	72. Benzo(a)antrasen (1,2-benzantrasen)	109. PCB-1232(Aroklor 1232)
32. 1,2-Dikloropropan	73. Benzo(a)piren (3,4-benzopiren)	110. PCB-1248(Aroklor 1248)
33. 1,2-Dikloropropilen	74. 3,4-Benzofloranten	111. PCB-1260(Aroklor 1260)
34. 2,4-Dimetilfenol	75. Benzo(k)floroanten (11,12-benzofloranten)	112. PCB-1016(Aroklor 1016)
35. 2,4-Dinitrotoluen	76. Krisen	113. Toksafen
36. 2,6-Dinitrotoluen	77. Asenaftalin	114. 2,3,7,8-Tetraklorodibenzo-p-dioksin (TCDD)
37. 1,2-Diphenilhidrazin	78. Antrasen	
38. Etilbenzen		
39. Fluoranten		
40. 4-Klorofenil fenil eter		
41. 4-Bromofenil fenil eter		

14.1.2. Atıksu Kaynak ve Özellikleri

Endüstriyel atıksuların kirliliği ve hacmi üretim bazında (örn. m³/ton kağıt veya kgBOI/ton kağıt), atıksu karakterindeki değişimler ise istatistiksel dağılım ile verilir. Üretim tesislerinde atıksu akış karakterindeki değişim istatistik yöntemlerle incelenir. Bu değişimin büyüklüğü üretilen ürünün farklılığına, atıksuyun kaynaklandığı proseslere, üretimin kesikli ya da sürekli olmasına bağlıdır. Bu konuda gösterilen özen ve hassasiyet sıçrama dökülme gibi olayları minimize edeceğinden istatistiksel değişkenleri azaltacaktır. Kesikli proseslerde tipik debi eğrileri Şekil 14.1 de, atıksu debi ve karakterindeki günlük değişimler ise Şekil 14.2 de verilmiştir.



Şekil 14.1. Kesikli bir üretimde debi değişimleri



Şekil 14.2. Bir domates işleme tesisinde debi ve atıksu karakterindeki günlük değişimler

Aynı üretimi yapan tesislerin atıksu debi ve karakterinde de değişimler olabilir. Bunun nedeni de üretim prosesindeki farklılıklar, geri kazanım uygulamaları ve bakımdır. Bu yüzden de her fabrika için atıksu yükü ve değişimini saptamak üzere karakterizasyon çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Endüstriyel Atık Araştırması

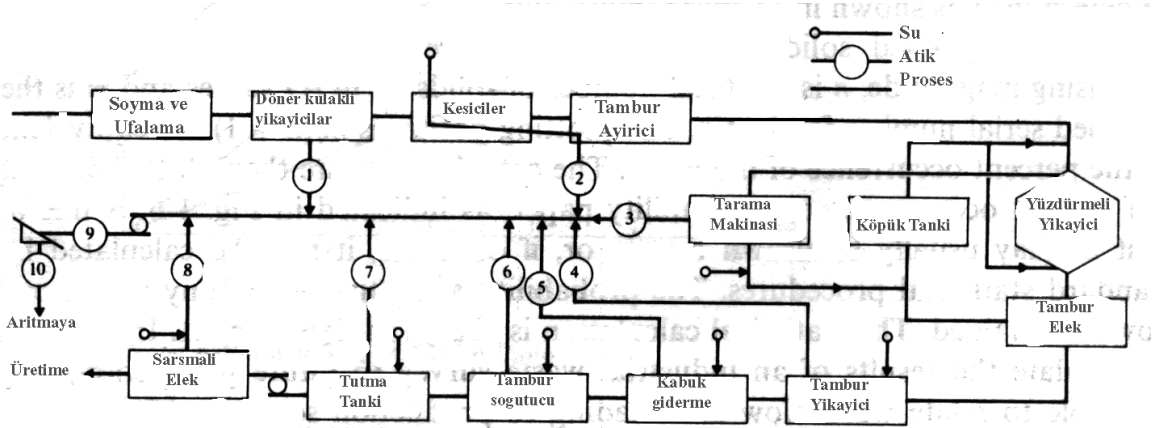
Endüstriyel atık araştırması, su kullanan ve atık üreten tüm proseslerin kütle dengesini ve belirli proseslerde ve tüm tesiste atık karakteristiklerindeki değişimleri içeren bir prosedürdür. Bunun sonunda suyun korunması ve tekrar kullanımı olasılıkları ile arıtma tesisine gidecek atıksuyun debi ve kirliliğindeki değişimler belirlenir. Gerekli bilgileri minimum emek ile gerçekleştirmek için takip edilecek genel prosedür dört adımda özetlenebilir:

1. Fabrikadaki bir mühendisin yardımı ile proses bazında kanal sistemin haritası hazırlanır. Bu harita örnekleme istasyonları ve beklenen atıksu debilerini içermelidir.
2. Örnekleme ve analiz çizelgesi hazırlanır. Debiyle orantılı, sürekli örnek alınması en iyi yöntemdir ancak bu tarz örnek alma yerine göre uygun olmayabilir. Kompozit örneğin periyodu ve örnekleme sıklığı o prosese göre belirlenir. Bazı sürekli proseslerde 8, 12 veya 24 saat boyunca saatlik örnekleme yapılır. Çok dalgalanma gösteren proseslerde ise 1 veya 2 saatlik kompozit alınıp analiz edilmesi gerekebilir. Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde belli kapasitede dengeleme ve depolama kapasitesi olduğundan daha sık örnekleme nadiren gerekir. Kesikli prosesler ise kesikli deşarj sırasında kompozitlenmelidir.

Örneklerde yapılacak analizler analizin karakterine ve amacına bağlıdır. Örneğin, pH anlık örneklerde ölçülmelidir. Çünkü bazı durumlarda kompozitleme ile çok asidik veya bazik sular nötralize olarak tasarımda yanlış bilgiye neden olabilir. Kısa kalış süreli biyolojik arıtma tesisi tasarımı söz konusu olduğunda BOI yüklerindeki değişimler, 8 saatten daha kısa kompozit örnek alımını gerektirebilir. Havalandırılmalı lagünlerde ise 24 saatlik kompozit yeterli olmaktadır. Azot ve fosfor, gerekli besin elementi ihtiyacını belirlemek amacıyla ölçülüyorsa, biyolojik sistemin belirli derecede tampon kapasitesi olduğundan 24 saatlik kompozitte ölçülmesi yeterlidir. Biyolojik sistem için toksik deşarjlar istisnadır. Bazı toksik maddelerin tek dozu biyolojik prosesi bozacağından bu tür maddelerin sürekli ölçülmesi gerekir. Toksik maddelerin mevcut olması durumunda arıtma tesisinde ayrıca dikkate alınmaları gerekir.

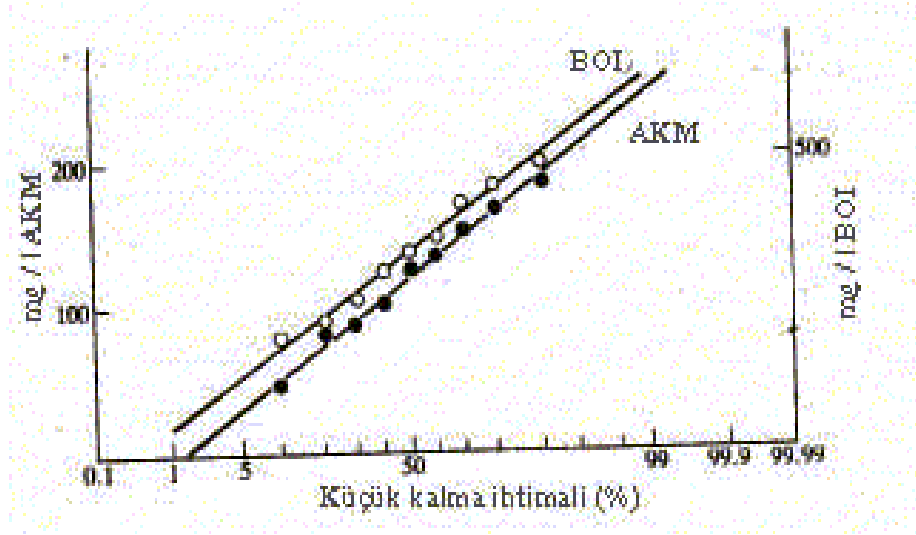
Debi ölçüm ve hesabı Bölüm 1 ve Bölüm 2' de ayrıntılı olarak verilmiştir.

- Atıksu debi dengesi çizelgesi hazırlanır. Datalar toplanıp analizler yapıldıktan sonra tüm önemli atıksu kaynaklarının dikkate alındığı su denge diyagramı hazırlanır. Bir mısır işleme prosesi su denge diyagramı Şekil 14.3 de verilmiştir.



Şekil 14.3. Mısır işleme tesisi akış-madde denge diyagramı

- Önemli atık karakterlerindeki istatistiksel değişimler oluşturulur. Bazı atık karakteristiklerindeki değişimler atıksu arıtma tesisi tasarımı çok önemlidir. Bu tür verilerin eklenik olasılık dağılımlarını veriler olasılık eğrisi olarak oluşma gösteren özel grafikler hazırlanmalıdır. Bu şekilde hazırlanmış bir grafik Şekil 14.4 de verilmiştir.



Şekil 14.4. Ham atıksuda BOI ve AKM'nin eklenik olasılık dağılımı

14.1.3. Su Tekrar Kullanımı ve Kaynakta Atık Kontrolü

Endüstriyel proseslerde, ürün kalite kontrolü ile tekrar kullanım için üst limit belirlenir. Örneğin kağıt endüstrisinde kapalı sistem su devresinde çözünmüş organik maddeler her bir çevrimde bir miktar daha artarak birikirler. Bu da kabuk kontrol maliyetini yükseltir, kağıt makinelerinin kapalı kalma sürelerini arttırır, bazı durumlarda da kağıt stoklarında renk bozulmalarına neden olur. Maksimum geri kazanım bu problemler ortaya çıkmadan önce gerçekleşir.

Tekrar kullanım söz konusu olduğunda suyun kullanılacağı amaca göre arıtma seviyeleri de farklı olur. Kağıt makineleri duş sularında püskürtme uçlarında tıkanmaya neden olmamak için tekrar kullanılacak suda katıların giderilmesi gerekir. Domates işleme tesislerinde domates yıkama suyunun saf olması gerekmez, ancak mikrobiyolojik kirlenmeye yol açmamak üzere dezenfeksiyon gerekir.

Yan ürün geri kazanımı genellikle su tekrar kullanımı ile birlikte olur. Kağıt üretiminde elyaf geri kazanımı arıtılmış suyun tekrar kullanımına olanak verir. Kaplama tesislerinde yıkama sularının iyon değiştirmeye tabi tutulması ile tekrar kullanılabilir kromik asit elde edilir. Endüstride buna benzer birçok durum vardır.

Bira üretiminde su tasarrufu 3. yıkamanın kaynatmada ve sonraki yıkamanın fiçi temizlemede kullanımı ve soğutma suyunun temizleme amacıyla kullanımı ile sağlanır. Toplam atık yükü, atık taneciklerin yarı kuru vaziyette ayrılması, mayanın fermentörlerden filtrasyon ve kurutma için uzaklaştırılması ve soğuk depolama tanklarında çökeltilinin çamur halinde uzaklaştırılması ile azaltılabilir. Birçok durumda bu operasyonlar sonucu ticari değeri olan yan ürünler elde edilir.

Rafinerilerde kullanılmış kostik çözeltisi yüksek konsantrasyonda sülfür, merkaptan ve fenolat içerir. Bu atığın arıtma tesisine verilmeksizin bağımsız olarak arıtımı, arıtma tesisi maliyetini önemli ölçüde düşürerek ticari değeri olan ürüne dönüştürülebilir.

Bir çok kimyasalın üretildiği bir organik kimya endüstrisinde detaylı bir atık yükü azaltma çalışması sonucu kaynakta atık kontrolü ile 42,000 m³/gün debi ve 25,300 kgBOI/gün lük BOI yükü 31,400 m³/gün ve 16,800 kgBOI/gün'e indirilmiştir (1). Bu sonuca ulaşmak için yapılmış çalışmalar Tablo 14.2 de verilmiştir.

Tablo 14.2. Atık yükü azaltmak için proses içi değişiklikler (1)

Değişiklik	Açıklama	Toplam azalan atık yükü, %
Ekipman revizyonu ve ilavesi		25
Ünitenin kapatılması	Eski ünite veya üründen dolayı ünitenin kapatılması. Bu kapatmalar kirliliğin sonucu değildir ancak kirlilikten dolayı hızlandırılmıştır.	10
Sıyırıcının değiştirilmesi	Çıkış gazlarının yakılması sırasında amin çıkışına neden olan sıyırıcının değiştirilmesi	3
Ayırma, toplama ve yakma	Belirli konsantre atıksu akımları	35
Ham maddeyi değiştirme		3
Tekrar proses etme	Belirli proseslerdeki yan akımları daha çok ürün geri kazanma ve atıksu akımını konsantre etmek üzere toplama ve ilave işleme tabi tutma	
Diğer bazı projeler	Tek tek büyük çapta atık azalmasına neden olmayacak çeşitli değişiklikler	21

Proses düzenlemeleri ile bazı atıksu akımları azaltılabilir veya ortadan kaldırılabilir. Buna en çarpıcı örnek boyama hatlarında tasarruflu ve spreyci yıkamalı tankların kullanımıdır. Bu sayede atıksu debi ve konsantrasyonunda belirgin bir düşme sağlanır. Süt endüstrisinde sızıntıları toplayacak şekilde ekipman değişiklikleri atıksu kanalına gidecek BOI yükünün azalmasına neden olur. Tekstil üretiminde haşılama maddesinin değiştirilmesi arıtma girecek net kirlilik yükünün düşmesini sağlar.

Bunların dışında çeşitli endüstrilerle ilgili bir çok örnek mevcuttur. Su tekrar kullanımı ve yan ürün geri kazanımı olanakları ile ilgili olarak atıksu arıtma gereksinimleri geliştirilmeden önce kirlilik profili analizi yapılmalıdır.

Arıtma tesisi tasarım kriterleri geliştirilmeden önce bazı atıkların ayrılması dikkate alınmalıdır. Bazı eski tesislerde bu ekonomik veya mümkün değildir. Bazı atıkların birleştirilmesinin tehlike arz edeceği durumlarda ayırma gerekebilir. Örneğin kaplama endüstrisinde asidik metal banyosu atıklarının siyanürlü sularla karışması sonucunda toksik HCN oluşur.

Endüstrilerde, atıksu akımının bir bölümünün askıda katı yükünün büyük bir bölümünü oluşturması gibi durumlarda sadece atıksuyun bu bölümünde AKM giderimi yapılması gerekir.

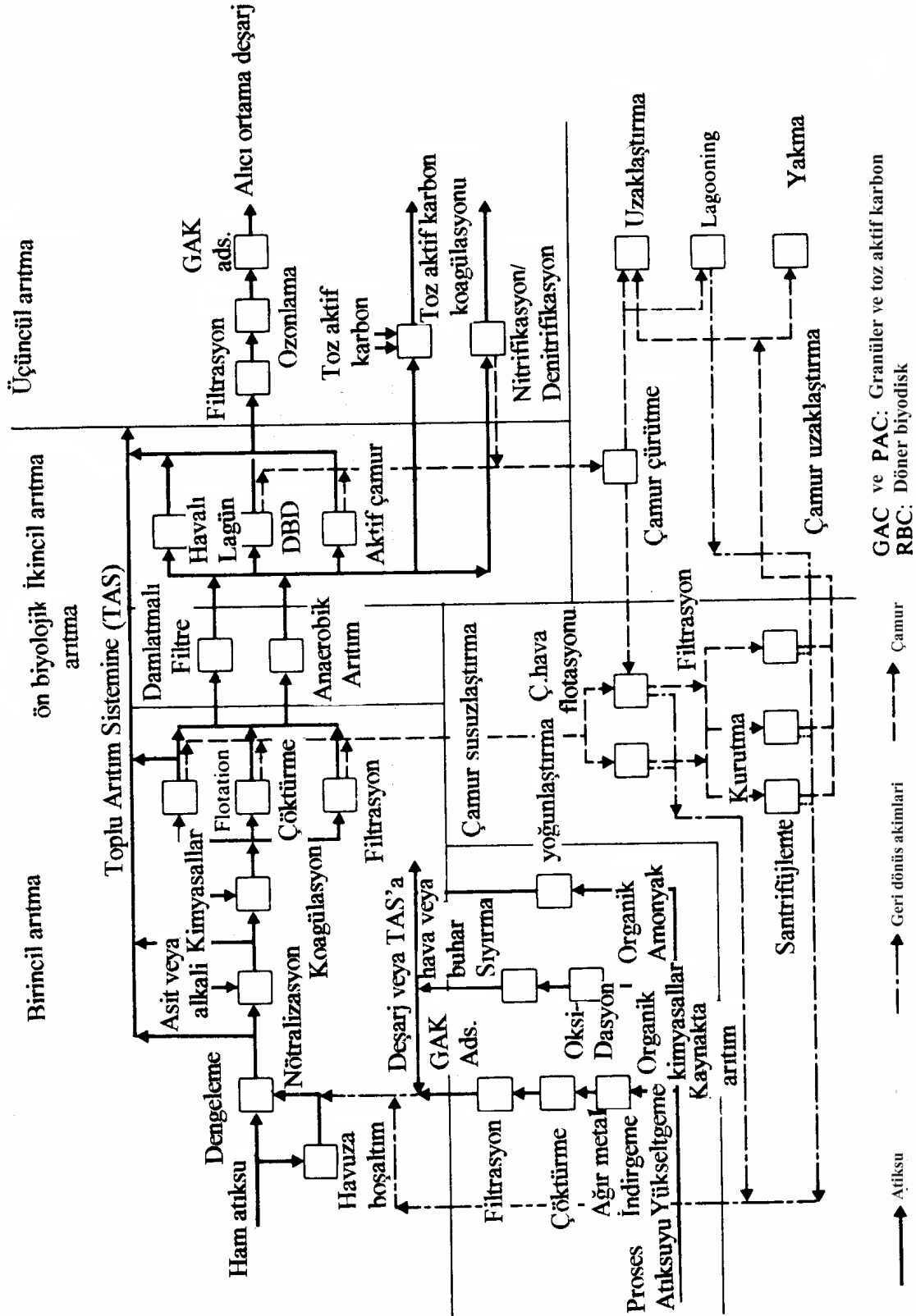
Soğutma suları gibi kirlenmemiş sular ayrılarak alıcı ortama doğrudan deşarj edilirler.

Atıksu tekrar kullanımı, yan ürün geri kazanımı ve atık ayrılması, atık arıtımı proses tasarımı için temel teşkil edecek revize kütle dengesi-akış diyagramının oluşmasını sağlayacaktır.

14.2. Atıksu Arıtma Prosesleri

Şekil 14.5 çeşitli karakterde atıksuları arıtabilecek kapasiteye sahip entegre bir sistemin şematik diyagramını göstermektedir. Şekilde merkezde klasik birincil ve ikincil arıtma prosesleri bulunmaktadır. Üçüncül arıtım ve bazı atıksuları arıtan özel arıtma sistemleri de şemada yer almaktadır.

Toksik olmayan atıklar birincil ve ikincil arıtma sistemlerinde arıtabilmekte, diğer atıksular ise ancak ön arıtmadan geçirildikten sonra bu sistemlere verilmektedir. Birincil arıtmada atıksu biyolojik arıtıma uygun özelliğe getirilir. Büyük katı parçacıklar tutulur ve kum ayrılır. Dengeleme, atıksuyun debi ve konsantrasyonundaki zamana bağlı değişimleri dengeler. Gerekğinde dengeleme tankından sonra atıksuyun pH'ı nötralize edilir. Yağ, gres ve askıda katılar, yüzdürme, çöktürme ve filtrasyon ile giderilir. İkincil arıtma, BOI olarak 50-1000 mg/l aralığındaki çözünmüş organik bileşiklerin biyolojik parçalanmasıdır. Bu işlem aerobik proses olup genellikle açık ve havalandırılan havuz veya lagünlerde yapılır. Bazı durumlarda (kuvvetli organik atıksularda) atıksu anaerobik reaktörlerde ön arıtmadan geçirilebilir. Biyolojik arıtmadan sonra mikroorganizma ve diğer askıda katıdan oluşan çamur çöktürülür. Bu çamurun bir kısmı prosese geri döndürülür, fazla çamur ise sistemden uzaklaştırılır.



Şekil 14.5. Endüstriyel atıksu arıtımı için alternatif teknolojiler

Birçok arıtma sistemi, birincil ve ikincil arıtmayı içermekte olup aynı zamanda mikroorganizma için toksik olan maddeleri de giderebilmekteydi. Ancak günümüzde alıcı ortam canlıları üzerinde toksik etkisi olan öncelikli kirletici ve kalıntıları arıtabilmek önem kazandığından bunun için ya yeni sistemler tasarlanmalı veya eski kurulu sistemlere uygun yeni üniteler eklenerek mevcut sistemin kapasitesi arttırılmalıdır.

Üçüncül arıtma prosesleri, bazı özel bileşenlerin giderilmesi için biyolojik arıtmadan sonra sisteme eklenir. Örneğin filtrasyon, askıda ve kolloidal katıların gideriminde; granüler aktif karbon organiklerin adsorpsiyonunda; kimyasal oksidasyon da gene organiklerin gideriminde kullanılırlar. Üçüncül arıtma sistemleri büyük hacimlerdeki atıksuları arıtmak durumunda olduklarından dolayı oldukça pahalıdırlar. Kirleticiye özel olmadıkları için bazı durumlarda verimsiz de olabilmektedirler. Örneğin; diklorofenol, ozonlama veya granüle aktif karbon ile giderilebilir, ancak bu prosesler aynı zamanda diğer birçok organikleri de giderecektir.

Biyolojik arıtmayı engelleyen ağır metal, pestisit gibi maddeler bakımından zengin atıksular için kaynakta arıtım gerekmektedir. Biyolojik olarak parçalanmayan özel maddeleri içeren daha düşük hacimli atıksuları arıtmak seyrelmiş ancak büyük hacimli atıksuları arıtmaktan hem daha kolay, hem de daha ekonomiktir. Kaynakta arıtım için kullanılan prosesler çöktürme, aktif karbon adsorpsiyonu, kimyasal oksidasyon, hava veya buharlı sıyırma, iyon değiştirme, ters osmoz, elektro diyaliz ve ıslak hava oksidasyonudur.

Mevcut arıtma sistemlerinin kapasitelerini arttırmak ve verimlerini yükseltmek için proseste bazı değişikliklerin yapılması, pratikte sık uygulanan bir durumdur. Bunun bir örneği mikroorganizmaların parçalayamayacağı organikleri adsorbe etmek için biyolojik arıtma sistemine toz aktif karbon ilave edilmesidir. Diğer bir örnek ise, biyolojik arıtmadan sonra atıksudaki fosfor ve kalıntı askıda katıların koagülasyonla giderimidir.

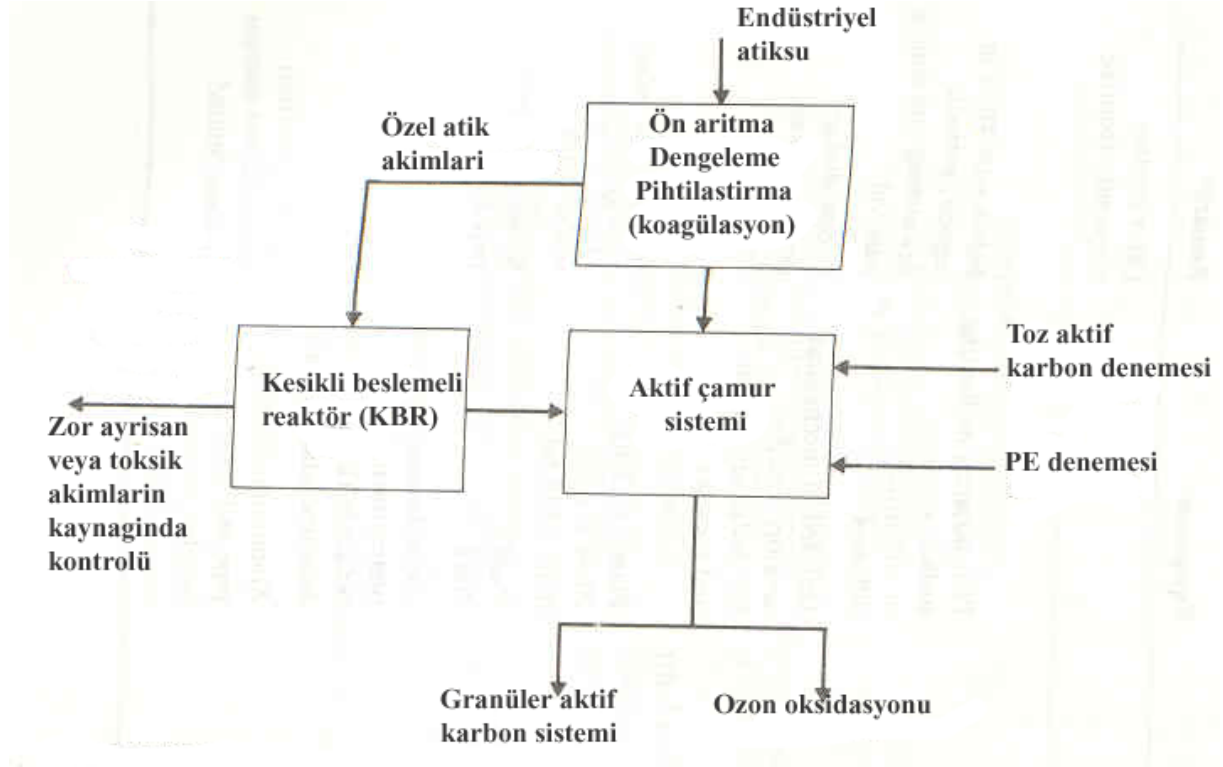
Atıksu arıtma proseslerinin veya proses kombinasyonlarının seçimi aşağıdaki kriterlere bağlıdır;

- Atıksu karakteri: Bu, kirleticinin askıda, koloidal veya çözünmüş, biyolojik parçalanabilen gibi hangi formda olduğunu ve toksisitesini kapsamalıdır.
- Çıkış suyu kalitesi: Çıkış suyunun zehirlilik (bioassay) deney sonuçları gibi ileriye yönelik istenebilecek deşarj kısıtlamalarına da planlamada yer verilmelidir.
- Herhangi atıksu arıtma problemi için mevcut yer ve maliyet: İstenen arıtma verimine çoğu zaman bir veya daha fazla arıtım kombinasyonu ile ulaşılabilir. Ancak bu seçeneklerden yalnızca bir tanesi en ekonomiktir. Bu nedenle proses tasarımına geçmeden önce detaylı bir fizibilite analizi yapılmalıdır.

Birçok durumda atıksuyun özellikleri saptandıktan sonra ya belirlenen tasarım parametreleri kullanılarak ya da laboratuvar veya pilot ölçekli deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar kullanılarak proses tasarım kriterleri belirlenir. Buna örnek olarak, bir tekstil fabrikası atıksuyunun arıtma sistemi tasarımı için yapılan laboratuvar çalışmaları verilebilir. Kimyasal arıtmada en uygun kimyasalı bulmak ve ulaşılacak optimum verimi saptamak önemlidir. Bu nedenle çeşitli kimyasalların denenmesi sonucunda alum ve kirecin birlikte kullanımında %42 KOİ giderimine ulaşılmıştır (2). Benzer deney diğer sektörlerin atıksuları için de uygulanabilir. İkinci bir örnek de yüksek konsantrasyonlu alkaloid fabrikası atıksuyunun kimyasal arıtılmasıdır. Ancak bu durumda alum toplam organik karbonun (T:OK) %10'unu giderebilmiştir (3). Bu atıksu için mevcut biyolojik arıtma sisteminin işletme şartları tekrar belirlenerek iyileştirme yapılmış ve 1. ve 2. kademe biyolojik arıtmada sırasıyla %98 ve %96

BOI arıtım verimlerine ulaşılmıştır. Kimyasal arıtılmış tekstil atıksuyunun biyolojik arıtımında ise laboratuvar sonuçlarına göre %90 KOI arıtım verimi elde edilmiştir. Bu değerleri sağlayan tasarım kriterleri belirlenerek sistemin tümünün tasarımı yapılabilmektedir.

Toksik ve toksik olmayan organik ve inorganikleri içeren kompleks kimyasal atıksuların arıtılması durumunda uygun arıtma sistemini seçebilmek için daha sıkı eleme yapmak gerekir (Şekil 14.6). Burada not edilmesi gereken önemli bir konu, biyolojik arıtmadan önce ağır metallerin giderilmesi gerektiğidir. Ağır metaller biyolojik proses için toksik olabilir ve çamurda birikebilir. Bu durum çamur uzaklaştırmada da problemlere yol açabilir.



Şekil 14.6. Endüstriyel atıksu arıtım teknolojisi seçiminde yöntem değerlendirme (1).

Kimyasal atıkların arıtım alternatifleri Tablo 14.3'de özetlenmiştir. Biyolojik atıksu arıtımı için alternatifler de Tablo 14.4'de verilmiştir. Klasik atıksu arıtma proseslerinin kullanılması durumunda ulaşılabilecek en düşük arıtılmış çıkış suyu kalitesi verileri de Tablo 14.5'de gösterilmiştir.

Tablo 14.3. Kimyasal arıtma teknolojileri (1).

Arıtma Metodu	Atık tipi	İşletme şekli	Arıtım derecesi	Yorum
İyon değişimi	Kaplama, nükleer	Reçine rejenerasyonlu sürekli filtrasyon	Demineralize su ve ürün geri kazanımı	Rejenerantta nötralizasyon ve katı madde giderimi
İndirgeme ve çöktürme	Kaplama, ağır metal	Kesikli veya sürekli arıtım	Askıda koloidal maddelerin tam giderimi	Kesikli arıtma için 1 günlük kapasite; Sürekli arıtma için 3saat kalma zamanı; Çamur uzaklaştırma veya susuzlaştırma gerekebilir.
Koagülasyon	Karton, rafineri, kauçuk, boya, tekstil	Kesikli veya sürekli arıtım	Askıda koloidal maddelerin tam giderimi	Flokülasyon ve çöktürme tankı veya çamur (blanket) yatağı; pH kontrolü gerekebilir.
Adsorpsiyon	Toksik ve organikler, zor ayrışan bileşikler	Toz karbonlu granüle kolon	Birçok organikte tam arıtım	Toz karbon aktif çamur prosesinde kullanılır
Kimyasal oksidasyon	Toksik ve zor ayrışan bileşikler	Kesikli veya sürekli ozon veya katalizlenmiş hidrojen peroksit	Kısmi veya tam oksidasyon	Organiklerin daha çok biyolojik parçalanabilir olması için kısmi oksidasyon

Tablo 14.4. Biyolojik arıtma teknolojileri (1).

Arıtma metodu	İşletme şekli	Arıtım derecesi	Alan gereksinimi	Ekipmanlar	Yorum
Stabilizasyon havuzları	Aralıklı veya sürekli deşarj; fakültatif veya anaerobik	Aralıklı	Kazılı toprak; 10-60 gün kalma zamanı	-	Sık olarak koku kontrolü
Havalandırılmalı lagünler	Tam karışımli veya fakültatif sürekli havuzlar	Yazın yüksek; kışın düşük verim	Toprak havuz, 2.44-4.88m derinlik; 8.55-17.1m ² /m ³ .gün	Sabit veya yüzen yüzey havalandırıcılar, veya difüzörler	Lagünde katı madde giderimi; periyodik susuzlaştırma ve çamur giderimi
Aktif çamur	Tam karışım veya tampon akışlı; çamur geri devirli	%90 organik giderimi	Toprak veya beton havuz; 3.66-6.1m derinlik; 0.561-2.62m ³ /m ³ .gün	Difüzörlü veya mekanik havalandırıcılar; çamur ayırma ve geri devir için çöktürme	Fazla çamur susuzlaştırılır ve atılır
Damlatılmalı filtre	Sürekli uygulama; çıkış geri devri gerekebilir	Yüklemeye bağlı olarak kesikli veya yüksek	5.52-34.4 m ² /10 ³ m ³ .gün	6.1-12.19m'ye kadar plastik dolgu	Şehir AAT veya aktif çamurdan önce ön arıtım
Döner biyodisk	Çok kademeli sürekli	Aralıklı veya yüksek	-	Plastik diskler	Çamur giderme gerekebilir
Anaerobik reaktörler	Geri devirli tam karışım; yukarı veya aşağı akışlı filtre, akışkan yatak; yukarı akışlı çamur blanket	Aralıklı	-	Gaz toplama, ön arıtım gerekebilir	-
Yağmurlama sulaması	Aralıklı besleme	Tam; yer altı suyuna sızma ve yüzey suyuna karışma	6.24x10 ⁻⁷ -4.68x10 ⁻⁶ m ³ /s.m ²	Alüminyum sulama borusu ve spreyci uçları; hareketli	Çamur ayırma atıksız tuz konsantrasyonu sınırlı

Tablo 14.5. Atıksu arıtma proseslerinde ulaşılabilen en iyi çıkış suyu kalitesi (1).

Proses	BOI	KOI	AKM	Azot	Fosfor	TÇK ¹
Çöktürme, %giderim	10-30	-	59-90	-	-	-
Yüzdürme, %giderim ²	10-50	-	70-95	-	-	-
Aktif çamur, mg/l	<25	³	<20	⁴	4	-
Havalandırmalı lagün, mg/l	<50	-	>50	-	-	-
Anaerobik lagün mg/l	>100	-	<100	-	-	-
Derin kuyu A.Ç. Sistemi	Atığın hepsi	-	-	-	-	-
Karbon adsorpsiyonu, mg/l	<2	<10	<1	-	-	-
Denitrifikasyon-nitrifikasyon, mg/l	<10	-	-	<5	-	-
Kimyasal çöktürme, mg/l	-	-	<10	-	<1	-
İyon değişimi, mg/l	-	-	<1	⁵	5	5

¹TÇK: Toplam çözünmüş katı

²Kimyasal kullanılması durumunda daha yüksek giderim elde edilir.

³ $KOI_{giriş} - [BOI_u (giderilen)/0.9]$

⁴ $N_{giriş} - 0.054(\text{fazla biyolojik çamur}) \text{ kg}; P_{giriş} - 0.0117(\text{fazla biyolojik çamur}, P_x) \text{ kg}$

⁵ Kullanılan reçine, moleküler durum ve istenen verime bağlıdır.

14.3. Ön ve Birinci Kademe Arıtım

14.3.1. Dengeleme

Dengelemenin amacı, atıksu karakterindeki dalgalanmaları kontrol ederek veya en aza indirerek daha sonraki arıtım prosesleri için optimum şartları sağlamaktır. Atıksu miktarı ve akımındaki değişimler göz önüne alınarak dengeleme havuzunun boyutu ve tipi belirlenir. Endüstriyel arıtmada dengelemenin amacı aşağıdaki gibidir:

1. Organik madde konsantrasyonundaki ani değişimleri dengeleyerek biyolojik arıtma sistemine şok yüklemeyi önlemek.
2. Nötralizasyon için uygun pH kontrolünü sağlamak veya kimyasal gereksinimini en aza indirmek.
3. Fizikokimyasal arıtma sistemine aşırı atıksu girdisini en aza indirmek, kontrollü kimyasal beslemeye uygun ortam hazırlamak.
4. Üretimin olmadığı zamanlarda da biyolojik arıtma sistemine sürekli bir besleme sağlamak.
5. Şehir arıtma sistemine yükü eşit dağıtacak şekilde atık deşarjını kontrollü sağlamak.

6. Toksik maddelerin yüksek konsantrasyonda biyolojik arıtma sistemine girmesini önlemek.

Karıştırma, genellikle dengeleme oluşturmak ve havuzda çökebilan katıların çökmesini önlemek için yapılır. Buna ilave olarak indirgenabilen bileşiklerin oksidasyonu veya BOI giderimi de dengeleme tankında meydana gelebilir. Karıştırma amacıyla uygulanan metotlar:

1. Perdeli karıştırma ve dağıtma,
2. Türbin karışım,
3. Difüzörle havalandırma,
4. Mekanik havalandırma.

Difüzörle havalandırmada gerekli hava ihtiyacı takriben $3.74 \text{ m}^3 \text{ hava/m}^3 \text{ atıksu}$ alınabilir. Dengeleme tankı, giren atıksu debisindeki değişkenliği dengelemek için değiştirilebilir hacimde tasarlanır böylece sabit bir çıkış debisi elde edilebilir. Değişken hacimli havuz düşük hacimli atıksuların kimyasal arıtımı için uygulanmaktadır. Bu tip havuzlar, atıksuyun doğrudan kanalizasyona deşarj edilmesi durumunda da kullanılırlar. Normalde şehir arıtma sistemine düşük debide atıksu girdisi olduğu zamanlarda yüksek debide endüstriyel atıksu deşarjı istenebilir. 24 saat süresince sabit organik yük deşarjı, ideal bir işletme sistemidir.

Dengeleme tankı ya atıksu debisi, ya da konsantrasyonunu veya her ikisini de dengelemek üzere tasarlanabilir.

Atıksu arıtma sisteminden müsaade edilen maksimum çıkış suyu konsantrasyonu göz önüne alınarak da dengeleme tankı boyutlandırılabilir. Örneğin, aktif çamur sisteminde müsaade edilen maksimum çıkış suyu konsantrasyonu eğer 50 mg/l BOI ise, dengeleme havuzundan deşarj edilecek maksimum debi hesaplanır ve buna göre hacim bulunur.

Hemen hemen sabit atıksu debisi ve kirlilik dağılımı olan bir atıksu için gerekli olan dengeleme süresi:

$$t = \frac{\Delta t (S_i^2)}{2(S_e^2)} \quad (14.1)$$

Burada:

Δt = Kompozit örnekleme aralığı, saat

T = dengeleme süresi, saat

S_i^2 = Ham atıksu konsantrasyonu değişimi (standart sapmanın karesi)

S_e^2 = Muhtemel çıkış suyu konsantrasyon değişimi, (örneğin %99 güven seviyesinde beklenen değer)

Aktif çamur veya havalandırılmalı lagünler gibi tam karışımli sistemler kısmen hacim dengeleme amacıyla da kullanılabilirler. Örneğin, tam karışımli havalandırma tankında kalma zamanı 8 saat, dengeleme için gereken toplam kalma zamanı da 16 saat ise, bu durumda yalnızca 8 saatlik kalma zamanlı bir dengeleme tankına ihtiyaç olacaktır.

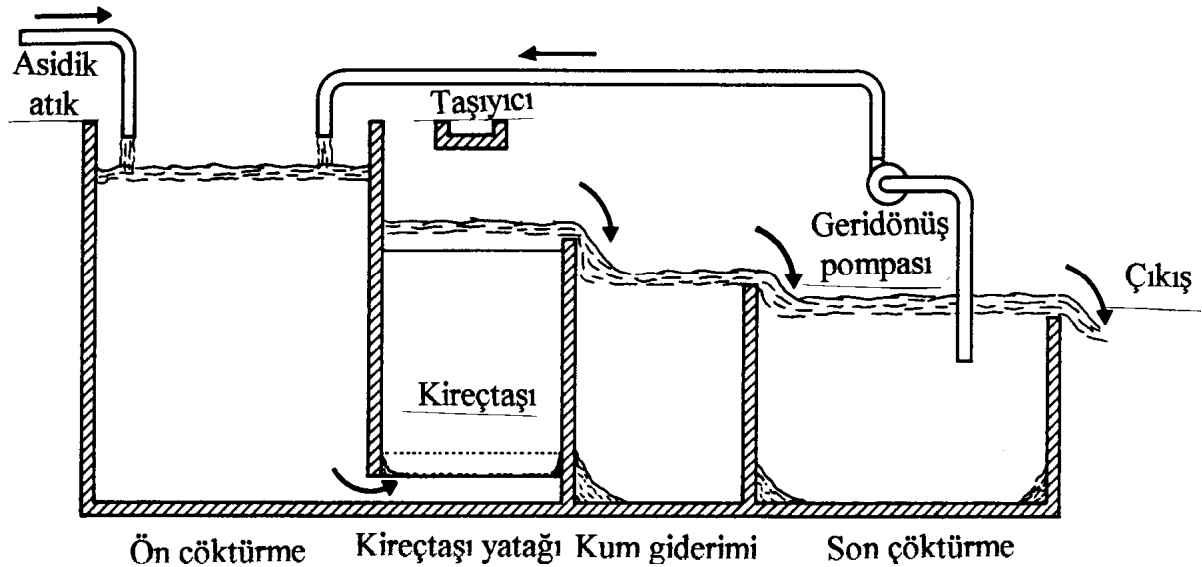
14.3.2. Nötralizasyon

Birçok endüstrinin atıksuyu asidik veya bazik olduğundan alıcı ortama veya kimyasal ve/veya biyolojik arıtma sistemine deşarj edilmeden önce nötralize edilmeleri gerekmektedir. Biyolojik arıtma sisteminde, optimum biyolojik aktivite 6.5-8.5 pH aralığında elde edilir. Biyolojik proste reaksiyon sonucu oluşan CO₂ tampon etkisi gösterir ve nötralizasyon meydana gelir. Bu nedenle, atıksu için gerekli nötralizasyon derecesi biyolojik arıtma sisteminde giderilen BOI miktarına veya atıksudaki asitliğe bağılıdır.

14.3.2.1. Proses Tipleri

Asidik ve Alkali Atıksu Akımlarının Karışımı: Bu tip bir proste istenilen nötralizasyona ulaşmak için dengelemede yeterli kalma zamanı gerekir.

Kireçtaşı Yatağında Asidik Atıksu Nötralizasyonu: Bu, aşağı veya yukarı akışlı sistem olabilir. Aşağı akışlı sistemde yeterli kalma zamanını sağlamak için gerekli maksimum hidrolik yüzey yükü $4.07 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{dk.m}^2$ 'dir. Asit konsantrasyonu, H₂SO₄'ün kabuklanmayı önlemek için kullanılması durumunda en fazla %0.6 olmalıdır. Çok sulandırma veya dolomit kireç taşının kullanılması durumunda etkin nötralizasyon için uzun kalma zamanı gerekir. Yukarı akışlı yataklarda, reaksiyon sonucu oluşan ürünün ortamda çökmeden uzaklaştırılması için hidrolik besleme hızı arttırılır. Kireçtaşı-yatak sistemi Şekil 14.7'de verilmektedir.



Şekil 14.7. Basitleştirilmiş kireçtaşı nötralizasyonu akış diyagramı (1).

Asidik Atıksuyun Kireç ile Karıştırılması: Bu nötralizasyon kullanılan kirecin cinsine göre değişir. Kirecin yapısındaki magnezyum kuvvetli asit çözeltisinde çok reaktif olup pH 4.2'nin altında etkindir. Kireç söndürmede reaksiyon ısı ve karıştırma ile hızlandırılır. Reaksiyon 10 dk da tamamlanır. Bu çözelti, nötralizasyon amacıyla kullanılmadan önce birkaç saat bekletilmelidir. NaOH, Na₂CO₃ veya NH₄OH da atıksu nötralizasyonu için kullanılabilir.

Bazik (Alkali) Atıklar: Herhangi bir kuvvetli asit, bazik atıksuyu nötr yapmada kullanılabilir. Ancak sülfürik asit veya hidroklorik asit olması durumunda fiyatın yüksekliği kullanımı kısıtlayabilir. Reaksiyon çok hızlıdır.

%14 CO₂ içeren gaz nötralizasyonda kullanılabilir. CO₂, atıksudan kabarcık halinde geçerken, karbonik aside dönüşür ve reaksiyona girer. Reaksiyon hızı yavaştır ancak, pH 7-8'in altına düşürülmeyecekse CO₂ kullanımı uygun olabilir. Gazın diğer bir kullanım şekli de dolgu kulelerde atıksu akışının tersi yönünde geçirmektir.

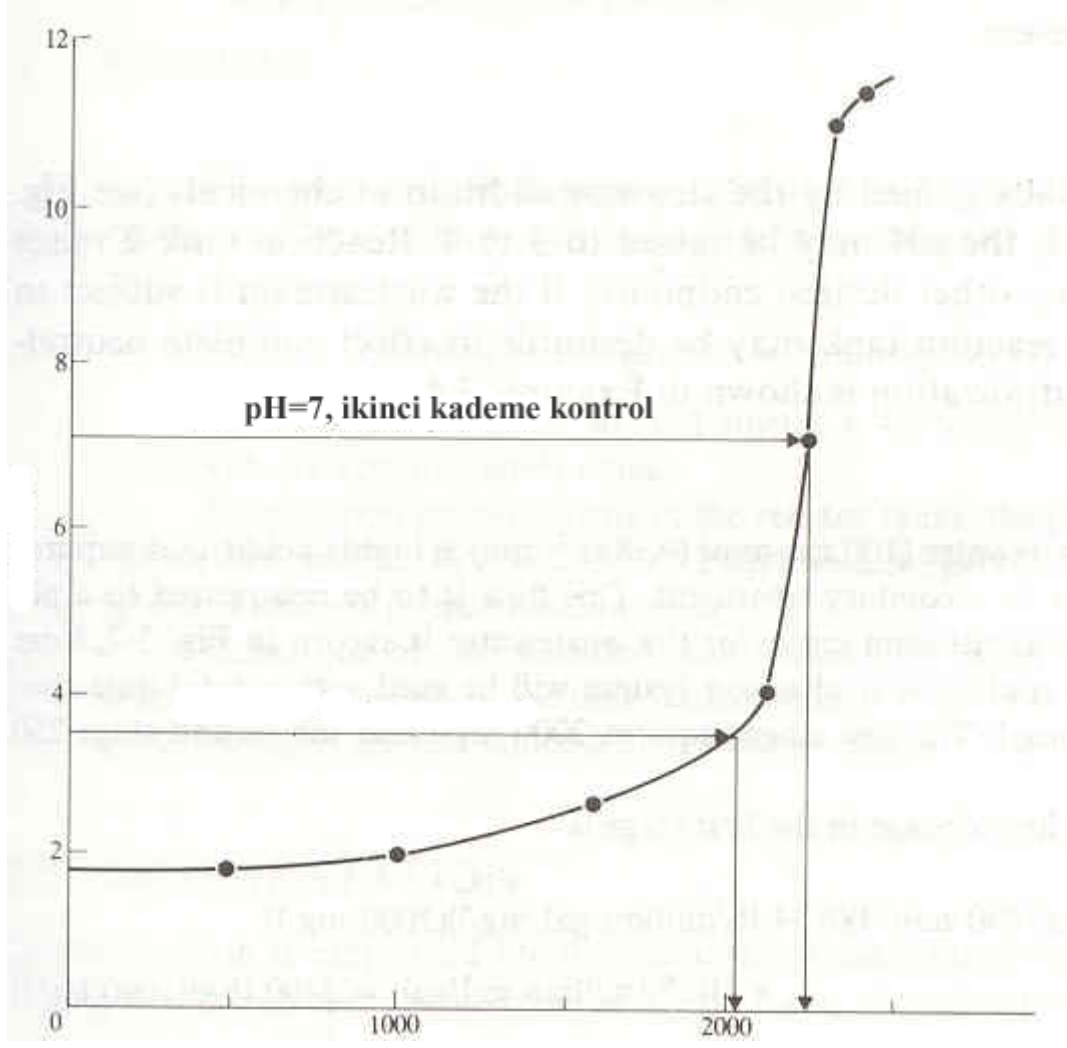
14.3.3. Sistem

Kesikli arıtım, atıksu debisinin en fazla 380 m³/gün olması durumunda kullanılabilir. Sürekli arıtımda hava, karıştırma amacıyla kullanılır ve pH kontrolü otomatik olarak yapılır. Minimum havalandırma hızı 2.7 m sıvı derinliği için 0.3-0.9 m³ hava/dk.m² 'dir.

14.3.4. Proses Kontrolü

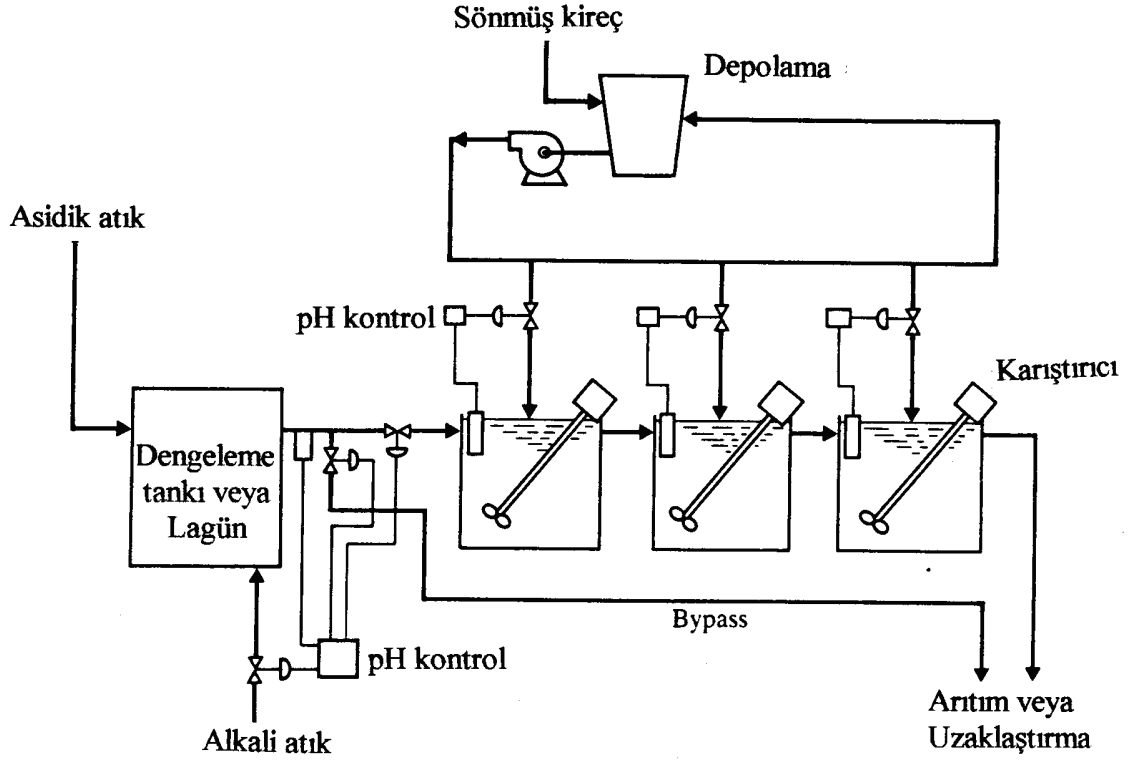
Akış halindeki atıksuda otomatik pH kontrolünün, aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı bazı mahzurları vardır;

1. Kuvvetli asit-kuvvetli baz nötralizasyonunda kullanılan kimyasal madde miktarı ile pH arasındaki ilişki özellikle pH=7 civarında doğrusal değildir. PH kontrolünde titrasyon eğrisi Şekil 14.8'de görüldüğü gibi çok basamaklıdır.
2. Atıksu pH'ının değişim hızı 1 birim pH/ dk'dır.
3. Atıksu debisi birkaç dakikada iki katı olabilir.
4. Atıksuya ilave edilen az miktarlardaki kimyasal madde kısa zamanda ortamda tamamen dağılmalıdır.



Şekil 14.8. Kuvvetli asit için kireç-atıksu titrasyon eğrisi

Kimyasal ilavesinin adım adım yapılması daha iyi sonuçlar verir (Şekil 14.9). 1. reaksiyon tankında, pH önce 3-4'e, 2. reaksiyon tankında da 5-6'ya yükseltilir (veya istenen pH'ya yükseltilir).



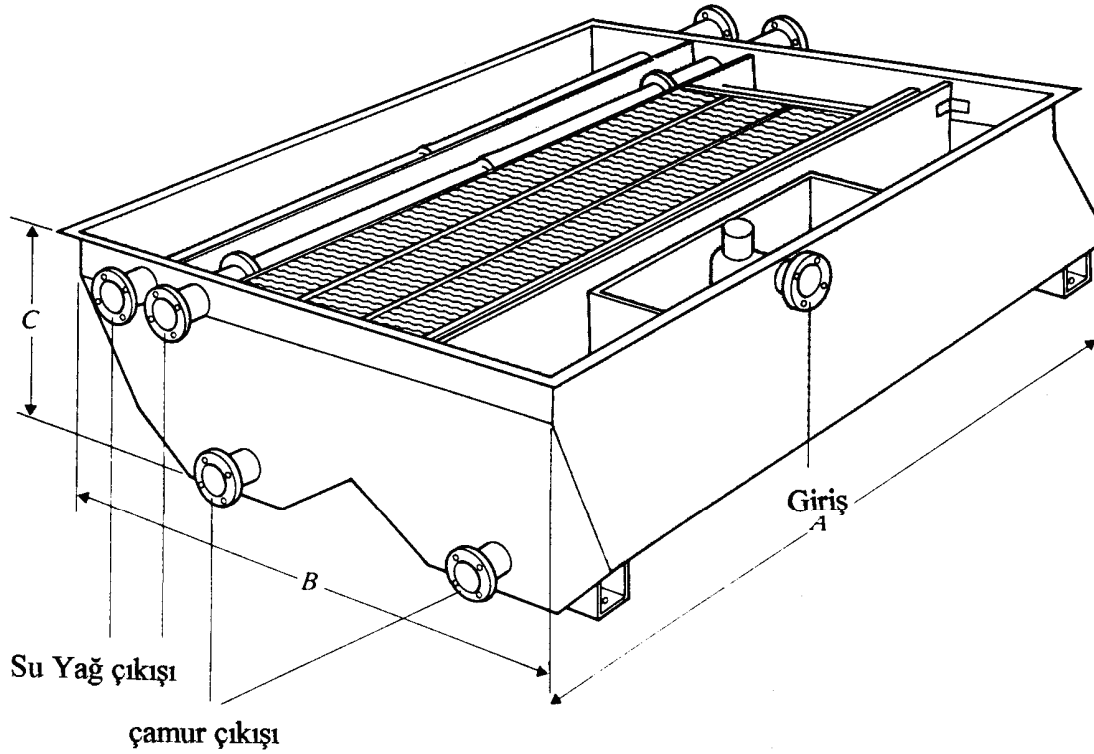
Şekil 14.9. Çok kademeli nötralizasyon prosesi (1).

14.3.5. Yağ Tutma

Yağ tutucuda serbest yağ tankın yüzeyine toplanır ve daha sonra sıyrma ile ortamdan uzaklaştırılır. Graviteli yağ tutucu tasarımı, çapı 0.015 cm'den büyük serbest yağ taneciklerinin giderilmesi esasına dayanır. Verimi arıtılmış atıksuda 50mg/l yağ konsantrasyonudur.

Levhalı (plakalı) yağ tutucu, paralel ve oluklu levhalardan oluşur. Levhalı yağ tutucu, 0.006 cm'den büyük yağ damlacıklarını ayırmak için tasarlanmıştır. Ham atıksuda %1'den az yağ bulunması durumunda levhalı yağ tutucu çıkışında serbest yağ konsantrasyonu 10 mg/l'ye düşmektedir. Burada problem, yüksek yağ yüklemelerinde, yağ taneciğinin kesme kuvvetinden dolayı arıtım veriminin düşmesidir. Bu durumda atıksu girişi oluklu levhanın zıttı yönünde yapılmalıdır. Böylece ayrılan yağ tanecikleri akışın tersi yönünde hareket ederek yükselir (burada levhalar 45° açılı ve 10 cm aralıklı yerleştirilir). Hidrolik yük, sıcaklık ve yağın özgül ağırlığı ile değişir. Yağ 20°C sıcaklık ve 0.9 özgül ağırlığında en düşük debiye sahiptir.

0.5m³/m².saat'lik hidrolik yüklemelerde 0.006 cm boyutundaki yağ damlacıkları tutulmaktadır. Tasarım çalışmalarında emniyet faktörü genellikle %50 uygulanır. Levhalı yağ tutucu Şekil 14.10'da görülmektedir.



Şekil 14.10. Ters akışlı levhalı yağ tutucu (1).

Emülsifiye yağın serbest forma dönüşmesi için emülsiyon özel artımla kırılır ve daha sonra serbest yağ gravite, koagülasyon veya havalı yüzdürme ile tutulur. Emülsiyonun kırılması kompleks bir proses olup pratik uygulamadan önce laboratuvar veya pilot ölçekli deneylerin yapılması gerekir.

Emülsiyon kırmada bir çok teknik kullanılabilir. Örneğin deterjan ile emülsiyon 5-60 dk'da ve %95-98 oranında parçalanabilir. Emülsiyon ortamı asidik yapılarak, alum veya demir tuzları eklenerek veya emülsiyon kırıcı polimerler kullanılarak kırılabilir. Ancak alum veya demir kullanmanın bir sakıncası da çok çamur oluşmasıdır.

14.4. Endüstriyel Atıksu Arıtımı

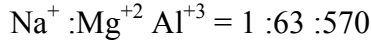
14.4.1. Koagülasyon

Koagülasyon, askıda ve kolloid formdaki atık maddelerin giderilmesinde kullanılır. 1nm (10^{-7}cm) - 0.1nm (10^{-8}cm) boyuttaki parçacıklar kolloid olarak tanımlanırlar. Bu partiküller kendiliklerinden çökelmezler ve klasik fiziksel arıtma yöntemleriyle giderilemezler.

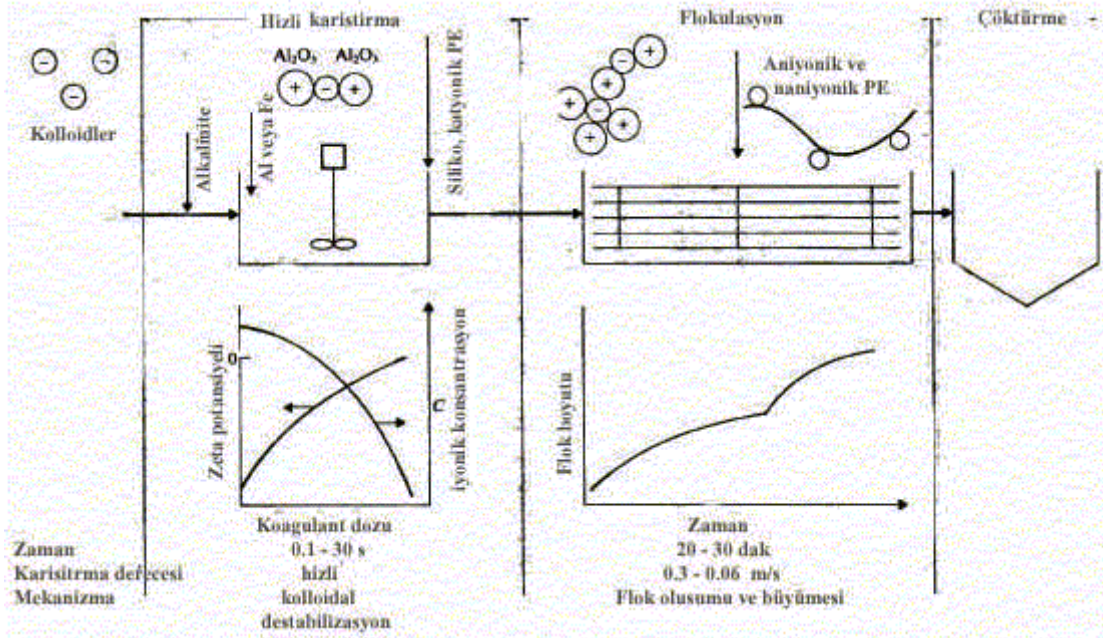
Atıksudaki kolloidler hidrofobik veya hidrofilik olabilirler. Hidrofobik kolloidler (çamur, vs.) sıvı ortama bir yakınlık göstermezler ve elektrolit ortamda kararsızdırlar. Bunlar kolayca koagüle olabilirler. Proteinler gibi hidrofilik kolloidler ise suya yakınlık gösterirler. Absorbe olan su flokülasyonu geciktirir ve bu yüzden etkin bir koagülasyon için özel işlem gerektirir.

Kolloid maddeler elektriksel özelliğe haizdirler. Bu özellikleri itici güç oluşturarak bir araya toplanmayı ve çökmeyi engeller. Kolloid maddelerin kararlılığı itici elektrostatik güçlere, hidrofilik kolloidler durumunda ise koagülasyonu engelleyen su tabakasında çözünmeye bağlıdır.

Kolloid maddelerin kararlılığı önemli ölçüde elektrostatik yüke bağlı olduğundan flokülasyon ve koagülasyon sağlamak için bu yükün nötralizasyonu gerekir. Zeta potansiyeli, elektrostatik yükün büyüklüğü dolayısı ile stabilizasyonun derecesi ile ilgilidir. Kolloid bir çözeltide Stabilizasyonun bozulması dolayısı ile çökmenin sağlanması için zeta potansiyelinin düşürülmesi gerekir. Endüstriyel atıksuların çoğunda kolloid maddeler negatif yüklü olduğundan atıksuya yüksek değerlikli katyon ilavesi ile zeta potansiyeli düşürülür. Arsenik oksidin çöktürülmesinde katyon değerliğinin çöktürme gücüne etkisi aşağıdaki durumda gerçekleşir.



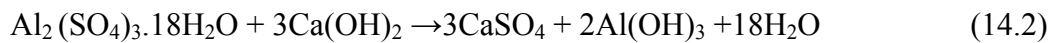
Optimum koagülasyon zeta potansiyeli 0 olduğunda ortaya çıkar, Bu izoelektrik noktası olarak adlandırılır. Etkin bir koagülasyon ± 0.5 mV zeta potansiyeli aralığının üstünde oluşur. Koagülasyon prosesi mekanizması Şekil 14.11 de verilmiştir.



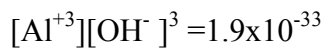
Şekil 14.11. Koagülasyon mekanizması

14.4.1.1 Koagülant Özellikleri

Atık arıtma uygulamalarında en çok kullanılan koagülant alüminyum sülfattır ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$). Alkalinite bulunan bir ortamda suya alum ilave edildiğinde aşağıdaki reaksiyon olur:



Alüminyum hidroksit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ kimyasal formunda olup amfoterik yapıdadır. Yani asit ya da baz gibi davranır. Asidik şartlarda:



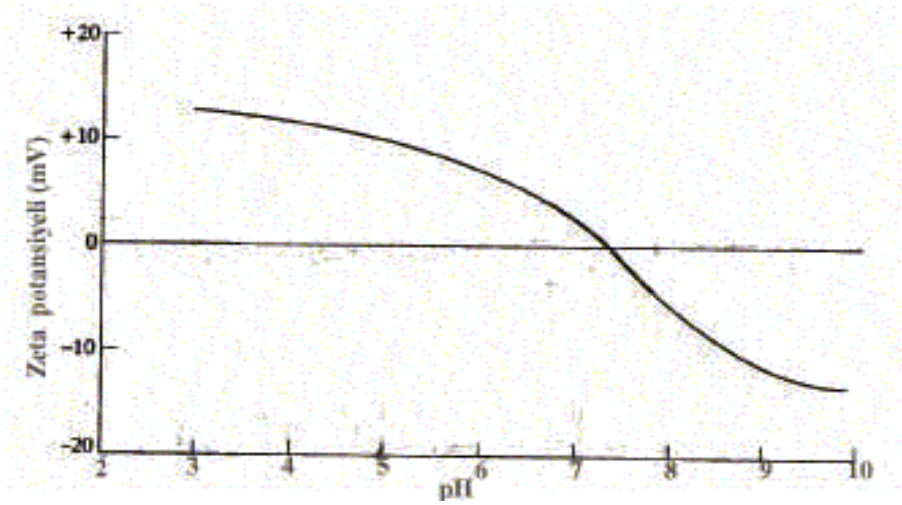
pH 4 de çözeltide 51.3 mg/l Al^{+3} mevcuttur. Alkali şartlarda ise susuz alüminyum oksit çözünür:



$$[AlO_2^-][H^+] = 4 \times 10^{-13}$$

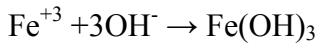
pH 9.0 da çözeltide 10.8 mg/l alüminyum vardır.

Alum flokları pH 7.0 de çok az çözünür. pH 7.6 nın altında flok yükü pozitif, pH 8.2 nin üstünde ise negatiftir. Bu limitler arasında flok yükü karışıktır. Bu ilişki zeta potansiyeline bağlı olarak Şekil 14.12 de verilmiştir.



Şekil 14.12. Alüminyum hidroksit için zeta potansiyeli-pH ilişkisi

Demir tuzları da yaygın olarak kullanılan bir koagülanttır. pH 3.0-13.0 aralığında çözünmeyen sulu demir oksit oluşur:



$$[Fe^{+3}][OH^-]^3 = 10^{-36}$$

Asidik pH da flok yükü pozitif alkali pH da negatif, pH 6.5-8.0 aralığında ise karışık yüklüdür.

Ortamda anyonların bulunması flokülasyon derecesini etkiler. Sülfat iyonu asit aralığında flokülasyon yükseltir, alkali aralığında ise düşürür. Klorür iyonu hem asit hem bazik pH da biraz yükseltir.

Kireç gerçek bir koagülant değildir ancak bikarbonat alkalitesiyle birleşerek kalsiyum karbonat, ortofosfat ile birleşerek kalsiyum hidroksiapatit oluşturur. Magnezyum hidroksit yüksek pH seviyelerinde çöker. İyi ayırma için ortamda bir miktar jelimsi $Mg(OH)_2$ olması gerekir, ancak bu durumda oluşan çamurun susuzlaştırılması zorlaşır. Kireç çamuru genellikle sıkıştırılabilir, susuzlaştırılabilir ve tekrar kullanım için kalsiyum karbonatı kirece dönüştürmek üzere kalsinleştirilir.

14.4.1.2. Koagülant Yardımcıları

Bazı kimyasalların ilavesi ile daha büyük hızla çöken flok oluşumu ile koagülasyon hızlanır. Aktifleştirilmiş silika çok ince alüminyum hidrat parçacıklarını birbirine bağlayan kısa zincirli bir polimerdir. Silika yüksek dozlarda, elektronegatif özelliğinden dolayı flok oluşumunu engeller. En uygun doz 5-10 mg/l dir.

Polielektrolitler yüksek molekül ağırlıklı polimerlerdir. İçerdikleri adsorplanabilen gruplardan dolayı partiküller veya yüklü floklar arasında köprü oluştururlar. Alum veya demir klorür ile birlikte düşük dozlarda (1-5mg/l) polielektrolit ilavesi ile büyük floklar (0.3-1mm) oluşur. Polielektrolitler pH dan etkilenmeksizin koloidin etkin yükünü azaltarak koagülasyonu sağlarlar. Üç tip polielektrolit vardır: kationik polielektrolitler, negatif kolloid veya flokları adsorblar; anyonik polielektrolitler, kolloid parçacıklarda anyonik gruplarla yer değiştirerek kolloid ve polimer arasında hidrojen bağına izin verir; iyonik olmayan (naniyonik) polimerler ise katı yüzeyleri ile polimerdeki polar gruplar arasında hidrojen bağı ile parçacıkları adsorblayarak floklaşmalarını sağlar. Koagülanların genel uygulamaları Tablo 14.6 da verilmiştir.

Tablo 14.6. Kimyasal koagülant uygulamaları (1)

Kimyasal proses	Doz aralığı mg/l	pH	Açıklama
Kireç	150-500	9-11	Kolloid koagülasyonu ve P giderimi. Düşük alkalinite, yüksek ve değişken P. Temel reaksiyonlar: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Ca(HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{MgCO}_3 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{Mg(OH)}_2 + \text{CaCO}_3$
Alum	75-250	4.5-7	Kolloid koagülasyonu ve P giderimi. Yüksek alkalinite, düşük ve kararlı P. Temel reaksiyonlar: $\text{Al(SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Al(OH)}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$
$\text{FeCl}_3, \text{FeCl}_2$	35-150	4-7	Kolloid koagülasyonu ve P giderimi.
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	70-200	4-7	Yüksek alkalinite, düşük ve kararlı P. Çıkış suyunda bir miktar demirin olmasına izin veriliyorsa veya kontrol edilebiliyorsa. Ekonomik atık demir kaynağı varsa (çelik end.). Temel reaksiyonlar: $\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe(OH)}_3 + 3\text{HCl}$
Kationik polimer	2-5	Fark yok	Kolloid koagülasyonu veya metalle birlikte koagülasyon yardımcısı olarak. İnert kimyasal birikimi istenmediğinde
Anyonik ve bazı iyonik olmayan polimerler	0.25-1.0	Fark yok	Flokülasyon ve çöktürme hızını arttırmak için yardımcı olarak ve filtrasyon için flokları güçlendirmek için.
Ağırlaştırıcılar ve kil	3-20	Fark yok	Çok seyreltik koloidal karışımları bağlaştırmak için

Koagülasyonda kompleks reaksiyonlar söz konusu olduğundan optimum pH dozu ve koagülant dozajını tespit etmek için laboratuvar çalışmaları yapılmalıdır. Bu çalışmalar 1.Jar-test, 2. Zeta potansiyeli kontrolü ile gerçekleştirilir.

Koagülasyon Ekipmanı: Endüstriyel atıkların flokülasyon ve koagülasyonu için iki temel ekipman kullanılır. Konvansiyonel sistemde hızlı karıştırma tankı, bunu takiben yavaş karıştırmanın yapıldığı pedallı flokülasyon tankı bulunur. Floklaşmış karışım konvansiyonel çöktürme tankında çöktürülür. Çökebilen flokların oluşma süresini ve koagülant dozunu azaltmak için çöken çamur geri döndürülür. Böylece kimyasal madde miktarı azalır, ayrıca çamur yatağı filtre görevi görerek çıkış suyunun berraklaşmasını sağlar.

14.4.1.3. Endüstriyel Uygulamalar

Karton üretimi atıksuları düşük alum dozlarında koagüle edilebilir. Silika veya polielektrolit ilavesi ile hızlı çöken çamur oluşur. Karton üretimi atıksularının kimyasal arıtımı değerleri Tablo 14.7 de verilmiştir.

Tablo 14.7. Kağıt ve karton üretimi atıksularının kimyasal arıtımı değerleri (1)

Atık	Giriş		Çıkış		pH	Alum mg/l	Silika mg/l	Kalma süresi	Çamu r
	BOI mg/l	AKM mg/l	BOI mg/l	AKM mg/l				saat	%katı
Karton		350-450		15-60		3	5	1.7	2-4
Karton		260-600		35-85				2.0	2-5
Karton	127	593	68	44	6.7	10-12	10	1.3	1.76
Kağıt Mendil	140	720	36	10-15		2	4		
Kağıt Mendil	208		33		6.6		4		

Emülsiyeye yağ içeren atıklar da koagülasyonla çöktürülebilirler. Emülsiyondaki yağ parçacıkları yaklaşık 10^{-5} cm. dir ve adsorblanan iyonlarla stabilize olurlar. Sabunlar da emülsiyon oluştururlar. Emülsiyon CaCl_2 gibi bir tuz ilavesi ile veya pH'ı düşürmeyle de kırılabilir. Temizlik sabunu ve deterjan, suda çözünebilir taşlama yağı, kesme yağı, ve fosforik asit temizleyici ve çözücülerini içeren bir atıksuyun koagülasyon sonuçları Tablo 14.8.a'da verilmiştir. Bu çalışmada 800 mg/l alum, 450 mg/l H_2SO_4 , ve 45 mg/l polielektrolit kullanılmıştır.

Tablo 14.8. Endüstriyel atıksuların koagülasyonu (1)

(a)	Analiz	
	Giriş	Çıkış
pH	10.3	7.1
Askıda katı,mg/l	544	40
Yağ ve gres,mg/l	302	28
Fe,mg/l	17.9	1.6
PO ₄ ,mg/l	222	8.5

Tablo 14.8.(b)

	Giriş,mg/l	Çıkış,mg/l
ABS	63	0.1
BOI	243	90
KOI	512	171
PO ₄	267	150
CaCl ₂	480	
Katyonik sürfaktanlar	88	
pH	7.1	7.7

Tablo 14.8.(c)

	Giriş,mg/l	Çıkış,mg/l
KOI	4340	178
BOI	1070	90
Toplam katı	2550	446

Atıksudaki anyonik yüzey maddeleri koagülant dozunu artırır. Endüstriyel çamaşırhane atıksuları H₂SO₄, kireç ve alum ile muamele edildiğinde KOI 12,000 mg/l den 1800 mg/l ye, AKM 1620 mg/l den 105 mg/l ye düşer. Kullanılan kimyasal madde dozları: 1400 mg/l H₂SO₄, 1500 mg/l kireç, ve 300 mg/l alum, çöken çamur hacmi ise %25 dir.

Sentetik deterjan içeren çamaşırhane atıkları anyonik deterjanı nötralize etmek için katyonik sürfaktanlarla koagüle edilir, bunu takiben de flokülasyon için gerekli kalsiyum fosfat çökeltisi oluşturmak üzere de kalsiyum tuzu ilave edilir. Elde edilen tipik sonuçlar Tablo 14.8.b de verilmiştir.

Lateks üretiminden kaynaklanan polimer atıkları 500 mg/l demir klorür ve 200 mg/l kireç ile pH 9.6 da koagüle edildiğinde %75 KOI, %94 BOI giderimi sağlandığı belirtilmiştir (başlangıç KOI=1000 mg/l, BOI= 120 mg/l). Arıtılan 1 m³ atıksu için 12 kg, ağırlıkça %1.2 katı içeren çamur oluşmuştur. Lateks temelli boya üretiminden kaynaklanan atıksular 345 mg/l alum ile pH=3.0-4.0 aralığında koagüle edildiğinde arıtılan 1 m³ atıksu için 2.5 kg ağırlıkça % 2.95 katı içeren çamur oluştuğu belirtilmiştir. Arıtım sonuçları Tablo 14.8.c de verilmiştir. Tekstil endüstrisi atıksularının koagülasyon sonuçları Tablo 14.9 da, Kağıt endüstrisi atıksularında renk giderimi ise Tablo 14.10'da verilmiştir.

Tablo 14.9. Tekstil endüstrisi atıksularının koagülasyonu (1)

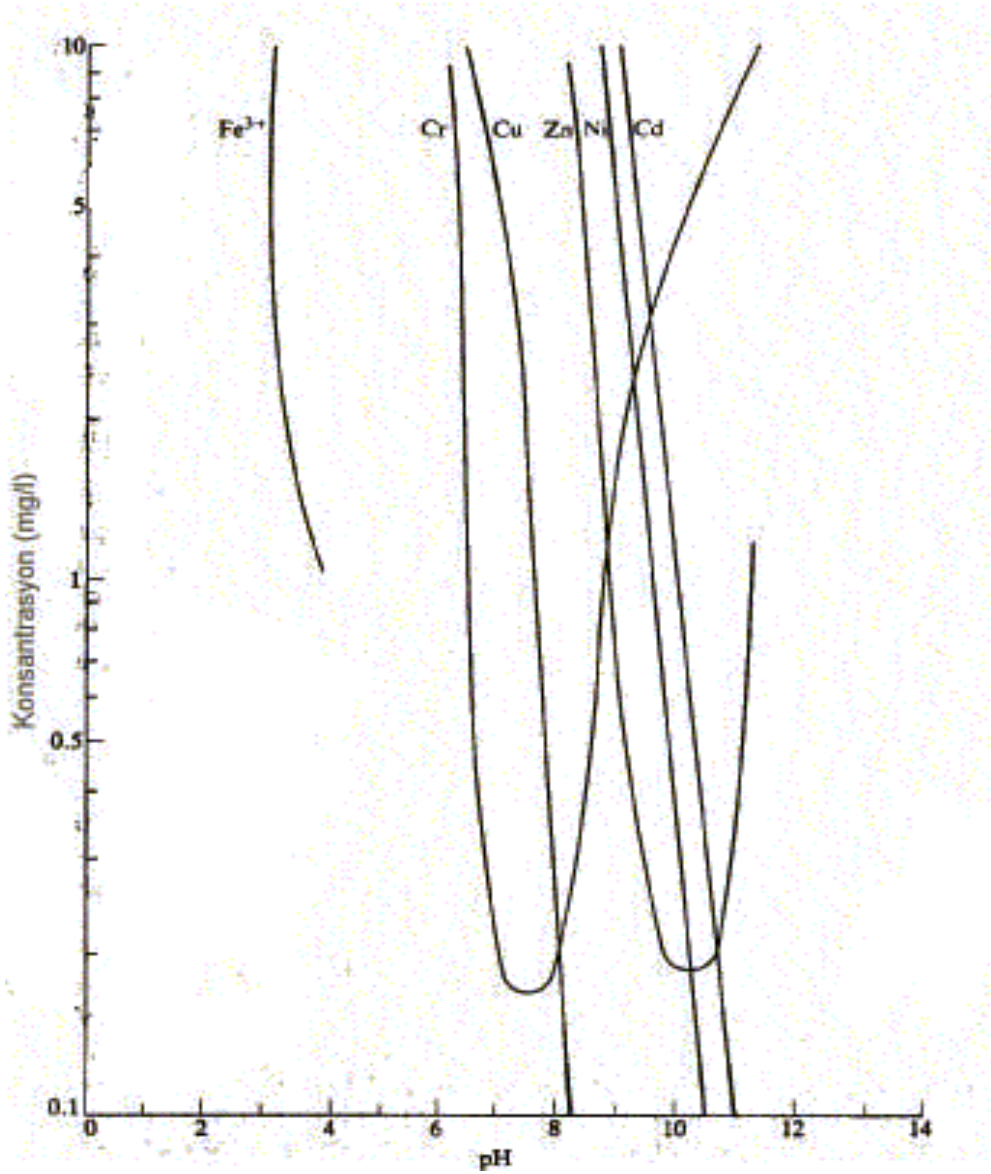
Tesis	Koagülant	Doz	pH	Renk		KOI	
				Giriş	Giderim,%	Giriş	Giderim,%
1	Fe(SO ₄) ₃	250	7.5-11	0.25	90	584	33
	Alum	300	5.9		86		39
	Kireç	1200			68		30
2	Fe(SO ₄) ₃	500	3-4,9-11	0.74	89	840	49
	Alum	500	8.5-10		89		40
	Kireç	2000			65		40
3	Fe(SO ₄) ₃	250	9.5-11	1.84	95	825	38
	Alum	250	6-9		95		31
	Kireç	600			78		50
4	Fe(SO ₄) ₃	1000	9-11	4.60	87	1570	31
	Alum	750	5-6		89		44
	Kireç	2500			87		44

Çamaşırhane atıkları ile pH 6.4-6.6 aralığında, 0.24kg Fe₂(SO₄)₃/m³ atıksu dozajında %90 BOI giderimi sağlanmıştır.

Tablo 14.10. Kağıt endüstrisi atıksularında renk giderimi (1)

Tesis	Koagülant	Doz	pH	Renk		KOI	
				Giriş	Giderim,%	Giriş	Giderim,%
1	Fe(SO ₄) ₃	500	3.5-4.5	2250	92	776	60
	Alum	400	4.0-5.0		92		53
	Kireç	1500	-		92		38
2	Fe(SO ₄) ₃	275	3.5-4.5	1470	91	480	53
	Alum	250	4.0-5.5		93		48
	Kireç	1000	-		85		45
3	Fe(SO ₄) ₃	250	4.5-5.5	940	85	468	53
	Alum	250	5.0-6.5		91		44
	Kireç	1000	-		85		40

Ağır Metal Giderimi: Atıksulardaki ağır metaller, kireç veya kostik ilavesi ile çözünürlüklerinin en düşük olduğu pH'da metal hidroksitleri şeklinde çöktürülürler. Bu maddelerin çoğu amfoterik olup çözünürlükleri çok düşüktür. Çözünürlüğün minimum olduğu pH Şekil 14.13 de görüldüğü gibi metalden metale farklılık gösterir.



Şekil 14.13. Çeşitli pH'larda metallerin çözünürlükleri

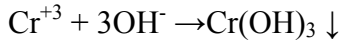
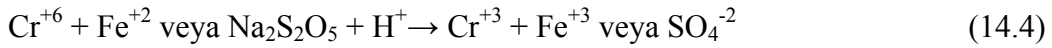
Krom ve çinkonun sırasıyla pH 7.5 ve 10.2 de çözünürlükleri minimumdur. Dolayısı ile bu pH değerinin üstünde çözeltideki miktarları yükselir.

Metal içeren endüstriyel atıksuların arıtımında metallerin çökmesine engel olabilecek maddelerin ön arıtım ile giderilmesi gerekir. Siyanür ve amonyak bir çok metalle kompleks oluşturarak metal giderimini engellerler. Siyanür alkali ortamda klorlama ile veya karbon üzerine katalitik oksidasyon prosesi ile giderilebilir. Nikel ve gümüş metal komplekslerinin reaksiyon hızı düşük olduğundan bu metalleri içeren siyanürlü atıkların alkali ortamda klorlanması çok güçtür. $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ 'e dönüşür, bu form da daha ileri okside olmaz. Atıksudaki amonyak, sıyırma, kırılma noktası klorlaması veya diğer uygun yöntemlerle giderildikten sonra metal giderimi uygulanır.

Endüstriyel atıksulardaki ağır metaller kireçle çöktürülerek giderilebilirler. Ağır metaller sülfürleri veya karbonatları şeklinde de çöktürülebilirler.

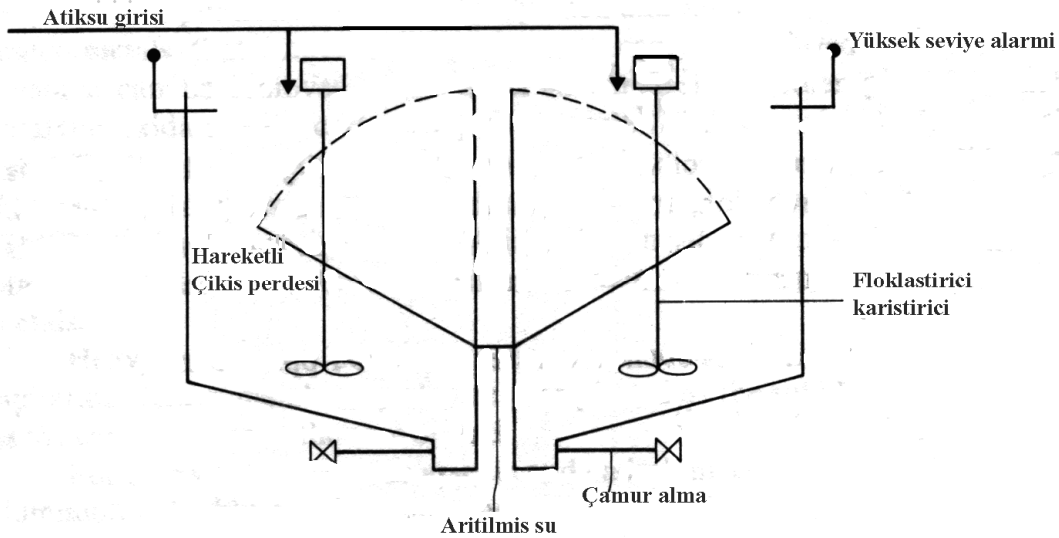
Düşük deşarj limitlerini karşılamak için çöktürme sonrası deşarj edilecek sıvı fazdaki flokları tutmak üzere filtreleme gerekebilir. Sadece çöktürme ve durultma ile çıkış suyunda metal konsantrasyonu 1-2 mg/l olabilir. Filtreleme ile metal konsantrasyonu 0.5 mg/l nin altına düşebilir.

Krom: Kromlu atıklarda 6 değerlikli kromun önce Cr^{+3} e indirgenip sonra kireç ile çöktürülmesi önerilir. Bu reaksiyon pH <3 de gerçekleşir. Kromlu atıkların indirgenmesinde demir(II) sülfat, sodyum meta-bisülfid, kükürt dioksit kullanılır. Demir(II) sülfat ve sodyum meta-bisülfid kuru veya çözelti halinde kullanılır. Kükürt dioksit ise sisteme gaz halinde tatbik edilir. Kromun indirgenmesi, asit ortamda daha etkili olduğundan asit karakterli indirgeme maddelerinin kullanımı tercih edilir. İndirgeme maddesi olarak $FeSO_4$ kullanıldığında Fe^{+2} Fe^{+3} e oksitlenir; meta-bisülfid veya sülfür dioksit kullanıldığında ise SO_3^{-2} SO_4^{-2} ye dönüşür. Genel reaksiyonlar:



Cr^{+6} nın Cr^{+3} e indirgenmesi için, $FeSO_4$ ün o seyreltideki asidik etkisi yeterli olmadığından pH ayarlaması için asit ilave edilmesi gerekir.

Küçük kaplama tesislerinin genellikle günlük atıksu debileri $100m^3/gün$ 'ün altındadır. Bu tesislerde en ekonomik sistem, her biri bir günlük atıksu kapasitesinde iki tanklı kesikli sistemdir. Tanklardan biri dolarken diğesinde arıtma yapılır. Biriken çamur ya doğrudan uzaklaştırılır veya kurutma yataklarında susuzlaştırılır. Kurutma yatağında çamur 48 saatte sıyrılabilir kıvama gelir. Tipik bir kesikli sistem şematik görünümü Şekil 14.14 de verilmiştir.



Şekil 14.14. Kromlu atıksuların kesikli arıtımı

Günlük atıksu debisi $100-150 m^3/gün$ 'ü geçerse büyük tank gereksiniminden dolayı kesikli arıtım ekonomik olmaz. Sürekli sistem, asitleme-indirgeme tankı, kireç ilavesinin yapıldığı karıştırma tankı ve çöktürme tankı gerektirir. İndirgeme tankında kalma süresi pH'a bağlı

olup, tam indirgenme için gerekli teorik sürenin en az dört katı olmalıdır. Flokülasyon için 20 dakika yeterlidir. Son çöktürme tankı yüzey yükü $20\text{m}^3/\text{m}^2/\text{gün}$ 'ün üstünde tasarlanmalıdır.

Yıkama sularında krom miktarı çok değişkense, indirgeme tankı öncesi dengeleme yapılmalıdır, böylece kimyasal madde besleme sisteminde çok oynamalar olmaz.

Arsenik: Arsenik ve arsenikli maddeler, metalurji endüstrisi, cam ve seramik üretimi, deri işlemleri, boya, pestisit üretimi, bazı organik ve inorganik kimyasal üretimi, petrol rafinerileri ve nadir-toprak metalleri endüstrileri atıksularında bulunur. Atıksulardan arsenik kimyasal çöktürme ile giderilir. pH 6-7 de sodyum veya hidrojen sülfür ilavesi ile arsenik, sülfürü şeklinde çöktürülür. Çöktürme sonrası arıtılmış su çıkışında arsenik seviyesi 0.05 mg/l olur. Deşarj limitlerini sağlamak için filtreleme gerekir.

Düşük miktarda arsenik aktif karbonla filtreleme ile de düşürülebilir. Bu yöntemle arseniğin 0.2 mg/l den 0.06 mg/l ye düştüğü belirtilmektedir. Arseniğin $\text{Fe}(\text{OH})_3$ floklarına bağlanarak da giderimi mümkündür. Bu prosesle 0.005mg/l nin altında çıkış suyu arsenik miktarlarına ulaşılmıştır.

Baryum: Baryum boya ve pigment endüstrisi, metalurji endüstrisi, cam, seramik ve boya üretimi, ve lastik vulkanizasyonu proseslerinden çıkar. Patlayıcı üretimi atıklarında da bulunur. Baryum atıksudan baryum sülfat şeklinde çöktürülerek uzaklaştırılır.

Baryum sülfatın çözünürlüğü çok düşüktür. Maksimum teorik çözünürlüğü 25°C da 1.4 mg/l baryumdur. Sülfat fazlalığında baryumun çözünürlüğü azalır. Baryum tuzlarının, baryumsülfat formunda koagülasyonu ile çıkış suyunda baryum seviyesi 0.5 mg/l ye düşer. Baryum iyon değişimi ve elektrodializ ile de giderilebilir. Ancak bu yöntemler kimyasal çöktürmeye kıyasla daha pahalıdır.

Kadmiyum: Kadmiyum metal alaşımları, seramik, elektrokaplama, fotoğraf, pigment, tekstil boyama, kimya sanayi ve kurşun madeni dren sularında bulunur. Atıksulardan kadmiyum çöktürme veya iyon değiştirme ile uzaklaştırılır. Atıksu konsantre ise elektrolitik ve buharlaştırma geri kazanım yöntemleri de uygulanabilir. Alkali pH'da kadmiyum çözünmez ve stabil hidroksiti formuna dönüşür. Çözeltideki kadmiyum pH=8'de 1 mg/l, pH=10-11'de ise 0.05 mg/l' dir. Demir hidroksit ile pH=6'da birlikte çöktürme sonucu kadmiyum 0.008 mg/l'ye düşerken, pH=8.5 da demir hidroksit ile 0.05'e düşer. Atıksuda siyanür gibi kompleks oluşturucu iyon mevcutsa kadmiyum çökmez. Bu durumda bu kompleks yapıcı iyonun kadmiyumun çöktürülmesi öncesi atıksudan uzaklaştırılması gerekir. Siyanür durumunda, önce siyanürü oksitleyip arkadan kadmiyum oksit oluşumuna sağlayan, hidrojen peroksitli oksidasyon-çöktürme yöntemi ile kadmiyumun ekonomik olarak geri kazanımı mümkün olmaktadır.

Bakır: Endüstriyel atıksularda bakır kaynağı metal dekopaj ve kaplama banyolarıdır. Bakır tuzu ve bakır katalizör kullanılan kimya fabrikalarında da atıksular bakır içerebilir. Atıksulardan bakır, çöktürme ve iyon değişimi, buharlaştırma, ve elektrodializ gibi geri kazanım prosesleri ile giderilir. Geri kazanılan bakırın ticari değeri geri kazanım yönteminin çekiciliğini belirler. 200mg/l nin altında bakır içeren atıksularda iyon değişimi ve aktif karbon yöntemleri daha ekonomik olmaktadır. Alkali pH'da bakır, çözünürlüğü düşük metal hidroksit şeklinde çöker. Ortamda yüksek miktarda sülfat bulunması durumunda oluşan çamurda bakırın geri kazanımı ekonomik olmaz. Bu nedenle saf bir çamur elde etmek için daha pahalı NaOH kullanımı önerilmektedir. Bakır oksit pH = 9-10.3 aralığında en düşük çözünürlüğe

sahiptir (0.01 mg/l). Uygulama göstermiştir ki kimyasal çöktürme ile ekonomik olarak erişilebilen en düşük bakır düzeyi 0.02-0.07 mg/l'dir. pH=8.5 da sülfürle çöktürme sonucu çıkış suyunda 0.01-0.02 mg/l bakır seviyelerine inilebilmektedir. Atıksuda siyanür ve amonyak gibi kompleks oluşturuca iyonların bulunması durumunda arıtılmış suda düşük bakır seviyeleri sağlamak zorlaşır. Yüksek oranda bakır giderimi için bu iyonların ön arıtım ile giderilmesi gerekir. Bakır siyanür aktif karbonla etkin bir şekilde giderilebilir.

Florür: Endüstriyel atıksularda florür, cam üretimi, elektrokaplama, çelik ve alüminyum, pestisit ve gübre üretimi atıksularında bulunur. Florür, kireç ile kalsiyum florür şeklinde çöktürme ile giderilir. Arıtılmış sularda 10-20 mg/l bakiye florür'e ulaşmak mümkündür. Atıksuda magnezyum bulunması durumunda daha ileri florür arıtımı sağlandığı belirtilmektedir. Bunun nedeni olarak magnezyum hidroksit floklarının florür iyonlarını adsorplamasıdır. Bu durumda çıkış suyunda 1.0 mg/l'nin altında florüre ulaşmak mümkün olmaktadır. Düşük konsantrasyonda florür iyon değıştirme ile giderilebilir. Endüstriyel atıksular, aktifleştirilmiş alumina yatakta temas ile, kireçle çöktürme sonrası 30 mg/l olan florür konsantrasyonu 2 mg/l ye indirilebilir.

Demir: Demir maden işleme, cevher öğütme, kimya endüstrisi atıksuları, boya üretimi, metal işleme, tekstil, petrol rafinerileri de dahil bir çok endüstriyel atıksularda bulunur. Atıksularda demir pH ve çözünmüş oksijen konsantrasyonuna bağılı olarak +2 veya +3 değerkli olabilir. Nötr pH ve oksijenli ortamda çözünür Fe^{+2} , Fe^{+3} 'e dönüşür, demirin bu formu kolayca hidrolize olarak çözünmez $Fe(OH)_3$ oluşturur. Yüksek pH değerklerinde $Fe(OH)_3$ çözünür formdaki $Fe(OH)_4$ kompleksine dönüşür. Demirin Fe^{+2} (Ferro) ve Fe^{+3} (ferri) formları siyanürlü ortamda çözünür ferrosiyanür ve ferrisiyanür komplekslerini oluşturabilirler. Atıksularda demir giderilmesinde temel yöntem Fe^{+2} 'nin Fe^{+3} 'e dönüştürülmesi, ve $Fe(OH)_2$ 'nin pH=7 civarında (minimum çözünürlükte) çöktürülmesidir. Fe^{+2} 'nin Fe^{+3} 'e dönüştürülmesi pH=7.5 da havalandırma ile çok hızlı olarak gerçekleşir. Ortamda çözünmüş organik madde varsa demirin oksitlenme hızı düşer.

Kurşun: Kurşun akü üretimi atıksularında bulunur. Atıksulardan genellikle çöktürme ile uzaklaştırılır. Kurşun, karbonat ($PbCO_3$) veya hidroksit ($Pb(OH)_2$) formunda çöktürülür. Kurşun pH=9-9.5'da soda ile karbonatı şeklinde çöktürülür. Bu yöntemle arıtılmış sudaki bakiye kurşun 0.01-0.03 mg/l aralığındadır. pH=11.5'da kireçle çöktürme sonucu bakiye kurşun miktarı 0.019-0.2 mg/l'dir. Bunların dışında sodyum sülfür ile pH=7.5-8.5 da kurşun sülfür formunda çöktürülebilir.

Mangan: Mangan ve tuzları çelik alaşımı, kuru pil üretimi, cam ve seramik, boya ve vernik ve mürekkep gibi üretim atıksularında bulunur. Manganın sadece Mn^{+2} tuzları ve permanganat anyonu çözünürdür. Permanganat kuvvetli bir oksitleyici olup normal şartlarda çözünmez formdaki mangan dioksit (MnO_2) indirgenir. Manganın uzaklaştırılması teknolojisi çözünebilir Mn^{+2} iyonunun çözünmeyen çökeltiye dönüştürülmesidir. Oluşan çözünmez mangan oksit ve hidroksitler daha sonra ortamdan uzaklaştırılır. Mn^{+2} iyonunun oksijene karşı reaktivitesi düşük olduğundan pH=9 un altında basit bir havalandırma ile yükseltgenmesi mümkün değildir. Hatta yüksek pH'larda dahi ortamdaki organik madde mangan ile birleşerek oksitlenmesini önler. Çöktürme ile yeteli mangan giderimi sağlamak için pH=9.4'ün üstünde çalışılması gerekmektedir. Mn^{+2} 'nin çözünmeyen mangan dioksit dönüştürülerek koagülasyon ve filtrasyon ile atıksudan uzaklaştırılması için kimyasal oksitleyiciler kullanılır. Bakır iyonu manganın hava ile oksidasyonunu hızlandırır. Klor dioksit de manganın çabukça çözünmez forma dönüştürülmesini sağlar. Manganın oksitlenmesinde permanganat da kullanılmaktadır. Kireçle birlikte ozon da mangan

gideriminde kullanılmaktadır. İyon değiştirme prosesinin kullanılmasında bir çekince istenmeyen iyonların da tutularak maliyetin artmasıdır.

Cıva: Cıvanın en önemli kullanım sahası klor-alkali tesisleridir. Elektrik ve elektronik endüstrisinde, patlayıcı üretiminde, fotoğraf endüstrisinde, pestisit ve koruyucu üretiminde de kullanılır. Cıva, kimya ve petrokimya endüstrisinde katalizör olarak kullanılır. Laboratuvar atıksularında da bulunur. Enerji üretiminde de fosil yakıtların yanması sırasında çıkar. Termal enerji santrallerinde kükürt dioksit giderimi için gaz yıkayıcı varsa aşırı geri devir ile cıva birikimi mümkündür. Cıva atıksulardan çöktürme, iyon değişimi ve adsorpsiyon ile uzaklaştırılabilir. Bakır, çinko ve alüminyum gibi metallerle temas ile de cıva iyonları miktarı azaltılabilir. Çoğu durumda cıva geri kazanımı distilasyon ile gerçekleştirilir. Çöktürme için cıva bileşikleri cıva iyonuna dönüştürülür. Tablo 14. 11 de çeşitli teknolojilerle elde edilen cıva çıkışları verilmiştir.

Tablo 14.11 Arıtılmış su çıkışlarında cıva miktarları (1).

Teknoloji	Çıkış suyu, µg/l
Sülfür çöktürmesi	10-20
Alumla birlikte çöktürme	1-10
Demirle birlikte çöktürme	0.5-5
İyon değişimi	1-5
Karbon adsorpsiyonu	
Giriş	
Yüksek	20
Orta	2
Düşük	0.25

Nikel: Atıksularda nikel, metal işleme endüstrisi, çelik dökümhaneleri, motorlu araçlar, uçak endüstrisi, baskı ve kimya endüstrilerinden kaynaklanır. Siyanür gibi kompleks oluşturucu ortamda nikel, çözünmüş kompleks formda olabilir. Nikel siyanür kompleksi nikel ve siyanür giderimini olumsuz etkiler. Atıksuya kireç ilave edildiğinde pH=10-11’de en düşük çözünürlük değeri 0.12 mg/l de, çözünmeyen nikel hidroksit oluşur. Nikel geri kazanım sisteminde karbonat veya sülfatı şeklinde de çöktürülebilir. Pratikte pH=11.5’da kireç ilavesi ile çöktürme ve filtrasyon sonucu bakiye nikel 0.15 mg/l ye indirilebilir. Atıksuda nikel konsantrasyonu yüksekse iyon değişimi ve buharlaştırma ile nikel geri kazanımı mümkündür.

Selenyum: Selenyum, çeşitli kağıtlarda, kurum (is) ve metalik sülfür cevherlerinde bulunur. Atıksulardan pH=6.6 da sülfürü şeklinde çöktürülerek uzaklaştırılır. Arıtılmış su çıkışında 0.05 mg/l seviyelerindedir.

Gümüş: Gümüşün suda çözünür formu gümüş nitrat, porselen, fotoğraf, elektrokaplama, ve mürekkep üretim atıksularında bulunur. Gümüş değerli bir metal olduğundan uygulanan arıtma teknolojisi geri kazanıma yöneliktir. Başlıca arıtım yöntemleri çöktürme, iyon değişimi ve elektrolitik geri kazanımdır. Atıksulardan gümüş giderimi gümüş klorür şeklinde çöktürülerek uzaklaştırılır. Gümüş klorürün çözünürlüğü oldukça düşük olup 25°C’de arıtılmış sudaki bakiye gümüş miktarı 1.4 mg/l dir. Klorürün ortamda bir miktar fazla olması bu değeri düşürür. Ancak klorürün çok fazla olması durumunda suda çözünür gümüş klorür kompleksleri oluşarak arıtılmış sudaki bakiye gümüş miktarı artar. Metal karışımı içeren atıksulardan gümüş seçici olarak çöktürülebilir. Arıtma şartları bazik ise diğer metaller hidroksitleri şeklinde çökerken gümüş klorürü şeklinde çöker. Oluşan çamurun asidik

şartlarda yıkanması ile diğer metal iyonları ayrılırken gümüş klorür katı olarak kalır. Kaplama banyosu suları gümüş siyanür içerir, bu da gümüşün gümüş klorür formunda çökmesini engeller. Bu durumda gümüşün gümüş klorür olarak çöktürülmesi öncesi siyanürün giderilmesi gerekir. Siyanür iyonlarının klorla oksidasyonu sonucu klor iyonları suya geçer, ve gümüş iyonları ile birleşerek gümüş klorür oluşturur. Fotoğraf çözeltilerindeki gümüş gümüş sülfür formunda çöktürülür. Atıksulardaki çözünür formdaki gümüş iyon değişimi ile uzaklaştırılır. Düşük gümüş seviyelerinde Aktif karbon kullanılır. Aktif karbonla gümüş giderim mekanizması karbon yüzeyinde gümüşün indirgenerek elementer gümüşe dönüşümüdür. Gümüşün pH=2.1'de ağırlıkça %9'unun, pH=5.4 de ise %12 sinin aktif karbon yüzeyinde tutulduğu bildirilmektedir.

Çinko: Çinko, çelik işleri, rayon ipliği ve elyaf üretimi, öğütülmüş odun hamuru üretimi, katodik işlem yapan sistemlerde soğutma suyunun sirkülasyonu sularında bulunur. Kaplama ve metal işleme endüstrileri atıksularında da çinko bulunur. Çinko kireç veya kostik kullanılarak hidroksiti şeklinde çöktürülür. Kireçle çöktürmenin bir mahzuru atıksuda sülfat bulunması durumunda kalsiyum sülfatın da birlikte çökmesidir. pH=11 de arıtılmış su çıkışında 0.1 mg/l nin altında çinko seviyelerine ulaşılabilir.

Atıksulardan metal giderimi Tablo 14.12 da özetlenmiştir.

Tablo 14.12. Ağır metal gideriminde arıtılmış su çıkışındaki metal düzeyleri (mg/l) (1).

Metal	Ulaşılabilecek çıkış suyu konsantrasyonu	Teknoloji
Arsenik	0.05 0.06 0.005	Sülfür çöktürme ve filtreleme Karbon adsorpsiyonu Fe(OH) ₃ ile birlikte çöktürme
Baryum	0.5	Sülfat çöktürme
Kadmiyum	0.05 0.05 0.008	pH=10-11'de hidroksit çöktürme Fe(OH) ₃ ile birlikte çöktürme Sülfür çöktürme
Bakır	0.02-0.07 0.01-0.02	Hidroksit çöktürme Sülfür çöktürme
Cıva	0.01-0.02 0.001-0.01 0.0005-0.005 0.001-0.005	Sülfür çöktürme Alumla birlikte çöktürme Fe(OH) ₃ ile birlikte çöktürme İyon değişimi
Nikel	0.12	pH=10'da hidroksit çöktürme
Selenyum	0.05	Sülfür çöktürme
Çinko	0.1	pH=11'de hidroksit çöktürme

KAYNAKLAR

- (1) W.Wesley Eckenfelder, Jr., 1989. “Industrial Water Pollution Control”, Second Edition, McGraw-Hill International Editions.
- (2) U. Altınbaş, S.Dökmeci ve A.Barıştıran, 1995. “Treatability study of wastewater from textile industry”, Environmental Technology, Vol: 16, 389-394.
- (3) H.Timur ve U.Altınbaş, 1997. “ Treatability studies and determination of kinetic parameters for a high-strength opium production wastewater”, Environmental Technology, Vol: 18, 339-344.