

ATIKSULARIN TASFİYESİ

Genişletilmiş 3. Basım

Prof. Dr. Veysel EROĞLU

2015

ANKARA

İTHAF

Bu eseri, “oğlum sen kendini bu ÷lkeye hizmete adamalısın” diyerek beni Aziz Milletimizin hizmetkârlığına yönlendiren babam merhum Hacı İbrahim EROĞLU’nun aziz hatırası ile dualarını esirgemeyen anneme, İTÜ, İSKİ, DSİ ve Çevre ve Orman Bakanlığı ile Orman ve Su İşleri Bakanlığındaki çalışmalarımda bana daima büyük manevi destek veren kıymetli eşim ile evlatlarıma ithaf ediyorum.

Prof. Dr. Veysel EROĞLU



Orman ve Su İşleri Bakanlığı Yayınıdır.

Bakanlık Yayın No: 4

ISBN:978-975-92794-2-4

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak vazife yaparken verdiğim çok sayıda dersin biri de “Atıksuların Arıtılması” dersi idi.

Genişletilmiş 3. Basımını gerçekleştirdiğimiz bu kitapla alakalı bir hatıramı anlatmadan geçemeyeceğim. İTÜ’deki hocalığım esnasında Atıksuların Arıtılması konusu en iyi bildiğim konulardan biriydi. Dolayısıyla “Atıksuların Tasfiyesi” kitabını yazmayı kafama koymuştum. Ancak çok iyi bildiğim bir konu olduğu için her zaman yaptığım zaman planlamasını yani eserin yazımının takvimini belirlemedim. İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde bu dersi yıllarca vermeme rağmen kitabın yazılması ile alakalı takvimi belirlemediğimden dolayı basıma hazırlayamadım. Ancak İSKİ Genel Müdürlüğüm dönemimde (Mayıs 1994 – Ekim 2002) bu bilgi ve tecrübem bende saklı kalmasın düşüncesiyle kitap haline getirmem mümkün oldu. İlk iki basımı Su Vakfı tarafından gerçekleştirildi. Şimdi ise Orman ve Su İşleri Bakanı olarak, gelişen teknoloji ve duyulan ihtiyaçtan dolayı iyi bir zaman planlaması ile kısa zamanda kitabın güncellenmesini yaparak genişletilmiş 3. Basımını gerçekleştirdik.

Özellikle son yıllarda atıksuların arıtılması ve bilhassa arıtılan suların ziraatta kullanılması ülkemiz açısından büyük önem arz eden bir konu haline gelmiştir. Daha önceleri yabancı firmaların tatbikat projesi maliyetine; yerli mühendislerimiz ve müteahhitlerimiz atıksu arıtma tesislerinin inşaatlarını gerçekleştirmektedirler. Kendi yerli atıksu arıtma teknolojimizi, başta İstanbul Paşaköy olmak üzere Afyonkarahisar’da, Akarçay Havzasında, Ergene Havzasında ve pek çok yerde tatbik etmeye başladık.

Bu kitabın, üniversitelerimizin çevre mühendisliği bölümleri öğrencileri başta olmak üzere; çevre mühendisliği alanında çalışan mühendislere, Su ve Kanalizasyon İdareleri, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye Su Enstitüsü, İller Bankası, Belediyeler ve atıksuların arıtılması ile alakalı faaliyet yürüten diğer kamu kurum ve kuruluşlarının çalışanlarına faydalı olacağına inanıyorum.

Mühendislerimizin hassas bir boyutlandırmadan ziyade uygun sistem ve teknolojinin seçimine özen göstermelerini bilhassa tavsiye ediyorum. Ayrıca 3-E prensibi olan Emniyet, Estetik ve Ekonomi gibi hususlara dikkat edilmesi uygun olacaktır.

Böyle bir eserin yazımında, çiziminde katkıda bulunan ve hazırlanmasında bana yardımcı olan herkese teşekkür ediyor, eserin faydalı olmasını diliyorum.

Prof. Dr. Veysel EROĞLU

*Bu eserin birinci ve ikinci basım hakkı Su Vakfı'na,
Genişletilmiş 3. Basım izni ise 1.000 adet basılmak üzere
müellifi Prof. Dr. Veysel EROĞLU tarafından
Orman ve Su İşleri Bakanlığına müsaade edilmiştir.*

İÇİNDEKİLER:

ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER	V
KISALTMALAR.....	XI
TABLO LİSTESİ.....	XII
ŞEKİL LİSTESİ.....	XIV
SEMBOL LİSTESİ.....	XX
1. TASFİYE USULLERİ.....	1
1.1. GİRİŞ	1
1.2. TEMEL İŞLEMLER VE TASFİYE USULLERİ	3
1.2.1. Atıksu Tasfiyesinin Esasları.....	5
1.2.1.1. Terfi, Debi Ölçümü ve Dengeleme.....	5
1.2.1.2. Temel İşlemler ve Prosesler	6
1.2.1.3. Atıksu Tasfiye Sistemi Alternatifleri	10
1.2.2. Çamur Tasfiye ve Uzaklaştırma Sistemleri	12
1.2.2.1. Temel İşlem ve Prosesler.....	12
1.2.2.2. Çamur Tasfiye Sistemlerinin Verimleri.....	12
1.2.2.3. Çamur Arıtma Sistemi Alternatifleri	12
1.3. BİYOLOJİK TASFİYE SİSTEMLERİ	15
1.3.1. Aktif Çamur Sistemi.	15
1.3.2. Mekanik Havalandırmalı Havuzlar.....	17
1.3.3. Stabilizasyon Havuzları.....	17
1.3.4. Damlatmalı Filtreler.....	17
1.3.5. Biyodiskler.....	18
1.3.6. İki Kademeli Sistemler	18
1.3.7. Membran Biyoreaktör (MBR) Teknolojisi	19
2. ATIKSULARIN MİKTAR ve ÖZELLİKLERİ	20
2.1. ATIKSULARIN TERKİBİ.....	20
2.2. ATIKSU MİKTARLARI ve DEBİ HESAPLARI	22
2.2.1. Atıksu Debilerinin Hesabı.....	23
2.2.2. Sanayi Debinin Bulunması.....	24
2.2.3. Sızma Debisi Tahmini.....	24

3. IZGARALAR.....	25
3.1. IZGARALARIN TEŞKİL VE HESABI	25
3.1.1. Izgarada Tutulan Katı Madde Miktarı.....	28
3.1.2. Izgaralarda Yük Kayıpları.....	32
3.2. ÖĞÜTÜCÜLER.....	34
4. KUM TUTUCULAR.....	36
4.1. YATAY AKIŞLI KUM TUTUCULAR	37
4.1.1. Kum Tutucu Boyunun Hesabı.....	41
4.1.2. Biriken Kum Miktarı	41
4.1.3. Kumların Alınması.....	41
4.1.4. Kum Tutucularda Hız Kontrolü	41
4.1.4.1. Ventüri (Parşal) Kanalı ile Hız Kontrolü.....	42
4.1.4.2. Dikdörtgen Savak ile Hız Kontrolü.....	45
4.1.4.3. Orantılı Akım Savağı.....	45
4.2. HAVALANDIRMALI KUM TUTUCULAR	46
4.3. DAİRE PLANLI KUM TUTUCULAR.....	49
5. ÖN ÇÖKTÜRME HAVUZLARI	51
5.1. ÇÖKTÜRME HAVUZLARI GİRİŞ VE ÇIKIŞ YAPILARI.....	65
5.1.1. Dikdörtgen Planlı Havuzların Yaklaşım Yapıları.....	66
6. BİYOLOJİK TASFİYE.....	71
6.1. AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİ	72
6.1.1. Aktif Çamur Sistemi	72
6.1.1.1. Aktif Çamur Sistemine Matematik Yaklaşım.....	76
6.1.1.2. Biyokütle Üretimi.....	79
6.1.1.3. Çamur Yüğü	80
6.1.2. Havalandırma Havuzu	81
6.1.2.1. Hacim Yüğü.....	82
6.1.2.2. Geri Devir Oranı.....	82
6.1.2.3. Fazla Çamur Miktarının Hesabı	83
6.1.2.4. Çamur Yaşı	84
6.1.2.5. Hidrolik Bekletme Müddeti.....	84
6.1.2.6. Havalandırma Havuzu Hacmi	85

6.1.2.7. Oksijen İhtiyacı Hesabı	85
6.1.3. Havalandırma Sistemleri	87
6.1.3.1. Basınçlı Hava ile Havalandırma	89
6.1.3.1.1. Hava İhtiyacı Hesabı	93
6.1.3.2. Mekanik Havalandırıcılar	98
6.1.3.2.1. Düşey Milli Mekanik Havalandırıcılar	98
6.1.3.2.2. Yatay Milli Havalandırıcılar (Fırça ve Rotorlar)	98
6.1.4. Son Çökeltim Havuzu	109
6.2. UZUN HAVALANDIRMALI AKTİF ÇAMUR SİSTEMİ	109

7. BESİ MADDESİ (NUTRIENT) GİDERİMİ 113

7.1. BİYOLOJİK BESİ MADDESİ (NUTRIENT) GİDERİMİ	113
7.1.1. Nitrifikasyon	113
7.1.2. Denitrifikasyon	114
7.2. BİYOLOJİK FOSFOR GİDERİMİ	115
7.3. AZOT VE FOSFORU BİRLİKTE GİDEREN SİSTEMLER	118
7.4. BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİNE BİR ÖRNEK “ÖMERLİ HAVZASI ÇEVRE KORUMA PROJESİ PAŞAKÖY İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİ”	124
7.4.1. Tesisin Gayesi	124
7.4.2. Proses Açıklaması	125
7.4.3. Arıtma Tesisi Üniteleri	126
7.4.3.1. Su Alma Yapısı ve By-Pass Odası	129
7.4.3.2. Kaba Izgara ve Giriş Terfi Merkezi	129
7.4.3.3. İlk Arıtma Ünitesi	130
7.4.3.3.1. İnce Izgaralar	130
7.4.3.3.2. Havalandırılmalı Kum Tutucu	130
7.4.4. Biyolojik Fosfor Giderme Ünitesi	132
7.4.5. Havalandırma Havuzları	132
7.4.5.1. Blower Binası (Hava Körükleri)	135
7.4.6. Son Çöktürme Havuzları	135
7.4.6.1. Geri Devir Terfi Merkezi	136
7.4.6.2. Fazla Çamur Terfi Merkezi	137
7.4.7. Çözünmüş Hava İle Yüzdürme (DAF) Üniteleri	137
7.4.8. Çamur Depolama Havuzu	139

7.4.8.1. Çamur Susuzlaştırma Binası.....	139
7.4.8.2. Süzüntü Suyu Terfi Merkezi.....	141
7.4.9. Enerji Temini	141
7.4.10. Tesisin Proje Kriterleri.....	142
8. ÇAMUR TASFİYE VE UZAKLAŞTIRMA.....	146
8.1. ÇAMUR TASFİYE METODLARI.....	146
8.2. YOĞUNLAŞTIRMA	149
8.2.1. Graviteli Yoğunlaştırıcılar.....	152
8.3. ÇAMUR ÇÜRÜTME (STABİLİZASYON).....	153
8.3.1. Havasız Çamur Çürütme.....	153
8.3.2. İki Kademeli Çamur Çürütücüler	158
8.3.3. Havalı (Aerobik) Çamur Çürütme	165
8.3.3.1. Oksijen İhtiyacı	165
8.4. ÇAMUR KURUTMA YATAKLARI	165
8.4.1. Kurutma Yatağı Alan İhtiyacının Hesabı	168
9. BİYOFİLM SİSTEMLERİ.....	173
9.1. DAMLATMALI FİLTRELER	173
9.1.1. Havalanma	176
9.1.2. Taban Drenaj Sistemi.....	178
9.1.3. Boyutlandırma	179
9.1.4. Damlatmalı Filtrelerde Biyolojik Verim Hesabı.....	180
9.1.5. Damlatmalı Filtre Tertip Şekilleri.....	182
9.1.5.1. Cazibeli Besleme Hali.....	182
9.1.5.2. Terfi Merkezi Kullanılması Hali	182
9.2. BİYODİSKLER	184
9.3. MEKANİK HAVALANDIRMALI HAVUZLAR.....	186
9.3.1. Fakültatif Havalandırmalı Havuzların Boyutlandırılması	187
9.3.2. Sıcaklık Düzeltmesi.....	187
9.3.3. Havuz Veriminin Bulunması.....	188
9.4. STABİLİZASYON HAVUZLARI.....	190
9.4.1. Fakültatif Stabilizasyon Havuzlarının Özellikleri	192
9.4.1.1. Alglerin Oksijen Üretimi	194
9.4.2. Fakültatif Stabilizasyon Havuzlarının Boyutlandırılması	196

9.4.3. Sülfür Üretimi.....	199
9.4.4. Çamur Birikimi.....	199
9.4.5. Bakteri Giderimi	199
9.4.6. Stabilizasyon Havuzlarının İnşası.....	200
9.5. ANAEROBİK HAVUZLAR.....	201
10. MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) TEKNOLOJİSİ	202
10.1. GİRİŞ	202
10.2. MEMBRAN BİYOREAKTÖRLERDE KULLANILAN MEMBRANLAR, ÖZELLİKLERİ VE PROSES KONFIGÜRASYONLARI.....	203
10.2.1. Nutrient Giderimi.....	207
10.3. TIKANMA PROBLEMİ VE KONTROLÜ	208
10.4. MBR SİSTEMLERİNİN TASARIMI.....	210
10.4.1. Membran Filtrasyon Ünitesinin Tasarımı	212
10.4.2. Biyolojik Proses Hesabı.....	213
11. KANALİZASYONU OLMAYAN YERLERDE ATIKSULARIN UZAKLAŞTIRILMASI.....	215
11.1. YÜZEY SULARINA TAHLİYE.....	216
11.2. KURU ÇUKURLAR.....	217
11.3. SIZDIRMA KUYULARI.....	217
11.4. ÇÜRÜTME ÇUKURLARI.....	220
11.5. İKİ KATLI ÇUKURLAR.....	222
11.6. DAMLATMALI SİSTEMLER	223
11.7. KUM FİLTRE HENDEKLERİ.....	223
11.8. YERALTI SIZDIRMA HENDEKLERİ.....	225
12. KÜÇÜK YERLEŞİMLERDE ATIKSU ARITMA UZAKLAŞTIRMA... 226	
12.1. KÜÇÜK ARITMA TESİSLERİ.....	226
12.2. PAKET TESİSLER	226

13. TATBİKAT (AFYONKARAHİSAR İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİ)	238
13.1. PROJE BÖLGESİNİN TANITILMASI.....	238
13.1.1. Yerleşim Yerleri	238
13.2. SU KAYNAKLARI	239
13.2.1. Yüzeysel Sular	239
13.3. ALICI ORTAM	240
13.4. DEŞARJ STANDARTLARI.....	241
13.5. NÜFUS TAHMİN HESAPLARI	243
13.5.1. Atıksu Toplama Sistemi	244
13.5.2. Atıksu Miktarı, Özellikleri ve Tesisin Arıtma İhtiyacı	244
13.6. AFYONKARAHİSAR MERKEZ MEVCUT ATIKSU ARITMA TESİSİ.....	246
13.6.1. Tasarım Verileri.....	248
13.6.1.1. Giriş Yapısı ve Numune Alma Noktası	248
13.6.1.2. Giriş Dağıtım Yapısı	248
13.6.1.3. Izgara ve Terfi Merkezi	248
13.6.1.4. Giriş Terfi Merkezi.....	248
13.6.1.5. Havalandırılmalı Kum Tutucu ve Yağ Tutucular.....	249
13.6.1.6. Debimetre Yapısı	250
13.6.1.7. Anaerobik Fosfat Giderim Havuzu	250
13.6.1.8. Havalandırma Havuzu.....	251
13.6.1.9. Havalandırma Havuzunun Boyutlandırılması	252
13.6.1.10. Hava Hesabı	253
13.6.1.11. Havalandırma Havuzu Körük Binası	254
13.6.1.12. Çöktürme Havuzu Dağıtım Yapısı	254
13.6.1.13. Son Çökertme Havuzu	255
13.6.1.14. Geri Devir-Fazla Çamur Terfi Merkezi.....	258
13.6.1.15. Çamur Toplama Tankı	258
13.6.1.16. Çamur Susuzlaştırma Binası	259
13.6.1.17. Süzüntü Suyu Terfi Merkezi.....	259
13.6.1.18. Çıkış Yapısı.....	259
13.6.1.19. Kimya Binası.....	259
13.7. OTOMASYON SİSTEMİ.....	259
13.8. ÇAMUR BERTARAFI	260
KAYNAKLAR.....	261
ALFABETİK İNDEKS.....	264

KISALTMALAR

BOİu : Nihai Biyolojik Oksijen İhtiyacı

DAF : Çözünmüş hava ile yüzdürme

HBS : Hidrolik bekletme süresi

SF : Emniyet faktörü

SVI : Çamur hacim indeksi

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Kullanılmış Su Tasfiyesinde Tatbik Edilen İşlemler	4
Tablo 1.2. Atıksu Tasfiyesinde Kullanılan Başlıca Temel İşlem ve Prosesler.....	7
Tablo 1.3. Temel İşlem ve Proseslerle Sağlanan Tasfiye Verimleri	10
Tablo 1.4. Atıksu Tasfiye Sistemlerinin Verimleri ve İşletme Özellikleri.....	11
Tablo 1.5. Çamur Tasfiyesinde Kullanılan Temel İşlem ve Prosesler	13
Tablo 1.6. Çamur Arıtma Sistemlerinin İşletme Verimleri.....	14
Tablo 2.1. Evsel Atıksularda Katı Madde Miktarları ve BOİ ₅ Yükleri	20
Tablo 2.2. Atıksudaki Katı Madde Miktarları ve BOİ ₅ Yükü, g/N.G.....	20
Tablo 2.3. Su Sarfiyatı 150 lt/N.G. için Atıksudaki Katı Madde Konsantrasyonları, mg/lt.....	21
Tablo 2.4. Evsel Atıksularda Kirleticisi Madde Konsantrasyonları.....	21
Tablo 2.5. Nüfusa Bağlı Olarak n ₁ Değerleri.....	24
Tablo 4.1. Çökeltme Hızları	36
Tablo 4.2. Kum Tutucularda Yüzey Yükleri	37
Tablo 4.3. Yatay Akışlı Kum Tutucularda Projelendirme Kriterleri.....	37
Tablo 4.4. Ventüri Kanalına Ait Boyutlar	43
Tablo 4.5. Projelendirme Kriterleri	47
Tablo 5.1. Çökeltme Havuzları İçin Projelendirme Esasları	52
Tablo 5.2. Dikdörtgen Planlı Çökeltim Havuzu Boyutlandırma Kıstasları.....	59
Tablo 5.3. Daire Planlı Çökeltim Havuzları için Boyutlandırma Kıstasları.....	59
Tablo 6.1. Parametrelerin Evsel Atıksular İçin Aralık ve Tipik Değerleri	80
Tablo 6.2. Aktif Çamur Sistemleri Havalandırma Havuzu Proje Kriterleri	82
Tablo 6.3. Çamur Hacim İndeksi ile Çamur Çökeltme Özellikleri Arasındaki İlişki.....	83
Tablo 6.4. Çamur Yüküne Bağlı Olarak Solunum Hızları Değişimleri.....	85
Tablo 6.5. Sıcaklık Düzeltme Katsayısı	86
Tablo 6.6. Evsel Atıksular İçin Aktif Çamur Sistemi Tasarım Parametreleri.....	87
Tablo 6.7. Mekanik Havalandırıcıların Özellikleri	108
Tablo 7.1. Proses Tasarım Parametreleri.....	121
Tablo 7.2. Tesisin Proje Kriterleri	142
Tablo 7.3. Paşaköy Biyolojik Atıksu arıtma Tesisi 2001 yılı Aylık Giriş Çıkış Değerleri ve Giderimleri.....	145
Tablo 8.1. Çamurların Katı Madde Miktarı, Su Muhtevaları ve Çamur Debileri.....	146
Tablo 8.2. Yoğunlaştırıcılarda Katı Madde Muhtevaları ile Katı Madde Yükleri.....	152
Tablo 8.3. Anaerobik Çamur Çürütmede Kinetik Katsayıları	155

Tablo 8.4. Çürütme Tanklarının Boyutlandırma Kriterleri.....	160
Tablo 8.5. Çamur Çürütücülerin Bekletme Süreleri.....	162
Tablo 8.6. Kurutma Yatakları Alan İhtiyacı.....	168
Tablo 8.7. Anaerobik Çürümüş (Ön Çöktürme+Aktif Çamur Fazla Çamuru) İçin Kurutma Yatağı Alan İhtiyaçları.....	170-171
Tablo 8.8. Türkiye İçin Kurutma Yataklarının Bir Yılda Kullanma Sayısı ve Kişi Başına Kurutma Yatağı Ortalamaları (n=46 yerleşim merkezi).....	172
Tablo 9.1. Filtre Malzemesinin Özellikleri.....	175
Tablo 9.2. Evsel Atıksular İçin Damlatmalı Filtre Tasarım Parametreleri	180
Tablo 9.3. Çeşitli Geri Devir Oranları İçin F Faktörleri	181
Tablo 9.4. “a” Katsayısının Değerleri	182
Tablo 9.5. Evsel Atıksular İçin Havalandırılmalı Oksidasyon Havuzları Tasarım Parametreleri.....	186
Tablo 9.6. Kuzey Yarımküre İçin Güneş Radyasyonunun Değerleri	195
Tablo 9.7. Sıcaklığa Bağlı Olarak Kp Değerleri	198
Tablo 9.8. Stabilizasyon Havuzlarında Tavsiye Edilen Yüklemeler	199
Tablo 9.9. Anaerobik Havuzlar İçin Tavsiye Edilen Bekletme Süreleri.....	201
Tablo 10.1. Konvansiyonel Aktif Çamur Sistemleri İle MBR’lerin Araştırılması.....	202
Tablo 10.2. Tıkanıklık Sınıflandırması	209
Tablo 10.3. Tam Ölçekli MBR Sisteminde Uygulanacak Kimyasal Temizleme Protokolü.....	210
Tablo 10.4. MBR Sistemi Tasarım Parametreleri.....	210
Tablo 10.5. Farklı Uygulamalar İçin Akı Değerleri	212
Tablo 10.6. MBR Tasarımında Kullanılan Tipik AKM ve Geri Devir Oranı.....	213
Tablo 11.1. Nüfusa Bağlı Değerler.	218
Tablo 13.1. Akarçay Havzası YAS İşletme Rezervlerinin Ovalara Göre Dağılımı.....	240
Tablo 13.2. SKKY Deşarj Standartları.....	241
Tablo 13.3. Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinde İkincil Arıtma İlişkin Deşarj Limitleri.....	242
Tablo 13.4. Atıksu Giriş ve Çıkış Değerleri	244
Tablo 13.5. Evsel ve Sanayi Tesislerine Ait Kirlilik Yükleri	245
Tablo 13.6. ATV 131 E Standartı Baskın Yatay ve Baskın Düşey Akışlı İkincil Çöktürme Tankları Arasından Geçiş Alanı İçin İzin Verilen Değerler	256

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Atıksu Tasfiyesinde Kullanılan İşlem ve Proseslerin Akım Şemaları.....	8-9
Şekil 1.2 Klasik Aktif Çamur Sistemi.....	16
Şekil 1.3 Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Sistemi	16
Şekil 1.4 Temas Stabilizasyonu Sistemi	16
Şekil 1.5 Damlatmalı Filtre Sisteminin Akım Şeması	18
Şekil 3.1 Çeşitli Izgara Tiplerinden Misaller.....	26
Şekil 3.2 Çubuk Izgara	27
Şekil 3.3 Çift Kanallı Izgarada Giriş-Çıkış Tertibatları	28
Şekil 3.4 Mekanik Olarak Temizlenen Izgaralarda Tutulan Katı Madde Miktarı.....	29
Şekil 3.5 Düz Çubuk Sabit Izgara.....	30
Şekil 3.6 Çubuk Izgara ve Temizleme Tertibatı.....	31
Şekil 3.7 Izgara Çubukları	33
Şekil 3.8 Izgara Çubuklarının Enkesitlerine Göre Şekil Katsayıları	33
Şekil 3.9 Bir Öğütücü ve Kanala Yerleştirilmesi	34
Şekil 3.10 Tipik Bir Öğütücünün Kesiti ve Kanal İçine Yerleştirilmiş Haldeki Plan ve Kesiti.....	35
Şekil 4.1 Tipik Bir Kum Tutucu.....	38
Şekil 4.2 İki Bölmeli Kum Tutucu.....	39
Şekil 4.3 Kare Planlı Kum Tutucu	40
Şekil 4.4 Venturi Kanalı Plan ve Kesiti	44
Şekil 4.5 Orantılı Akım Savağı.....	45
Şekil 4.6 Havalandırmalı Kum Tutucunun Giriş ve Çıkış Düzeneği.....	46
Şekil 4.7 Bir Daneciğin Havalandırmalı Kum Tutucudaki Hareketi	47
Şekil 4.8 Havalandırmalı Kum Tutucu Kesiti.....	48
Şekil 4.9 Daire Planlı Kum Tutucunun Plan ve Kesiti	49
Şekil 4.10 Hava Tulumbası (Mamot Pompa) İçin Hava Miktarının Bulunması.....	50
Şekil 5.1 Çökeltim Havuzu Tipleri.....	52
Şekil 5.2 Dairesel Çökeltim Havuzu ve İşletme Teçhizatının Şeması.....	53
Şekil 5.3 Kare Planlı Konik Çökeltim Havuzunun Boyutları	54
Şekil 5.4 Daire Planlı Konik Çökeltim Havuzunun Boyutları	54
Şekil 5.5 Dikdörtgen Çökeltme Tankının Kesiti.....	55
Şekil 5.6 Dikdörtgen Planlı Çökeltim Havuzunun Çamur Sıyırma Tertibatı.....	56
Şekil 5.7 Dairesel Çökeltim Tankının Kesiti	57
Şekil 5.8 Dairesel Çökeltim Havuzunun Çamur Sıyırma Tertibatı	58
Şekil 5.9 DIN 19551'e Göre Projelendirilmiş Dikdörtgen Planlı Çökeltim Havuzunun Boyutları.....	60

Şekil 5.10 Çökeltim Havuzları Plan ve Kesitleri	61
Şekil 5.11 Çökeltim Havuzları Plan ve Kesitleri	62
Şekil 5.12 Çökeltim Havuzları Plan ve Kesitleri	63
Şekil 5.13 Çökeltim Havuzları Plan ve Kesitleri	64
Şekil 5.14 Çökeltim Havuzları Giriş Yapılarına Misaller	65
Şekil 5.15 Çökeltim Havuzları Çıkış Yapılarına Misaller	66
Şekil 5.16 Havuza Dik Yaklaşım Yapısı	66
Şekil 5.17 Havalandırılmalı Yaklaşım Yapısı, a) Kesit, b) Plan	67
Şekil 5.18 Tabanı Çamur Toplama Çukuru Olan Yaklaşım Yapısı a) Kesit, b) Plan	67
Şekil 5.19 Izgara Şeklindeki Giriş Tertibatı	68
Şekil 5.20 Savak Şeklindeki Giriş Tertibatı (Huisman)	68
Şekil 5.21 Borulardan Meydana Gelen Giriş Tertibatının Özel Bir Şekli (J. Weidner)	68
Şekil 5.22 Boru Şeklinde, Fakat Su Jetlerinin Yön Değiştirmesine Sebep Olan Tertiplerle Teçhiz Edilmiş Giriş Tertibatları	69
Şekil 5.23 Dairesel Çökeltim Havuzlarının Yarıklı Giriş Tertibatı (F. Pöpel)	70
Şekil 5.24 Konik Havuzlar İçin Silindirik Giriş (F. Pöpel)	70
Şekil 6.1 Bakterilerin Tipik Çoğalma Eğrisi	71
Şekil 6.2 Atıksuda Bulunabilecek Mikroorganizmaların İzafi Çoğalma Eğrileri	71
Şekil 6.3 Klasik Aktif Çamur Sistemi Akım Şeması	73
Şekil 6.4 Aktif Çamur Sisteminin Farklı Modifikasyonları	74
Şekil 6.5 Havalandırma Havuzundaki Mekanizma	76
Şekil 6.6 Reaktör Çeşitleri	77
Şekil 6.7 Aktif Çamur Sisteminin Akım Şeması	77
Şekil 6.8 Havalandırmada Kullanılan Elemanlar	88
Şekil 6.9 Kabarcıklı (Difüzörlü) Havalandırma Sistemi	90
Şekil 6.10 Orta Büyüklükte Kabarcıklar Hasıl Eden Inka Tipi Havalandırma Tertibatı	91
Şekil 6.11 Gözenekli Filtre Boruları ile Havalandırmaya Örnek	92
Şekil 6.12 Çubuk Difüzörlerin Havalandırma Havuzundaki Durumu	94
Şekil 6.13 Çubuk Difüzörlerle Teçhiz Edilmiş Bir Havalandırma Havuzu	95
Şekil 6.14 Taban Difüzörlerinin Havalandırma Havuzuna Yerleştirilmesi	96
Şekil 6.15 Taban Difüzörlerin Yerleştirilmesi.	97
Şekil 6.16 Düşey Milli Havalandırıcı Tipleri	98
Şekil 6.17 Yatay Milli Havalandırıcı (Fırça Rotor)	99
Şekil 6.18 Düşük Devirli Mekanik Havalandırıcının Havalandırma Havuzuna Yerleştirilmesi	100

Şekil 6.19 Yüksek Devirli Yüzen Havalandırıcılar	101
Şekil 6.20 Fuchs-Wendelbelütfer Tipi Yüksek Devirli Havalandırıcı	101
Şekil 6.21 Havalandırıcıların Havalandırma Havuzuna Yerleştirilmelerine Misaller...102	
Şekil 6.22 Bazı Mekanik Havalandırıcıların Kesiti ve Havuz İçindeki Görünümü.....103	
Şekil 6.23 Simpleks Konisi ile Teçhiz Edilmiş Biyolojik Havalandırma Havuzunun Kesiti.....104	
Şekil 6.24 Simpleks Konisi ile Teçhiz Edilmiş Havalandırma Havuzunun Planı ve Kesiti.....105	
Şekil 6.25 Dubalı Havalandırıcı	106
Şekil 6.26 Dubalı Havalandırıcılarla Teçhiz Edilmiş Havalandırma Havuzunun Planı ve Kesiti.....107	
Şekil 6.27 Oksidasyon Hendeği Şeklinde Uzun Havalandırılmalı Aktif Çamur Sistemi.....110	
Şekil 6.28 Kessener Fırçaları ile Havalandırılan Bir Oksidasyon Hendeğinin Plan ve Kesitleri.....111	
Şekil 6.29 Aktif Çamur Sistemi için Bir Yerleşim Planı	112
Şekil 7.1 Biyolojik Fosfor Giderimi	116
Şekil 7.2 Çıkış Fosfor Konsantrasyonunun Giriş KOİ:TP Oranına Göre Değişimi.....117	
Şekil 7.3 Giderilen Fosfor Konsantrasyonunun Anaerobik Hidrolik Bekletme Süresine Göre Değişimi.....117	
Şekil 7.4 Beş Kademeli Bardenpho Prosesi	119
Şekil 7.5 A ² O Prosesi.....119	
Şekil 7.6 VIP Prosesi	119
Şekil 7.7 UCT Prosesi.....119	
Şekil 7.8 Ardışık Kesikli Reaktör (AKR).....120	
Şekil 7.9 Pho-strip Prosesi.....120	
Şekil 7.10 Organik Madde, Azot ve Fosforun Konsantrasyon Profili	123
Şekil 7.11 Paşaköy İleri Biyolojik Arıtma Tesisinin Ömerli Havzasındaki Yeri.....124	
Şekil 7.12 Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Prosesi	125
Şekil 7.13 Paşaköy İleri Biyolojik Arıtma Tesisinin	126
Şekil 7.14 Paşaköy İleri Biyolojik Arıtma Tesisinin Akım Şeması	127
Şekil 7.15 Paşaköy İleri Biyolojik Arıtma Tesisinin Hidrolik Profili.....128	
Şekil 7.16 Giriş Terfi Merkezi.....129	
Şekil 7.17 Izgaralar, Izgara Presi ve Sürgülü Kapaklar	130
Şekil 7.18 Kum Tutucular.....131	
Şekil 7.19 Kum Tutucu Blowerları.....131	
Şekil 7.20 Biyolojik Fosfor Ünitesi.....132	

Şekil 7.21 Havalandırma Havuzu	133
Şekil 7.22 Havalandırma Havuzu Difüzörleri	134
Şekil 7.23 Havalandırma Havuzu Blowerları	135
Şekil 7.24 Son Çöktürme Havuzları	135
Şekil 7.25 Sıyırıcılar, Dalgıç Perde ve Savaklar	136
Şekil 7.26 Geri Devir Terfi Merkezi ve Çöktürme Havuzu	137
Şekil 7.27 DAF Geri Devir Terfi Merkezi	137
Şekil 7.28 DAF Havuzu	138
Şekil 7.29 Çamur Depolama Havuzu	139
Şekil 7.30 Santrüfjüler	140
Şekil 7.31 Polielektrolit Hazırlama Ünitesi	140
Şekil 7.32 Çamur Besleme Pompaları	140
Şekil 7.33 Arıtma Sahası O.G.-A.G. Panoları ve Trafo merkezi TR-4	141
Şekil 7.34 6.3 kV Turbo Blower Enerji Merkezi	142
Şekil 7.35 2001 Yılı BOİ ₅ Grafiği	143
Şekil 7.36 2001 Yılı KOİ Grafiği	143
Şekil 7.37 2001 Yılı AKM Grafiği	144
Şekil 7.38 2001 Yılı Toplam Azot Grafiği	144
Şekil 7.39 2001 Yılı Toplam Fosfor Grafiği	144
Şekil 8.1 a. Biyolojik Stabilizasyon ve Üç Farklı Su Alma İşleminin Uygulandığı Çamur Arıtma Diyagramı	147
b. Biyolojik Olmayan Çamurlar İçin Tipik Akım Diyagramları	148
Şekil 8.2 Çamur Tasfiye ve Uzaklaştırmada Kullanılan Metodlar	150
Şekil 8.3 Çamur Yoğunlaştırıcı Planı	152
Şekil 8.4 Çamur Yoğunlaştırıcı Kesiti	153
Şekil 8.5 Çürütücülerin Kesiti	154
Şekil 8.6 Tek Kademeli ve Yüzer Kapaklı Anaerobik Bir Çamur Çürütücünün	155
Şekil 8.7 Anaerobik Çamur Çürütücülerinin Farklı Tipleri	156
Şekil 8.8 Çürütücü İçindeki Farklı Karışım Tipleri	156
Şekil 8.9 Sabit Kapaklı Bir Çamur Çürütme Tesisinde Isı Donanımı ve Terfi Merkezi	157
Şekil 8.10 Sabit Kapaklı Bir Çamur Çürütücüde, Tankın Muhteviyatının Tesisin İçine Konan Pompalarla Karıştırılması	158
Şekil 8.11 İki Kademeli Modern Bir Çamur Çürütme Tesisinin	159
Şekil 8.12 Hidrolik Karışım İki Kademeli Çamur Çürütücünün Akış Diyagramı	161
Şekil 8.13 Çürütme Yapısının Kesiti	162
Şekil 8.14 Çürütme Yapısının Planı	163
Şekil 8.15 Yumurta Şeklinde Bir Çamur Çürütme Yapısının Boyutları	163
Şekil 8.16 Yumurta Profile Sahip Sabit Kapaklı Ön Çürütme Tesisinin Kesiti	164

Şekil 8.17 Bir Pres Filtrenin Kesiti ve Çalışma Düzenegi.....	166
Şekil 8.18 Pres Filtre.....	166
Şekil 8.19 Yerçekimi, Vakum ve Basınç Etkisi Altında Çalışan Çamur Susuzlaştırma Sistemi.....	167
Şekil 8.20 Tipik Bir Çamur Kurutma Yatağının Plan ve Kesiti.....	169
Şekil 9.1 Damlatmalı Filtre Kesiti	173
Şekil 9.2 Damlatmalı Filtre İşleyiş Mekanizması.....	173
Şekil 9.3 Damlatmalı Filtrelerde Hava Akımı ve Sıcaklık Farkı Arasındaki Münasebet.....	176
Şekil 9.4 Damlatmalı Filtre Kesiti ve Dağıtıcılar.....	177
Şekil 9.5 Damlatmalı Filtrelerin Taban Drenaj Sisteminin Detayları.....	178
Şekil 9.6 Damlatmalı Filtre İşletim Elemanları	179
Şekil 9.7 Geri Devirli Damlatmalı Filtre Sistemleri	181
Şekil 9.8 Damlatmalı Filtre Tertip Şekilleri - Cazibeli	182
Şekil 9.9 Damlatmalı Filtre Tertip Şekilleri - Terfili	183
Şekil 9.10 Biyodisk Sistemi.....	184
Şekil 9.11 Tipik Bir Dönen Biyolojik Reaktör	185
Şekil 9.12 Mekanik Havalandırmalı Havuzlara Ait Plan ve Kesit	189
Şekil 9.13 Havuz Şekline ve Akıma Göre Mekanik Havalandırmalı Havuzlar.....	190
Şekil 9.14 Wehner-Wilhem Denklemi Kullanılarak Verimin Bulunmasına Dair Grafik.....	191
Şekil 9.15 Bir Stabilizasyon Havuzunda Alg ve Bakteri Faaliyetleri.....	192
Şekil 9.16 Stabilizasyon Havuzlarına Ait Alternatifler	193
Şekil 9.17 Stabilizasyon Havuzunun Giriş ve Çıkış Yapıları	200
Şekil 10.1 Membran Filtrasyon Spekturumu.....	203
Şekil 10.2 Genel MBR Türleri.....	205
Şekil 10.3 MBR İçin Pratikte Kullanılan Membran Konfürazyonlarının Akım Şemaları ve Genel Görünümleri.....	206
Şekil 10.4 Azot giderimi Yapan MBR: (a) Entegre ve (b) Ayrık Sistem.....	207
Şekil 10.5 Fosfor Giderimi İçin Kullanılan Tipik MBR Proses Şeması: (a) Şematik, (b) Plan görünüş	208
Şekil 10.6 İzlenmesi Gereken MBR Tasarım Adımları	211
Şekil 10.7 Ayrık Sistem İçin Tipik Geri Devir Şeması	214
Şekil 11.1 Çürütme Çukuru ve Sızdırma Borularından İbaret Bir Sistemin Plan ve Kesit Durumu.....	216
Şekil 11.2 Sızdırma Kuyusu Kesit ve Planı	218
Şekil 11.3 Yağ Tutucu Plan ve Kesiti	219
Şekil 11.4 Yatay Akışlı Üç Gözlü Çürütme Çukuru	220
Şekil 11.5 İki Gözlü Çürütme Çukuru ve Dozlama Odası.....	220
Şekil 11.6 120 Kişi İçin Boyutlandırılmış Üç Gözlü Bir Çürütme Çukuru.....	221

Şekil 11.7 İki Katlı Çukurlar.....	222
Şekil 11.8 Kum Filtre Hendeği	223
Şekil 11.9 Dağıtma Kutusu Tipleri	224
Şekil 11.10 Yeraltı Kum Filtreleri.....	224
Şekil 11.11 Sızdırma Hendeği ve Sızdırma Şebekesi	225
Şekil 12.1 Basınçlı Hava ile Çalışan Arıtma Tesisleri	227
Şekil 12.2 KK-SL Birleşik Arıtma Tesisleri	228
Şekil 12.3 OXIGEST Tipi Birleşik Arıtma Tesisleri	229
Şekil 12.4 PURIMAT Tipi Birleşik Arıtma Tesisleri	230
Şekil 12.5 Mekanik Araçlarla Arıtma Tesisleri.....	231
Şekil 12.6 ESSEN (50 - 1000) Tipi Beton Birleşik Arıtma Tesisleri.....	233
Şekil 12.7 1000-3500 ESSEN Tipi Beton Birleşik Arıtma Tesisleri.....	234
Şekil 12.8 VORTAIR ACCELATOR Tipi Birleşik Arıtma Tesisleri	235
Şekil 12.9 AERO ACCELATOR Tipi Kesit	236
Şekil 12.10 FURTH Tipi Arıtma Tesisleri	236
Şekil 12.11 SCHREIBER Tipi Yuvarlak Pissu Arıtma Tesisleri.....	237
Şekil 13.1 Afyonkarahisar İli Coğrafi Durumu	238
Şekil 13.2 Akarçay Havza Haritası.....	239
Şekil 13.3 Afyonkarahisar Akarçay Deşarjı	240
Şekil 13.4 Afyonkarahisar İli 2041 Yılı İçin Nüfus Tahmin Grafiği	243
Şekil 13.5 Afyonkarahisar Atıksu Arıtma Tesisleri Genel Vaziyet Planı.....	246
Şekil 13.6 Afyonkarahisar İleri Biyolojik Arıtma Tesis Bileşenleri.....	246
Şekil 13.7 Akım Şeması	247
Şekil 13.8 Havalandırmalı Kum ve Yağ Tutucu Planı	249
Şekil 13.9 Havalandırmalı Kum ve Yağ Tutucu Kesiti.....	249
Şekil 13.10 Anaerobik Fosfat Giderim Havuzu Planı	250
Şekil 13.11 Anaerobik Fosfat Giderim Havuzu Kesiti	251
Şekil 13.12 Havalandırma Havuzu Planı.....	251
Şekil 13.13 Son Çöktürme Planı.....	255
Şekil 13.14 Son Çöktürme Kesiti	255
Şekil 13.15 Scada Sistemi.....	260

SEMBOL LİSTESİ

α	: Izgaranın yatayla yaptığı açı
α	: Kanala intikal yüzdesi
β	: Şekil katsayısı
θ	: Havalandırma havuzunda bekletme müddeti, gün
θ_c	: Çamur bekleme süresi, gün
θ_c^d	: Emniyetli olarak bekletme müddeti
θ_c^m	: Nazari bekleme müddeti
μ	: Büyüme hızı, gün^{-1}
η	: Oksijen iletim verimini
a	: İki sayım arasındaki senelerin farkı
a	: Atıksu katsayısı
a	: Kişi başına alan ihtiyacı, m^2/N
A	: Biyodisk yüzey alanı, m^2
A	: Kum tutucunun bir gözünün en kesit alanı, m^2
A	: Havuz yüzey alanı, m^2
A_r	: Hava ihtiyacı, (m^3 hava/saat)
b	: Bulutluluk faktörü
b	: Izgara çubukları arasındaki en küçük serbest mesafe (aralık), m.
b_1	: Izgara yapısının genişliği
B	: Ortalama buharlaşma miktarı, mm
B	: Yıllık ortalama buharlaşma, mm/yıl
B	: Havuzun genişliği, m.
c_a	: 1 m^3 havadaki oksijen miktarı, ($\text{kg O}_{2/\text{m}^3}$ hava)
c_L	: Havalandırma havuzunda çözünmüş oksijen konsantrasyonu, mg/l
c_s^*	: 10°C da Çözünmüş oksijenin doymunluk değeri, mg/l (11.33 mg/l)
c_{sT}	: Atıksuda $T^\circ\text{C}$ sıcaklıkta çözünmüş oksijenin doymunluk değeri, mg/l
c_{sT}^*	: Temiz su için $T^\circ\text{C}$ sıcaklıkta çözünmüş oksijenin doymunluk değeri, mg/l
C	: Bina bağlantı borusu
d	: Dispersiyon sayısı (boyutsuz)
D	: Dispersiyon katsayısı, m^2/sn
el	: Çubuklar arasındaki serbest açıklık
E	: Verim
f	: Katsayı, m/gün
f_e	: Temiz su yüzünden buharlaşmanın çamur yüzeyinden olan buharlaşmaya oranı
f_i	: Serilen çamurun drene olan yüzdesi

f_r	: Yağan yağmurun drene olan yüzdesi
F/M^*	: Çamur yükü, veya besi maddesi mikroorganizma oranı $\text{kg BOI}_5/\text{kg UAKM.gün}$
g	: Yerçekimi ivmesi, m/sn^2
h	: Algin yanma ısısı, (6000 kalori /gram)
h	: Kum tutucuda su yüksekliği, m.
h	: Yük kaybı, m.
h	: Havuz derinliği, m.
h_e	: Ventüri ölçeğinden sonraki kanalda su yüksekliği, m.
h_{kr}	: Kritik kesitte su yüksekliği, m.
h_{kr1}	: Genişliğin C değeri alınması ile bulunan kritik su yüksekliği, m.
H	: Rakım, km.
H_a	: Parşal kanalının menba tarafındaki su yüksekliği, ft,
H_e	: Dalma derinliği
H_f	: Basma yüksekliği
k	: Serilen çamurun katı madde muhtevası
k^1	: Madde giderme hızı katsayısı, $\text{gün}^{-1}/(\text{mg/lt})$
k_d	: Mikroorganizmaların ölme hızı, kg AKM/kg AKM.gün
k_L	: Giderme hızı katsayısı, gün^{-1}
k_{re}	: Solunum hızı, $\text{kg O}_{2/\text{kg AKM.gün}}$
k_s	: Sıyrılan çamurun katı madde muhtevası
k_{io}/k_T	: Sıcaklık düzeltme katsayısı
K	: Ventüri kanalında gösterilen değer, m.
K_a	: Reaksiyon hız sabiti
K_p	: Madde giderme hızı sabiti, gün^{-1}
L	: Damlatmalı filtreye giren BOI_5 yükü, $\text{kg BOI}_5/\text{gün}$
L	: Akım yolu ekseninin uzunluğu, m
L	: Çamur serme kalınlığı, mm.
L	: Kum tutucu boyu, m.
L_N	: Azot yükü, kg azot /gün
L_s	: Çamur yükü, $\text{kg BOI}_5/\text{kg UAKM-gün}$
L_v	: Hacim yükü, $\text{kg BOI}_5/\text{m}^3.\text{gün}$
m	: Akımın batmış olmaması için gerekli minimum su yüksekliği
$\max q$	: Kişi başına yazlık su ihtiyacı, $\text{m}^3/\text{N/gün}$
$\max Q_{ev}$	: Yazlık evsel su sarfıyatı, $\text{m}^3/\text{gün}$
M	: Havalandırma havuzundaki biyokütle konsantrasyonu, $\text{kg AKM/m}^3 M_r$:
	Geri devir hattındaki biyokütle konsantrasyonu, kg AKM/m^3
n	: Seri bağlı havuz sayısı

N	: Nüfus
N_g	: Gelecekteki nüfus
N_i	: İlk nüfus sayım neticesi
N_s	: Son nüfus sayım neticesi
O_c	: Standart şartlardaki oksijen ihtiyacı, $\text{kg O}_2/\text{gün}$
p	: Oksijenlendirme faktörü, $(1.2-1.7 \text{ gr O}_2 / \text{gr alg arasında})$
p	: Nüfus artış hızı
P	: Çöktürme havuzuna giren katı madde miktarı, kg AKM /saat
P_s	: Fazla çamur miktarı, asılı katı cinsinden, kg AKM /gün
P_x	: Net biyokütle üretimi, kg UAKM /gün
Q	: Debi, $\text{m}^3/\text{gün}$
Q_i	: Kum tutucunun bir gözünden geçen debi, m^3/s
Q_{24}	: Ortalama debi, m^3/saat
Q_h	: Hesap debisi, m^3/saat
$Q_{\min}$	: Minimum debi, m^3/saat
Q_r	: Geri devir debisi, $\text{m}^3/\text{gün}$
Q_w	: Fazla çamur debisi, m^3/saat
r	: Geri devir oranı
R_o	: Oksijen ihtiyacı, $\text{kg O}_2/\text{gün}$
s	: Izgara çubuğunun akıntıya dik istikametteki en büyük kalınlığı, m.
s_s	: Çamura bağlı yüzey yükü, $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{saat}$
S	: Madde konsantrasyonu, mg/l
S_e	: Çıkışta BOI_5 konsantrasyonu, $\text{mg BOI}_5/\text{l}$
S_i	: Havalandırma havuzu giriş BOI_5 konsantrasyonu, mg/l
S_k	: Katı madde yükü, $\text{kg AKM /m}^2/\text{saat}$
$S_{\max}$	: Gözönüne alınan aydaki maksimum görülür radyasyon
$S_{\min}$	: Gözönüne alınan aydaki minimum görülür radyasyon
S_o	: Giriş konsantrasyonu, mg/l .
S_o	: Yüzey yükü, $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{saat}$
S_R	: Ortalama görülür radyasyon, $(\text{kalori} / \text{cm}^2.\text{gün})$
t	: Bekletme müddeti
t	: Son nüfus yılı ile projenin yapıldığı yıl arasındaki sene farkı
t_1	: Bir havuzun bekletme müddeti, gün
T	: Yıllık çamur serme periyodu, kere/yıl T_a : Hava sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$
T_e	: Çıkış sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$
T_i	: Havuza giriş sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$

T_L	: Lagündeki ortalama sıcaklık, °C
u	: Akım hızı, m/s
u	: Üniformluk katsayısı
U	: Mikroorganizma kütlesi başına besi maddesi tüketim hızı
V	: Hız, m/s
V_ϕ	: Daneciğin çökelme hızı, m/s
V_{kr}	: Kritik kesitte su hızı, m/s
V_s	: Izgara çubukları arasındaki su hızı, m/s.
V	: Hacim, m ³
$V_{\phi\phi}$	: Alttaki çamur çürütme hacmi
$V_{\phi\phi k}$	: Üst bölmenin hacmi
V_{hd}	: Hesap dışı kalan hacmi
V_s	: Çökelme hızı
$V_{y\phi}$	: Yüzücü çamur hacmi
w	: Genişlik
W_a	: Alg üretimi, gr/gün
X	: Havalandırma havuzunda biyokütle konsantrasyonu, kg UAKM/m ³
X_r	: Geri devir hattında biyokütle konsantrasyonu, kg UAKM/m ³
Y	: Dönüşüm katsayısı, gr/gr
Y	: Ortalama yağış miktarı, mm/ yıl
Y	: Verim sabiti (dönüşüm oranı), kg MLSS/kg BOİ ₅
Y_{obs}	: Gözlenmiş dönüşüm oranı, kg UAKM / kg BOİ ₅
Y_s	: Dönüşüm oranı, kg AKM / kg BOİ ₅
Y_x	: Dönüşüm oranı, kg UAKM / kg BOİ ₅

1. TASFİYE USULLERİ

1.1. GİRİŞ

Su, canlıların hayatlarını idame ettirebilmeleri için lüzumlu en mühim maddelerden birisidir. İnsanların ihtiyacı için gerekli su, su kaynaklarından temin edilir ve kullanıldıktan sonra yüzey sularına veya zemine geri verilir. Ancak atık suların hiçbir tasfiye işlemine tabi tutulmadan doğrudan yüzey sularına verilmesi, bunların kirlenmesine sebep olmaktadır. Nehir, göl ve diğer su kaynaklarının kirlenmesinden sonra durumun düzeltilmesi ancak çok büyük mali harcamalarla mümkündür. Bazı hallerde ise bozulan tabii dengenin yeniden kurulması imkansız olmaktadır.

Susuz hayat mümkün değildir. Bu yüzden su kirlenmesi diğer çevre kirlenmesi problemleri arasında üzerinde en fazla durulması gereken bir mes'eledir. Bundan dolayı atık sular uygun şekilde tasfiye edildikten sonra alıcı ortama verilmelidir. O halde kullanılmış suların tasfiyesinden maksat; yüzey sularının, zeminin ve daha geniş manada çevre kirlenmesinin önlenmesidir.

Çevre kirlenmesi, çeşitli kirleticilerden ileri gelmektedir. Kirleticiler kaynakları dört sınıfta toplamak mümkündür.

- Evsel atık sular,
- Sanayii atıkları,
- Zirai menşeli kirleticiler,
- Tabii kirleticiler,

Bu kirleticiler alıcı ortamda çeşitli kirlenmelere sebep olurlar. Bunlar fiziki, kimyevi, bakteriyolojik, radyoaktif ve termal kirlenme olarak sınıflandırılabilir.

* Fiziki Kirlenme

Atık sularda bulunan çeşitli maddeler suyun fiziki görünüşünü bozmakta, suya istenmeyen kötü tat, koku, renk ve bulanıklık vermektedir.

* Kimyevi Kirlenme

Bilhassa sanayii atık sularının döküldüğü yüzey sulara çok çeşitli kimyevi maddeler karışmaktadır. Bu maddeler sudaki canlılara zehirlilik etkisi yapabilmekte ve yüzey sularından istifade imkânlarını azaltmaktadır.

* Bakteriyolojik Kirlenme

Atık sularda bulunan bazı mikroorganizmalar tifo, kolera, dizanteri, çocuk felci ve sarılık gibi sudan geçen çeşitli hastalıklara sebep olmaktadır.

* Radyoaktif Kirlenme

Çeşitli radyoaktif maddelere ait cevherlerin yeraltından çıkarılması ve işlenmesi, nükleer santrallarda lüzumlu tedbirlerin alınmaması, nükleer silah tecrübeleri gibi sebeplerle radyoaktif kirlenme meydana gelmektedir.

*** Termal Kirlenme**

Isı santralleri ve bazı sanayi kollarının soğutma sularının yüzey sularına verilmesi alıcı ortamın sıcaklığını artırmaktadır. Sudaki aşırı sıcaklık, çözünmüş oksijenin doygunluk konsantrasyonunun azalmasına, suda yaşayan bazı canlıların yok olmasına ve su ekosisteminde değişikliklere sebep olmaktadır.

Netice olarak, yukarıda sayılan tesirlerle ve bunlara ilaveten zirai mücadele ilaçları ve petrol kirlenmesi gibi sebeplerle yüzey sularımız gün geçtikçe kirlenmekte ve bunlardan faydalanma imkânları azalmaktadır. Gelecek nesillere iyi bir miras bırakmak istiyorsak “Çevre”yi çok iyi bir şekilde muhafaza etmeliyiz. Çevreyi iyi bir şekilde koruyabilmek için atık sularda istenmeyen kirlетici maddeler ve onların çevreye olan zararlı tesirleri bilinmelidir. Bu hususlar aşağıda açıklanmıştır.

*** Ayrışabilen Organik Maddeler**

Ayrışabilen organik maddeleri ihtiva eden atıkların su ortamına verilmesi halinde, aerobik bakterilerin faaliyetleri neticesinde su kütlesinde ayrıışmış oksijen muhtevası azalmaktadır. Sanayii atıklarının çoğunda bir miktar ayrışabilir organik madde bulunur. Mesela kağıt hamuru, konserve fabrikaları yıkama suları, et kombinaları, mensucat sanayii atıkları, süt işleme ve fermentasyon işlemleri neticesinde ortaya çıkan atıklar çözünmüş organik madde ihtiva ederler. Ayrışabilen organik maddelerin miktarı Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Organik Karbon (TOK) ve Toplam Oksijen İhtiyacı (TOİ) gibi parametrelerle belirlenebilir.

*** Koku ve Tat Veren Çözünmüş Kirlетici Maddeler**

Alıcı ortama verilen sıvı atıklarda bulunan çeşitli maddeler, bu ortamda istenmeyen koku ve tada sebep olurlar. Fenoller ve merkaptanlar gibi kimyevi maddeler bunların arasında sayılabilir.

*** Zehirli Maddeler ve Ağır Metaller**

Zehirli maddeler ve ağır metaller yüzey sularındaki biyolojik hayata menfi yönde tesir etmektedir. Civa (Hg), Bakır (Cu), Çinko (Zn) ve Kurşun (Pb) gibi metaller üzerinde dikkatlice durulması gereken ağır metallerdir. Balıklar ve diğer su canlıları yoluyla besin zincirine girebilirler.

Zehirli maddeler ve ağır metallerin bir diğer zararlı tesiri de biyolojik tasfiye tesislerinin verimlerini düşürmesidir.

*** Azot ve Fosfor**

Bu maddeleri ihtiva eden atıksular, yüzey sularına verildiği zaman ötrofikasyona sebep olur.

*** Yağ, Gres ve Petrol Atıkları**

Bu maddeler yüzey sularının üzerlerini ince bir tabaka ile kapladığından havadan oksijen alma kabiliyeti azalır.

Yağ ve gres ihtiva eden sular biyolojik tasfiye tesislerinde bazı mes’elelerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

*** Asit ve Alkaliler**

Kullanılmış suyun pH değeri, bu suları toplayan mecralara, biyolojik tasfiye tesislerinin verimine ve alıcı ortamdaki canlı hayata tesir etmektedir.

*** Renk ve Bulanıklık veren Askıda Katı Maddeler**

Bu maddelerin alıcı ortama verilmesi estetik bakımdan arzu edilmez.

*** Çözünmüş İnorganik Katılar**

*** Sıcaklık**

*** Zararlı Mikroorganizmalar**

Bunların alıcı ortama verilmesi, ortamın ekolojik dengesinin bozulmasına sebep olmaktadır.

1.2. TEMEL İŞLEMLER VE TASFİYE USULLERİ

Kullanılmış suların tasfiyesindeki işlemleri;

a. Mekanik (fiziki)

b. Kimyasal

c. Biyolojik

olmak üzere üç ana sınıfta toplamak mümkündür.

Izgarada iri maddeleri tutma, kumların tutulması, yüzdürme ve çöktürme, mekanik tasfiye işlemleridir.

Kimyasal tasfiye işlemlerinde ortama kimyevi madde ilave edilir. Kimyasal çöktürme, adsorpsiyon, dezenfeksiyon gibi işlemler bunlar arasında sayılabilir.

Biyolojik tasfiye esas itibariyle ayrışabilen organik maddeleri gidermek için tatbik edilir. Aktif çamur, damlatmalı filtre ve biyodiskler biyolojik tasfiye usulleridir.

Atıksu tasfiye birimleri genel olarak temel işlemler ve temel prosesler olmak üzere iki ana kısımda ele alınabilmektedir. Temel işlemlerde, arıtma veya kirleticilerin giderimi fiziksel faktörlerin tesiriyle sağlanır. Temel proseslerde ise arıtmayı sağlayan etkenler genellikle kimyasal ve biyolojik reaksiyonlardır. Temel işlemler ve temel prosesler terimlerinin sık sık eş manalı olarak kullanılması gerekebilir. Zira bir arıtma sistemi içerisindeki pek çok muamele, temel işlem ve proseslerin sistematik bir kombinezonundan ibarettir.

Çeşitli kirleticileri gidermek için muhtelif temel işlemler tatbik edilmektedir. Bunlar Tablo 1.1.'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Kullanılmış Su Tasfiyesinde Tatbik Edilen İşlemler

Kirleticiler	Tatbik Edilen İşlem veya Tasfiye Usulü
Askıdaki Katı Maddeler	• Çöktürme • Izgaradan Geçirme veya Ögütme • Süzme • Yüzdürme • Kimyevi Madde İlavesiyle Yumaklaştırma-Çöktürme • Arazide Tasfiye
Ayrışabilir Organik Maddeler	• Aktif Çamur Sistemleri • Damlatmalı Filtreler • Biyodiskler • Stabilizasyon Havuzları • Havalandırılmalı Havuzlar • Anaerobik Tasfiye Usulleri • Arazide Tasfiye
Zararlı Mikroorganizmalar	• Klorlama • Ozon İle Dezenfeksiyon • Arazide Tasfiye
Azot	• Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon • Yüksek pH'da Havalandırma • İyon Değiştirme • Kırılma Noktası Klorlaması • Olgunlaştırma Havuzları • Arazi Tasfiyesi
Fosfor	• Metal Tuzları İlavesiyle Çöktürme • Kireç İlavesi İle Çöktürme • Biyokimyasal Fosfor Giderme • Arazi Tasfiyesi
Kalıcı Organikler	• Karbonla Adsorpsiyon • Ozon ile Oksidasyon • Arazide Tasfiye
Ağır Metaller	• Kimyasal Çöktürme • İyon Değiştirme • Arazi Tasfiyesi
Çözünmüş İnorganik Katılar	• İyon Değiştirme • Ters Ozmoz • Elektrodializ
Yağ ve Gres	• Yüzdürme

Arzu edilen seviyede arıtma sağlanabilmesi için atıksu tasfiye tesislerinde muhtelif temel işlem ve proseslerden yararlanılır. Bu şekilde ortaya çıkan arıtma sistemi, akım şeması, akış diyagramı, sistem planı, akış planı vs. şeklinde temsil edilmektedir. Belirli seviyede bir arıtma sağlamak üzere muhtelif temel işlem ve prosesleri ihtiva eden birbirinden farklı pek çok sistem planı düşünülebilir. Ancak en uygun sistem bunlardan en ekonomik olanıdır. Bir atıksu arıtma sistemi seçimi sırasında başlıca aşağıdaki hususlar göz önünde tutulmalıdır:

1. Atıksu özellikleri ve lüzumlu arıtma derecesi,
2. Mevcut yönetmelik ve standartlar,
3. Tesis için gerekli alan,
4. Tesis için ayrılan alanın büyüklüğü, topoğrafik ve geoteknik özellikleri ile bölgenin iklimi,
5. Elde mevcut teknik ve ekonomik imkanlar,
6. Gerekli mekanik teçhizatın piyasadan temin imkanları, tamir-bakım için servis imkanları,
7. Proje mühendisinin tecrübesi ve tercihleri,
8. Tesis maliyeti,
9. Ortaya çıkan çamurun miktar ve özellikleri,
10. Kalifiye işletme personeli ihtiyacı,
11. Tesisin ve tasfiye edilmiş atıkların çevre tesirleri ile alıcı ortamın kullanma maksatları.

Söz konusu temel faktörler çerçevesinde atıksu bünyesindeki sıvı ve katı kısımların arıtılarak uzaklaştırılmasını mümkün kılacak uygun arıtma sistemine karar verilmelidir. Bu bölümde atıksu ve çamurların arıtımında kullanılan temel işlem ve prosesler özetlenerek muhtelif tasfiye usulleri verilmektedir.

1.2.1. Atıksu Tasfiyesinin Esasları

Atıksu arıtma tesisleri genellikle atıksu içindeki sıvı ve katı kısımların ayrı ayrı arıtılmasını mümkün kılacak tarzda planlanmaktadır. Ancak stabilizasyon havuzları, havalandırılmalı oksidasyon havuzları ve bazı oksidasyon hendeklerinde atıksuyun sıvı ve katı kısımları aynı tesis içinde arıtılmaktadır. Bu tür sistemlerde atıksuyun sıvı ve katı bileşenleri pek çok kimyasal ve biyolojik prosesin müşterek tesiri neticesinde arıtılarak stabilize edilmektedir. Bir atıksu arıtma sisteminin başlıca kısımları ve arıtma dolayısıyla uygulanan temel işlem ve prosesler aşağıdaki sıra ile ele alınabilir.

1.2.1.1. Terfi, Debi Ölçümü ve Dengeleme

Atıksuların tasfiyesinde terfi merkezi, akım ölçme ve dengeleme birimleri sistemin önemli birer parçası durumundadır. Bu sistemler genellikle bir arıtma sağlamamakla birlikte, esas arıtma tesisi içerisinde zaruret dolayısıyla yer alırlar.

Terfi merkezleri, atıksuların kanalizasyon şebekesinde arazinin topoğrafik eğimine tabii olarak akması dolayısıyla normal olarak en düşük kotlu kesimlerde yer alır. Kanalizasyon suları toplanan bölgenin düz veya engebeli kesimlerinin atıksularının ana toplayıcıya ulaşmasını sağlamak üzere terfi merkezine ihtiyaç duyulabilir. Terfi merkezleri genellikle ızgaralardan sonra teşkil edilir ve çoğu halde de kum tutucu ve ilk çöktürme birimlerinden sonra gelir. Bu tür bir yerleştirmeden maksat, pompaları kaba malzeme, kum ve çamur gibi hasara yol açabilecek maddelerden korumak ve işletme problemlerini azaltmaktır. Arıtma sistemi dahilinde de geri devir, çamur uzaklaştırma gibi maksatlar için özel terfi merkezleri inşa etmek gerekmektedir.

Tesisin işletme ve kontrolü bakımından, sisteme gelen atıksu debisinin düzenli olarak ölçülmesi de büyük önem taşımaktadır. Debi ölçme tertibatları arıtma tesisinden önce ana toplayıcı üzerinde teşkil edilebileceği gibi, kum tutucu veya terfi merkezinden sonra, arıtma tesisi çıkışında uygun bir yerde de kurulabilir.

Debi dengeleme, esas itibarıyla bir arıtma prosesi değildir. Değişken akımların dengelenmesi dolayısıyla, arıtma tesisi hemen hemen sabit bir debiye göre projelendirilebilir. Dengeleme havuzları, atıksu arıtma tesisine gelecek debi ve konsantrasyon şoklarının giderilmesi yolu ile sistemin tasfiye veriminin belirli sınırlar arasında kararlı tutulmasında büyük önem taşımaktadırlar. Dengeleme özellikle küçük evsel atıksu arıtma tesisleri ile turistik ve sanayi bölgelerindeki evsel ve sanayi arıtma tesislerinde hayati bir emniyet unsurudur. Son zamanlarda, sanayileşmiş bazı ülkelerdeki son derece yüksek kalite standartlarının sağlanabilmesi için dengeleme, konsantrasyon salınımlarını gidermek üzere atıksu arıtma tesisi sonunda da uygulanabilmektedir. Bu yüzden debi ile birlikte konsantrasyon salınımlarının da dengelenmesi düşünülmektedir.

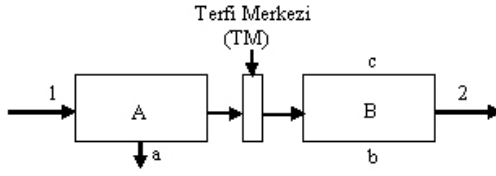
1.2.1.2. Temel İşlemler ve Prosesler

Evsel atıksuların takriben %99'u su olup, kalan kısım organik ve inorganik maddeleri ihtiva etmektedir. Atıksu içerisindeki kirleticilerin giderilmesinde bu maddelerin özellik ve konsantrasyonları etkili olmaktadır. Kaba, çökebilen organik ve inorganik katı maddeler genellikle ızgara, kum tutucu ve ilk çöktürme birimlerini ihtiva eden ve birinci kademe tasfiye olarak da adlandırılan mekanik tasfiye sistemi ile giderilebilirler. Çözünmüş organik maddelerin giderimi ise, mekanik tasfiyeyi takiben kimyasal veya biyolojik arıtma sistemleri ile sağlanabilir. Mekanik tasfiye ile birlikte biyolojik veya kimyasal arıtma birimlerini ihtiva eden bu sisteme ikinci kademe arıtma sistemi adı verilir. Bu sistemlere ilave edilecek muhtelif temel işlem ve proseslerle azot, fosfor ve diğer kirleticilerin de giderimi sağlanabilir ve bu halde üçüncü kademe arıtma veya ileri arıtma sistemi söz konusu olur.

Birinci, ikinci ve üçüncü kademe tasfiye sistemlerinde kullanılan temel işlem ve prosesler Tablo 1.2.'de özetlenmiştir. Bu arıtma sistemlerinin muhtelif kısımları da Şekil 1.1.'de topluca görülmektedir. Sistemin bütünü ve çeşitli birimleri için ulaşılabilecek arıtma verimleri ise Tablo 1.3.'de sunulmuştur.

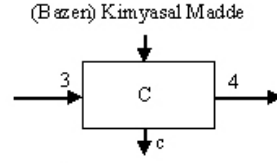
Tablo 1.2. Atıksu Tasfiyesinde Kullanılan Başlıca Temel İşlem ve Prosesler

Temel İşlemler ve Prosesler	Tatbik Sahaları
Izgara	Izgaralar atıksu tasfiyesinde girişe konulur. İri katıların giderilmesi için kullanılır.
Kum Tutucu	Kum tutucular, kum, çakıl, yonga vs. gibi malzemelerin giderilmesinde kullanılır.
Ön Çöktürme	Ön çöktürmenin gayesi, kendiliğinden çökebilen katı maddelerin giderilmesidir.
Askıda Çoğalan Sistemler	Bu temel proses, çözünmüş organiklerin giderilmesi için Biyolojik sistemler kullanılır (Aktif çamur sistemi en önemli uygulamasıdır).
Biyofilm Sistemleri	Bu temel proses de çözünmüş organik maddeleri gidermek için kullanılır (Damlatmalı filtre sistemi en çok kullanılanıdır).
Son Çöktürme	Son çöktürme biyokitletmenin sudan ayrılması için kullanılır.
Pıhtılaştırma - Yumaklaştırma	Yumaklaştırma işlemi, asılı katı maddeler ve fosforun çöktürülmesi için kullanılır. Alum (şap), demir tuzları ve polielektrolitler en çok kullanılan kimyevi maddelerdir. Bu proseste hızlı karıştırma ve yavaş karıştırma havuzları bulunur.
Kireç ile Çöktürme	Kireç, askıda maddeler ve fosforun giderilmesi için kullanılır.
Nitrifikasyon	Bu proses, amonyumu nitrata dönüştürmek için kullanılır. Askıda çoğalan biyolojik reaktör ve biyofilm sistemlerinde nitrifikasyon gerçekleşebilir.
Denitrifikasyon	Nitrit ve nitrat, mikroorganizmalar yardımıyla azot gazına dönüştürülür.
Amonyak Sıyırma	Atıksu yüksek pH' da bir kulenin üzerinden dökülerek, amonyumun sudan ayrılması sağlanır.
Kırılma Noktası Klorlanması	Amonyak azotu klorlama ile azot gazına dönüştürülür.
Filtrasyon (süzme)	Filtrasyon çıkış suyunun kalitesini iyileştirmek için yapılır. Toplam katı madde ve bulanıklık giderilir.
Karbon Adsorbsiyonu	Karbon adsorbsiyonu, çözünmüş kalıcı organikleri gidermek için kullanılır.
Ters ozmoz veya Ultrafiltrasyon	Bu işlemler birer demineralizasyon ve ayırma işlemidir.
Elektrodializ	Bu işlem de bir demineralizasyon işlemidir.



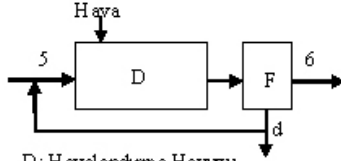
A: Izgara ve Kum Tutucu B: Izgara ve Kum Tutucu
Debi Ölçme (D.Ö)

a- Ön Tasfiye



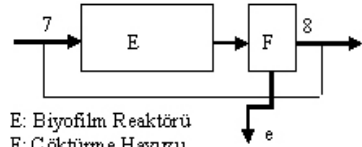
C: Ön Çökeltilim Havuzu

b- Ön Çökeltilim



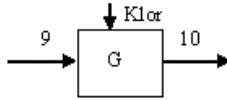
D: Havalandırma Havuzu
F: Çöktürme Havuzu

**c- Havalandırma Havuzu
(İkinci Kademe Tasfiye)**



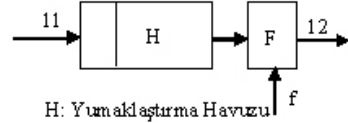
E: Biyofilm Reaktörü
F: Çöktürme Havuzu

**d- Biyofilm Reaktörü
(İkinci Kademe Tasfiye)**



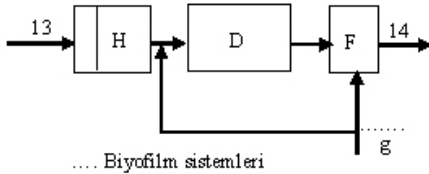
G: Klor Temas Havuzu

e- Klorla Dezenfeksiyon



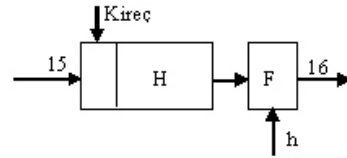
H: Yumaklaştırma Havuzu

**f- Birinci veya İkinci Kademe
Sonrası Yumaklaştırma**



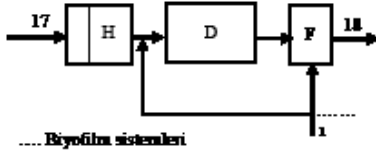
.... Biyofilm sistemleri

**g- Biyolojik Tasfiye ve Yumaklaştırmanın
Birlikte Uygulanması**

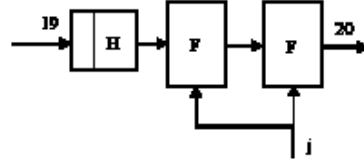


**h- Birinci veya İkinci Kademe
Tasfiyeden Sonra Tek Kademe Kireç**

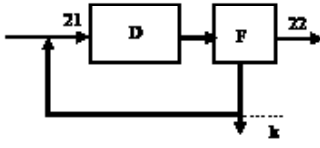
**Şekil 1.1. Atıksu Tasfiyesinde Kullanılan Temel İşlem ve
Proseslerin Akım Şemaları**



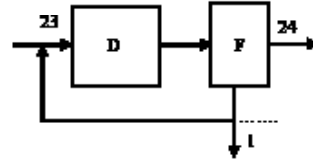
i- Biyolojik Tasfiyede Tek Kademeli Kireç Uygulanması



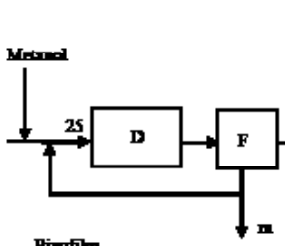
j- İki Kademeli Kireçle Tasfiye



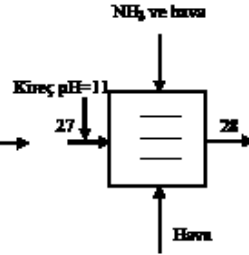
k- Tek Kademeli Nitrifikasyon



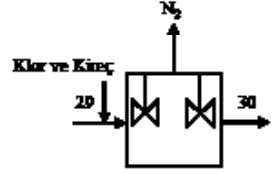
l- Ayrı Nitrifikasyon



m- Ayrı Denitrifikasyon



n- Anımsız Çöktürme



o- Kirlenmiş Nüfuzlu Kirlenmesi

Şekil 1.1. Atıksu Tasfiyesinde Kullanılan Temel İşlem ve Proseslerin Akım Şemaları (devam)

Tablo 1.3. Temel İşlem ve Proseslerle Sağlanan Tasfiye Verimleri

Temel İşlem veya Proses	Giderme Verimi (%)					
	BOI ₅	KOI	TAKM	T.Fos.	Org. N	NH ₃ Azotu
Ön Tasfiye	az	az	az	az	az	az
Ön Çöktürme	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0
Klasik Aktif Çamur	80-85	80-85	80-90	10-25	15-50	8-15
Yüksek Hızlı Damlatmalı Filtre	60-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15
Dezenfeksiyon	az	az	az	az	az	az
Ön Tasfiye veya İkinci Kademe Tasfiyeden Sonra Yumuşaklaştırma ve Çöktürme	40-70	40-70	50-80	70-90	50-90	0
Tek kademeli Biyolojik						
Sistemde Nitrifikasyon	80-95	80-90	70-90	10-15	75-85	85-95
Ayrı Kademedeki Nitrifikasyon	50-70	50-60	az	-	40-50	90-96
Ayrı Kademedeki Denitrifikasyon	az	az	az	az	az	az
Amonyak Sıyırma	0	-	0	0	-	60-70
Kırılma Noktası Klorlaması	-	-	0	0	60-85	80-90
İyon Değiştirme	0	0	0	0	0	90-95
Filtrasyon	20-50	20-50	60-80	20-50	50-70	0
Karbon Adsorbsiyonu	50-85	50-85	50-80	10-30	30-50	-
Ters Ozmoz	90-100	90-100	-	90-100	90-100	60-90
I Elektrodializ	20-60	20-60	-	-	80-95	30-50

1.2.1.3. Atıksu Tasfiye Sistemi Alternatifleri

Tablo 1.2. ve Şekil 1.1.'de verilen temel işlem ve proseslerin birlikte uygun şekilde kullanılması suretiyle istenen seviyede bir arıtma sağlamak için muhtelif arıtma alternatifleri geliştirilebilir. Tasfiye derecesi organik madde, askıda katı madde, azot ve fosforun belli oranda veya tamamen giderilmesini mümkün kılacak şekilde seçilebilir. En uygun arıtma sistemini elde etmek için proje mühendisinin işletme ve bakım maliyeti ile değişken akım şartlarındaki sistem verimi ve tasfiye edilen atıksuyun alıcı ortamdaki çevre tesirleri gibi pek çok faktörü dikkate alması gerekir. Başlıca atıksu arıtma sistemlerinin verimleri ve işletme özellikleri Tablo 1.4,'te verilmiştir.

Tablo 1.4. Atıksu Tasfiye Sistemlerinin Verimleri ve İşletme Özellikleri

Mevzuu	Klasik Aktif Çamur	Uzun Havalandırma	Damlatmalı Filtre	Fakültatif Havalandırmalı Havuz	Stabilizasyon Havuzu
BOI ₅ Giderme Verimi, %	85 - 93	95 - 98	65 - 95	70 - 90	70 - 90
Azot Giderme Verimi, %	30 - 40	15 - 30			40 - 50
Fosfor Giderme Verimi, %	30 - 45	10 - 20			20 - 60
Koliform Giderme Verimi, %	60 - 90	60 - 90		60 - 90	60 - 99,9
Arazi İhtiyacı, m ² /N	0.16 - 0.20	0.25 - 0.35		0.15 - 0.45	1.0 - 2.8
Sıcak İklim	0.20 - 0.40	0.35 - 0.65		0.45 - 1.0	3-12
Mutedil İklim					
Enerji İhtiyacı, kW/h/N.yıl	12 - 17	13 - 20		12 - 15	Yok
Çamur Tasfiyesi	Çürütme, Kurutma Yatakları Mekanik Teçhizat	Kurutma Yatakları	Çürütme, Kurutma Yatakları	5 - 10 yılda bir defa çamur uzaklaştırma	5-10 yılda bir çamur uzaklaştırma
Lüzumlu Alet ve Teçhizat İhtiyacı	Havalandırıcılar, Geri Devir Pompaları, Sıyırıcılar, Yoğunlaştırıcılar, Çamur Çürütme ve Gaz Toplama Tertibatı	Havalandırıcılar Geri Devir Pompası	Geri devir Pompası, Sıyırıcılar, Yoğunlaştırıcı, Çürütme ve Gaz Toplama tertibatı	Havalandırıcılar	Yok
İşletme	Yetiştirilmiş Eleman	Daha az yetiştirilmiş Eleman	Yetiştirilmiş Eleman	Basit	Basit

N: Nüfus

1.2.2. Çamur Tasfiye ve Uzaklaştırma Sistemleri

Çeşitli arıtma birimlerinden ortaya çıkan çamurların uygun şekilde tasfiyesi ve uzaklaştırılması da büyük önem taşımaktadır. Atıksuyun katı kısmı; ızgara üzerinde tutulan kaba maddeler, kum, köpük ve organik çamurlardan ibarettir. Atıksu tasfiye tesislerinde teşekkül eden çamurlar, % 0,5-5 nispetinde katı madde ihtiva eder ve ciddi arıtma ve uzaklaştırma problemlerine yol açar. Arıtma çamuru, bünyesinde büyük miktarda su ihtiva eden kokulu bir maddedir. Çamur arıtma ve uzaklaştırma maliyeti yüksek olduğundan, çamur tasfiyesi atıksu arıtma tesisi tasarımının en kritik hususlarından biridir.

1.2.2.1. Temel İşlem ve Prosesler

Genelde çamur tasfiye ve uzaklaştırma metodları yoğunlaştırma, stabilizasyon, suyunu alma ve nihai uzaklaştırma işlemlerini ihtiva eder. Çamur arıtma ve uzaklaştırma işlemlerinin muhtelif safhalarında pek çok temel işlem ve proses kullanılır. Ekonomik bir çamur arıtma sistemi geliştirilebilmesi için arıtma proseslerinin en uygun kombinezonu (terkibi) teşkil edilmelidir. En çok kullanılan çamur arıtma sistemlerinin özellikleri Tablo 1.5.'de verilmiştir.

1.2.2.2. Çamur Tasfiye Sistemlerinin Verimleri

Çamur tasfiye tesislerinde genellikle iki tür atık çıkışı söz konusudur. Bunlar arıtılmış çamur ve sıvı kısımdır. Sıvı kısmın (duru su) yeniden arıtılması gerekir ve bu yüzden atıksu arıtma tesisinin girişine verilir. Çamur arıtımından çıkan bu sıvı faz yüksek oranda AKM ve BOİ ihtiva eder ve sisteme şok yük getirir. Dolayısı ile tesise geri dönen çamur üst fazının getireceği yük, tasarım esnasında dikkatle değerlendirilmelidir. Çeşitli çamur tasfiye sistemlerinin işletme verimleri Tablo 1.6.'da özetlenmiştir.

1.2.2.3. Çamur Arıtma Sistemi Alternatifleri

Atıksu arıtma tesisinde işletme problemlerinin azaltılabilmesi için çamur arıtma birimlerindeki teçhizat uygun seçilmelidir. Çamur oldukça kokuludur ve ciddi çevre problemlerine yol açabilir. Bu yüzden tutulan katı madde miktarı, geri devrettirilen sıvı kısmın kimyasal özellikleri, çamurun suyunu bırakma özelliği (özgül direnç), tesisin işletme kolaylığı ve koku gibi faktörler ciddi olarak incelenmelidir.

Tablo 1.5. Çamur Tasfiyesinde Kullanılan Temel İşlemler ve Prosesler

Temel İşlemler ve Prosesler	Tatbik Yerleri
Yoğunlaştırma	Yoğunlaştırma, çamurun hacmini azaltmak ve kesafetini artırmak için kullanılır.
Çözünmüş Hava ile Yüzdürme	Çamurun kesafeti yüzdürme ile artırılabilir. Hava yüksek basınçta çözülür. Basınç serbest bırakıldığında hava kabarcıkları katı maddeleri yüzdürür.
Santrifüj ile Yoğunlaştırma	Çamurlar santrifüj kuvvetlerin tesiri altında yoğunlaşır veya suyu alınır.
Kimyevi Oksidasyon	Çamur, patojen mikroorganizmaları azaltmak, istenmeyen kokuları gidermek için stabilize edilir. Klor, hidrojen peroksit ve ozon en çok kullanılan kimyevi maddelerdir.
Kireç ile Stabilizasyon	pH değerini 12 veya daha büyük bir değere yükseltmek için kullanılır. Yüksek pH değerinde çamurlar stabilize olur.
Aerobik Çürütme	Çamur 10-15 günlük bir sürede havalandırmak suretiyle oksijenin mevcut olduğu bir ortamda stabilize edilir.
Anaerobik Çürütme	Çamurlar, havasız vasatta stabilize edilir. Metan, enerji kaynağı olarak geri kazanılır.
Kimyevi Şartlandırma	Çamur, suyunu bırakma özelliğinin iyileştirilmesi için şartlandırılır. Bu maksatla polielektrolit, alum, demir tuzları ve kireç kullanılır.
Çamur Yıkama (Elütrasyon)	Elütrasyon, alkaliniteyi gidermek için çamurların yıkanmasıdır. Yıkanmış çamurun şartlandırma için daha az kimyevi maddeye ihtiyacı vardır.
Isı İşlemi	Çamurlar 140-200°C’ da ısıtılmak suretiyle şartlandırılır ve stabilize edilir.
Kurutma Yatakları	Çamurlar, kum yatakları üzerine serilir. Sıvının bir kısmı alt drenaj sistemiyle alınır, bakiyesi buharlaşır.
Santrifüj	Çamurun suyunu almak için kullanılır.
Vakum Filtresi	Çamurun suyunu almak için kullanılır.
Pres Filtresi	Çamurun suyunu almak için kullanılır.
Yatay Bant Filtre	Çamurun suyunu almak için kullanılır.
Araziye Serme	Suyu alınmamış veya suyu alınmış çürütülmüş çamur ziraat alanlarına serilebilir.
Kompostlaştırma Suretiyle Toprak Islahı	Çamur keki kompostlaştırılır ve sonra ziraat alanlarına serilebilir.
Kurutma	Çamur keki, takriben 370°C’ da kurutulur. Bu sıcaklıkta uçucu maddelerden bir kısmı giderilir.
Piroliz	Piroliz, 300-700°C’ da çamurun ısıtılmasıdır.
Islak Oksidasyon	Çamur katılan yüksek sıcaklık (200-300°C) ve yüksek basınçta (5-20 MN/m ²) sıvı fazında yakılır.

Tablo 1.6. Çamur Arıtma Sistemlerinin İşletme Verimleri

Çamur Arıtma Sistemi	Çamur Cinsi	Ham Çamurdaki % AKM	Arıtılan Çamurdaki % AKM	Su Fazi	
				BOI ₅	AKM
Yoğunlaştırıcı	Ham (primer) Çamur	3 - 6	8 - 10	160 - 600	300 - 1000
Graviteli	Ham+Fazla Aktif Çamur	2 - 5	4.5 - 8.5	166 - 600	300 - 800
	Fazla Aktif Çamur	0.5 - 1.2	2.5 - 3.5	100 - 400	200 - 600
Çözünmüş Hava ile Yüzdürme (SA2)	Fazla Aktif Çamur	0.5 - 1.2	2 - 4	160 - 600	400 - 1000
Santrifüjle Yoğunlaştırma (SA3)	Fazla Aktif Çamur	0.5 - 1.2	2 - 6	50 - 500	100 - 10000
Aerobik Stabilizasyon (SB3)	Yoğunlaştırılmış Karışık Çamur	3 - 8.5	-	100 - 1000	1000 - 10000
Anaerobik Stabilizasyon (SB4)	Yoğunlaştırılmış Karışık Çamur	3 - 8.5	-	1000 - 10000	3000 - 15000
Vakum Filtre ile Su Alma (SD4)	Kimyasal Şartlandırma (Çürütülmüş Çamur)	3 - 8	15 - 25	500 - 5000	1000 - 20000
Pres Filtre ile Su Alma	Kimyasal Şartlandırma (Çürütülmüş Çamur)	3 - 8	20 - 25	500 - 4000	1000 - 15000
Santrifüj ile Su Alma	Kimyasal Şartlandırma (Çürütülmüş Çamur)	3 - 8	10 - 35	1000 - 10000	2000 - 15000

1.3. BİYOLOJİK TASFİYE SİSTEMLERİ

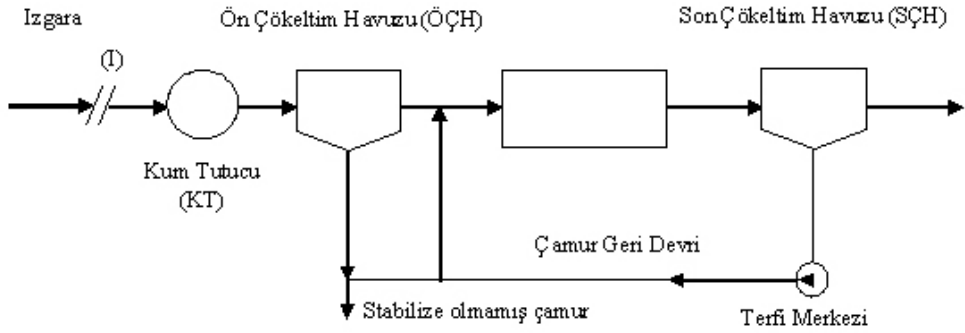
Biyolojik tasfiye yoluyla atıksulardaki kolloidal ve çözünmüş organik maddelerin, kolayca çökebilen yapıdaki biyokütle ve gazlara dönüştürülmesi sağlanır. İkinci kademe tasfiye olarak da adlandırılan bu proses, genellikle fiziki ön arıtma sistemleri ile birlikte uygulanır. Atıksu bünyesindeki kaba maddelerin giderilmesinde en müessir yöntem ön çöktürme olduğu halde, kolloidal ve çözünmüş organik maddelerin gideriminde biyolojik sistem en uygun tasfiye metodudur.

Günümüzde en yaygın şekilde kullanılan biyolojik tasfiye sistemleri, başlıca;

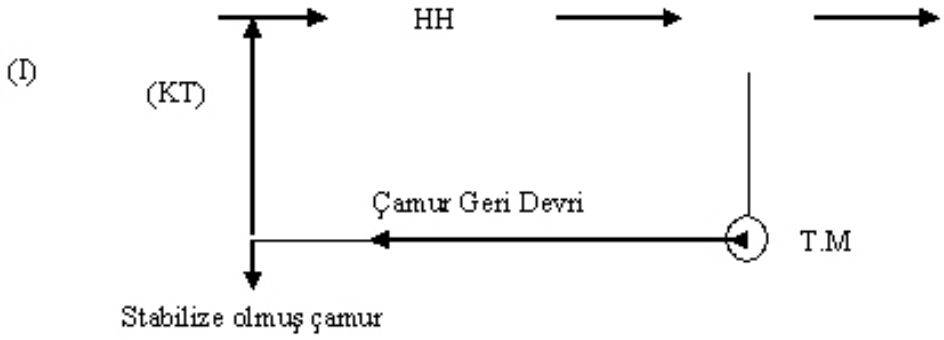
- Aktif Çamur Sistemi
- Havalandırma Havuzları (Havalandırma Lagünleri)
- Stabilizasyon Havuzları
- Damlatmalı Filtreler
- Biyodiskler (Döner Diskler) olarak sıralanabilir.

1.3.1. Aktif Çamur Sistemi

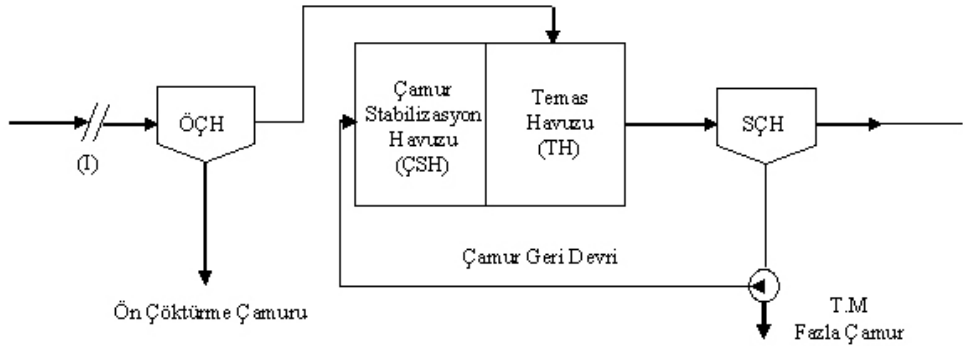
Aktif Çamur Sistemi, bütün dünyada en yaygın şekilde kullanılan havalı (aerobik) biyolojik tasfiye sistemidir. Klasik aktif çamur sisteminde ikinci kademe veya biyolojik tasfiye öncesinde ızgara, kum tutucu ve ilk çöktürme birimlerini ihtiva eden bir mekanik tasfiye uygulanır (Şekil 1.2.). Mekanik tasfiye sisteminde yüzücü ve çökebilen maddeler giderilir ve bu yolla atıksuyun Biyokimyasal Oksijen İhtiyacında (BOI_5) % 25-35'lik bir azalma temin edilir. Mekanik tasfiyeden çıkan atıksuların aktif çamur sistemi ile biyolojik arıtımı sonunda akarsu, deniz ve araziye deşarj edilebilecek kalitede bir tasfiye sağlanır. Ancak içmesuyu kaynağı olarak kullanılan göller ile su alışverişi sınırlı kapalı koy ve denizlerde ötrofikasyon tehlikesine karşı ikinci kademe biyolojik tasfiyeden sonra, üçüncü kademe (ileri) tasfiyeye gerek duyulabilir. Aktif çamur sisteminde kişi başına enerji ihtiyacı 12-15 kW-st/N.yıl arasında değişmektedir. Arazi ihtiyacı ise 0,16-0,40 m²/Nüfus civarındadır. Gerçekte arazi ihtiyacı tesisin bulunduğu yerin iklimine, çamur tasfiye usulüne göre değişmektedir. Aktif çamur sisteminin geliştirilmiş şekilleri de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar arasında uzun havalandırma aktif çamur sistemi (Şekil 1.3.) ve temas stabilizasyonu sistemi çok kullanılmaktadır (Şekil 1.4.). Bu sistemler esas itibarı ile klasik aktif çamur sistemine benzemekte, ancak daha uzun süreli havalandırma yapılmaktadır. Ön çöktürme ve çamur çürütme birimleri olmadığı için işletilmeleri daha kolaydır. Buna mukabil enerji sarfiyatları önemli ölçüde yüksektir. Dolayısı ile genellikle küçük ve orta büyüklükteki beldeler için uygundur. Oksidasyon hendekleri de uzun havalandırma sistemidir. Ancak bunlarda havalandırma havuzları havuz şeklinde olmayıp elips hendek şeklindedir.



Şekil 1.2. Klasik Aktif Çamur Sistemi



Şekil 1.3. Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Sistemi



Şekil 1.4. Temas Stabilizasyon Sistemi

1.3.2. Mekanik Havalandırmalı Havuzlar

Havalandırmalı havuzlar, mekanik havalandırıcılar vasıtası ile havalandırılan ve derinlikleri 2,5-5 m olan toprak havuzlardır. Bu sistemin alan ihtiyacı, stabilizasyon havuzlarına nazaran % 10-20 daha azdır ve hidrolik bekletme süresi de daha kısadır. Mekanik taşıyıcılar olarak havalandırıcılara ihtiyaç vardır. Güç yoğunluğuna (birim hacim başına düşen havalandırıcı gücü) bağlı olarak katı maddeler çöker veya sistemi terk eder.

Mekanik havalandırmalı havuzlardaki havalandırıcılar sabit bir köprü üzerine yerleştirilebileceği gibi, yüzen dubalar üzerine de konulabilir.

1.3.3. Stabilizasyon Havuzları

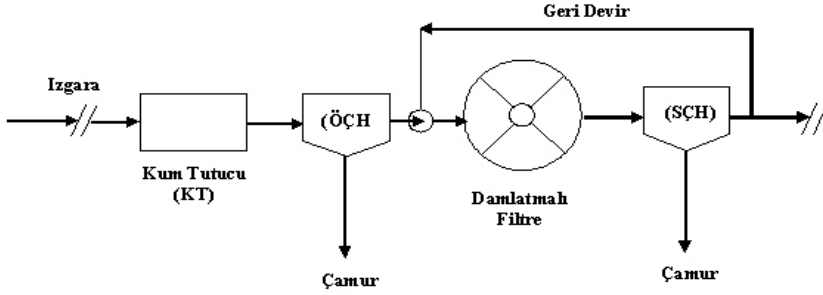
Stabilizasyon havuzları, en basit ve işletilmesi kolay tasfiye sistemleridir. Bu sistemde atıksular sığ havuzlarda uzun süre bekletilir ve organik maddelerin ayrışması sağlanır. Bu havuzlar herhangi bir mekanik aksama ihtiyaç göstermedikleri gibi enerji ihtiyaçları da bulunmamaktadır. Ancak yukarıda belirtilen çok büyük üstünlüklerine mukabil uzun bekletme süreleri dolayısıyla geniş araziye ihtiyaç göstermeleri bir mahzur olarak alınabilir. Dolayısı ile stabilizasyon havuzları ancak arazinin ucuz ve iklim şartlarının müsait olduğu bölgeler için uygun tasfiye sistemi olarak düşünülebilir.

Bu sistemin, kasaba ve şehirler için başlangıçta stabilizasyon havuzu şeklinde inşa edilmesi, nüfusun artması ile ikinci kademede «Mekanik Havalandırmalı Havuz» şekline dönüştürülmesi imkanı bulunmaktadır.

1.3.4. Damlatmalı Filtreler

Damlatmalı filtreler, içerisinde mikroorganizmaların tutunduğu geçirimsiz dolgu malzemesi bulunan biyolojik tasfiye sistemleridir. Mekanik arıtmadan geçmiş ve içerisindeki çökebilir maddelerden ayrılmış olan atıksular kırma taş, odun veya sentetik malzeme ile teşkil edilen filtre yatağından geçirildiği sırada bu malzeme üzerine tutunan biyofilm, atıksu içerisindeki çözünmüş organik maddeleri besin maddesi olarak kullanarak tedricen kalınlığını artırır. Belirli bir kalınlığa ulaşan biyofilm, filtreden süzülen suyun yol açtığı hidrolik kesme kuvveti tesiri ile koparak sürüklenir ve son çöktürme havuzunda çöktürülüp, biyokütle halinde sistemden uzaklaştırılır. (Şekil 1.5.).

Damlatmalı filtrelerin enerji ihtiyacı 6-10 kW-st/N.yıl arasında değişmektedir.



Şekil 1.5. Damlatmalı Filtre Sisteminin Akım Şeması

1.3.5. Biyodiskler

Biyodiskler, yatay bir mil üzerine birbirine çok yakın aralıklarla dizilmiş dairesel polystren veya PVC levhalarla (diskler) teşkil edilen modüllerden oluşurlar. Diskler kısmen suya dalmış vaziyette olup, yavaş yavaş döndürülür. Bu diskler üzerinde teşekkül eden biyofilm, dönme esnasında münavebeli olarak atmosfer ve sıvı ile temas eder. Böylece biyolojik ayrışma ve büyüme olayı meydana gelir ve biyofilm giderek kalınlaşır. Belirli bir kalınlığa ulaşan biyofilm, sıvı ile disk yüzeyi arasındaki kayma gerilmelerinin tesiri ile koparak çıkış savağından çökelme birimine geçer ve oradan da çöktürülerek uzaklaştırılır. Hidrolik ve organik yük değişimlerine daha kolay uyum sağlayabilirler, toksik tesirlere karşı toleransları daha yüksektir.

1.3.6. İki Kademeli Sistemler

Yukarıda belirtilen tek kademeli biyolojik tasfiyeden başka iki kademeli biyolojik tasfiyenin de kullanılması mümkündür. Ancak iki kademeli biyolojik tasfiye aşağıdaki hallerde kullanılmaktadır.

- Yüksek giderme verimlerinin gerekli olması
- Azot gidermenin lüzumu
- Kullanılmış su özelliklerinin zamanla çok değişmesi ve katı standartlar karşısında işletme emniyetinin arzu edildiği durumlarda iki kademeli tasfiye gerekli olabilir.

1.3.7. Membran Biyoreaktör (MBR) Teknolojisi

Son yıllarda, arıtılması gereken su miktarlarının artması sebebiyle daha az yer kaplayan, ekonomik ve çıkış suyu kalitesi bakımından oldukça verimli olan yeni arıtma prosesleri üzerindeki araştırmalar yoğunlaşmıştır. Membran teknolojileri bu teknolojilerin başında gelmektedir. Özellikle evsel atıksu arıtma tesislerindeki konvansiyonel arıtma sistemlerinin yerine kullanılabilecek Membran Biyoreaktör (MBR) sistemleri kolay işletilebilir olmaları ve yüksek verimleri sebebiyle geniş uygulama imkanı bulmaktadır.

Membran biyoreaktör sistemleri (MBR), evsel ve sanayi atıksularının arıtımında yaygın olarak kullanılan, aktif çamur sistemi ile biyolojik parçalanmanın, membran filtrasyonu ile katı-sıvı ayırımının gerçekleştirildiği kombine bir arıtma sistemidir. MBR prosesi temelde arıtılmış su ile aktif çamurun fiziksel olarak membran ile ayırımına dayanmaktadır. Sağladığı yüksek ayırım verimleri sebebiyle konvansiyonel evsel atıksu arıtma tesislerinde bulunan son çökeltim havuzunun yerine fiziksel ayırım sağlayan bir membran modülünün prosese batık veya harici olarak dahil edilmesiyle oluşan bir prosestir.

2. ATIKSULARIN MİKTAR ve ÖZELLİKLERİ

2.1. ATIKSULARIN TERKİBİ

Atıksular çeşitli organik ve inorganik maddeleri ihtiva etmektedir. Evsel atıksularda bu maddelerin kaynakları, insan dışkıları, mutfak ve banyolar ile içme suyunda zaten mevcut olan inorganik katı maddelerden ileri gelmektedir. Bu maddelerin kişi başına günlük yükleri Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Evsel Atıksularda Katı Madde Miktarları ve BOİ₅ Yükleri

Kaynak	İnorg. K.M g/N.G.	Org. Madde g/N.G.	Toplam K.M. g/N.G	BOİ ₅ g/N.G.
Dışkılar	19	63	82	24
Mutfak, Banyo	11	47	58	30
İçme Suyu	50	0	50	0
Toplam	80	110	190	54

Yukarıdaki maddelerin Asılı Katı Madde (AKM) ve Çözülmüş Maddeler cinsinden de sınıflandırılması mümkündür. Buna ait orta büyüklükteki bir şehir için kişi başına günlük katı madde yükleri Tablo 2.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Atıksudaki Katı Madde Miktarları ve BOİ₅ Yüğü, g/N.G

Cinsi	İnorganik	Organik	Toplam	BOİ ₅
Asılı Katı Madde				
a) Çökebilen	20	40	60	19
b) Çökemeyen	10	20	30	12
Çözülmüş Madde	50	50	100	23
Toplam	80	110	160	54

Tablolarda verilen bu değerler ortalamalardır. Mesela BOİ₅ yükü toplumun beslenme alışkınlıklarına v.s. bağlı olup 35-80 g BOİ₅/N.G. aralığında değişmektedir. Ancak bu değer ülkemizde 45 ila 60 g/N.G. arasında seçilmektedir. Refah seviyesinin yakın bir gelecekte daha da artacağı dikkate alınarak hesaplarda 60 g BOİ₅/N.G alınması tavsiye edilir. Toplam Kjeldahl Azotu 10 -18 (15) g/N.G, Toplam Fosfor 3-6 (4) g/N.G alınabilir. Konu ile alakalı olarak ülkemize has tipik değerler için Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne başvurulabilir. (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010)

Kişi başına günlük su sarfiyatı 100-300 lt arasında değişmekte olup su sarfiyatının 150 lt olarak kabul edilmesi halinde atıksu içinde bulunabilecek Asılı Katı Madde ve Çözülmüş Madde Konsantrasyonları Tablo 2.3.'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Su Sarfiyatı 150 lt/N.G. için Atıksudaki Katı Madde Konsantrasyonları,mg/lt

Cinsi	İnorganik	Organik	Toplam	BOİ ₅
Asılı Katı Madde				
a) Çökebilen	130	270	400	130
b) Çökemeyen	70	130	200	80
Çözülmüş Madde	330	330	660	150
Toplam	530	730	1260	360

Atıksularda AKM dışında, azot, fosfor, klorür, yağlar v.s. de bulunmaktadır. Bu ve benzeri parametrelerin konsantrasyonları Tablo 2.4.'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Evsel Atıksularda Kirletici Madde Konsantrasyonları

Kirletici	Konsantrasyon		
	Kuvvetli	Orta	Zayıf
Toplam Katı Madde, mg/lt	1200	720	350
Çözülmüş Toplam	850	500	250
Sabit	525	300	145
Uçucu	325	200	105
Asılı Katı Maddeler	350	220	100
Sabit	75	55	20
Uçucu	275	165	80
Çökebilen Katılar, ml/lt	20	10	5
Biyokimyasal Oksijen ihtiyacı, (BOİ ₅), mg/lt	400	220	110
Toplam Organik Karbon, (TOK), mg/lt	290	160	80
Kimyasal Oksijen ihtiyacı, (KOİ), mg/lt	1000	500	250
Toplam Azot	85	40	20
Organik Azot, mg/lt	35	15	8
Serbest Amonyum, mg/lt	50	25	12
Nitrit, mg/lt	0	0	0
Nitrat, mg/lt	0	0	0
Toplam Fosfor	15	8	4
Organik Fosfor, mg/ltm	5	3	1
İnorganik Fosfor, mg/lt	10	5	3
Klorür, (Cl), mg/lt	100	50	30
Alkalite,(CaCO ₃), mg/lt	200	100	50
Yağlar, mg/lt	150	100	50
Sıcaklık, °C	10	15-16	21

2.2. ATIKSU MİKTARLARI ve DEBİ HESAPLARI

Atıksu miktarları şehir ve kasabaların durumuna ve içme suyu kaynaklarına bağlı olarak değişmektedir. Kişi başına su ihtiyaçları 100- 300 lt/N.G arasında seçilmektedir.

Bir tasfiye tesisinin boyutlandırılması için debilerin bilinmesi gerekmektedir. Bir kasaba veya şehrin atıksu tasfiye tesisine gelen debi; evsel, sanayi ve sızma debilerinin toplamı olarak bulunabilir.

Evsel debi hesabı için yerleşme merkezinin gelecekteki nüfusu bilinmelidir.

Bir bölgenin gelecekteki nüfusunu tahmin etmek için kullanılan hesap usulleri;

- Aritmetik Artış,
 - Geometrik Artış,
 - İller Bankası,
 - Benzer Şehirlerle Mukayese,
 - Lojistik Eğri,
 - Azalan Hızlı Geometrik Artış Metotları
- olarak sayılabilir.

Yakın zamana kadar ülkemizde gelecekteki nüfusun tahmininde genellikle İller Bankası Yönetmeliği kullanılmakta idi. Ancak günümüzde genellikle azalan hızlı geometrik artış metodları daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu metot aslında sınırlandırılmış geometrik artış usulüdür. Gelecekteki nüfus N_g ;

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

ifadesiyle bulunabilir. Burada;

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

p: Nüfus artış hızı olup,

$$p = \left(\sqrt[a]{\frac{N_5}{N_1}} - 1 \right) * 100$$

ifadesiyle hesaplanabilir. Burada;

N_s : Son nüfus sayım neticesi

N_j : İlk nüfus sayım neticesi

a: İki sayım arasındaki senelerin farkıdır.

Şayet hesap neticesinde;

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

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

$1 \leq p \leq 3$ ise aynen alınır.

2.2.1. Atıksu Debilerinin Hesabı

Atıksu tasfiye tesislerine gelen atıksu debilerinin hesabında evsel, sanayi ve sızma debileri toplamı dikkate alınmaktadır. Yani günlük toplam debi;

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

olarak hesaplanmaktadır. TÜİK 2012 yılı verilerine göre, ülkemizdeki kişi başına ortalama atıksu debisi (sızma dahil) takriben 190-200 L/N.gün'dür civarındadır.

Evsel debi, kişi başına günlük su sarfiyatının nüfusla çarpımından bulunabilir. Yıllık ortalama olarak kişi başına günlük su ihtiyacı $ort\ q$ ile gösterilirse yaz aylarındaki su ihtiyacını temsil eden değer ($max\ q$), ortalama değer $1,5$ katı olarak kabul edilmektedir.

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

$$max\ Q_{ev} = \alpha \cdot max\ q \cdot N$$

ifadesiyle bulunabilir. Burada;

$max\ Q_{ev}$: Yazlık evsel su sarfiyatı, $m^3/gün$

α : kanala intikal yüzdesi

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

N : Kasabanın gelecekteki nüfusunu

göstermektedir.

Buna göre debiler:

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

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

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

bağıntılarıyla 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 sabitleri

göstermektedir.

n_1 sabiti gün içindeki salınımları temsil eder ve nüfusa bağlı olarak değişmektedir,

n_1 sabitinin değerleri nüfusa bağlı olarak Tablo 2.5.'te gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Nüfusa Bağlı Olarak n_1 Değerleri

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

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

n_2 sabiti sanayi kuruluşunun vardiya sayısı ile alakalıdır. Tek vardiya çalışan tesislerde bu değer 5-6 arasında alınabilir.

n_3 sabiti 37 ila 40 arasında bir değerdir. Bu da mesela 40 için Q_{40} olarak gösterilmektedir. Bir veya iki vardiya çalışan tesislerde minimum debi hesabında sanayi debisi dikkate alınmaz. Üç vardiya çalışan tesislerde ise $n_4=24$ alınabilir.

2.2.2. Sanayi Debinin Bulunması

Sanayiden gelen debinin bulunması için çeşitli usuller vardır:

- Eşdeğer nüfus hesaplanıp, evlerden gelen atıksular içinde düşünülebilir.
- Debinin zamanla değişimi bilfiil ölçülmek suretiyle elde edilebilir.
- Sanayi bölgelerinde hektar başına debi alınmak suretiyle hesaplanabilir.

Mesela 0.5-1.0 (lt/sn. ha) gibi.

Burada ha hektar olarak alanı göstermektedir.

2.2.3. Sızma Debisi Tahmini

Sızma debisinin bulunması için çeşitli usuller vardır:

- Evlerden gelen debinin belli bir yüzdesi olarak kabul edilir.

Mesela ortalama günlük debinin % 50 - % 100'ü gibi.

- Kanalların hizmet ettiği alana bağlı olarak bulunabilir. Yan toplama havzasının alanından hesaplanabilir. 0.1-0.2 (lt/sn.ha) gibi.

- Kanal uzunluğuna göre bulunabilir. Mesela 0.80 (lt/sn.km) gibi.

- Kanal uzunluğuna ve çapına bağlı olarak tahmin edilebilir.

Mesela 0.5 ila 5.0 ($m^3/gün. km.cm$) gibi ortalama bir değer olarak 2.5 alınabilir. Ayrıca muayene bacalarından atıksu mecrasına giren debi de bu miktara ilave edilmelidir. 0.4 ($m^3/gün/baca sayısı$) gibi değerler alınabilir.

Yukarıda verilen değerler atıksu kanallarının inşa kalitesi, zemin durumu gibi pek çok faktörlere bağlıdır. Bu değerlerin mertebe hakkında fikir vermek açısından verildiği hatırdta tutulmalıdır. Konu ile ilgili olarak ülkemize has tipik değerler için Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'ne başvurulabilir (ÇOB, 2010).

3. IZGARALAR

3.1. IZGARALARIN TEŞKİL VE HESABI

Tasfiye tesislerinde ızgaralar su içinde bulunabilecek katı maddelerin pompa ve benzeri diğer tesislere zarar vermesini önlemek ve yüzücü katı maddeleri sudan ayırmak için teşkil edilir. Tasfiye tesislerinde kullanılan ızgara tipleri Şekil 3.1.'de görülmektedir.

Büyük tesislerde umumiyetle kaba ve ince ızgara olmak üzere iki ızgara arka arkaya konulur. Izgara çubukları arasındaki serbest aralığı 30 mm veya daha büyük ızgaralar “kaba ızgara”, 30 mm’den daha küçük ızgaralar “ince ızgara” olarak sınıflandırılabilir.

Kaba ızgaraların elle veya mekanik olarak, ince ızgaraların mekanik olarak temizlenmeleri uygundur.

Eşdeğer nüfusu 10.000’e kadar olan küçük tesislerde elle temizlenen ve çubuk aralığı 3 ila 5 cm arasında olan tek bir ızgara kullanılabilir.

Temizleme işlemi mekanik vasıtalarla yapılan tek ızgaralarda çubuk aralığı 2 ila 3 cm civarında alınır (Şekil 3.2.).

Büyük tesislerde ince ızgaraların menba tarafına kaba ızgara konulmalıdır.

Bu şekilde iki ızgara ile teşkil edilmiş olanlarda;

Kaba ızgarada çubuk aralığı 6-10 cm

İnce ızgarada çubuk aralığı 2-2.5 cm

alınması uygundur.

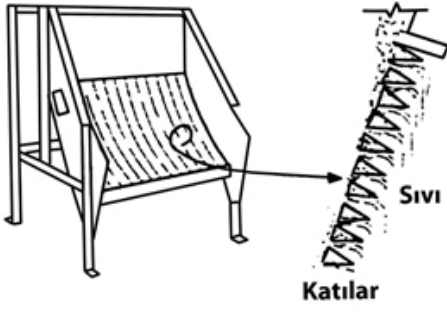
Kaba ızgaraların, ince ızgaralardaki çabuk tıkanmayı önlemeleri ve onların yükünü azaltması gibi faydaları vardır. Izgara kanalında, çökelmeleri önlemek bakımından su hızı 0.50 m/sn’den büyük alınmalıdır.

Izgarada tutulan maddelerin çubuk aralıklarından sürüklenmemesi bakımından buradaki hız, 1.0 m/sn den daha büyük olmamalıdır.

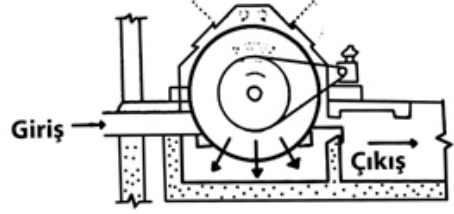
Izgara kanalı, kum ve diğer katı maddeler çökelmeyecek şekilde yapılmalıdır. Düz veya eğimli olabilir.

Büyük tesislerde, ızgaraların biri hizmet dışı iken diğeri hizmet verecek şekilde, ikisi de hesap debisini geçirebilecek iki adet ızgara kanalı ve ızgara yapılması tavsiye edilir.

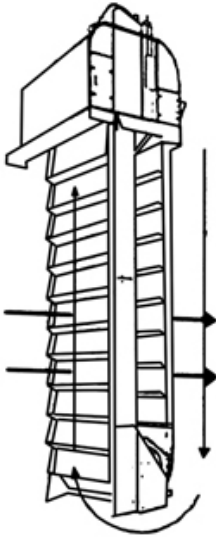
Çift ızgara kullanılması halinde uygun olabilecek düzenlemeler Şekil 3.3.’de görülmektedir.



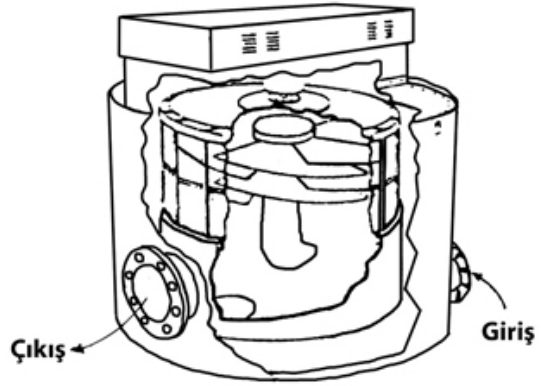
(a)



(b)

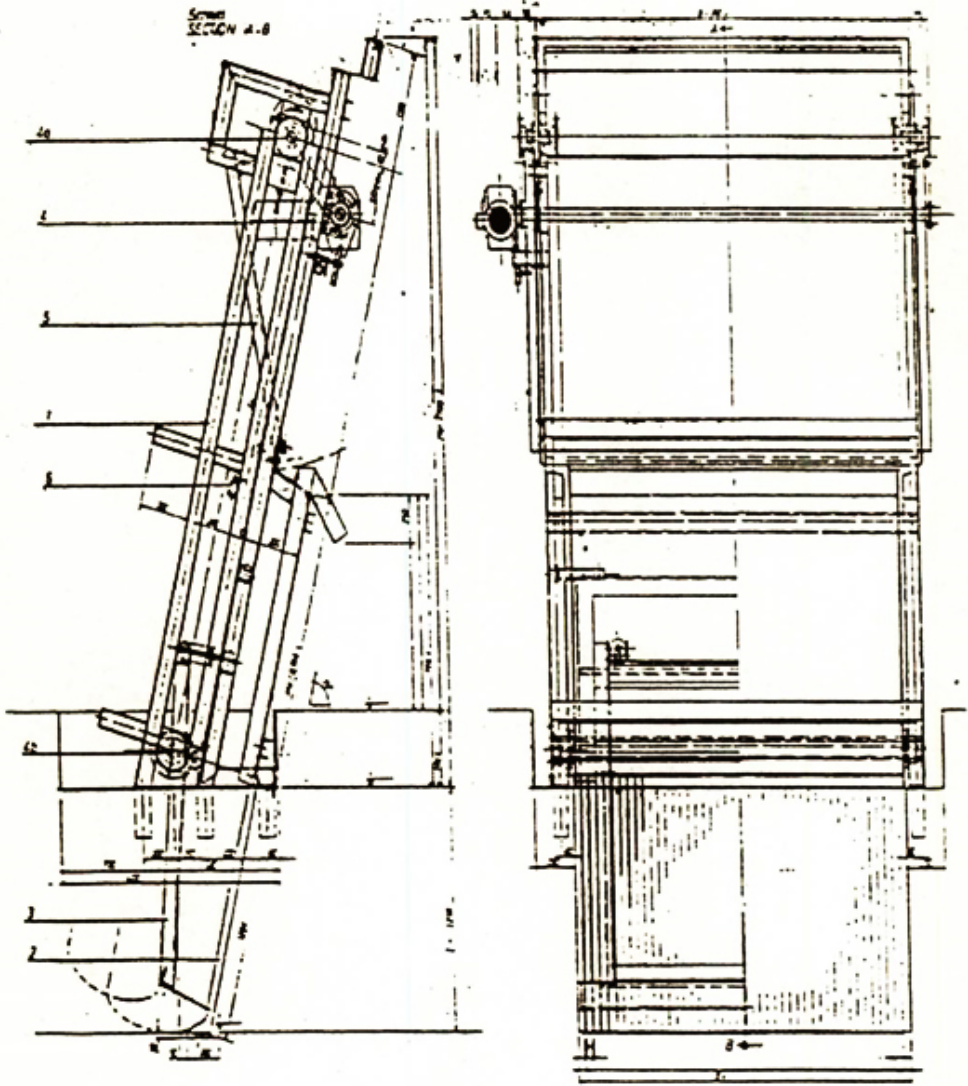


(c)

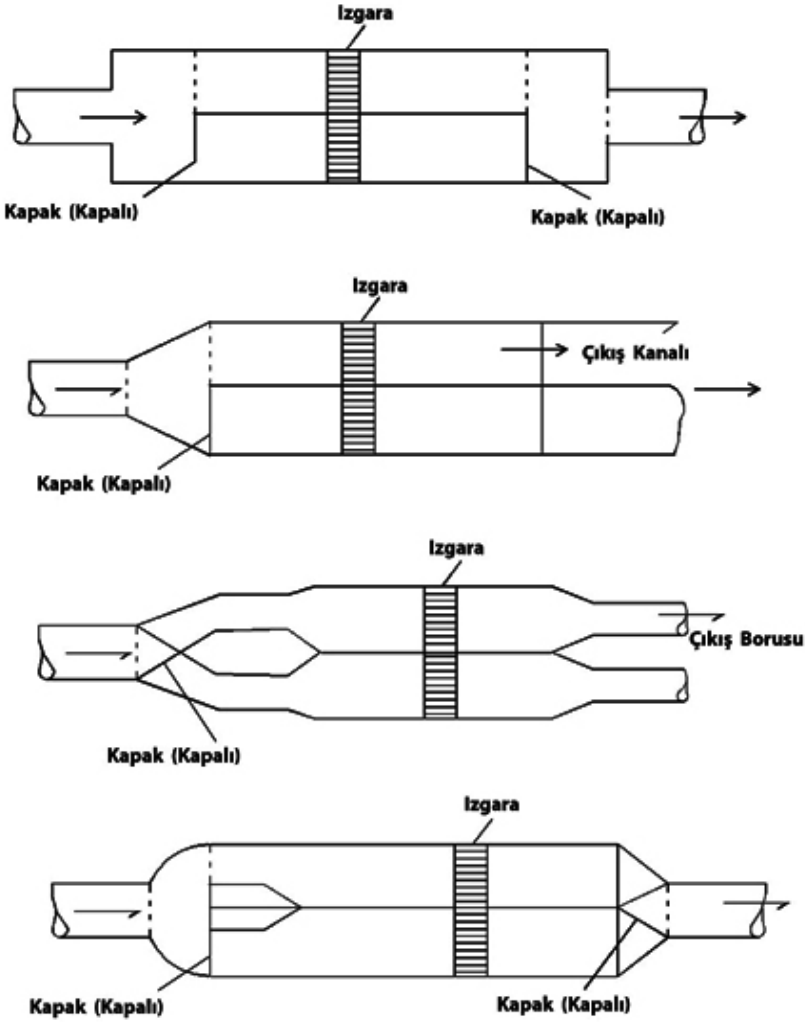


(d)

Şekil 3.1. Çeşitli Izgara Tiplerinden Misaller



Şekil 3.2. Çubuk Izgara

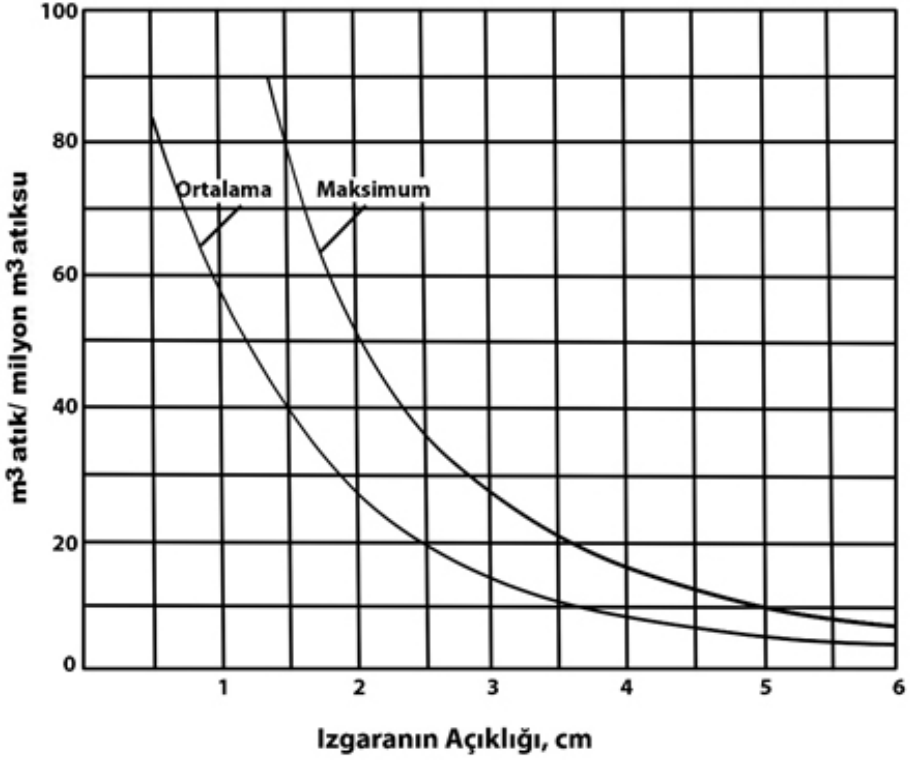


Şekil 3.3. Çift Kanallı Izgarada Giriş-Çıkış Tertibatları

3.1.1. Izgarada Tutulan Katı Madde Miktar

- Çubuk aralığı 3-5 cm olan kaba ızgaralarda tutulan katı madde miktarı 2-4 lt/N.yıl,
- Çubuk aralığı 2-3 cm olan ince ızgaralarda 5-10 lt/N.yıl,
- Çubuk aralığı 8-10 cm olan bir kaba ızgara ile aralığı 2-3 cm olan bir ince ızgaradan müteşekkil olanlar için ise toplam 5 ila 10 lt/N.yıl civarında kabul edilebilir.

Izgaralarda tutulan maddeler Şekil 3.4. yardımıyla da bulunabilir. Bu şekildeki grafik, ızgaralarda tutulan madde miktarını hacim cinsinden, ızgara açıklığına ve ızgaradan geçen atıksu miktarına bağlı olarak vermektedir.



Şekil 3.4. Mekanik olarak Temizlenen İzgaralarda Tutulan Katı Madde Miktarı

İzgaralarda tutulan katı maddeler:

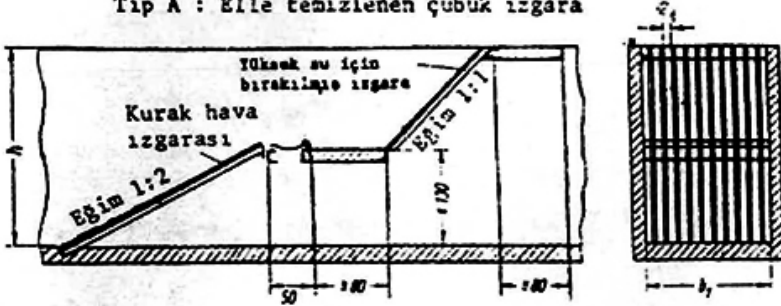
- Çöpe karıştırılarak uzaklaştırılmak,
- Nizami depolama suretiyle araziye sermek,
- Yakmak,
- Ögütülmek suretiyle tasfiye tesisine verilmek suretiyle bertaraf edilebilir.

İzgaralar dik veya yatayla belirli bir açı yapacak şekilde yerleştirilir. Elle temizlenen ızgaralar yatık (1 düşey, 2 yatay), mekanik olarak temizlenen ızgaralar dik veya yatayla 60 ila 75 derecelik açı yapacak şekilde yerleştirilirler (Şekil 3.5.). Şekil 3.6.'da çubuk ızgara ve temizleme tertibatı görülmektedir.

Birleşik sistem kanal ağına sahip yerleşmelere ait tasfiye tesislerinde, feyezan için yapılan emniyet geçidi önüne, çubuk aralığı 10 cm olan kaba ızgara konulur.

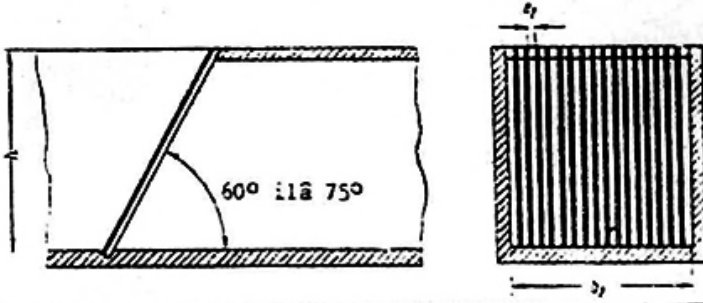
Ölçüler mm

Tip A : Elle temizlenen çubuk ızgara



ızgara yapısının genişliği, b_1 (mm)	40	50	60	80	100	125	160	180	200	225	250
Çubuklar arasındaki serbest açıklık, e_1 (mm)	4	6	8	10							

Tip B : Makina ile temizlenen çubuk ızgara



ızgara yapısının genişliği b_2 (mm)	60	80	100	125	160	180	200	225	250
Çubuklar arasındaki serbest açıklık, e_2 (mm)	1.6	2.5	4	6	8				

h kanal yüksekliği duruma göre seçilecektir.

Şekil 3.5. Düz Çubuk Sabit ızgara



Şekil 3.6. Çubuk Izgara ve Temizleme Tertibatı

3.1.2. Izgaralarda Yük Kayıpları

Izgaralar büyük bir yük kaybına sebep olmayacak şekilde boyutlandırılır. Kaba ızgaralar bir işçinin kullanacağı tırmık vasıtasıyla zaman zaman temizlenmelidir. İnce ızgaraların mekanik olarak temizlenmelerinde, bu ızgaraların menba ve mansabında su seviyeleri arasındaki farkın belirli bir değeri geçmesi halinde temizleme tertibatı otomatik olarak devreye girer. Bir zaman rölesi vasıtasıyla da devreden çıkar. Temizleme tertibatının yeniden harekete geçmesi, belirli bir seviye farkının teşekkül etmesine, yani ızgaranın tıkanmasına bağlıdır. Tatbikatta bu seviye farkı 0.6 m'nin altında tutulmaktadır (Şekil 3.7.).

Tıkanmamış durumdaki bir ızgarada yük kaybını bulmak için en çok kullanılan formüllerden birisi *Kirschmer* tarafından verilendir.

Kirschmer yük kaybını:

$$h = \beta (s/b)^{4/3} v^2 \cdot \sin \alpha / (2g)$$

şeklinde vermiştir. Burada:

h: Yük kaybı, m.

s: Izgara çubuğunun akıntıya dik istikametteki en büyük kalınlığı, m.

b: Izgara çubukları arasındaki en küçük serbest mesafe (aralık), m.

v: Izgaranın önündeki hız, m/s.

α : Izgaranın yatayla yaptığı açı

β : Şekil katsayısını

göstermektedir.

Şekil katsayısı ızgaranın teşkil ettiği çubukların enkesit şekline bağlı olup, umumiyetle 0.76 dan 2.42'ye kadar değişmektedir.

Izgara çubuklarının kesitlerine göre şekil katsayıları Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Izgaralardaki yük kaybını hız yüksekliği cinsinden de ifade etmek mümkündür. Bu şekilde verilen tecrübi formül (Chain Belt Company Formülü) aşağıda verilmiştir:

$$h = (v_s^2 - v^2) / (0.7 \times 2g)$$

Burada;

H : Yük kaybı, m.

v_s : Izgara çubukları arasındaki su hızı, m/s.

v : Izgaranın menba tarafındaki su hızını, m/s.

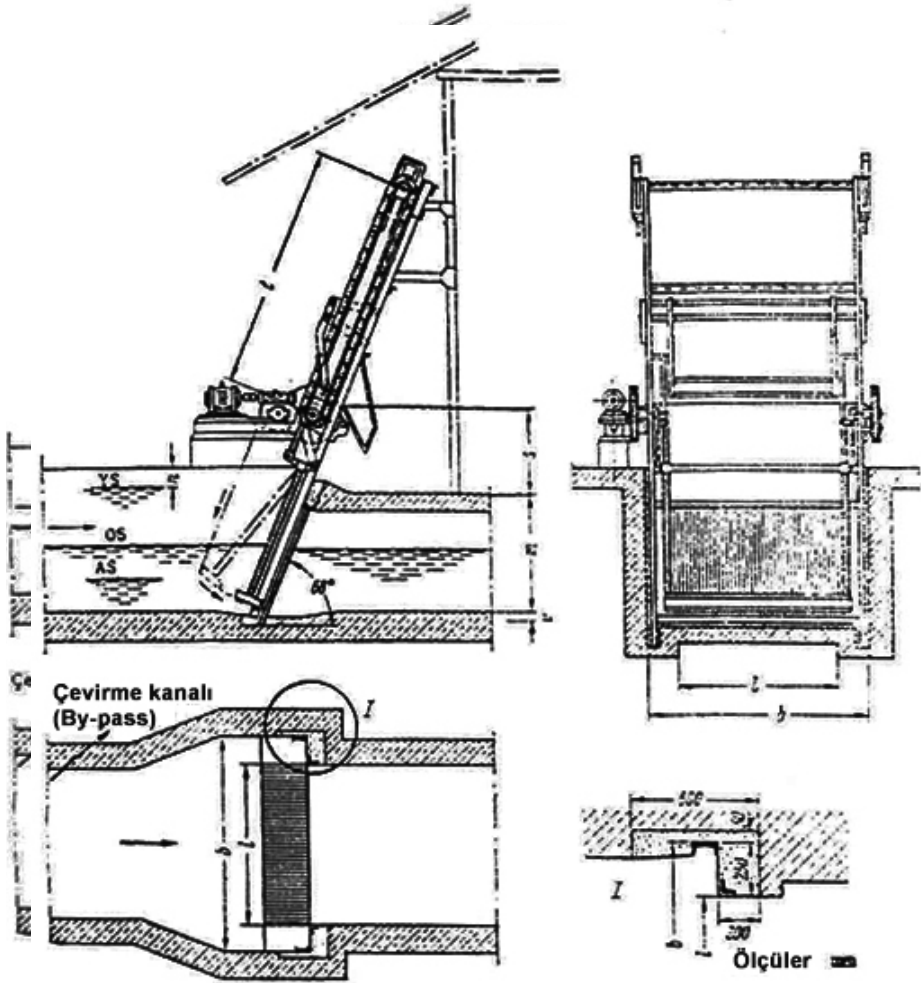
göstermektedir.

Yük kaybı Metcalf & Eddy'de verilen ifadeden hareketle de hesaplanabilir.

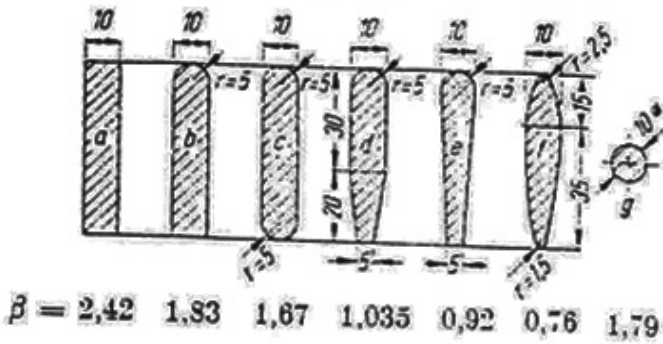
Bu ifade

$$h = 0.5 v_s^2 / 2g + (v_s^2 - v^2) / 2g$$

şeklinde verilmiştir.



Şekil 3.7. Izgara Çubukları



Şekil 3.8. Izgara Çubuklarının Enkesitlerine Göre Şekil Katsayıları

Izgaranın bulunduğu yerde kanal bir miktar genişletilir. Böylece su hızı ızgaradan önceki ve sonraki kısımlarda katı madde çökmesine meydan vermeyecek şekilde 0.6 - 0.8 m/s civarında tutulur.

Izgara çubukları arasındaki su hızı ise 1 m/s mertebelerinde alınır.

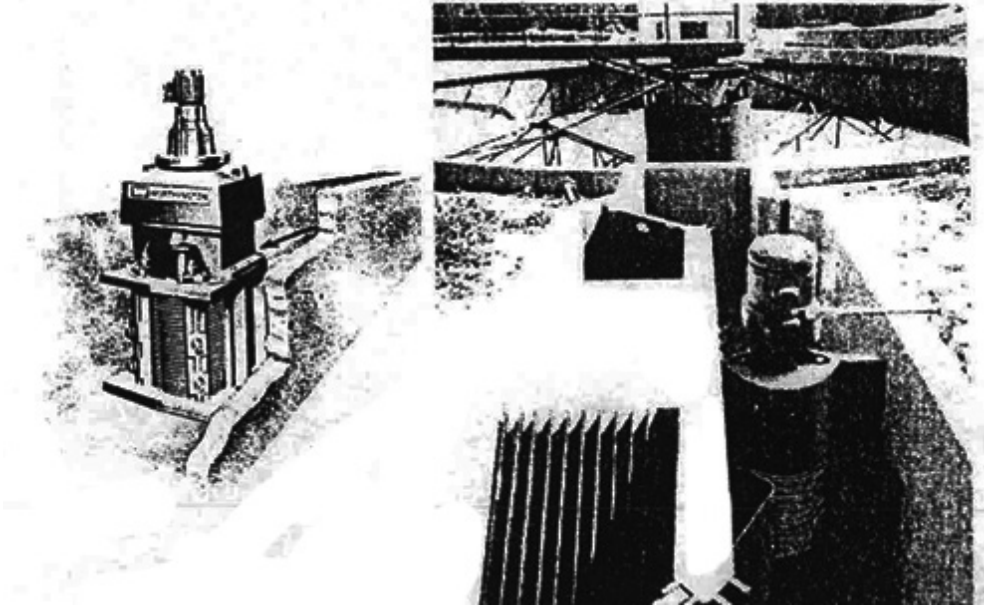
3.2. ÖĞÜTÜCÜLER

Izgara atıklarının özel bir muamele şekli de bunların toplanıp öğütülmesi ve tekrar kullanılmış suya karıştırılmasıdır. Bu iş için öğütücüler kullanılır. Bir öğütücü ve kanala yerleştirilmesi Şekil 3.9.'da görülmektedir.

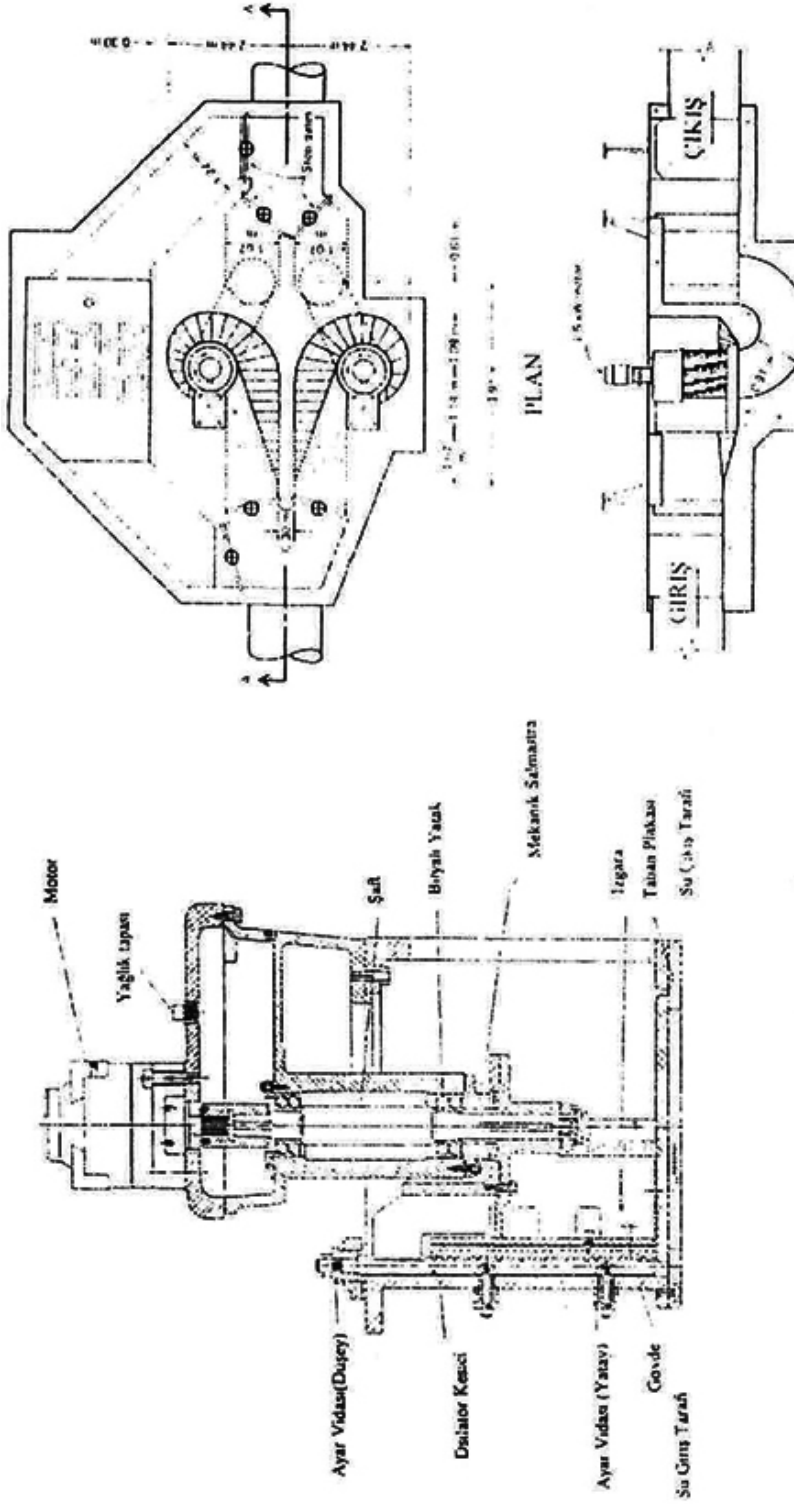
Izgarada tutulan katı maddeler yukarıdan öğütücüye verilir. Öğütülmüş olarak çıkan maddeler kullanılmış suya verilir. Çok küçük tesislerde ızgarada tutulan maddeler, bir yerde toplanarak günde bir defa öğütülür.

Diğer bir öğütücü tipi de öğütücü silindir olarak bilinmektedir. Bu silindirler umumiyetle bir kanal içine yerleştirilir. Suyla birlikte sürüklenen maddeler silindirin dönmesi sırasında sabit duran bıçak tarafından öğütülür

Tipik bir öğütücünün kesiti ve kanal içine yerleştirilmiş haldeki plan ve kesiti Şekil 3.10.'da görülmektedir.



Şekil 3.9. Bir Öğütücü ve Kanala Yerleştirilmesi



Şekil 3.10. Tipik Bir Öğütücünün Kesiti ve Kanal İçine Yerleştirilmiş Haldeki Plan ve Kesiti

4. KUM TUTUCULAR

Kum, çakıl gibi atıl maddeleri sudan ayırmak maksadıyla kum tutucular teşkil edilir. Bu çeşit atıl maddeler ekseriya yağmur suyu ile sürüklenerek mecralara geldiğinden kum tutucular esas itibariyle birleşik sistemde söz konusudur. Ancak ayırık sistemle toplanan kanallarda da herhangi bir sebeple kum geliyorsa, bu durumda ayırık sistem için de kum tutucu yapmak faydalıdır.

Kum tutucularda sadece atıl (mineral) malzemenin çökmesi istenir, organik maddelerin çökmesi arzu edilmez. Çünkü ayrışabilen organik maddeler kum tutucularda birikirlerse kumların temizlenmesi sırasında istenmeyen koku problemlerinin ortaya çıkmasına sebep olur. Bu yüzden kum tutucularda tutulan maddeler, özgül ağırlıkları 2650 kg/m^3 civarında olan ve çapları 0.1 mm 'den daha büyük mineral daneciklerdir.

Kum tutucular, istenilen büyüklükte katı maddeler tutulacak, ancak arzu edilmediği halde tabana çökelen daha küçük çaplı katı maddeler ve organik maddeler tekrar suya karışacak şekilde projelendirilir. Bu sebeple kum tutucularda yatay akış hızı belirli bir değerin altına düşmemelidir. Bunu temin etmek için kum tutucular, hesap debisinde istenilen maddelerin çökmesini sağlayacak şekilde teşkil edilir. Debi azalınca, daha küçük çaplı olup çökmeleri istenmeyen danecikler de tabana çökler ise de bunlar yatay akış hızı sabit tutulmak suretiyle tekrar tabandan kaldırılabilir. Bu yüzden kum tutucular, yatay akış hızı 0.25 ila 0.4 m/sn (tercihen 0.3 m/sn) olacak şekilde projelendirilir. Bu akış hızı, organik daneciklerin kum tutucudan dışarıya sürüklenmesini temin eder. Buna mukabil iri kum ve çakılların çökmesini önlemez.

Kum tutucuların boyutlandırılmasında ikinci mühim parametre yüzey yüküdür. Yüzey yükü (S_o);

$$S_o = Q / A$$

şeklinde hesap edilir. Burada,

Q: Debi, m^3/saat

A: Kum tutucu yüzey alanı, m^2
göstermektedir.

Küre şeklindeki daneciklerin çökme hızları, danenin özgül ağırlığı, sıcaklık ve çöktürülecek dane çapına bağlı olarak değişmektedir. Özgül ağırlığı 2650 kg/m^3 olan kum daneciklerinin 10°C sıcaklıktaki çökme hızları Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Çökme Hızları

Danecik Çapı, mm	0.5	0.2	0.1	0.05
Çökme hızı, V_s , m/st	258	82	24	6.1

Tablo 4.1'e göre $d=0.1 \text{ mm}$ ve daha büyük çaptaki daneciklerin çöktürülebilmesi için yüzey yükü $S_o < V_s = 24 \text{ m/st}$ olmalıdır. Tatbikattaki durum biraz farklıdır. Türbülans vs. gibi faktörler sebebiyle giderme verimi biraz düşer. Tecrübelerle elde edilmiş yüzey yükleri, giderme verimine ve dane çapına bağlı olarak Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Kum Tutucularda Yüzey Yükleri

	Kum Tutma Verimine Göre Yüzey Yükü, S_0 , m/st		
	% 100 verim	% 90 verim	% 85 verim
Dane Çapı			
0.16 mm	12	16	20
0.20 mm	17	28	36
0.25 mm	27	45	58

Kum tutucular, akım şartları ve inşa durumları bakımından aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Yatay akışlı dikdörtgen planlı kum tutucular
- Daire planlı kum tutucular
- Düşey akımlı kum tutucular
- Havalandırılmalı kum tutucular

Bu kum tutucular içinden yaygın olarak tatbik edilen yatay akışlı dikdörtgen planlı kum tutuculardır. Tipik bir kum tutucu Şekil 4.1 'de görülmektedir.

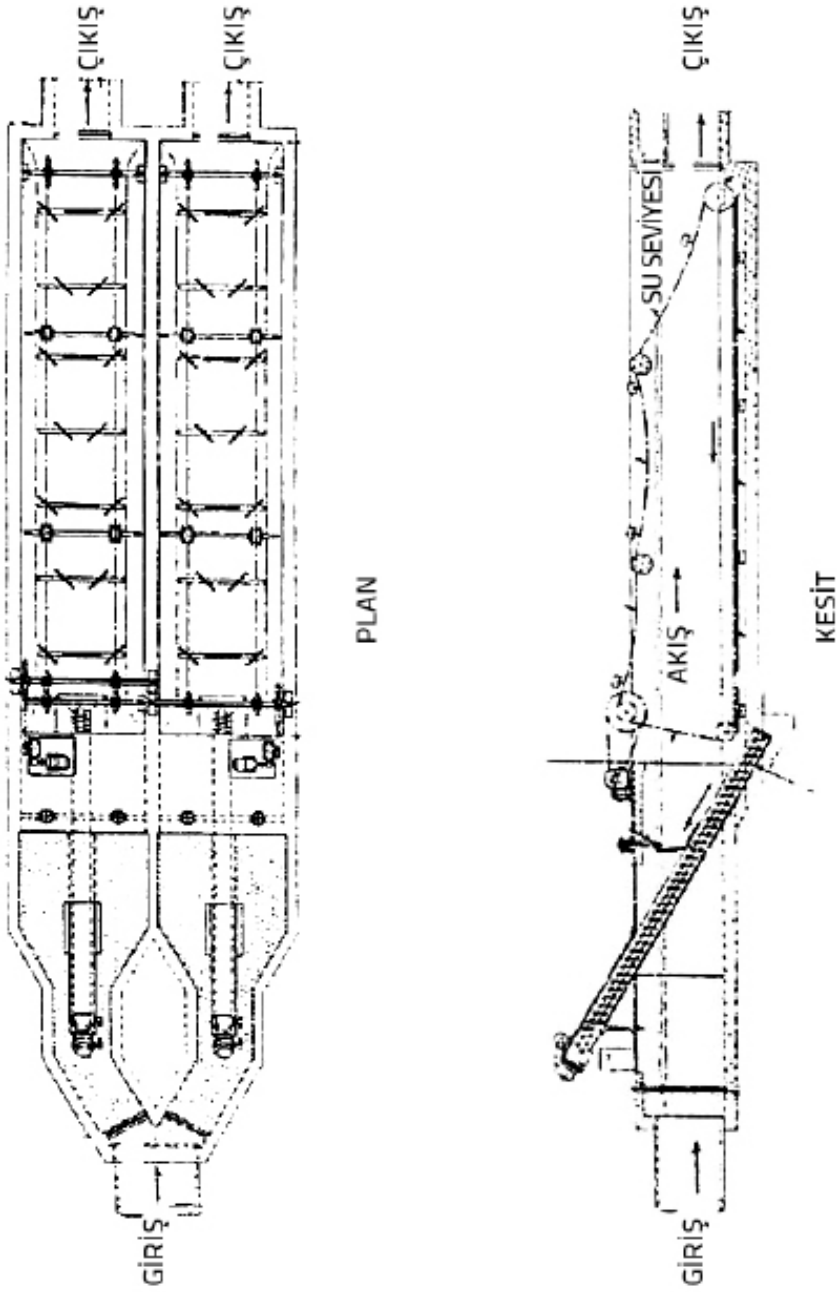
4.1. YATAY AKIŞLI KUM TUTUCULAR

Bu kum tutucular, uzun havuzlardan ibarettir. Bunlarda yatay hız 0.3 m/sn arasında tutulur. Kum tutucudaki hızı kontrol etmek için ventüri savağı, orantılı akım savağı, gibi kontrol kısımları mansap tarafına yerleştirilir. Yatay akışlı kum tutuculardaki projelendirme kriterleri Tablo 4.3 'de verilmiştir.

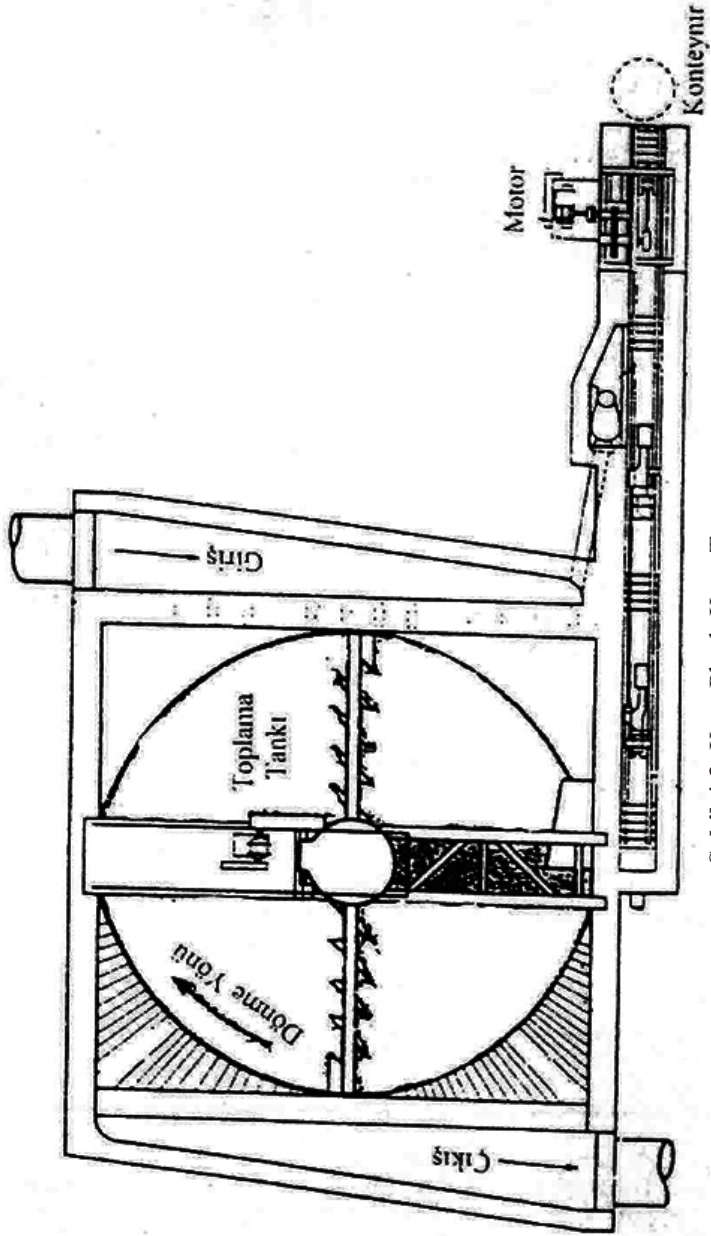
Tablo 4.3. Yatay Akışlı Kum Tutucularda Projelendirme Kriterleri

Parametre	Aralık	Tavsiye Edilen Değer
Bekleme müddeti, sn	45-90	60
Yatay akış hızı, m/sn	0.25-0.40	0.3
Yüzey yükü, m/st	12-36	24

Küçük tasfiye tesislerinde kumların insan gücü ile temizlenmeleri mümkündür. Bu iş için kürek ve el arabaları kullanılır. Böyle hallerde, temizlenecek olan kum tutucu devreden çıkarılacağından insan gücü ile temizlenen kum tutucuların en azından 2 gözlü yapılması lüzumludur (Şekil 4.2.). Temizlenecek olan göz devreden çıkarıldıktan sonra drenler açılarak buradaki su tahliye edilir. Temizleme işlerinden sonra drenler tekrar kapatılarak temizlenen göz devreye sokulur. Şekil 4.3'de kare planlı bir kum tutucu görülmektedir.



Şekil 4.2. İki Bölmeli Kum Tutucu



Şekil 4.3. Kare Planlı Kum Tutucu

4.1.1. Kum Tutucu Boyunun Hesabı

Kum tutucuda su zerresi yatay olarak L yolunu kat edince çöktürmesini istediğimiz en küçük çaplı kum daneciği de h yolunu tamamlamalıdır. Yani

$L/v = h/v_{\text{ç}}$ yazılabilir. Burada:

L: Kum tutucu boyu, m.

h: Kum tutucuda su yüksekliği, h.

v: Kum tutucuda yatay su hızı, m/s

$v_{\text{ç}}$: Daneciğin çökelme hızı, m/s

Bu şekilde hesaplanan kum tutucu boyuna giriş ve çıkışlardaki uzunluklar ilave edilmelidir. Bu ve türbülans gibi hususlar dikkate alınarak hesaplanan L boyu % 50 artırılır.

4.1.2. Biriken Kum Miktarı

Toplanan kum miktarı, kanal ağının inşa şekli ve sistemi (birleşik veya ayırıcı sistem), yol kaplaması çeşidi, iklim, nüfus kesafeti ve kanala sularını veren sanayi kolları gibi pek çok unsura bağlıdır. Kişi başına yılda toplanan kum miktarı 5 ila 10 lt/N.yıl arasında değişmektedir.

4.1.3. Kumların Alınması

Kumların toplanması için kum tutucuların tabanı, su getiren kanal tabanından 0.2 ila 0.5 m aşağıda yapılır. İnsan gücü ile temizlenenlerinde bu kısmın altında dren boruları bulunur. Dren boruları, kumların temizlenmesi sırasında devreden çıkarılan kum tutucunun sularının tahliye edilmesine yarar. Su tahliye edilince kum bölmesine inen bir işçi kürekle tabanda biriken kumları uzaklaştırır. Mekanik temizleme halinde dren borularına ihtiyaç yoktur. Zira mekanik temizleme sistemi için suyun tahliye edilmesi gereği yoktur.

Büyük tesislerde temizlemenin insan gücü ile yapılması uygun olmaz. Böyle hallerde mekanik temizleme tertibatı yapılmalıdır. Bazı hallerde bu temizleme işleminin basınçlı hava ile çalışan tulumlarla yapıldığı görülmektedir.

4.1.4. Kum Tutucularda Hız Kontrolü

Kum tutucularda yatay hızın 0.25 ila 0.45 (tercihan 0.3 m/s) civarında tutulması organik maddelerin çökmemesi, buna mukabil tutulan kumların tekrar suya karışarak müteakip birimlere taşınmaması bakımından ehemmiyeti haizdir. Bu maksatla çeşitli hız kontrol tertibatları kullanılır.

Bunlar;

- Ventüri (Parşal) Kanalı ile hız kontrolü
- Kum Tutucu Çıkışında Dikdörtgen savak
- Orantılı akım savağı
- Çeşitli büyüklükte paralel kum tutucuların kullanılması

4.1.4.1. Ventüri (Parşal) Kanalı ile hız kontrolü

Ventüri kanalı ile hız kontrolünde kum tutucunun sonuna bir ventüri kanalı konulmakta ve hız kontrolü sağlanmaktadır. Ventüri kanalı ile hız kontrolü yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun sebebi aynı tertibat ile debinin de ölçülmesine imkan sağlamasıdır.

Kum tutucuda yatay hızı sabit tutmak için en kesitine parabolik bir şekil verilmesi gerekmektedir. Kum tutucuda su hızı (v);

$$v = Q_1/A = 3 Q_1 / (2 w.h) \text{ ifadesinden bulunabilir.}$$

Kum tutucunun w genişliği ise:

$$w = 3Q_1/(2 v.h)$$

ifadesinden hesaplanabilir.

Burada:

w : Kum tutucu genişliği, m.

Q_1 : Kum tutucunun bir gözünden geçen debi, m^3/s

V : Kum tutucudaki yatay hız, m/s

h : Kum tutucuda su yüksekliği, m.

A : Kum tutucunun bir gözünün en kesit alanı, m^2 göstermektedir.

Ventüri Kanalının boğaz genişliğini bulmak için kum tutucu ile ventürü arasında Bernoulli bağıntısı yazılırsa:

$$h + v^2/2g = h_{kr} + v_{kr}^2/2g + 0.1(V_{kr}^2/2g)$$

elde edilir. Burada:

h_{kr} : Kritik kesitte su yüksekliği, m.,

V_{kr} : Kritik kesitte su hızı, m/s ,

g : Yerçekimi ivmesi, m/sn^2

Bu ifadede yük kayıpları hız yüksekliğinin 0.1'i olarak kabul edilmiştir.

Kritik kesitte;

$$h_{kr} = 2(v_{kr}^2/2g) = V_{kr}^2/g \text{ olduğundan,}$$

$$h + v^2/2g = 2(v_{kr}^2/2g) + V_{kr}^2/2g + 0.1(v_{kr}^2/2g) \text{ veya}$$

$$h + v^2/2g = 3.1(v_{kr}^2/2g)$$

$$h + v^2/2g = 3.1 h_{kr}/2$$

Kum tutucudaki v hızı çok küçük olduğundan $v^2/2g$ ihmal edilebilir. Böylece;

$$h = 3.1 h_{kr}/2 = 1.55 h_{kr}$$

elde edilir. Yani kum tutucudaki su yüksekliği kritik kesitteki su yüksekliğinin 1.55 katıdır.

Kum tutucudaki su yüksekliği (h);

$$h = (3.1/2) \cdot h_{kr} \text{ ifadesinden bulunabilir.}$$

Ventüri kanal ölçeğinde boğaz genişlikleri standardize edilmiştir. Ventüri Kanalına ait değerler Tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Ventüri Kanalına Ait Boyutlar

b (m)	A (m)	2/3 A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	F (m)	G (m)	K (m)	N (cm)
0.076	0.467	0.301	0.458	0.178	0.259	0.153	0.305	2.54	5.71
0.152	0.62	0.413	0.61	0.397	0.397	0.305	0.61	7.61	11.4
0.228	0.88	0.587	0.864	0.381	0.575	0.305	0.457	7.61	11.4
0.305	1.37	0.914	1.343	0.61	0.845	0.61	0.915	7.61	22.9
0.457	1.449	0.965	1.42	0.762	1.026	0.61	0.915	7.61	22.9
0.61	1.525	1.016	1.496	0.915	1.207	0.61	0.915	7.61	22.9
0.914	1.675	1.118	1.645	1.22	1.573	0.61	0.915	7.61	22.9
1.22	1.83	1.12	1.795	1.525	1.938	0.61	0.915	7.61	22.9
1.83	2.13	1.42	2.093	2.135	2.668	0.61	0.915	7.61	22.9
2.44	2.44	1.625	2.387	2.74	3.394	0.61	0.915	7.61	22.9

b , ventüri kanalı boğaz genişliğini göstermektedir. Diğer değerler Şekil 4.4. üzerinde gösterilmiştir.

Ventüri kanalında kritik su yüksekliği aşağıdaki denklemle bulunabilir.

$$h_{kr} = [Q^2/(b^2 \cdot g)]^{1/3}$$

Mansap Şartlarının Tahkiki:

Ventüri kanalı ile alakalı hesapların geçerli olabilmesi için akımın serbest olması, yani batmış vaziyette olmaması gerekmektedir. Bunun için de kritik derinliğin mansap şartlarından müstakil (bağımsız) olması lazımdır.

Serbest akımın meydana geldiği en büyük debi:

$$Q_{\max} = 2.27 b \cdot (10 N)^{1.5}$$

bağıntısıyla verilmektedir. Burada;

$Q_{\max}$, m^3/sn cinsinden bulunur,

N değeri, b boğaz genişliğine bağlı olarak ventüri kanalına ait tablolardan alınır.

Hesap debisinin maksimum debiden küçük olması gerekir. Aksi takdirde daha büyük boğaz genişliğine haiz olan ventüri ölçeği seçilir.

Akımın batmış durumda olmaması için

$$h_{kr} + K > h_{kr1} \text{ ve}$$

$$h_{kr1} + m > h_e \text{ olmalıdır.}$$

Burada:

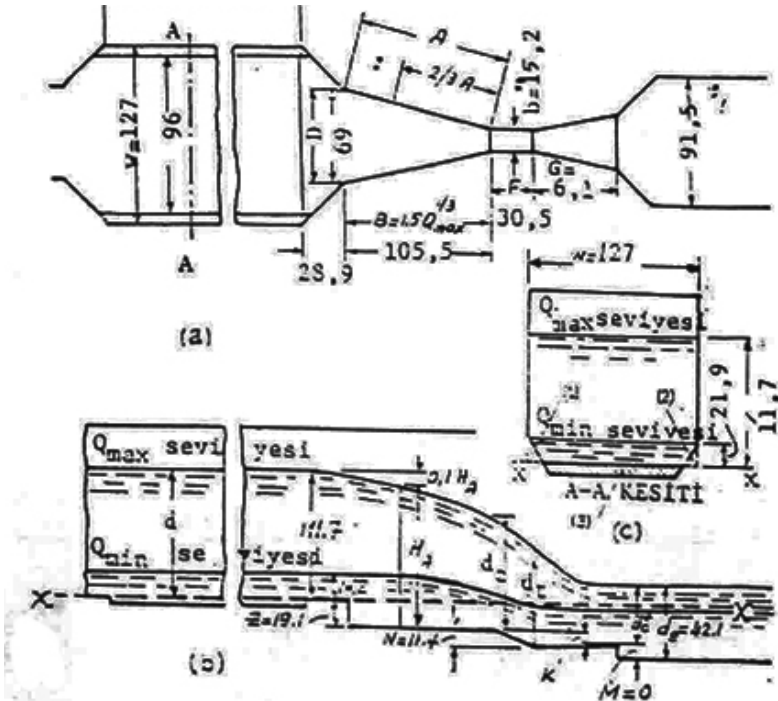
K : Ventüri kanalında gösterilen değer, m.,

h_{kr1} : Genişliğin C değeri alınması ile bulunan kritik su yüksekliği, m., yani

$$h_{kr1} = [(Q)^2 / (C^2 x g)]^{1/3}$$

h_e : Ventüri ölçeğinden sonraki kanalda su yüksekliği, m.,

m : Akımın batmış olmaması için gerekli minimum su yüksekliğini göstermektedir.



Şekil 4.4. Ventüri Kanalı Plan ve Kesiti

4.1.4.2. Dikdörtgen Savak ile Hız Kontrolü

Dikdörtgen savak ile hız kontrolünde kum tutucunun her gözü çıkışına dikdörtgen bir savak inşa edilir. Kritik kesit burada oluşur. Kum tutucu, parabol en kesitli veya buna yakın trapez en kesitli olarak seçilir. Kum tutucu gözlerinin çıkışına konulan savakta meydana gelen kritik yüksekliği bulurken her bir gözden geçen debi dikkate alınır.

Yani;

$$h_{kr} = [Q_1^2 / (b^2 \cdot g)]^{1/3}$$

ifadesi kullanılır. Diğer hesaplar Ventüri kanalı yapılması ait olanlar gibidir.

4.1.4.3. Orantılı Akım Savağı

Bir diğer hız kontrol tertibatı orantılı akım savaklarıdır. Orantılı akım savakları da kum tutucuda her bir gözün çıkışına konulur. Kum tutucunun en kesiti dikdörtgen yapılıdır. Orantılı akım savağına ait enkesitin formu aşağıdaki denklemler yardımıyla bulunabilir.

$$h = v^2 b^2 / (8 \cdot g \cdot x^2)$$

veya C bir sabit olmak üzere

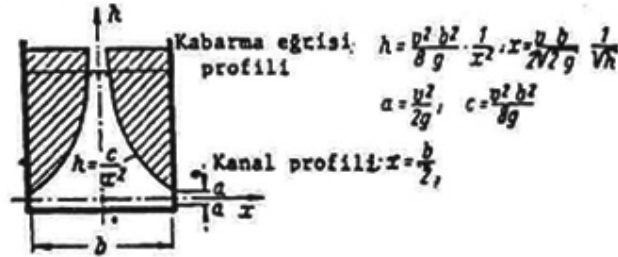
$$C = v^2 b^2 / (8 \cdot g)$$

ifadesiyle gösterilirse: $h = C/x^2$ yazılabilir. Veya;

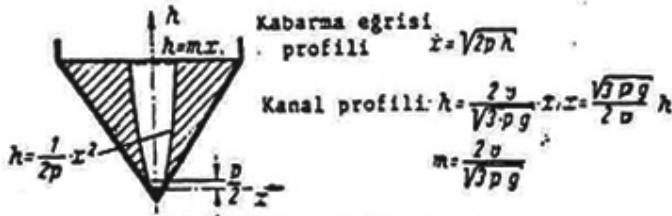
$$x = v \cdot b / \{2 \cdot (2g)^{1/2} \cdot h^{1/2}\} \text{ dir.}$$

Bu ifadelerde kullanılan değerler 4.5. üzerinde gösterilmiştir. Şekildeki a değeri $a = v^2 / 2g$ den hesaplanabilir. Burada g yer çekimi ivmesini göstermektedir.

Dikdörtgen enkesit



Üçgen enkesit

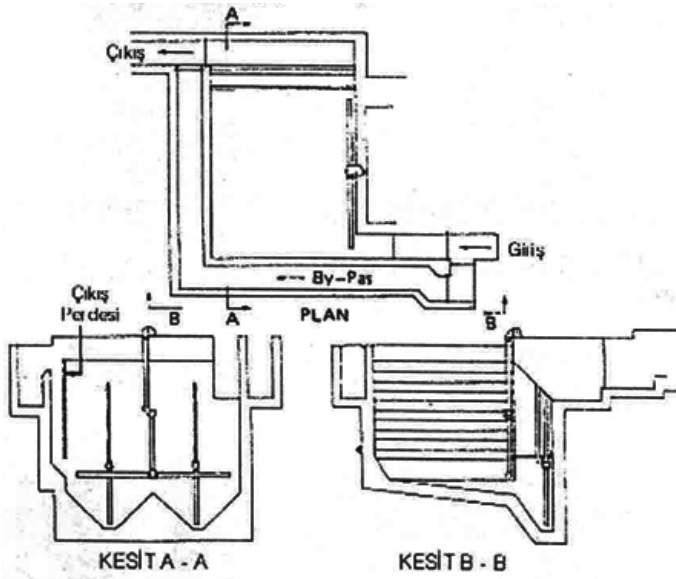


Şekil 4.5. Orantılı Akım Savağı

4.2. HAVALANDIRMALI KUM TUTUCULAR

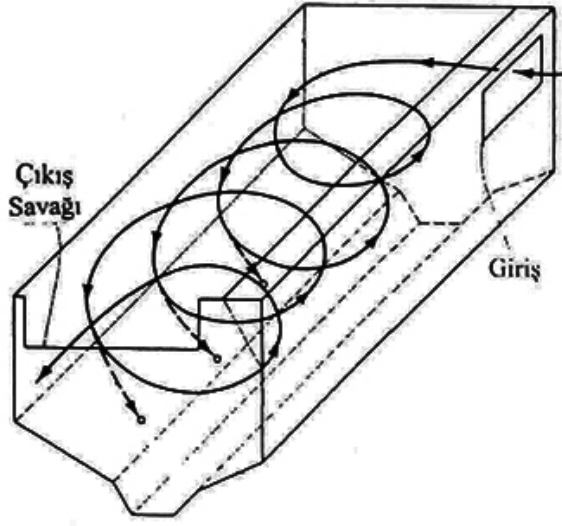
Atıksularda bulunabilecek kum gibi danelerin tutulup uzaklaştırılmasında havalandırmalı kum tutucular da kullanılmaktadır. Havalandırma umumiyetle basınçlı havalandırma ile yapılmaktadır. Basınçlı hava verilmesi sebebiyle bu kum tutucular bir ön havalandırıcı gibi de rol oynar. Bu yüzden bilhassa uzun atıksu mecralarından gelen kullanılmış suların tazelenmesi ve ileri mekanik ve biyolojik tasfiye kademelerinin verimlerini artırması gibi bir faydası da vardır. Izgara, dikdörtgen planlı kum tutucu ve ön çöktürme havuzundan ibaret bir tasfiye tesisinin BOİ₅ giderme verimi % 25- 30 civarında olmasına mukabil, havalandırmalı kum tutucu bulunan bir mekanik tasfiye tesisinin verimi ise % 35 -55 gibi daha büyük değerlerde olabilmektedir.

Havalandırmalı kum tutucular bekleme müddeti maksimum debide 3 dakika bekleme süresine göre boyutlandırılır. Havalandırmalı kum tutucunun enine kesiti basınçlı hava ile havalandırılan havuzlarınkine benzerdir. Burada sadece kum toplama çukurları bulunur. Bu çukurların derinlikleri 0.9 m. civarındadır. Şekil 4.6.'da bir havalandırmalı kum tutucunun giriş ve çıkış düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Havalandırmalı Kum Tutucunun Giriş ve Çıkış Düzeneği

Gözenekli hava borularında (difüzörler), delik çapı 2-3 mm olup, bu borular tabandan 50 cm yukarıya yerleştirilir. Yatay akış hızı maksimum debide $V_h < 0.2$ m/sn olmalıdır. Hava hızı ayarlanabilmelidir. Eğer çok fazla hava verilirse akış hızı büyük olur ve kumlar tabana çökelmeyebilir. Eğer hava hızı çok az ise bu takdirde organik maddeler de çökebilir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Bir Daneciğin Havalandırma Kum Tutucudaki Hareketi

Havalandırma kum tutucularda en kesit alanı, 4-12 m² arasında değişir, böylece hava hızı 3-8 m³ hava/saat.m uzunluk arasında seçilir. Eğer en kesit 12 m² den fazla gerekiyorsa bu takdirde 2 veya daha fazla paralel havuz kullanılır.

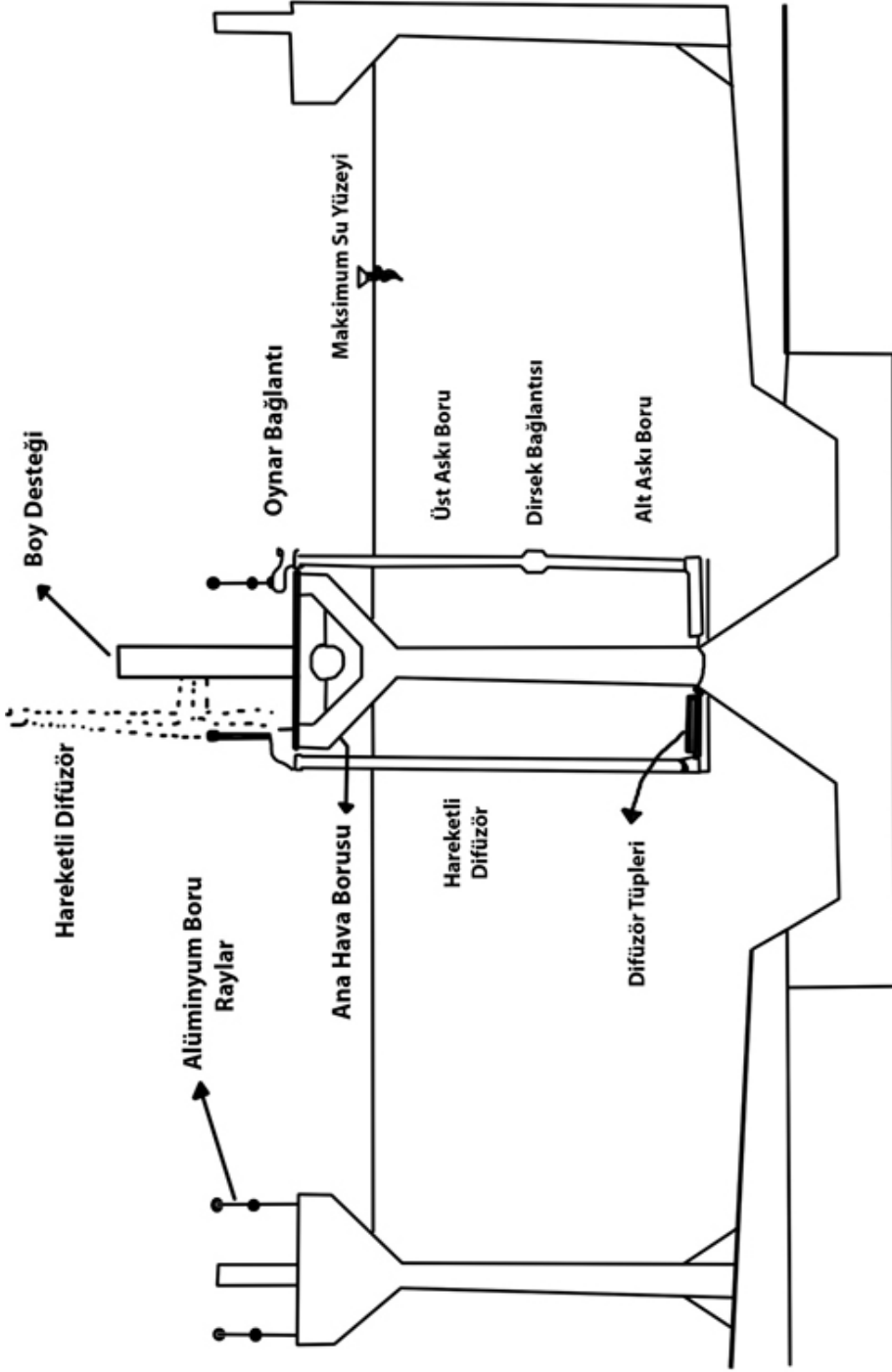
Ekseri havalandırma kum tutucular 20-25 m/saat. yüzey yüküne göre projelendirilir. Boyları genel olarak 20-40 m arasındadır.

Diğer projelendirme kriterleri Tablo 4.5.'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Projelendirme Kriterleri

Boyutlar	Aralık	Yaygın Değer
Derinlik, m	2 - 5	
Uzunluk, m	7.5 - 40	
Genişlik, m.	2.5 - 70	
Genişlik/Derinlik	1:1 - 5:1	2:1
Bekleme Süresi (pik debi), dk.		3 dk
Hava debisi, m ³ /sa m (uzunluk)	3 - 10	
Kum miktarı, m ³ /106 m ³	4 - 200	15

Havalandırma kum tutucunun kesiti Şekil 4.8.'de görülmektedir. Biriken kumlar umumiyetle mekanik olarak temizlenir.

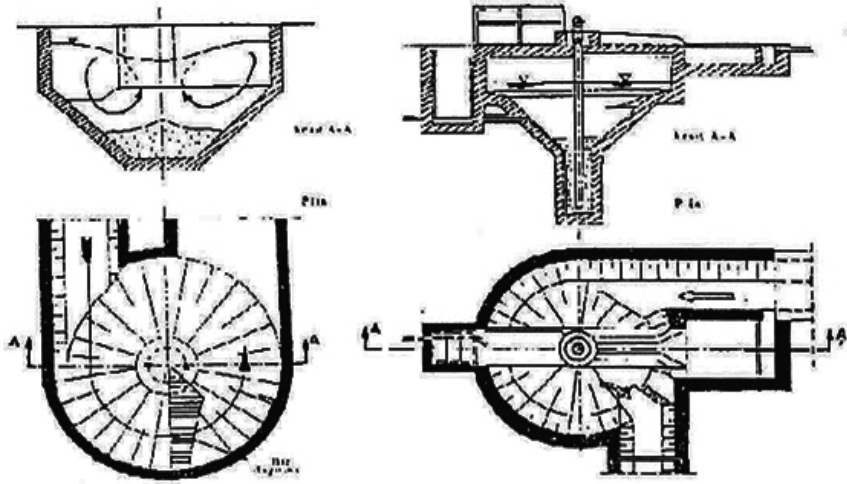


Şekil 4.8. Havalandırılabilir Kum Tutucu Kesiti

4.3. DAİRE PLANLI KUM TUTUCULAR

Daire planlı kum tutucular, giriş ve çıkışı ayarlamak suretiyle akıma dairevi bir yörüngeyi verildiği kum tutuculardır. Kumlar suyun yaptıkları hareketi yapamadığı için ve merkezkaç kuvvetlerinin tesiri ile merkezdeki kum bölmesine birikir. Böylece atıksudan kum arındırılmış olur.

Bu tür kum tutucuların plan ve kesiti Şekil 4.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Daire Planlı Kum Tutucunun Plan ve Kesiti

Kum tutucunun boyutlandırılması yüzey yükünün seçilmesi suretiyle yapılır.

Yüzey yükü olarak $So = Q / A = 24$ m/saat alınması tavsiye olunur. Burada:

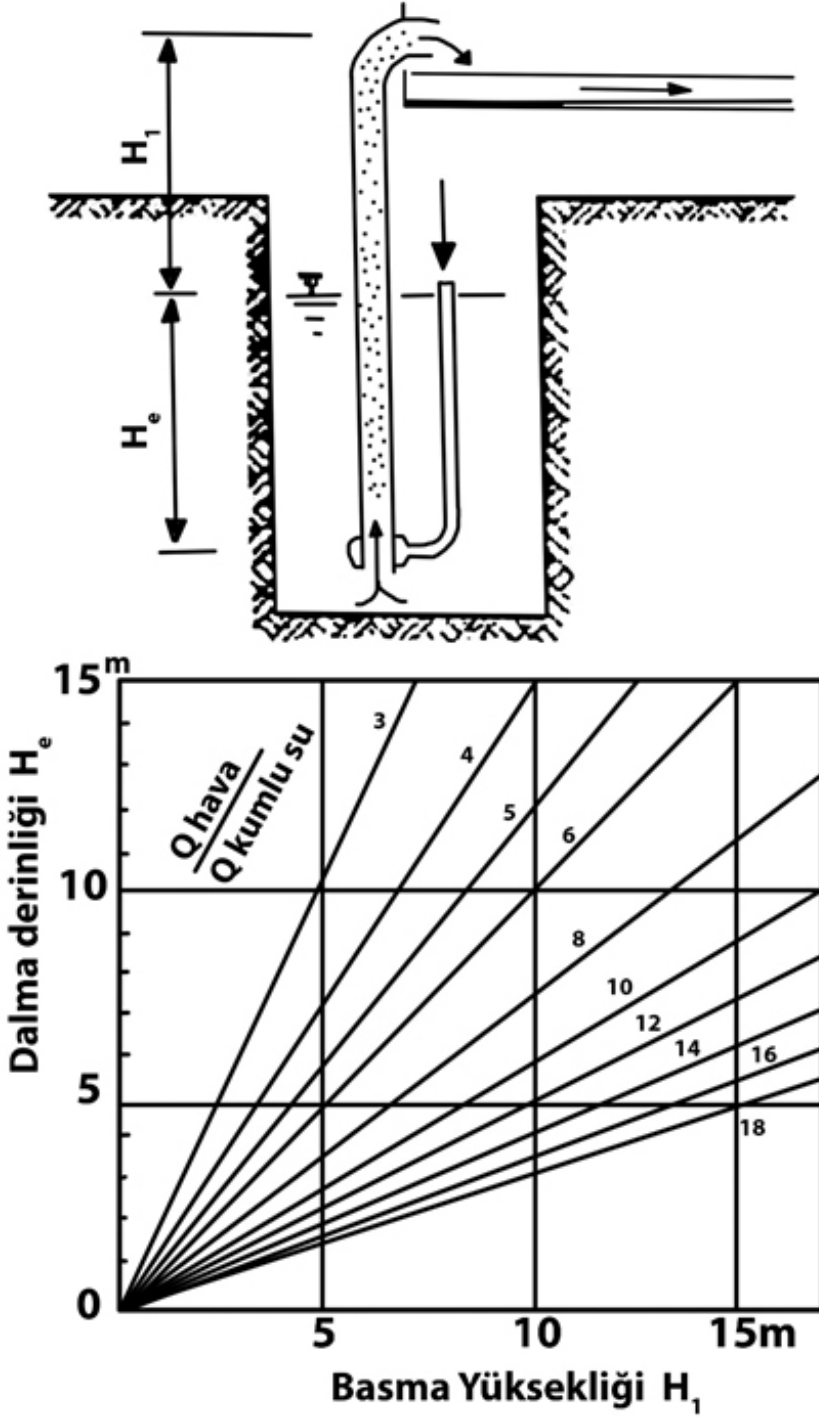
Q: Atıksu debisini, m³/saat,

A: Kum tutucu üst yüzey alanını, m²,

göstermektedir.

Kum tutucuda biriken kumların yukarıya alınması için santrifüj tipte pompa veya hava pompası kullanılabilir. Santrifüj pompaların kanatları kısa sürede aşındıklarından hava pompasının kullanılması tavsiye olunur. Hava pompasının prensibi, hava, su ve kum karışımının hava kabarcıkları yükselirken kumları da taşımaları esasına dayanır. Dolayısıyla gerekli hava miktarı, dalma derinliği ve basma yüksekliklerine bağlıdır.

Şekil 4.10'da lüzumlu hava miktarının bulunmasına yarayan abak gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Hava Tulumbası (Mamot Pompa) İçin Hava Miktarının Bulunması

5. ÖN ÇÖKTÜRME HAVUZLARI

Ön çöktürme havuzları, ızgara ve kum tutuculardan sonra konulur. Çökeltme havuzlarından maksat, çökebilen katı maddeleri sudan uzaklaştırma, biyolojik tasfiye tesislerinde ise biyolojik sistemin yükünü azaltmaktır. İyi bir şekilde projelendirilmiş çökeltim havuzları çökebilen askıdaki katı maddelerin % 95'ini giderebilir. Çökebilen askıdaki katı maddeler olarak Imhoff Konisinde 2 saat bekletildikten sonra ayrılan kısım kastedilmektedir. Toplam askıdaki katı maddelerin %50 ila %65'i, ve BOI_5 'nin de % 25-40 giderilebilir. Ancak ön çöktürmeden önce havalandırılmalı kum tutucular kullanılırsa BOI giderme verimi %35 ila %50 olmaktadır.

Toplam katı maddelerin homojen özellikte olmaması sebebiyle ön çöktürme işlemi, serbest çökelme ve yumaklı çökelme olmak üzere iki çökelme sınıfında toplanabilir. Bu sebeple ön çöktürme havuzlarının hesabı, yüzey yükü, bekleme süresi ve derinliğe bağlıdır. Bekletme süresi 1 ila 2.5 saat arasında değişir. Çökelme havuzlarında bekletme süresinin 2-2.5 saatten fazla seçilmesi, çökelme verimini arttırmayacağı gibi, anaerobik ayrışma sebebiyle istenmeyen kokular ortaya çıkması bakımından mahzurludur.

Son çöktürme havuzları ise havalandırma havuzunda teşekkül eden biyokütlenin çöktürülmesi maksadıyla yapılır. Bu havuzların hesabı yüzey yükü, bekletme süresi ve derinliğe ilaveten çamur yüküne bağlı olarak hesaplanır.

Gerek ön çöktürme havuzları ve gerekse son çöktürme havuzlarında projelendirme kriterleri tasfiye sistemine bağlı olarak seçilir. Mesela damlatmalı filtrelerden önce gelen ön çöktürme havuzlarında, aktif çamurdan öncekilere göre bekletme süresi uzun (1.5-2.5 saat), yüzey yükü daha düşük ($1.0-1.5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{sa}$) seçilmelidir. Çünkü damlatmalı filtrenin tıkanmaması için ön çöktürmenin verimliliği yüksek olmalıdır. Halbuki aktif çamurda böyle bir problem olmadığından ön çöktürme havuzunda bekleme müddeti, (1.0-2.0) saat, yüzey yükü ise daha büyük ($1.5-2.0 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{saat}$) seçilebilir.

Son çöktürme havuzlarında ise durum tersinedir. Damlatmalı filtreden çıkan biyokütle ağır ve daha kolay çökebilen özellikte olduğundan, son çöktürmede aktif çamura göre daha düşük bekleme süresi (2.0-2.5 saat) ve daha büyük yüzey yükü ($1.0-1.5 \text{ m}^3/\text{saat}$) alınır.

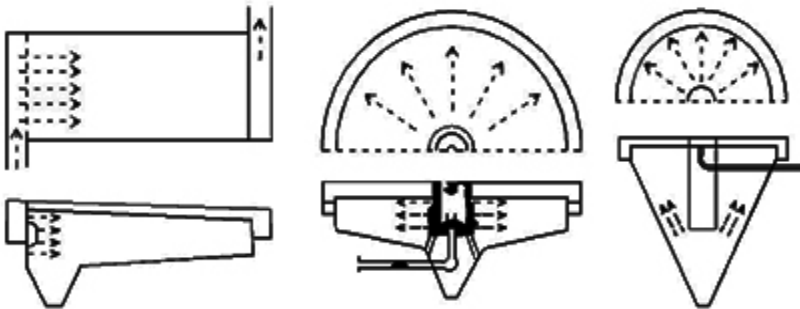
Halbuki aktif çamurun son çöktürme havuzu ise bekletme süresi > 3.5 saat ve yüzey yükü $< 0.7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ saat}$ 'e göre hesaplanır.

Çökeltme havuzlarına ait projelendirme esasları Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Çökeltme Havuzları İçin Projelendirme Esasları

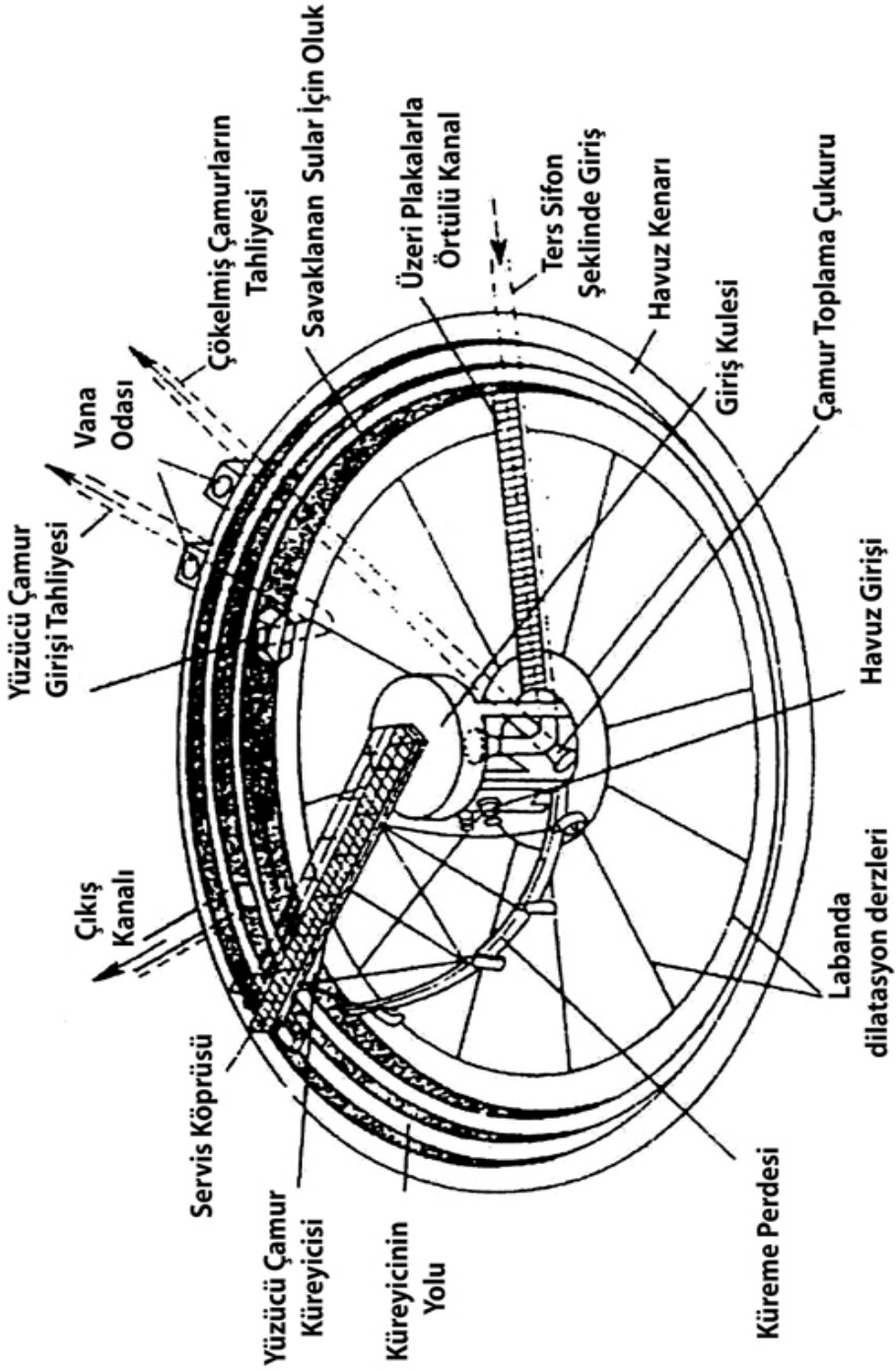
Havuz Çeşidi		Bekletme Süresi (Saat)		Yüzey Yüğü ($m^3/m^2.sa.$)	
		Kurak Devre	Yağışlı Devre	Kurak Devre	Yağışlı Devre
Yatay Akışlı Çökeltim Havuzu		1.5 - 2.5	≥ 0.5	1.0 - 1.5	≤ 4.5
Ön Çöktürme Havuzu	Damlatmalı Filtre	1.5 - 2.5	≥ 0.5	1.0 - 1.5	≤ 4.5
	Aktif Çamur	1.0 - 2.0	≥ 0.3	1.5 - 2.0	≤ 6.0
Son Çöktürme Havuzu	Damlatmalı Filtre	2.0 - 2.5	≥ 1.0	1.0 - 1.5	≤ 4.5
	Aktif Çamur	3 - 3.5	≥ 1.5	≤ 0.7	≤ 1.4
Havuz Çeşidi		Yatay Akış. Çök.Hav. Yatay Hız (mm/sn)		Savak Yüğü (l/sn.m)	
		Kurak Devre	Yağışlı Devre	Kurak Devre	Yağışlı Devre
Sadece Çökeltme		≤ 10	30	≤ 10	20
Ön Çöktürme Havuzu	Damlatmalı Filtre	≤ 10	30	≤ 10	20
	Aktif Çamur	≤ 10	30	≤ 10	20
Son Çöktürme Havuzu	Damlatmalı Filtre	≤ 10	20	≤ 10	20
	Aktif Çamur	≤ 10	15	≤ 5	10

Çöktürme havuzları; Yatay akışlı dikdörtgen planlı, Yatay akışlı daire planlı ve Konik çöktürme havuzları olmak üzere üç sınıfta toplanabilir (Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. Çökeltim Havuzu Tipleri

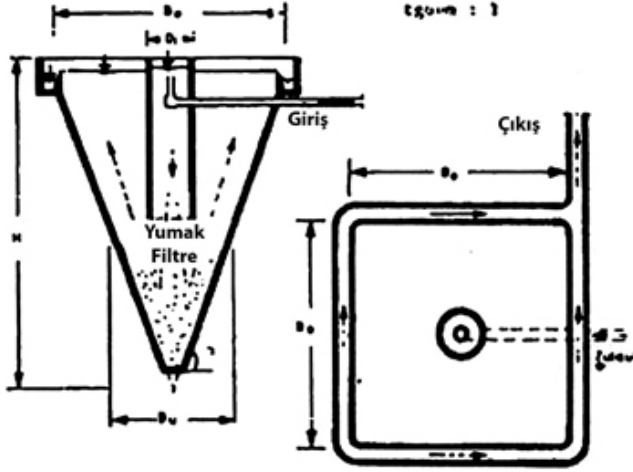
Şekil 5.2.'de dairesel çökeltim havuzu ve işletme teçhizatının şeması görülmektedir.



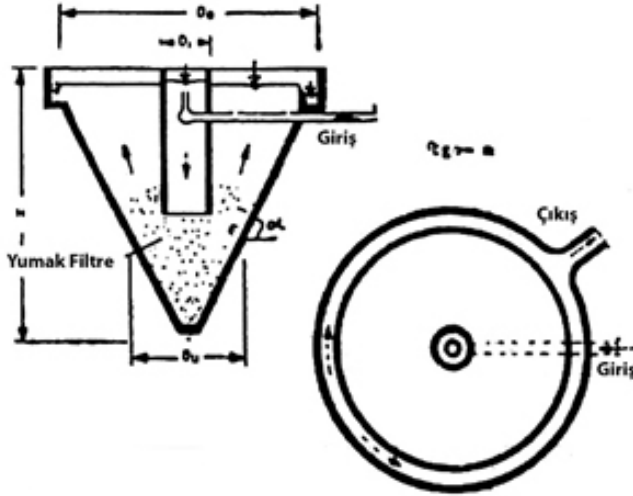
Şekil 5.2. Dairesel Çökeltim ve İşletme Teçhizatının Şeması

Konik çöktürme havuzları genelde sıyrıcısız olup, küçük çaplar için uygundur. Umumiyetle 8 ila 10 m.den büyük çaplarda sıyrıcılı çöktürme havuzlarının kullanılması uygundur.

Şekil 5.3.'de kare planlı konik çökeltim havuzunun boyutları, Şekil 5.4.'de ise daire planlı konik çökeltim havuzunun boyutları gösterilmiştir.



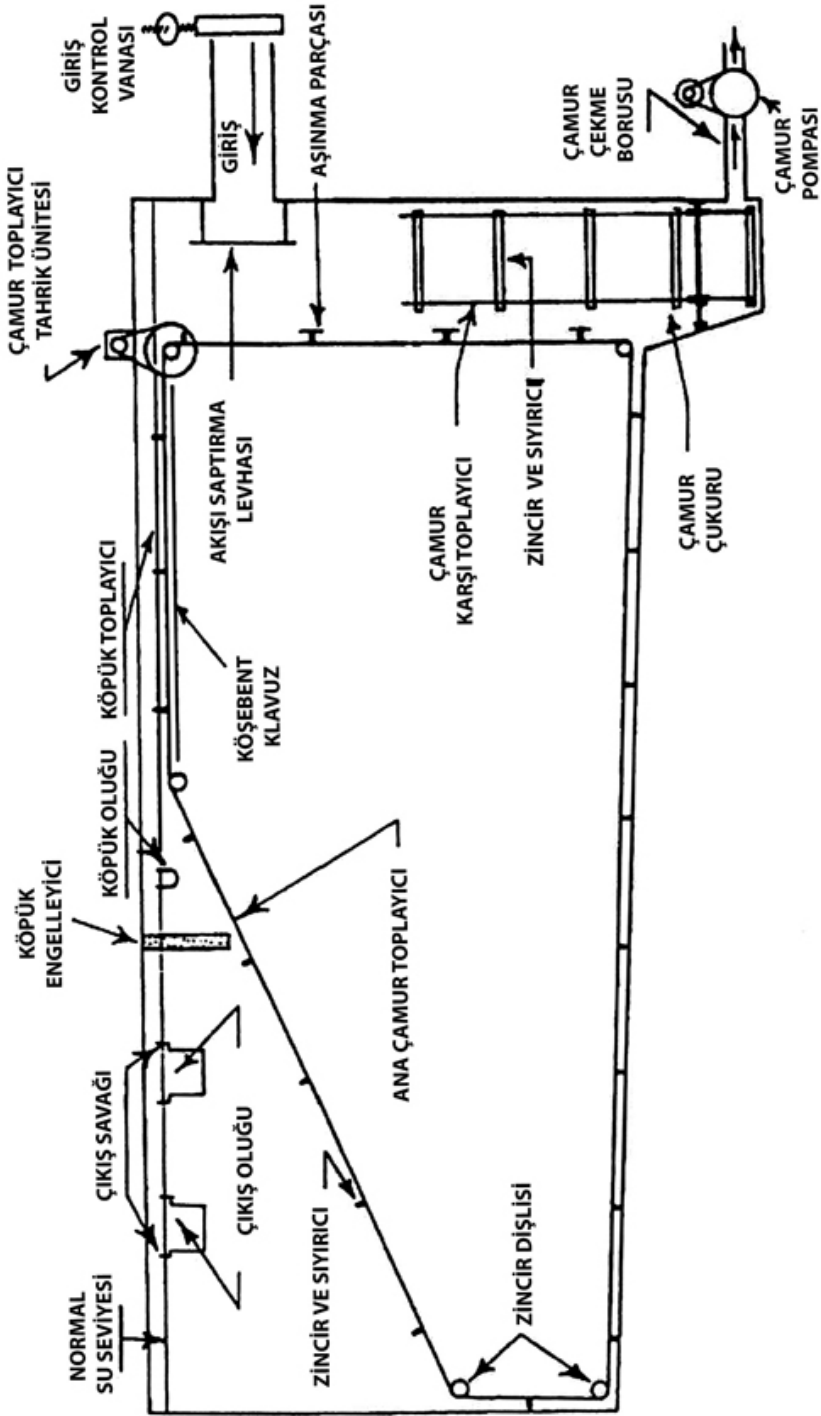
Şekil 5.3. Kare Planlı Konik Çökeltim Havuzunun Boyutları



Şekil 5.4. Daire Planlı Konik Çökeltim Havuzunun Boyutları

Şekil 5.5.'de dikdörtgen çökeltme tankının kesiti, Şekil 5.6.'da boş bir dikdörtgen planlı bir çöktürme havuzunun tabanındaki çamur sıyrırma tertibatı görülmektedir.

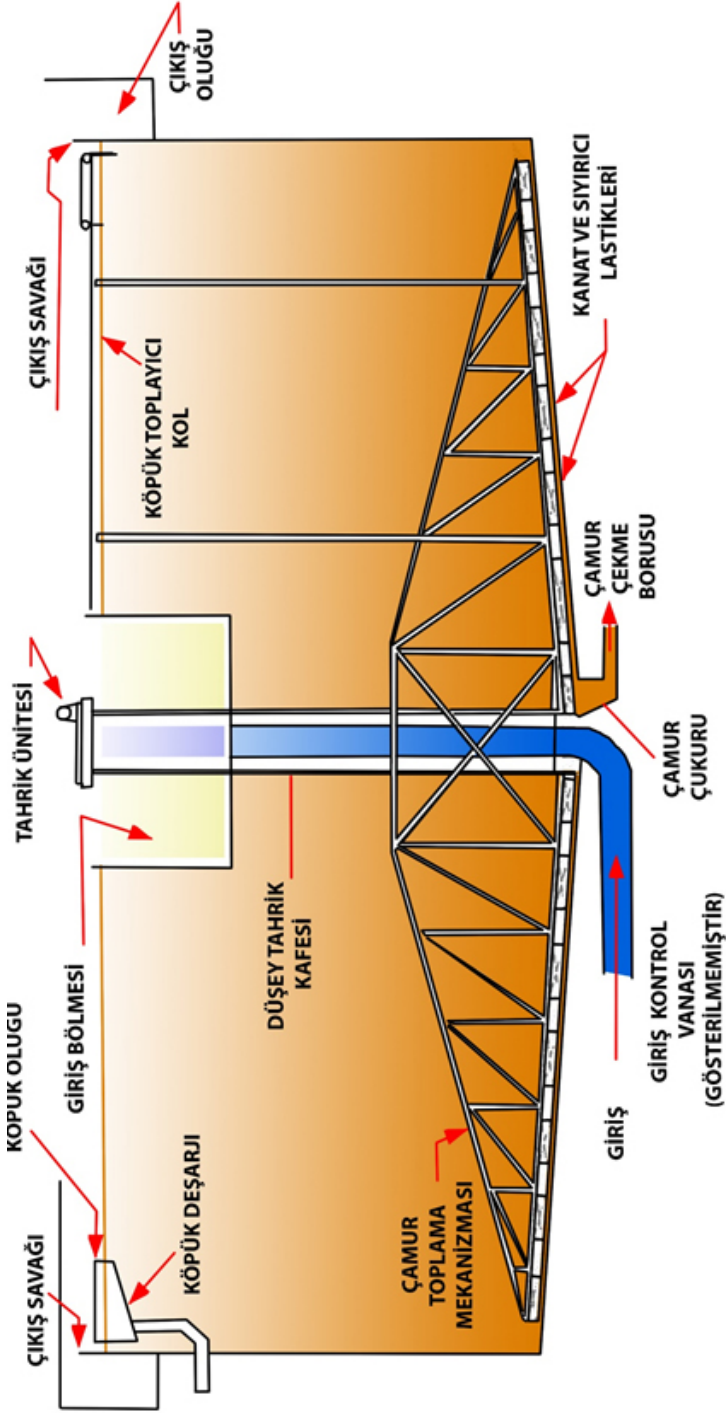
Şekil 5.7'de ise dairesel bir çöktürme havuzunun kesiti, Şekil 5.8'de ise boş bir dairesel çöktürme havuzunun tabanındaki çamur sıyrırma tertibatları görülmektedir.



Şekil 5.5. Dikdörtgen Çöktürme Tankının Kesiti



Şekil 5.6. Dikdörtgen Planlı Çökeltim Havuzunun Çamur Sıyırma Tertibatı



Şekil 5.7. Dairesel Çökeltim Tankının Kesiti



Şekil 5.8. Dairesel Çökeltim Havuzunun Çamur Sıyırma Tertibatı

Dikdörtgen planlı çöktürme havuzlarına ait projelendirme kriterleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Dikdörtgen Planlı Çökeltim Havuzu Boyutlandırma Kıstasları

Parametre	Aralık	Yaygın Değer
Derinlik, m.	1.5 - 5.0	1.8 - 3.6
Uzunluk, m.	15 - 90	25 - 40
Genişlik, m.	3 - 24	6 - 10
Taban Eğimi,	1: 100, 1:200	1:100
Sıyırıcı Hızı, m/dk.	0.6 - 1.2	1.0
Yatay su hızı, mm/ sn	< 10	<6
Savak Yüğü, l/ sn.m	< 10	<4

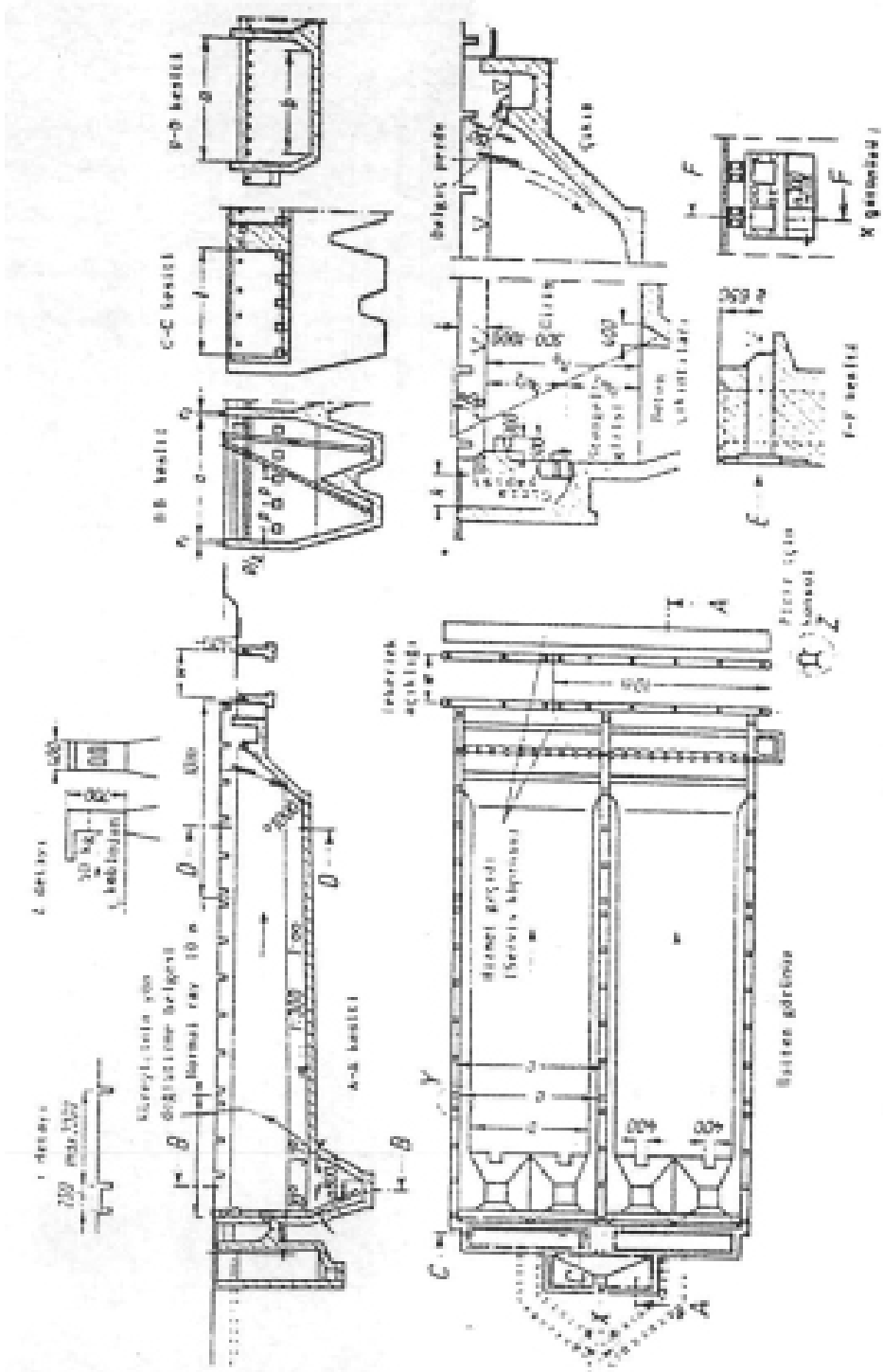
Daire planlı çöktürme havuzları için boyutlandırma kıstasları ise Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Daire Planlı Çökeltim Havuzları için Boyutlandırma Kıstasları

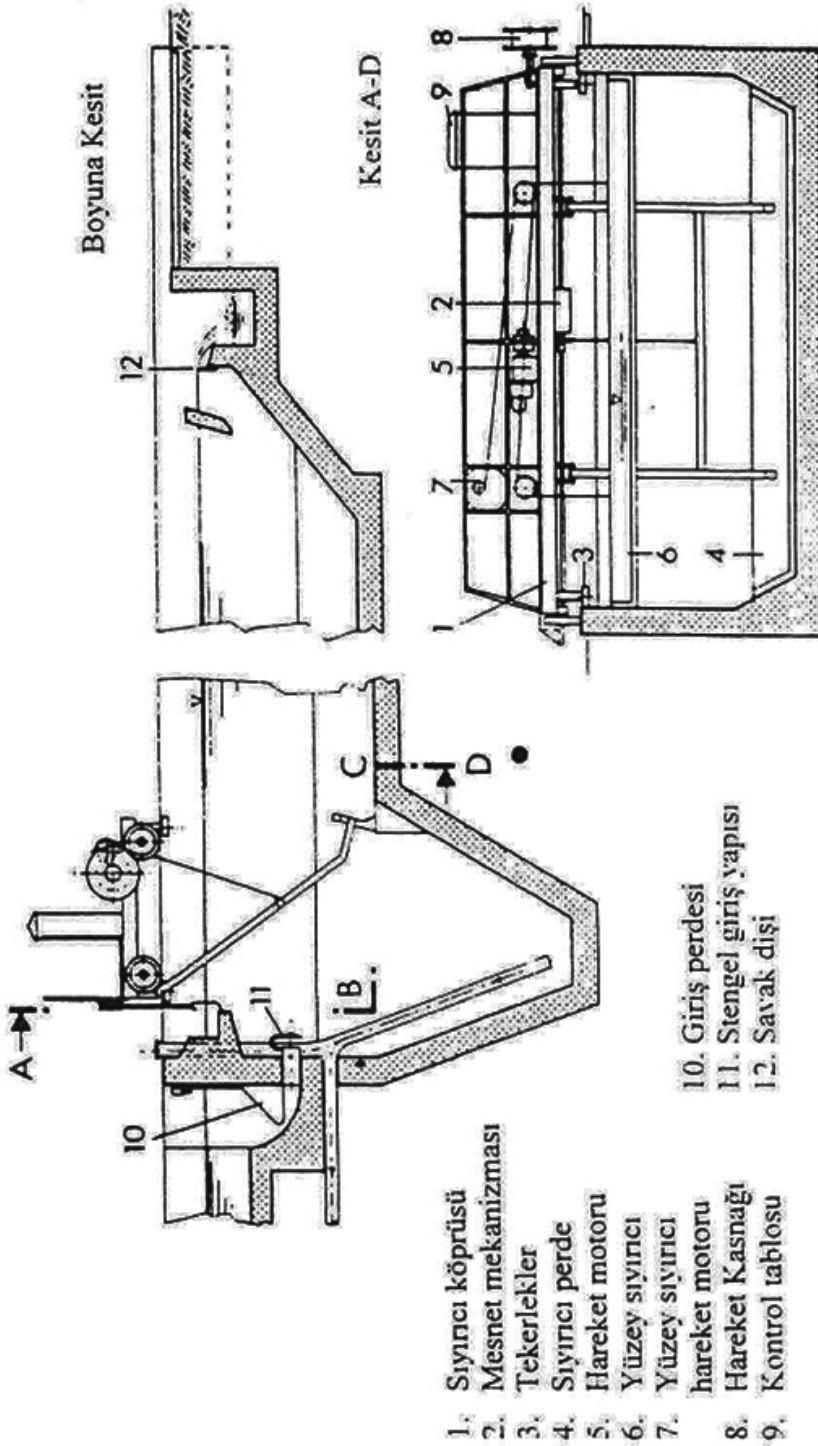
Parametre	Aralık	Yaygın Değer
Derinlik, m.	2.0 - 5.0	3.0 - 4.0
Çap, m.	3.6 - 60	12 - 45
Taban Eğimi	1:8, 1:15	1:10; 1:13
Sıyırıcı Hızı, devir/dk.	0.02 - 0.05	0.03
Savak Yüğü, m ³ /gün.m	125 - 500	125 - 250

Şekil 5.9'da DIN 19551'e göre projelendirilmiş dikdörtgen planlı çökeltim havuzunun boyutları görülmektedir.

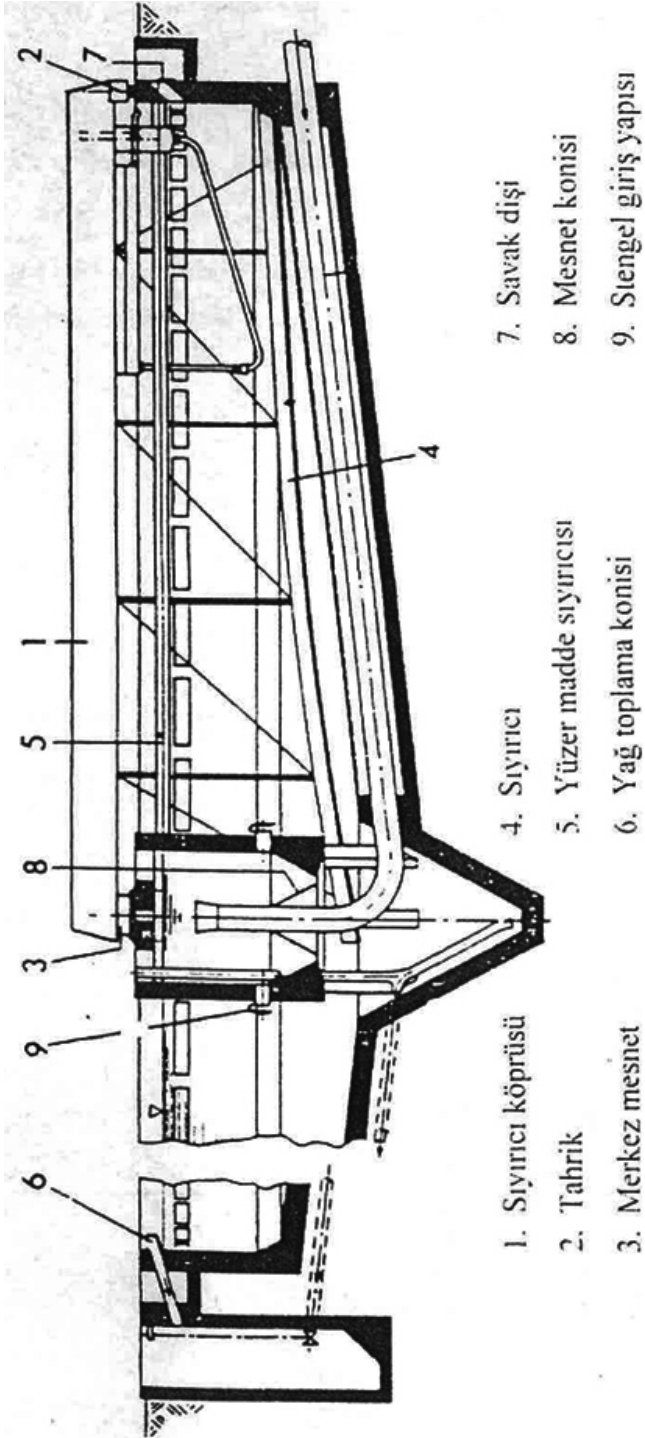
Çökeltim havuzlarına ait muhtelif plan ve kesitler Şekil 5.10, 5.11, 5.12, 5.13'de verilmiştir.



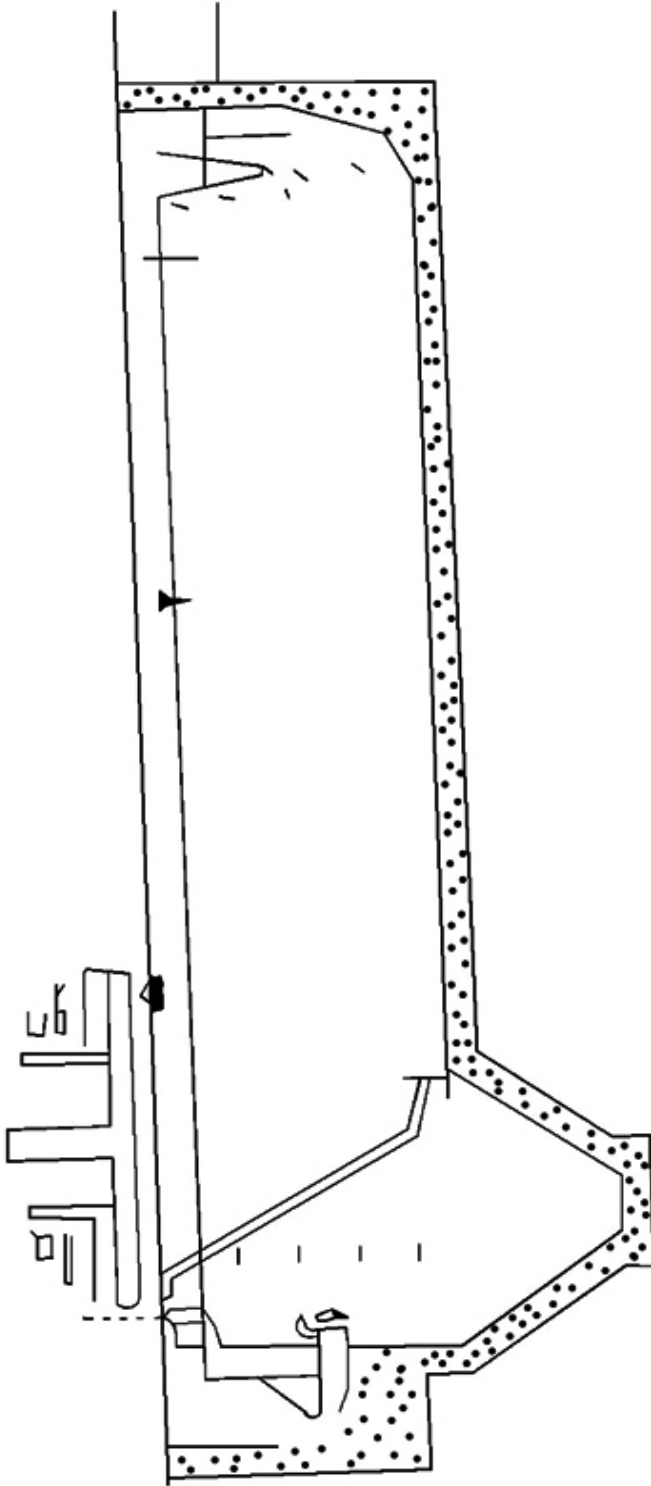
Şekil 5.9. DIN 19551'e Göre Projelendirilmiş Dikdörtgen Planlı Çökeltim Havuzunun Boyutları



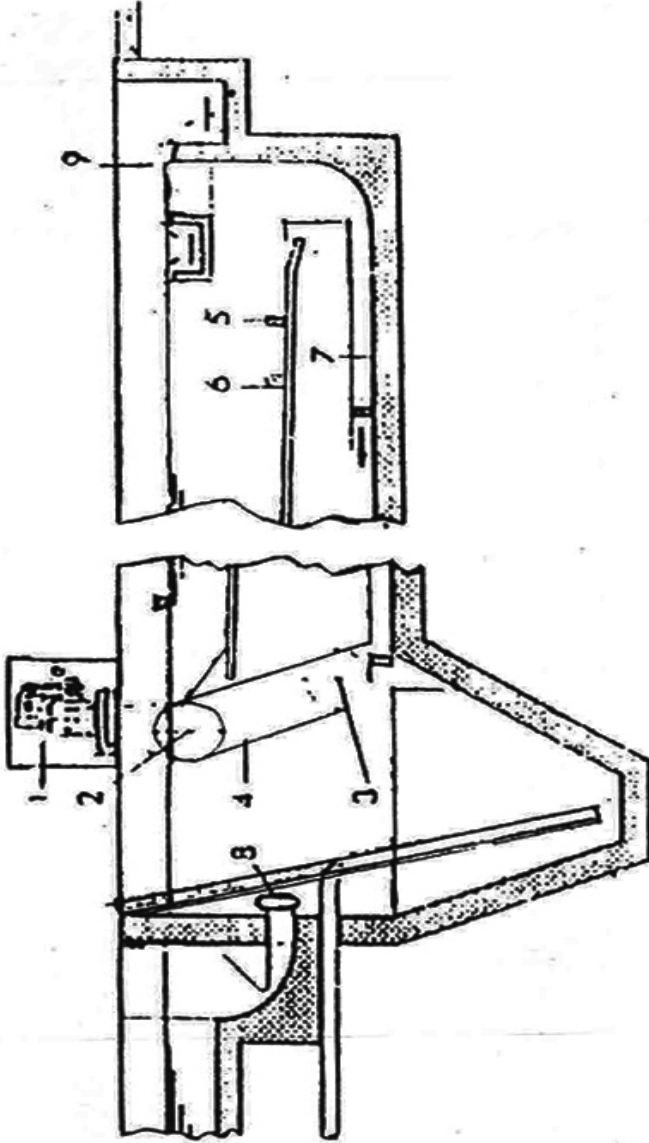
Şekil 5.10. Çökeltilim Havuzları Plan ve Kesitleri



Şekil 5.11. Çökeltim Havuzları Plan ve Kesitleri



Şekil 5.12. Çökeltim Havuzları Plan ve Kesitleri

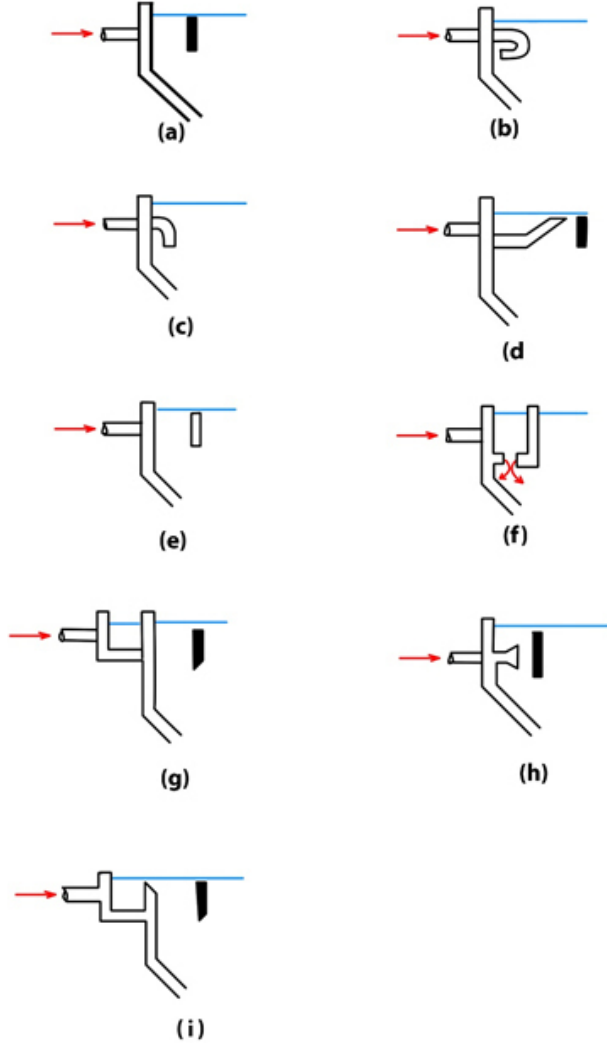


- | | | |
|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| 1. Tahrik mekanizması | 4. Sıyırma kayışı | 7. Toplama borusu |
| 2. Zincir | 5. Sıyrıcı | 8. Stengel giriş yapısı |
| 3. Dişli | 6. Taşıma tablosu | 9. Savak dişi |

Şekil 5.13. Çökeltim Havuzları Plan ve Kesitleri

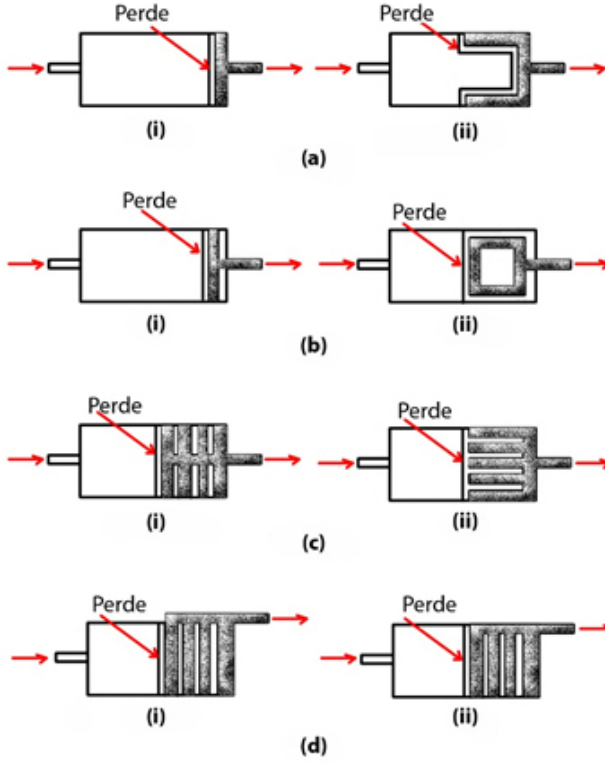
5.1. ÇÖKTÜRME HAVUZLARI GİRİŞ VE ÇIKIŞ YAPILARI

Giriş yapıları çöktürme havuzlarına su getiren ve dağıtan kanal kısımları ve yapılardan meydana gelirler. Yaklaşım yapılarının sonunda suyun havuza geçtiği giriş delikleri bulunur. Yaklaşım yapılan, kullanılmış suyun çürütmesini önleyecek, taban çökeltmelerine meydan vermeyecek bir şekilde teşkil edilmelidir (Şekil 5.14, Şekil 5.15).



Şekil 5.14. Çöktürme Havuzları Giriş Yapılarına Misaller

Bir diğer nokta yaklaşım kanalında debinin gittikçe azalıp, çöktürme havuzunda çevrimlerin teşekkül etmesine mani olunmasıdır.

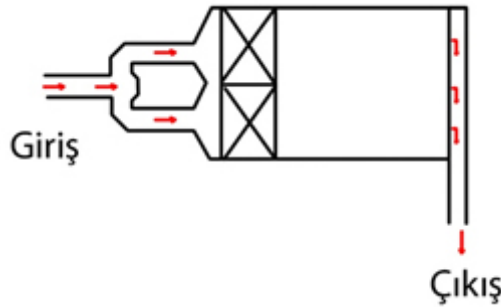


Şekil 5.15. Çökeltim Havuzları Çıkış Yapılarına Misaller

5.1.1. Dikdörtgen Planlı Havuzların Yaklaşım Yapıları

- Havuza Dik Olarak Teşkil Edilmiş Yaklaşım Yapısı

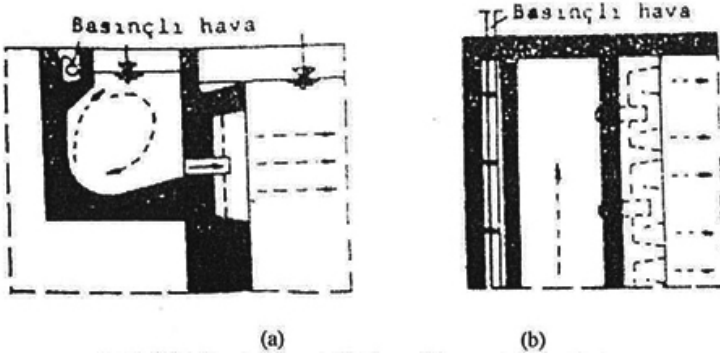
Bu giriş yapısı ile havuzlara üniform bir su dağılımı elde edilmiş olur. (Şekil 5.16)



Şekil 5.16. Havuza Dik Yaklaşım Yapısı

- **Havalandırmalı Yaklaşım Yapısı**

Bu tip yaklaşım yapısında, suyun havuzlara üniform olarak dağıtılabilmesi için büyük kesitli bir giriş kanalı yapılır. Enkesit büyük olduğu için su hızı düşük, dolayısıyla havuzlara su dağıtan giriş delikleri arasındaki yük kayıpları az olur. Bu sebeple giriş deliklerinden geçen debiler birbirinden pek farklı olmaz. Ancak katı maddelerin tabana çökme tehlikesi bulunduğundan buna mani olmak için giriş kanalı havalandırılır (Şekil 5.17).

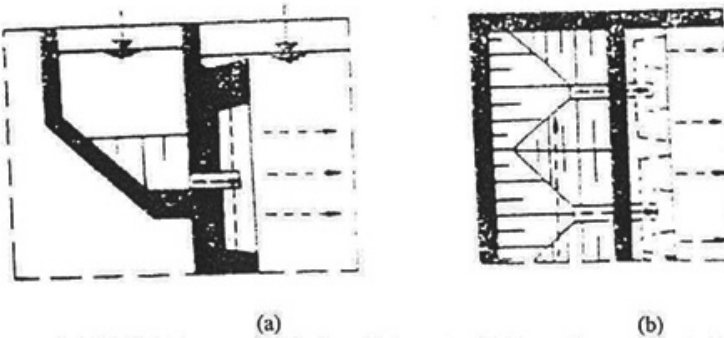


Şekil 5.17. Havalandırmalı Yaklaşım Yapısı, a) kesit, b) plan

Bu sistemin de mahzuru havalandırmanın üniform olarak yapılamaması halinde, giriş deliklerinden havuzlara giren debiler birbirinden farklı olur.

- **Tabanında Çamur Toplama Çukurları Olan Yaklaşım**

Burada su havuza büyük en kesitli bir kanalla getirilir. Su hızının düşük olması sebebiyle meydana gelecek çökelmeler giriş borusunun bulunduğu kısımda giriş kanalı tabanı huni şeklinde yapılır (Şekil 5.18).

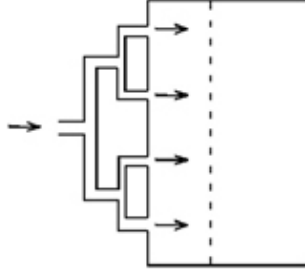


Şekil 5.18. Tabanı Çamur Toplama Çukuru Olan Yaklaşım Yapısı
a) Kesit, b) Plan

Çeşitli Giriş Tertibatları

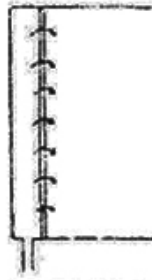
Tatbikatta kullanılan giriş şekillerini;

Izgara şeklindeki giriş tertibatı (Şekil 5.19)



Şekil 5.19. Izgara Şeklindeki Giriş Tertibatı

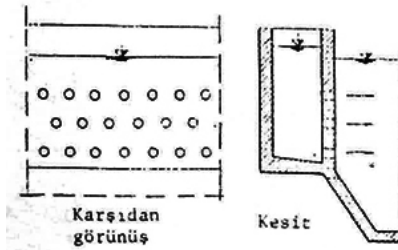
Savak şeklindeki giriş tertibatı (Şekil 5.20)



Şekil 5.20. Savak Şeklindeki Giriş Tertibatı (Huisman)

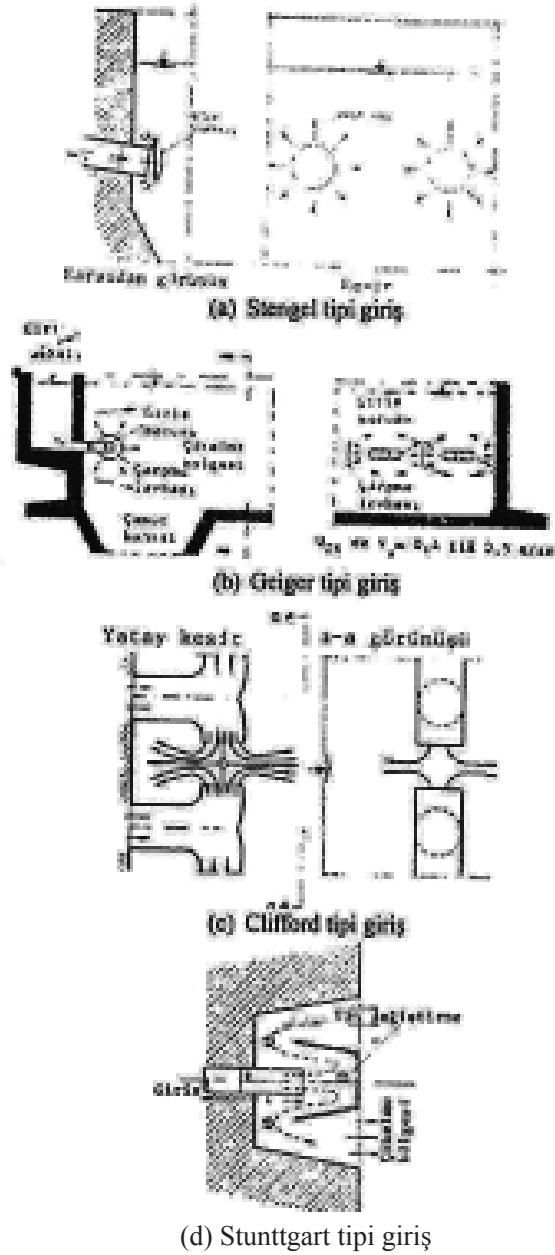
Borularda meydana gelen giriş (Şekil 5.21)

Borulardan suyu havuzdaki akış istikametinde havuza sevk eden
Borulardan suyu havuzdaki akış istikametinde ters yönde havuza sevk eden



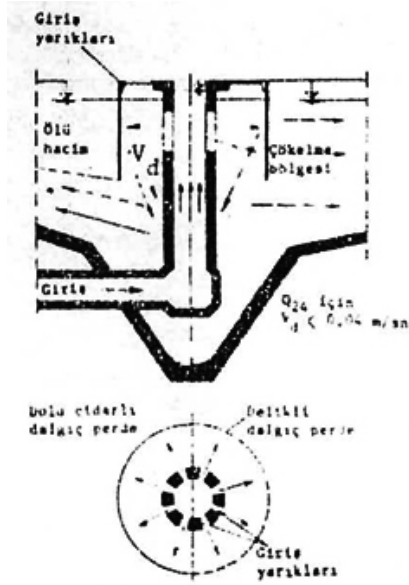
Şekil 5.21. Borularda Meydana Gelen Giriş Tertibatının Özel Bir Şekli (J. Weinder)

Boru şeklinde, fakat su jetlerinin yön değiştirmesine sebep olan tertiplerle teçhiz edilmiş giriş tertibatları (Şekil 5.22)



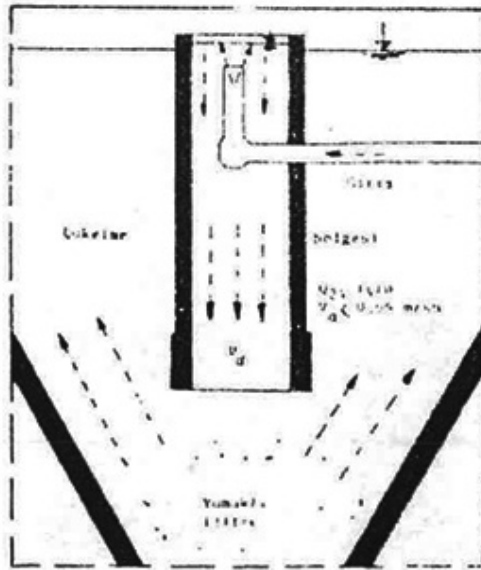
Şekil 5.22. Boru Şeklinde, Fakat Su Jetlerinin Yön Değiştirmesine Sebep Olan Tertiplerle Teçhiz Edilmiş Giriş Tertibatları

Delik ve yarıklardan meydana gelen giriş tertibatı (Şekil 5.23)



Şekil 5.23. Dairesel Çökeltim Havuzlarının Yarıklı Giriş Tertibatı (F. Pöpel)

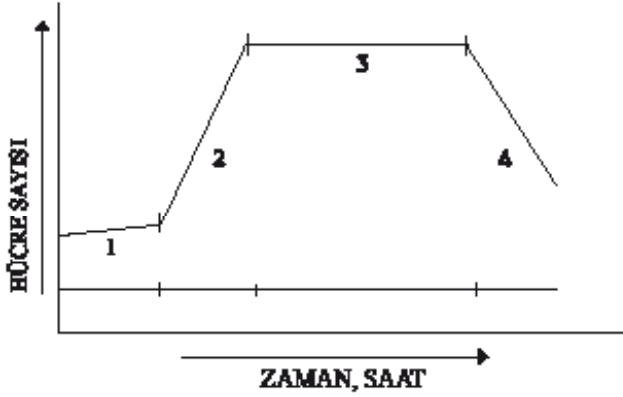
Silindir şeklindeki giriş (Şekil 5.24)



Şekil 5.24. Konik Havuzlar İçin Silindirik Giriş (F. Pöpel)

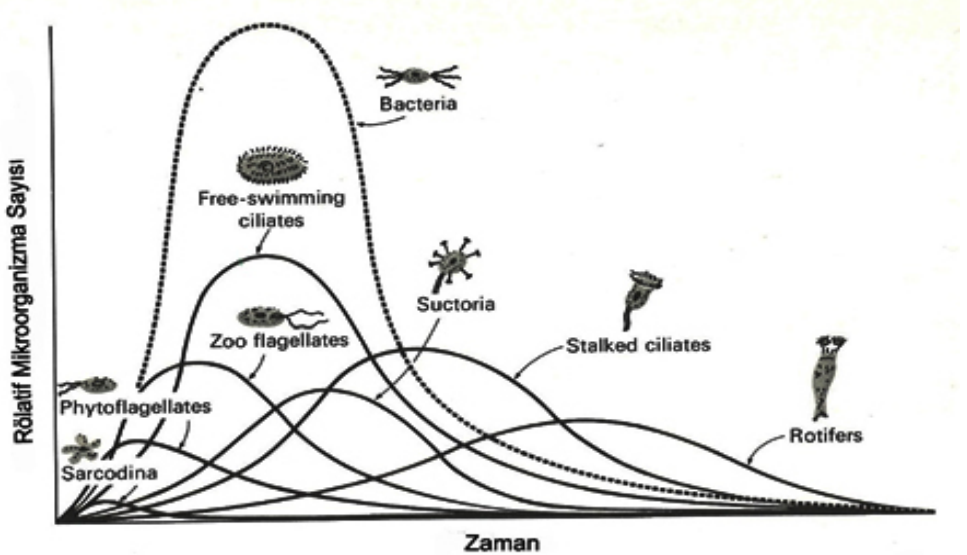
6. BİYOLOJİK TASFİYE

Biyolojik tasfiyeden maksat, askıda, kolloid ve çözünmüş olarak atıksuda bulunan organik maddeler biyolojik arıtma ünitelerinde kısmen okside olurken kısmen de yeni bakteri kütlesi halinde çökebilan biyolojik yumaklar haline veya CO_2 gibi inorganik bileşiklere dönüştürülmesinden ibarettir. Bakterilerin tipik çoğalma eğrisi Şekil 6.1’de, Şekil 6.2’de ise atıksuda bulunabilecek mikroorganizmaların izafi çoğalma eğrileri gösterilmiştir.



- | | |
|------------------|-----------------------------|
| (1) Gecikme fazı | (2) Logaritmik çoğalma fazı |
| (3) Durgun faz | (4) Ölüm fazı |

Şekil 6.1. Bakterilerin Tipik Çoğalma Eğrisi

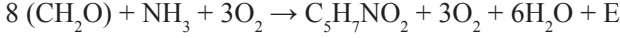


Şekil 6.2. Atıksuda Bulunabilecek Mikroorganizmaların İzafi Çoğalma Eğrileri

Aktif çamur ve damlatmalı filtre sistemi gibi tasfiye usulleri aerobik (havalı) teknikler olarak bilinmektedir. Bir havalı tasfiye işlemi üç adımda incelenebilir.

1. Adım

Biyokütleinin Üretimi ve Organik Maddenin Oksidasyonu:



2. Adım

Biyokütleinin Solunumu



3. Adım

Nitrifikasyon



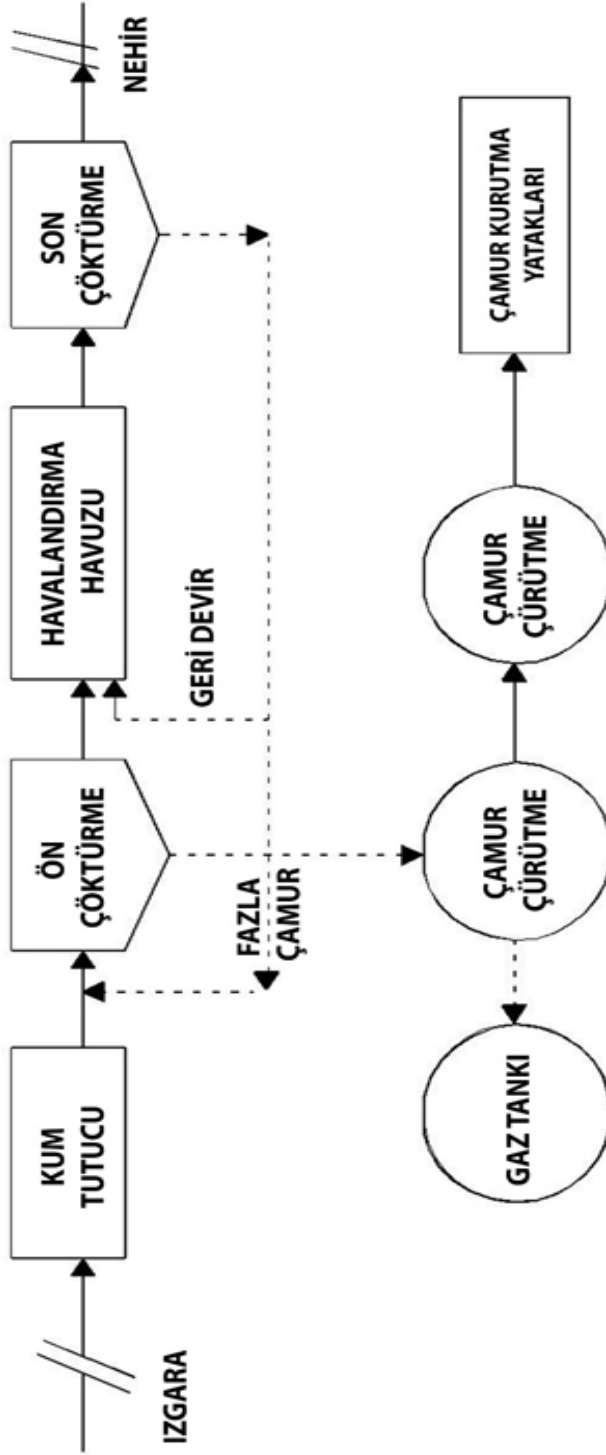
6.1. AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİ

6.1.1. Aktif Çamur Sistemi

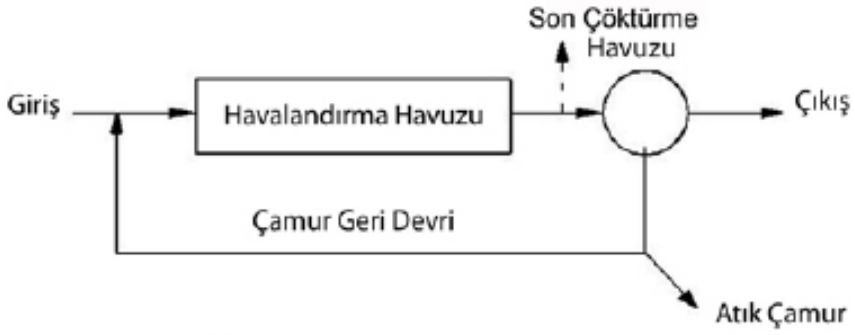
Aktif çamur sistemi, atıksuların havalı biyolojik tasfiyesinde en çok kullanılan tekniklerden birisidir.

Bu sistemde havalandırma havuzu ile son çöktürme havuzu iki mühim birimdir. Son çöktürme havuzunda çöktürülen çamurların bir kısmı havalandırma havuzuna geri devrettirilir. Fazla biyolojik çamur ise umumiyetle ön çöktürme havuzundan gelen çamurla birlikte yoğunlaştırılarak çürütme işleminden sonra çamur kurutma yataklarına veya pres filtresi gibi mekanik yolla su alma tesislerine verilir.

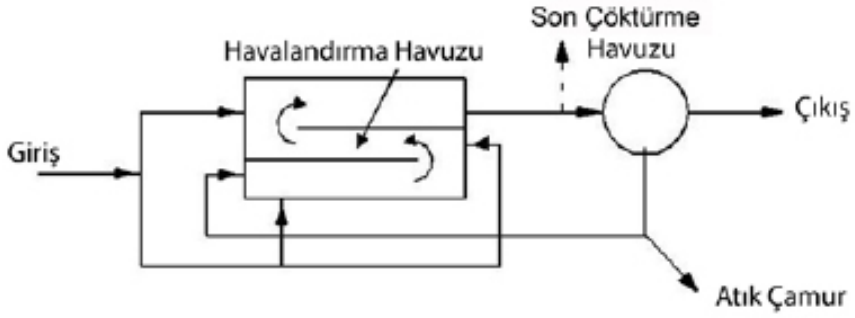
Biyolojik tasfiyeden önce ızgara, kum tutucu ve ön çöktürme havuzu bulunur. Ancak aktif çamur sistemlerinde ön çöktürme havuzu, damlatmalı filtre sistemlerine göre daha az lüzumludur. Nitekim aktif çamur sisteminin uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri ve oksidasyon havuzları gibi bazı tadil edilmiş çeşitlerinde ön çöktürme havuzu bulunmamaktadır. Klasik bir aktif çamur tesisinin akım şeması Şekil 6.3'de gösterilmiştir. Şekil 6.4'de ise aktif çamur sisteminin farklı modifikasyonlarından oluşmuş prosesler verilmiştir.



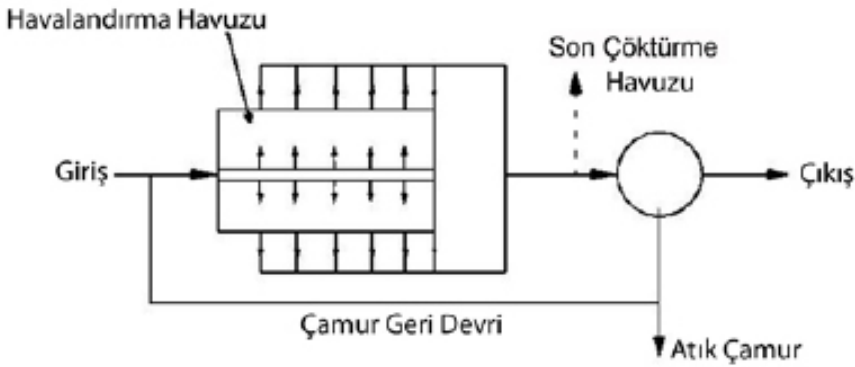
Şekil 6.3. Klasik Aktif Çamur Sistemi Akım Şeması



a- Konvansiyonel Aktif Çamur Prosesi

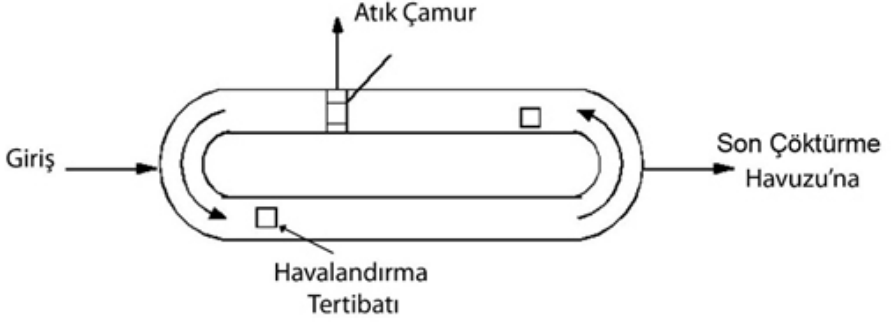


b- Havalandırmalı Aktif Çamur Prosesi

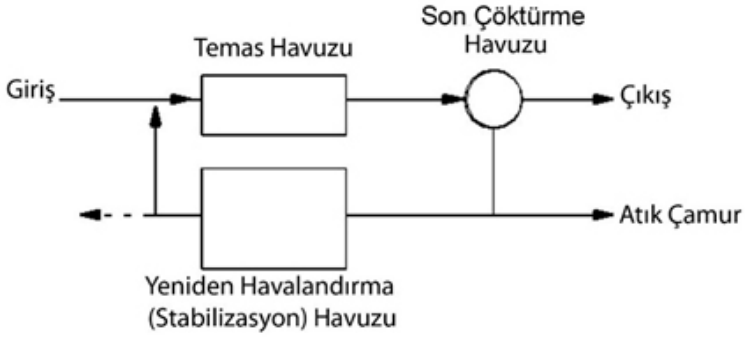


c- Tam Karışım Aktif Çamur Prosesi

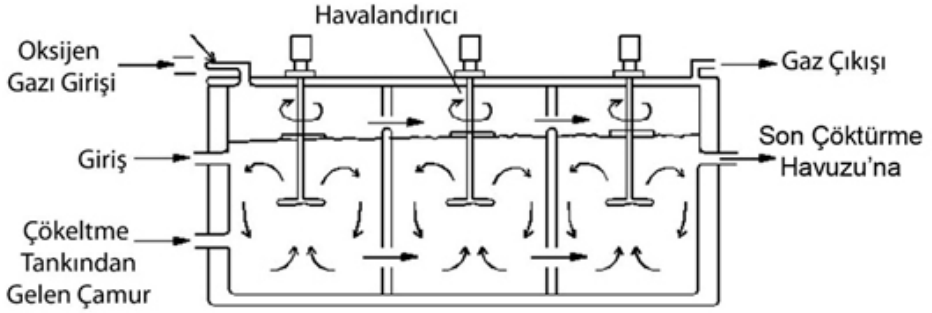
Şekil 6.4. Aktif Çamur Sisteminin Farklı Modifikasyonları



d- Oksidasyon Hendeği (Uzun Havalandırmalı) Prosesi



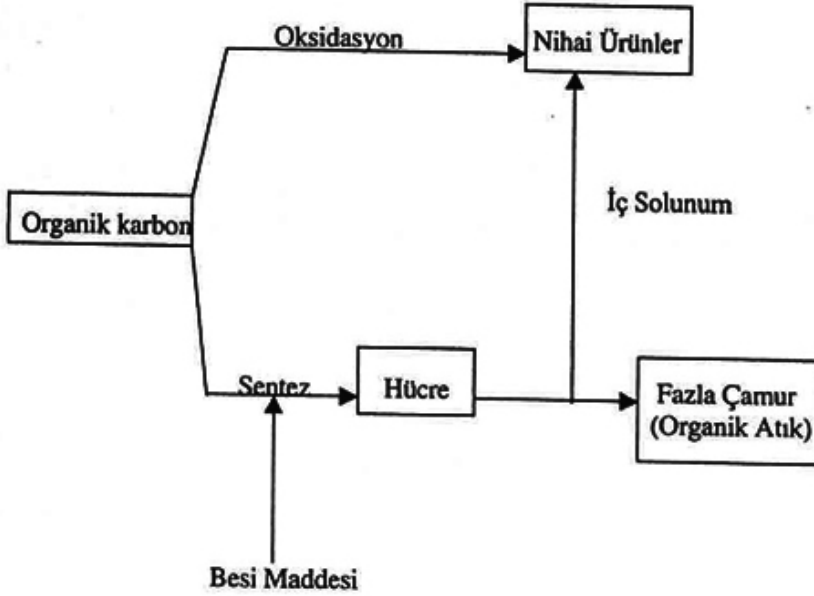
e- Kontak Stabilizasyon Prosesi



f- Çok Kademeli Saf Oksijenli Aktif Çamur Prosesi

Şekil 6.4. Aktif Çamur Sisteminin Farklı Modifikasyonları (devam)

Havalandırma havuzundaki mekanizma Şekil 6.5.'deki şemada verilmiştir.



Şekil 6.5. Havalandırma Havuzundaki Mekanizma

6.1.1.1. Aktif Çamur Sistemine Matematik Yaklaşım

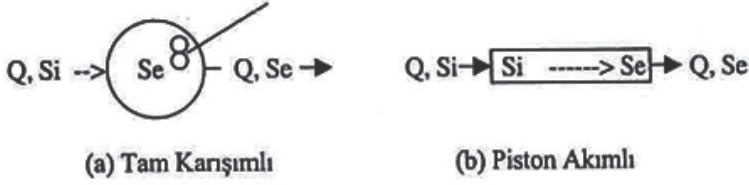
Aktif çamur sisteminde havalandırma havuzu ile son çöktürme havuzu iki mühim ünedir. Son çöktürme havuzunda çökeltelen biyolojik çamurların bir kısmı geri devir pompası yardımıyla havalandırma havuzunun başına geri devrettirilir. Fazla çamur ise umumiyetle ön çöktürme havuzundan gelen çamurla birlikte yoğunlaştırılır, çürütülür ve suyu alınmak üzere iklim ve arazi müsait ise çamur kurutma yataklarına aksi halde pres filtresi, yatay bant filtre veya santrifüj gibi mekanik su alma sistemlerine verilir.

Aktif çamur sisteminde havalandırma havuzu umumiyetle sürekli akımlı reaktör olarak projelendirilir. Yani sisteme sürekli giriş ve çıkış vardır. Fakat reaktördeki akımın cinsine göre havalandırma havuzu

- Tam karışımli reaktörler
- Piston akımlı reaktörler

olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir.

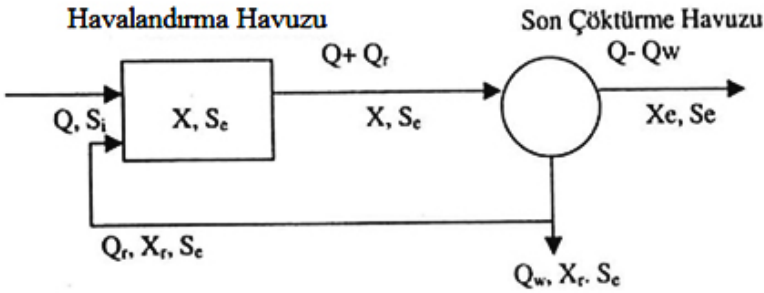
Bu iki reaktör çeşidi aşağıda şematik olarak gösterilmiştir (Şekil 6.6.)



Şekil 6.6. Reaktör Çeşitleri

Lüzumlu havalandırma havuzu hacmi, tam karışım reaktörlerde piston akımlara nazaran daha fazladır. Fakat tam karışım reaktörler ani kabarma ve yüklere, kullanılmış su özelliğindeki değişimlere ve toksik maddelere karşı piston akımlı reaktörler kadar hassas değildir. Bu yüzden bu tip reaktörler bilhassa sanayi atıksuları için uygundur. Keza evsel atıksular yanında sanayiden de mühim nisbette atıksu gelmesi halinde de tam karışım reaktörler tercih edilmektedir. Piston akımlı reaktörler ise daha ziyade evsel atıksuların tasfiyesinde kullanılır.

Tam karışım bir reaktörde akım şeması (Şekil 6.7) ve maddenin korunumu esasından hareketle çıkarılan ifadeler aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.7. Aktif Çamur Sisteminin Akım Şeması

Burada;

S_i : Girişte BOI_5 Konsantrasyonu, mg BOI_5/l

S_e : Çıkışta BOI_5 Konsantrasyonu, mg BOI_5/l

X : Biyokütle Konsantrasyonu, mg/l

X_r : Geridevir Çamurunda Biyokütle Konsantrasyonu, mg/l

Q : Debi, $m^3/saat$

Q_r : Geridevir Debisi, $m^3/saat$

Q_w : Fazla Çamur Debisi, $m^3/saat$

Maddenin korunumu yazılırsa:

$$\text{Giriş} + \text{Reaksiyon} + \text{Birikme} - \text{Çıkış} = 0$$

Matematik olarak:

$$r_i + r_r + r_a - r_e = 0$$

Kararlı durumda $r_a = 0$ 'dır. Böylece;

$$r_i + r_r = r_e$$

yazılabilir.

$$r_i = Q.S_i$$

$$r_r = (dS/dt).V$$

$$r_e = (Q - Q_w) S_e + Q_w.S_e = Q.S_e$$

$$(dS/dt).V = - (1/Y).μ.X.V \text{ yazılabilir.}$$

Burada;

Y: Verim sabiti (Dönüşüm oranı), kg MLSS/kg BOİ₅

μ: Büyüme hızı, gün⁻¹

Bunlar yerine konulursa;

$$Q.S_i - (1/Y). μ.X.V = Q.S_e \text{ veya}$$

$$Q.(S_i - S_e) = (1/Y). μ.X.V$$

yazılabilir. Giderme verimi

$$E = (S_i - S_e)/S_i = (1/Y). μ.X.V / (Q.S_i)$$

elde edilir. Besi maddesinin mikroorganizmaya oranı (F/M*) ile ifade edilir.

$$F = Q.S_i \text{ (kg BOİ}_5\text{/gün)}$$

$$M^* = X.V \text{ (kg UAKM)}$$

UAKM: Uçucu Asılı Katı Madde (MLVSS)

$$(F/M^*) = Q.S_i / (X.V) \text{ olduğundan}$$

$$(F/M^*) = (S_i - S_e)/S_i = (1/Y).μ.X.V / (Q.S_i) = (1/Y). μ/(F/M^*)$$

bulunur.

6.1.1.2. Biyokütle Üretimi

Reaktöre biyokütle girişi $r_i = 0$ ve kararlı hal için biyokütle birikimi $r_a = 0$ olduğu dikkate alınır:

Reaksiyon = Çıkış yani $r_r = r_e$ olmalıdır.

Biyokütle üretimi;

$$r_r = V \cdot dX/dt = V \cdot [Y (dS/dt) - k_d \cdot X]$$

$$r_e = (Q - Q_w) \cdot X_e + Q_w \cdot X_r$$

$X_e = 0$ kabul edilebilir. Çünkü çıkışta biyokütle kaçığı olmamalıdır.

$$r_e = Q_w \cdot X_r$$

$$r_e = Q_w \cdot X_r = Y(S_i - S_e) \cdot Q - k_d \cdot X \cdot V$$

k_d = biyokütle ölme hızı, kg UAKM/ kg UAKM. gün

$r_r = r_e$ olduğundan;

$$Y \cdot V \cdot (dS/dt) - k_d \cdot X \cdot V = Y(S_i - S_e) \cdot Q - k_d \cdot X \cdot V$$

$$V \cdot (dS/dt) = (S_i - S_e) \cdot Q$$

Net biyokütle üretimi P_x ile gösterilirse;

$$P_x = Q_w \cdot X_r = Y(S_i - S_e) \cdot Q - k_d \cdot X \cdot V$$

Sistemde biyokütle bekleme müddeti (Çamur yaşı) θ_c ile gösterilirse;

$$\theta_c = X \cdot V / [Q_w \cdot X_r + (Q - Q_w)X_e]$$

yazılabilir. Burada;

θ_c : Çamur yaşı, gün'dür. $X_e = 0$ kabul edilebileceğinden:

$$\theta_c = X \cdot V / (Q_w \cdot X_r) = X \cdot V / P_x$$

yazılabilir.

$$1/\theta_c = Q_w \cdot X_r / (X \cdot V) = P_x / (X \cdot V) = Y \cdot (S_i - S_e) \cdot Q / (X \cdot V) - k_d$$

$$1/\theta_c = Y \cdot [(S_i - S_e)/S_i] \cdot Q \cdot S_i / (X \cdot V) - k_d$$

$E = (S_i - S_e)/S_i$ ve $(F/M^*) = Q \cdot S_i / (X \cdot V)$ olduğundan

$$1/\theta_c = Y \cdot E \cdot (F/M^*) - k_d$$

yazılabilir.

Mikroorganizma kütlesi başına besi maddesi tüketim hızı U ile gösterilirse, yani

$$U = E.(F/M^*) \text{ yazılırsa:}$$

$$1/\theta_c = Y. U - k_d$$

elde edilir.

$$1/\theta_c + k_d = Y.(S_i - S_e).Q / (X. V)$$

$$(1 + k_d \theta_c) / \theta_c = Y.(S_i - S_e).Q / (X. V)$$

$$X = \theta_c . Y.(S_i - S_e).Q / [V (1 + k_d \theta_c)] = \theta_c . Y.(S_i - S_e) / \theta (1 + k_d \theta_c)$$

$$V = \theta_c . Y.(S_i - S_e).Q / [X (1 + k_d \theta_c)]$$

Denklemlerde kullanılan parametrelerin aralık ve tipik değerleri Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Parametrelerin Eysel Atıksular İçin Aralık ve Tipik Değerleri

Parametre	Birimi	Aralık	Tipik Değer
μ	gün-1	2-10	5.0
Ks	mg/l (BOİ ₅)	25- 100	60
	mg/l (KOİ)	15-70	40
Y	mgUAKM/mgBOİ	0.4 - 0.8	0.6
	mgUAKM/mgKOİ	0.25 - 0.40	0.4
kd	gün-1	0.04 - 0.075	0.06

6.1.1.3. Çamur Yüğü

(F/M*) oranı çamur yüğü olarak tanımlanmaktadır ve

$$(F/M^*) = Q.S_i(10^{-3}) / (X. V)$$

$$L = Q.S_i.(10^{-3}) \text{ ve } \theta = V / Q$$

olduğundan aşağıdaki ifadeler yazılabilir:

$$(F/M^*) = Q.S_i (10^{-3}) / (X. V) = L / (X. V) = S_i(10^{-3}) / (\theta.X)$$

Burada;

(F/M*): Çamur yükü, veya besi maddesi mikroorganizma oranı

kg BOİ₅ / kg UAKM.gün (UAKM : Uçucu Asılı Katı Madde)

Q: Atıksu debisi, m³/gün

S_i: Havalandırma Havuzu giriş BOİ₅ konsantrasyonu, mg/l

X: Havalandırma Havuzunda biyokütle konsantrasyonu, kg UAKM/m³

V: Havalandırma Havuzu Hacmi, m³

L: Havalandırma havuzu BOİ₅ yükü, kg BOİ₅/gün

θ: Havalandırma Havuzunda Bekletme Müddeti, gün
göstermektedir.

Besi maddesi mikroorganizma oranı UAKM (Uçucu Asılı Katı Madde, MLVSS) cinsinden ifade edilebileceği gibi AKM (MLSS) cinsinden de yazılabilir. Bu durumda çamur yükü L_s ile gösterilir.

Bu takdirde;

$$L_s = L / (M \cdot V)$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

L_s: Çamur Yükü, kg BOİ₅/ kg AKM.gün

M: Havalandırma Havuzunda Biyokütle Konsantrasyonu kg AKM/m³ ‘dür.

Çamur yükünün 0.5’e eşit ve daha küçük olduğu aktif çamur sistemleri düşük yüklü, 0.5 den büyük olması halinde yüksek hızlı aktif çamur sistemleri olarak tarif edilebilir.

6.1.2. Havalandırma Havuzu

Boyutlandırma Parametreleri

Havalandırma havuzlarında çamur yükü, hidrolik bekletme süresi, çamur yaşı, havalandırma havuzunda AKM konsantrasyonu en önemli parametler arasındadır. Tablo 6.2.’de evsel kullanılmış sular için teklif edilen projelendirme kriterleri verilmiştir.

Tablo 6.2. Aktif Çamur Sistemleri Havalandırma Havuzu Proje Kriterleri

Tasfiye Derecesi	Verim (%)	Çamur Yüğü (kgBOİ ₅ / kgAKM.gün)	Biyokütle Konsantrasyonu (kg AKM/m ³)	Bekletme Müddeti (Saat)
Kısmi Tasfiye	<80	1	2	1-2
Tam Tasfiye	>90	0.3	3	2-3
Tam Tasfiye Nitrifikasyon	T= 7 °C, >90	0.1	3	6
	T=12°C, >90	0.2	3	3-4
	T=17°C, >90	0.3	3	2.5-3
Uzun Havalandırma	>93	0.05	4	24

6.1.2.1. Hacim Yüğü

Hacim Yüğü, havalandırma havuzunun birim hacmine birim zamanda verilen BOİ yüğü olarak tarif edilmektedir. Yani

$$L_v = L / V \quad (\text{kg BOİ}_5 / \text{m}^3 \cdot \text{gün})$$

olarak ifade edilmektedir.

Burada L_v , 0.4 - 1.0 arasında az yüklü, 1.0 - 2.0 arasında ise çok yüklü aktif çamur sistemleri söz konusudur.

6.1.2.2. Geri Devir Oranı

Geri devir oranı, geri devir debisinin giriş debisine oranı olarak bilinmektedir. Geri devir oranı

$$r = Q_r / Q$$

şeklinde ifade edilir. Veya:

$$r = Q_r / Q = M / (M_r - M) = X / (X_r - X)$$

yazılabilir. Burada:

Q_r : Geri devir debisi, m³/gün

M_r : Geri devir hattında biyokütle kons., kg AKM/m³

X_r : Geri devir hattında biyokütle kons., kg UAKM/m³ 'yi göstermektedir.

Geri devir oranı Çamur Hacim İndeksine (SVI) ye göre de hesaplanmaktadır. Bu takdirde;

$$r = M.SVI / (1 - M.SVI)$$

$$M_r = 1000 / SVI$$

şeklinde ifade edilir. SVI, (çamur hacim indeksi) çamurun çökelme özelliğinin bir göstergesidir. Buna ait değerler Tablo 6.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Çamur Hacim İndeksi ile Çamur Çökelme Özellikleri Arasındaki İlişki

SVI, ml/gr	Mr, mg /l	Çökelme Özelliği
50	20 000	Çok iyi
50-100	20 000 - 10 000	İyi
100-150	10 000 - 6 700	Olabilir
> 150	<6 700	Orta
>200	<5 000	Kötü

6.1.2.3. Fazla Çamur Miktarının Hesabı

Fazla çamur miktarı, aktif çamur sisteminden birim zamanda çekilmesi gereken biyolojik çamur (Son çöktürme çamuru) olarak tarif edilmektedir.

Aşağıdaki ifadelerden biri ile hesaplanmaktadır.

$$P_x = Y_{obs} \cdot Q \cdot (S_i - S) \cdot 10^{-3}$$

$$Y_{obs} = Y / (1 + k_d \cdot \theta_c)$$

$$P_x = Q_w \cdot X_r$$

$$P_x = Y_x \cdot Q \cdot (S_i - S) - k_d \cdot X \cdot V$$

$$P_s = Y_s \cdot E \cdot L - k_d \cdot M \cdot V$$

Burada;

P_x : Fazla çamur miktarı, Uçucu asılı katı cinsinden, kg UAKM /gün

P_s : Fazla çamur miktarı, asılı katı cinsinden, kg AKM /gün

Y_{obs} : Gözlenmiş dönüşüm oranı, kg UAKM / kg BOİ₅

Y_x : Dönüşüm oranı, kg UAKM / kg BOİ₅

Y_s : Dönüşüm oranı, kg AKM / kg BOİ₅

k_d : Mikroorganizmaların ölme hızı, kg AKM/ kg AKM.gün

Evsel atıksular için:

$$Y_s = 0.5 - 0.65 \text{ kg AKM / kg BOI}_5$$

k_d : 0.03 - 0.15 kg AKM/ kg AKM. Gün
arasında alınmaktadır.

Fazla çamur hesabını tecrübelerden elde edilen ifadelerle veren denklemler de vardır. Hunken formülü olarak bilinen ifade aşağıda verilmiştir.

$$P_s = (1.2).E.L_s^{0.23}.L$$

Burada;

P_s : Fazla çamur miktarı, asılı katı cinsinden, kg AKM /gün

E: Biyolojik tasfiyenin verimi,

L: Havalandırma Havuzuna giren BOI_5 yükü, kg/gün'dür.

6.1.2.4. Çamur Yaşı

Çamur yaşı, mikroorganizmaların havalandırma havuzunda bekletme müddetidir. Geri devirsiz sistemlerde hidrolik bekletme müddetine eşittir. Geri devirli olanlarda hidrolik bekletme müddetinden daha büyüktür. Birimi, zaman birimi olup umumiyetle gün kullanılır.

Çamur yaşı:

$$\theta_c = V.M / P_s = V. X / P_x$$

ifadesiyle hesaplanır ve klasik aktif çamur sistemlerinde;

$$L_s = 0.3 \text{ kg BOI}_5 / \text{kg AKM.gün} \quad \text{için 3 ila 5 gün,}$$

Uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemlerinde

$$L_s = 0.05 \text{ kg BOI}_5 / \text{kg AKM.gün} \quad \text{için 30 ila 40 gün}$$

mertebeindedir.

6.1.2.5. Hidrolik Bekletme Müddeti

Hidrolik bekletme süresi

$$\theta = V / Q$$

ifadesiyle hesaplanır.

6.1.2.6. Havalandırma Havuzu Hacmi

Havalandırma havuzu hacmi,

$$V = L / (L_s \cdot M) \text{ veya } V = \theta_c \cdot Y \cdot Q (S_i - S_e) / X (1 + k_d \cdot \theta_c)$$

ifadeleriyle hesaplanabilir. Bu denklemde Q, m³/gün, S_i ve S_e mg/lt, X, mg/lt, k_d, gün⁻¹ olarak konulmalıdır.

6.1.2.7. Oksijen İhtiyacı Hesabı

Aktif çamur sistemlerinde oksijen ihtiyacı, organik maddelerin oksidasyonu, biyokütle solunumu ve nitrifikasyon için lüzumlu oksijen ihtiyaçlarının toplamıdır.

Yani:

Toplam oksijen ihtiyacı = Oksidasyon + Solunum + Nitrifikasyon olarak yazılabilir.

Bu matematik olarak:

$$R_o = a \cdot E \cdot L + k_{re} \cdot M \cdot V + 4.6 L_N$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada:

R_o: Oksijen ihtiyacı, kg O₂/gün

a: Katsayı, kg O₂/kg BOİ₅ (0.45 - 0.65 ortalama 0.5)

E: Biyolojik tasfiye verimi

L: Havalandırma havuzu BOİ₅ yükü, (kg BOİ₅/gün)

k_{re}: Solunum hızı, kg O₂/kg AKM.gün

M: Havalandırma Havuzunda biyokütle konsantrasyonu, kg AKM/m³

V: Havalandırma Havuzu Hacmi, m³

L_n: Azot Yükü, kg Azot /gün

göstermektedir.

Solunum hızı, çamur yüküne bağlı olarak değişmektedir. Tablo 6.4 'de solunum hızının değerleri verilmiştir.

Tablo 6.4. Çamur Yüküne Bağlı Olarak Solunum Hızları Değişimleri

L _s	<0.05	0.1	0.3	0.5	>1.0
k _{re}	0.10	0.13	0.15	0.17	0.20

Ancak oksijen ihtiyacının hesabında gündüz saatleri ortalaması olan saatlik ihtiyaç dikkate alınmaktadır. Bu durum

$$R_{oh} = a \cdot E \cdot L / n_1 + k_{re} \cdot M \cdot V / 24 + 4.6 L_N / 24$$

şeklinde yazılabilir.

Havalandırıcıların seçimi için oksijen ihtiyacının standart şartlardaki oksijen kapasitesine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu maksatla aşağıdaki ifade kullanılmaktadır.

$$O_c = (R_o / a) \cdot [c_{st}^* / (c_{st} - c_L)] \cdot (k_{10} / k_T)$$

Burada;

O_c : Standart şartlardaki oksijen ihtiyacı, kg O_2 / gün

c_{st}^* : 10 °C'de Çözünmüş Oksijenin Doygunluk Değeri, mg/l (11.33 mg/l)

a: Atıksu katsayısı, 0.7 - 0.90, temiz su için a=1.0

c_{st} : Atıksuda T °C Sıcaklıkta Çözünmüş Oksijenin Doygunluk Değeri, mg/l olup $c_{st} = b \cdot c_{st}^*$ ifadesiyle hesaplanır.

b: Atıksu için katsayı, 0.90 - 0.95, temiz su için b = 1.0

c_{st}^* : Temiz su için T °C Sıcaklıkta Çözünmüş Oksijenin Doygunluk Değeri, mg/l

c_L : Havalandırma havuzunda Çözünmüş Oksijen Konsantrasyonu, mg/l

k_{10} / k_T : Sıcaklık düzeltme katsayısıdır.

Sıcaklığa bağlı olarak düzeltme katsayısı Tablo 6.5'de verilmiştir.

Tablo 6.5. Sıcaklık Düzeltme Katsayısı

Sıcaklık (°C)	10	12	14	16	18	20	22	24
Düzeltilme Katsayısı	1.0	0.964	0.928	0.895	0.861	0.830	0.799	0.770

Oksijen ihtiyacı, aktif çamur sistemlerinde karbonlu maddelerin nihai BOİ ihtiyacına eşit olarak alınırsa sistemde کافی derecede emniyet sağlanmış olur. Ancak bir miktar fazla biyolojik çamur çekildiği için bunun oksijen ihtiyacı düşülmelidir. Yani;

Oksijen İhtiyacı = Giderilen nihai BOİ - 1.42 (Fazla Çamur, P_x)

yazılabilir. Nihai BOİ'nin BOİ₅'e oranı;

BOİ_u: BOİ₅ = 1.47 olduğu dikkate alınırsa oksijen ihtiyacı:

$$R_o = (1.47) E \cdot L - (1.42) \cdot P_x$$

veya,

$$R_o = (1.47) Q \cdot (S_i - S) \cdot 10^{-3} - (1.42) \cdot P_x$$

tarzında da ifade edilebilir.

Aktif çamur sistemlerinin temel tasarım parametreleri Tablo 6.6.'da özetlenmiştir.

Tablo 6.6. Evsel Atıksular İçin Aktif Çamur Sistemi Tasarım Parametreleri

Parametre	Klasik Aktif Çamur	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur
Çamur yaşı, θ_c (gün)		
Sıcak iklimler	4 - 5	10 - 20
Ilıman iklimler	5 - 10	20 - 30
Soğuk iklimler	10 - 15	≥ 30
Çamur Yüğü (Ls), kg BOİ₅/kg UAKM-gün		
Sıcak iklimler	0,6 - 0,9	0,2 - 0,25
Ilıman iklimler	0,4 - 0,6	0,2 - 0,20
Soğuk iklimler	0,2 - 0,4	$\leq 0,1$
Hidrolik bekleme süresi (saat)	3 - 8	12 - 36
Havuzdaki AKM, mg/l	2000 - 5000	4000 - 5000
UAKM/AKM	0,7 - 0,85	0,5 - 0,8
Geri devir oranı, Q_r/Q	0,5 - 0,75	0,75 - 1,0
Net UAKM üretimi, kg/kg BOİ ₅ -giderilen	0,3 - 0,5	0,25 - 0,4
Fazla Çamur, g AKM/kişi-gün	30 - 40	26 - 40
Çamur stabilizasyonu (çürütme)	Gerekli	Gereksiz
O₂ ihtiyacı, kg/kg BOİ₅-giderilen		
Nitrifikasyonsuz	0,6 - 0,65	0,8 - 0,85
Nitrifikasyonlu	0,8 - 1,2	1,0 - 1,3
Havuzdaki Çözülmüş O ₂ , konst.,mg/l	0,5 - 1,5	1 - 2,0*
Güç ihtiyacı, kW-st/kişi-yıl	12 - 17	13 - 20
Giderme verimi (%)		
BOİ	85 - 93	95 - 98
Koliform	60 - 90	60 - 90
Çıkiştaki AKM konsantrasyonu, mg/l	10 - 30	10 - 30

* Büyük ölçüde nitrifikasyona da bağlıdır.

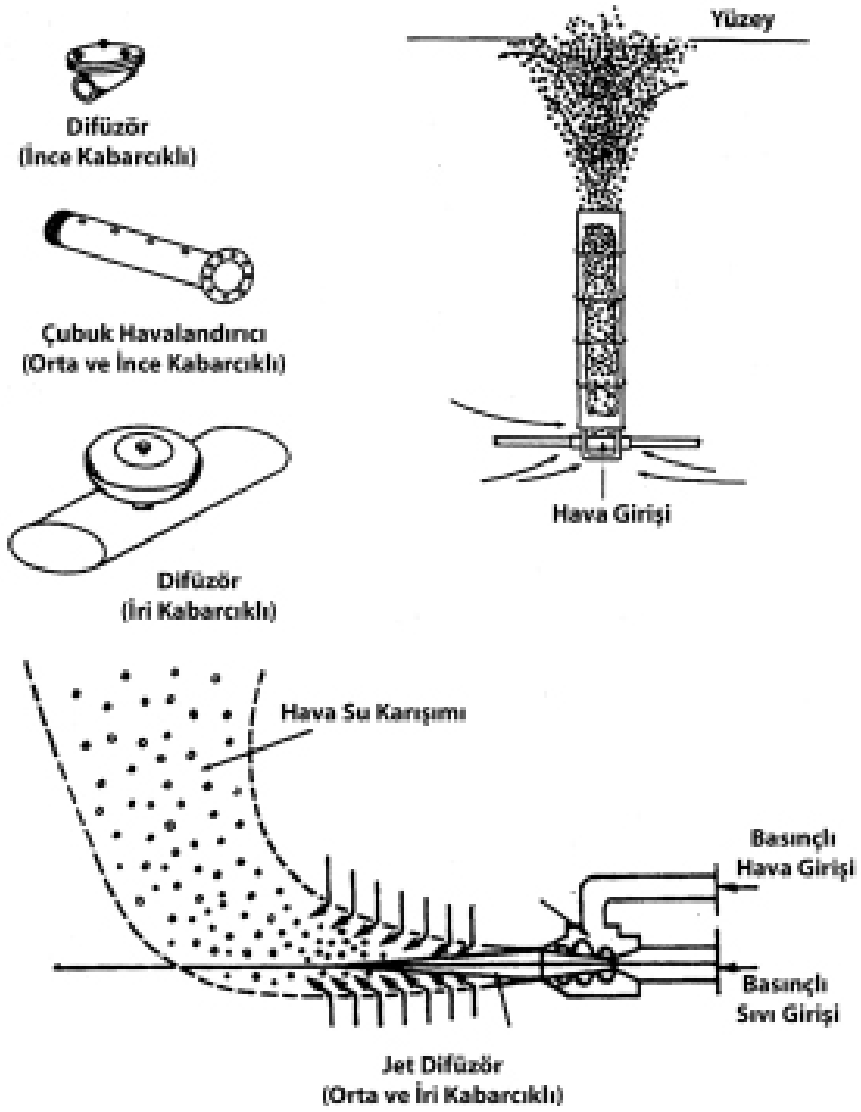
6.1.3. Havalandırma Sistemleri

Arıtma sistemlerinde havalandırma havuzlarının kalbi havalandırıcılardır. Havalandırma sistemleri,

- Saf Oksijen Sistemi
- Basınçlı Havalandırıcılar
- Mekanik Havalandırıcılar

olarak üç ana sınıfa ayrılabilir.

Havalandırmada kullanılan çeşitli elemanlar Şekil 6.8’de görülmektedir.



Şekil 6.8. Havalandırmada Kullanılan Elemanlar

Saf Oksijen Sistemleri pahalıdır ve ancak çok büyük tesisler için ekonomik olabilir. Çünkü oksijen üretimi çok pahalıdır. Ayrıca bir kısım oksijen kullanılamayarak havaya karışacaktır. Bir diğer mahzur ise ortaya çıkan CO_2 'nin dışarıya atılmasının güçlüğüdür. Çünkü saf oksijen kullanılan havalandırma havuzları kapalı havuzlardır. CO_2 doğrudan atmosfere verilemediğinden pH azalır, nitrifikasyon menfi yönde etkilenir. Saf oksijen kullanılması yüksek konsantrasyonlardaki sanayi atıksularının tasfiyesinde uygun ve iktisadi olabilir. Ayrıca koku problemi olmaması gibi bir faydası vardır. Yer ihtiyacı diğer sistemlere nazaran çok daha azdır.

Basınçlı Havalandırıcılar esas itibarıyla üfleyiciler (blowerler) ile difüzörlerden ibarettir. Verilen hava sıcak olduğundan bakteri faaliyetini artırır. Verimlilikleri mekanik havalandırıcılardan daha büyüktür. Etrafa mekanik havalandırıcılarda olduğu gibi su habbecikleri yaymazlar. Basınçlı havalandırma sisteminin en büyük mahzuru havanın suya iletildiği gözenekli malzemenin (difüzör) tıkanmasıdır. Çünkü havadaki toz vs. gibi maddeler gözenekleri tıkayabilir. Bundan başka kullanılmış su bünyesindeki Fe, CaCO_3 gibi maddeler de çökmek suretiyle gözeneklerin tıkanmasına sebebiyet verebilirler. Bu sistemin ilk tesis maliyeti mekanik havalandırıcılara göre fazladır. Tamir ve bakım güçlükleri vardır.

Mekanik Havalandırıcılar işletilmelerinin ve kontrolünün kolay olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ancak kış şartlarında havalandırıcı bazı problemler doğurabilir. Ayrıca civarda iskan söz konusu ise, havalandırıcı çalışırken havaya sıçrayan su damlacıkları rüzgarla taşınarak toplum sağlığı açısından mahzur doğurur.

Havalandırma sisteminin seçiminde atıksuyun özelliği de dikkate alınır. Evsel atıksuların tasfiyesinde umumiyetle piston akımlı havuzlar seçilmekte ve basınçlı havalandırma tatbik edilmektedir.

Bazı sanayi atıksularının tasfiyesinde piston akımlı havuzlar uygun olmamaktadır. Atıksuda bulunan toksik maddelerin ani karışması için tam karışımli havuzlar gereklidir. Bu halde mekanik havalandırıcılar kullanılabilir.

6.1.3.1. Basınçlı Hava ile Havalandırma

Basınçlı hava ile havalandırmada, üfleyicilerden (blower) sağlanan hava gözenekli elemanlar (difüzör) yardımıyla sisteme verilmektedir.

Hava, gözeneklerin çapına bağlı olarak ince, orta ve iri kabarcıklar halinde su içinde yükselmektedir. Şekil 6.9'da kabarcıklı (difüzörlü) havalandırma sistemi, Şekil 6.10'da ise orta büyüklükte kabarcıklar hasil eden Inka tipi havalandırma tertibatı gösterilmektedir.

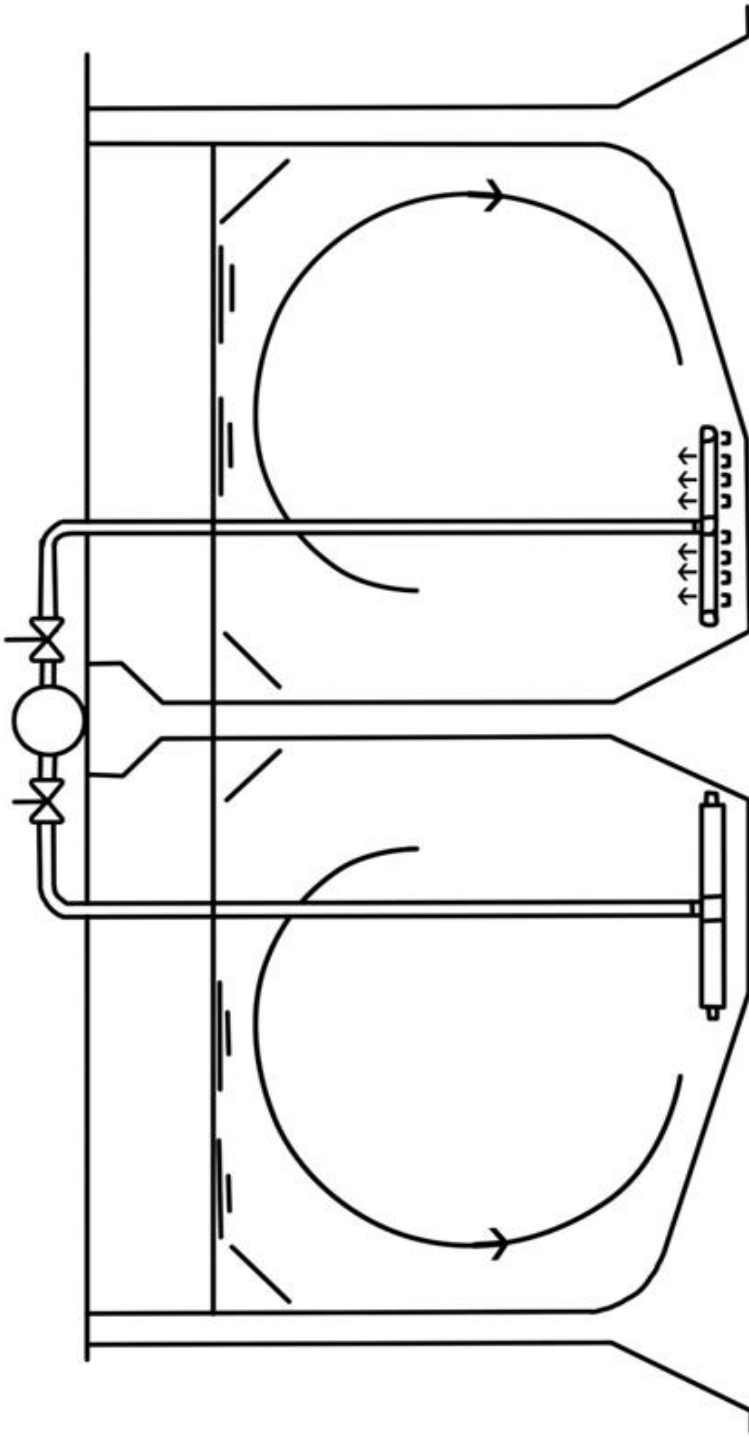
Kabarcık büyüklüğüne göre sınıflandırma aşağıda yapılmıştır:

Kabarcık Şekli

İnce Kabarcıklı Havalandırma
Orta Kabarcıklı Havalandırma
İri Kabarcıklı Havalandırma

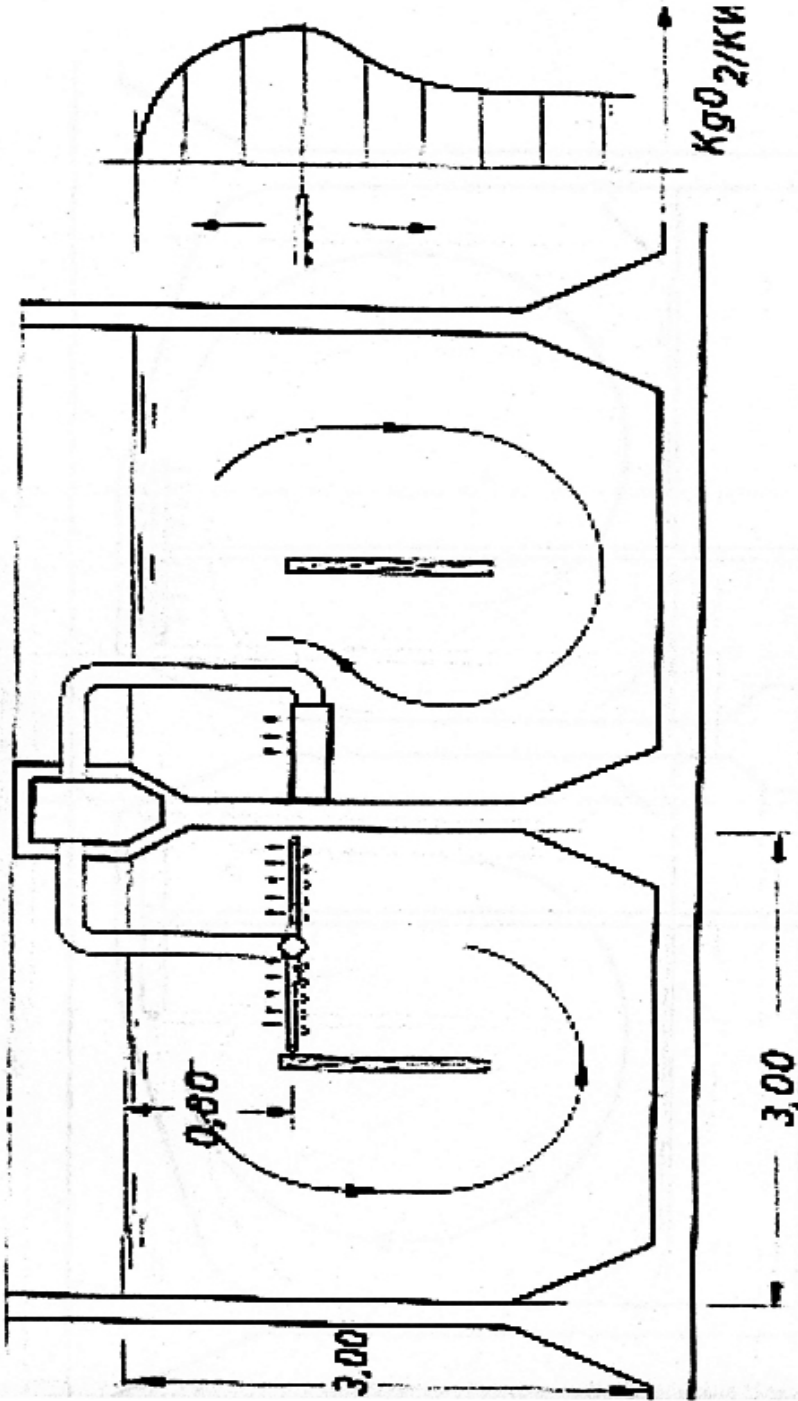
Boyut

$d < 2 \text{ mm.}$
 $d = 2-8 \text{ mm.}$
 $d > 8 \text{ mm.}$



Şekil 6.9. Kabarcıklı (Difüzörlü) Havalandırma Sistemi:

solda ince kabarcıklar hasıl eden filtre borusu,
sağda orta büyüklükte kabarcıklar meydana getiren ve üzerine 2 mm çaplı delik açılmış boru

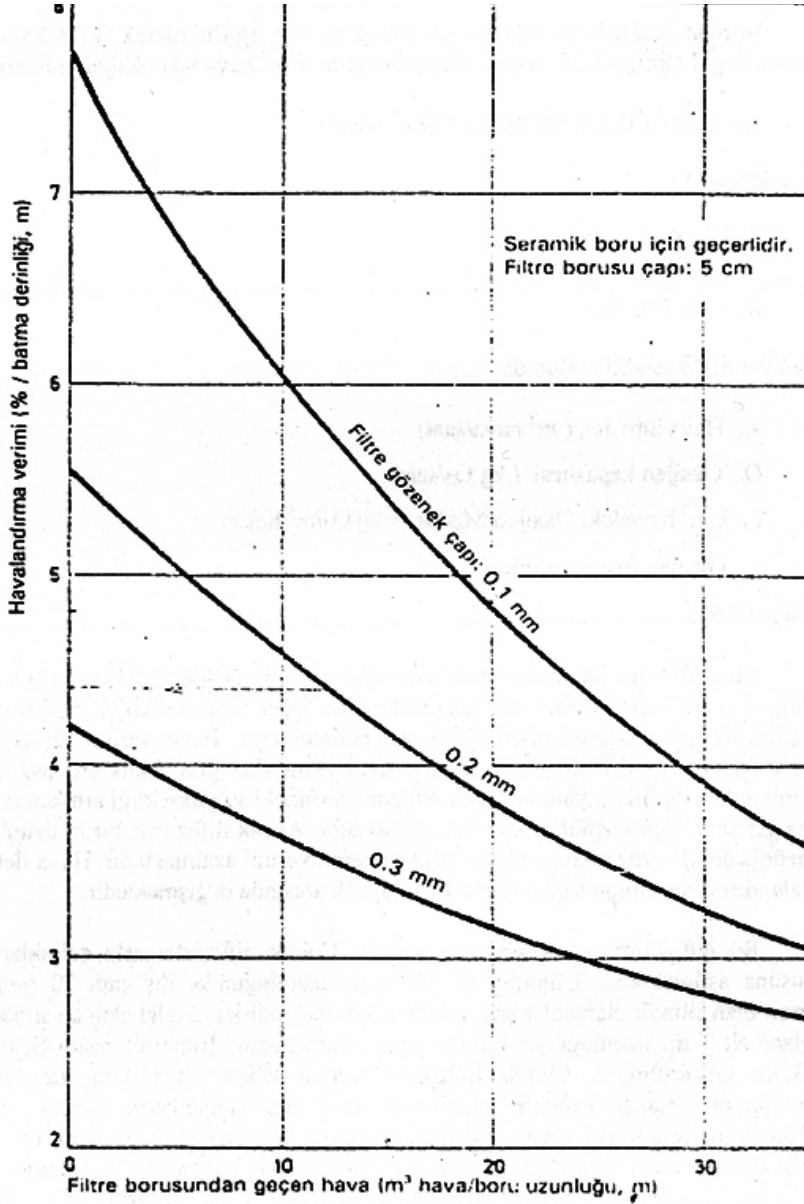


Şekil 6.10. Orta Büyüklükte Kabarcıklar Hasıl Eden İnka Tipi Havalandırma Tertibatı:

Solda, çökeltilmiş sular için 2.5 mm. çaplı delikli boru,

Sağda hiç muamele görmemiş kanal suları için 10 mm çaplı delikleri olan havalandırıcı

İnce kabarcıklı havalandırma oksijen transferi açısından diğerlerine nazaran daha uygundur. Ancak çok ince kabarcıklı havalandırmada tıkanma problemleri ortaya çıkabilir. Şekil 6.11’de 5 cm çaplı bir seramik filtre borusundan geçen havanın farklı gözenek çaplarındaki havalandırma verimi verilmiştir.



Şekil 6.11. Gözenekli Filtre Boruları ile Havalandırmaya Örnek

6.1.3.1.1. Hava İhtiyacı Hesabı

Basıncılı havalandırıcılarla sisteme hava verildiği için, oksijen ihtiyacından hareketle lüzumlu hava ihtiyacının hesaplanması gereklidir.

Normal şartlarda havanın hacim olarak % 21'i, ağırlık olarak % 23,2'si oksijendir. Havanın özgül ağırlığı 1.201 kg/m³ olduğuna göre 1 m³ havadaki oksijen miktarı:

$$c_a = 1.201 \times 0.232 = 0.28 \text{ (kg O}_2\text{/m}^3\text{ hava)}$$

olarak elde edilir.

Buna göre hava ihtiyacı A_r :

$$A_r = O_c / (\eta \cdot c_a)$$

ifadesiyle hesaplanabilir. Burada:

A_r : Hava ihtiyacı, (m³ hava/saat)

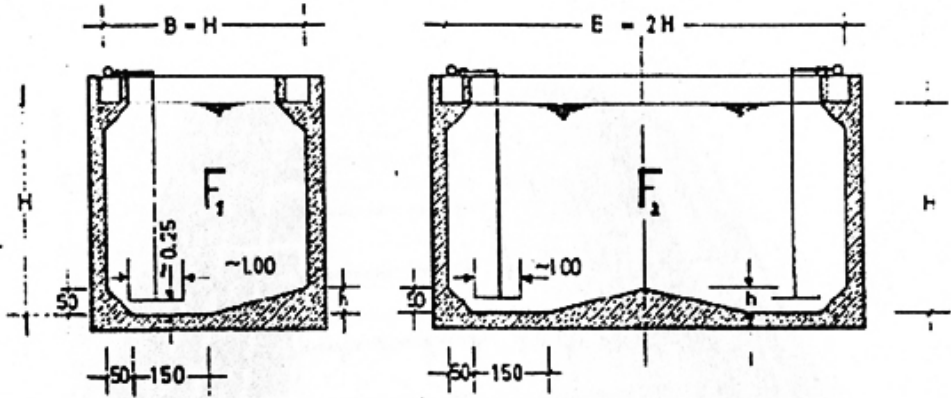
O_c : Oksijen kapasitesi, (kg O₂/saat)

c_a : 1 m³ havadaki Oksijen Miktarı, (kg O₂/m³ hava)

η : Oksijen iletim verimini göstermektedir.

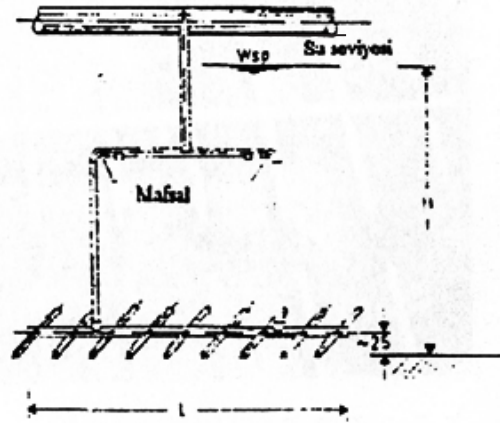
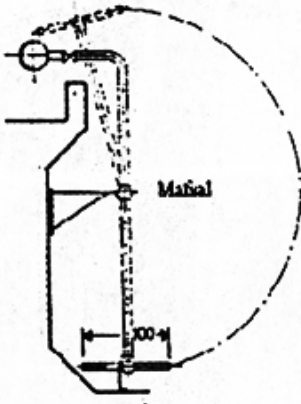
Havalandırma havuzuna verilen havanın içindeki oksijenin tamamı suya iletilemez. Dolayısıyla bir iletim verimi söz konusudur. Bu değer tutulan oksijen miktarının verilen havadaki oksijen miktarına oranı olarak tarif edilmektedir. İletim verimi, difüzörlerin suya dalma derinliğine, difüzör delik çapına, hava akım hızı gibi faktörlere bağlıdır. İletim verimi; dalma derinliği, yani havuzda difüzör üzerindeki su yüksekliği arttıkça artmaktadır. Keza gözenek çapı küçüldükçe verim artmaktadır. Ancak difüzörün birim uzunluğu (veya difüzör başına) verilen hava miktarı arttıkça iletim verimi azalmaktadır. Hava iletim verimi havalandırma sistemine bağlı olarak 0.05 ila 0.30 arasında değişmektedir.

Bu difüzörler çubuk şeklinde olabilir. Çubuk difüzörler askı çubukları ile hava borusuna asılmaktadır. Umumiyetle 500 mm. uzunluğunda, dış çapı 70 mm., iç çapı 40 mm olan silindirik elemanlar şeklinde imal edilmektedirler. 2 adet eleman simetrik olarak bağlanarak 1 m. uzunluğunda çubuk teşkil edilmektedir. Buna ait resim Şekil 6.12. ve 6.13.'de gösterilmiştir. Çubuk difüzörler yerine taban difüzörlerin de kullanılması mümkündür. Bunlar seramik olabileceği gibi son zamanlarda kauçuk ve benzeri malzemenin (elastomer membran) kullanıldığı da görülmektedir. Kauçuk üzerine açılan küçük delikler hava verilmediği zaman kapanmakta, havanın basılması halinde, genişleyip açılmakta ve suya çok ince kabarcıklar vermektedir. Taban difüzörlere ait bir görünüş Şekil.6.14. ve 6.15'de verilmiştir.



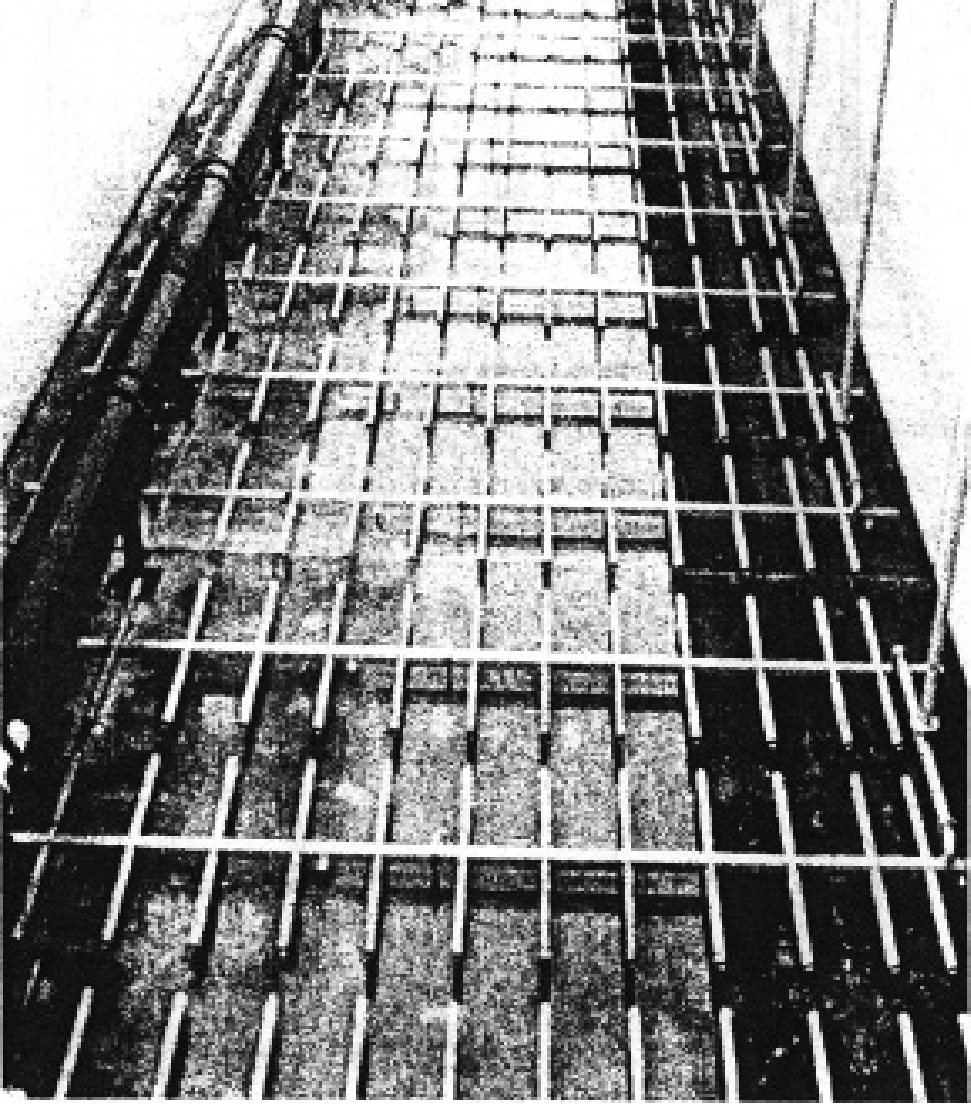
Teklif Edilen Havuz Formu İçin Ana Boyutlar

H (m)	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25
h (m)	0,25	0,30	0,35	0,45	0,50	0,55	0,60	0,70	0,75	0,80
$F_1 (m^2)$	8,5	10,0	11,6	13,3	15,1	17,1	19,1	21,2	23,5	25,9
$F_2 (m^2)$	17,0	20,0	23,2	26,6	30,2	34,2	38,2	42,4	47,0	51,8



"L" havuzun boyutlarına göre belirlenir.

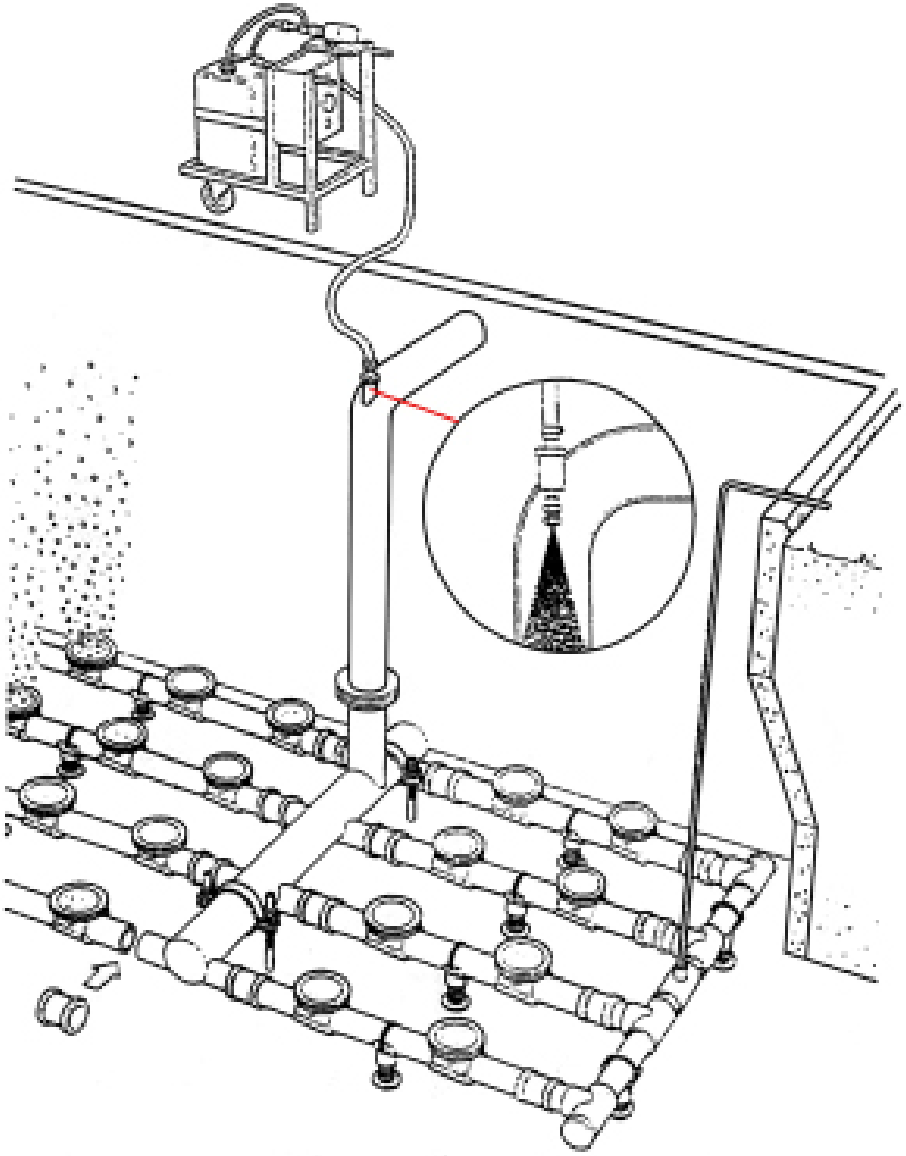
Sekil 6.12. Çubuk Difüzörlerin Havalandırma Havuzundaki Durumu



Şekil 6.13. Çubuk Difüzörlerle Teçhiz Edilmiş Bir Havalandırma Havuzu



Şekil 6.14. Taban Difüzörlerinin Havalandırma Havuzuna Yerleştirilmesi



Şekil 6.15. Taban Difüzörlerin Yerleştirilmesi

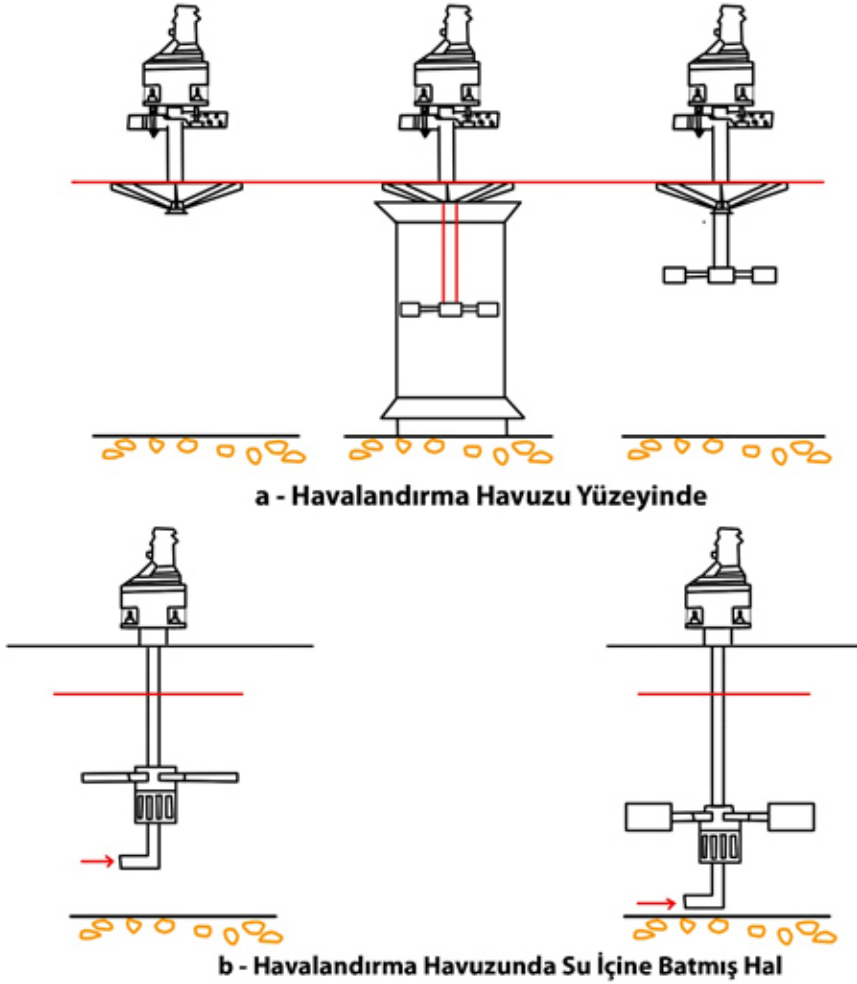
6.1.3.2. Mekanik Havalandırıcılar

Mekanik havalandırıcılar tertip tarzı bakımından iki sınıfta toplanabilir.

Bunlar;

6.1.3.2.1. Düşey Milli Mekanik Havalandırıcılar

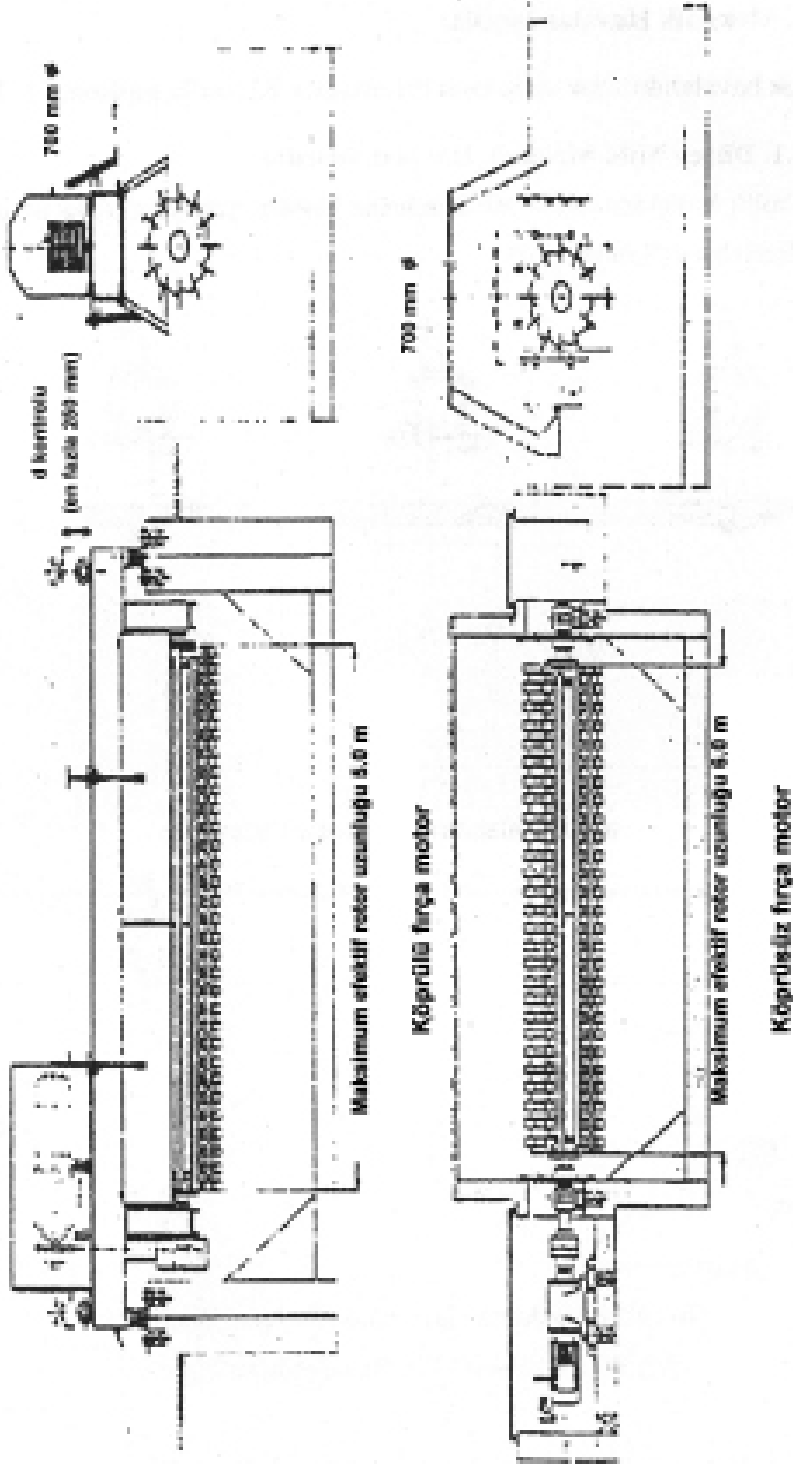
Düşey milli havalandırıcılar havalandırma havuzu yüzeyine veya su içine batmış bir şekilde kullanılabilir (Şekil 6.16.)



Şekil 6.16. Düşey Milli Havalandırıcı Tipleri

6.1.3.2.2. Yatay Milli Havalandırıcılar (Fırça ve Rotorlar)

Şekil 6.17’de köprülü fırça rotor, ve köprüsüz fırça rotor havalandırıcıların havalandırma havuzundaki yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 6.17. Yatay Milli Havalandırıcı (Fırça Rotor)

Bu havalandırıcıları devir sayısına bağılı olarak

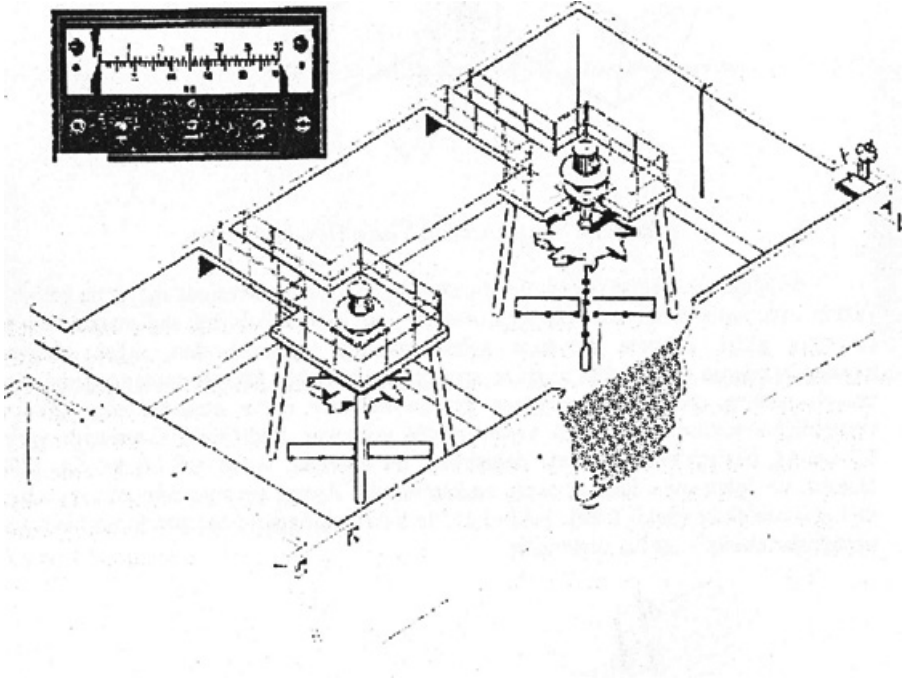
* Düşük Devirli (Redüktörlü) Mekanik Havalandırıcılar

* Yüksek Devirli (Redüktörsüz) Mekanik Havalandırıcılar

olmak üzere iki grupta da toplamak mümkündür.

Havalandırıcıları sabit bir köprüye veya duba üzerine yerleştirmek mümkündür.

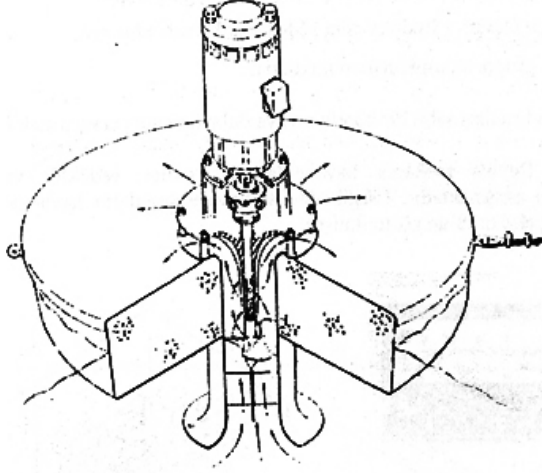
Düşük Devirli mekanik havalandırıcılar, motor, redüktör ve havalandırma pervanelerinden oluşmaktadır. Düşük devirli havalandırıcıların havalandırma havuzuna yerleştirilmesi Şekil 6.18’de gösterilmiştir.



Şekil 6.18. Düşük Devirli Mekanik Havalandırıcının Havalandırma Havuzuna Yerleştirilmesi

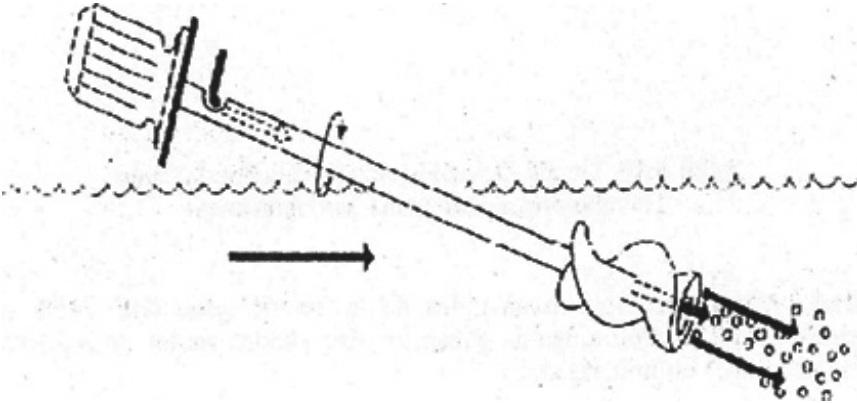
Düşük devirli mekanik havalandırıcılarda motor genellikle 1450 d/dk olup, havalandırıcı 40 ila 120 d/dk arasında çalıştırılır. Bu yüzden motor ile redüktör arasında dişli kutusu (redüktör) bulunmaktadır.

Yeni geliştirilen yüksek hızlı havalandırıcılarda ise redüktör ortadan kaldırılmıştır (Şekil 6.19).



Şekil 6.19. Yüksek Devirli Yüzen Havalandırıcılar

Su içine hava girişi yüksek devirle dönen pervanenin çevresinde meydana getirdiği vakum vasıtasıyla olmaktadır. Böylece sistemde hem işletme kolaylığı sağlamakta ve hem de hava girişi, tabanda meydana gelen vakumla sağlandığından, diğer yüzeysel havalandırıcılarda olduğu gibi çevreye aerosol yayılması söz konusu olmamaktadır. Umumiyetle işletme problemleri meydana getiren redüktör ihtiva etmemektedir. Oksijen verimliliği redüktörlü sistemlerin verimlerinden yüksektir. Redüktörlü sistemlerde verim 1.3-2.0 kg oksijen/kWh arasında değişirken, bu sistemde verim 1.6-2.0 kg O_2 /kWh olmakta ve dolayısıyla daha az enerji sarfetmektedir. Ayrıca çevreye aerosol yaymaması da bir üstünlüktür (Şekil 6.20). Şekil 6.21.'de havalandırıcıların havalandırma havuzuna yerleştirilmelerine misaller verilmiştir.

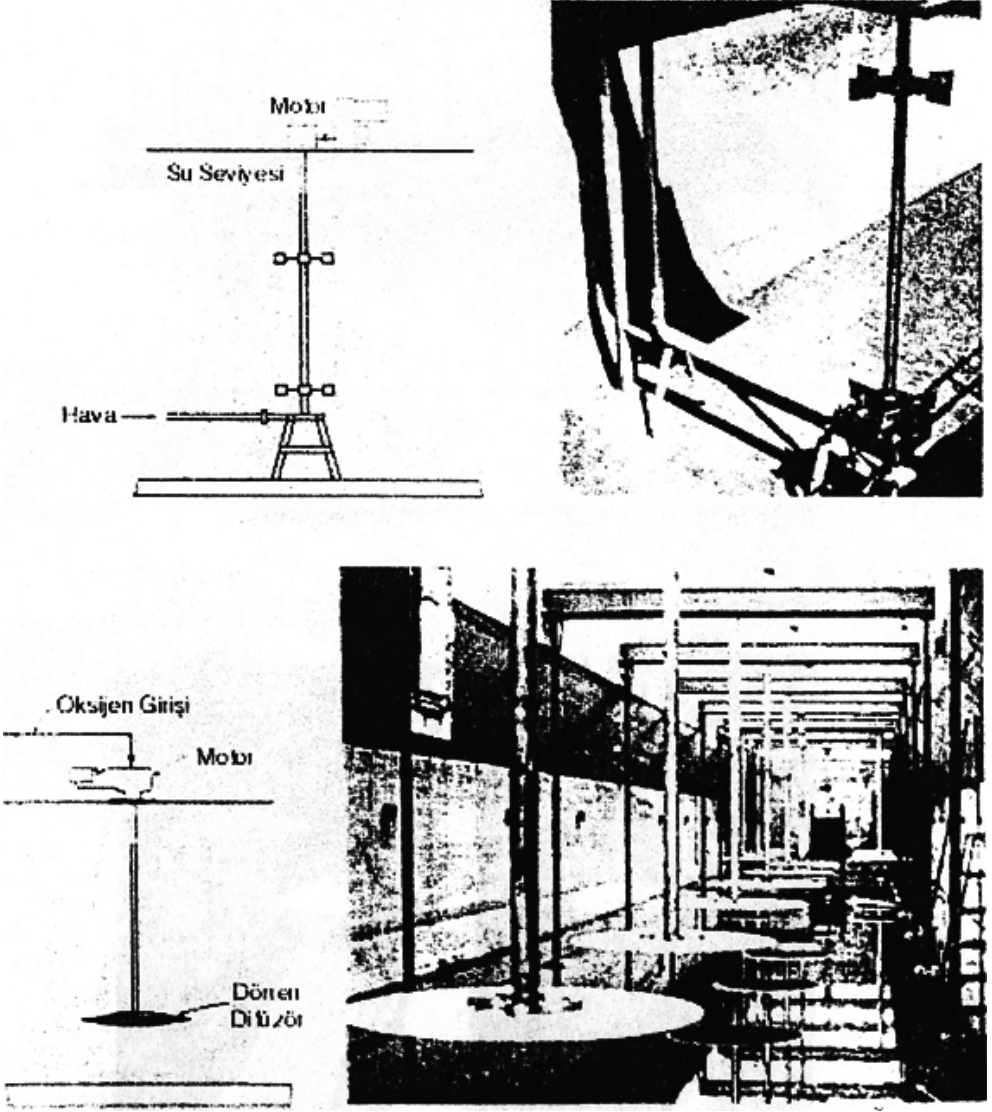


Şekil 6.20. Fuchs-Wendelbelütfertipi Yüksek Devirli Havalandırıcı



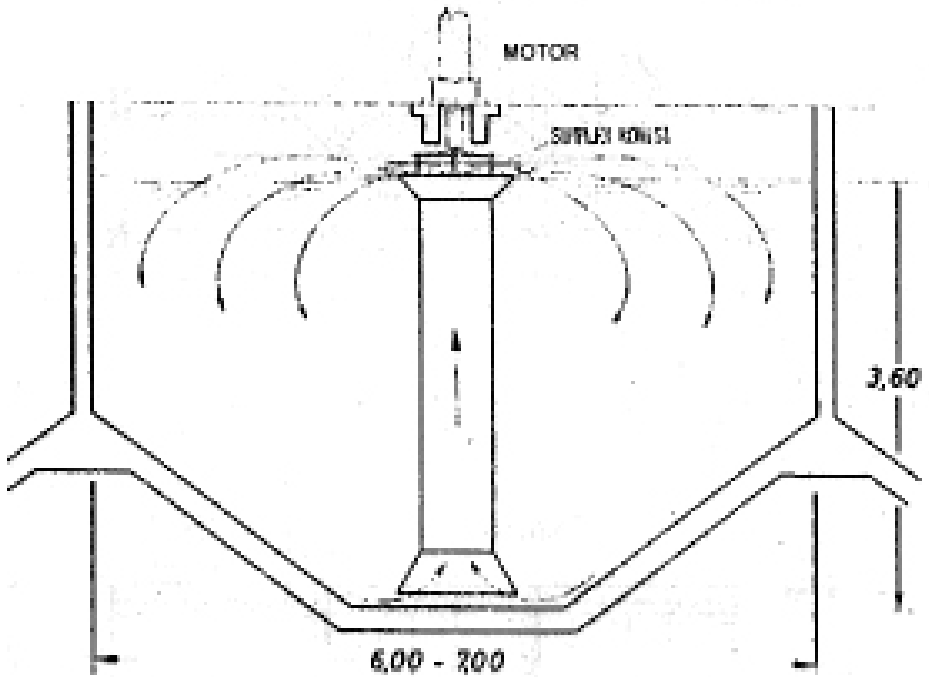
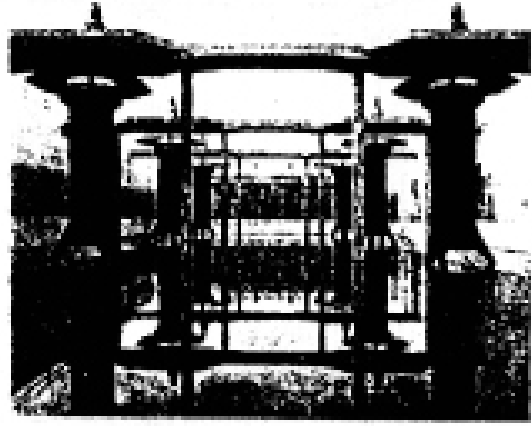
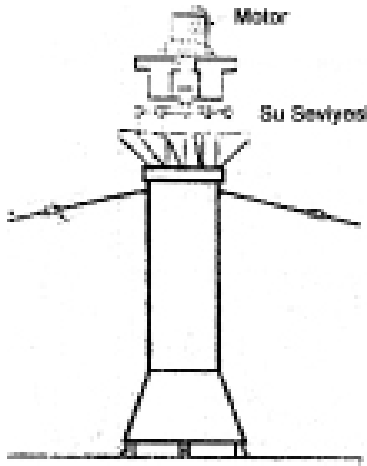
Şekil 6.21. Havalandırıcıların Havalandırma Havuzuna Yerleştirilmelerine Misaller

Şekil 6.22’de yüzeysel havalandırıcıların bazı tiplerinin kesitleri ve havuz içindeki yerleşim durumları gösterilmiştir.



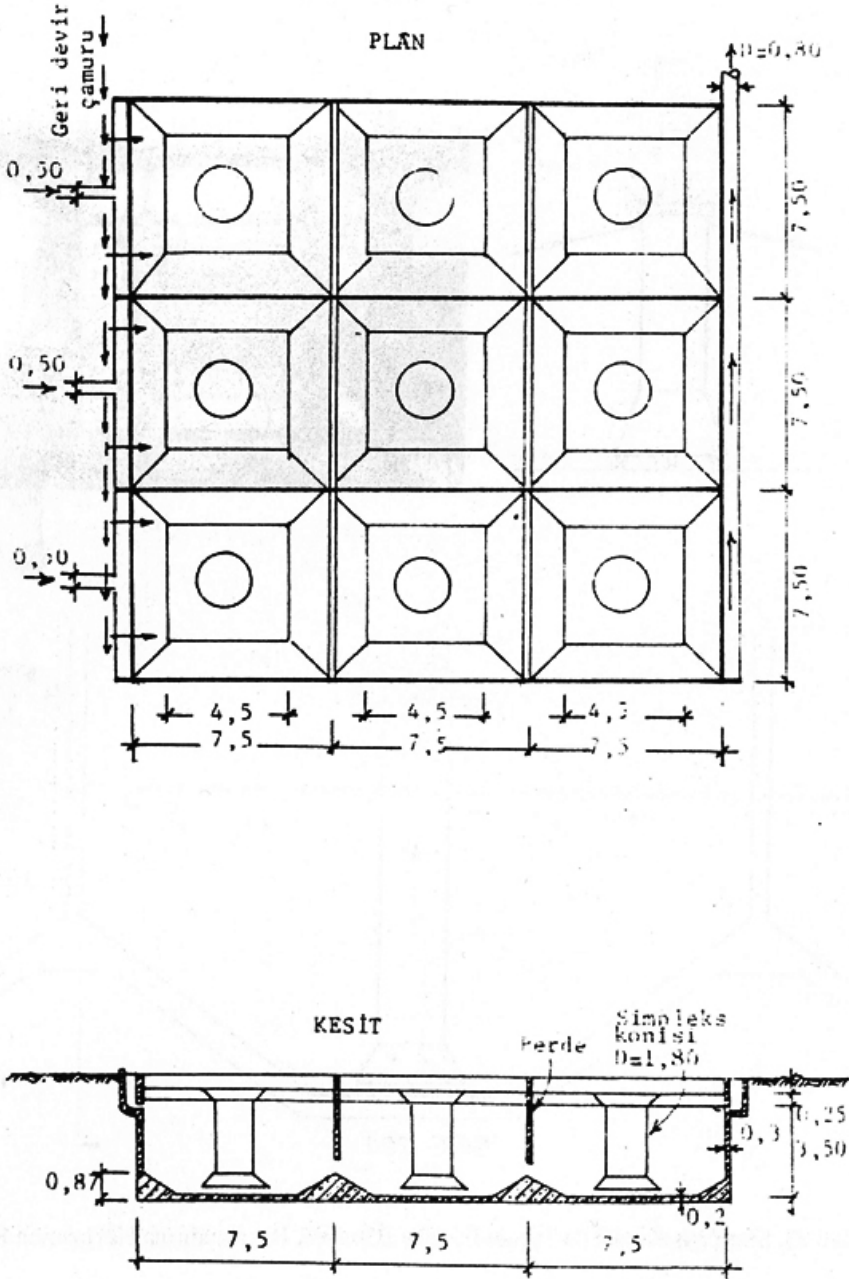
Şekil 6.22. Bazı Mekanik Havalandırıcıların Kesiti ve Havuz İçindeki Görünümü

Şekil 6.23’de simpleks konisinin kesiti ve teçhiz edilmiş bir havalandırma havuzu görülmektedir.



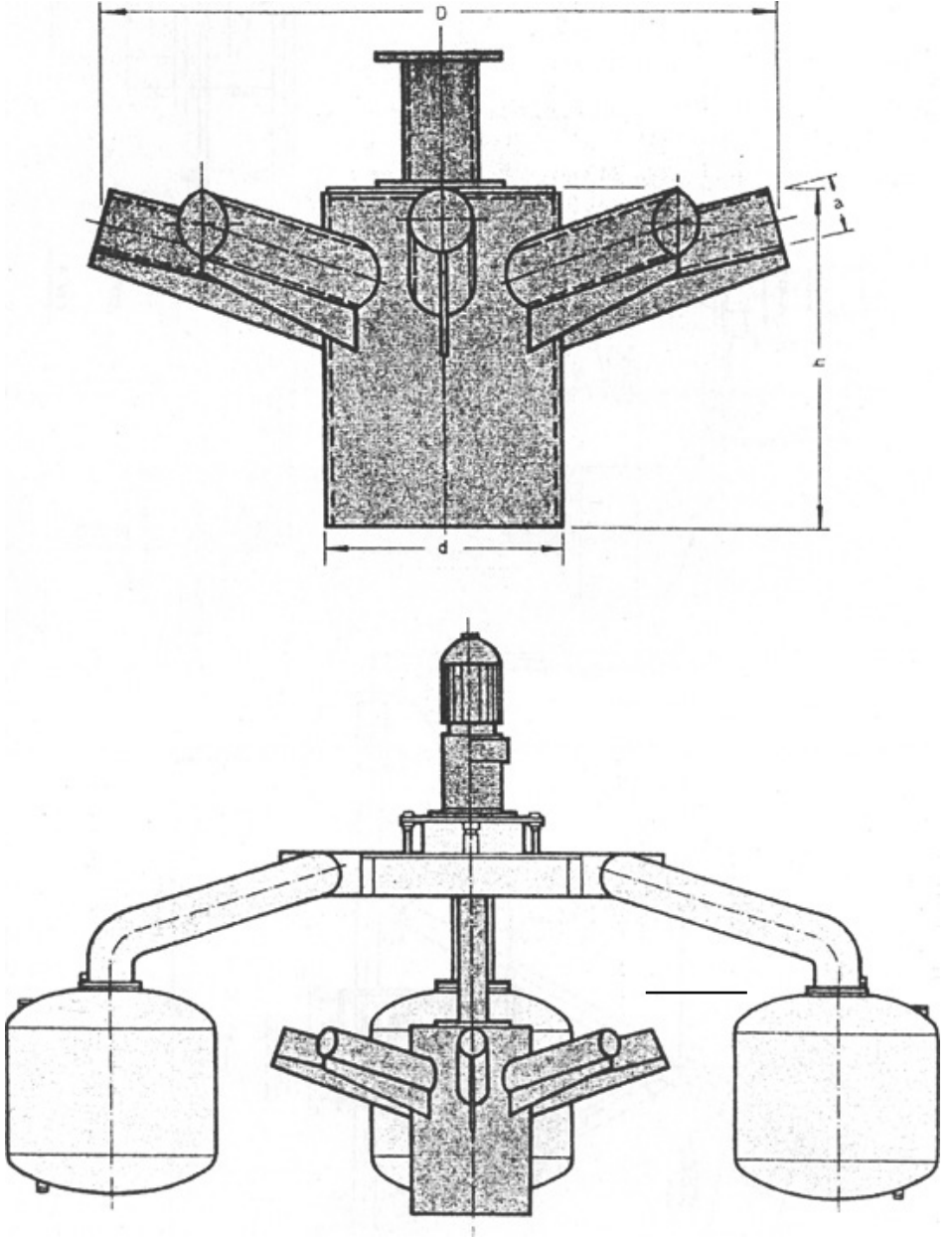
Şekil 6.23. Simpleks Konisi ile Teçhiz Edilmiş Havalandırma Havuzunun Kesiti

Şekil 6.24’de ise simpleks konisi ile teçhiz edilmiş havalandırma havuzunun planı ve kesiti görülmektedir.

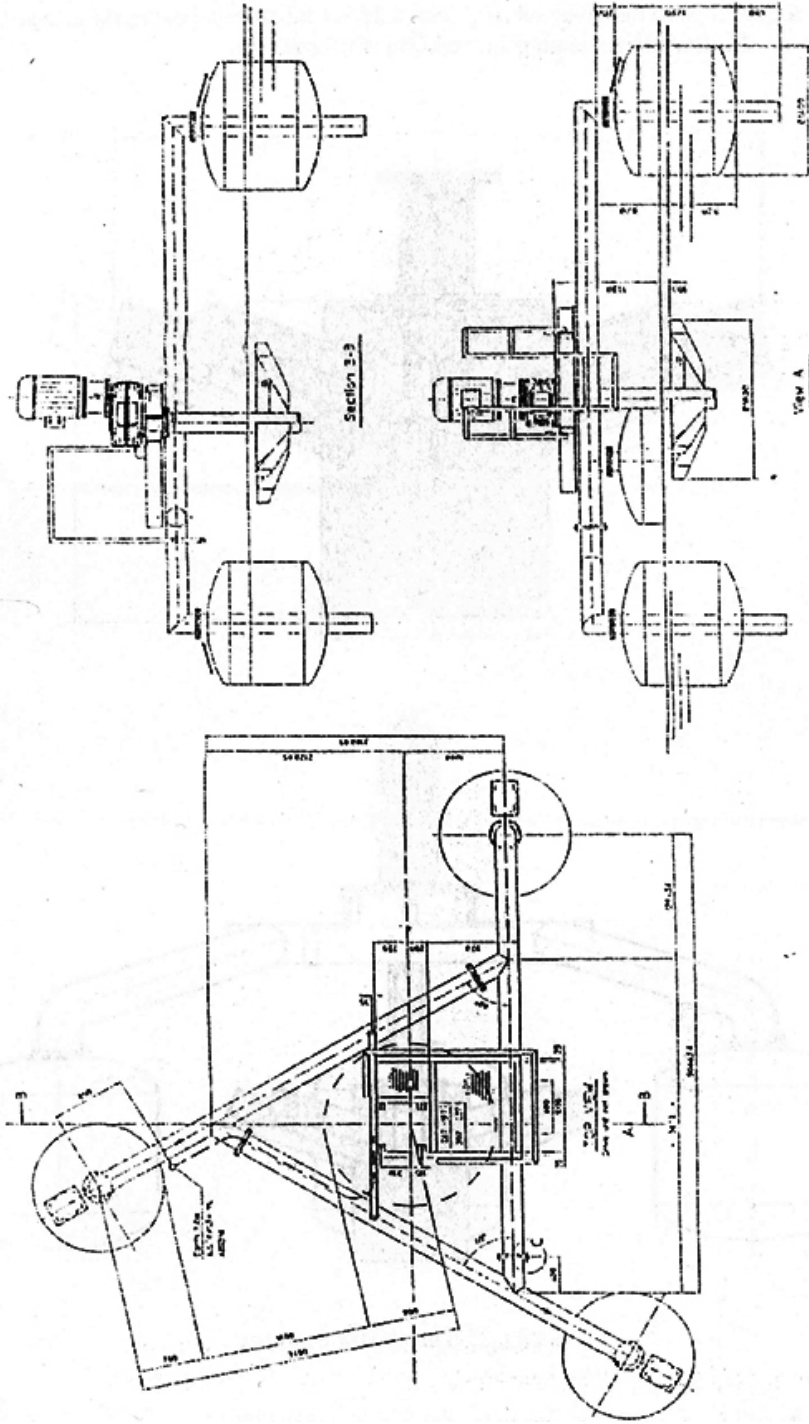


Şekil 6.24. Simpleks Konisi ile Teçhiz Edilmiş Havalandırma Havuzunun Planı ve Kesit

6.25’de dubalı bir havalandırıcı, Şekil 6.26 ise dubalı havalandırıcılarla teçhiz edilmiş havalandırma havuzunun planı ve kesiti görölmektedir. Mekanik havalandırıcıların özellikleri Tablo 6.7.’de verilmiştir.



Şekil 6.25. Dubalı Havalandırıcı



Şekil 6.26. Dubalı Havalandırıcılarla Taçhiz Edilmiş Havuzunun Planı ve Kesiti

Tablo 6.7. Mekanik Havalandırcıların Özellikleri

Havalandırıcı Tipi	Özelliği	Oksijen Verimliliği kg O₂/kW-st	Büyükük	Tatbikat	Düşünceler
Düşey Milli, Düşük Devirli, radyal akışlı	40-120 devir/dk (Redüktörlü) Yüksek hacimde pompalama	1.6- 2.3 Verimlilik büyüklükle azalmaktadır.	2.2-110 kW. Havalandırıcı çapı 1.0 -3.6 m. sabit köprü veya platform, dubalı sistem de olabilir.	Aktif çamur, uzun havalandırma aktif çamur, aerobik çürütme, havalandırma havuzlar. 0.9 - 5.5 m. derinlikler için uygun (Derinlik havalandırıcı tip ve büyüklüğüne bağlı).	Yatırım maliyeti yüksek, redüktör problemleri var.
Düşey Milli, Yüksek Devirli, aksiyal akışlı	750- 1450 devir/dk (Redüktörsüz) Yüksek hacimde pompalama, oksijen transferi püskürtme ve türbülans ile olur.	1.2- 2.0	0.75- 110 kW Dubalı sisteme çok uygun, motor, pervane ve yönlendiriciden ibaret.	Özellikle büyük havalandırma havuzları ve havalandırma lagünlerde 0.9 - 4.6 m. derinlikler için uygun	Düşük yatırım maliyeti, işletme ve bakım kolaylıkları var.
Eğik milli, Yüksek devirli, Hava emişli	750- 1450 devir/dk (Redüktörsüz) oksijen transferi hava emerek püskürtme ile olur.	1.8-2.3	2.2 - 55 kW Dubalı sisteme çok uygun, motor, mil, hava borusu ve pervaneden ibaret.	Bilhassa oksidasyon hendeklerinde 2.5 -3.5 m. derinlikler için uygun	Düşük yatırım maliyeti, işletme ve bakım kolaylıkları var.
yatay milli, düşük devirli (rotor, fırça)	30-60 devir/ dk (Redüktörlü)	1.2 - 2.0	2.2 -55 kw	Bilhassa oksidasyon hendeklerinde 2.5-3.5m derinlikler için uygun.	Büyük açıklıklarda müşkülât var.

6.1.4 Son Çökeltim Havuzu

Aktif Çamur Sistemlerinin son çöktürme havuzlarının hesabında aşağıda belirtilen parametreler ve kriterler dikkate alınır:

Yüzey yükü:

$$S_o = Q/A < 0.6-0.7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{saat}$$

Çamura bağlı yüzey yükü :

$$S_s = Q.M. \text{ SVI } /A < 0.3-0.4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{saat}$$

Katı Madde Yükü:

$$S_k = P/A < 3-6 \text{ kg AKM } /\text{m}^2/\text{saat}$$

P: Çöktürme havuzuna giren katı madde miktarı, kg AKM /saat'dır.

Bekletme Müddeti:

$$t = V/Q \geq 3.5 \text{ saat}$$

Derinlik:

$$H = 2.5 - 5 \text{ m.}$$

olarak dikkate alınmaktadır.

Daire planlı son çöktürme havuzlarının taban eğimi 1:8 ila 1:15 arasında (ortalama 1:10) seçilir.

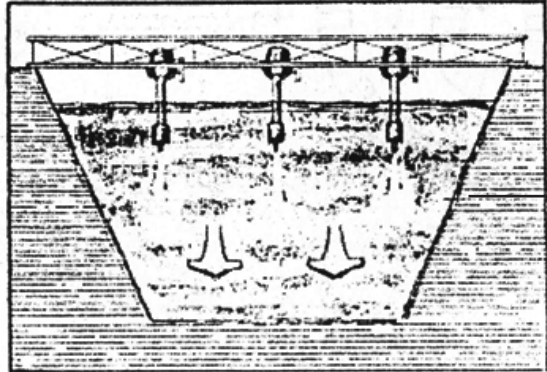
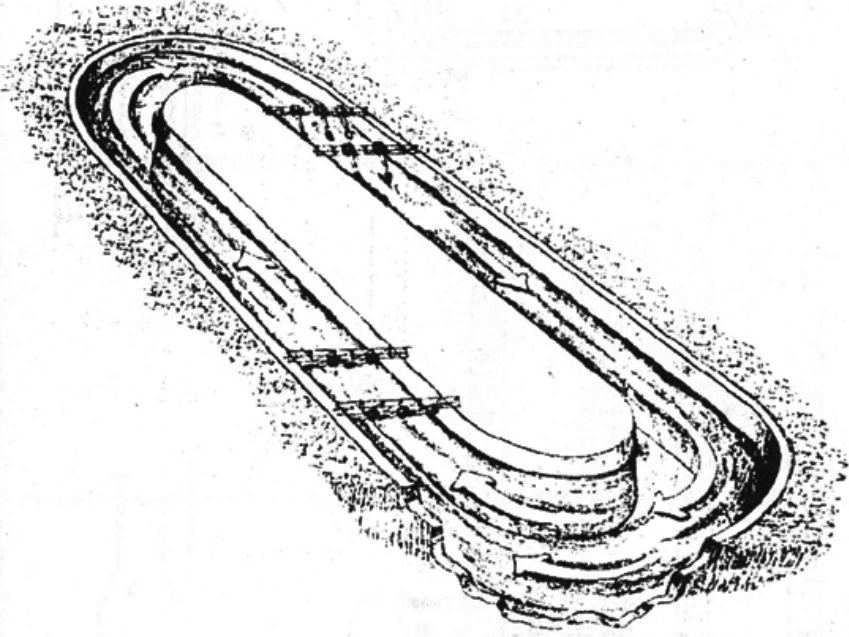
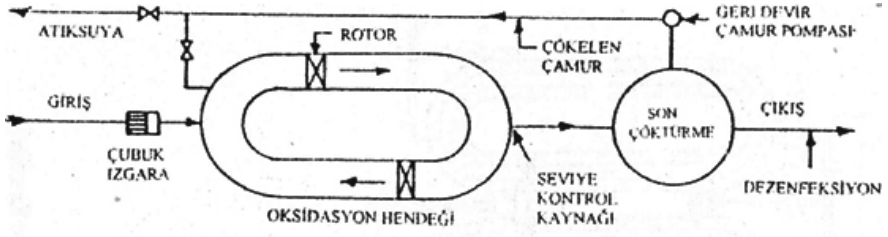
Dikdörtgen planlı havuzlarda bu eğim 1:100 ila 1:200 arasında alınmaktadır. 1:100 tercih edilmektedir.

6.2. UZUN HAVALANDIRMALI AKTİF ÇAMUR SİSTEMİ

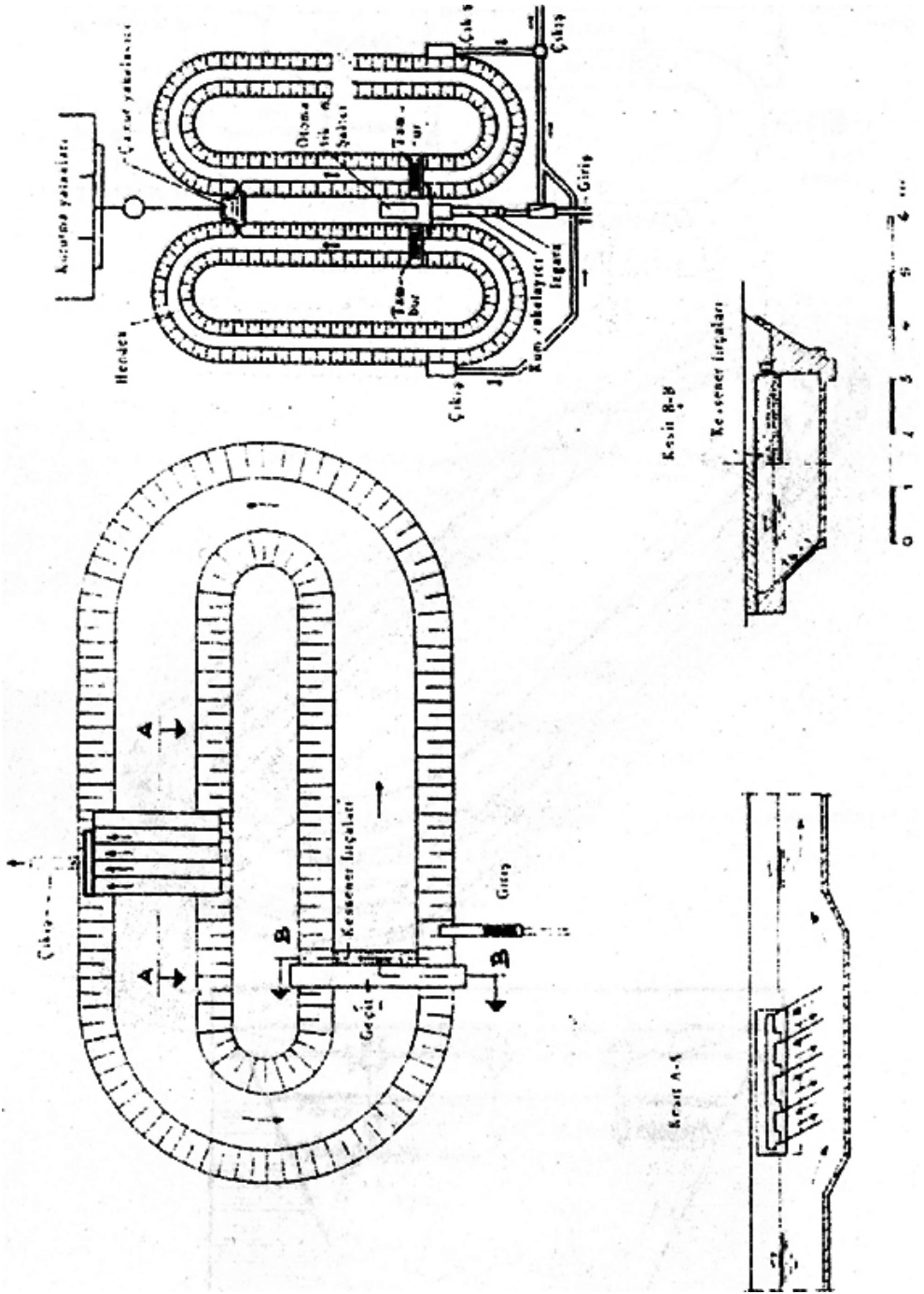
Klasik aktif çamur sisteminin tadil edilmiş şekillerinden birisi “Uzun Havalandırılmalı Aktif Çamur Sistemi”dir.

Bu sistemde çamur yükü L_s çok düşük tutulmuştur. Bu yüzden mikroorganizmalar çoğalma eğrisinde ölme fazında faaliyet gösterirler. Uzun süreli bir havalandırma vardır. Çamur yaşı yüksektir. Bu yüzden çamur stabilize olduğundan havalı veya havasız çamur çürütücülere ihtiyaç yoktur. Ön çöktürme havuzu da bulunmadığından ortaya çıkan çamurlar sadece biyolojik olarak stabilize olmuş fazla biyokütledir. Bu tür çamurlar doğrudan çamur kurutma yataklarına veya mekanik su alma tesislerine verilmek suretiyle susuzlaştırılır.

Şekil 6.27.’de oksidasyon hendeğinin planı ve oksidasyon hendeği şeklindeki uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemi görülmektedir. Şekil 6.28’de ise Kessener fırçaları ile havalandırılan bir oksidasyon hendeğinin plan ve kesitleri görülmektedir.

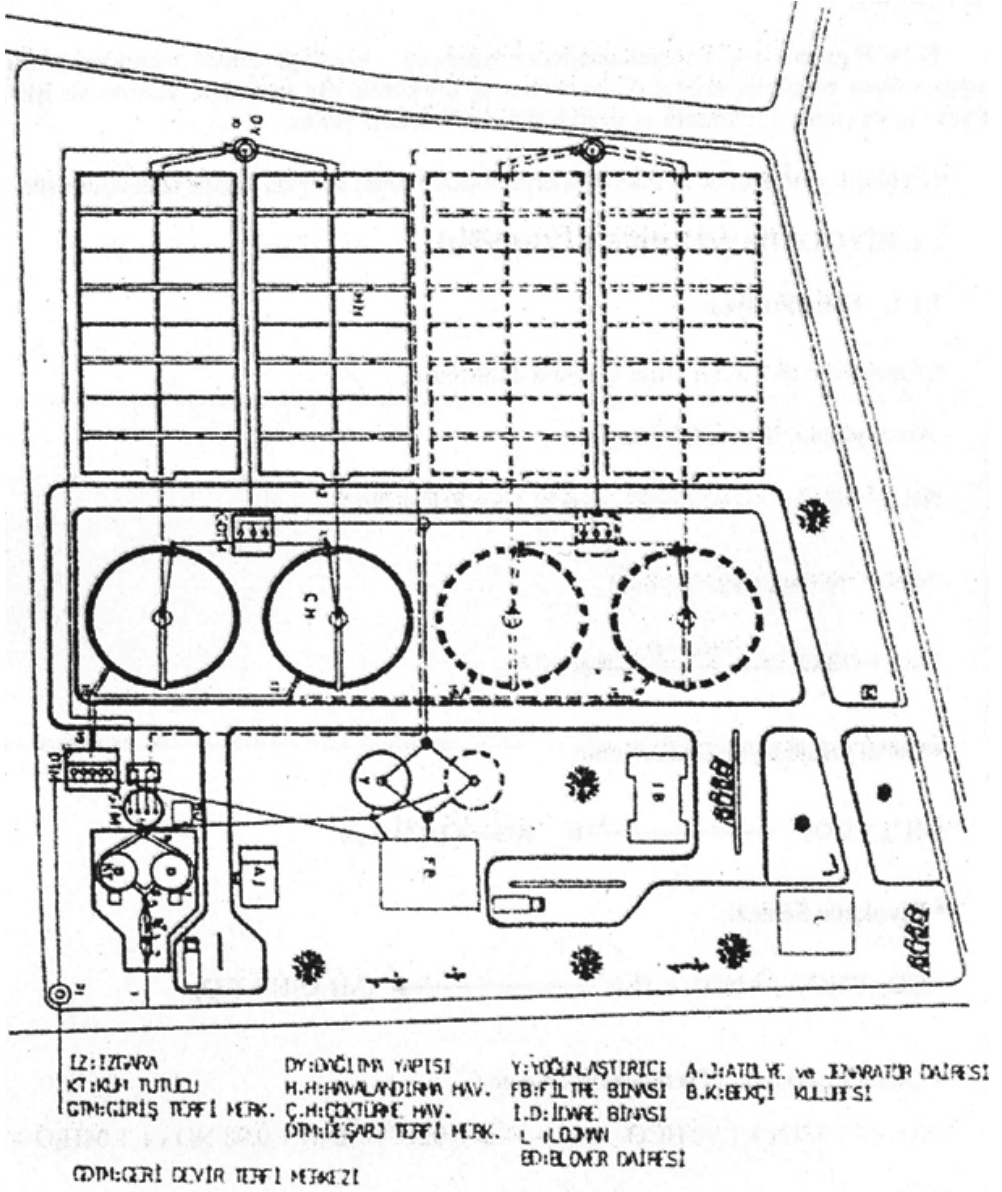


Şekil 6.27. Oksidasyon Hendeği Şeklinde Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Sistemi



Şekil 6.28. Kessener Fırçaları ile Havalandırılan Bir Oksidasyon Hendeğinin Plan ve Kesitleri

Şekil 6.29'da aktif çamur sisteminden oluşan bir arıtma tesisinin yerleşim planı görülmektedir.



Şekil 6.29. Aktif Çamur Sistemi İçin Bir Yerleşim Plan

7. BESİ MADDESİ (NUTRIENT) GİDERİMİ

Son yıllarda, organik maddelerin yanı sıra azot ve fosfor gibi besı maddelerının de giderilmesi yaygınlaşmıştır.

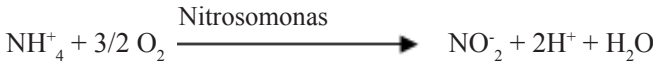
N ve P giderimi için uygulanabilecek kimyasal - biyolojik arıtma teknikleri arasında en uygun olanı biyolojik arıtma olarak kabul edilmektedir. Bu metodun, yatırım ve işletme maliyetinin ve çamur üretiminin az olması gibi üstünlükleri vardır.

Biyolojik olarak azot ve fosfor giderim mekanizması aşağıda kısaca izah edilmiştir.

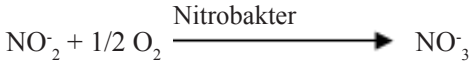
7.1.BİYOLOJİK BESİ MADDESİ (NUTRIENT) GİDERİMİ

7.1.1. Nitrifikasyon

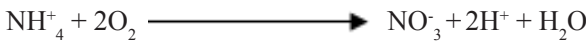
- Amonyum iyonunun nitrat iyonuna dönüşmesi;
- Amonyumun Nitrite Oksidasyonu;



- Nitritin Nitrata Oksidasyonu;



- Genel oksidasyon reaksiyonu:



Biyokütle Sentezi



- Genel Reaksiyon: Oksidasyon + Sentez



- Nitrifikasyon bakterileri ototrof bakterilerdir. Düşük sıcaklıklarda (<12°C) faaliyet hızları son derece azalır.
- Nitrifikasyon, karbon giderimi ile birlikte askıda çoğalan veya biyofilm sistem leri ile gerçekleştirilebilir. İlave oksijen ihtiyacı vardır.

- Stokiyometrik oksijen ihtiyacı: $4.57 \text{ gO}_2/\text{gNH}_4^+-\text{N}$ 'dir.
- Gerçek oksijen ihtiyacı: $4.2 \text{ gO}_2/\text{gNH}_4^+-\text{N}$ 'dir.
- Biyokütle (çamur) üretimi: $0.17 \text{ g UAKM}/\text{gNH}_4^+-\text{N}$
- Atıksuda

TKN < BOİ ise birleşik sistemlerde MLVSS'nin %2~5'i nitrifikasyon bakterilerinden meydana gelmektedir.

- $\text{BOİ}_5 / \text{TKN} < 5$ ise nitrifikasyon çok sınırlıdır.
- Çözünmüş Oksijen (Ç.O): Havuzda çözünmüş oksijen konsantrasyonu arttıkça nitrifikasyon hızı da artar.

Asgari çözünmüş oksijen konsantrasyonu 2 mg/l olmalıdır. Tasarımda $3 - 4 \text{ mg/l}$ olarak alınması tavsiye edilir.

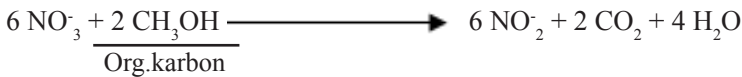
- pH : $\text{pH} < 6.3$: nitrifikasyon durur. Optimum $\text{pH} = 7.2 - 8.6$ tavsiye edilir.
- Alkalinite ihtiyacı: $7.1 \text{ g Alkalinite (CaCO}_3) / \text{g NH}_4^+$

Nitrifikasyon sırasında alkalinite sarf edilir, denitrifikasyon sırasında ise üretilir.

- Sıcaklık ve çeşitli organik/inorganik maddelerin inhibisyon etkisi dikkate alınmalıdır.

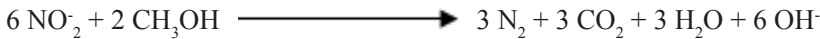
7.1.2. Denitrifikasyon

- Nitratın indirgenmesi: (enerji reaksiyonu)

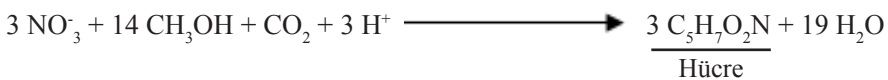


Bu denklemde organik karbon kaynağı olarak metanol kullanılmıştır.

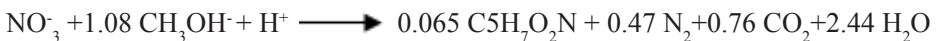
- Nitrit indirgenmesi: (enerji reaksiyonu)



- Biyokütle Sentezi:



Genel reaksiyon (enerji+sentez):



Denitrifikasyon prosesinin temel özellikleri:

- Denitrifikasyon, anoksik bir süreçtir;
 - a. Reaktörde serbest O_2 bulunmamalıdır. Oksijen konsantrasyonunun 0.5 mg/l altında olması gerekir.
 - b. Elektron verici olarak organik karbon gerekir. Reaksiyon, fakültatif bakterilerce yürütülür.
- Organik karbon ihtiyacı, atıksuda bulunan organik maddelerden (tek çamurlu sistem) veya metanol eklenmesi gibi dışarıdan sağlanır (sonda denitrifikasyon).
- Biyokütle üretimi: 0.52 g UAKM / g NO_3^-
- Karbon ihtiyacı: 3.7 g BOI_5 / g NO_3^- Ayrıca geri devirle denitrifikasyon reaktörüne gelen Ç.O. için de, 1.3 g BOI_5 / g Ç.O. gerekir.
- BOI_5 giderimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyonun aynı tankta meydana geldiği tek çamurlu sistemde, anoksik bölgeye bazen oksijen girişi olabileceği için denitrifikasyon hızı daha düşük olur.
- Anoksik bölgede Ç.O. konsantrasyonu 0.1~0.2 mg/l'ye çıkarsa denitrifikasyon durur. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun azami 0.1 mg/l olması sağlanmalıdır.
- Proses pH 'a hassas değildir. pH = 6.5-8 arasında olabilir.
- Alkalinite üretilir: 3.57 g ($CaCO_3$) alkalinite / g NO_3^-
- Sıcaklıktan etkilenir.

Tek çamurlu sistemlerde denitrifikasyon hızı: 75-115 g NO_3^- / kg-MLVSS gün

Karbon sınırlaması varsa, 17-48 g NO_3^- / kg MLVSS-gün alınabilir.

7.2. BİYOLOJİK FOSFOR GİDERİMİ

Klasik biyolojik arıtmada P giderimi: % 10 ~ 30 seviyelerindedir.

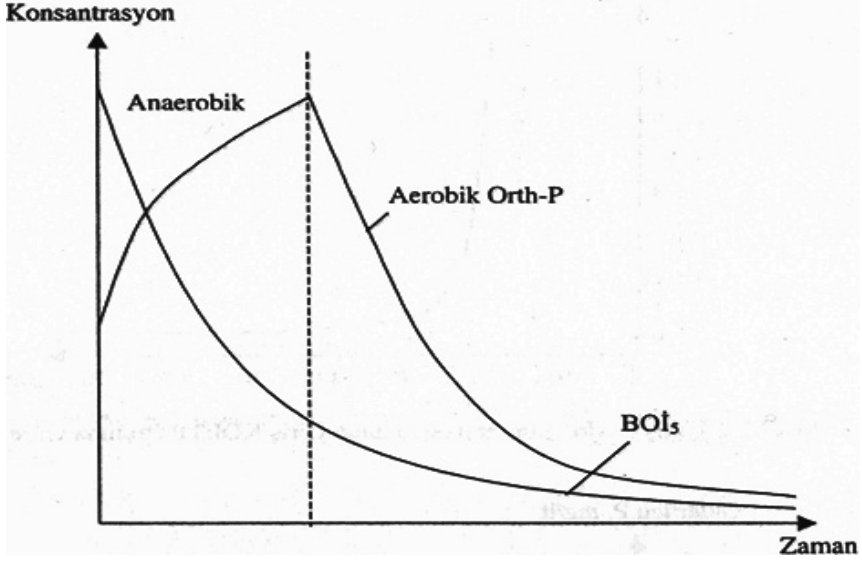
Hücrenin % 1.5 ~ 2'si P → Sentez

Aerobik havuzdan önce ayrı bir anaerobik havuzun olması halinde hücrenin % 4 ~ 12'si kadar P alınır.

Anaerobik bölgede fosfor salınması, aerobik bölgede alınması, ortamdaki kolay ayrışabilir karbon miktarına bağlıdır (Şekil 7.1).

25 - 50 mg $KOI/l \rightarrow 1$ mg P/l

Çözünmüş $BOI_5 > 120 - 125$ mg/l → % 90 P giderimi



Şekil 7.1. Biyolojik Fosfor Giderimi

Tasarımda göz önüne alınması gereken hususlar;

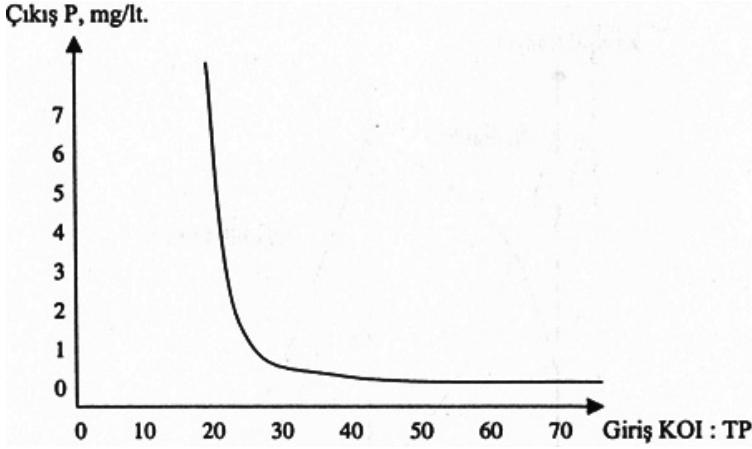
1. Anaerobik bölüm, aerobik havuzun önünde yer alır.
2. Anaerobik bölüme çamur geri devri gerekir. Geri dönüş çamuru içerisindeki nitratin anaerobik bölgeyi anoksik yapmamasına dikkat edilmelidir.
3. Anaerobik şartların sağlanması için ham atıksuda yeterli organik karbon bulunması ve
 - a) Geri devir çamuru ile gelen Ç.O. 'nin tüketilmesi
 - b) Atmosferden giren Ç.O. 'nin tüketilmesi
 - c) Geri devir çamuru ile gelen nitratin denitrifikasyonu gibi şartların gerçekleşmesi gerekir.
4. Anaerobik tankta orto-P: 20-40 mg/l ye çıkabilir.

Karbon ihtiyacı: 20-50 mg KOİ / mg-P

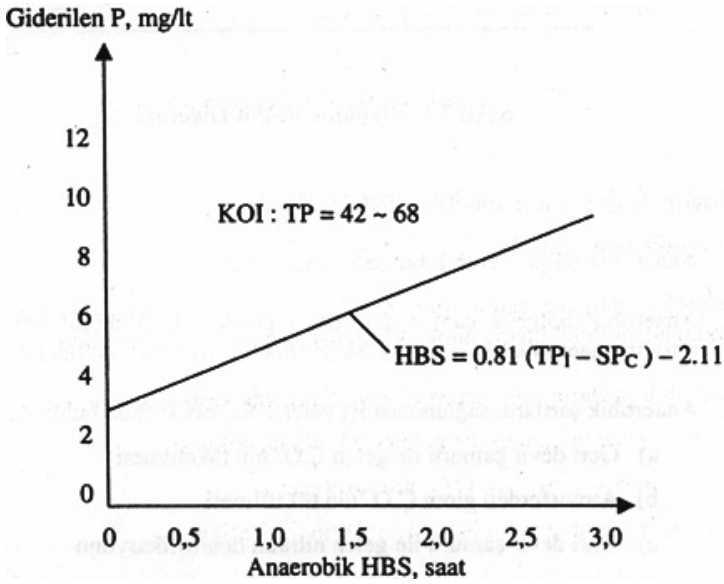
$\text{KOİ}/\text{BOİ}_5 < 2.0$ olmalı

$\text{KOİ} / \text{P} > 40$ (Şekil 7.2.) $\rightarrow \theta = 1.5$ saat'lık bir hidrolik bekletme süresi yeterlidir. (Şekil 7.3.)

$\text{KOİ}/\text{TP}$ oranının $< 30-40$ olduğu durumlarda ön çöktürme uygulanmaması tavsiye edilir.



Şekil 7.2. Çıkış Fosfor Konsantrasyonunun Giriş KOİ:TP Oranına Göre Değişimi



Şekil 7.3. Giderilen Fosfor Konsantrasyonunun Anaerobik Hidrolik Bekletme Süresine Göre Değişimi

- Tek çamurlu sistemlerde anaerobik bölmenin hacim oranı, toplamın 0.1~0.2'si olmalıdır.
- Optimum pH=6.6 - 7.4 (pH=5.2'de faaliyet durur)
- Anaerobik tankta, yeterli karışım sağlanmalıdır (dipten karıştırılır, hız ≥ 0.3 m/s olmalı)

$$\frac{P}{V} = 0,00094 (\mu)^{0,3} (MLSS)^{0,298} [kW/m^3]$$


1,0087 (20°C'de) mg/l

- Aerobik tankta Ç.O: 2 ~ 3 mg/l seviyesinde tutulmalıdır. Çöktürme tankında aerobik şartlar sürdürülmelidir.
- Çamur yoğunlaştırıcı ve çürütücü duru (üst) sularında P konsantrasyonu yüksek olabilir. Sistemde P birikimi olur. Bu tür suların kimyasal çöktürmeye tabi tutulması gerekebilir.
- Biyolojik NUTRIENT gideren sistemlerde nadiren de olsa P=1.0 mg/l'nin altına düşürülemez.

7.3. AZOT VE FOSFORU BİRLİKTE GİDEREN SİSTEMLER

Bu sistemlerde, çıkış suyunda;

$$BOI_5 = 5 \text{ mg/l},$$

$$AKM = 5 \text{ mg/l},$$

$$P = 0,5 \text{ mg/l},$$

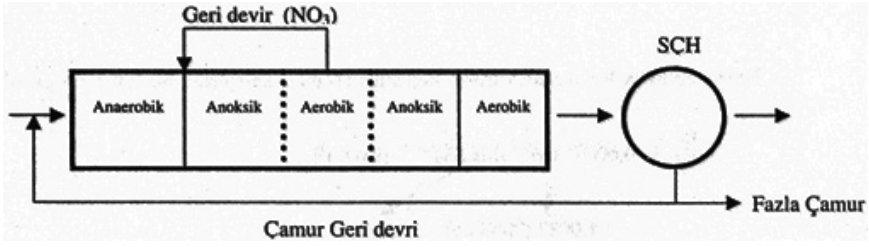
$$NH_4^+ = 0,1 \text{ mg/l'ye kadar düşebilir.}$$

$$\text{Org - N} \geq 0,5- 1,0 \text{ mg/l}$$

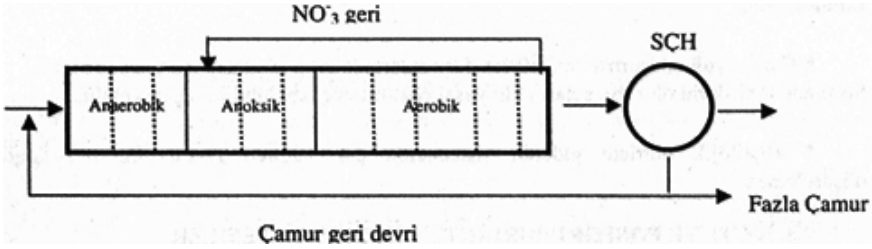
$$NO_3^- - N \geq 5 \sim 8 \text{ mg/l'dir. (3 mg/l'ye kadar düşebilir fakat ekonomik olmaz)}$$

NUTRIENT GİDEREN SİSTEMLER:

- Bardenpho prosesi (Şekil 7.4.)
- A²/O prosesi (Şekil 7.5.)
- VIP prosesi (Şekil 7.6.)
- UCT prosesi (Şekil 7.7.)
- Ardışık kesikli reaktör (Şekil 7.8.)
- Pho - Strip Prosesi (Şekil 7.9.) olarak sıralanabilir.



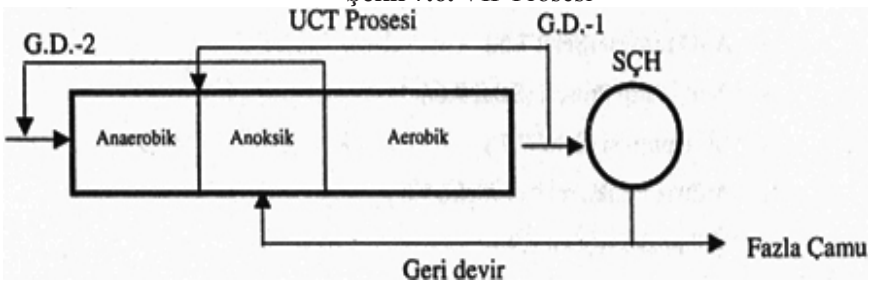
Şekil 7.4. Beş Kademeli Bardenpho Prosesi



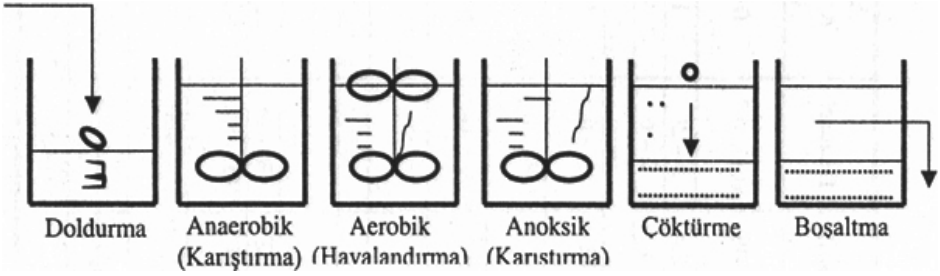
Şekil 7.5. A²O Prosesi



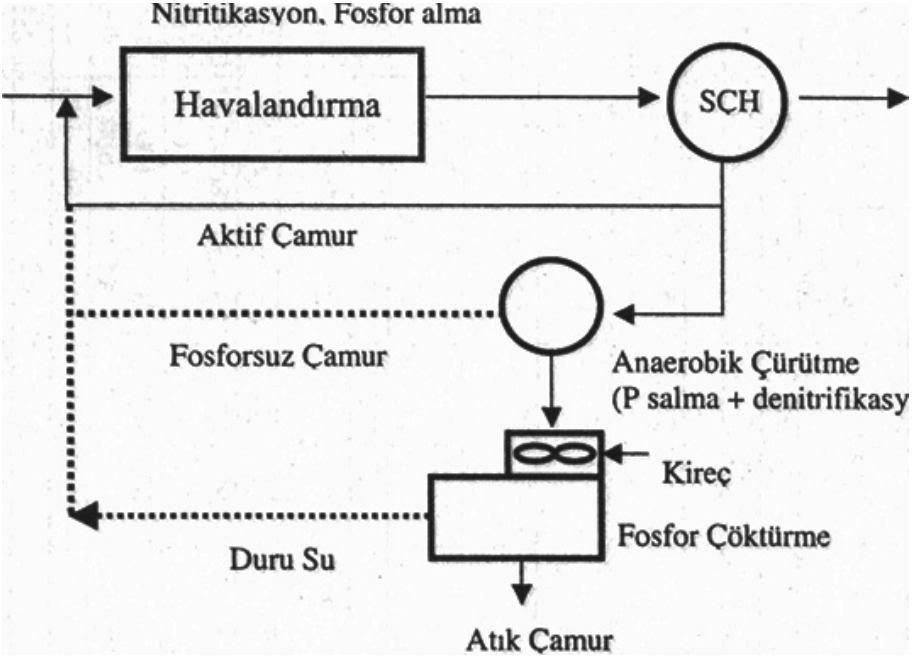
Şekil 7.6. VIP Prosesi



Şekil 7.7. UCT Prosesi



Şekil 7.8. Ardışık Kesikli Reaktör (AKR)



Şekil 7.9. Pho-strip Prosesi

Bu sistemlerin tasarımı sırasında dikkat edilmesi gereken parametreler Tablo 7.1’de topluca görülmektedir.

Tablo 7.1. Proses Tasarım Parametreleri

Proses	Çamur Yaşı (gün)	MLSS (mg/L)	HBS (saat)			Çamur Geri Devri (% giriş debisi)	İşsel Geri Devir (% giriş debisi)
			Anaerobik Bölge	Anoksik Bölge	Aerobik Bölge		
A/O	2 - 5	3000-4000	0,5-1,5	-	1-3	25-100	-
A ² /O	5 - 25	3000-4000	0,5-1,5	0,5-1	4-8	25-100	100-400
UCT	10 - 25	3000-4000	1-2	2-4	4-12	80-100	200-400 (anoksik) 100-300 (aerobik)
VIP	5 - 10	2000-4000	1-2	1-2	4-6	80-100	100-200 (anoksik) 100-300 (aerobik)
5 kademeli Bardenpho	10 - 20	3000-4000	0,5-1,5	1-3 (1. kademe) 2-4 (2. kademe)	4-12 (1. kademe) 0,5-1 (2. kademe)	50-100	200-400
PhoStrip	5 - 20	1000-3000	8-12		4-10	50-100	10-20
AKR	20 - 40	3000-4000	1,5-3	1-3	2-4	-	-

Tasarımda dikkate alınması gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Tesise giren atıksuyun özelliklerinin belirlenmesi; Bunun için sistemin toplam kütle dengesi kurulur.
2. KOİ/P oranının tespiti. Bu oran yetersiz ise, ön çöktürme çamuru fermentasyondan sonra sisteme verilebilir veya çn çökeltim uygulanmaz.
3. Kinetik katsayıların (BO_5 giderimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyon için ayrı ayrı belirlenmesi).
4. Toplam reaktör hacminin belirlenmesi (anaerobik, aerobik ve anoksik bölgeler), farklı bölgeler için Hidrolik Bekletme Süresi (HBS, θ) ve çamur yaşı (θ_c)'nin tespiti kabaca; anaerobik tank hacmi, toplam hacmin %10 - 20'si, anoksik bölge % 10 - 30'u kadardır. Anoksik bölgenin hacmi, geri devir (nitrat geri devri) oranına bağlıdır.
5. Karbon ihtiyacı (KOİ olarak)
Anaerobik;
P giderimi için; 50 mg/l / 10 mg/l P; Geçici olarak kullanılır, daha sonra aerobik bölgede ayrışır.
Anoksik;
 NO_3^- giderimi için; 3-4 mg/l KOİ / mg NO_3^- N/l
Ç.O. için; 1,3 50 mg/l KOİ / mg. Ç.O./l (İlave %5 ~ 10 yüzeyden gelen oksijen)
6. Sistemde toplam azot dengesi kurularak denitrifikasyon için gerekli geri devir oranı bulunur.
Denitrifikasyonla giderilen NO_3^- = Giriş TKN - (hücre sentezinde kullanılan N + Artık Çamurla Atılan Top - N)
7. Alkalinite kontrolü: $7,1 \text{ mg } CaCO_3/l \rightarrow 1 \text{ mg } NH_4^+/l$
Tüketilen Denitrifikasyonla üretilen: $3,6 \text{ mg } CaCO_3/l \rightarrow 1 \text{ mg } NO_3^-/l$
8. Çevresel faktörlerin kontrolü
Anaerobik bölgede Ç.O ve NO_3^- bulunmamalı.
ORP < - 300 mV civarında olmalı ORP'nin on-line kontrolü faydalı olabilir.
pH artarsa acitenobakter çoğalma hızı da artar; pH < 6,0 P-Alımı azalır.
9. Denitrifikasyon için anoksik şartlar (NO_3^- ve NO_2^- 'in varlığı, Ç.O. bulunmaması) gerekir.
10. Nitrifikasyon için - aerobik şartlar gerekir. En düşük (Ç.O. = 2.0 mg/l)
 - O_2 ihtiyacı Ort: $4.6 \text{ mg/l} \rightarrow \text{mg } NH_4^+$
 - Düşük sıcaklık nitrifikasyonu engeller.
 - Alkalinite tüketilir $\rightarrow$ pH düşer (min.pH; 6.5)
 - Min. Alkalinite (reaktörde); 50 - 60 mg $CaCO_3/l$ olmalıdır.
 - Giriş atıksuyunda Alkalinite <150 mg $CaCO_3/l$ ve TKN yüksek ise pH ayarı gerekebilir.

11. Mekanik ekipman ve reaktör şekilleri:

- Perdelerle ayrılmış çok gözlü reaktörler

Anaerobik: Karıştırıcılar; Batık pervane veya batık türbin

Anoksik

- Aşın karıştırma yüzeyden oksijen girişine yol açabilir.
- Anaerobik bölge ile anoksik bölge arasındaki delikli perdelerden anaerobik bölgeye nitrat girişi önlenmelidir.

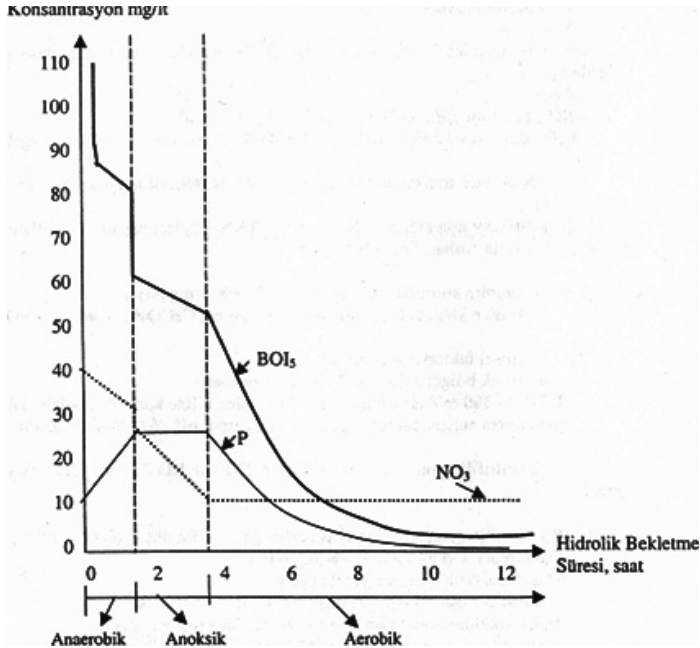
12. Havalandırıcı ve tank geometrisi, aerobik havuzda Ç.O'nin sağlanması açısından önemlidir.

Difüzörlü veya mekanik havalandırıcılar kullanılabilir.

Difüzörlü havalandırıcı, işletme şartlarına karşı daha esnektir. Yüzeysel havalandırıcıların işletme esnekliği düşüktür, iyi tasarlanması gerekir.

Şekil 7.10.'da organik madde, azot ve fosforun zamana bağlı olarak konsantrasyonundaki değişim görülmektedir.

Bu konuda daha detaylı bilgi için Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi (OSİB, 2012) ve Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (ÇOB, 2010)'a başvurulabilir.

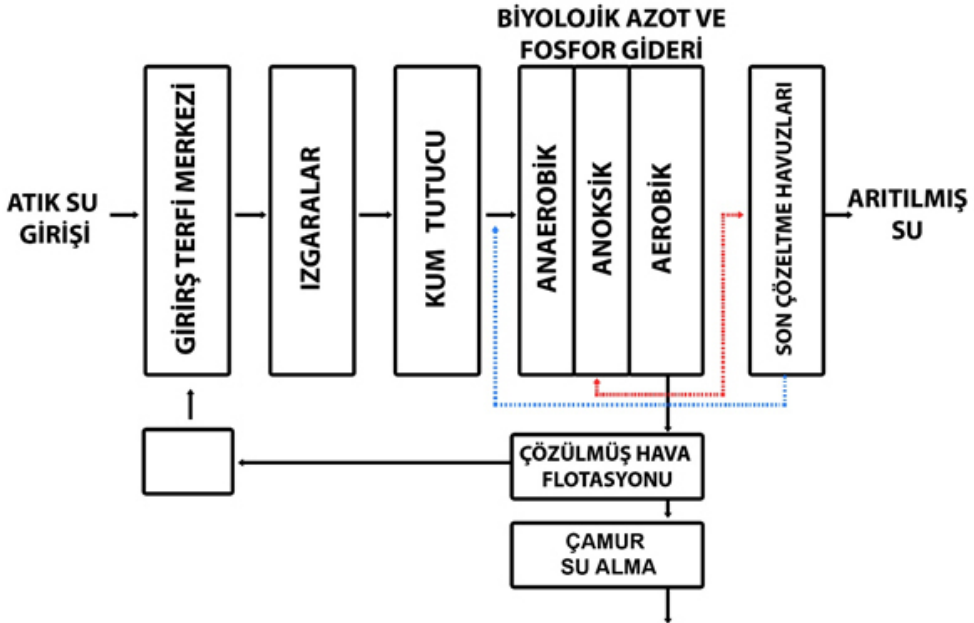


Şekil 7.10. Organik Madde, Azot ve Fosforun Konsantrasyon Profili

7.4.2. Proses Açıklaması

Arıtma Tesisi, nihai kapasitede 1.065.000 kişilik bir nüfustan kaynaklanan ve 500.000 m³/gün debiye sahip atıksuları arıtaacaktır. Tesis bu safhada, bir ünitesi 125.00 kişilik atıksu yüküne göre inşa edilmiştir. Tesisin kurulu olduğu alan 511.000 m²'dir.

İleri-biyolojik atıksu arıtma prosesi (Şekil 7.12), atıksuda bulunan karbonun yanı sıra, su kaynaklarında kirliliğe (ötrofikasyona) yol açan azot ve fosfor gibi besi maddelerinin de giderilmesini sağlamaktadır. Yüksek miktarda fosfor ve azot bileşikleri içeren suların alıcı ortama verilmesi nedeniyle yosunlaşma olur. Yosunla beslenen mikroorganizmalar artar, oksijen tüketimi yükselir. Ortamdaki oksijen oranlarının düşmesi sebebiyle önce yosunla beslenen mikroorganizmalar daha sonra balıklar ölür. Ölü biyolojik kütlenin çürümesi sebebiyle oksijen azalır. Bütün bu olaylar alıcı ortamın ötrofik hale gelmesine sebep olmaktadır. İleri biyolojik arıtma ile ötrofikasyon önlenmektedir.



Şekil 7.12. Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Prosesi

7.4.3. Arıtma Tesisi Üniteleri

Tesis, aşağıda sıralanan ünitelerinden meydana gelmektedir.

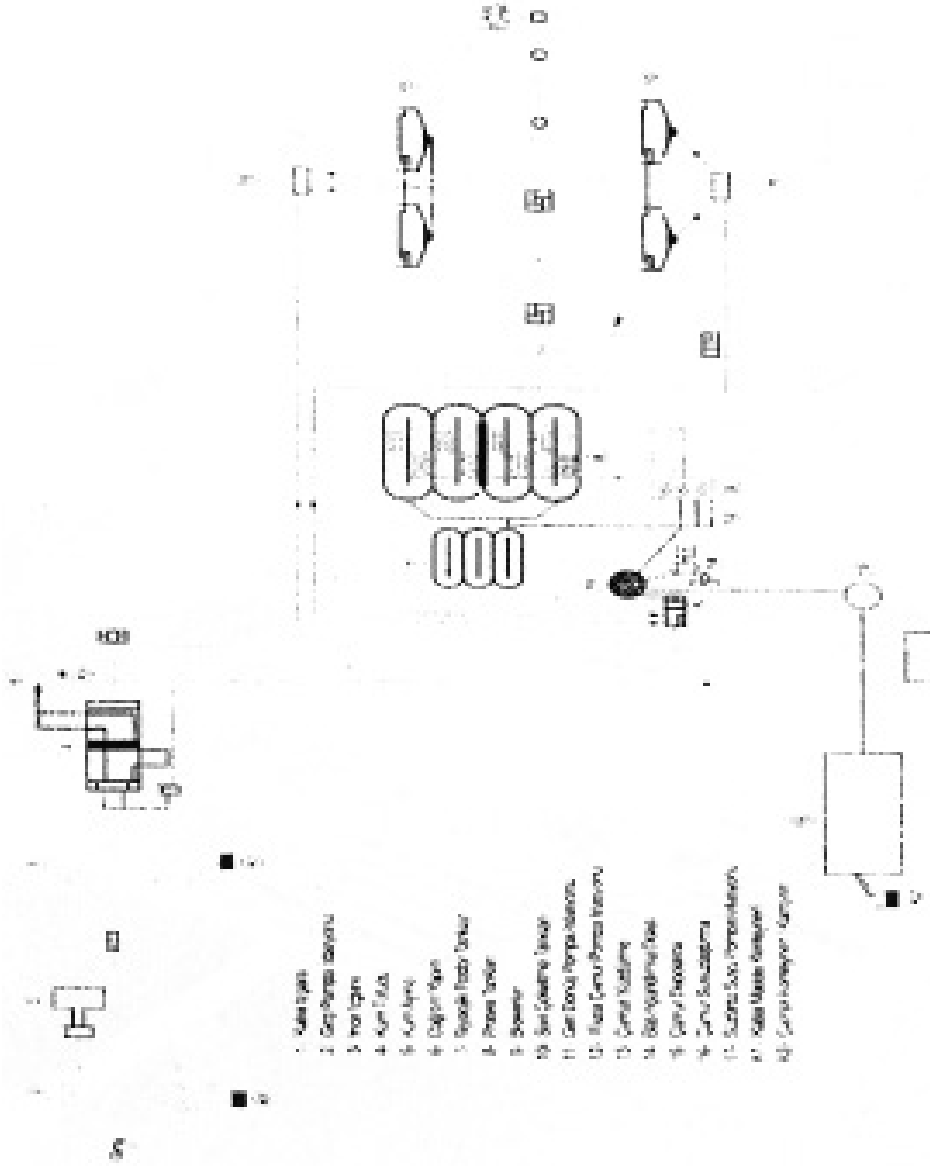
1. Kaba Izgara ve Giriş Terfi Merkezi
2. İnce Izgara
3. Havalandırılmalı Kum Tutucu
4. Biyolojik Fosfor Giderme ünitesi
5. Havalandırma Havuzları
6. Son Çöktürme Havuzları
7. Geri Devir Terfi Merkezi
8. Fazla Çamur Terfi Merkezi
9. Çözünüş Hava ile Yüzdürme (DAF) Üniteleri
10. DAF Geri Devir Terfi Merkezi
11. Çamur Depolama Havuzu
12. Çamur Susuzlaştırma Ünitesi
13. Süzüntü Suyu Terfi Merkezi

Şekil 7.13’de Paşaköy İleri Biyolojik Arıtma Tesisini görülmektedir.

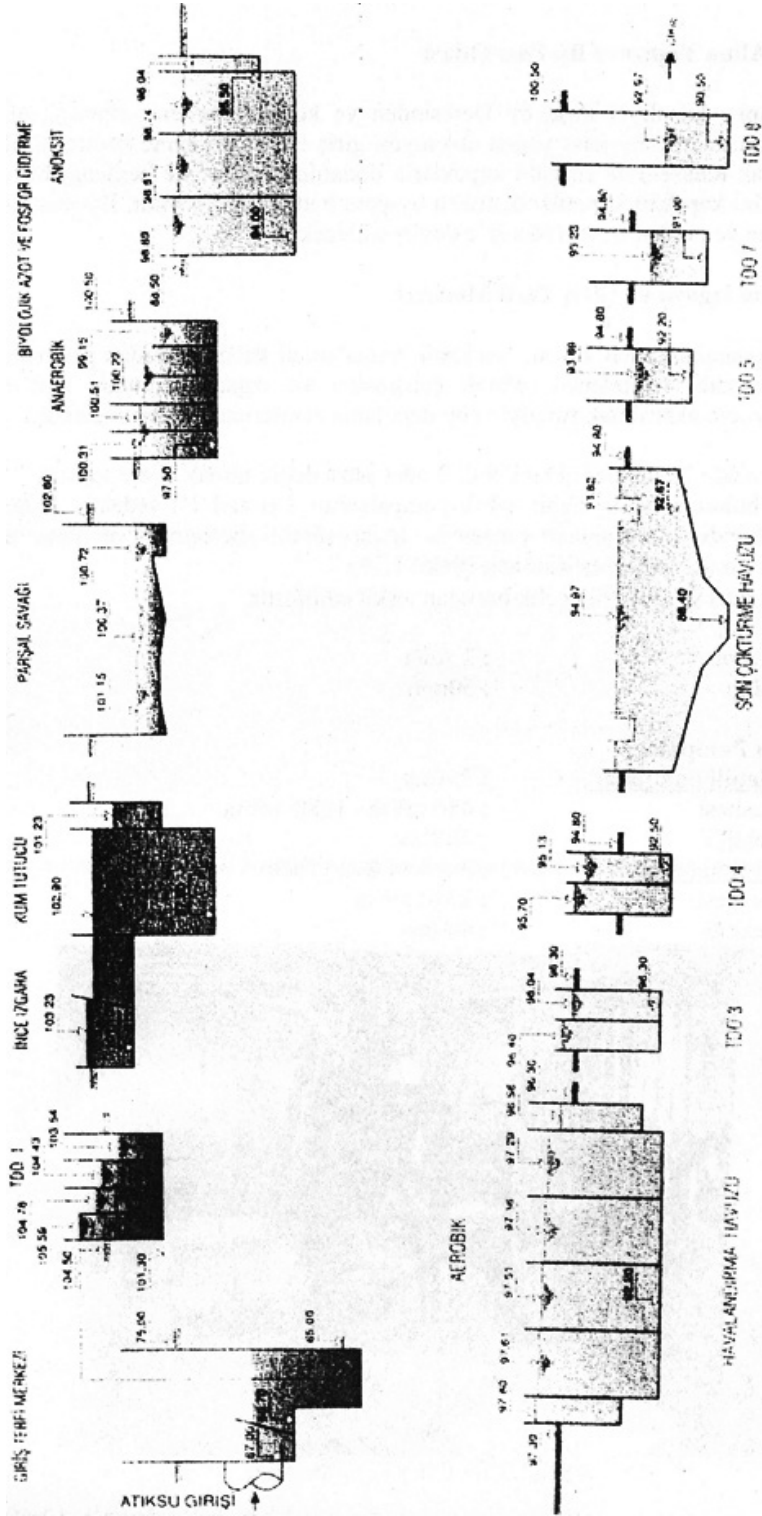


Şekil 7.13. Paşaköy İleri Biyolojik Arıtma Tesisini

Şekil 7.14. arıtma tesisinin akım şemasını, Şekil 7.15. ise Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin hidrolik profilini göstermektedir.



Şekil 7.14. Paşaköy İleri Biyolojik Arıtma Tesisi Akım Şeması



Şekil 7.15. Paşaköy İleri Biyolojik Arıtma Tesisinin Hidrolik Profili

7.4.3.1. Su Alma Yapısı ve By-Pass Odası

Su alma yapısı kanalıyla Paşaköy Deresinden ve kolektörlerden alınacak atıksu, by-pass yapısına alınacaktır. By-pass yapısı atıksuyun giriş terfi merkezine kontrollü olarak verilmesini sağlamak amacıyla sürgülü kapaklarla donatılmıştır. Tesiste herhangi bir arıza olması durumunda bu kapaklar kapatılarak atıksu by-pass hattına verilecektir. By-pass edilen atıksu Riva Deresine ve oradan da Karadeniz'e deşarj edilecektir.

7.4.3.2. Kaba Izgara ve Giriş Terfi Merkezi

Su alma yapısından gelen atıksu, mekanik temizlemeli kaba ızgaradan geçmektedir. Kaba ızgaralar otomatik temizlemeli olarak çalışmakta ve ızgarada tutulan atıklar bir konveyör ile konteynere aktarılmak suretiyle çöp depolama alanlarına gönderilmektedir.

Terfi merkezinde 2 adet değişken debili 3 adet sabit debili olmak üzere toplam 5 adet ana giriş pompası bulunmaktadır. Sabit debili pompalardan 2'si asıl 1'i yedektir. Değişken debili pompalar debideki değişimler esnasında tesisi sürekli beslemek ve sabit debili pompaları korumak amacıyla yerleştirilmiştir (Şekil 7.16).

Terfi hattı 2 adet Ø1200'lük çelik borudan teşkil edilmiştir.

Kaba Iızgaralar : 2 Adet

Çubuk aralığı : 50mm

Ana Atıksu Pompaları

Değişken debili pompalar : 2 Adet

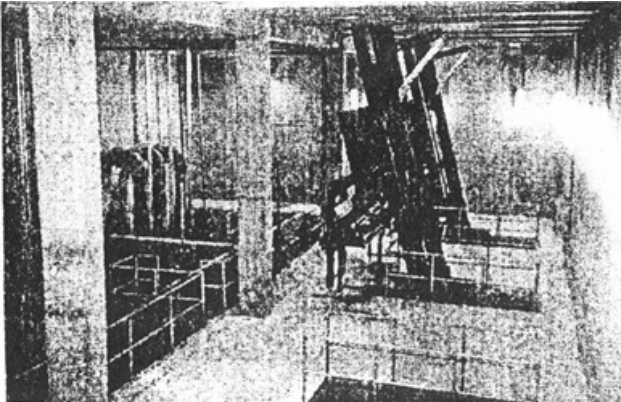
Pompa kapasitesi : 486 m³/sa - 1080 m³/sa

Terfi Yüksekliği : 48 mss

Sabit debili pompalar : 3 Adet (2+1 yedek)

Pompa kapasitesi : 2340 m³/sa

Terfi Yüksekliği : 46 mss



Şekil 7.16. Giriş Terfi Merkezi

7.4.3.3. İlk Arıtma Ünitesi

7.4.3.3.1. İnce Izgaralar

Giriş Terfi merkezinden basılan atıksu, mekanik temizlemeli ince ızgaradan geçer. Otomatik olarak çalışan, 2 paralel hattan oluşan ince ızgaralarda toplanan atıklar, bantlı konveyörle ızgara atıkları presine iletilmektedir. Buradan da konteynere alınarak uzaklaştırılmaktadır (Şekil 7.17.)

İnce Izgaralar	: 2 Adet
Çubuk Aralığı	: 10 mm



Şekil 7.17. Izgaralar, Izgara Presi ve Sürgülü Kapaklar

7.4.3.3.2 Havalandırmalı Kum Tutucu

İnce ızgaralardan geçen atıksu, kum tutuculara gelmektedir. Kum tutucular kalın kabarcıklı difüzörlerle donatılmış olup blowerler ile havalandırılmaktadır. Kum tutucu havuzlarının dibinde çökelen kum, gezer köprü altına monte edilen dalgıç pompalar vasıtasıyla kum ayırıcıya aktarılmakta buradan konteynere boşaltılmaktadır. Kum ayırıcıların yüzeyinde toplanan yağ ve yüzücü malzemeler çamur depolama havuzuna iletilmektedir.

Kum tutuculardan çıkan atıksular havuzların çıkışındaki Parshall savağından (debisi ölçüldükten sonra) biyolojik fosfor havuzlarına geçer.

Havalandırmalı Kum Tutucu	: 2 adet
Havuz Hacmi	: 280 m ³ / (adet)
Blower Sayısı	: 3 adet (2+1 yedek)
Blower Kapasitesi	: 300 m ³ /saat/(adet)
Köprü Yürüyüş Hızı	: 2,5 m/dk

Şekil 7.18. kum tutucuları, Şekil 7.19. ise kum tutucu blowerlarını göstermektedir.



Şekil 7.18. Kum Tutucular



Şekil 7.19. Kum Tutucu Blowerları

7.4.4. Biyolojik Fosfor Giderme Ünitesi

İnce ızgara ve kum tutucudan gelen atıksu, geri devir çamuruyla karışarak biyolojik fosfor ünitesine gelmektedir. Bu ünite 3 havuz seri olarak anaerobik şartlarda çalışmaktadır. AKM her havuzda bulunan muz tipi 2 yavaş karıştırıcı ile askıda tutulmaktadır. Bu karıştırıcıların kanat genişliği 2500 mm, motor gücü 3.1 kW ve devir hızı 25 devir/dakika'dır.

Biyolojik fosfor giderme ünitesi; biyolojik arıtmada anaerobik ortam şartları sağlamaktadır. Bu havuzlarda mikroorganizma bünyesinde bulunan fosforun daha sonra havalandırma havuzlarında (çok daha fazlasını almak üzere) salınması yani suya verilmesi işlemi gerçekleşmektedir (Şekil 7.20.)

Biyolojik Fosfor Havuzları	: 3 adet
Toplam Havuz Hacmi	: 8190 m ³
Karıştırıcı Sayısı	: 6 adet



Şekil 7.20. Biyolojik Fosfor Ünitesi

7.4.5. Havalandırma Havuzları

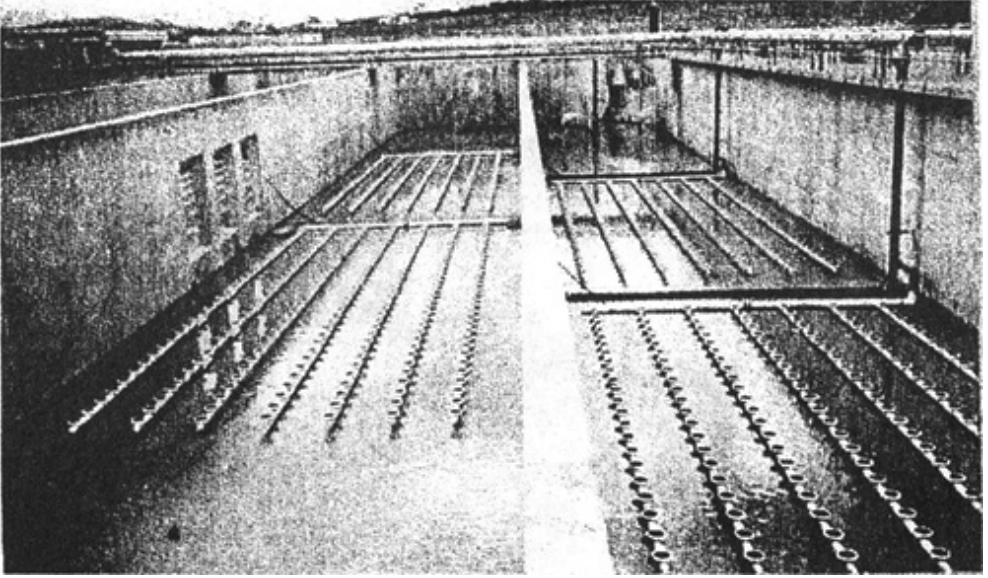
Havalandırma havuzları, aerobik (havalandırılmalı) ve anoksin (havalandırmasız-bağlı oksijenli) kısımları bulunan seri bağlı 4 adet havuzdan meydana gelmektedir ve bu tankların toplam hacmi 40.400 m³'tür (Şekil 7.21.).



Şekil 7.21. Havalandırma Havuzu

Havalandırma havuzları, iki ayrı çalışır konumludur. Bu durumda nitrifikasyonun devam etmesini sağlamak için geri kalan kanallar havalandırılmaktadır. Her tankta AKM'nin çökmesini önlemek, hava kabarcıklarının yolunu uzatarak havalandırma verimini arttırmak ve homojen karışım sağlamak üzere, kanat açıklığı 2500 mm. olan muz tipi karıştırıcılar monte edilmiştir. Bu karıştırıcıların motor gücü 3.1 kW ve devir hızı 31 devir/dakika'dır.

Havuzlardaki havalandırma blowerlar ile sağlanmakta olup hava ince kabarcıklı seramik difüzörler ile havuzlara verilmektedir (Şekil 7.22.). Difüzörlere hava, blower binasında bulunan 3 adet blower tarafından temin edilmektedir. Her kanal verilecek hava miktarı 4 motorlu kelebek vana ile ayarlanarak, tanklardaki çözünmüş oksijen seviyesi önceden belirlenmiş seviyede tutulmaktadır. Ayrıca 4 adet resirkülasyon pompası ile havuzlar kendi içinde sirküle ettirilmektedir.



Şekil 7.22. Havalandırma Havuzu Difüzörleri

Normal çalışma şartları altında Kanal 1; havalandırmasız (anoksik), Kanal 2; yaz aylarında havalandırmasız kış aylarında havalandırılmalı (aerobik), Kanal 3 ve 4 ise havalandırılmalı olarak çalışmaktadır. Anoksik tanklarda denitrifikasyon gerçekleşirken aerobik tanklarda nitrifikasyon, BOI_5 , azot ve fosfor giderimi sağlanmaktadır. Havuzun aerobik bölgelerinde nitrifikasyon sonucu karbon, azot ve fosfor giderimi sağlanmakta ve oluşan amonyum nitrit ve nitrata dönüşmektedir. Anoksik bölgede ise nitrat denitrifikasyon sonucu azot gazına dönüştürülerek atılmaktadır. Denitrifikasyon öncesinde aerobik kısımda nitrat açısından zengin bir çıkış suyu elde etmek için atıksu 4-5 defa anoksik kısımlara devir daim edilmektedir.

Geri devir işlemi; Kanal 4'ten, Kanal 1'e atıksu pompalayan 4 adet geri devir pompası ile yapılmaktadır. Oluşacak fazla çamur havalandırma havuzlarının 2 ve 4 no'lu kanalından çekilerek çamur yoğunlaştırma (DAF) ünitesine terfi edilmektedir. Çünkü aerobik ortamda mikroorganizmalar, çok miktarda fosforu bünyelerinde tutacaklar ve anaerobik şartlara maruz kalmadıkça bırakmayacaklardır.

Havalandırma Havuzları	: 2 adet
Toplam Havalandırma Havuz Hacmi	: 40400 m ³
Toplam Seramik Difüzer Sayısı	: 3.840 adet (9")
Karıştırıcı Sayısı	: 16 adet
Blower Sayısı	: 3 adet (2+1 Yedek)
Blower Kapasitesi	: 4950 Nm ³ /saat-11000 Nm ³ /saat(adet)
Resürkilasyon Pompa Sayısı	: 4 adet
Resürkilasyon Pompası Kalitesi	: 4032 m ³ /saat

7.4.5.1. Blower Binası (Hava Körükleri)

Blower binasında, havalandırma havuzlarındaki hava ihtiyacını karşılayan 3 adet blower (üfleleyici) bulunmaktadır. Bu blowerden 2'si asıl 1'i yedek olarak çalıştırılmaktadır (Şekil 7.23.).



Şekil 7.23. Havalandırma Havuzu Blowerları

Bu blower (hava körüğü) havalandırma havuzlarının yarısı için gerekli kapasitedir. Blowerlardan her biri 4950 ile 11000 m³/saat'lik bir debi aralığında çalışabilmektedir ve gücü 250 kW'dir. Motorlu kelebek vanalar blower konfigürasyonuna göre harekete geçebilmektedir.

7.4.6. Son Çöktürme Havuzları

Havalandırma havuzlarından gelen atıksu, sürgülü kapaklarla donatılan dağıtım yapısına gelerek her biri 4500 m³ hacme sahip 4 adet her biri 42 m. Çapında ve 3.2 m. Derinliğinde dairesel çöktürme havuzuna verilir (Şekil 7.24.)



Şekil 7.24. Son Çöktürme Havuzları

Son çöktürme havuzlarındaki döner yarım köprülü sıyrıcılar, sürekli olarak çalışarak çöken çamuru, havuzların ortasındaki çamur konilerine yönlendirmek suretiyle sıyrır. Çamur toplama konilerinde biriken çamur geri devir terfi merkezine cazibeyle akıtılarak geri devir pompaları yardımı ile biyolojik fosfor ünitesi başındaki dağıtma yapısına geri devrettirilmektedir. Döner köprüler üzerindeki yüzey sıyrıcılar, yüzeyde biriken köpüğü, köpük toplama haznesine taşımaktadır ve köpük buradan bir dalgıç pompa vasıtasıyla geri devir terfi merkezine basılmaktadır. Arıtılmış su çift savaklı çıkış savaklarından geçerken, döner köprü üzerindeki tahrikli bir fırça kanalın temizlenmesini sağlamaktadır (Şekil 7.25).



Şekil 7.25. Sıyrıcılar, Dalgıç Perde ve Savaklar

Son Çöktürme havuzları	: 4 Adet
Son çöktürme havuz hacmi	: 4500 m ³
Köprü yürüyüş hızı	: 2,5 m/dak
Geri devir pompaları sayısı	: 10 adet (8+2 yedek)
Geri devir pompa kapasitesi	: 540 m ³ /sa
Terfi Yüksekliği	: 10 mss

7.4.6.1. Geri Devir Terfi Merkezi

Son çöktürme havuzundan, geri terfi merkezine gelen çamur, biyolojik fosfor ünitesine basılarak sisteme geri devredilmektedir. Nihai debide % 80 geri devir oranı sağlayan 10 adet dalgıç pompadan 8'i asıl 2'si yedek olarak monte edilmiştir. 2 adet son çöktürme havuzu için 1 geri devir terfi merkezi yapılmıştır ve her terfi merkezinde her biri 540 m³/saat debi kapasiteli 5 adet dalgıç pompa bulunmaktadır (Şekil 7.26.).



Şekil 7.26. Geri Devir Terfi Merkezi ve Çöktürme Havuzu

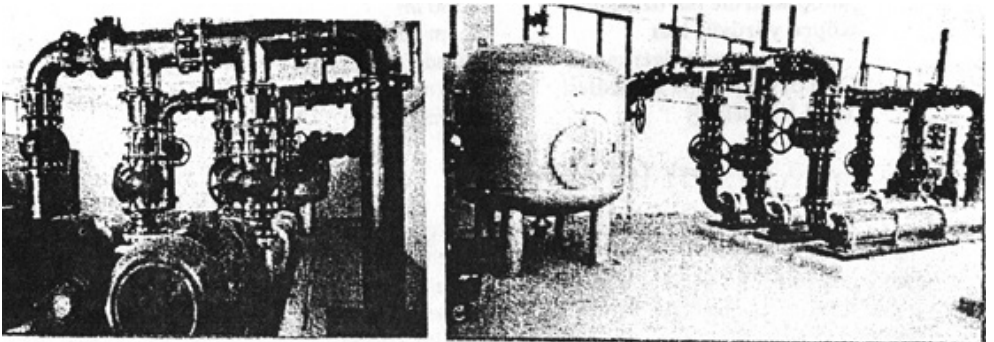
Çöktürme Havuzlarından gelen köpük, geri devir terfi merkezlerine bağlı rögarlarda toplanmakta ve buradan da emme haznesine pompalanmaktadır. İstenen son çöktürme havuzunu devre dışı bırakmak ve emme haznesine boşaltmak üzere çamur giriş kısmı sürgülü kapaklarla donatılmıştır.

7.4.6.2. Fazla Çamur Terfi Merkezi

Fazla çamur havalandırma havuzunun 2 veya 4 no'lu tankından alınacaktır. Proses gereği çamur alınan tankın, aerobik olması gerekmektedir. Fazla çamur terfi merkezinde 2'si asıl 1'i yedek olmak üzere 3 adet pompa bulunmaktadır. Burada kullanılan kuru tip pompalardan her biri 167 m³/saat debi kapasitesine sahiptir.

7.4.7. Çözünmüş Hava İle Yüzdürme (DAF) Üniteleri

Fazla çamur terfi merkezinden gelen çamur, DAF havuzuna alınmakta ve buradan da DAF geri devir terfi merkezinde bulunan ve her biri 167 m³/saat debi kapasitesine sahip 3 adet kuru tip pompa tarafından çekilmektedir. Bu üç pompadan 2'si asıl 1'i yedektir. Şekil 7.27'de DAF geri devir terfi merkezi görülmektedir.



Şekil 7.27. DAF Geri Devir Terfi Merkezi

DAF havuzundan gelen daha az yoğunluktaki çamur, DAF geri devir terfi merkezi binasındaki basınçlı hava çözündürme tankına yine bu pompalarla basılmaktadır. Çamurun girdiği basınçlı hava tanka iki kompresörle hava basılmakta ve içinde hava çözündürülmüş çamur, DAF havuzuna geri devredilmektedir.

Fazla çamur pompaları sayısı	: 3 adet (2+1 yedek)
Fazla çamur pompaları kapasitesi	: 167 m ³ /sa
Terfi yüksekliği	: 20 mss

Havalandırma havuzlarından alınan yaklaşık % 1 katı madde muhtevasına sahip fazla çamur pompaları ile DAF havuzuna terfi edilir. DAF havuzu; 16 m. Çapında, üzerinde döner köprülü yüzey sıyrıcı bulunan 600 m³ hacminde dairesel bir tanktır (Şekil 7.28.).



Şekil 7.28. DAF Havuzu

DAF havuzuna gelen daha az yoğunluktaki çamur DAF geri devir terfi merkezinde bulunan basınçlı hava tankına bu pompalarla basılmaktadır. Basınçlı hava ile doyurulan çamur DAF havuzuna geri devrettirilmektedir. Hava kabarcıkları ile havuz yüzeyine taşınan çamur yaklaşık % 5 katı madde ihtiva edecek şekilde döner köprü üzerindeki sıyrıcılar ile havuz yüzeyinden sıyrılarak çamur depolama havuzuna cazibe ile akmaktadır.

DAF Havuzu	: 1 adet
DAF Havuz hacmi	: 634 m ³
Köprü yürüyüş hızı	: 2,5 m/dak
Basınçlandırma tankı hacmi	: 6,1 m ³
Kompresör sayısı	: 2 adet
Çamur sirkülasyon pompası	: 3 adet (2+1 yedek)
Çamur sirkülasyon pompası kapasitesi	: 167 m ³ /sa
Terfi yüksekliği	: 60 mss

7.4.8. Çamur Depolama Havuzu

DAF ünitesinden gelen yoğunlaştırılmış çamur, çamur depolama havuzunda homojenliğini koruması için 4 yavaş karıştırıcıyla sürekli olarak karıştırılmaktadır. Aerobik ortam şartlarının korunması için ise, havalandırma havuzunda olduğu gibi, seramik dip difüzörleriyle teçhiz edilmiştir. Hava, difüzörlere çamur susuzlaştırma ünitesinde bulunan 1'i yedek 2 adet blowerdan temin edilmektedir. Çamur depolama havuzunda depolanan çamur, çamur susuzlaştırma binasından çekilmektedir. Şekil 7.29.'da çamur depolama havuzu görülmektedir.



Şekil 7.29. Çamur Depolama Havuzu

Çamur Depolama Havuzu	: 1 adet
Çamur Depolama Havuzu Hacmi	: 2460 m ³
Karıştırıcı Sayısı	: 4 adet
Blower Sayısı	: 2 adet (1+1 yedek)
Blower Kapasitesi	: 1800 Nm ³ /sa
Seramik Difüzör Sayısı	: 340 adet (9")

7.4.8.1. Çamur Susuzlaştırma Binası

Çamur depolama havuzundan çamur, uygun seviyeye geldiğinde, çamur susuzlaştırma binasında bulunan besleme pompaları ile çekilerek, homojenliği sağlayan bir parçalayıcıdan geçirilip, bir üst katta bulunan santrüflere iletilmektedir (Şekil 7.30).

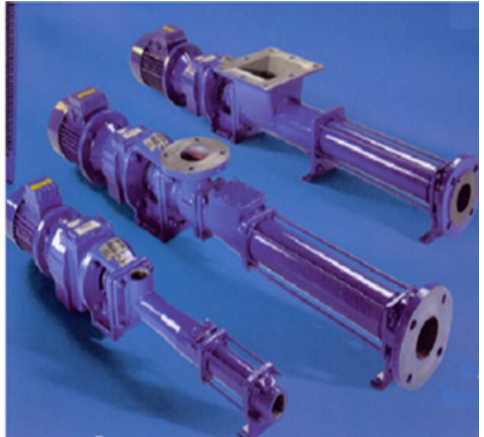


Şekil 7.30. Santrifüjler

Polielektrolit hazırlama ünitesinde hazırlanan su-polielektrolit karışımı çamurun yumaklaşmasını sağlamak üzere santrifüjlere verilmektedir (Şekil 7.31.). Susuzlaştırılan çamur, santrifüjün altında bulunan çamur çıkış pompalarına, oradan da bina dışında bulunan bir siloya basılmaktadır (Şekil 7.32.). Silodan kamyonlara yüklenen çamur, yakma tesisi veya çöp depolama alanına, santrifüjlerden çıkan su ise süzöntü suyu terfi merkezine cazibeyle verilerek pompalarla havalandırma havuzlarının girişine basılmaktadır.



Şekil 7.31. Polielektrolit Hazırlama Ünitesi



Şekil 7.32. Çamur Besleme Pompaları

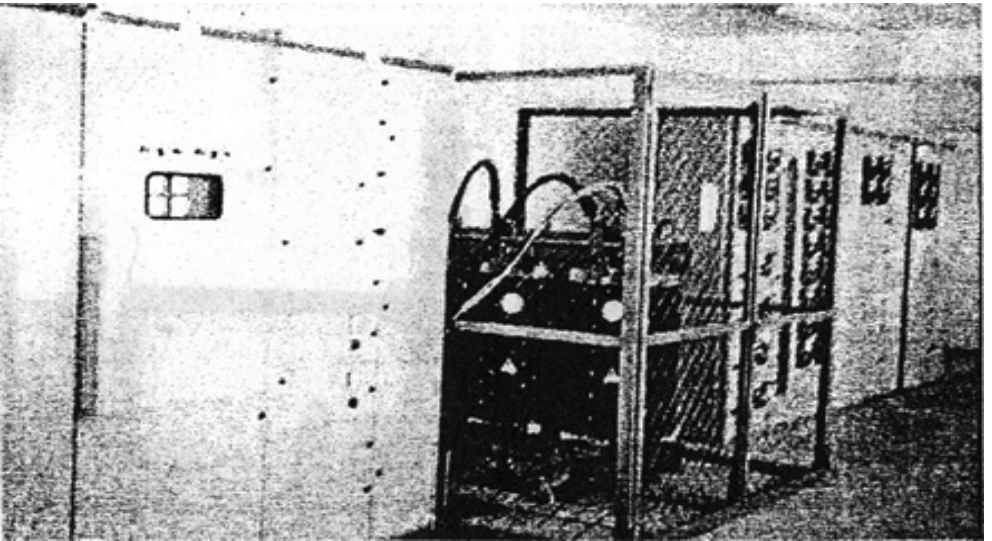
Santrifüj Sayısı	: 2 adet
Santrifüj Kapasitesi	: 255 kg KM/gün
Çamur Besleme Pompası Sayısı	: 2 adet
Çamur Besleme Pompası Kapasitesi	: 4-12 m ³ /sa
Terfi Yüksekliği	: 20 mss
Parçalayıcı Sayısı	: 2 adet
Parçalayıcı Kapasitesi	: 10 m ³ /sa
Polieltrolit Pompası Sayısı	: 2 adet
Polieltrolit Pompası Kapasitesi	: 600-3000 lt/sn
Terfi Yüksekliği	: 20 mss
Süzüntü Suyu Pompası Sayısı	: 2 adet
Süzüntü Suyu Pompası Kapasitesi	: 360 m ³ /sa

7.4.8.2. Süzüntü Suyu Terfi Merkezi

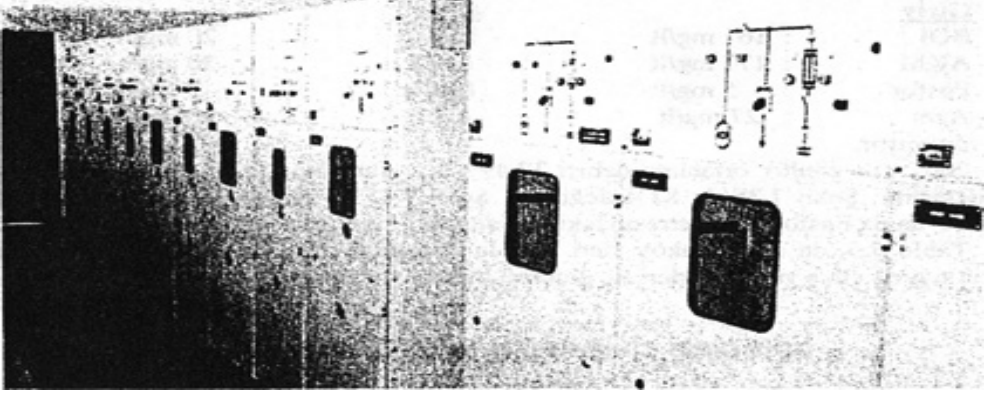
Çamur susuzlaştırma binasında çamurun susuzlaştırılması sırasında oluşan sızıntı suyu, biyolojik fosfor giriş ünitesi girişine 360 m³/saat debi kapasiteli 2 dalgıç pompa ile geri basılarak tekrar sisteme verilmektedir.

7.4.9. Enerji Temini

Giriş terfi merkezine enerji sağlayan 2 bağımsız 34.5 kV'lık enerji nakil hattı mevcuttur. Bu istasyonda pompalar için ve diğer ekipmanlar için 2 adet 34.5 / 0.4 kV trafo (her biri 2500 kVA) kullanılmıştır. Arıtma tesislerinde ise 2 adet 34.5 / 6.3 kV trafo (her biri 4000 kVA) kullanılmaktadır. Şekil 7.33.'de trafo merkezi, Şekil 7.34.'de ise turbo blower enerji merkezi görülmektedir.



Şekil 7.33. Arıtma Sahası O.G.-A.G. Panoları ve Trafo Merkezi TR-4



Şekil 7.34. 6.3 kV Turbo Blower Enerji Merkezi

7.4.10. Tesisin Proje Kriterleri

Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisine ait proje kriterleri Tablo 7.2.'de verilmiştir.

Tablo 7.2. Tesisin Proje Kriterleri

PROJE KRİTERLERİ	
Maksimum Debi (1. safha)	125.000 m ³ /gün
Proje Debisi	100.000 m ³ /gün
Eşdeğer Nüfus	250.000 kişi
Nihai Debi	500.000 m ³ /gün
Nihai Eşdeğer Nüfus	1.065.000 kişi
Tesis Alanı	507.000 m ²
BOI ₅ Yüğü	60 g/kişi/gün
Toplam Azot Yüğü	10 g/kişi/gün
Toplam Fosfor Yüğü	2 g/kişi/gün
Aerobik Çamur Yaşı	10 gün
MLSS (AKM)	4000 mg/l
Maksimum Ortalama Sıcaklık	20 °C
Minimum Ortalama Sıcaklık	10 °C
Nitrifikasyon Havuzu Hacmi	30.000 m ³
Denitrifikasyon Havuzu Hacmi	10.000 m ³
Geri Devir Oranı	%80
HEDEFLLENEN ÇIKIŞ SUYU KALİTESİ	
BOI ₅ Konsantrasyonu	20 mg/l
AKM Konsantrasyonu	30 mg/l
Toplam Azot Konsantrasyonu	10 mg/l
Toplam Fosfor Konsantrasyonu	2 mg/l

Tesisin Tesis Proje Değerleri aşağıdaki belirtilen değerlerdedir.
(Debi 100.000 m³/gün):

Giriş

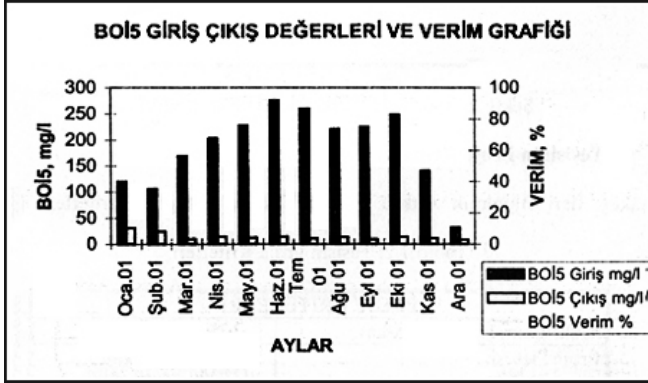
BOİ : 161mg/lt
AKM : 177 mg/lt
Fosfor : 5 mg/lt
Azot : 27 mg/lt
olarak alınmıştır.

Çıkış

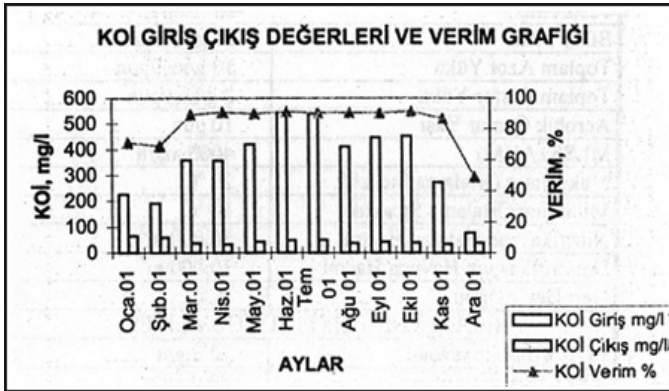
BOİ : 20 mg/lt
AKM : 30 mg/lt
Fosfor : 2 mg/lt
Azot : 10 mg/lt

2001 yılı günlük ortalama debisi 37.499 m³/ gün olup; Şekil 7.35’de 2001 yılındaki BOİ₅ değişimi, Şekil 7.36’da KOİ değişimi, Şekil 7.37’de AKM’deki, Şekil 7.38’de Azot, Şekil 7.39’da da Fosfor parametresindeki değişim ve elde edilen verimler gösterilmiştir.

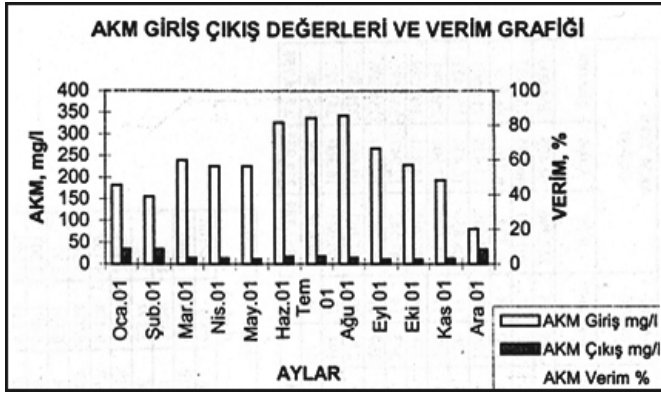
Tablo 7.3.’de ise Paşaköy İleri Biyolojik Arıtma Tesisinin 2011 yılındaki kirletici yüklerinin giriş çıkış yük değerleri ile giderim miktarları verilmiştir.



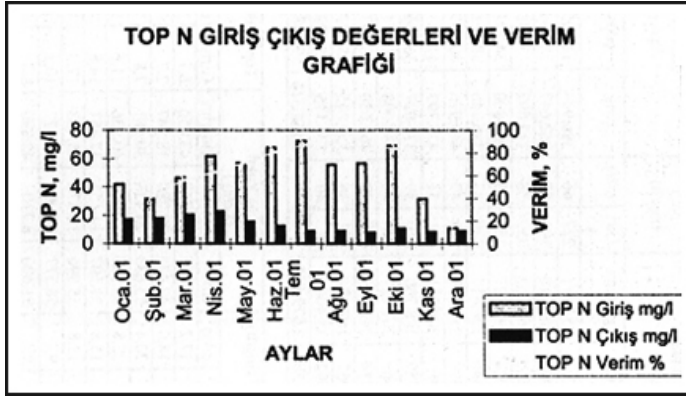
Şekil 7.35. 2001 Yılı BOİ₅ Grafiği



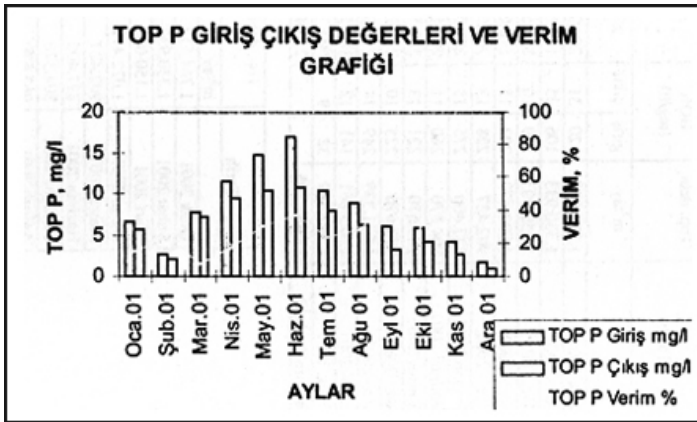
Şekil 7.36. 2001 Yılı KOİ Grafiği



Şekil 7.37. 2001 Yılı AKM Grafiği



Şekil 7.38. 2001 Yılı Toplam Azot Grafiği



Şekil 7.39. 2001 Yılı Toplam Fosfor Grafiği

Tablo 7.3. Paşaköy Biyolojik Atıksu arıtma Tesisi 2001 yılı Aylık Giriş Çıkış Değerleri ve Giderimleri

Tarih	Top. debi		BOİ ₅ (mg/lt)		BOİ ₅ Yüklü (kg/ay)		KOİ (mg/lt)		KOİ Yüklü (kg/ay)		AKM (mg/lt)		AKM Yüklü (kg/ay)	
	m ³ /ay	Giriş	Çıkış	Giderim	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
Ocak 2001	1.764.572	120	31	209.203	55.532	153.671	227	66	396.934	117.050	279.884	182	35	327.396
Şubat 2001	1.330.933	106	25	141.654	32.744	108.910	191	59	262.647	78.890	183.756	155	34	201.631
Mart 2001	1.150.003	170	10	179.522	10.560	168.962	359	38	117.892	13.548	104.344	240	14	95.574
Nisan 2001	1.022.472	203	15	210.611	16.024	194.587	357	33	369.800	34.294	335.506	226	13	227.036
Mayıs 2001	902.427	228	13	208.057	11.640	196.417	420	43	386.246	38.768	347.478	226	11	208.856
Haziran 2001	827.400	275	15	227.503	12.596	214.907	545	49	449.976	40.397	409.579	328	17	270.689
Temmuz 2001	804.370	260	11	209.150	8839	200.311	541	51	437.797	41.303	396.494	338	18	276.792
Ağustos 2001	963.670	221	13	201.509	12.759	188.750	410	39	375.027	36.666	338.361	343	14	347.542
Eylül 2001	973.670	225	10	217.293	9.366	207.927	446	43	432.008	41.274	390.734	267	11	264.387
Ekim 2001	1.031.339	249	14	257.020	14.774	242.246	452	39	465.630	40.883	424.746	229	10	237.163
Kasım 2001	1.323.861	141	12	182.391	14.957	167.434	273	36	350.245	45.872	304.373	194	12	260.083
Aralık 2001	1.592.489	32	9	50.998	15.592	35.406	78	40	124.115	65.038	59.076	81	34	134.638
Toplam(Yıllık)	13.687.205			2.294.911	215.383	2.079.527			4.168.316	593.985	3.574.331			2.851.789
														227.033
														2.574.755

Tarih	Top. debi		Top N (mg/lt)		Top N Yüklü (kg/ay)		Top P (mg/lt)		Top P Yüklü (kg/ay)	
	m ³ /ay	Giriş	Çıkış	Giderim	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
Ocak 2001	1.764.572	42,0	17,2	73.398	30.342	43.056	6,7	5,7	11.719	9.874
Şubat 2001	1.330.933	31,4	18,0	42.435	24.288	18.147	2,7	2,1	3.734	2.929
Mart 2001	1.150.003	46,6	20,4	53.638	23.456	30.181	7,8	7,1	2.736	2.394
Nisan 2001	1.022.472	61,9	22,8	63.350	23.313	40.036	11,6	9,5	11.929	9.730
Mayıs 2001	902.427	56,9	15,8	51.507	14.155	37.351	14,8	10,4	13.617	9.478
Haziran 2001	827.400	67,9	12,8	55.996	10.573	45.423	17,0	10,7	14.203	8.958
Temmuz 2001	804.370	72,9	9,1	58.577	7.400	51.177	10,3	7,9	8.309	6.331
Ağustos 2001	963.670	55,9	9,1	51.600	8.710	42.890	8,8	6,3	8.360	6.057
Eylül 2001	973.670	56,8	8,0	54.272	7.694	46.578	6,1	3,2	5.940	3.103
Ekim 2001	1.031.339	69,2	10,9	71.308	11.293	60.015	5,9	4,1	6.134	4.237
Kasım 2001	1.323.861	31,7	8,6	41.086	11.328	29.758	4,2	2,6	5.498	3.426
Aralık 2001	1.592.489	11,0	9,0	17.618	14.257	3.361	1,6	1,0	2.610	1.601
Toplam (Yıllık)	13.687.205			634.784	186.809	447.975			94.789	68.120
										26.669

8. ÇAMUR TASFİYE VE UZAKLAŞTIRMA

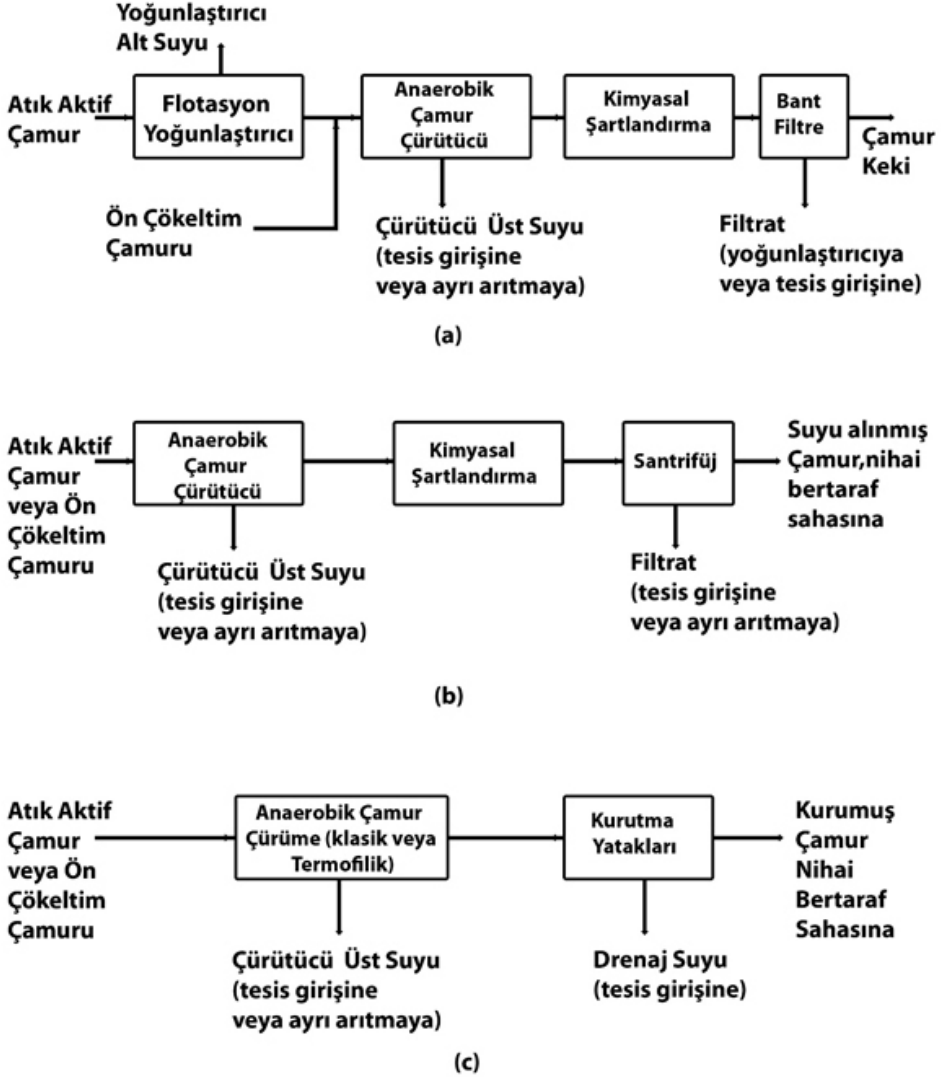
8.1. ÇAMUR TASFİYE METODLARI

Çamur tasfiyesi, arıtma tesisleri bünyesindeki en karmaşık kısımlardan birisidir. Atıksu tasfiyesinde ortaya çıkan çamur miktarı, atıksuyun % 1 ila % 6'sı gibi düşük bir yüzdesini teşkil etmekle beraber, çamur tasfiye ünitelerinin yatırım bedeli toplam sistem maliyetinin % 30-40'ı, işletme maliyeti ise bütün işletme maliyetinin % 50'si civarındadır. Bu yüzden en uygun çamur tasfiye metodunun seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Şekil 8.1.'de çamur tasfiye ve uzaklaştırmada kullanılan metodlar görülmektedir.

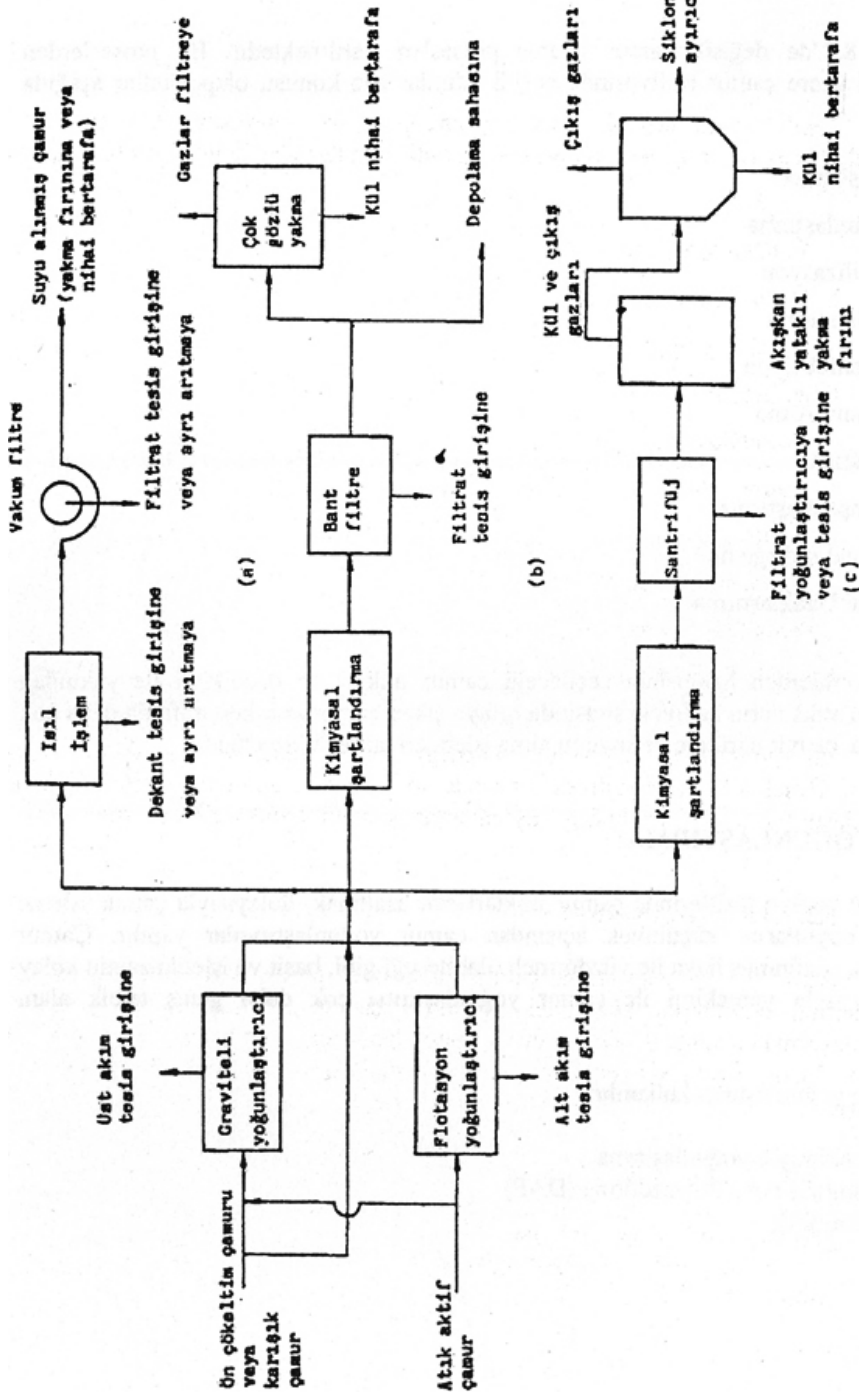
Kullanılmış su çamurunun miktarı ve vasıfları tatbik edilen tasfiye metoduna bağlıdır. Çamurlarda katı madde muhtevası ve miktarları önemlidir. Tablo 8.1 'de değişik işlemlerden çıkan çamurların katı madde muhtevaları verilmiştir.

Tablo 8.1. Çamurların Katı Madde Miktarı, Su Muhtevaları ve Çamur Debileri

Çamur Çeşidi	Katı Madde Miktarı gr/N.G.	Katı Madde Muhtevası %	Su Muhtevası %	Çamur Debisi lt/N.G.
Ön Çöktürme Çamuru	54	2.5	97.5	2.2
Yoğunlaştırılmış ön çök. çamuru	54	5.0	95.0	1.1
Biyolojik fazla çamur (A.Ç) (Son çöktürmeden) Düşük yüklü Yüksek hızlı	20-35 30-40	0.5-1 0.7	99.0-99.5-99.3	4.3
Ön çök. çamuru + biyolojik fazla çamur (A.Ç)	84	2.5	97.5	3.4
Ön çök.çamur + biyolojik fazla çamur (A.Ç) Yoğunlaştırmadan sonra	84	4.5	95.5	1.9
Çürütülmüş çamur (Ön çök.+biyolojik fazla çamur)	50	7-10	90-93	0.5-0.8
Damlatmalı filtre son çöktürme havuzu çamuru (Düşük hızlı) (Yüksek hızlı)	13 25	8 5	92 95	0.16 0.50
Ön çök. çamuru + damlatmalı Filtre son çök.çamuru (yüksek) yoğunlaştırmadan sonra	79 79	5 7	95 93	1.55 1.33



Şekil 8.1- a. Biyolojik Stabilizasyon ve Üç Farklı Su Alma İşleminin Uygulandığı Çamur Arıtma Diyagramı;
a) Bant Pres, b) Santrifüj, c) Kurutma Yatakları



Şekil 8.1-b. Biyolojik Olmayan Çamurlar İçin Tipik Akım Diyagramları;
a) Isıl İşlem ve Vakum Filtre ile Su Alma, b) Çok Gözlü Fırında Yakma,
c) Akışkan Yataklı Fırında Yakma

Şekil 8.2.'de değişik çamur işleme prosesleri verilmektedir. Bu proseslerden görülebileceği üzere çamur tasfiyesinde çeşitli adımlar söz konusu olup, bunlar aşağıda verilmiştir:

- Ön İşlemler
- Yoğunlaştırma
- Stabilizasyon
- Şartlandırma
- Dezenfeksiyon
- Suyunu Alma
- Kurutma
- Kompostlaştırma
- Termal İndirgeme
- Nihai Uzaklaştırma

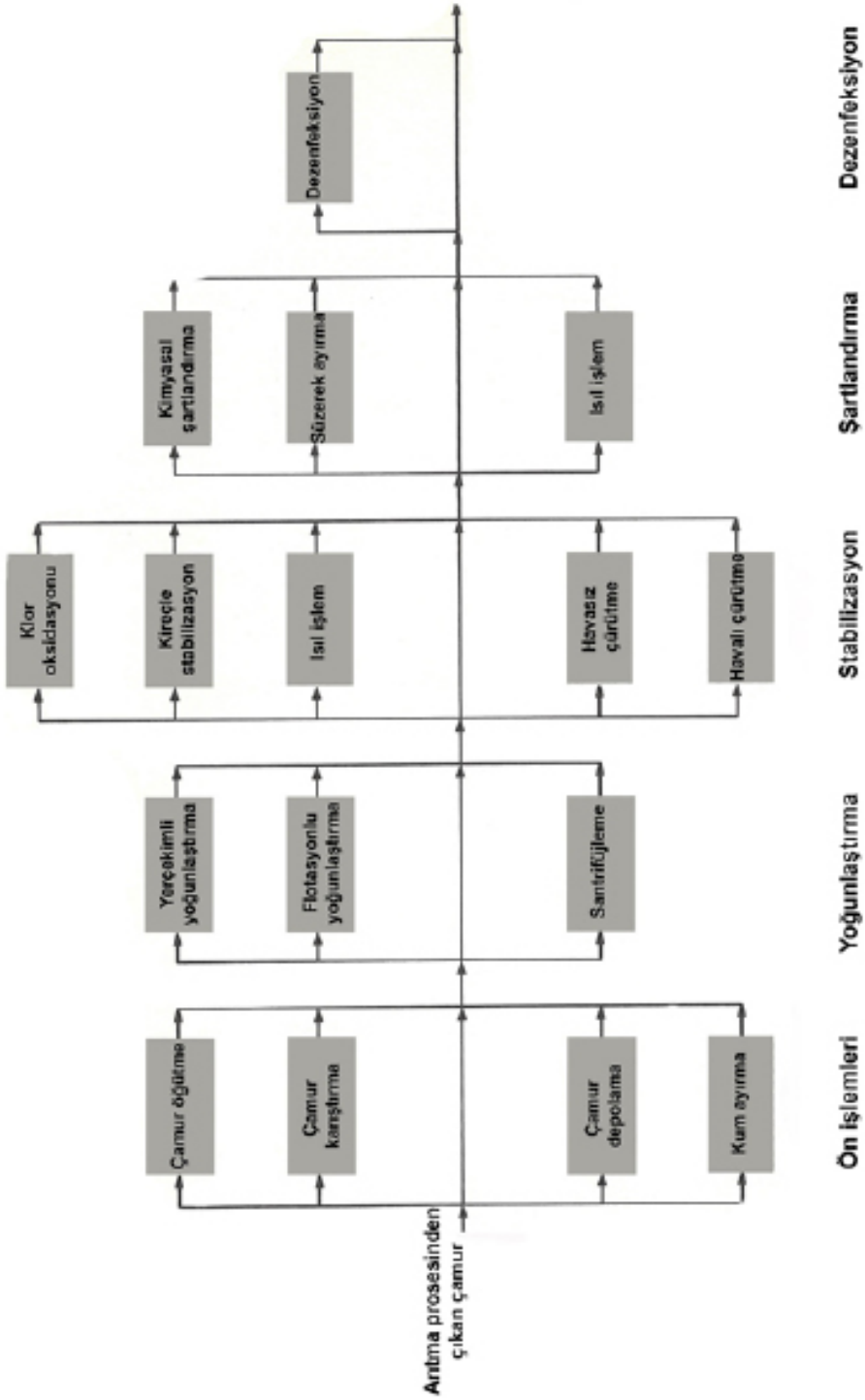
Bu işlemlerden hangisinin seçileceği çamur miktar ve özellikleri ile yakından ilgilidir. Evsel atıksuların tasfiyesi sırasında ortaya çıkan çamurların bertarafında daha çok yoğunlaştırma, çamur çürütme ve suyunu alma işlemleri tatbik edilmektedir.

8.2. YOĞUNLAŞTIRMA

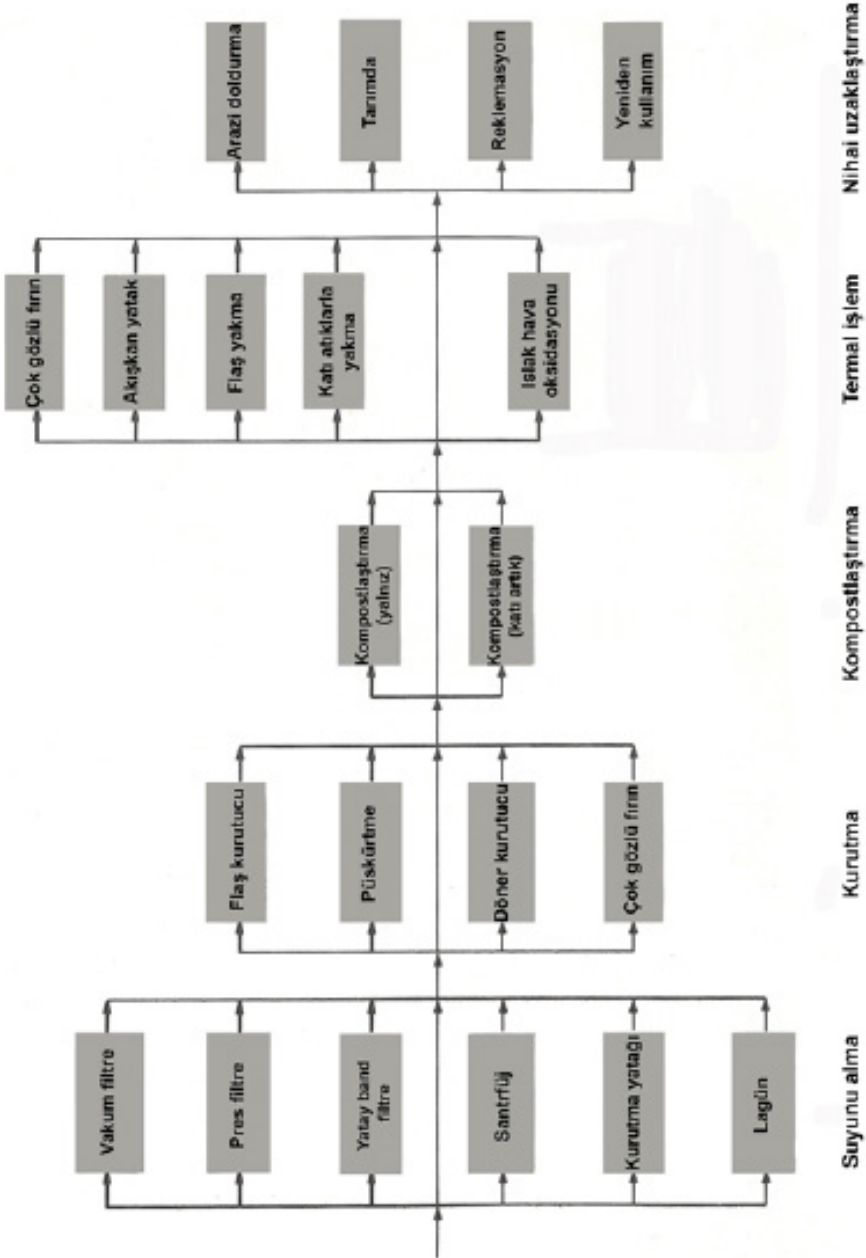
Atıksu tasfiye tesislerinde çamur miktarlarını azaltmak, dolayısıyla çamur işleme birimlerinin boyutlarını küçültmek açısından çamur yoğunlaştırıcılar yapılır. Çamur yoğunlaştırma çözünmüş hava ile yüzdürmeli olabileceği gibi, basit ve işletilmesinin kolay olması dolayısıyla yerçekimi ile çamur yoğunlaştırma çok daha geniş tatbik alanı bulmuştur.

Üç tip yoğunlaştırıcı kullanılır.

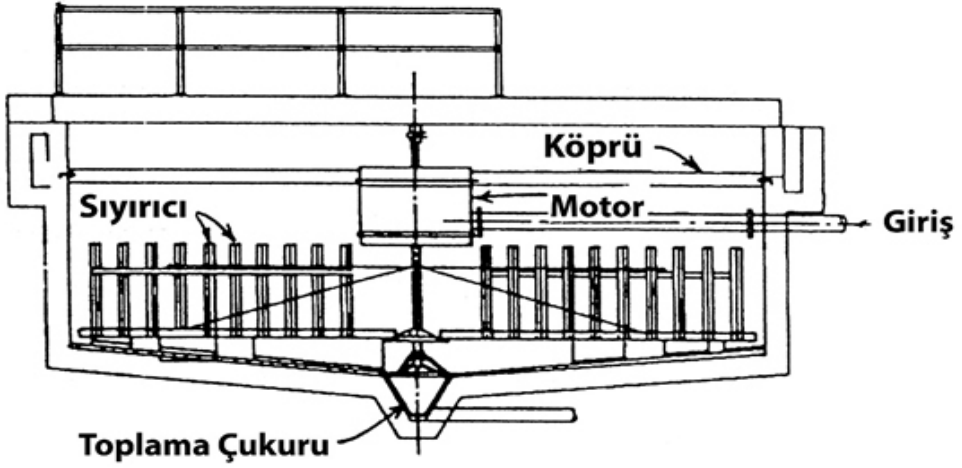
- Yerçekimiyle yoğunlaştırma
- Çözünmüş hava ile yüzdürme (DAF)
- Santrifüj ile



Şekil 8.2. Çamur Tasfiye ve Uzaklaştırmada Kullanılan Metotlar



Şekil 8.2. Çamur Tasfiye ve Uzaklaştırmada Kullanılan Metodlar (devam)



Şekil 8.4. Çamur Yoğunlaştırıcı Kesiti

Yoğunlaştırıcılar için yüzey yükü, katı madde yükü ve bekletme müddeti boyutlandırma kriterleri olarak dikkate alınmaktadır. Çamur yoğunlaştırıcılarda katı madde yükü biyolojik fazla çamur için 20-30 kg/m².gün arasında seçilmektedir. Yoğunlaştırma havuzlarında bekletme müddeti 0.5 ila 2.0 gün arasında alınmaktadır.

8.3. ÇAMUR ÇÜRÜTME (STABİLİZASYON)

Çamur çürütme işlemi

1. Anaerobik (havasız)
2. Aerobik (havalı)

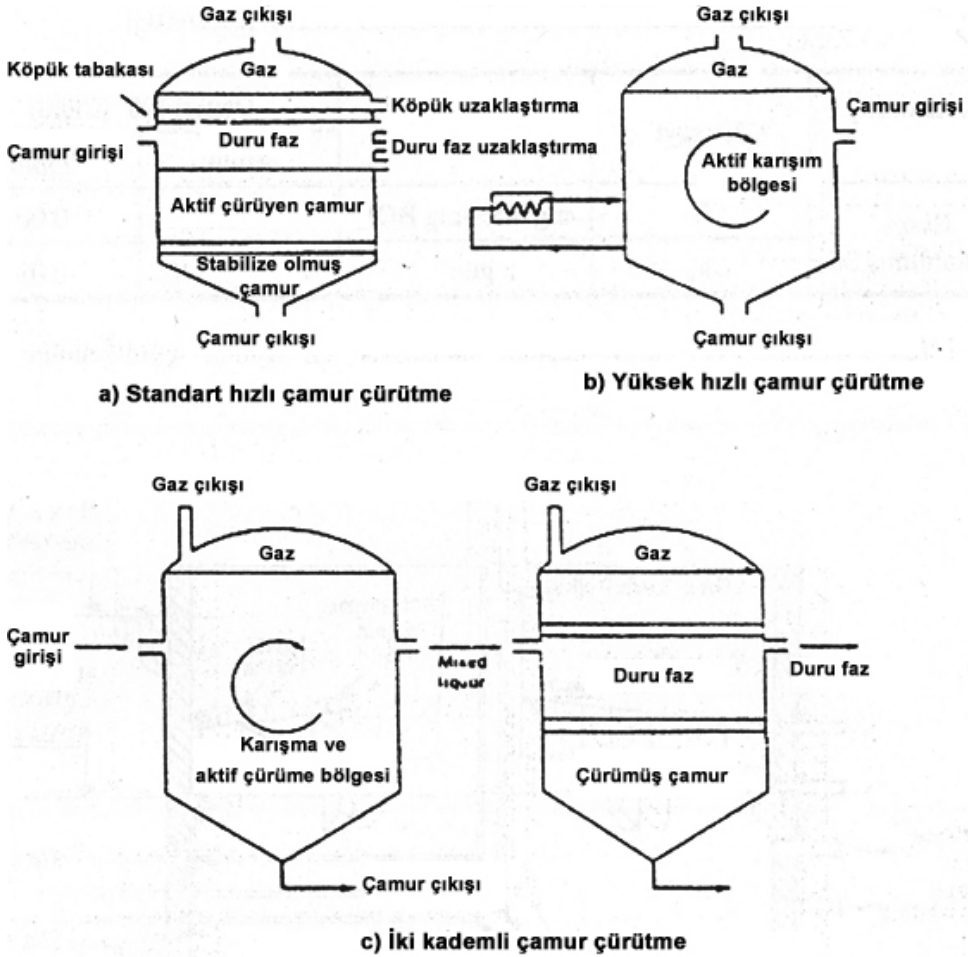
olmak üzere iki şekilde yapılabilir.

8.3.1. Havasız Çamur Çürütme

Anaerobik çürütmede ön çöktürme ve biyolojik çamurların organik maddeleri anaerobik şartlar altında metan (CH₄) ve CO₂'ye dönüştürülür. Çürütücüler, standart ve yüksek hızlı olmak üzere iki çeşittir. Standart hızlı çürütücüler genellikle ısıtılmaz ve karıştırılmaz, bekleme süresi 30 ila 60 gün arasında değişir. (Şekil 8.5 a)

Yüksek hızlı çürütücüler ise genellikle ısıtılır ve iyi bir şekilde karıştırılır. Gerekli bekleme süresi 15 gün, hatta daha azdır. (Şekil 8.5 b).

Bu iki esas işlemin birleşmiş şekli, iki kademeli proses olarak bilinir. (Şekil 8.5 c).



Şekil 8.5. Çürütücülerin Kesiti

Metan gazı teşekkülü için ortamda çözünmüş oksijen olmamalı ve metanojenik bakteriler için zararlı olacak derecede yüksek konsantrasyonda ağır metal ve sülfid gibi kirleticiler olmamalıdır. Keza pH 6.6 - 7.6 civarında olmalıdır. pH = 6.2'nin altına düşmemelidir. Zira metan bakterileri bu değerin altında faaliyet göstermez. Ayrıca azot ve fosfor gibi besin maddeleri, bakteri topluluğunun büyümesi bakımında yeterli olmalıdır. Sıcaklık, bir diğer mühim parametredir. En uygun sıcaklıklar mesofilik (mesophilic) için 30 - 38 °C, ve termofilik için 49-57 °C dir.

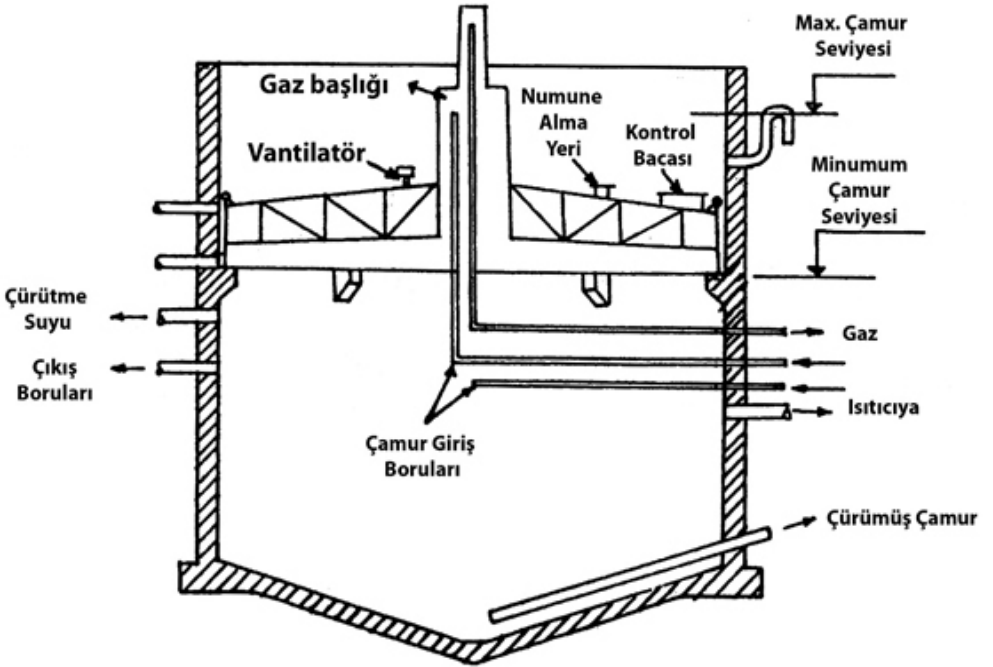
Yüksek hızlı çamur çürütücülerde katı madde yükü, klasik çamur çürütücülere nazaran çok daha büyüktür. Çamur, tank içinde gaz, pompa vs. yardımıyla karıştırılır ve optimum sıcaklığa ulaşmak için ısıtılır.

Anaerobik çürütmenin tipik kinetik katsayıları Tablo 8.3'de verilmiştir.

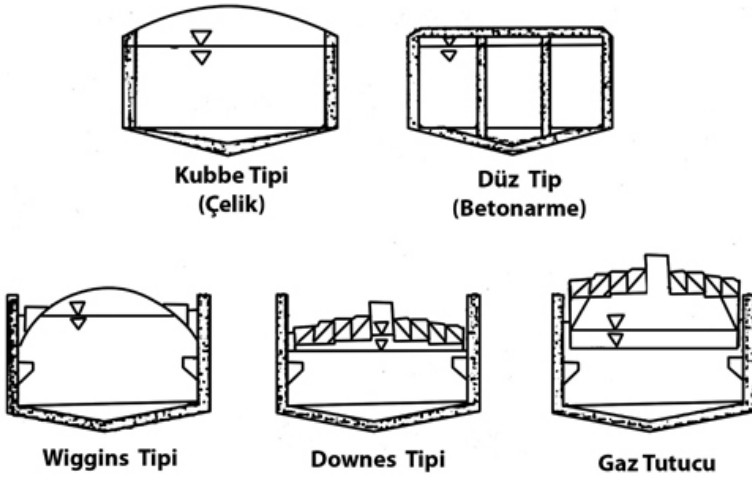
Tablo 8.3. Anaerobik Çamur Çürütmede Kinetik Katsayıları

Kullanılmış Su Cinsi	Katsayı	Birimi	Değeri (20 °C için)	
			Aralık	Tipik
Evsel Kullanılmış Su	Y	mg VSS/mg BOI ₅	0.040 - 0.100	0.06
	k _d	gün ⁻¹	0.020 - 0.040	0.03

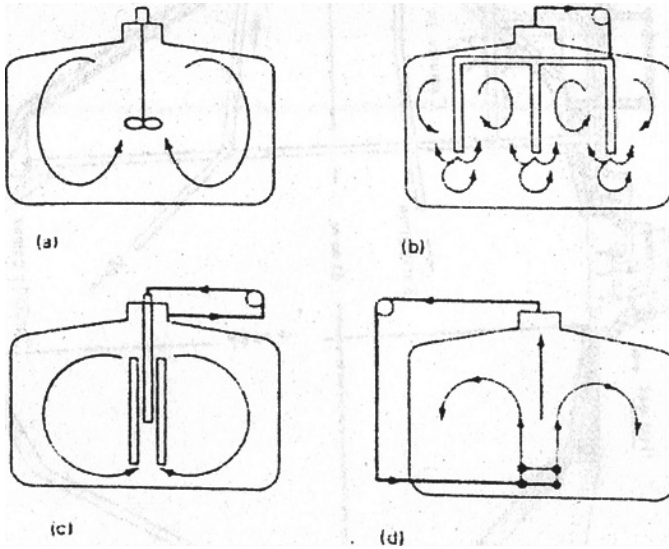
Tek kademeli ve yüzer kapaklı anaerobik bir çamur çürütücünün kesiti Şekil 8.6.'da görülmektedir.

**Şekil 8.6.** Tek Kademeli ve Yüzer Kapaklı Anaerobik Bir Çamur Çürütücünün Kesiti

Anaerobik çamur çürütücülerinin farklı tipleri Şekil 8.7'de, çürütücü içindeki farklı karışım tipleri ise Şekil 8.8'de gösterilmiştir.

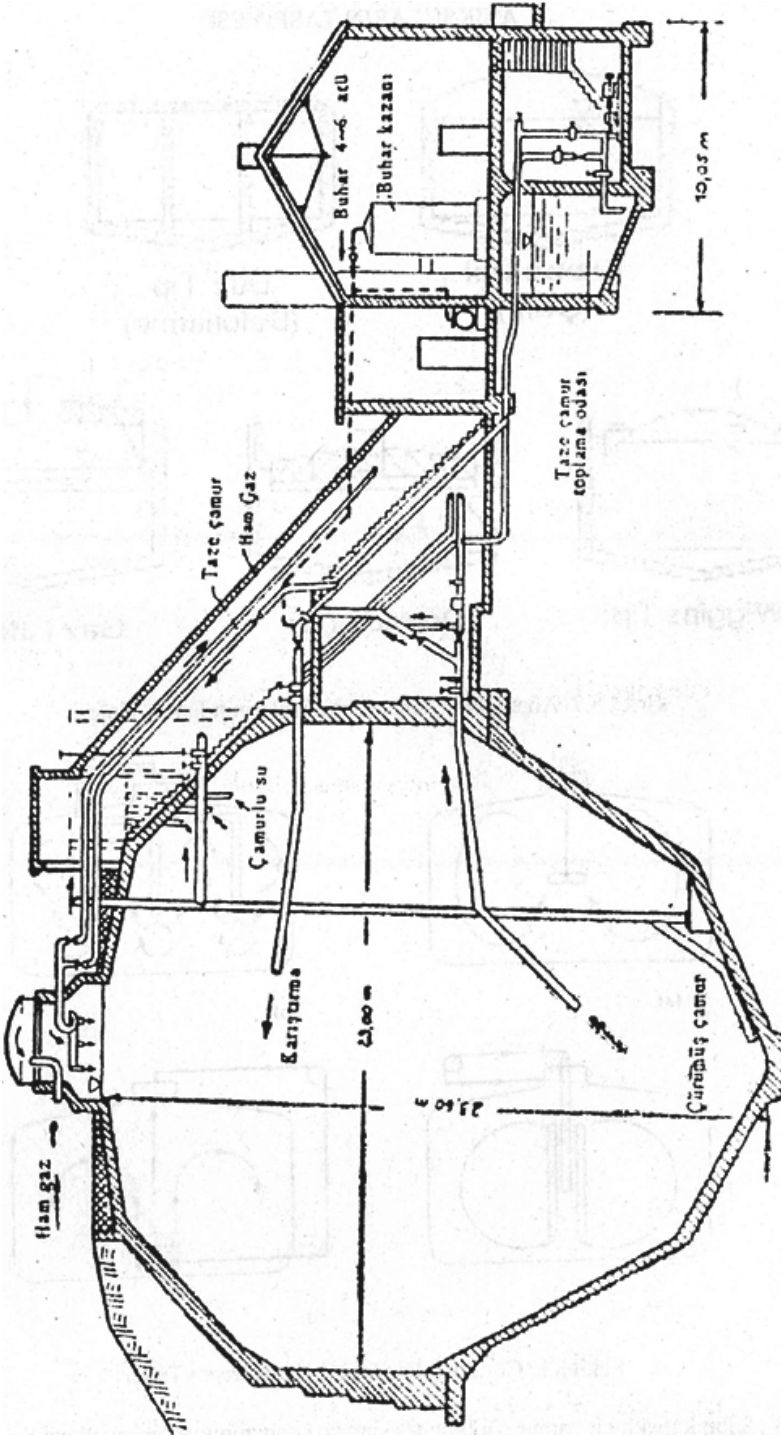


Şekil 8.7. Anaerobik Çamur Çürütücülerinin Farklı Tipleri



Şekil 8.8. Çürütücü İçindeki Farklı Karışım Tipleri

Sabit kapaklı bir çamur çürütme tesisinde ısı donanımı ve terfi merkezi Şekil 8.9’da görülmektedir.



Şekil 8.9. Sabit Kapaklı Bir Çamur Çürütme Tesisinde Isı Donanımı ve Terfi Merkezi

8.3.2. İki Kademeli Çamur Çürütücüler

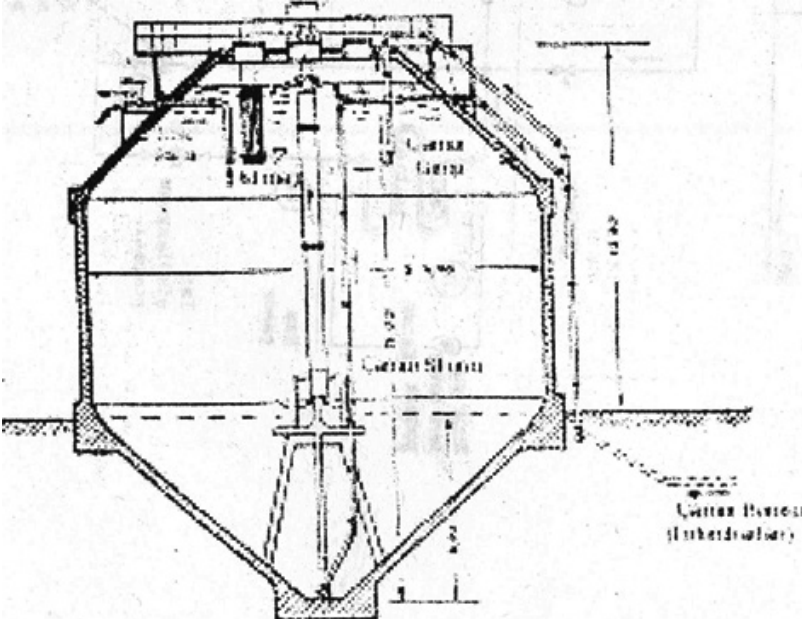
İki kademeli çamur çürütme işleminde, ilk tank çürütme için kullanılır. Bu tank ısıtılır ve aşağıdaki karıştırma tertibatlarının biri veya birkaçı ile donatılır.

1. Çamur geri devir tulumbaları
2. Kısa karıştırma tüpleri kullanılarak gaz yardımıyla karıştırma
3. Mekanik karıştırıcılar

İkinci tank biriktirme ve çürütülmüş çamuru yoğunlaştırma ve daha iyi durulanmış su elde etmek için kullanılır. Bu iki tank açık havuz olabilir. Isıtılmasız tank veya çamur lagünleri şeklinde de yapılabilir.

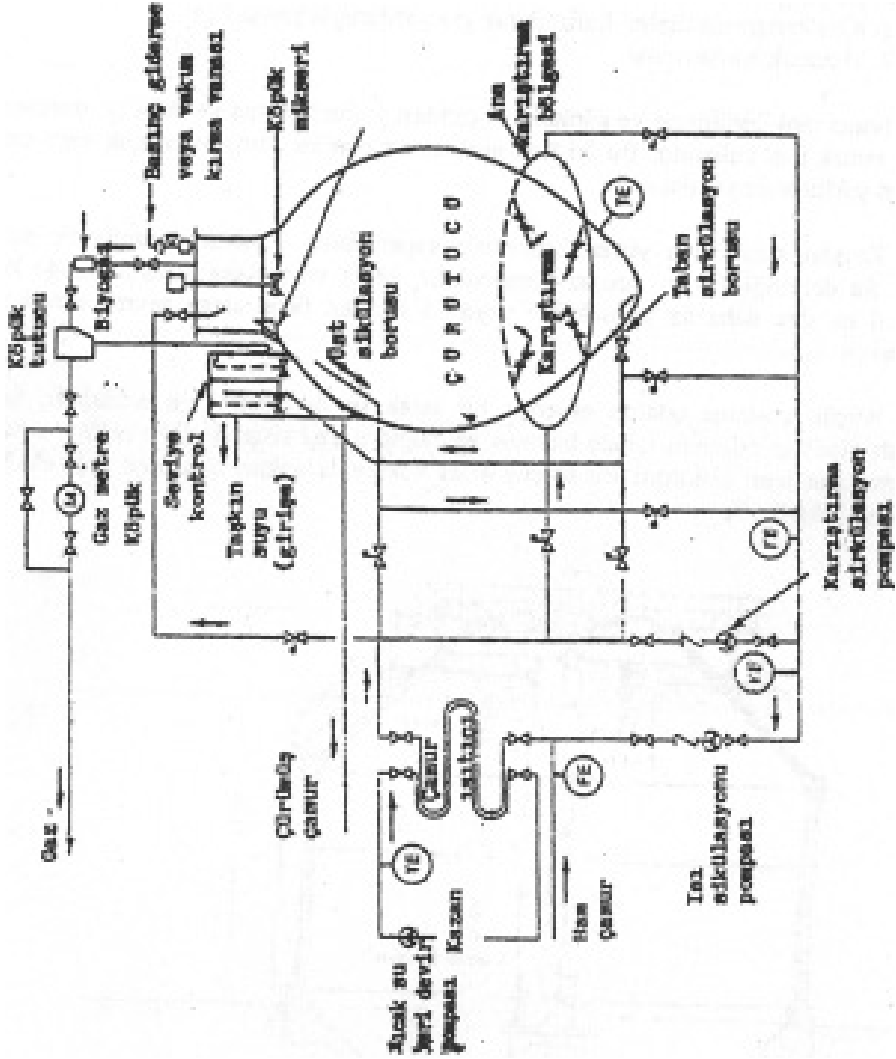
Tanklar sabit veya yüzen kapaklarla kapatılabilir. Tanklar umumiyetle dairevi yapılırlar. Su derinliği 7.5 m. den az olmamalıdır. 14 m veya daha fazla derinliğe kadar olabilir. 6 m. den daha az yükseklikte veya 35 m. den fazla çapta seyrek olarak inşa edilirler.

Küçük çürütme odaları ekseriye bir sıcak su devridaimi ile ısıtılabilir. Isıtma teçhizatı çürütme odasının içinde bulunur ve dalgıç ısıtma sistemi gibi çürütme odasının üst kısmından içeri sarkıtılır. Bu suretle arıza vukuunda yukarı çekilerek dışarıda tamir edilebilir (Şekil 8.10).



Şekil 8.10. Sabit Kapaklı Bir Çamur Çürütücünde, Tankın Muhteviyatının Tesisin İçine Konan Pompalarla Karıştırılması

İki kademeli çamur çürütme tesisine ait kesit Şekil 8.11.'de verilmiştir.



Şekil 8.11. İki Kademeli Modern Bir Çamur Çirütleme Tesisi

Çürütme odası hacminin hesabı çürütme süresine, nüfus ve katı madde veya organik madde yüküne göre yapılır. Tablo 8.4.'de boyutlandırma kıstasları verilmiştir.

Tablo 8.4. Çürütme Tanklarının Boyutlandırma Kriterleri

	Imhoff Havuzu	Çürütme Odası	
	lt/N	Isıtmalı, 30°C lt/N	Isıtmasız, 10°C lt/N
Çürütme Havuzu	50	20-30	110-150
Aktif Çamur Tesisi			
Düşük Hızlı	100	35-55	120-220
Yüksek Hızlı	150	40-60	190-320
Damlatmalı Sistem			
Düşük Hızlı	75	25-40	125-180
Yüksek Hızlı	100	30-45	150-200

Isıtmalı çürütme odalarında ortalama katı madde yükü 1.25 kg/m³.g, ısıtmasız çürütme odalarında 0.34 kg/m³.g alınmaktadır. Çöktürme havuzundan alınan taze çamurun miktarı 54 g/N.G. ve katı maddesinin % 70'i organik madde kabul edilebilir.

Çamur çürütme odaları ekseriye iki kademeli olarak yapılmaktadır. Bunlardan ilk kademe kapalı ısıtmalı çürütme odası şeklinde olmaktadır. Böyle bir ısıtmalı çürütme odasında 30°C sıcaklıkta bekleme müddeti 15 gün alınmaktadır.

1. Kademe çürütme odalarının boyutlandırılmasında şu değerler alınabilir.

Çöktürme Havuzu çamuru 15 lt/N

Aktif Çamur Tesisi

Düşük Hızlı 30 lt/N

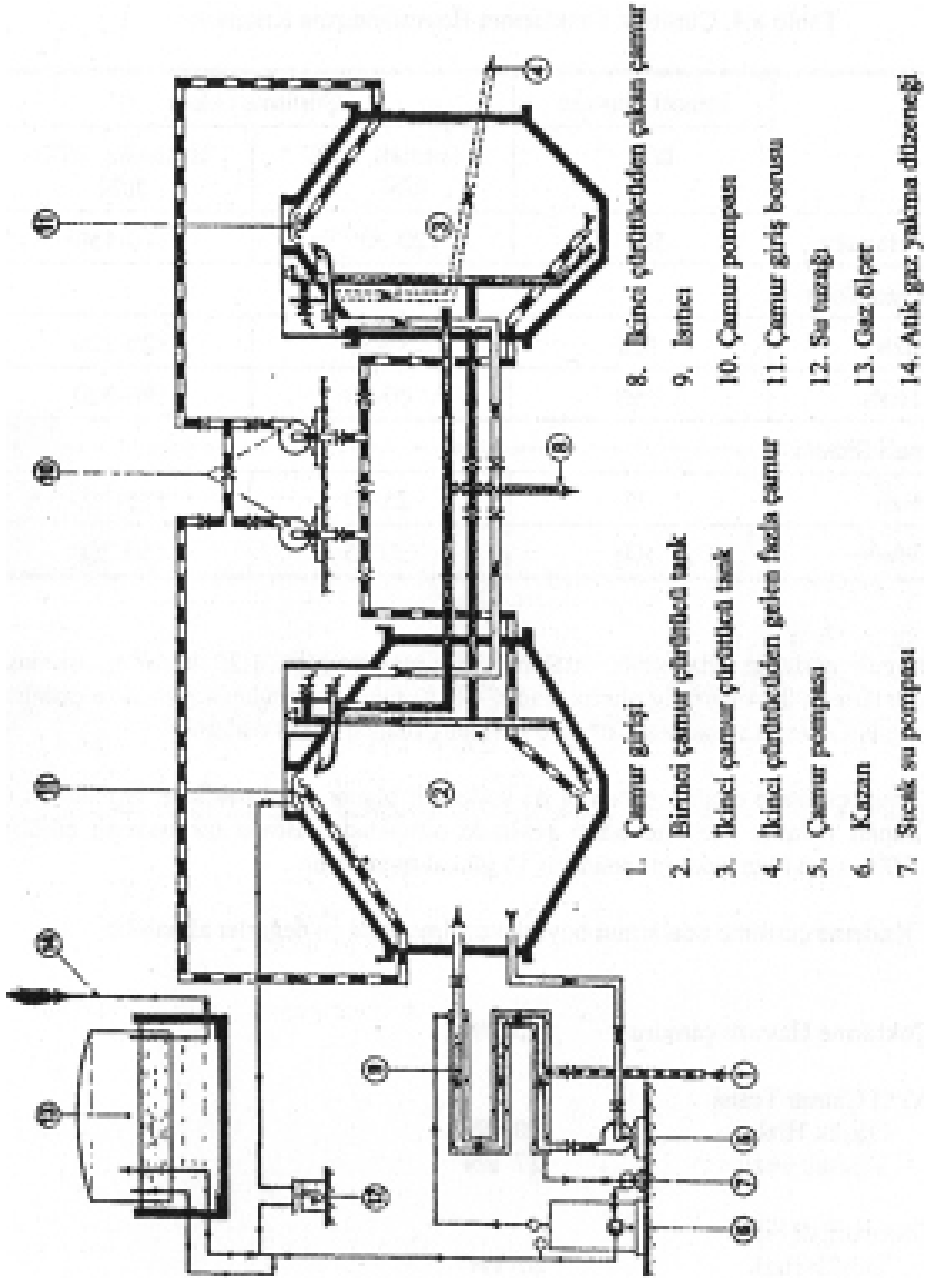
Yüksek Hızlı 27 lt/N

Damlatmalı Filtre

Düşük Hızlı 20 lt/N

Yüksek Hızlı 22 lt/N

Şekil 8.12'de hidrolik karışımli iki kademeli çamur çürütücünün akış diyagramını göstermektedir.



Şekil 8.12. Hidrolik Karışım İki Kademeli Çamur Çürütücünün Akış Diyagramı

Sürekli akımlı ve karışımli çürütme odalarındaki bekleme müddetleri ise Tablo 8.5’de gösterilmiştir.

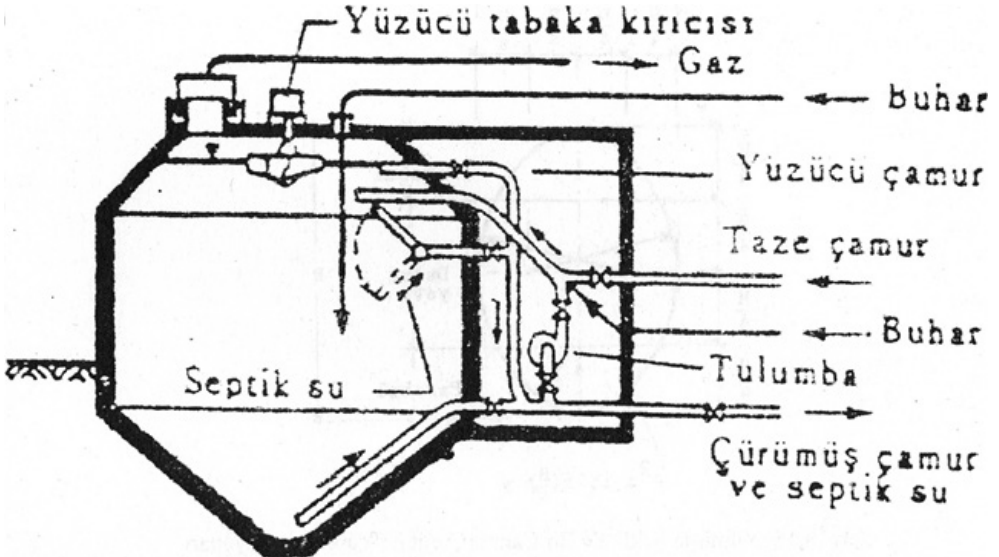
Tablo 8.5. Çamur Çürütücülerin Bekletme Süreleri

İşletme Sıcaklığı °C	Nazari Bekleme Müddeti θ^m_c , gün	Emniyetli Olarak Bekletme Müddeti θ_c
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

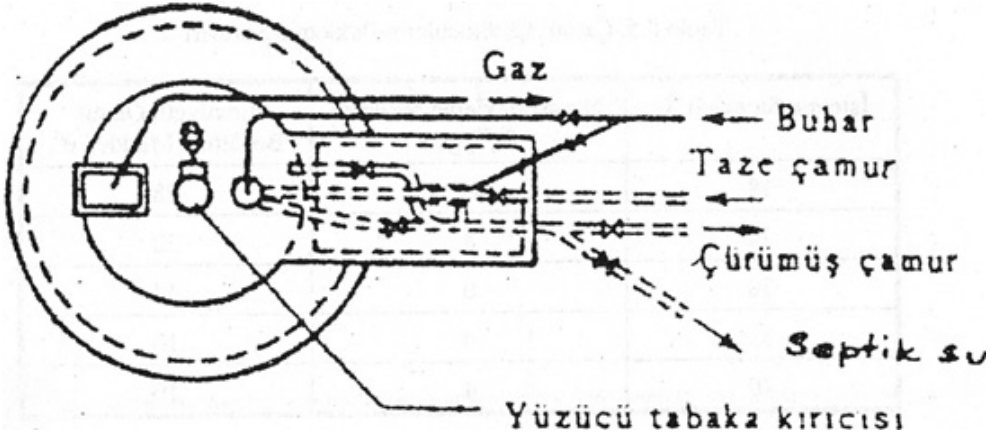
$$\text{Emniyet faktörü, (SF)} = \frac{\theta_c}{\theta^m_c} \cong 2 \sim 2,5$$

Sürekli akımlı ve tam karışımli (geri devirsiz) reaktörlerde $\theta_c = \theta_{dir}$.

Mineralize olmuş katı maddelerin çökmesi için çürütme odalarının tabanına kafi eğim verilmelidir. Şekil 8.13.’de çürütme yapısının kesiti, Şekil 8.14.’de ise planı görülmektedir.

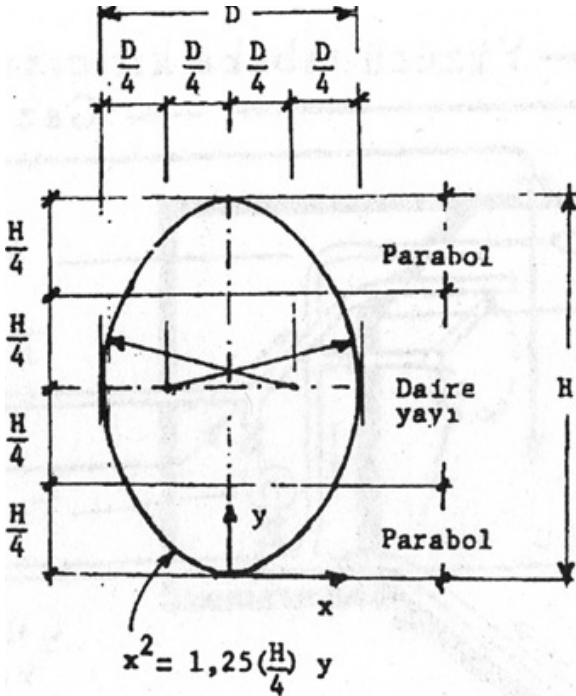


Şekil 8.13. Çürütme Yapısının Kesiti

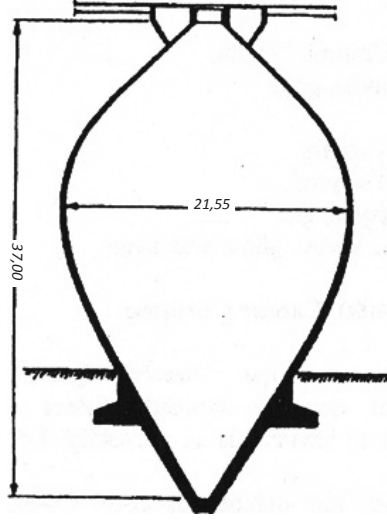


Şekil 8.14. Çürütme Yapısının Planı

Çamur çürütme odaları, ısı kayıpları en düşük olacak ve statik bakımdan uygun şekillerde yapılır. Bu bakımdan minimum (asgari) yüzey altında maksimum (azami) bir hacme sahip olan biçim en uygundur. Bu şartları yumurta profil en iyi şekilde sağlar. (Şekil 8.15., Şekil 8.16.).



Şekil 8.15. Yumurta Şeklinde Bir Çamur Çürütme Yapısının Boyutları



Şekil 8.16. Yumurta Profile Sahip Sabit Kapaklı Ön Çürütme Tesisinin Kesiti

İki kademeli çürütme açık havuz şeklinde de olabilir. Böyle havuzlarda çürütme süresi takriben 40 gün alınabilir.

Yüksek hızlı damlatmalı filtreler için	65 lt/N
Aktif çamur tesisleri için	95 lt/N

Gaz miktarları

Aktif çamur tesislerinde ısıtmalı çürütme	30 lt/N.gün
Damlatmalı filtre tesislerinde ısıtmalı çürütme	25 lt/N.gün
Isıtma sistemi olmayan tesislerde	14 lt/N.gün

Metan Gazı Miktarı

$$CH_4 = (0.35 \text{ m}^3 / \text{kg}) E.Q.S_o (10^3 \text{ g/kg})^{-1} - 1.42 (P_x)$$

1 kg BOİ'den 0.35 m³ metan gazı ortaya çıkar.

k_d = Ölme hızı, zaman⁻¹

$$P_x = \frac{Y.Q (ES_o). \left(10^3 \frac{\text{g}}{\text{kg}}\right)^{-3}}{1 + k_d \cdot \Theta_c}$$

Burada;

P_x = Net Biyokütle Üretimi, kg/gün,

Y = Dönüşüm Katsayısı, gr/gr

Q = Debi, m³/gün

E - Stabilizasyonun verimi

S_o = Nihai Giriş BOI'si, g/m³

k_d = Ölme Hızı Katsayısı, gün⁻¹

θ_c = Çamur Bekleme Süresi, gün olarak alınır.

8.3.3. Havalı (Aerobik) Çamur Çürütme

Çamurların stabilizasyonu için “Aerobik Çamur Çürütme Sistemi” ile de yapılabilir. Bu havuzlarda çamurun havuzda kalma süresi 10-20 gün arasında seçilmektedir. Çamur çürütme havuzunda su yüksekliği 3-5 m arasında seçilebilir. Hava payı da 0.9-1.2 m alınabilir.

Bu havuzlarda uçucu katı madde yüklemesi 1.6-3.2 kg UKM/m³ gün arasında seçilmektedir.

8.3.3.1. Oksijen İhtiyacı

Aerobik çamur çürütücülerde oksijen ihtiyacı, okside edilen biyokütlenin 2.3 katı olarak alınmaktadır.

ÇAMUR KURUTMA YATAKLARI

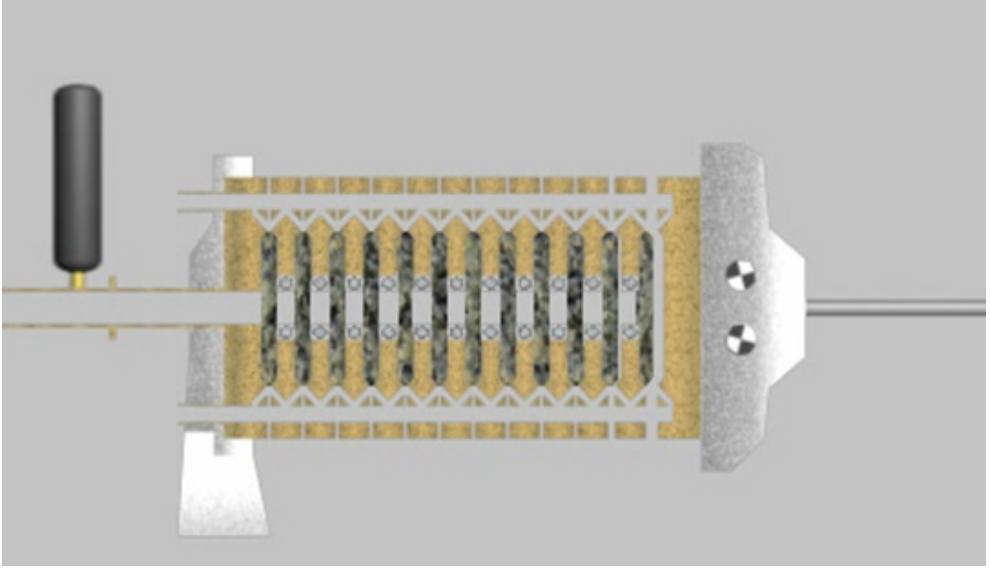
Çamurun nihai uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak bakımından katı madde muhtevasının artırılması veya su muhtevasının azaltılması, yani suyunun alınması gerekmektedir. Çamurun suyunun alınmasından aşağıdaki faydalar temin edilmektedir.

- a) Çamurun su muhtevası azaldığında hacmi de azalacağından nihai uzaklaştırma sahasına nakil masrafı azalır.
- b) Kürek, kepçe, nakil bandı, traktör gibi vasıtalarla taşınabildiğinden sıvı haldeki çamura göre daha kolay nakledilebilir.
- c) Yakma bahis mevzuu olduğu zaman, su muhtevası azaldığından yakılması daha da kolaylaşır.
- d) Çamurun tamamen kokusuz olmasını ve ayrışmamasını temin eder.
- e) Nihai çamurun uzaklaştırılması için araziye serme durumunda, yeraltına sızarak yeraltı suyunun kirlenmesine engel olmak açısından, çamurun suyunun alınması faydalıdır.

Çürütme işleminden geçen çamurların suyunun alınması için;

- Çamur kurutma yatakları
- Çamur lagünleri
- Mekanik su alma işlemleri (pres filtresi, yatay bant filtre, vakum filtresi veya santrifüj) gibi sistemler kullanılabilir.

Vakum, pres ve yatay bant filtre gibi sistemler, makina ve teçhizat gerektiren, yetişmiş elemana ihtiyaç gösteren, aynı zamanda yatırım ve işletme maliyetleri çok yüksek olan sistemlerdir. Şekil 8.17’de bir pres filtrenin kesiti ve çalışma düzeneği görülmektedir. Şekil 8.18.’de ise pres filtre görülmektedir.

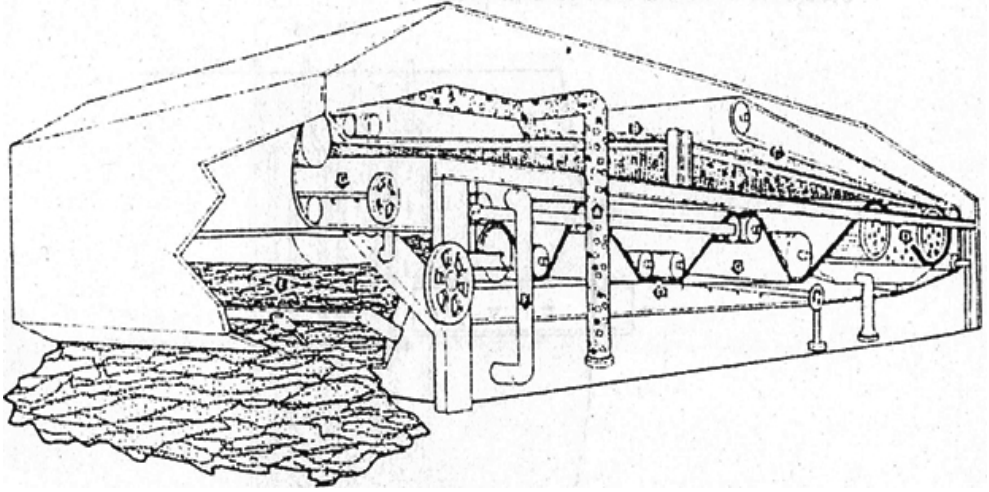


Şekil 8.17. Bir Pres Filtrenin Kesiti ve Çalışma Düzeneği



Sekil 8.18. Pres Filtre

Şekil 8.19 ise yerçekimi, vakum ve basınç etkisi altında çalışan çamur susuzlaştırma sistemi görülmektedir



Şekil 8.19. Yerçekimi, Vakum ve Basınç Etkisi Altında Çalışan Çamur Susuzlaştırma Sistemi

Kurutma yatakları ise inşa ve işletme kolaylığı ve nispeten düşük yatırım ve işletme maliyetleri sebebiyle, diğerlerine göre tercih edilmektedir. Bunların tek mahzurlu tarafı fazla alana ihtiyaç göstermeleridir. Ancak iklim 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 tercihen çamur yoğunlaştırıcılar da yapılabilir.

Çamur kurutma yatakları, çürütülmüş çamurun suyunu almak için kullanılır. Çamurlar 20-30 cm kalınlığında yataklara verilir ve kurumaya terk edilir. Kurumadan sonra çamur alınarak, çöplerin döküldüğü nizami depolama yerlerine dökülür veya gübre olarak kullanılır. Kuruduktan sonra çamurların sıyırılması elle veya makinalarla olabilir. Çamur kurutma yatakları bölmelerle birbirinden ayrılır, eğer kurumuş çamur elle sıyırılıyorsa kurutma yatağı genişliği < 6 m, makina ile sıyırılıyorsa < 12 m. olmalıdır. Uzunlukları ise < 50 m olması uygundur. İç bölmeler kalaslarla veya beton duvar ile yapılabilir. Arzu edildiği takdirde kurutma yatağının üzeri camekan veya benzeri şeylerle örtülebilir. Kötü çürümeden dolayı çıkması muhtemel kokulara karşı, çamur kurutma yatakları evlerden en az 100 m. uzakta olmalıdır. Dren borularının aralıkları 2.5 m. ile 6 m. arasında değişir.

Kurutma yatakları şekilde görüldüğü gibi kum ve çakıllarla teşkil edilir. Kum kalınlığı (ince+kaba) 230-300 mm arasında değişir. Üniformluk katsayısı $u < 4$ olmalıdır. $D_{ef} = 0.3 - 0.75$ mm olur. Çamur sıyrılırken üstten bir miktar kum da kurutulmuş çamurlarla birlikte uzaklaştırılır. Bu sebeple kum zaman zaman yenilenir.

Çürümüş çamur, kurutma yatağı üzerinde 20 cm civarında bir kalınlık teşkil etmesi uygun olur. Çamurun kuruma süresi iklime bağlıdır.

Çamur yataklarının alanı, iklime, yağış miktarına bağlı olarak değişir. Kurutma yatağı alanı, nüfusa bağlı olarak veya yıllık bir m^2 'ye gelen çamurun katı madde miktarına (kg katı madde / m^2 , yıl) bağlı olarak bulunabilir. Açık kurutma yataklarının alanlarının bulunmasında kullanılan değerler Tablo 8.6'da verilmiştir.

Tablo 8.6. Kurutma Yatakları Alan İhtiyacı

Çamur Cinsi	Alan ($m^2/1000$ kişi)	Çamur Yüğü (kg Katı madde / m^2 .yıl)
Çürütölmüş Ön Çöktürme Çamuru	90-140	120-200
Çürütölmüş Ön Çöktürme + Aktif Çamur	160-275	100-160

Netice olarak üstü açık kurutma yataklarında lüzumlu alan;

Sadece mekanik tasfiyede $0.050 m^2/N = 50 m^2/1000$ kişi

Damlatmalı filtrelerde $0.075 m^2/N = 75 m^2/1000$ kişi

Aktif çamur tesisi $0.150 m^2/N = 150 m^2/1000$ kişi alınabilir.

Çamur kurutma yataklarının alanı iklime, bilhassa yağış ve buharlaşmaya bağlı olarak değişmektedir. Kurutma yatağı, nüfus veya birim alan başına düşen yıllık katı madde yüğü cinsinden hesaplanabilir. Kurutma yataklarının plan ve şematik kesiti Şekil 8.20'de gösterilmiştir.

8.4.1. Kurutma Yatağı Alan İhtiyacının Hesabı

Kurutma yataklarının alan ihtiyacını bulmak için yatağı bir yılda kaç defa çamur serilebileceğinin bilinmesi gerekir. Bu ise kurutma yatağına giren ve çıkan su miktarlarının bilinmesiyle, yani madde korunum denklemleri yazılmak suretiyle bulunabilir.

Yıllık çamur serme sayısı T aşağıdaki ifadeden hesaplanabilir:

$$T = [f_c \cdot B - (1 - f_r) \cdot Y] / \{ L[(1 - k) - (1 - k) f_i - k(1 - k_s)/k_s] \}$$

T : Yıllık çamur serme periyodu, kere/yıl

L : Çamur serme kalınlığı, mm.

k : Serilen çamurun katı madde muhtevası,

k_s : Sıyrılan çamurun katı madde muhtevası,

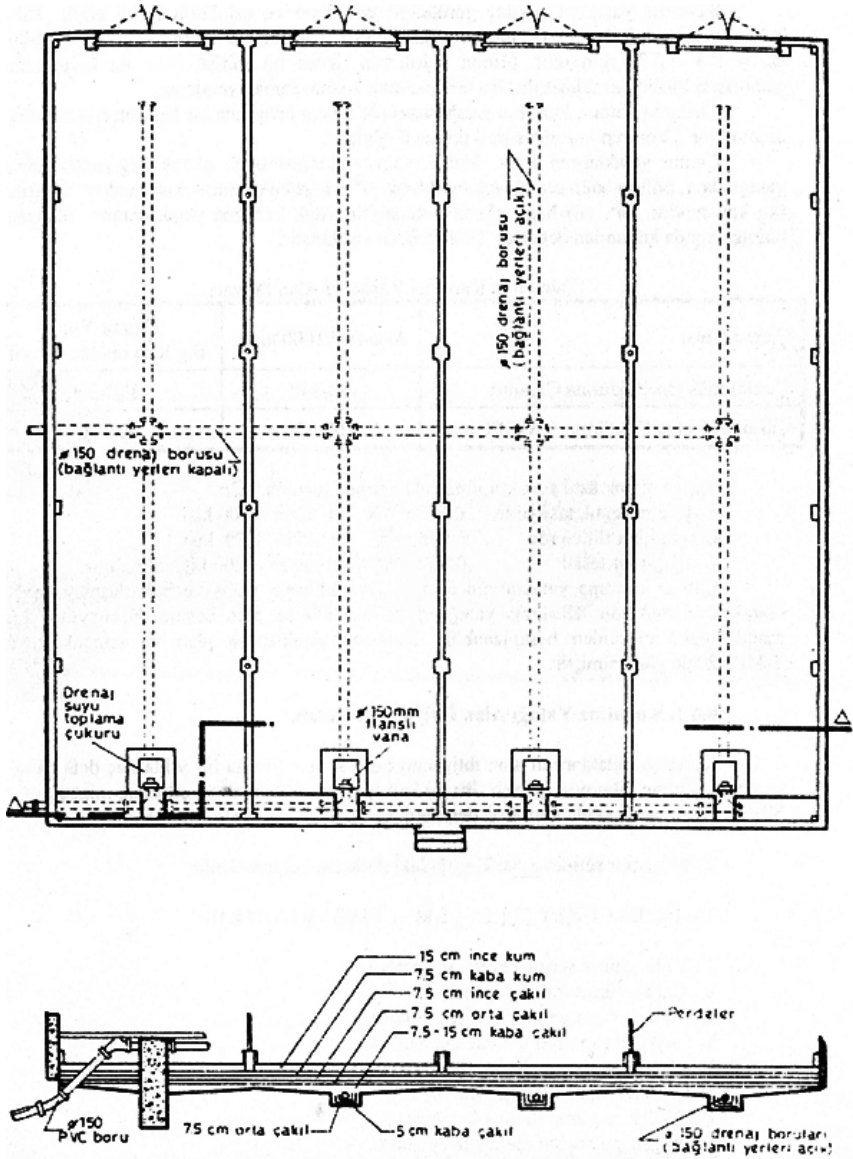
B : Yıllık ortalama buharlaşma, mm/yıl,

Y : Yıllık ortalama yağış, mm/yıl,

f_i : Serilen çamurun drene olan yüzdesi,

f_r : Yağan yağmurun drene olan yüzdesi,

f_c : Temiz su yüzünden buharlaşmanın çamur yüzeyinden olan buharlaşmaya oranı'dır.



Şekil 8.20. Tipik Bir Çamur Kurutma Yatağının Plan ve Kesiti

Elde edilen denklemlerin tatbik edilebilmesi için bölgenin yağış ve buharlaşma değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu değerler meteoroloji bülteninden alınmıştır.

Ortalama yağış miktarı $Y(\text{mm})$ yağışın uzun yıllar içindeki yıllık ortalamasıdır. $1.0 \text{ mm}'\text{lik}$ yağış, toprağın 1 m^2 'sine isabet eden bir kilogram yağış suyuna tekabül etmektedir.

Ortalama bularlaşma miktarı, (B) (mm) toprak yüzünden 2 metre yükseklikteki rasat siperi içinde bulunan Wild Evaporimetresi ile gölgede ölçülen buharlaşmanın yıllık ortalamasıdır.

Bazı yerleşim merkezlerinin yağış ve buharlaşma rasadları dikkate alınarak hesaplanan kişi başına lüzumlu kurutma yatakları Tablo 8.7'de gösterilmiştir. Bu şehir ve kasabalar için kişi başına gerekli kurutma yatağı alan ihtiyacı hesapları için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

Tablo 8.7. Anaerobik Çürümüş (Ön Çöktürme+Aktif Çamur Fazla Çamuru) İçin Kurutma Yatağı Alan İhtiyaçları

Yerleşim Merkezi	Kot (m)	Ort.Yıllık Buharlaşma B, (mm/yıl)	Ortalama Yıllık Yağış Y (mm/yıl)	Yılda Yatağı Kullanma Sayısı T, kere/yıl	Kişi Başına alan İhtiyacı a, m^2/N
Adana	20	1307.6	646.8	9.05	0.101
Afyonkarahisar	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	1307.6	367.0	11.26	0.081
Antalya	42	1445.8	1068.2	7.21	0.127
Balıkesir	147	1447.8	609.2	10.86	0.084
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	967	1072.2	436.7	8.16	0.112
Bursa	100	1048.4	713.1	5.71	0.160
Viranşehir-Urfa	398	1833.5	328.4	17.26	0.053
Çorlu-Tekirdağ	183	912.8	568.6	5.39	0.169
Çorum	798	1055.8	401.1	8.26	0.110
Diyarbakır	660	1935.2	495.9	17.04	0.054
Edirne	48	922.5	599.3	5.25	0.174
Elazığ	1105	1330.9	433.2	10.99	0.083

Yerleşim Merkezi	Kot (m)	Ort. Yıllık Buharlaşma B, (mm/yıl)	Ortalama Yıllık Yağış Y (mm/yıl)	Yılda Yatağı Kullanma Sayısı T, kere/yıl	Kişi Başına alan İhtiyacı a, m ² /N
Erzurum	1869	1059.0	460.5	7.83	0.117
Gaziantep	855	1466.6	558.9	11.46	0.080
Gölcük -Kocaeli	16	798.2	663.7	3.39	0.269
Göztepe-İstanbul	39	755.0	673.4	3.06	0.298
Isparta	997	1263.3	619.3	8.78	0.104
İnebolu-Kastamonu	64	1169.3	1052.2	4.34	0.210
İskenderun	3	985.5	785.4	4.46	0.205
İslahiye-Gaziantep	518	1617.2	850.7	10.78	0.085
İzmit -Kocaeli	76	671.8	768.0	*	*
Kastamonu	791	605.4	449.7	3.00	0.304
Kırşehir	985	1268.3	378.7	10.74	0.0858
Konya	1028	1186.7	323.9	10.29	0.089
Kütahya	969	877.0	564.6	5.03	0.181
Lüleburgaz (Kırklareli)	46	1374.8	614.5	10.03	0.091
Malatya	998	1235.6	382.6	10.36	0.088
Manisa	71	1319.1	746.7	8.38	0.109
Menemen -İzmir	20	1716.3	606.4	13.79	0.066
Mersin -İçel	5	854.6	617.5	4.73	0.209
Merzifon-Amasya	755	1243.7	378.8	10.47	0.087
Muğla	646	1335.9	1220.9	4.81	0.190
Nazilli -Aydın	60	1106.4	611.0	7.15	0.128
Niğde	1208	1547.6	348.8	14.00	0.065
Rize	4	607.0	2357.0	*	*
Samsun	44	815.4	735.0	3.01	0.303
Sinop	32	756.0	679.6	2.81	0.325
Sivas	1285	1043.9	411.3	8.05	0.113
Tekirdağ	4	877.2	590.5	4.83	0.189
Trabzon	30	752.4	822.7	*	*
Urfa	547	2047.7	473.1	18.44	0.049
Uşak	919	1563.7	540.6	12.66	0.072
Zonguldak	136	694.6	1242.9	*	*

- Çıkan çamurların ön çöktürme ve aktif çamur tesisi fazla çamurları olduğu ve bunların anaerobik olarak çürütüldükleri farz edilmiştir.
- Yatağa serilen çürümüş çamurun katı madde muhtevası 0.08 olarak kabul edilmiş, kuruduktan sonra yani sıyrılan çamurun katı madde muhtevası ise 0.50, çamur serme kalınlığı $L = 25$ cm alınmıştır.
- Anaerobik olarak çürütülmüş çamura ait katsayılar $f_i = 0.60$, $f_r = 0.43$ ve $f_e = 0.78$ alınmıştır.
- Kişi başına günlük katı madde miktarı 50 gr/NG olarak kabul edilmiştir.

Tablo 8.7.'nin incelenmesi ile Türkiye için anaerobik olarak çürümüş çamurların serildiği kurutma yataklarına yılda ortalama 3 ila 24 defa çamur serilebileceği ve kişi başına kurutma yatağı ihtiyacının 0.038 ila 0.325 m²/N arasında değiştiği görülmektedir.

İzmit, Rize, Trabzon ve Zonguldak gibi bölgelerde yağışın buharlaşmadan çok fazla olması sebebiyle açık kurutma yatağı yapılması uygun görülmemektedir. Bu gibi yerleşim bölgeleri için çamur kurutma yataklarının üzerinin kapatılması veya başka bir usulün tatbiki icap etmektedir.

Yukarıdaki beldeler dışındaki 46 şehir ve kasaba için bir yılda çamur yatağı kullanma sayısı ve kişi başına kurutma yatağı ortalamalar değerleri hesaplanarak Tablo 8.8'de gösterilmiştir.

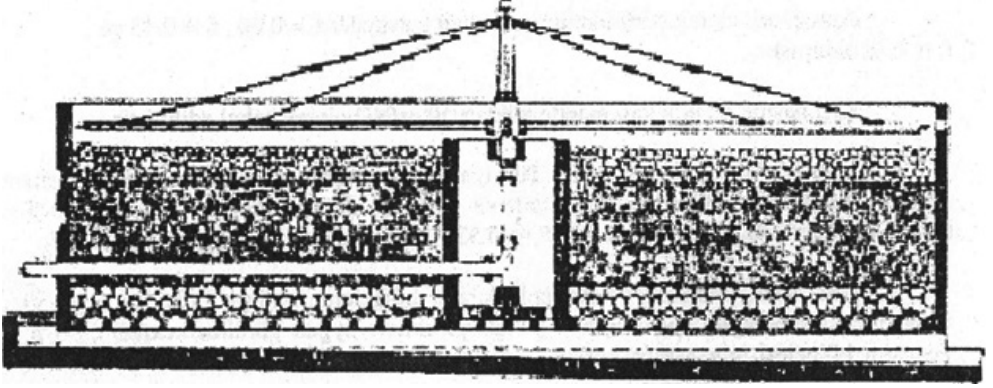
Tablo 8.8. Türkiye İçin Kurutma Yataklarının Bir Yılda Kullanma Sayısı ve Kişi Başına Kurutma Yatağı Ortalamaları (n=46 yerleşim merkezi)

	Ortalama	S.Sapma	En az	En fazla
Çamur Serme Sayısı	8.69	4.46	2.81	23.91
Alan İhtiyacı, m ² /nüfus	0.137	0.076	0.038	0.325

9. BİYOFİLM SİSTEMLERİ

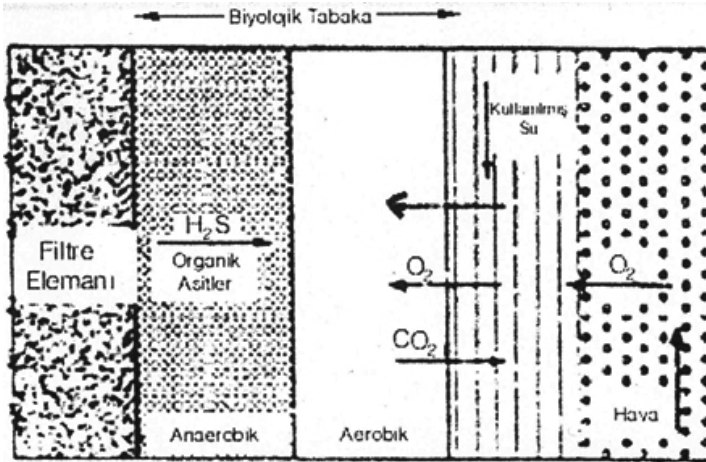
9.1. DAMLATMALI FİLTRELER

Damlatmalı filtreler, içerisinde mikroorganizmaların tutunduğu geçirimli dolgu malzemesi bulunan biyolojik tasfiye sistemleridir (Şekil 9.1.)



Şekil 9.1. Damlatmalı Filtre Kesiti

Mekanik tasfiyeden geçmiş ve içerisindeki çökebilir maddelerden ayrılmış olan atıksular kırma taş, odun veya sentetik malzeme ile teşkil edilen filtre yatağından geçirildiği sırada bu malzeme üzerine tutunan biyofilm, atıksu içerisindeki çözünmüş organik maddeleri besin maddesi olarak kullanarak tedricen kalınlığını artırır. Belirli bir kalınlığa ulaşan biyofilm, filtreden süzülen suyun yol açtığı hidrolik kesme kuvveti tesiri ile koparak sürüklenir ve son çöktürme havuzunda çöktürülüp biyokütle halinde sistemden uzaklaştırılır. Bu suretle aktif çamur sistemindeki askıdaki mikroorganizma kütlesi yerini alan biyofilm tabakası ile etkili bir biyolojik tasfiye sağlanabilmektedir (Şekil 9.2.).



Şekil 9.2. Damlatmalı Filtre İşleyiş Mekanizması

Damlatmalı filtreler, aktif çamur sistemine göre daha fazla alana ihtiyaç gösterirler, sıcak bölgelerde koku ve sivrisinek problemi, soğuk mevsimlerde ise buzlanma tehlikesi vardır. Buna mukabil, işletilmeleri daha basit ve enerji ihtiyaçları daha düşük olup, etkili bir nitrifikasyon sağlarlar.

Damlatmalı filtrelerle yeter seviyede arıtma sağlanabilmesi için,

- Filtre tabanının iyice havalandırılması
- Dolgu malzemesinin çapının olabildiğince yeknesak (üniform) olması
- Sıvının filtre üzerine üniform dağıtılması gerekmektedir.

Damlatmalı filtreler, hidrolik veya organik yükleme hızlarına göre;

- Düşük Hızlı Damlatmalı Filtreler
- Yüksek Hızlı Damlatmalı Filtreler

iki ana gruba ayrılırlar.

Düşük hızlı filtrelerin verimleri yüksek olup, değişken debi ve konsantrasyonlara daha iyi uyum gösterirler. Besleme bir dozlama sifonu vasıtası ile fasıllı olarak yapılabilir. Bilhassa küçük nüfuslar ve kanalizasyon şebekesi dışında kalan münferit bölgelerin atıksularının tasfiyesi için uygulanabilirler.

Yüksek hızlı filtrelerin hacimleri küçük olduğundan, biyofilm konsantrasyonu az, arıtma verimi düşük ve değişken yüklere karşı hassasiyeti fazladır. Bu filtrelerde yeterli hidrolik yükü temin etmek üzere son çöktürme havuzu çıkışından filtre başına su geri devrettirilir. Geri devir oranı giriş debisinin 2-2.5 misli gibi yüksek değerlere ulaşabilir.

Hacim yükü L_v ;

$$L_v = L / V$$

ifadesiyle hesaplanabilir.

Burada;

L: Damlatmalı filtreye giren BOI_5 yükü, kg BOI_5 /gün

V: Damlatmalı filtre hacmi, m^3

L_v : Hacim yükü, kg BOI_5/m^3 .gün 'nü göstermektedir.

Düşük Hızlı Filtrelerde;

Hacim yükü $L_v = 0.1-0.3$ kg BOI_5/m^3 .gün

Filtre yüksekliği 2-2.5 m.

Tercih edilen malzeme çapı 4 cm. alınabilir.

Yüksek Hızlı Filtrelerde;

Hacim yükü $L_v = 0.3- 1.0 \text{ kg BOI}_5 / \text{m}^3 \cdot \text{gün}$

Filtre yüksekliği, 2 - 4.5 m.

Dane çapı, 6 - 8 cm.

arasında alınabilir.

Dolgu malzemesi olarak atmosfer tesirlerine karşı mukavim taş, kırma taş, ateş tuğlası parçaları, ahşap ve plastik malzeme kullanılabilir. Biyofilmin kolay teşekkül etmesi açısından bu malzemelerin pürüzlü olması tercih edilir. Filtre malzemesi için en uygunu civardan temin edilen nehir taşıdır. Buna imkan bulunamıyorsa kırma taş kullanılabilir. Filtre malzemesinin çapı umumiyetle 2.5-10 cm arasında değişmekle birlikte;

İngilterede 2.5 - 6.5 cm. (ortalama 4 cm.)

Almanyada 4 - 8 cm. (ortalama 6 cm)

Amerikada 6-10 cm. (ortalama 8 cm.)

çaplarında malzeme kullanılmaktadır. Dane çapının 4-8 cm. arasında alınması uygundur. Dane çapının çok küçük (2.5 cm. ve daha küçük) olması halinde boşluk oranı da küçük olacağından filtrenin kısa zamanda tıkanması gibi bir mahzur vardır. Çok büyük çaplı malzeme ile teşkil edilen yataklarda tıkanma (göllenme) problemi olmamakla birlikte özgül yüzey azalacağından biyofilm teşekkülü daha yavaş olur.

Tatbikatta en çok kullanılan filtre malzemesinin çeşitli fiziki özellikleri Tablo 9.1 . 'de verilmiştir.

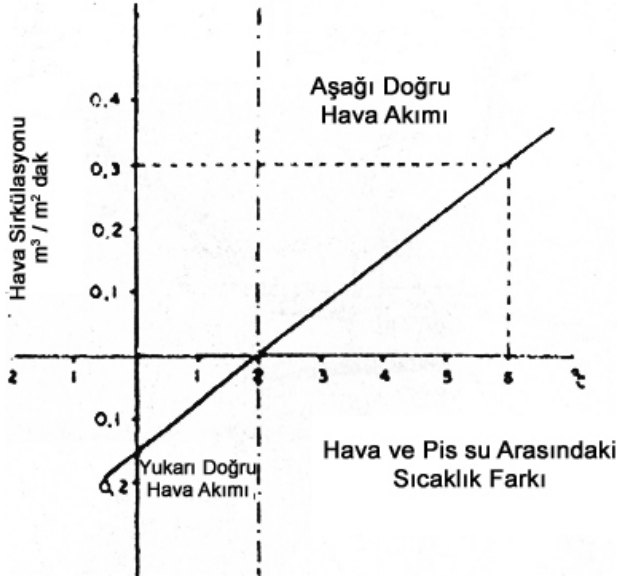
Tablo 9.1. Filtre Malzemesinin Özellikleri

Malzeme	Dane Çapı veya Ebadı (cm)	Birim Hacim Ağırlığı kg/m^3	Özgül Yüzey m^2/m^3	Boşluk Hacmi %
Nehir Taşı				
Küçük	2.5-6.5	1250-1450	55-70	40-50
Büyük	10-12	800-1000	40-50	50-60
Yüksek Fırın cürufu	5-8	900-1200	55-70	40-50
Küçük	7.5 - 12.5	800-1000	45-60	50-60
Büyük				
Plastik	60x60x120	30-100	80-100	94-97
Normal				
Yüksek Özgül	60x60x120	30		70-80
Yüzeyli	120x120x50	150- 175	40-50	
Kızıl Çam				

4-8 cm (ortalama 6 cm) çapında kırma taştan teşkil edilmiş bir filtre yatağının beher m^3 ünün temas yüzeyi (özgül yüzey) 95 m^2 civarındadır. Filtre malzemesinin boyutları 2.5-4.0 cm (ortalama 3 cm) olduğu zaman özgül yüzey $190 \text{ m}^2/\text{m}^3$ olmaktadır.

9.1.1. Havalanma

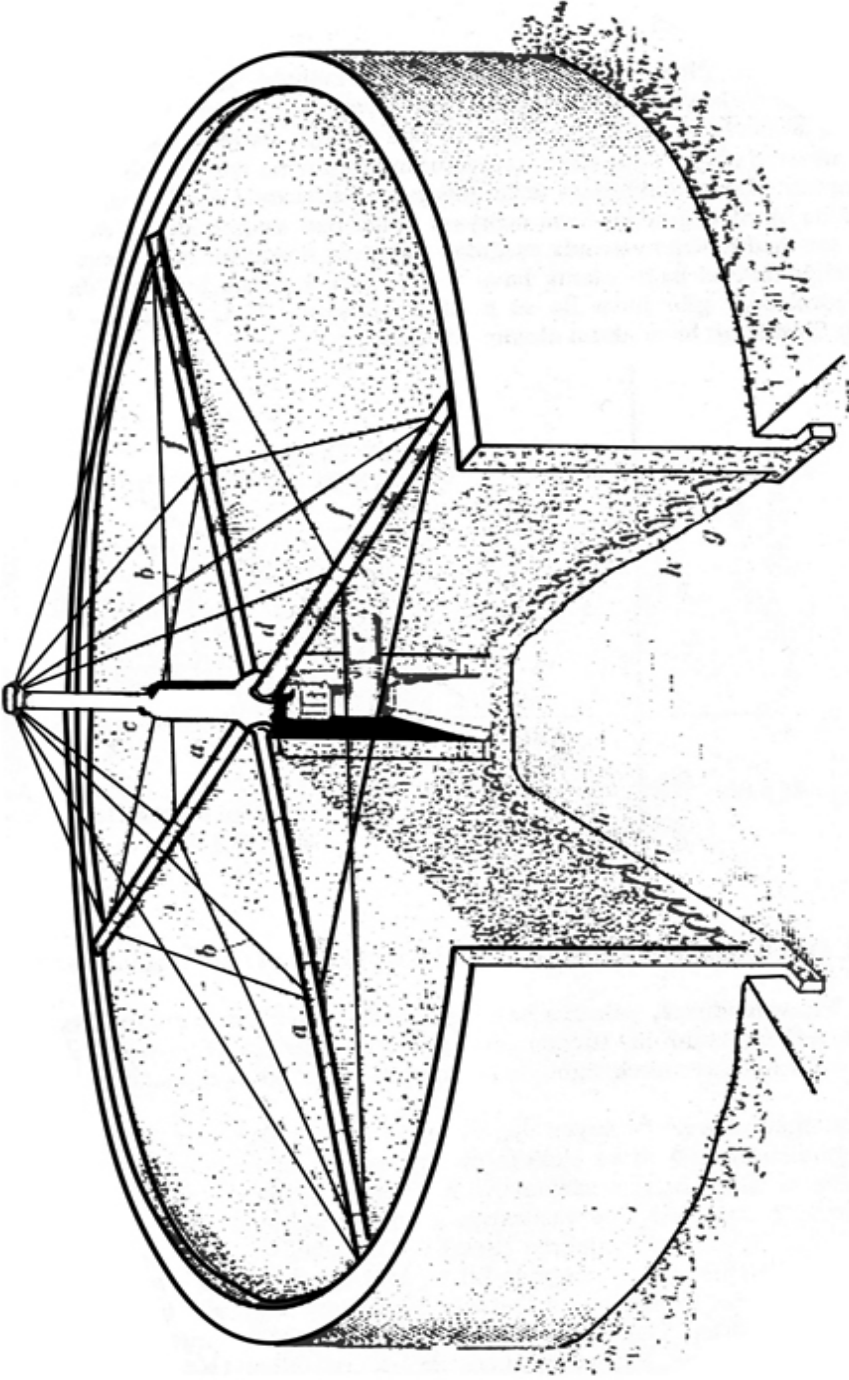
Damlatmalı filtredeki aerobik biyolojik faaliyet için lüzumlu oksijen hava cereyanından (sirkülasyonundan) sağlanır. Hava cereyanı, damlatmalı filtre içindeki hava sıcaklığı ile atmosfer sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak yukarıdan aşağıya veya aşağıdan yukarıya doğru olur. Hava cereyanının olabilmesi için sıcaklık farkının $> \pm 2^\circ \text{C}$ olması lazımdır. Hava sıcaklığının fazla olduğu yaz aylarında damlatmalı filtre içindeki su sıcaklığı daha az olduğundan, hava cereyanı yukarıdan aşağıya doğru olur, kış aylarında ise durum tersinedir. Kış aylarında aşağıdan yukarıya doğru bir hava akımı oluşmaktadır. Hava sıcaklığı farkına bağlı olarak hava akımındaki değişme Şekil 9.3'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi hava ile su sıcaklığı farkının 2°C civarında olması halinde damlatmalı filtrede bir hava akımı olmamaktadır.



Şekil 9.3. Damlatmalı Filtrelerde Hava Akımı ve Sıcaklık Farkı Arasındaki Münasebet

Sun'i havalandırma, yalnızca belirli şartlarda ve nadiren tatbik edilmektedir. Sun'i havalandırma sinek kontrolü, istenmeyen kokuların giderilmesi veya soğuk iklime haiz bölgelerde sıcak hava verilmek suretiyle buzlanmayı önlemek açısından yapılır.

Damlatmalı filtrelerde suyun dağıtılması, umumiyetle döner dağıtıcılar yardımıyla yapılır. Dağıtıcıların hareketi ya elektrik motoru veya çıkan suyun aksi tesiri (tepkisi) ile sağlanır. Akımın düşük olduğu zamanlarda dağıtıcıyı döndürmek için gerekli asgari debi, dozlama suretiyle veya pompalar vasıtasıyla temin edilmektedir. Döner dağıtıcılar iki, dört veya daha fazla kollu olarak yapılırlar (Şekil 9.4.). Döner dağıtıcıların alt kenarı ile filtre yatağı arasında 0.3 ila 0.5 m. arasında bir mesafe bırakılmalıdır. Dağıtıcı kolları küçük tesislerde sabit, büyük tesislerde ise lüzumlu asgari hızı sağlamak üzere değişken kesitli olarak imal edilebilirler. Dağıtıcı kolları üzerindeki delikler debiyi filtre yüzeyine eşit şekilde dağıtmak üzere kenardan merkeze doğru büyüyen aralıklarda da teşkil edilmektedir.



Şekil 9.4. Damlatmalı Filtre Kesiti ve Dağıtıcılar

Damlatmalı filtrelerde duvar yüksekliği, yatak üst yüzeyinden takriben 1-1.5 m. yukarıda yapılır. Böylece kış şartlarında yüzey soğuktan nispeten korunur, ayrıca kullanılmış su zerreciklerinin rüzgar ile taşınmaları nispeten engellenmiş olur.

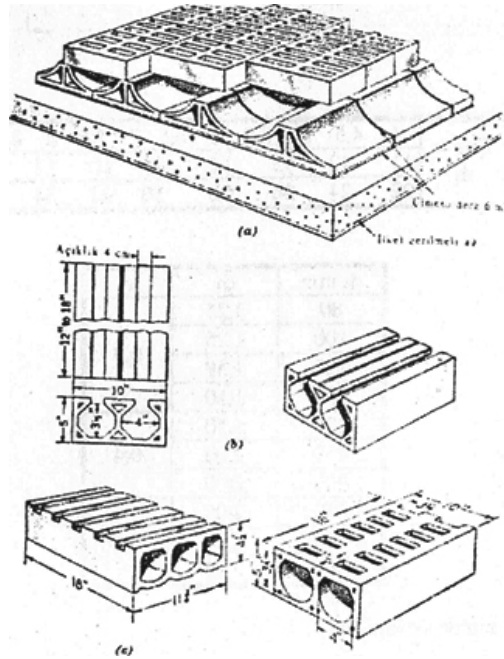
Döner dağıtıcılardaki yük kayıpları 0.6-1.5 m. civarındadır.

Akımın düşük olduğu zamanlarda dağıtıcıyı döndürmek için gerekli asgari debi dozlama suretiyle veya pompalar vasıtasıyla sağlanmaktadır. Böyle durumlarda dört kollu dağıtıcıların sadece iki kolu çalıştırılmak suretiyle gerekli dönme hızı temin edilebilir.

Dozlama sifonları ile kesintili olarak beslenen damlatmalı filtrelerde azami debide en düşük dozlama aralığı 30 sn. olmalıdır. Dozlama odasındaki en yüksek su seviyesi ile filtre yüzeyi arasındaki seviye farkı 2.4- 3.0 m. olmalıdır.

9.1.2. Taban Drenaj Sistemi

Filtrelerde süzülen atıksular tabandaki drenaj sistemi ile toplanarak son çöktürme havuzuna verilir. Taban drenaj sistemi, filtre tabanı, toplama kanalı ve drenlerden meydana gelir. Dren boruları toplama kanalına doğru, % 1-2 eğimli olarak filtre tabanı üzerinde tertip edilir. Filtrede tabii hava cereyanını temin etmek üzere dren borularının her iki ucunun açık yapılmasında fayda vardır. Şekil 9.5’de damlatmalı filtrelerin taban drenaj sistemleri misalleri görülmektedir.



Şekil 9.5. Damlatmalı Filtrelerin Taban Drenaj Sisteminin Detayları

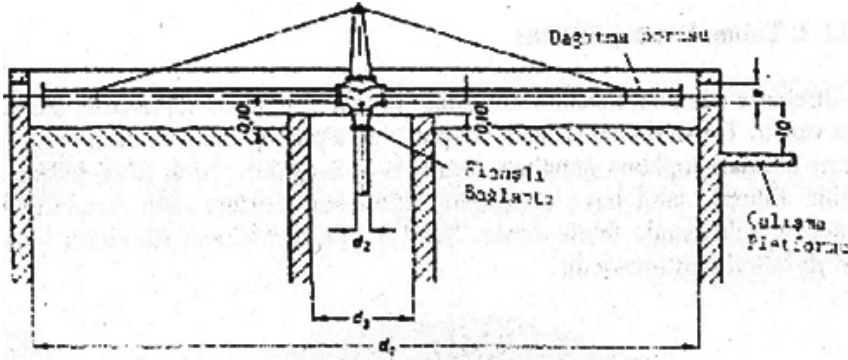
9.1.3. Boyutlandırma

Damlatmalı filtrenin boyutlandırılmasında uygun organik yük L_v değeri seçilir ve hacim hesabı yapılır. Yani hacim,

$$V = L/L_v$$

şeklinde hesaplanır ve uygun bir yükseklik seçilerek yüzey alanı ve oradan damlatmalı filtre hacmi bulunur.

Damlatmalı Filtrelerin çapları DIN normlarına göre 4 m ile 40 m arasında normlaştırılmıştır. (Şekil 9.6).



Damlatmalı Filtre	Çap = d_1	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
		22	24	26	28	30	32	34	36	38	40			

d_2 mm	d_3	e
80	1,25	0,3
100	1,25	
125	1,50	
150	1,50	
200	1,50	0,4
250	2,00	
300	2,00	
350	2,00	0,5
400	2,50	
500	2,50	

* ölçüler metre biriminde verilmiştir.

Şekil 9.6. Damlatmalı Filtre İşletim Elemanları

Damlatmalı filtrelerin temel tasarım parametreleri Tablo 9.2’de özetlenmiştir.

Tablo 9.2. Evsel Atıksular İçin Damlatmalı Filtre Tasarım Parametreleri

Parametre	Düşük Hızlı Damlatmalı Filtre	Yüksek Hızlı Damlatmalı Filtre	Süper Hızlı Damlatmalı Filtre
Hidrolik Yük			
ABD, m ³ /m ² -sa	0.04 - 0.17	0.42 - 1.67	1.67 - 8.33
İngiltere, m ³ /m ² -sa	0.03 - 0.05		
Almanya, m ³ /m ² -sa	0.10 - 0.3	≥0.8	
Organik Yük			
ABD, kg BOİ ₅ /m ³ -gün	0.08 - 0.32	0.32 - 1.0	
İngiltere, kgBOİ ₅ /m ³ -gün	0.1 - 0.2		0.8 - 6
Almanya, kgBOİ ₅ /m ³ -gün	≥ 0.175	0.7	
Filtrenin 1 m ³ ne bağlanabilecek fert sayısı (kişi/m ³)	5	20	
Yükseklik			
A.B.D. m	1.5 - 3.0	1.0 - 2.0	4.5 - 12.0
İngiltere, m	1.8	-	-
Almanya, m	1.8 - 2.4	≥2.4	
Geri Devir Oranı, %	0	50 - 300	100 - 400
BOİ ₅ Giderme Verimi, %	80 - 95	65 - 95	
Güç İhtiyacı, W/m ³	2 - 4	6 - 10	10 - 20

9.1.4. Damlatmalı Filtrelerde Biyolojik Verim Hesabı

Damlatmalı filtrelerde verim hacim yüküne bağlı olarak değişir. Tecrübelerle dayanan formüllerden biri NRC formülü olarak bilinir:

$$E = 100 / [1 + 0.44 (L_v/F)^{0.5}]$$

$$F = (1 + r)/(1 + 0.1r)^2$$

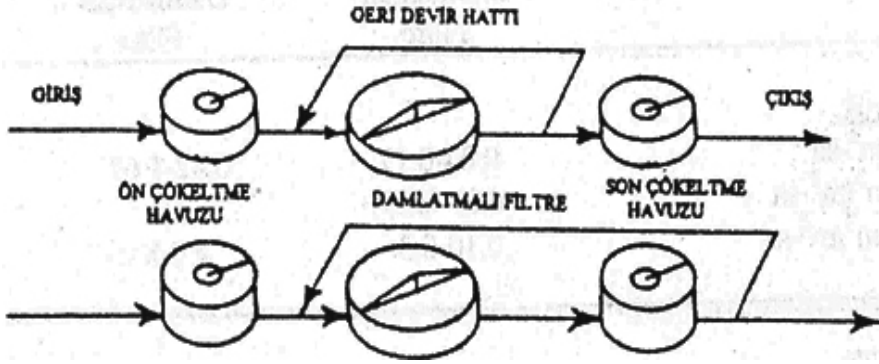
Burada E verimi, F geri devir faktörünü ve r geri devir oranını göstermektedir.

Çeşitli geri devir oranları için F faktörleri Tablo 9.3.’de verilmiştir.

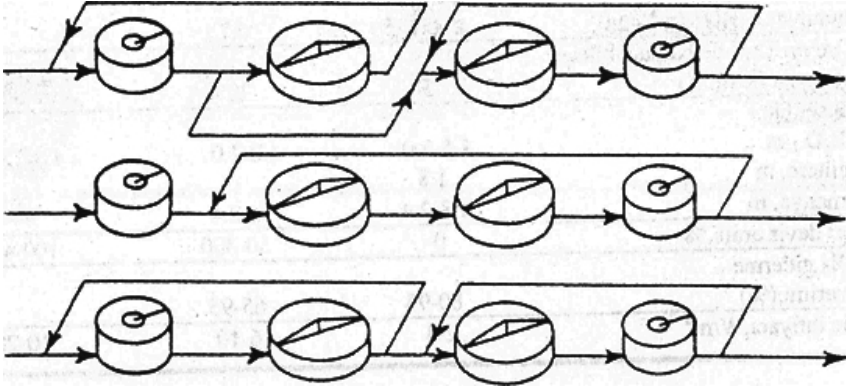
Tablo 9.3. Çeşitli Geri Devir Oranları İçin F Faktörleri

R	0	1	2	3
F	1	1.65	2.08	2.36

Geri devirli damlatmalı filtre sistemlerine misaller Şekil 9.7’de görülmektedir.



Tek kademeli geri devirli damlatmalı filtre sistemleri



İki kademeli geri devirli damlatmalı filtre sistemleri

Şekil 9.7. Geri Devirli Damlatmalı Filtre Sistemleri

Bir diğer verim ifadesi Ten States Standart's Eşitliği olarak bilinen ifadedir. Bu eşitlik:

$$E = 100 / [1 + a (L_v)^{0.5}] \text{ ifadesiyle verilmektedir.}$$

Burada a bir katsayı olup, sıcaklığa ve giriş konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir, a katsayısının değerleri Tablo 9.4’de verilmiştir.

Tablo 9.4. “a” Katsayısının Değerleri

Sıcaklık, °C	Konsantrasyon, mg/l		
	200	150	100
13	0.36	0.40	0.44
25	0.32	0.36	0.40

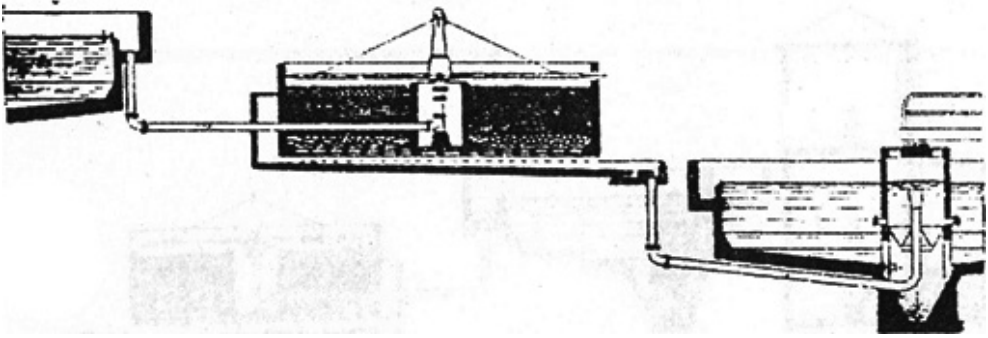
9.1.5. Damlatmalı Filtre Tertip Şekilleri

Damlatmalı filtreleri arazinin topografyasına, işletme şartlarına göre değişik şekillerde çalıştırmak mümkündür. Bu filtreler, cazibeli veya bir terfi merkezi ile beslenebilir.

9.1.5.1. Cazibeli Besleme Hali

Cazibeli besleme şekline ait şematik bir boy kesit Şekil 9.8’de gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere ön çöktürme havuzundan geçirilen atıksular, damlatmalı filtreye daha sonra da son çöktürmeye gönderilmektedir. Bu hal tarzında atıksu debisindeki değişimler damlatmalı filtreyi etkilemektedir.

Atıksudaki debi salınımları, döner dağıtıcı için de önemlidir. Bu durumu önlemek için bir sifonun ön çöktürmeden sonra konulmasında fayda vardır. Esasen düşük yüklü damlatmalı filtrelerde daimi fasıllı besleme gerektiğinden sifon kullanılması zaruridir.

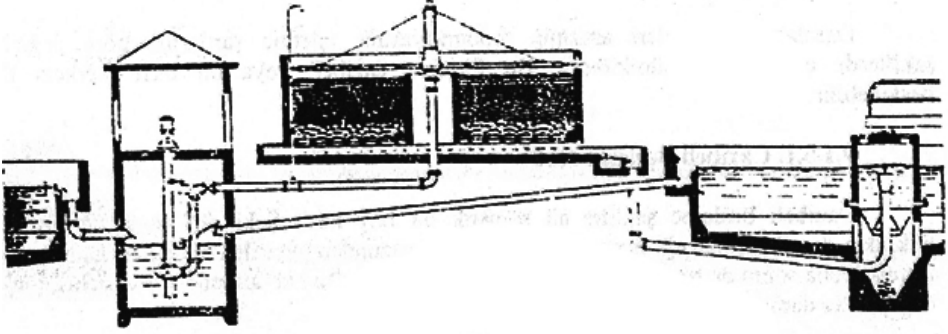


Şekil 9.8. Damlatmalı Filtre Tertip Şekilleri – Cazibeli

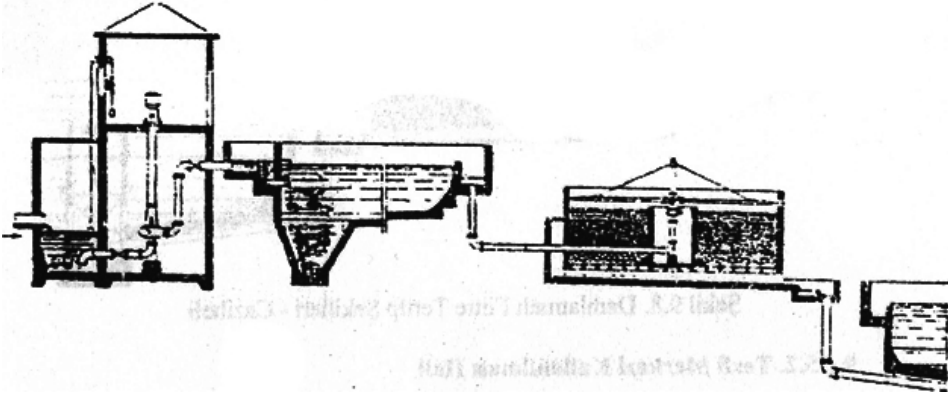
9.1.5.2. Terfi Merkezi Kullanılması Hali

Arazinin yeterli eğime haiz olmaması durumunda damlatmalı filtreden önce bir terfi merkezinin yapılması icap eder. Terfi merkezi ön çöktürmeden önce konulabileceği gibi, ön çöktürme ile damlatmalı filtre arasına da yerleştirilebilir. Hatta duruma göre hem ön çöktürmeden önce hem de ön çöktürme ile damlatmalı filtre arasına da terfi merkezi yerleştirilebilir. Bunlardan hangisinin uygun bulunduğu gelen atıksu mecranın derinliği, arazinin topografyası ve zemin durumu gibi pek çok özelliklere bağlı olarak ekonomik analiz ile belirlenebilir. Terfi merkezinin ön çöktürmeden önce konulması hali Şekil 9.9-a’da gösterilmiştir.

Bu durumda ön çöktürme havuzunun damlatmalı filtreden yeteri kadar yüksek olması lüzumu dolayısıyla muhtemelen dolguda yapılması veya ayaklar üzerine inşa edileceği aşıkardır. Bu arzu edilmiyorsa terfi merkezi ön çöktürme havuzundan önce yerleştirilir. Bu duruma ait şematik boykesit Şekil 9.9-b'de gösterilmiştir. Eğer tasfiye tesisine girişte atıksu mecrayı çok derinde ise bu durumda ön çöktürme havuzunda önce de terfi yapılması gerekmektedir.



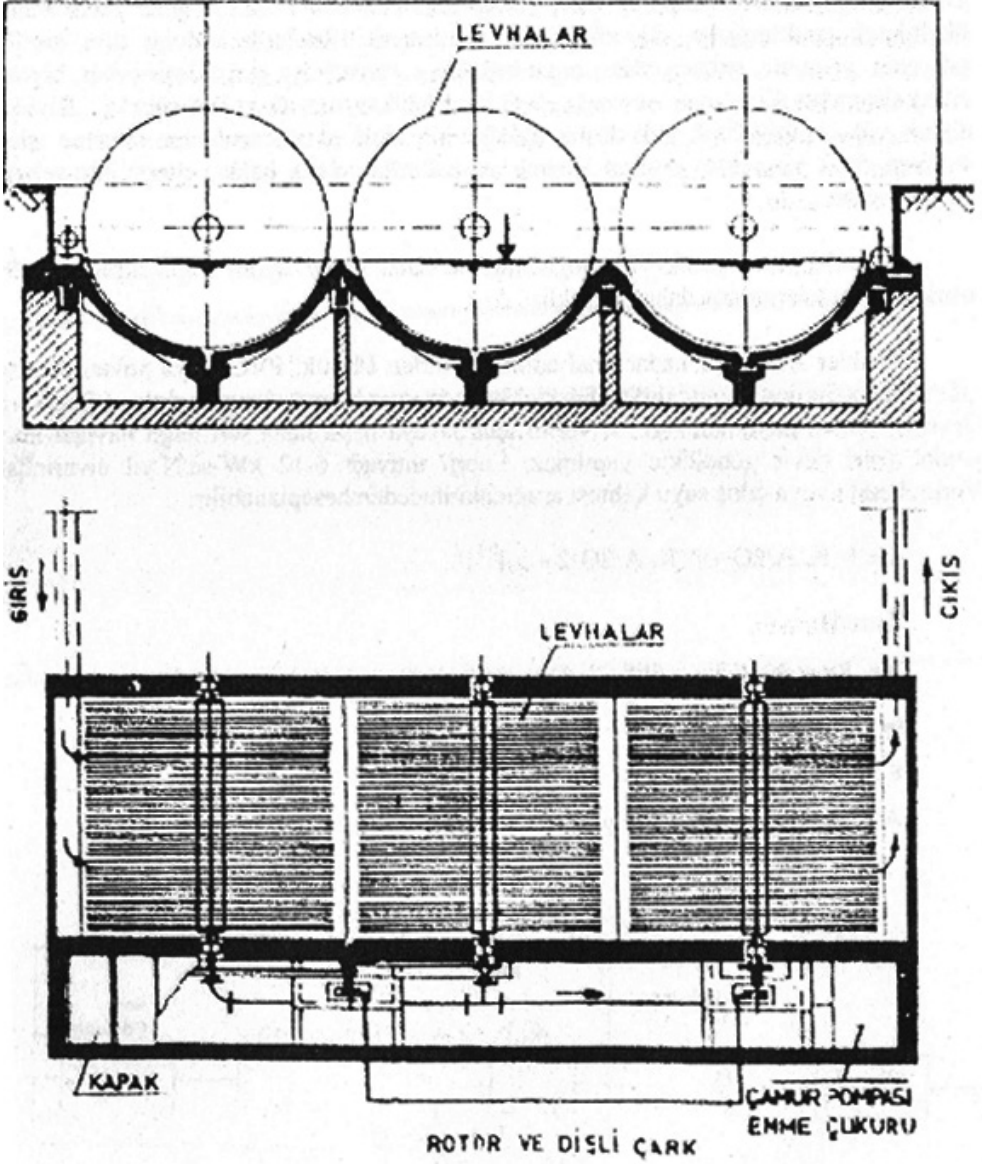
(a)



Şekil 9.9. Damlatmalı Filtre Tertip Şekilleri - Terfli

9.2. BİYODİSKLER

Biyodiskler, yatay bir mil üzerine birbirine çok yakın aralıklarla dizilmiş dairesel polystren veya PVC levhalarla (diskler) teşkil edilen modüllerden oluşurlar (Şekil 9.10).



Batık tip damlatma tesisi

Şekil 9.10. Biyodisk Sistemi

Diskler kısmen suya dalmış vaziyette olup, yavaş yavaş döndürülür. Bu diskler üzerinde teşekkül eden biyofilm, dönme esnasında münavebeli olarak atmosfer ve sıvı ile temas eder. Böylece biyolojik ayrışma ve büyüme olayı meydana gelir ve biyofilm giderek kalınlaşır. Belirli bir kalınlığa ulaşan biyofilm, sıvı ile disk yüzeyi arasındaki kayma gerilmelerinin tesiri ile koparak çıkış savağından çökeltme birimine geçer ve oradan da çökelttilerek uzaklaştırılır. Biyodisklerde, damlatmalı filtrelerde olduğu gibi biyolojik tasfiyenin yüzeyde gelişen mikroorganizmalarca (biyofilm) gerçekleştirildiği biyolojik arıtma sistemleri olup, aynı zamanda etkili bir nitrifikasyona da imkan verirler. Biyokütle miktarı yüksek, biyolojik yük düşük olduğu için aktif çamur sistemine nazaran işletme emniyeti daha yüksektir. Ayrıca işletme ve bakımları daha kolay, enerji ihtiyaçları da nisbeten azdır.

Hidrolik ve organik yük değişimlerine daha kolay uyum sağlayabilirler, toksik tesirlere karşı toleransları daha yüksektir.

Diskler 3m. çapa kadar imal edilmektedirler. Plastik, PVC veya polistiren köpük gibi malzemelerden yapılabilirler. Diskler kısmen suya batmış durumdadırlar (Şekil9.11). Devri 3-6 devir/dakikadır. İyi bir verim için 3 veya daha fazla seri bağlı havuza ihtiyaç vardır. Geri devir genellikle yapılmaz. Enerji ihtiyacı 6-12 kW-sa/N.yıl civarındadır. Verim hesabı veya çıkış suyu kalitesi aşağıdaki ifadeden hesaplanabilir:

$$S = \frac{\{-1 + [1 + 4K_a (A/Q) s_o]^{0.5}\}}{2K_a (A/Q)}$$

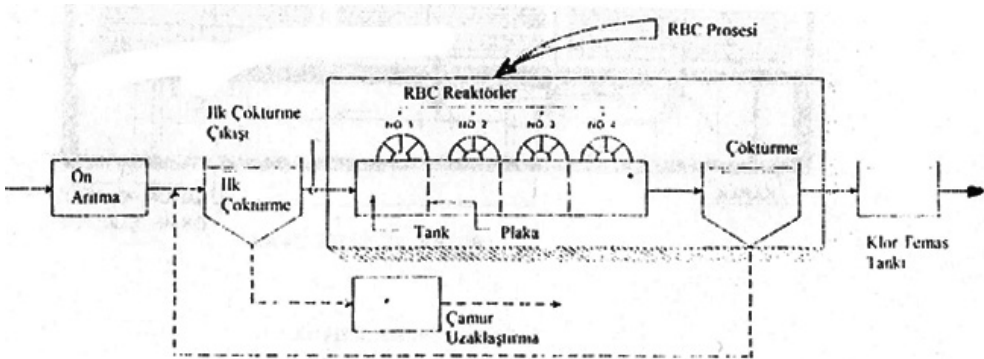
Burada:

K_a : Reaksiyon hız sabiti,

s_o : Giriş konsantrasyonu,

s : Çıkış konsantrasyonu,

A : Disk yüzey alanı, m^2 göstermektedir.



Şekil 9.11. Tipik Bir Dönen Biyolojik Reaktör

9.3. MEKANİK HAVALANDIRMALI HAVUZLAR

Havalandırmalı havuzlar, mekanik havalandırıcılar vasıtası ile havalandırılan ve derinlikleri 2.5-5 m olan toprak havuzlardır. Bu sistemin alan ihtiyacı stabilizasyon havuzlarına nazaran % 10-20 daha azdır ve hidrolik bekletme süresi de daha kısadır. Mekanik ekipman olarak havalandırıcılara ihtiyaç vardır. Güç yoğunluğuna (birim hacim başına düşen havalandırıcı gücü) bağlı olarak katı maddeler çökelir veya sistemi terk eder. Katı maddelerin sistem içerisindeki durumuna göre havalandırma havuzlarını;

- Aerobik Havuzlar - Geridevirsiz Aerobik Havalandırma Havuzları
- Fakültatif Havalandırma Havuzları olarak başlıca 2 grupta ele almak mümkündür.

Fakültatif havalandırma havuzlarında güç yoğunluğu ancak gerekli oksijeni difüzyon yoluyla suya verebilecek seviyededir ve katı maddelerin tamamının askıda tutulmasına imkan yoktur. Dolayısıyla sisteme giren ve sistemde üretilen katı maddelerin büyük kısmı havuzun dip kısmında çökerek havasız (anaerobik) olarak ayrışır. Bu yüzden bu havuzlarda kısmen havalı ve kısmen de havasız olmak üzere fakültatif bir ayrışma gerçekleşir.

Geri devirsiz aerobik havalandırma havuzlarında güç yoğunluğu, askıdaki maddelerin tamamını askıda tutmaya yeter seviyededir. Çıkıştaki AKM konsantrasyonu havuzdakine eşittir. Bu sistemin BOI_5 giderme verimi ancak % 50-60 mertebesinde ve bu yüzden askıda maddelerin giderilmesi için ilave işlem gerekir.

Evsel atıksular için mekanik havalandırmalı oksidasyon havuzları tasarım parametreleri Tablo 9.5’de verilmiştir.

Tablo 9.5. Evsel Atıksular İçin Havalandırmalı Oksidasyon Havuzları Tasarım Parametreleri

Parametre	Fakültatif	Aerobik Geridevirsiz
Çamur yaşı, θ_c , gün	Çok yüksek	5
Havuzdaki AKM, mg/l	50-150	100-350
Uçucu AKM/Toplam Katı Madde, %	60-80	70-80
Hidrolik bekleme süresi, gün	3-12	5
BOI_5 giderme verimi, %	70-90	50-60
BOI_5 Giderme Hızı katsayısı, (K_L , $gün^{-1}$, $20^\circ C$ ’da)	0,6-0,8	1-1,5
Filtre edilmiş numunelerde	0,6-0,8	1-1,5
Filtre edilmemiş numunelerde		
Sıcaklık Katsayısı, θ	1,035	1,035
Koliform giderme verimi, %	60-99	60-90
Nitrifikasyon	Yok	Yok
Havuz derinliği, m	2,5-5,0	2,5-5,0
Arazi ihtiyacı, m^2 / kişi		
Sıcak iklimler	0,15-0,45	0,15-0,35
Ilıman iklimler	0,45-0,90	0,35-0,70
Enerji ihtiyacı, kWh/kişi-yıl	12-15	12-15
Minimum güç yoğunluğu, W/m^3	0,75	2,75
Tavsiye edilen güç yoğunluğu W/m^3	1,2	4,0
Çamur Uzaklaştırma	Havuzda birikir. Birkaç yılda bir temizlenir	Birikme olmaz.

9.3.1. Fakültatif Havalandırılmalı Havuzların Boyutlandırılması

Organik maddelerin giderilmesi genellikle 1. derece kinetiğe uyduğu kabul edilirse:

$ds/dt = k^1.X.S. = k_L.S$ yazılabilir. Burada;

S: Madde konsantrasyonu, mg/l

k^1 : Madde giderme hızı katsayısı, $\text{gün}^{-1}/(\text{mg/l})$

X: Uçucu asılı katı madde konsantrasyonu, mg/l

t: Zaman

k_L : Giderme hızı katsayısı, gün^{-1} 'nı göstermektedir.

k^1 : 0.01-0.03 $\text{gün}^{-1}/(\text{mg/l})$

k_L : 0.6-0.8 gün^{-1} (20°C da evsel atıksu için)

k_L : 0.25 gün^{-1} (20°C da Kağıt hamuru atıksuları için)

9.3.2. Sıcaklık Düzeltmesi

Havuz sıcaklığı mevsimlere göre değiştiğinden sıcaklık düzeltmesi yapılmalıdır. Zira sıcaklık mekanik havalandırılmalı havuzun verimine tesir eden en mühim unsurlardan birisidir. Lagün (havuz) sıcaklığı aşağıdaki ifadelerle hesaplanabilir.

$$Q(T_i - T_e) = f.A(T_L - T_a)$$

veya

$T_e = T_L$ kabulü ile (Tam karışımli havuzlar için)

$$A/Q = t/h = (T_i - T_L)/f(T_L - T_a)$$

Burada:

$Q = \text{Debi, m}^3/\text{gün}$

$T_i = \text{Havuza giriş sıcaklığı, } ^\circ\text{C}$

$T_e = \text{Çıkış sıcaklığı, } ^\circ\text{C}$

$T_L = \text{Lagündeki ortalama sıcaklık, } ^\circ\text{C}$

$T_a = \text{Hava sıcaklığı, } ^\circ\text{C}$

$A = \text{Havuz yüzey alanı, m}^2$

$f = \text{Katsayı, m/gün}$

$h = \text{Havuz derinliği, m.}$

göstermektedir.

f katsayısı havalandırılmalı havuzlarda $0.49 \pm 0.06 \text{ m/gün}$,
stabilizasyon havuzlarında 0.40 alınabilir.

K_L değeri de sıcaklıkla;

$$K_L (T^{\circ}\text{C}) = K_L (20^{\circ}\text{C}) \cdot \theta^{T-20}$$

$$\theta = 1.035$$

9.3.3. Havuz Veriminin Bulunması

Tam karışımli tek bir havuz için

$$S = S_o / (1 + K_L \cdot t)$$

Tam karışımli eşit büyüklükte seri bağı n adet havuz için;

$$= S_o / (1 + K_L \cdot t)^n$$

yazılabilir. Burada:

n: Seri bağı havuz sayısı

t : Bir havuzun bekletme müddeti, gün

S_o , S: Sırasıyla giriş ve çıkış konsantrasyonları, mg/lt.

Havalandırılmalı havuzlarda piston akım hali için çıkış konsantrasyonu

$$S = S_o (e^{-K_L \cdot t}) \text{ ifadesiyle hesaplanabilir.}$$

Tatbikatta havuzlardaki akım dispersiyonlu akımdır. Dispersiyon sayısı d:

$$d = D / (u \cdot L)$$

denklemlle belirlenebilir. Burada;

d: Dispersiyon sayısı (boyutsuz)

u: Akım hızı, m/s

L: Akım yolunun ekseninin uzunluğu, m

D: Dispersiyon katsayısı, m^2/sn 'dir.

t, bekletme müddeti olmak üzere

$$D / (u \cdot L) = D \cdot t / L^2$$

bağıntısı da mevcuttur.

$d = 0$ hali ideal piston akım,

$d = \infty$ hali ideal tam karışımli akıma tekabül eder.

Tatbikatta $d = 0.1-4$ arasında değişir.

Dispersiyon akımlarda çıkış konsantrasyonunun bulunmasında Wehner-Wilhem denklemi kullanılmaktadır.

Bu denklem;

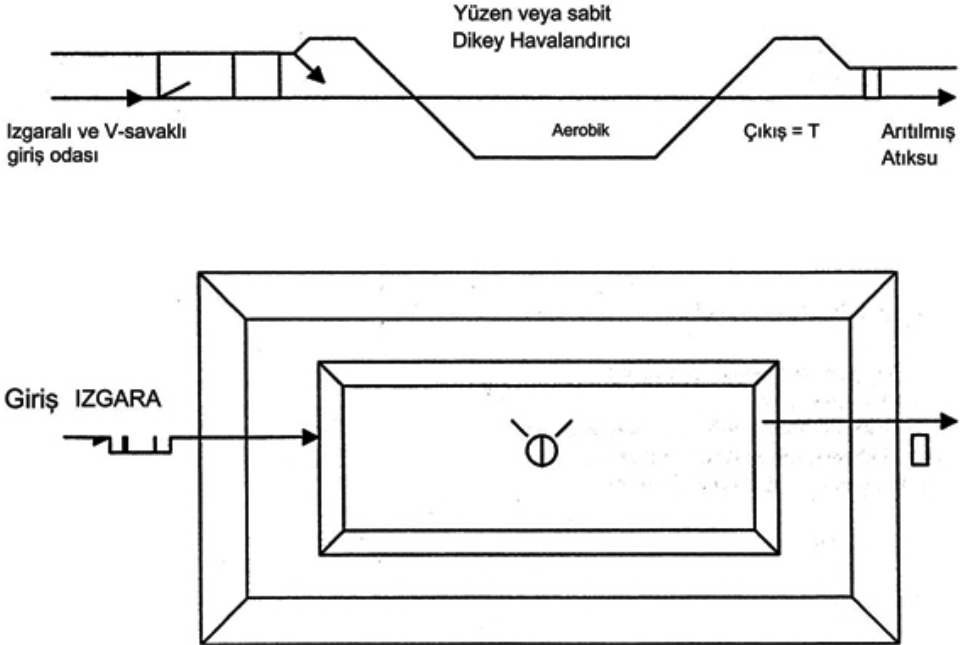
$$\frac{S}{S_0} = \frac{4a e^{d/2}}{(1+a)^2 \cdot e^{a/2d} - (1-a)^2 \cdot e^{-a/2d}}$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$a = (1 + 4K_L \cdot t \cdot d)^{1/2}$$

K_L , Madde giderme hızı katsayısı, gün⁻¹ dir.

Mekanik havalandırmalı havuzlara ait plan ve kesit Şekil 9.12’de verilmiştir.



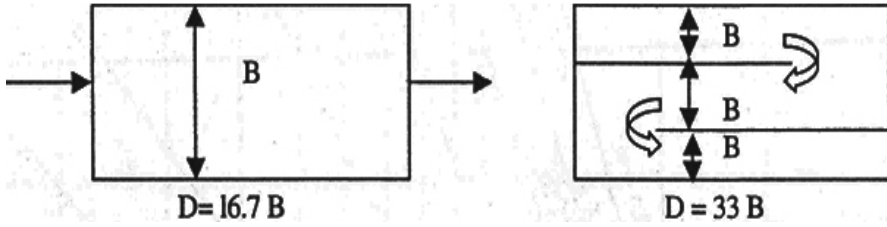
Şekil 9.12. Mekanik Havalandırmalı Havuzlara Ait Plan ve Kesiti

Bu havuzların boyutlandırılmasında, uygun bekletme süresi seçilerek, hacim hesaplanır. Seçilen mekanik havalandırıcı için uygun su derinliği seçilerek boyutlar bulunur. Bu boyutlara göre dispersiyon sayısı belirlenir. Dispersiyon sayısı için dispersiyon katsayısı bilinmelidir. Havuz şekline ve akıma göre dikdörtgen havuzlar için $D = 16.7$ ila $33 B$ arasında alınabilir (Şekil 9.13).

Burada:

B: Havuzun genişliği, m.

D: Dispersiyon katsayısı, m^2 / saat dır.



Şekil 9.13. Havuz Şekline ve Akıma Göre Mekanik Havalandırmalı Havuzlar

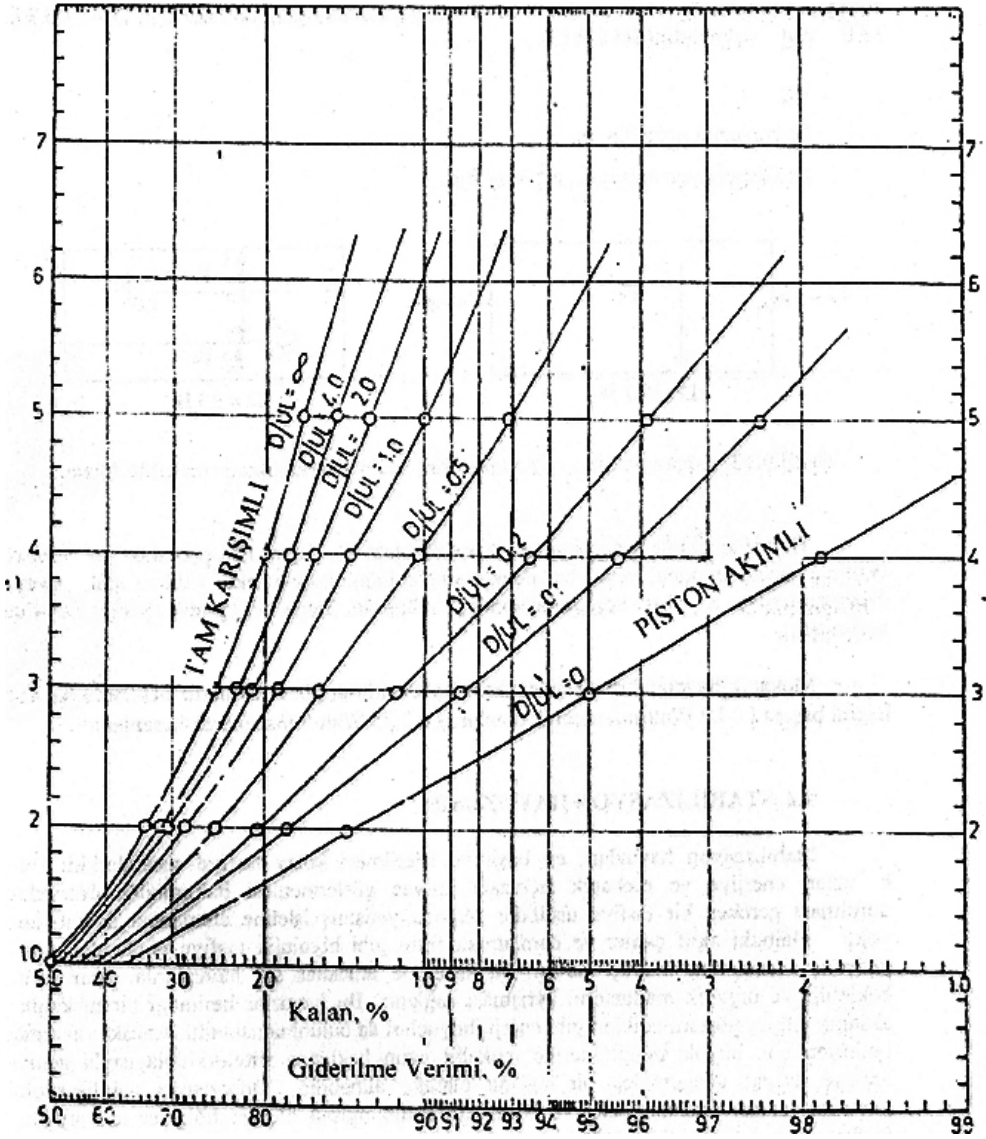
Havuz sıcaklığı hesaplanır ve bu sıcaklıktaki K_L değeri hesaplanarak Wehner & Wilhelm denkleminde veya bu denklemin kullanılmasıyla elde edilen tablo veya diyagramlardan S çıkış konsantrasyonları belirlenir. Buna ait grafik Şekil 9.14’de verilmiştir.

Mekanik havalandırmalı havuzlarda havalandırıcı gücü fakültatif olanlarda havuz hacmi başına $1.0-1.2 \text{ Watt}/m^3$, aerobik olanlarda $\geq 2.75 \text{ Watt} / m^3$ seçilerek hesaplanır.

9.4. STABİLİZASYON HAVUZLARI

Stabilizasyon havuzları, en basit ve işletilmesi kolay tasfiye sistemleridir. Bu havuzlar, enerjiye ve mekanik teçhizata ihtiyaç göstermemesi bakımından üzerinde durulması gereken bir tasfiye usulüdür. Ayrıca yetmişmiş işletme elemanına da ihtiyaç yoktur. Hâlbuki aktif çamur ve damlatmalı filtre gibi biyolojik tasfiye yöntemleri için yetmişmiş elemanlara ihtiyaç vardır. Bu sistemde atıksular sığ havuzlarda uzun süre bekletilir ve organik maddelerin ayrışması sağlanır. Bu havuzlar herhangi bir mekanik aksama ihtiyaç göstermedikleri gibi enerji ihtiyaçları da bulunmamaktadır. Ancak yukarıda belirtilen çok büyük üstünlüklerine mukabil uzun bekletme süreleri dolayısıyla geniş araziye ihtiyaç göstermeleri bir mahzur olarak alınabilir. Dolayısıyla stabilizasyon havuzları ancak arazinin ucuz ve iklim şartlarının müsait olduğu bölgeler için uygun tasfiye sistemi olarak düşünülebilir.

Bu sistemin, kasaba ve şehirler için başlangıçta stabilizasyon havuzu şeklinde inşa edilmesi, nüfusun artması ile 2. kademede “Mekanik Havalandırmalı Havuz” şekline dönüştürülmesi imkanı bulunmaktadır.



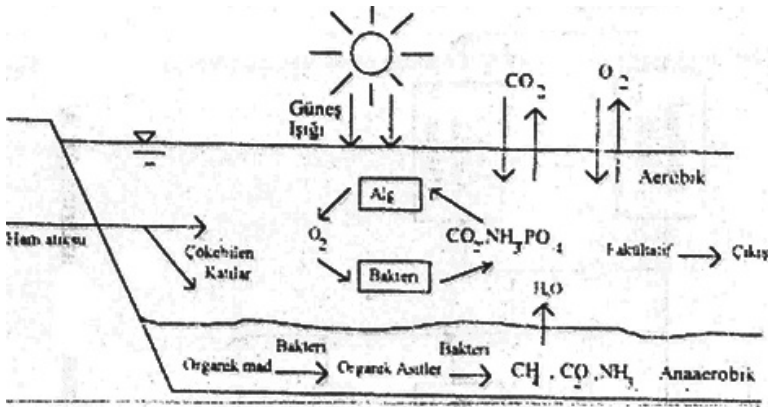
Şekil 9.14. Wehner-Wilhem Denklemi Kullanılarak Verimin Bulunmasına Dair Grafik

Stabilizasyon havuzlarını üç sınıfta toplamak mümkündür:

- Aerobik Stabilizasyon Havuzları
- Anaerobik Stabilizasyon Havuzları
- Fakültatif Stabilizasyon Havuzları

Aerobik stabilizasyon havuzları oldukça sığ havuzlardır. Derinlikleri 0.5 m civarındadır. Anaerobik stabilizasyon havuzları ise daha derin (3-5 m) inşa edilirler.

Fakültatif stabilizasyon havuzları ise ne tam aerobik ne de tam anaerobiktir. Bu havuzların derinlikleri 1 ila 2 m arasındadır. Fakültatif stabilizasyon havuzlarında iki tabaka mevcut olup, yüzeye yakın kısımlarda alglerin faaliyeti neticesi oksijen mevcut, yani üst tabaka aerobiktir. Organik maddeler çökelediği için alt tabaka anaerobiktir (Şekil 9.15).



Şekil 9.15. Bir Stabilizasyon Havuzunda Alg ve Bakteri Faaliyetleri

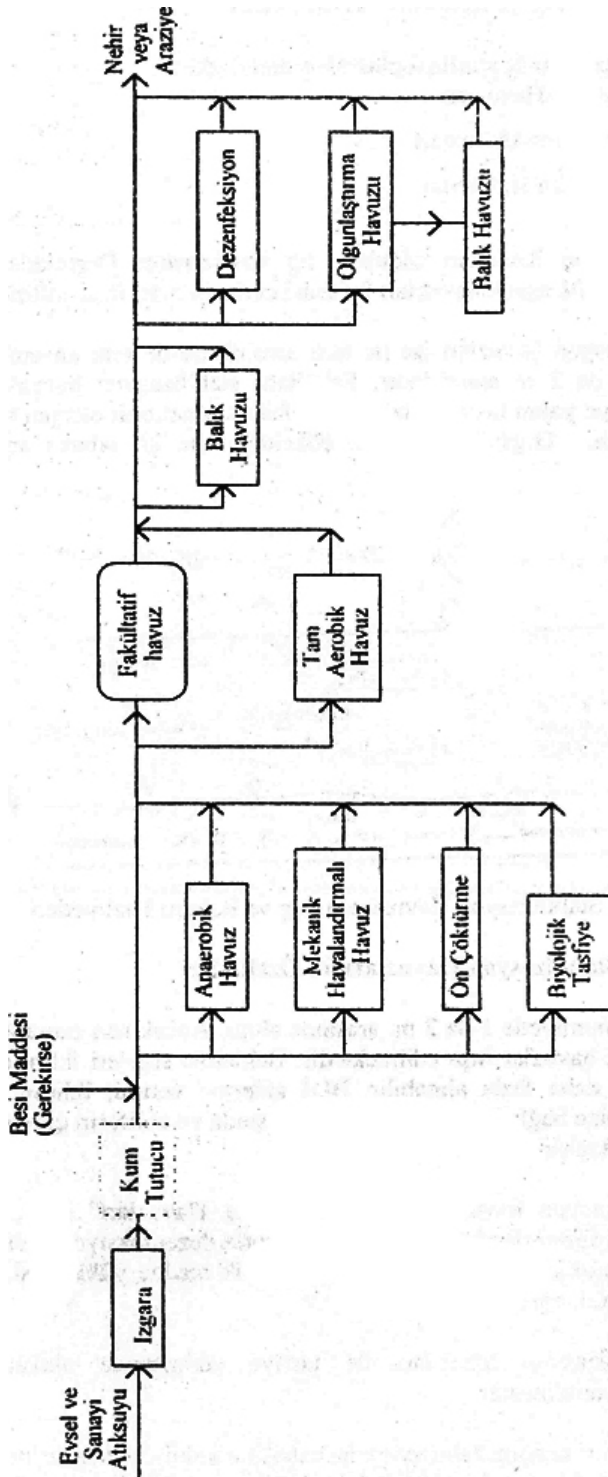
9.4.1. Fakültatif Stabilizasyon Havuzlarının Özellikleri

Havuz derinliği umumiyetle 1 ila 2 m. arasında alınır. Ancak son zamanlarda 3 ila 5 m. ye kadar daha derin havuzlar inşa edilmektedir. Bekletme süreleri iklim durumuna göre 20 - 40 gün hatta daha fazla alınabilir. BOİ giderme verimi; iklime, bekletme müddetine ve karışım şekline bağlı olarak % 70 ila 90 arasında ve koliform giderme verimi % 60 ila % 99.9 arasında değişir.

Bir başka stabilizasyon havuz tipi “Olgunlaştırma Havuzları” olup, fakültatif havuzlardan sonra yerleştirilirler. Bu havuzlar bilhassa klorla dezenfeksiyona bir alternatif olarak kullanılabilir. Derinlikleri 1 m. civarındadır. Organik madde yüklemesi düşüktür. Bekletme süreleri 5 ila 7 gün arasında seçilir.

Atıksuların stabilizasyon havuzları ile tasfiye edilmesiyle alakalı yaygın alternatifler Şekil 9.16’da sunulmuştur.

Bütün bu havuzların tamamı tabii zeminin hafriyatı suretiyle inşa edilir. Hafriyat sırasında yarma ve dolma miktarları dengelenerek kazı miktarı en düşük seviyede tutulur.



Şekil 9.16. Stabilizasyon Havuzlarına Ait Alternatifler

9.4.1.1. Alglerin Oksijen Üretimi

Alglerin oksijen üretimi fotosentez yolu ile olur. Yani;



denkleme gereği 1 gr alg üretimi 1.25 ila 1.7 (2.0) gr O₂ üretimine karşılık gelmektedir. Bu değere oksijenlendirme faktörü “p” denilmektedir.

Havuz yüzeyine gelen ortalama güneş radyasyonunun sadece % 4-6 sı yeni alg hücresine dönüşebilmektedir. Bu yüzdeye “enerji değişim verimi, E” denilmektedir. Havuzdaki alglerin bir gramı 6000 kalori ihtiva etmektedir. Bir başka ifadeyle alglerin “yanma ısısı, h”, 6000 kalori/gram’dır. Havuz yüzeyine isabet eden güneş radyasyonunun miktarı, enlem derecesine ve mevsimlere göre değişmektedir. Güneş radyasyonu aynı zamanda gökyüzündeki “bulutluluk yüzdesine” de bağlıdır.

Bütün dalga boylarındaki radyasyona toplam radyasyon denir. Su yüzeyine nüfuz eden radyasyonun dalga boyu 4000 - 7000 Å arasında olup, buna “Görülür Radyasyon (Visible Rad.)” adı verilir.

Güneş radyasyonunun Kuzey Yarımküredeki değerleri Tablo 9.6.’da gösterilmiştir.

Alg ve Oksijen Üretimi;

Alg Üretimi;

Alg üretimi aşağıdaki ifade yardımıyla bulunabilir: $h \cdot W_a = E \cdot S_R \cdot A$

veya

$$W_a = E \cdot S_R \cdot A / h$$

ifadesiyle bulunur.

Oksijen üretimi ise,

$$W_{O_2} = p \cdot W_a = p \cdot E \cdot S_R \cdot A / h \text{ dır.}$$

Burada:

$$W_a = \text{Alg üretimi, gr/gün}$$

$$h = \text{Algin yanma ısısı, (6000 kalori /gram)}$$

$$E = \text{Enerji dönüşüm verimi, (\% 4-6 arasındadır).}$$

$$p = \text{Oksijenlendirme faktörü, (1.2-1.7 gr O}_2 \text{ /gr alg arasındadır)}$$

$$S_R = \text{Güneş radyasyonu, (kalori / cm}^2 \cdot \text{gün) (Langley)’dir.}$$

$$A = \text{Havuzun yüzey alanı, cm}^2$$

Tablo 9.6. Kuzey Yarımküre İçin Güneş Radyasyonunun Değerleri

Kuzey Yarımküre		AYLAR																							
		Ocak		Şubat		Mart		Nisan		Mayıs		Haziran		Temmuz		Ağustos		Eylül		Ekim		Kasım		Aralık	
Derece	Aralık	vis	tot	vis	tot	vis	tot	vis	tot	vis	tot	vis	tot	vis	tot	vis	tot	vis	tot	vis	tot	vis	tot	vis	tot
0	min	255	655	266	700	371	708	266	690	249	645	256	626	238	436	252	668	254	696	265	694	256	683	253	667
	max	210	580	219	583	216	538	188	462	182	480	103	274	137	368	167	432	289	513	203	530	207	543	193	527
2	min	250	670	263	693	221	706	267	697	253	635	241	642	246	646	255	673	269	693	262	683	251	646	249	546
	max	206	560	213	580	204	534	188	464	186	454	108	282	141	375	169	442	206	531	200	523	178	526	189	505
4	min	244	650	259	588	270	704	262	701	258	663	247	656	250	657	258	678	269	695	260	680	246	650	244	528
	max	200	640	206	543	202	532	187	464	187	432	113	300	146	385	171	448	204	529	196	513	194	510	183	480
6	min	238	630	254	675	268	702	270	705	262	675	252	400	255	669	261	683	269	697	256	670	240	634	238	510
	max	193	520	199	530	200	530	186	467	189	500	118	310	150	375	172	452	202	524	191	500	158	494	176	460
8	min	230	610	249	665	267	700	270	709	266	585	258	678	259	650	253	648	267	615	252	650	234	616	231	590
	max	187	495	192	510	196	523	185	467	191	506	124	220	154	405	174	456	200	518	186	486	182	478	169	440
10	min	223	595	244	655	264	694	271	711	270	695	262	588	265	690	266	693	288	613	245	650	228	603	225	570
	max	279	475	184	490	193	513	183	464	192	512	170	330	154	614	176	450	196	510	183	474	176	452	162	420
12	min	216	572	235	545	262	690	275	710	273	702	267	700	269	700	267	697	244	691	244	640	221	585	217	550
	max	172	455	176	470	189	500	181	462	193	518	133	343	161	421	176	464	193	502	176	462	169	446	154	400
14	min	208	555	233	630	258	680	271	708	276	710	272	710	273	700	268	700	262	688	240	627	214	587	209	536
	max	163	430	167	450	184	487	178	460	196	524	137	354	154	429	177	467	189	496	170	449	162	430	146	380
16	min	200	530	226	510	255	670	272	707	270	718	275	720	277	715	270	703	259	634	234	615	206	554	200	520
	max	154	400	158	430	180	473	177	456	194	528	141	363	167	435	177	469	183	489	164	434	154	410	136	360
18	min	192	515	220	590	250	664	272	705	282	723	280	728	280	723	272	705	256	680	229	565	198	538	192	500
	max	144	380	150	410	174	458	174	452	194	530	145	375	170	442	177	471	180	479	157	418	146	390	128	340
20	min	183	500	213	475	248	652	271	703	284	730	284	738	262	729	272	706	252	674	224	598	190	520	182	460
	max	134	380	140	380	168	440	170	447	194	532	148	383	172	450	177	472	176	467	150	400	138	370	120	320
22	min	174	480	206	560	241	541	270	705	286	734	256	747	285	736	273	707	248	648	218	582	183	560	172	460
	max	123	335	132	370	162	425	167	440	193	530	152	397	173	454	176	472	170	455	143	300	128	350	110	300
24	min	166	460	200	545	236	615	248	697	238	738	250	753	287	742	273	708	244	659	212	568	175	460	161	400
	max	111	310	123	340	156	410	164	433	191	525	155	403	176	459	174	471	155	443	136	380	119	326	101	280
26	min	156	440	192	530	230	615	266	690	208	741	297	700	288	749	273	706	240	652	205	552	166	460	143	420
	max	99	280	114	310	149	390	160	425	189	518	158	409	177	453	172	469	160	429	128	332	109	300	90	260
28	min	145	420	184	510	224	603	264	683	219	743	294	764	288	755	273	704	236	635	199	537	157	440	138	400
	max	87	250	106	290	142	373	156	415	187	506	161	418	178	467	168	466	154	415	120	310	99	276	80	236

S_R ortalama görülür radyasyon aşağıdaki ifadeden bulunur.

$$S_R = S_{\min} + [(S_{\max} - S_{\min}) \cdot b]$$

Burada:

$S_{\min}$ ve $S_{\max}$: Sırasıyla göz önüne alınan aydaki minimum ve maksimum görülür radyasyon,

b: Bulutluluk faktörüdür.

Ortalama görülür radyasyon değerleri ile havuzdaki alg üretimi tahmin edilebilir. Cetvelde verilen değerler deniz seviyesi içindir. Deniz seviyesinden yüksekte olan şehir ve kasabalar için cetvelde verilen değerler $(1+a.H)$ katsayısıyla çarpılarak düzeltilmelidir. Burada:

H: Rakım, km.

a: Katsayı olup, değeri toplam radyasyon için 0.0607,
görülür radyasyon için 0.0303'dür.

9.4.2. Fakültatif Stabilizasyon Havuzlarının Boyutlandırılması

Organik maddelerin giderme kinetiği umumiyetle aşağıda verildiği gibi 1. mertebe kinetiğe uymaktadır. Yani:

$$ds/dt = -K_p \cdot S$$

yazılabilir. Burada:

S: Madde konsantrasyonu, mg/lt

t: Zaman

K_p : Giderme hızı katsayısı, gün^{-1} 'ni göstermektedir.

Tam karışımli tek bir havuz için

$$S = S_o / (1 + K_p \cdot t)$$

Tam karışımli eşit büyüklükte seri bağlı n adet havuz için;

$$S = S_o / (1 + K_p \cdot t_1)^n$$

yazılabilir. Burada:

n: seri bağlı havuz sayısı

t_1 : bir havuzun bekletme müddeti, gün

S_o , S: Sırasıyla giriş ve çıkış konsantrasyonları, mg/lt.

Havalandırılmalı havuzlarda piston akım hali için çıkış konsantrasyonu

$$S = S_o (e^{-K_p \cdot t}) \text{ ifadesiyle hesaplanabilir.}$$

Tatbikatta havuzlardaki akım dispersiyonlu akımdır. Dispersiyon sayısı d:

$$d = D/(u.L)$$

denklemlerle belirlenebilir. Burada;

d: Dispersiyon sayısı (boyutsuz)

u: Akım hızı, m/s

L: Akım yolunun ekseninin uzunluğu, m

D: Dispersiyon katsayısı, m²/sn

t, bekletme müddeti olmak üzere.

$$D/(u.L) = D.t/L^2$$

bağıntısı da mevcuttur.

d = 0 hali ideal piston akım,

d = ∞ hali ideal tam karışımli akıma tekabül eder.

Tatbikatta d = 0.1-4 arasında değişir.

Dispersiyon akımlarda çıkış konsantrasyonunun bulunmasında Wehner-Nilhem denklemi kullanılmaktadır. Bu denklem;

$$\frac{S}{S_0} = \frac{4a e^{a/2}}{(1+a)^2 \cdot e^{a/2} - (1-a)^2 e^{-a/2}}$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$a = (1+4K_p \cdot t.d)^{1/2}$$

K_p: Madde giderme hızı katsayısı, gün⁻¹ dir.

Boyutlandırma;

- W_{O₂} hesaplanır.
- 20 °C için K_p tahmin edilir ve havuz sıcaklığı seçilir ve sıcaklık düzeltmesi yapılır.
- d seçilir.
- Gerekli verim veya S/S₀ değerlerinden K_p.t hesaplanır ve t bekleme müddeti bulunur.
- Havuz hacmi bulunur, boyutlar seçilir. Havuz sıcaklığı dispersiyon sayısı tahkik edilir.

Stabilizasyon havuzlarında madde giderme hızı BOI_u yüküne bağlı olarak verilmektedir.

$$K_p (20^\circ C) = 0.132 \log (L) - 0.169$$

Burada;

L = Nihai BOI yükü, $kg\ BOI_u / ha.gün.(20^\circ C)$

K_p = Madde giderme hızı sabiti, $gün^{-1}$ dir.

Bu denklemin 25-300 $kg\ BOI_u / ha.gün$ değerleri için uygun olduğu belirtilmiştir.

Sıcaklık $20^\circ C$ 'den farklı ise aşağıdaki ifade yardımıyla düzeltme yapılır.

$$K_p (T^\circ C) = K_p (20^\circ C) \cdot \theta^{T-20}$$

Stabilizasyon havuzlarında $\theta = 1.085$ alınır.

Giderme hızı sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Bazı araştırmacılar, deneylerden K_p değeri için Tablo 9.7'de verilen değerleri elde etmişlerdir.

Tablo 9.7. Sıcaklığa Bağlı Olarak K_p Değerleri

Sıcaklık, $^\circ C$	5	10	15	20	25	30	35
K_p , 1/gün	0.103	0.12	0.24	0.35	0.53	0.80	1.20

BOI yüklemeleri; Hindistan için;

Kuzeyde 150 $kg\ BOI_u / ha. gün$,

Güneyde 300 $kg\ BOI_u / ha. gün$

Türkiye için;

Akdeniz Bölgesinde 150 $kg\ BOI / ha. gün$,

Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgeleri 100 $kg\ BOI / ha. gün$,

İç Anadolu Bölgesinde 80 $kg\ BOI / ha. gün$,

Doğu Anadolu Bölgesinde 50 $kg\ BOI / ha.gün$ verilebilir.

Fakültatif stabilizasyon havuzlarının boyutlandırılmasında iklimin (sıcaklık, güneş ışığı, bulutluluk, rüzgar v.s.) ve tasfiye edilecek atıksuyun özelliklerinin tesiri olduğu dikkate alınmalıdır.

Değişik iklim bölgelerine tatbik edilebilecek yüklemeler Tablo 9.8’de verilmiştir.

Tablo 9.8. Stabilizasyon Havuzlarında Tavsiye Edilen Yüklemeler

Organik Yük, kg BOİ ₅ /ha.gün	Kişi/hektar	Bekletme Süresi, gün	İklim Şartları
10 dan az	200’den az	200’den fazla	Kutup Bölgeleri
10-50	200- 1 000	200- 100	Soğuk ve buzla kaplı kışlara, kısa ve ılıman yazlara sahip bölgeler
50-150	1 000 - 3 000	100-33	Ilıman ve yarı tropik iklime sahip bölgeler
150-300	3 000 - 7 000	33-17	Tropik bölgeler

9.4.3. Sülfür Üretimi

Sülfür $S^= > 4\text{mg/l}$ ise alg için inhibittir

$S^= > 6.5 - 8.4 \text{ mg/l}$ ise algler kaybolur.

Sülfür konsantrasyonu;

$$S^= (\text{mg/l}) = [0.0001058 L - 0.001655 t + 0.0553] \cdot \text{SO}_4^=$$

ifadesiyle bulunabilir. Burada:

L: Yük, kgBOİ/h_a.gün

t: Bekletme süresi, gün

SO₄²⁻: Sülfat kons, mg/lt

olarak alınır.

9.4.4. Çamur Birikimi

Çamur birikimi 0,03-0,05 m³/çamur/kişi.yıl olarak verilmektedir. Bu durum göz önünde tutularak çamur birikimi için fazladan bir hacim dikkate alınmalıdır. Hacim hesabında çamurların 5-10 yılda bir defa temizleneceği kabul edilmelidir.

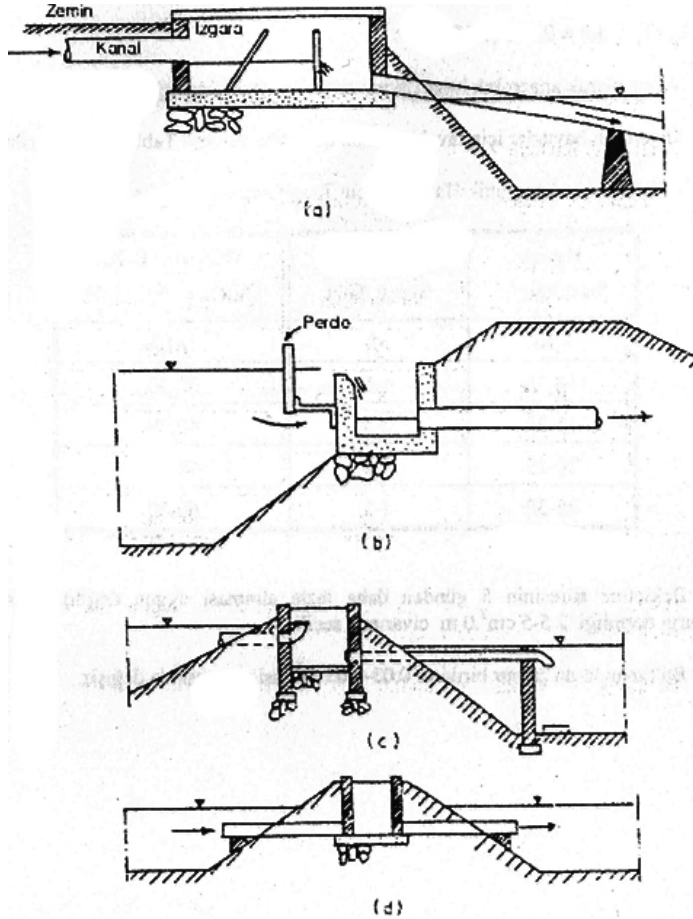
9.4.5. Bakteri Giderimi

Ham atıksuda 10⁶-10⁷ adet koliform/100 ml bulunur. Çıkış suyunun arazide sulama suyu olarak kullanılabilmesi için koliform konsantrasyonu < 1000 adet /100 ml olmalıdır.

9.4.6. Stabilizasyon Havuzlarının İnşası

Stabilizasyon havuzları tabii zeminde inşa edilirler. Havuz tabanının su sızdırmaması, dolayısıyla yeraltı sularını kirletmemesi için havuzun inşa edileceği zeminin geçirimsiz olması gerekir. Zeminin durumuna göre bazen zeminin sıkıştırılması yeterlidir. Bazı durumlarda ise killi toprak getirilip havuz tabanının killi toprakla kaplanması gerekebilir. Havuz yan yüzleri 2,0 ila 2,5 yatay, 1 düşey olarak şevli inşa edilir. Ancak yan yüzeyler beton, taş perde vs. gibi bir kaplama malzemesi ile kaplanacaksa eğim 1-1,5 yataya 1,0 düşey alınabilir.

Stabilizasyon havuzunun giriş ve çıkış yapıları Şekil 9.17’de görülmektedir.



Şekil 9.17. Stabilizasyon Havuzunun Giriş ve Çıkış Yapıları

9.5. ANAEROBİK HAVUZLAR

Anaerobik havuzlar genellikle fakültatif oksidasyon havuzlarından önce yerleştirilir. Bu tip havuzlarda %30-80 oranında BOI giderimi sağlanabilir. Bu havuzlarda koku problemi vardır. Bu yüzden meskun bölgelerden uzak yerlerde inşa edilmeleri uygundur. Anaerobik havuzlarda da anaerobik (havasız) ayrışmada olduğu gibi, asit fazı ve metan fermentasyonu olmak üzere iki kademeli faaliyet söz konusudur.

15 °C'nin altında metan fermentasyon hızı çok düşüktür. Ancak 15 °C in üstünde her 5°C için 4 misli bir artış görülür. Tasfiye hızı sıcaklığa bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$K_s (T^{\circ} C'de) = 0,002 (1,35)^{(20-T)}$$

Netice olarak anaerobik havuzların verimi üzerinde sıcaklığın rolü büyüktür. Anaerobik havuzlar için tavsiye edilen bekletme süreleri Tablo 9.9'da verilmiştir.

Tablo 9.9. Anaerobik Havuzlar İçin Tavsiye Edilen Bekletme Süreleri

Havuz Sıcaklığı, °C	Bekletme Süresi, Gün	Muhtemel BOI ₅ Giderme Verimi, %
<10	>5	0-10
10-15	4-5	30-40
15-20	2-3	40-50
20-25	1-2	40-60
25-30	1-2	60-80

Bekletme süresinin 5 günden daha fazla alınması uygun değildir. Anaerobik havuzların derinliği 2.5-5 m civarında seçilir.

Bu havuzlarda çamur birikimi 0.03-0.05 m³/kişi.yıl arasında değişir.

10. MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) TEKNOLOJİSİ

10.1. GİRİŞ

Son yıllarda, daha az yer kaplayan, ekonomik ve çıkış suyu kalitesi bakımından oldukça verimli olan yeni arıtma teknolojileri üzerindeki araştırmalar yoğunlaşmıştır. Membran teknolojileri bu teknolojilerin başında gelmektedir. Özellikle evsel atıksu arıtma tesislerindeki klasik arıtım sistemlerinin yerine kullanılabilecek olan membran biyoreaktör (MBR) sistemleri hem ekonomik hem de kolay işletilebilir olmaları dolayısıyla çok geniş bir çalışma alanı oluşturmıştır.

Membran biyoreaktör sistemleri (MBR), evsel ve sanayi atıksularının arıtımında yaygın olarak kullanılan aktif çamur sistemi ile biyolojik parçalanmanın, membran filtrasyonu ile katı-sıvı ayırımının gerçekleştirildiği bir atıksu arıtma teknolojisidir. MBR prosesi, temelde aktif çamurun fiziksel olarak membran ile ayırımına dayanmaktadır. Konvansiyonel evsel atıksu arıtma tesislerinde bulunan son çökeltim havuzunun yerine, fiziksel ayırım sağlayan bir membran modülünün prosese batık veya harici olarak dahil edilmesiyle oluşan bir prosestir. Bu proses ile son çökeltim tankından kaynaklanan işletme problemleri giderilerek daha kaliteli çıkış suyu elde edilmektedir. Tablo 10.1’de konvansiyonel aktif çamur sistemleri ile MBR’lerin işletme şartları karşılaştırılmaktadır.

Tablo 10.1. Konvansiyonel Aktif Çamur Sistemleri ile MBR’lerin Arşılaştırılması

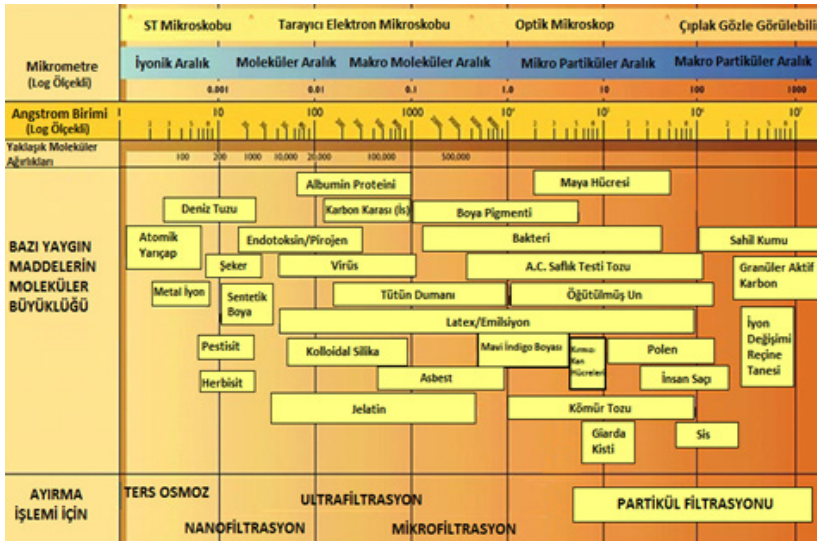
Konvansiyonel Aktif Çamur Sistemi	MBR Sistemi
Düşük AKM konsantrasyonu (3 – 5 g/L)	Yüksek AKM konsantrasyonu (8–30 g/L)
Düşük aktif çamur yaşı	Yüksek aktif çamur yaşı
Sadece flok yapıcı bakteriler bulunabilir.	Bütün bakteri türleri bulunabilir.
Yüksek çamur üretimi	Düşük çamur üretimi
Bileşene özel bakteri bulunma ihtimali düşüktür.	Bileşene özel bakteri bulunma ihtimali yüksektir.
Çamur geri devri yapılır.	Çamur geri devri yapılmaz.
Düşük çıkış suyu kalitesi kullanım için ileri arıtma gerekebilir.	Yüksek kalite çıkış suyu kullanım için ileri arıtma gerekmez.

Membran biyoreaktör teknolojisinin klasik arıtma sistemlerine göre birçok üstünlüğü vardır. Alan ihtiyacının az olması, yüksek çıkış suyu kalitesi (dolayısıyla bazı durumlarda dezenfeksiyona ihtiyaç duyulmaması), yüksek hacimsel ve farklı organik yüklemelere izin vermesi, çamur üretiminin az olması ve çöktürme tankına ihtiyaç duyulmaması en önemli üstünlükleridir. Son yıllarda ülkemizde de MBR konusundaki çalışmalar büyük bir ivme kazanmıştır. Hem proses geliştirme konusunda hem de MBR’larda kullanılmak üzere uzun ömürlü yerli membranların üretilmesi konusunda, Türkiye’nin ilk ve tek membran araştırma merkezi olan Prof. Dr. Dinçer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEM-TEK), İstanbul Teknik Üniversitesinde kurulmuştur. Bu merkezde, katma değeri yüksek ürünleri geliştirmek üzere çok önemli çalışmalar yürütülmektedir.

Bu bölümde, MBR sistemlerinin genel tanıtımı ve sistem parametreleri ile tasarım ve işletme adımlarında dikkate alınması gereken hususlar verilecektir.

10.2. MEMBRAN BİYOREAKTÖRLERDE KULLANILAN MEMBRANLAR, ÖZELLİKLERİ VE PROSES KONFİGÜRASYONLARI

Membran, iki fazı birbirinden ayırma işleminde kullanılan geçirgen veya yarı geçirgen bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Membran filtrasyonu, kolloidlerin, büyük moleküllerin, partikül maddelerin, iyonların, askıda katı maddelerin ve çözünmüş maddelerin ayrımı amacıyla kullanılan bir teknolojidir (Taşyıcı, 2009). Membranın geçirgen olma derecesi membran por çapına bağlıdır. En büyük gözenek çapına sahip membranlar mikrofiltrasyon (MF) membranı, en seçici membran ise ters ozmoz membranıdır. Membranlara ait ayırım spektrumu Şekil 2.1’de verilmiştir. Membran biyoreaktörlerde, mikrofiltrasyon (MF) veya ultrafiltrasyon (UF) membranları kullanılabilir.



Şekil 10.1 Membran Filtrasyon Spektrumu

Mikrofiltrasyon membranları kullanılarak boyutu 0,1 ile 20 µm arasında olan moleküller tutulabilir. Gözenek boyutları 0.001-0.1 µm arasında olan maddeleri tutmak için ise ultrafiltrasyon membranları kullanılabilir. Bakteriler hem ultrafiltrasyon hem de mikrofiltrasyon membranları ile yüksek oranda tutulabilirken, virüsler ultrafiltrasyon membranları ile yüksek mikrofiltrasyon membranları ile düşük oranda tutulabilir.

Membranların performansları genellikle iki parametre ile ifade edilmektedir. Bunlar seçicilik ve akı olarak ifade edilebilir. Akı, birim alan ve zamanda membrandan geçen hacim olarak tanımlanır. Hacimsel olarak ifade edilen akının birimi genellikle L/m².sa, L/m².gün ve cm³/cm².sa olarak verilir. Membran filtrasyonunda, membrandan geçen akım, membrana uygulanan basınç (ΔP) ile doğru orantılıdır. Membrandan geçen akımın miktarı, Darcy kanununa göre,

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_m}$$

ile hesaplanmaktadır (Wiesner ve Aptel, 1996). Burada,

J : Akı,

ΔP : Membrandaki basınç farkı,

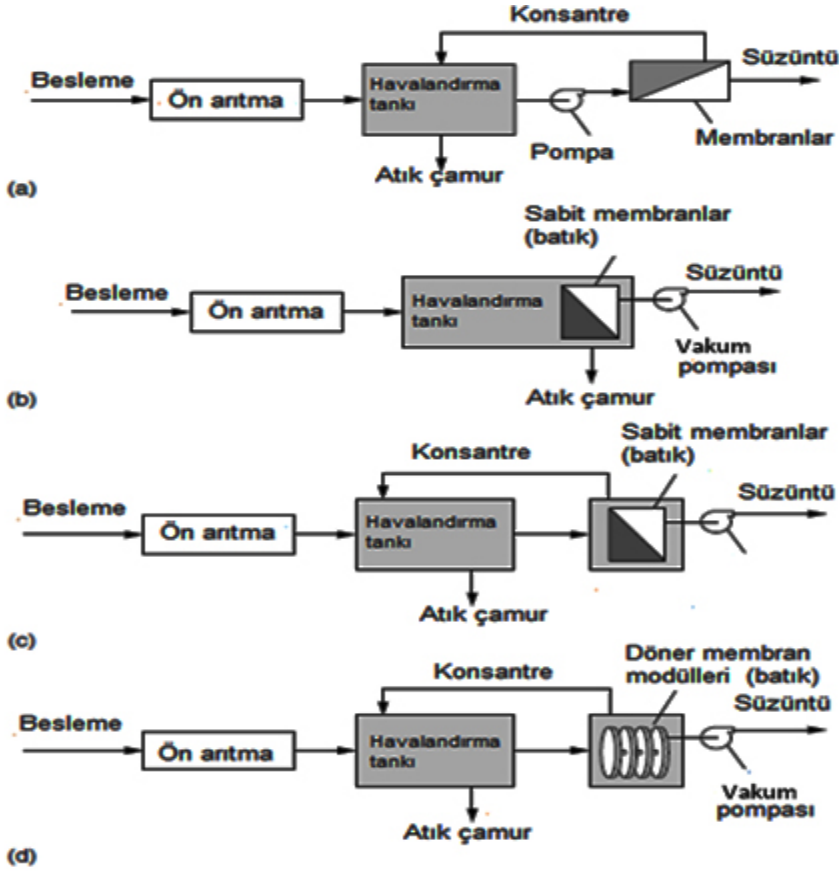
μ : Akışkanın viskozitesi,

R_m : Membranın hidrolik direnci,

olarak tanımlanmaktadır.

Membran biyoreaktör (MBR) türlerini temel olarak dört ana başlıkta sınıflandırabiliriz. Bunlar (i) harici basınç sürücülü membranlar, (ii) entegre batık, (iii) harici batık ve (iv) harici batık-döner membran sistemlerdir. Şekil 10.2’de bu sistemlere ait genel tertipler verilmiştir. Sistemlerin ortak özelliği düşük basınçta sıvı/katı ayrımı yapabilen bir membran sistemi (MF, UF vb. gibi) bulundurmalarıdır. Bu membranlar basınç veya vakum sürücülü olarak kullanılırlar. Basınç sürücülü membranlar Şekil 10.2 (a)’da gösterildiği gibi harici sistem MBR sistemlerinde, membran sistemi biyoreaktör dışına kurulur ve havalandırma tankındaki karışım sıvısı membranlara pompalanır. Arıtılmış su süzöntü olarak alınır, arıtılamayan kısım ise konsantre akımından havalandırma tankına geri beslenir. Bu sistemde kullanılan membranlar genellikle tubüler konfigürasyonda üretilir ve harici MBR olarak adlandırılır (Trussel ve diğ., 2005). Bu sistemlerde filtrasyon performansını arttırmak için, ön arıtma maksadıyla kaba ızgara veya kartuş filtre kullanılabilir. Şekil 10.2 (b) ve 10.2 (c)’de verilen batık MBR sistemlerinde membranlar iki şekilde kullanılabilirler. Membranların doğrudan havalandırma tankındaki aktif çamur içerisine daldırıldıkları (Şekil 10.2 (b)) durumunda sistem entegre batık MBR ismini alır. Membranların havalandırma tankından ayrı membran ayırma tankında (Şekil 10.2 (c)) aktif çamura daldırılmaları durumunda ise sistem harici batık MBR olarak isimlendirilir.

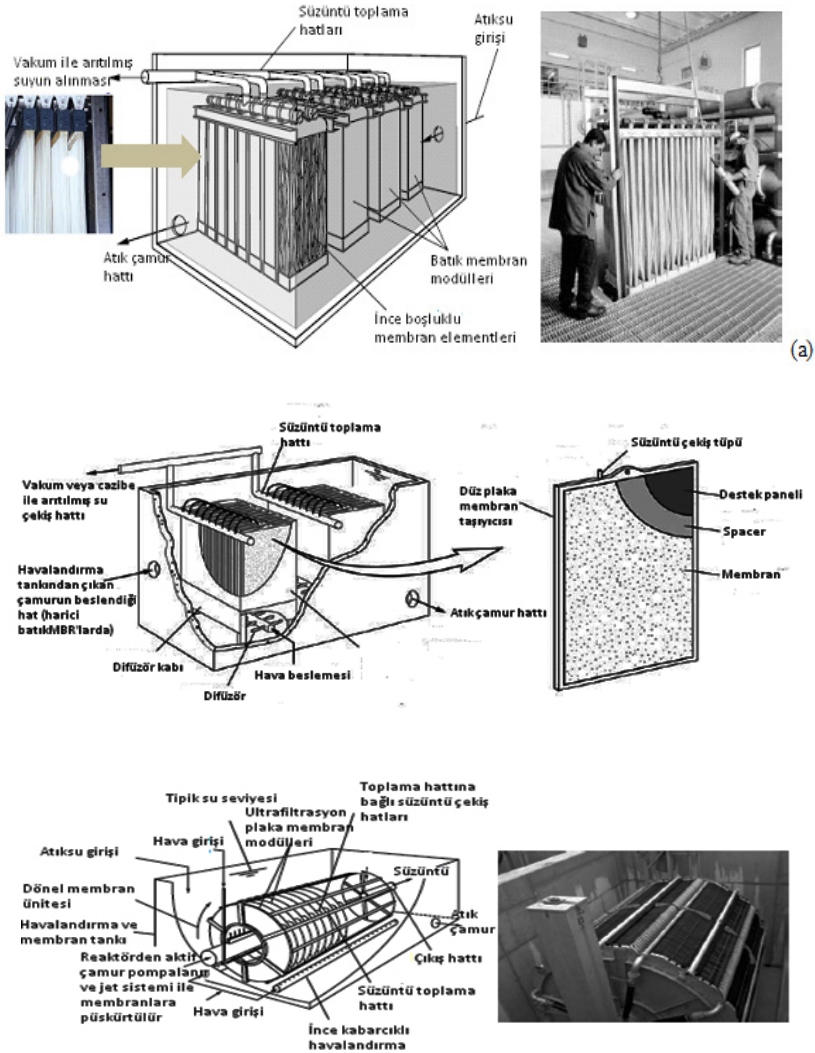
Batık MBR sistemlerinde membranlar vakum sürücülü olarak çalıştırılırlar. Membranlara 50kPa'dan az olacak şekilde pompa yardımıyla vakum uygulanır. Arıtılmış su membrandan süzülürken, konsantre kısım reaktörde veya membran tankında kalır. Membranların yüzeyini temizlemek için, membran modüllerinin altından hava verilir. Hava kabarcıkları yüzeye çıktıkça membran yüzeyinde kesme kuvveti oluştururlar ve membran yüzeyinde biriken katıların sıyrılarak temizlenmesini sağlarlar. Şekil 10.2(d)'de verilmiş olan harici batık-döner membran sistemi ise prensip olarak harici batık MBR sistemine benzer çalışmaktadır fakat burada membranlar döner modüller halindedir. Burada dönme etkisi membran yüzeyleri üzerinde türbülans oluşturarak yüzeyin devamlı temiz olmasını sağlar.



Şekil 10.2. Genel MBR türleri (a) harici basınç sürücülü MBR; (b) entegre batık MBR; (c) harici batık MBR ve (d) harici batık-döner MBR

Batık MBR sistemlerinde kullanılan membranlar çoğunlukla ince boşluklu fiber (hollow-fiber) veya düz plaka (flat-sheet) şeklindedir. Buna mukabil harici MBR'lerde çoğunlukla düz plaka membranlar kullanılmaktadır. İnce boşluklu fiber membranlar, yüksek paketleme yoğunluğuna sahiptirler.

İnce boşluklu fiber veya düz plaka membranların batık MBR’larda dizilim şekilleri, tıkanma, membran yüzeylerinde kesme kuvvetlerinin oluşumu ve havalandırmanın enerji ihtiyacı üzerine doğrudan etkiye sahiptir. Reaktör içerisinde hava ile sağlanan yukarı akış hızı ile büyük katıların membran yüzeyinde birikimi azaltılır ve böylece membran ayırma verimi artar. Zamanla membran yüzeyinde meydana gelen tıkanma ve birikim ile yükselen hava kabarcıkları yavaşlar ve filtrasyon verimleri düşer. Bu durumda havalandırma ihtiyacı artar ve dolayısıyla havalandırma için gerekli enerji ihtiyacı artar. Şekil 10.3 (a-c)’de MBR için pratikte kullanılan membran konfigürasyonlarından olan ince boşluklu fiber, düz plaka ve döner batık membran modüllerinin şekilleri ve akım hatları verilmiştir.



Şekil 10.3. MBR İçin Pratikte Kullanılan Membran Konfigürasyonlarının Akım Şemaları ve Genel Görünümleri (a) ince boşluklu (b) düz plaka ve (c) döner batık membran

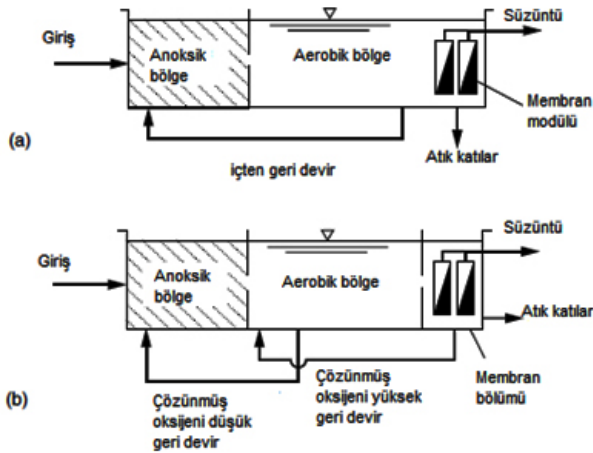
10.2.1. Nütrient Giderimi

Biyolojik nütrient giderimi için, MBR'ın aerobik bölgesinin önüne ek bölgeler veya bölümler konularak biyolojik nütrient giderimi sağlayan anoksik veya aneorobik şartlar sağlanabilir. Bazı uygulamalarda ise kimyasal eklentisi yapılarak azot ve fosfor giderimi artırılabilir.

Azot giderimi

Entegre veya ayırık sistemler için Şekil 10.4'de gösterildiği gibi MBR prosesine azot giderimi için eklenti yapılabilir. Şekil 10.4-a'da aerobik MBR sisteminin önüne yerleştirilmiş ön arıtımı yapılmış atıksuyun anoksik reaktöre girdiği bir sistem görülmektedir. MBR'daki karışık sıvı anoksik tanka geri çevrilir. Geri devir oranı giriş atıksuyu debisinin yaklaşık 2-5 katıdır ve anoksik tanktaki genel bekleme süresi 2-4 saat arasında değişir.

Şekil 10.4-b'de gösterilen proses akış şemasında ise ayırık membran sistemi görülmektedir. Çalışma prensibi ve verimi entegre sistemle benzerlik göstermektedir. Aşağıda da bahsedildiği gibi daha iyi proses kontrolü için ikili geri devir hattı uygulanmıştır. Geri devir oranı ve anoksik tankta bekleme süresi entegre sistemdeki ile yaklaşık olarak aynıdır.



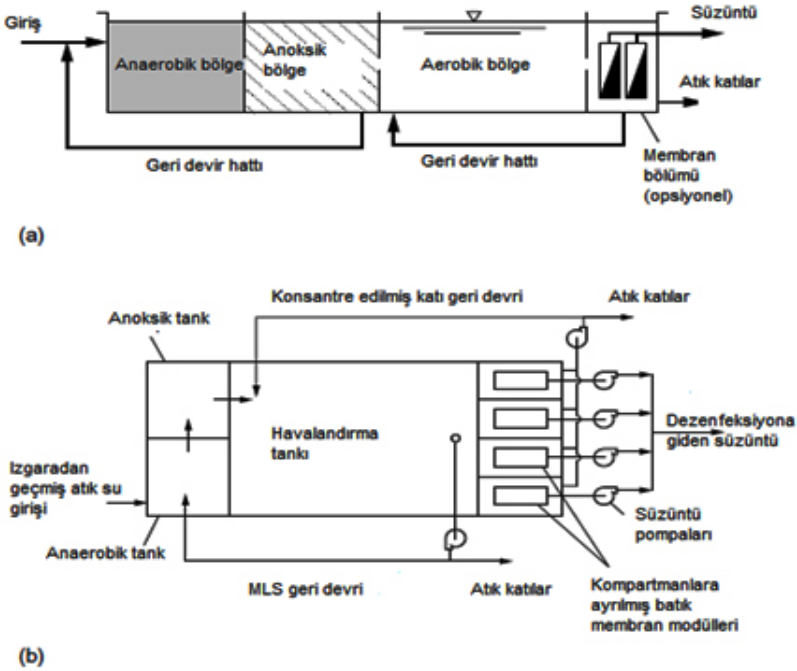
Şekil 10.4. Azot Giderimi Yapan MBR : (a) entegre ve (b) ayırık sistem

Fosfor Giderimi

Fosfor giderimi için azot giderimine ek olarak biyolojik fosfor giderimi yapılabilecek anaerobik bir bölge ya da kompartman anoksik tankın ön kısmına konulur. Şekil 10.5'de biyolojik azot ve fosfor giderimi yapabilmek için tipik olarak kullanılan proses akış şeması verilmiştir. Genellikle anaerobik bölge içerisinde hidrolik bekleme süresi olarak 0.5-1 saat seçilir. Bu süre içerisinde kolay biyobozunur KOİ (rbKOİ) olarak ölçülen kolay biyobozunabilir organik maddenin fermentasyonu gerçekleşir.

Anaerobik tank içerisi geri devir çamuru ve giriş atıksuyunun temas sağlaması için

karıştırılır. BOİ giderimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyon için kullanılan reaksiyon kinetikleri konvansiyonel askıda büyüyen proseslerle benzerdir. Fosfor giderimi ayrıca MBR'a metal tuzları katılıp flok oluşumu artırılarak da yapılabilir.



Şekil 10.5. Fosfor Giderimi İçin Kullanılan Tipik MBR Proses Şeması:
(a) Şematik, (b) Plan görünüş

10.3. TIKANMA PROBLEMİ VE KONTROLÜ

Membranların en önemli sorunlarından birisi, membranların zamanla tıkanmaları ve filtrasyon veriminin düşmesidir. MBR'lar sürekli aynı miktarda süzüntü alınabilmesi için düzenli olarak sabit akı şartlarında işletilirler. Bu yüzden sabit akı modunda çalışan sistemlerde tıkanma oranı seçilen akı değerinin artmasıyla katlanarak artar. Sürdürülebilir işletme prensibi gereği MBR'ların sabit akı ve tercihen kritik akı değerinin altında çalıştırılması gerekmektedir. Düşük transmembran basıncı (TMP) filtrasyonun başlangıcından itibaren artar ve kritik zaman periyodu sonrasında hızlı bir artışla devam eder. Pratikte, kirlenme ve tıkanma kontrolü için genellikle beş ana strateji uygulanmaktadır:

1. Giriş atıksu için uygun ön arıtma uygulanması,
2. Uygun fiziksel veya kimyasal temizlik protokollerinin kullanılması,
3. Seçilen akı değerinin azaltımı,
4. Havalandırmanın artırılması,
5. Kimyasal veya biyokimyasal olarak aktif çamurun modifiye edilmesi.

Genellikle bir MBR veya diğer biyolojik arıtmalar için seçilecek en uygun ön arıtmanın ilk olarak ızgara olduğu kabul edilmektedir. MBR'lar için uygulamada 6-10 mm boşluk aralığına sahip klasik ızgaraların ön arıtma için yetersiz kaldığı belirtilmektedir. Uygulamada, 1 mm civarında gözenek çapına sahip tanbur ızgaralar, MBR için en iyi ön arıtma verimi sağlamaktadır.

Membran temizleme protokolleri genellikle başlangıç filtrasyon verimini tekrar elde eden temizleme prosedürlerine göre sınıflandırılmaktadır. Tıkanma türlerinin sınıflandırılması ve uygulanacak temizleme metodları Tablo 10.2'de verilmiştir. Bu tabloda, beklenen tıkanma tipleri ve oranları ile tıkanmayı gidermek için uygulanacak temizleme stratejileri arasındaki zaman aralığına dayalı olarak belirlenen temizleme ve dönüşümlü temizleme arasındaki farklar görülebilmektedir.

Uygulamada, fiziksel temizlik protokolü olarak membranların belirli süre çalıştırılması belirli süre dinlendirilmesi sağlanmaktadır. Genellikle hem düz plaka hem de ince boşluklu fiber membranlar için yapılan uygulama, her 8-15 dakikalık işletme periyodu için 1-2 dakika dinlendirme şeklindedir. İnce boşluklu fiber membranlar için, geri yıkama kullanıldığı takdirde, genellikle 1-3 kez işletim akısı değerince geri yıkama uygulanabilir.

Tablo 10.2. Tıkanıklık Sınıflandırması

Kirlilik Tanımı	Zaman Aralığı	Uygulanan Temizleme Metotları
Kek, geri dönüşümlü veya giderilebilir tıkanıklık	10 dakika	Fiziksel yıkama
Birikimli tıkanıklık	1-2 hafta	Ayrıntılı yıkama
Geri dönüşümsüz tıkanma	6-12 ay	Kimyasal yıkama
Geçici, uzun dönem veya onarılamaz tıkanma	Birkaç yıl	Temizlenemez

Fiziksel temizlik, bazı kalıntı ve geri dönüşümsüz tıkanmanın kaldırılabilmesi için kimyasal temizleme ile takviye edilir. Kimyasal temizleme, ortalama kimyasal konsantrasyonlarında, ay bazında haftada 2 kez olmak üzere kalıntı kirlenmeyi ortadan kaldırmak için tasarlanmaktadır. Geri dönüşümsüz olarak adlandırılan kirlenmeyi ortadan kaldırmak içinse yoğun kimyasal temizlik (yılda bir veya iki kez) kullanılır. Kimyasal temizleme yöntemleri, tüm organik maddelerin uzaklaştırılması için, genel olarak ağırlıkça yaklaşık % 0.1-0.5 hipokloritin bir kombinasyonunun kullanılması ve inorganik maddelerin uzaklaştırılması içinse organik asitin kullanılmasıdır (sitrik ya da oksalik, mineral asit ile takviye edilmiş asit, pH 3'e getirebilmek için kullanılır). Tablo 10.3'de tam ölçekli bir MBR sisteminde uygulanacak kimyasal temizleme protokolünün değerleri verilmiştir.

Tablo 10.3. Tam Ölçekli MBR Sisteminde Uygulanacak Kimyasal Temizleme Protokolü

Temizleme ajanı	Konsantrasyon (mg/L)			Sıklık (Aylık)			Yıkama süresi (saat)		
	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.
NaOCl	200	3000	1050	0.167	8.0	3.0	0.75	4.5	1.98
Sitrik asit	450	15000	6056	0.3	4.0	2.0	0.75	3.0	2.0
H ₂ O ₂	2000	20000	2000	-	-	4	-	-	X

10.4. MBR SİSTEMLERİNİN TASARIMI

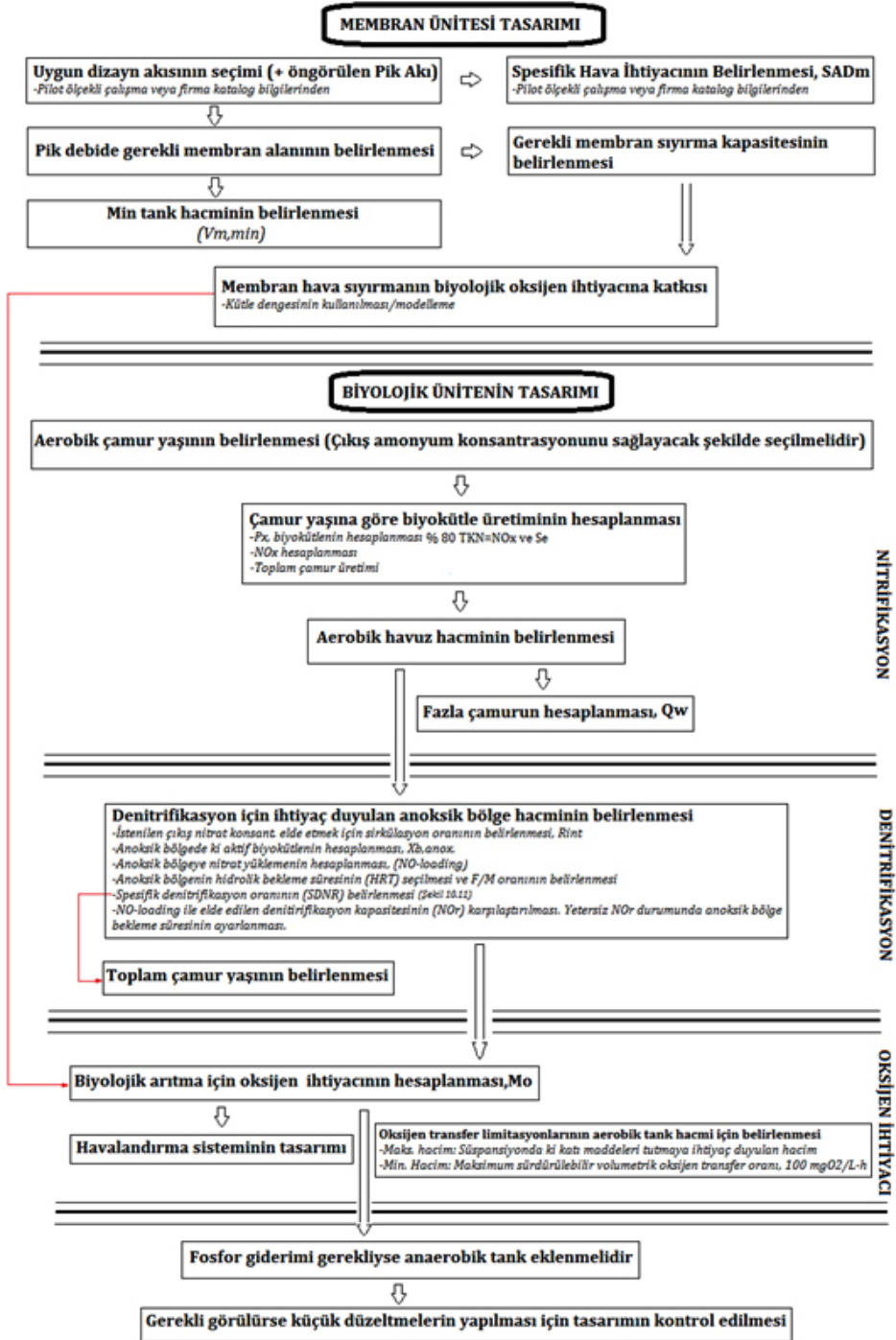
Son yıllarda teknolojiye meydana gelen gelişmeler ile doğru orantılı olarak birçok evsel ve endüstriyel nitelikli atıksu arıtımında MBR sistemlerinin kullanımı artış göstermiştir. Bu sebeple Çevre mühendisliği alanında MBR sistemlerin doğru tasarlanması ve işletilmesi oldukça önemli bir konudur. Bu bölümde MBR sistemlerinin tasarımı için yapılan varsayımlar detaylı olarak verilmiştir. MBR sistemleri için temel tasarım adımları aşağıda sıralanmıştır.

1. Membran filtrasyonu ünitesi hesabının yapılması,
2. Biyolojik prosesin hesaplanması (oksijen ihtiyacının belirlenmesi),
3. Havalandırma ünitesinin tasarımı.

MBR sistem tasarımındaki temel tasarım parametreleri Tablo 10.4’de verilmiştir. Şekil 10.6’da ise MBR sisteminin tasarım adımları verilmiştir.

Tablo 10.4. MBR Sistemi Tasarım Parametreleri

Parametre		Birim	Değer
Gözenek çapı (UF/MF)		µm	0.04 - 0.4
Akı	Ortalama	L/m ² sa	8.5-25
	Pik	L/m ² sa	<73
Biyoreaktör askıda katı konsantrasyonu		mg/l	8000 - 12000
Çamur yaşı,		gün	10 - 20
Hidrolik bekleme süresi		sa	~4
Ön arıtma ızgara boyutu		mm	≤3
Membran türü		-	İçi boşluklu, düz plaka
Membran yüzey alanı		m ²	0.8 - 105
Havalandırma türü		-	Kaba, ince taneli baloncuklar
Tahmini membran ömrü		yıl	10 yıla kadar



Şekil 10.6. İzlenmesi Gereken MBR Tasarım Adımları

10.4.1. Membran Filtrasyon Ünitesinin Tasarımı

Aşağıda, membran ünitesinin boyutlandırılması adımları verilmiştir.

1. Adım: Membran alanının ve modül boyutlarının belirlenmesi:

Membran filtrasyonu hesabı MBR sistem tasarımında ilk adımdır. Membran filtrasyonu sisteminin tasarımı belli adımları gerektirmektedir. Bu adımlar;

1. Net akı hesabı
2. Membran tipinin belirlenmesi
3. Gerekli membran alanının belirlenmesi
4. Hava ihtiyacının belirlenmesidir.

MBR sistemlerinin tasarımında kullanılan akı değeri, sıcaklık ve kullanılacak membran malzemesine göre değişmektedir. Özellikle endüstriyel atıksu arıtımında akının belirlenmesi için pilot ölçekli çalışmalara ihtiyaç vardır. Tablo 10.9’da farklı MBR uygulamaları için yaklaşık akı değerleri verilmiştir.

Tablo 10.5. Farklı Uygulamalar İçin Akı Değerleri

Konsantrasyon (AKM: 8-15 g/L)		Ortalama Tasarım Akısı	Günlük Pik Akı
Evsel Nitelikli Atıksu	< 15 °C	< 20 L/m ² .h	< 31,5 L/m ² .h
	> 15 °C	< 26 L/m ² .h	< 37 L/m ² .h
Endüstriyel	< 15 °C	< 10,5 L/m ² .h	-
	>15 °C	< 14 L/m ² .h	-

Toplam ihtiyaç duyulan membran alanını hesaplamak için aşağıdaki formülden yararlanılır. Hesaplamalar pik debide pik akı değeri ile gerçekleştirilir.

$$\text{Membran Alanı (m}^2\text{)} = Q_p / J_p$$

Q_p : Tesise gelecek pik debi, m³/sa

J_p : Kullanılacak membran için seçilen pik akı değeri, L/m².sa

2. Adım: İhtiyaç duyulan modül sayısının belirlenmesi:

İhtiyaç duyulan membran modül sayısının belirlenmesi için standart modül kapasitelerine karşılık gelen membran alanları katalog bilgilerinden elde edilir. İhtiyaç duyulan membran modül sayısı aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$\text{İhtiyaç duyulan membran modül sayısı} = \text{Membran Alanı (m}^2\text{)}/\text{Modül Kapasitesi (m}^2\text{/modül)}$$

3. Adım: MBR tank hacminin belirlenmesi (Ayrık sistemler için):

Tank boyutlarının hesaplanabilmesi için modül boyut bilgilerinin bilinmesi gerekmektedir. MBR tankı tasarımı modül boyutlarının yanı sıra modüllerin tank içerisine yerleştirilmesi için belirlenen kriterler dikkate alınarak gerçekleştirilir.

4. Adım: Membran modüller için ihtiyaç duyulan hava debisinin hesaplanması:

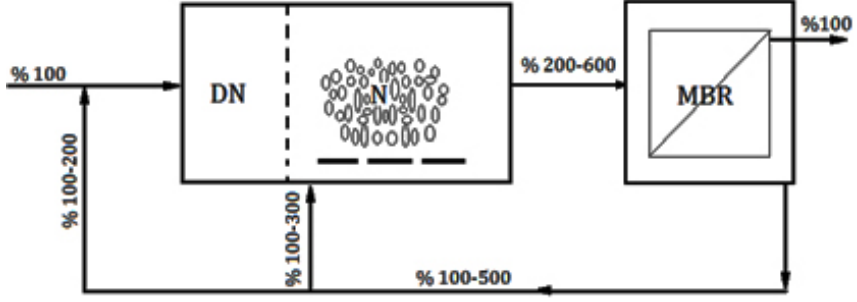
Membran yüzeyine yapışan kek tabakası kaba hava baloncukları ile sıyrılarak uzaklaştırılır. Bu sebeple MBR sistemlerinde modüller için ayrı bir hava debisinin belirlenmesi gerekmektedir.

10.4.2. Biyolojik Proses Hesabı

Biyolojik havuz içerisinde 8-12 g/L AKM konsantrasyonu, membran tankında ise AKM konsantrasyonunun 9-18 g/L olması önerilmektedir. Tablo 10.6'da MBR tasarımı için önerilen AKM konsantrasyonları verilmiştir. Biyolojik tankdaki yüksek AKM konsantrasyonunu sağlayabilmek için membran tankından geri devir gereklidir. Birleşik sistemlerde geri devir söz konusu değildir. Membran tank ve biyolojik tankın AKM değerleri eşittir. Muhtemel geri devir oranlarını gösteren akım şeması Şekil 10.7'de verilmiştir.

Tablo 10.6. MBR Tasarımında Kullanılan Tipik AKM ve Geri Devir Oranı

Parametre	Tipik Değer	Tavsiye Edilen Değer
MBR tankı içerisindeki AKM	7-18 g/l	15 g/l
Biyolojik tank içerisindeki AKM	5-12 g/l	10 g/l
Geri devir oranı	Günlük kapasitenin %100-500 arası	%200



Şekil 10.7. Ayrık Sistem İçin Tipik Geri Devir Şeması

Aşağıda biyolojik proses tasarımı için gereken adımlar listelenmiştir:

1. Çamur yaşının belirlenmesi
2. Üretilen çamur miktarının hesaplanması
3. Reaktör hacminin belirlenmesi
4. Denitrifikasyon için gerekli anoksik bölge hacminin hesaplanması
5. Oksijen ihtiyacı

Türkiye’de membran sistemlerin uygulanması yaygın hale gelmeye başlamıştır. Su tasfiye tesislerinde ve sanayiye su hazırlama birimlerinde ters osmoz membranları ile sudan tuzun giderilmesi işlemleri her geçen gün kullanım alanını genişletmektedir.

22.05.2010 tarihinde İTÜ bünyesinde kurulan “Prof. Dr. Dinçer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezinin (MEM-TEK)” başkanlığını da yürüten Prof. Dr. İsmail Koyuncu’ya membranlar ile alakalı bölümün hazırlanmasında verdiği katkılardan dolayı teşekkür ediyorum.

2013 yılında açılışını yapmaktan gurur duyduğum MEM-TEK’in çalışmalarını yakından takip ediyorum. MEM-TEK, su ve atıksu uygulamalarında membran üretimi, modül imalatı ve proses geliştirilmesi üzerine dünya çapında lider bir araştırma merkezi haline gelmek için önemli çalışmalar yürütmektedir. MEM-TEK mevcut teknolojileri geliştirmek ve yeni teknolojiler üretmek maksadıyla araştırmalar yapmaktadır.

11. KANALİZASYONU OLMAYAN YERLERDE ATIKSULARIN UZAKLAŞTIRILMASI

Şehir ve kasabalarda atıksuların toplanarak tasfiye edileceği alana getirilerek tasfiye edilmesi en uygun sistemdir. Bu, halen tatbik edilen sistemlerin içinde hem sağlığın korunması ve hem de estetik kriterler bakımından en iyisidir. Bu suretle bilhassa zeminin ve yüzeysel suların kirlenmesi, tehlikeli atıklarla, böcekler, kurtlar ve evcil hayvanlarla salgın hastalıkların insanlara intikali önlenmiş olur.

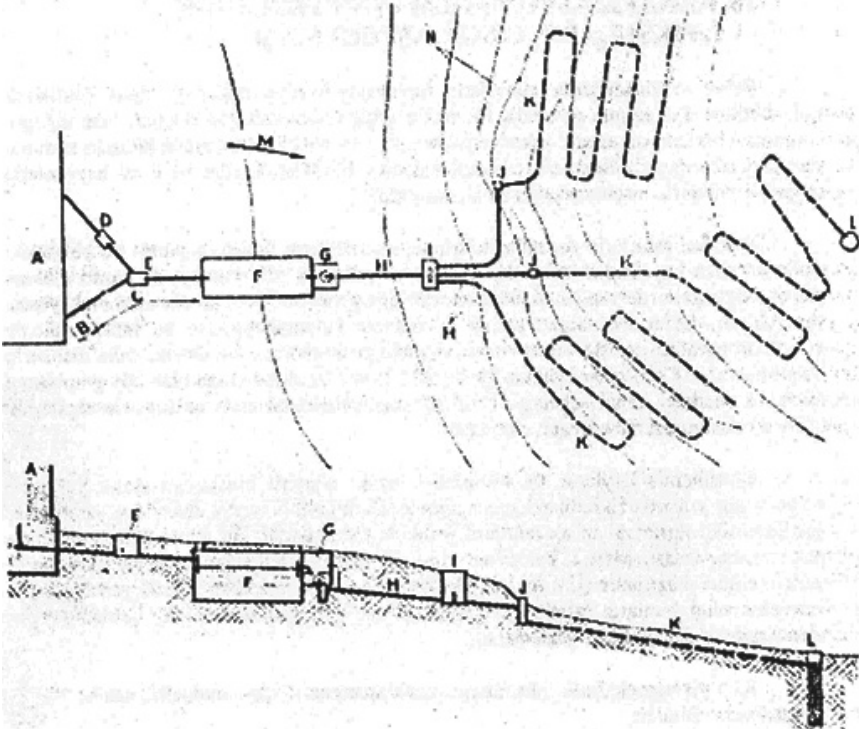
Bilhassa şehirlerin dış mahallelerinde, sıvı atıkların drenajı sonunda bu bölgedeki su temin eden kuyulardan temiz olmayan sular çekilmektedir. Bunları da nazari dikkate alarak, böyle yerlerde yapılacak münferit tesislerle genel bir kanal şebekesinin mukayesesi yapılmalıdır. Uzun bir zaman aralığı göz önünde tutularak yapılan bu mukayeselerde genellikle münferit tesisler daha pahalı ve sağlığın korunması yönünden daha mahzurlu bulunmaktadır. Kesif iskan edilmiş köylerde, bilhassa birbirine yakın olan köy gruplarının müşterek merkezi kanal şebekesi, hem inşaa maliyetinin düşmesi ve hem de ekonomik işletme bakımından daha uygun olmaktadır.

Gelişmemiş köylerde ve birbirinden uzak münferit binalardan ibaret yerleşme bölgelerinde yukarda zikredilen kanal ağının inşası iktisadi olmayıp, atıksuların zararsız bir şekilde uzaklaştırılması ancak münferit yapılarla mümkündür. Bu gibi münferit tesislerin planlanması, inşası, idaresi, bakım ve kontrolü için genel esasları içerisine alan çeşitli yönetmelikler hazırlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan yönetmelikler ancak genel esasları vermekte olup bunların tatbikatında bölge otoriteleri tarafından mevki şartlara uygun olarak gerekli değişiklikler yapılmalıdır.

Kır yerleşmelerinde atıksuların uzaklaştırılması için muhtelif usuller tatbik edilmektedir. Bunlar;

1. Geniş bir su ortamında sulandırma,
2. Kuru çukurlar,
3. Sızdırma kuyuları,
4. Çürütme çukurları,
5. Çöktürme-çürütme tesisleri;
6. Damlatmalı sistemler,
7. Kum filtre hendekleri veya
8. Yeraltında sızdırma gibi usullerden biri veya birkaçı olabilir (Şekil 11.1).
9. Paket Arıtma Tesisleri

Bu usullerin seçiminde istenen tasfiye derecesi, sistemin bulunduğu yer ve diğer mevki şartlar ve en nihayet maliyet gözönünde tutulur. Uzaklaştırma tesisinin seçimi ve projelendirilmesinde nazarı dikkate alınacak mevki şartlar zemin geçirgenliği, yeraltı suyu seviyesi ve akış yönü, zemin yüzü topografyası, su temin edilen kaynakların uzaklığı, kullanılmış suların miktarı ve bu iş için gerekli saha gibi faktörlerdir.



Şekil 11.1.Çürütme Çukuru ve Sızdırma Borularından İbaret Bir Sistemin Plan ve Kesit Durumu

Şekilde A bir binayı, B ev kanalını, C bina bağlantı borusunu, D mutfaktan gelen boru üzerindeki yağ tutucuyu, E muayene bacasını, F çürütme çukurunu, G dozlama hücreğini ve sifonu, H bağlantı yerleri tecritli boruyu, I dağıtma kutusunu, J düşüm bacasını, K dren borularını, L sızdırma kuyusunu, M zemin yüzü eğimini, N tesviye eğrilerini göstermektedir.

11.1. YÜZEY SULARINA TAHLİYE

Deniz, göl, nehir gibi bir yüzey suyunun civarında bulunan münferit bina veya küçük yerleşmenin atıksuları ya doğrudan doğruya veya bir çürütme tesisinden geçirildikten sonra bu alıcı ortama verilebilir. Kullanılmış su bir mansap hattı ile nehir veya gölün alçak su seviyesinden veya deniz seviyesinden daha aşağıda olan bir noktadan, daha iyisi alıcı suyun tabanı civarından verilir. Bu son durumda daha sıcak ve hafif olan kullanılmış su yukarı doğru yükselirken öncekine nazaran daha iyi bir şekilde karışarak yeterli bir seyreltme temin edilir. Atıksuların bu tarzda bertaraf edilmesinde, projelendirme alıcı sudaki tabii tasfiyeye göre yapılır. Burada, suda mevcut ve havadan alınacak çözülmüş oksijen miktarı ile atıksuda oksidasyonla stabilize olacak organik madde miktarı rol oynar. Şayet alıcı suda yeter miktarda oksijen yoksa anaerobik çürüme başlar ve suyun biyolojik dengesi bozulur. Neticesinde kullanılmış suyun özellikleri kötüleşir ve içerisindeki canlılar için ortam yaşanmaz bir hal alır.

Atıksuların bu şekilde uzaklaştırılmasında diğer bir tehlikeli durum alıcı suyun patojenik bakterilerle, diğer zararlı canlıların yumurta ve larvalarıyla kirlenmesidir. Böyle bir suyun dinlendirici faaliyetler, yüzme ve su sporları, çamaşır yıkama, taze yenen bitkilerin sulanması ve diğer maksatlarla kullanılması imkansız hale gelir. Bu sebeple kır yerleşmelerinden, kooperatif ve kampus sahalarından verilen kullanılmış sular bu bölgenin çevre sağlığı yetkililerinden gerekli izin alınmadıkça bir yüzeysel suya dökülmemelidir. Bu gibi işlerde sağlık otoriteleri genellikle, yukarda açıklandığı gibi yüzeysel suyun tabii tasfiyesine ait detaylı bir hesap yerine, kullanılmış su miktarını nehrin debisine oranlamakla yetinmektedirler. Mesela, bunun için debisi nehrin debisinin 1/20.... 1/40'ı olan kullanılmış suyun dökülmesine müsaade edilmektedir.

11.2. KURU ÇUKURLAR

Üstü örtülü bir çukur olup buraya ham kullanılmış sular verilir. Su sızdırmaz veya geçirimli olur. Geçirimsiz yerlerde ve yeraltı suyunun kirlenmemesi gereken yerlerde su sızdırmaz şekilde yapılır. Bunlara binanın sıvı artıklarını tutacak büyüklük verilir. Bu sıvı artıklar takriben altı ayda bir boşaltılır. Sızdırmalı olanlar geçirimli zeminlerde kazılır. Bu suretle artıkların sıvı kısmının yeraltına sızması temin edilir. Katı kısmı çukurda toplanır. Bunlar tedrici bir şekilde zeminin boşluklarını tıkar.

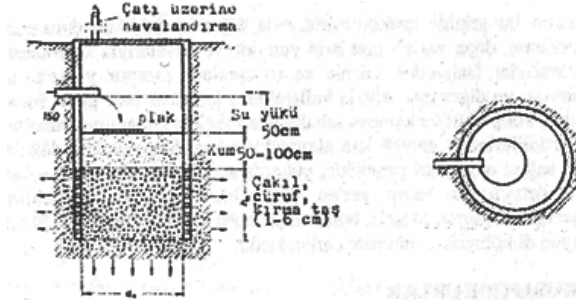
Su sızdırmayan geçirimsiz çukurlar ayda insan başına 70 litre, veya 6 aylık bir boşaltma devresi için insan başına 400 litrelik hacim düşünülerek boyutlandırılır. Geçirimli çukurlara 90 cm veya daha büyük çap verilir ve giriş borusu altındaki seviyede derzler açık olarak teşkil edilir. En üst derz tabii zeminden 60-90 cm aşağıda bulunur. Bunun üst tarafı geçirimsiz olur ve derzler harçlanır. Üst tarafında icabında bacanın bakım ve muayenesi için bir kapak bulunur. Zeminin boşlukları tıkanıp çukur dolduktan sonra bir T çıkışı ve bir dolu savak borusu üstteki sıvıyı sızdırmalı bir çukura iletir.

Bu çukurlar kuyuların alt tarafında bulunmalı ve her halükarda bakteriyel kirlenmeyi önlemek maksadıyla kuyudan 15 m den, kimyasal kirlenmeyi önlemek maksadıyla da 45 m den daha uzakta bulunmalıdır. Bu çukurlar bina temelinden en az 6 m ilerde açılmalıdır. Bunlar, hiçbir zaman, merkezi bir içme suyu sistemini besliyen su kuyusunun civarında bulunamazlar.

11.3. SIZDIRMA KUYULARI

Sızdırma kuyuları su tesisatı bulunan binalardan gelen kullanılmış suları, kuru çukurlar veya çürütme çukurlarının sularını alır ve bunları yer altına sızdırır (Şekil 11.2.) Bunlar bazen sadece çamaşır yıkama yerlerinden banyolardan ve mutfaklardan gelen kullanılmış sular için kullanılır. Mutfak sularının alınması halinde bina kanal hattı üzerine bir yağ yakalayıcı koymak icap edebilir (Şekil 11.3) çünkü yağ, sızdırma kuyusunu geçirimsiz hale getirip çalışmasını engeller. Sızdırma kuyusu çürütme çukurundan çıkan suları zemine sızdırmak üzere bu tesislerin alt tarafına konur.

Açık tabanlı ve sızdırıcı çevreli olan bu sızdırma kuyularının zeminin geçirimli tabakası içerisindeki derinliği en az 1.80 m’dir. Çapları genellikle 1.0...2.5 m olup, bazı hallerde 5 m’ye kadar seçilmektedir. Gerekli sızdırma yüzeyi zeminin su emme kapasitesine, kuyudaki su yüküne göre hesaplanır. Bu en iyisi yerinde ölçü ile tayin edilmelidir.



Şekil 11.2. Sızdırma Kuyusu Kesit ve Planı

Kaba bir değer olarak nüfusa göre verilen değerler Tablo 11.1’de verilmiştir. Nüfus başına 1 m² (taban ve yan cidarlarda toplam) sızdırma yüzeyi düşünülür.

Tablo 11.1. Nüfusa Bağlı Değerler

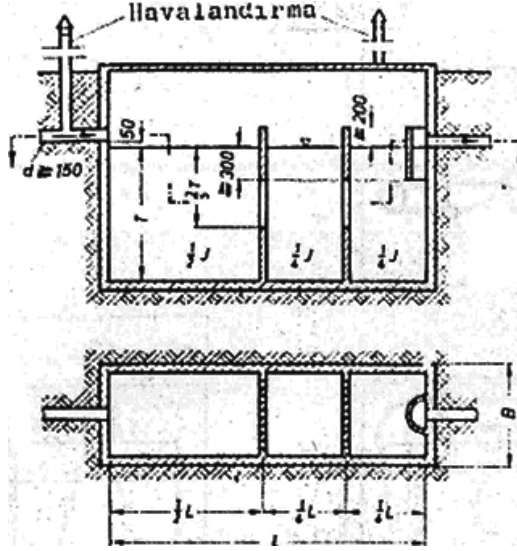
Nüfus	20	50	100	250	500
Çap (m)	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0

Kuyu tabanı yeraltı su seviyesinden en az 1 m yukarda olmalıdır. Sızdırma kuyularının derinliği genellikle 2-5 m alınmaktadır. Yan duvarlar tuğla veya taştan örülmüş olup giriş borusu seviyesinin alt tarafında derzler harçsızdır. Çukur, duvar örülmesi lüzumlu görülmediği hallerde, tamamen kırma taş, çakıl ve kumla doldurulabilir. Üstteki kum tabakası alttaki çakıl tabakasından daha az yükseklikte alınır. Sızdırma kuyuları sivrisineklerin, böceklerin ve yüzeysel suların içeri girmemesi için geçirimsiz bir kapakla kapatılır. Şayet zemin yeteri kadar boşluklu değilse kuyuda artık suların seviyesi zamanla yükselecek ve nihayet taşacaktır. Keza geçirimli zeminlerde kuyudan zemine sızan kullanılmış suların ihtiva ettiği ve aktif çamur organizmalarının faaliyeti sonucu meydana gelen maddeler zemin daneleri arasındaki boşlukları tıkar. Bu olay sızdırma kuyularının ömrünü sınırlar. Çürütme çukurlarında bir ön tasfiyeden geçirilerek bulanıklığı azaltılmış suların verildiği sızdırma kuyuları, takriben 6-10 yıllık bir iş görme süresine haiz olabilir. Eğer sızdırma kuyusu çalışması durursa, bir yenisi biraz uzakta, bir kaç metre ilerde açılmalıdır. Sızdırma kuyusunun ömrünü artırmak için iki veya üç sızdırma çukuru açılır ve bunlar yukardan birbiriyle irtibatlandırılır. İki çukurun aralığı geniş çukurun çapının en az üç misli olmalıdır.

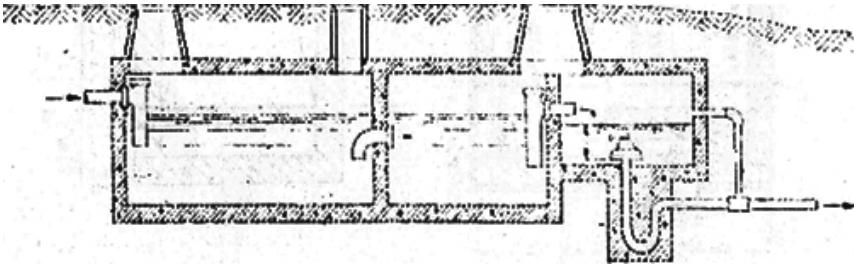
Sızdırma kuyusunun en büyük mahzuru yeraltı sularının kirlenmesidir. Bu sebeple yerleri seçilirken dikkat edilmelidir. Genellikle bu kuyular yeraltı suyu akımının gittiği tarafta ve her halükarda içme suyu kuyularından en az on beş metre uzakta bulunmalıdır. Esasında içme suyu maksadı ile istifade edilen yeraltı suların civarında sızdırma kuyusuna hiçbir zaman müsaade edilmemelidir.

11.4. ÇÜRÜTME ÇUKURLARI

Çürütme çukurları kanal şebekesi bulunmayan kır yerlerindeki münferit bina, küçük bir yerleşme grubu veya bir müessesenin sıvı artıklarını su ile taşıma metodu ile bertaraf etme sistemlerinin bugün için en kullanışlısıdır. İçerisine ham kullanılmış suların döküldüğü bu çukurlar üstü kapalı çöktürme havuzundan ibarettir (Şekil 11.4 ve 11.5). Bunlar genellikle iki, üç veya dört gözlü olurlar. Çamurun büyük kısmı ilk gözde tutulur. Bu gözden 2. göze geçen suyun katı madde yükü çok daha düşük olur.

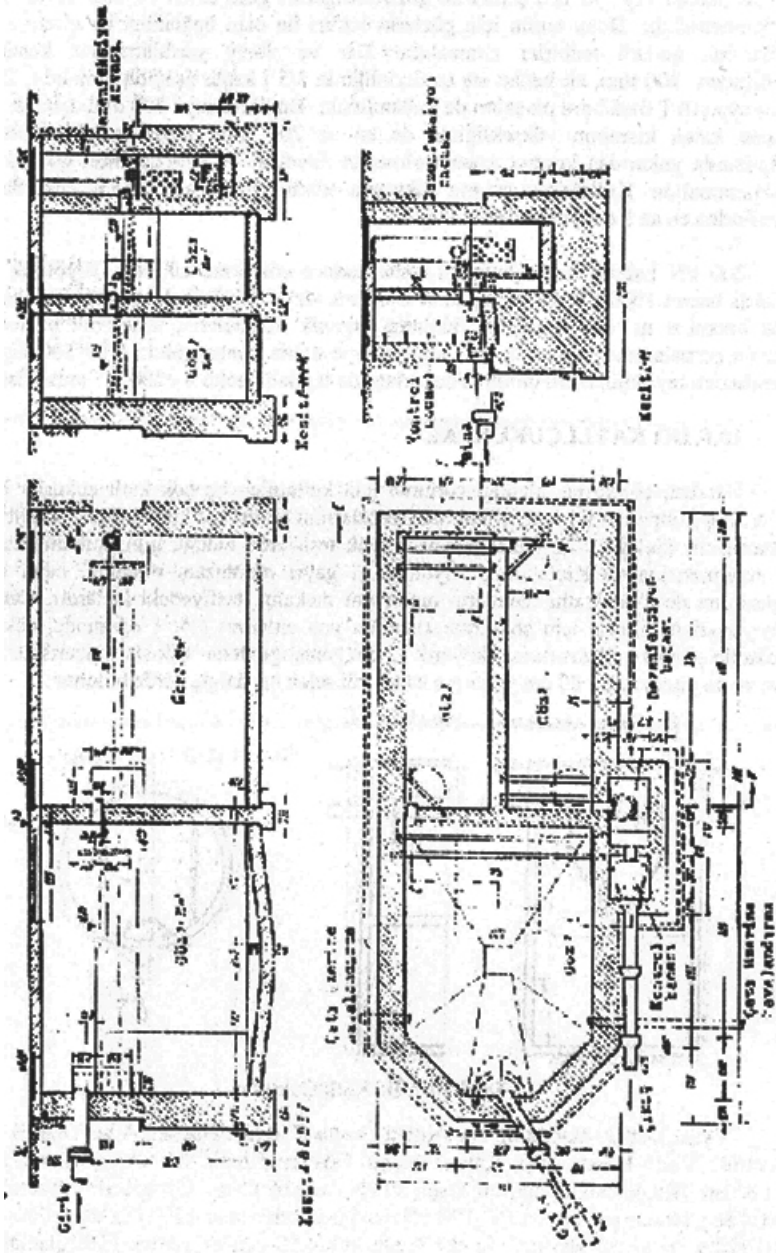


Şekil 11.4. Yatay Akışlı Üç Gözlü Çürütme Çukuru



Şekil 11.5. İki Gözlü Çürütme Çukuru ve Dozlama Odası

Faydalı hacim 200 l/N den hesaplanır. Şayet kullanılmış su miktarı 100 l/NG ise bekletme süresi 2 gün olur. En küçük hacim 3 m olup çukurdaki çamur senede iki defa boşaltılır. 3 ila 4 m³ hacminde (15...20 kişi için) olanlar iki gözlü, 4 ila 40 m³ hacminde (20...200 kişi için) olanlar üç veya dört gözlü yapılır (Şekil 11.6.). İki gözlülerde 1. göz toplam faydalı hacmin en az 2/3'ü, üç veya dört gözlülerde ise en az 1/2 si olarak alınır. Su derinliği 1,2 ila 2 m arasında seçilir.



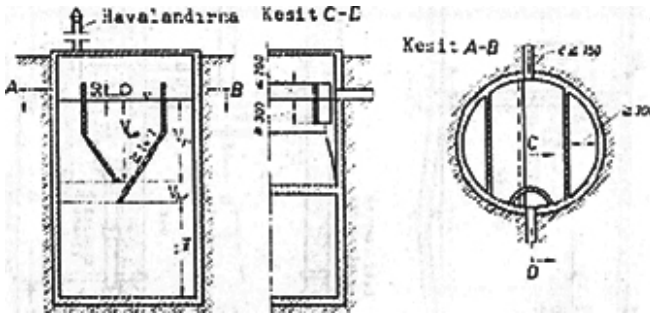
Şekil 11.6. 120 Kişi İçin Boyutlandırılmış Üç Gözlü Bir Çürütme Çukuru

Eğer derinlik 2 m den fazla olursa çürütme çukurunda düşey akımlar meydana gelir. Tabandaki veya yüzücü çamur bir gözden diğerine geçmemeli ve akan suyla birlikte sürüklenmemelidir. Bunu temin için gözlerin birbiri ile olan bağlantısı ile giriş ve çıkış kısımlarında gerekli tedbirler alınmalıdır. Dar ve dikey yarıkların üst kenarı su seviyesinden 300 mm, alt kenarı ise su derinliğinin 3/5 i kadar aşağıda olmalıdır. Dalgıç perde veya çift T özel boru parçaları da kullanılabilir. Bunların suya 300 mm dalması ve su üzerinde kalan kısmının yüksekliğinin de en az 200 mm olması gerekir. Gözlerin bağlantısında yukarıdan kontrol imkanı olmayan dirsekler ve temizlenmesi güç parçalar kullanılmamalıdır. Kullanılmış suların çukurlara döküldüğü kanalın tabanı, çukurdaki su seviyesinden en az 5 cm yukarıda olmalıdır.

200 l/N kabulü ile boyutlandırılanlar sadece çöktürme etkilidir. Biyolojik etkili olanlarda hacim 1000 l/N dan hesaplanır. Bekleme süresi takriben 10 gündür. Bunların en küçük hacmi 4 m³ olarak seçilir. Bunlarda organik maddelerin, anaerobik bakterilerin etkisi ile parçalanması sureti ile biyolojik tasfiye bahis konusu olur. 4 ila 200 kişi için kullanılan bu biyolojik etkili çürütme çukurlarında faydalı hacim 4 - 200 m³ arasındadır.

11.5. İKİ KATLI ÇUKURLAR

Üst katı çöktürme, alt katı çürütme için kullanılan bu çok katlı çukurlar büyük debiler için kullanılan iki katlı çöktürme havuzlarının (Emscher kuyularının) küçültülmüş bir modelidir (Şekil 11.7). Fakat bunlar, büyük tesislerde olduğu gibi, kullanılmış suyu taze tutamamaktadır. Kullanılmış suyun akışı gayri muntazam olmakta, hatta çamur bölgesinden de akmaktadır. Bunların randımanı mekanik tasfiyedeki kadardır. Çamurun aşağı yuvarlanabilmesi için çöktürme kısmının yan cidarları 1,4: 1 eğiminde, çöktürme havuzu ile çürütme odası arasındaki yarık 12 cm genişliğindedir. Çıkışta su içerisine 30 cm dalan ve su yüzeyinden 20 cm yukarıya kadar yükselen bir dalgıç perde bulunur.



Şekil 11.7. İki Katlı Çukurlar

V_{çök}: Üstteki Hacmini, V_{çç} Alttaki Çamur Çürütme Hacmini V_ç Yüzücü Çamur Hacmini, V_{hd}: Hesap Dışı Kalan Hacmi Göstermektedir. Üstteki çürütme havuzu 30 l/N'dan, Alttaki çamur çürütme kısmı 60 l/N dan hesaplanır. Üst bölmenin hacmi (V_{çök}) 1500 l'den, alt bölmenininki ise (V_{çç}) 30 l/N dan hesaplanan en az 1500 l'lik hacim düşünülür. Bu tesisler en az 50 kişi için yapılır. Bağlı nüfus 50 den az ise tek katlı olanlar tercih edilmelidir.

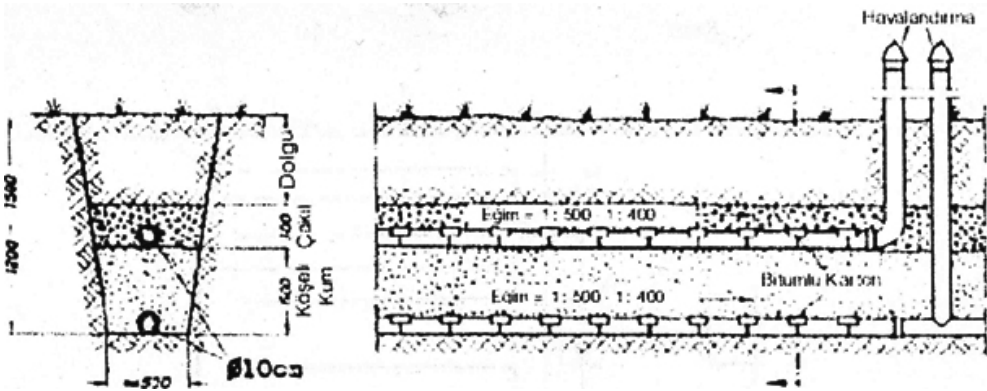
11.6. DAMLATMALI SİSTEMLER

Yeter eğimin bulunduğu ve tesisin üstünün örtülmesinin lüzumlu olmadığı yerlerde, bunların herhangi bir tulumba ve makinaya ihtiyaç olmaksızın kullanılmaları mümkündür. Bu tesisler daha önce çürütme çukurlarında veya çok katlı çukurlarda çamuru alınmış kullanılmış suların biyolojik tasfiyesi için kullanılırlar. Daha ziyade 20 nüfus, veya 50 ila 200 nüfus için inşa edilirler. Faydalı hacmi 200 l/N dan bulunur.

En küçük hacmi 4 m³ olan ve 30 ila 80 mm büyüklüğünde kırma taşla doldurulan sistemin yüksekliği en az 1.5 m olarak seçilir.

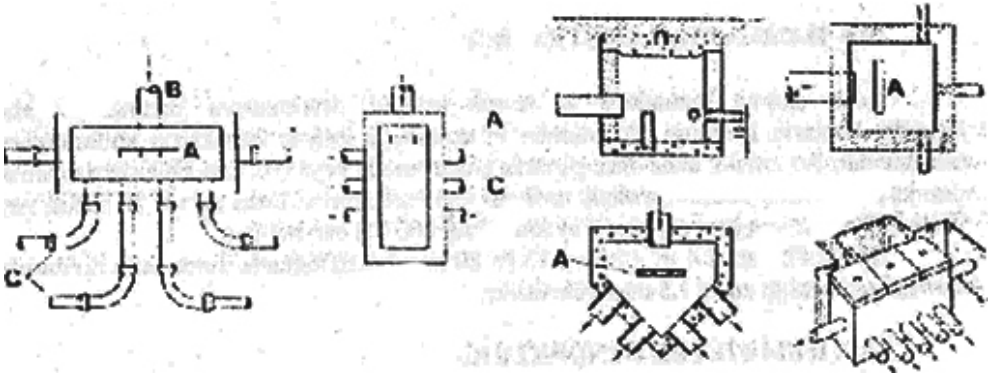
11.7. KUM FİLTRE HENDEKLERİ

Bu tesisler daha önce çamurları alınmış atıksuları biyolojik olarak tasfiye ederler. Nüfus başına 6 m hendek uzunluğu hesapta esas alınır. Herbir hendek 30 m'den fazla boyda seçilmez, 0.50m taban genişliğindeki hendekler 1,2-1.5 m derinliktedir. Alt ve üst dren boruları 10 ar cm çapında olup 1/500 ila 1/400 eğimde döşenirler. Her iki boru hattının nihayetinde birer havalandırma borusu bulunur. Drenaj büzleri eklerinin üstüne, çevresinin 2/3 ünü saracak şekilde bitümlü karton örtülür. Zeminden topladığı suyu alıcı ortama ileten alttaki dren hattı, dane çapı 0.3-0.5 mm olan 60 cm kalınlığında kum tabakası ile, kullanılmış suyun zemine sızdırıldığı üst hat ise 30 cm yüksekliğinde çakıl tabakası ile örtülür. Bunun üstü de kazı malzemesi ile doldurulur (Şekil 11.8).



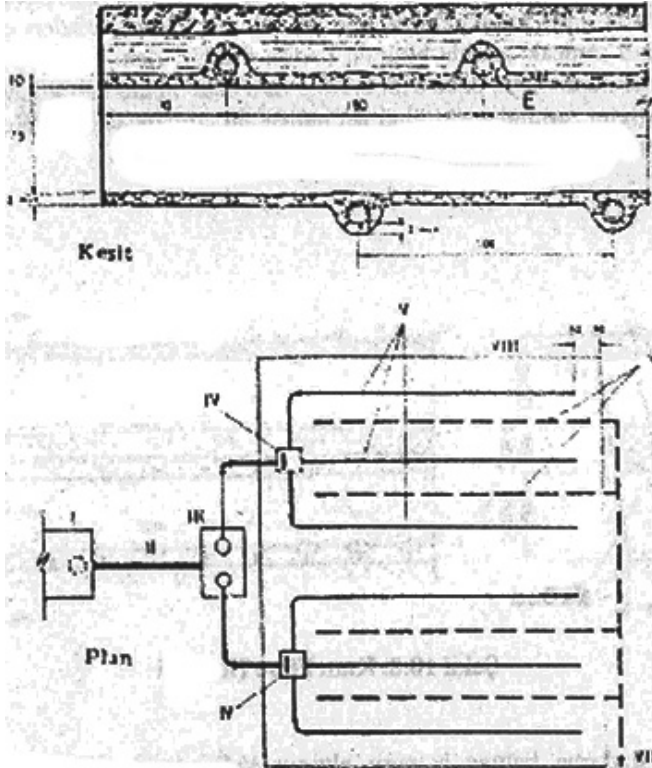
Şekil 11.8. Kum Filtre Hendeği

Üstteki sızdırma hattına çamuru alınmış kullanılmış sular bir dağıtma kutusu vasıtası ile verilir (Şekil 11.9). Her bir sistemde en az iki sızdırma hattı bulunmalıdır. Hendeklerin aralığı 2 m'den az seçilmemelidir.



Şekil 11.9. Dağıtma Kutusu Tipleri

Şekil 11.11’de diğer bir tarzda tertip edilmiş filtre hendekleri görülmektedir.



Şekil 11.10. Yeraltı Kum Filtreleri

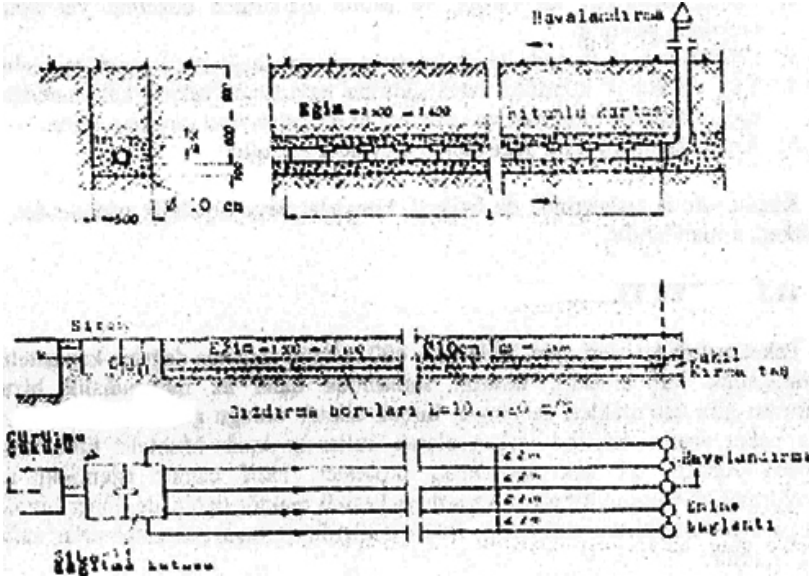
I Çürütme çukurunu, II boru hattını, III sifon odasını, IV dağıtma kutusunu, V üstteki sızdırma borularını, VI Kum filtrelerinden geçmiş suları toplayan alttaki dren borularını, VII Dren borularının sularını alan ana drenleme borusunu, VIII Sızdırma alanının sınırlarını göstermektedir.

11.8. YERALTI SIZDIRMA HENDEKLERİ

Mekanik veya biyolojik etkili çürütme çukurlarından geçirilmiş küçük debili kullanılmış suların, yeraltı su seviyesinin derin olduğu ve sebze bahçesi olarak kullanılan geçirimli zeminlerde yeraltı sulaması suretiyle uzaklaştırılması, diğerlerine nazaran en fazla tavsiye edilen bir metottur. Sızdırma hattının uzunluğu zeminin su emme kabiliyetine bağlıdır. Bunun için en iyisi aşağıda anlatıldığı gibi sızdırma deneyleri yapmaktır. Eğer deney yapma imkanı yoksa kaba bir hesap için şu değerler esas alınır.

Kum ve çakıllı zeminlerde	10 m/N
Lemli kum zeminlerde	15 m/N
Kumlu lem zeminlerde	20 m/N

1/500 ila 1/400 eğimle döşenen 10 cm çapındaki sızdırma boruları tabanına 10 cm kalınlığında kum-çakıl serilmiş hendeklere yerleştirilir (Şekil 11.12.). Bu kum dolgu, boru sırtının 5 cm üzerine kadar yükseltilir. 0,6 ila 0,9 m derine döşenen bu borular en yüksek yeraltı su seviyesinin üzerinde bulunmalıdır. Her bir boru hattı 30 m den daha uzun olmamalıdır. Aralıkları en az 2 m olmalıdır. Bir sifonlama tertibatı sayesinde suları fasılalı olarak vermek sureti ile hem boruların kendi kendini yıkaması ve hem de zemin boşluklarının zaman zaman hava ile dolması sağlanır. Bunun neticesi daha yüksek bir biyolojik aktiviteye erişilir. Sular, eşit debi ile dağıtmak için Şekil 11.11'de görülen bir dağıtma kutusundan geçirilir. Sonuçlarında havalandırma boruları bulunan sızdırma boruları, bu kısımda birbirlerine enine bir boru ile de bağlanır.



Şekil 11.11. Sızdırma Hendeği ve Sızdırma Şebekesi

12. KÜÇÜK YERLEŞİMLERDE ATIKSU ARITMA UZAKLAŞTIRMA

Nüfusu 1000'in altında olan yerleşim birimleri genellikle “küçük yerleşim alanı” olarak kabul edilir. Bu büyüklüğe sahip yerlerde atıksuların toplanması ve arıtılmasının kendine has sorunları vardır.

Kırsal alanlarda atıksu toplama ve merkezi arıtma tesisi kurmak çoğu durumlarda zor, hatta imkânsızdır. Bu gibi yerlerde atıksu bertarafı yerinde kurulan tesislerde gerçekleştirilir. Bunun en yaygın uygulamaları, sızdırma çukurları, sızdırma hendekleri olarak sayılabilir. Estetik hususların önem taşıdığı yerlerde (turistik tesisler, tatil köyleri vb.) ise, atıksu miktarı çok küçük olsa bile bir arıtma tesisi kurulması yoluna gidilir.

Bu bölümde, kanalizasyonu bulunmayan kırsal yerleşimlerde atıksu bertarafı ve küçük yerleşimler için kurulan arıtma tesisleri ele alınmıştır.

12.1. KÜÇÜK ARITMA TESİSLERİ

Küçük arıtma sistemlerinde, ya önceden imal edilmiş “paket arıtma tesis” ya da özel olarak tasarlanıp imal edilmiş tesisler kullanılır. Bu sistemlerin tasarlanmasında ve işletilmesinde bazı hususlara özel itina gösterilmesi lazımdır. Bunlar;

1. Debi ve kirlilik yükünde büyük salınımla meydana gelir.
2. Düşük debilerde kanal, boru ve çamur hatlarında çökeltme ve tıkanma meydana gelebilir.
3. Çöktürme havuzlarında denitrifikasyon ve buna bağlı çamur yüzdesi olabilir.
4. Yağ ve köpük kontrolü, havalandırma havuzunda askıda katı maddelerin uygun değerde tutulması ve hava temini hususları özel itina gerektirir.
5. Atıksuda ani sıcaklık değişimleri meydana gelebilir.

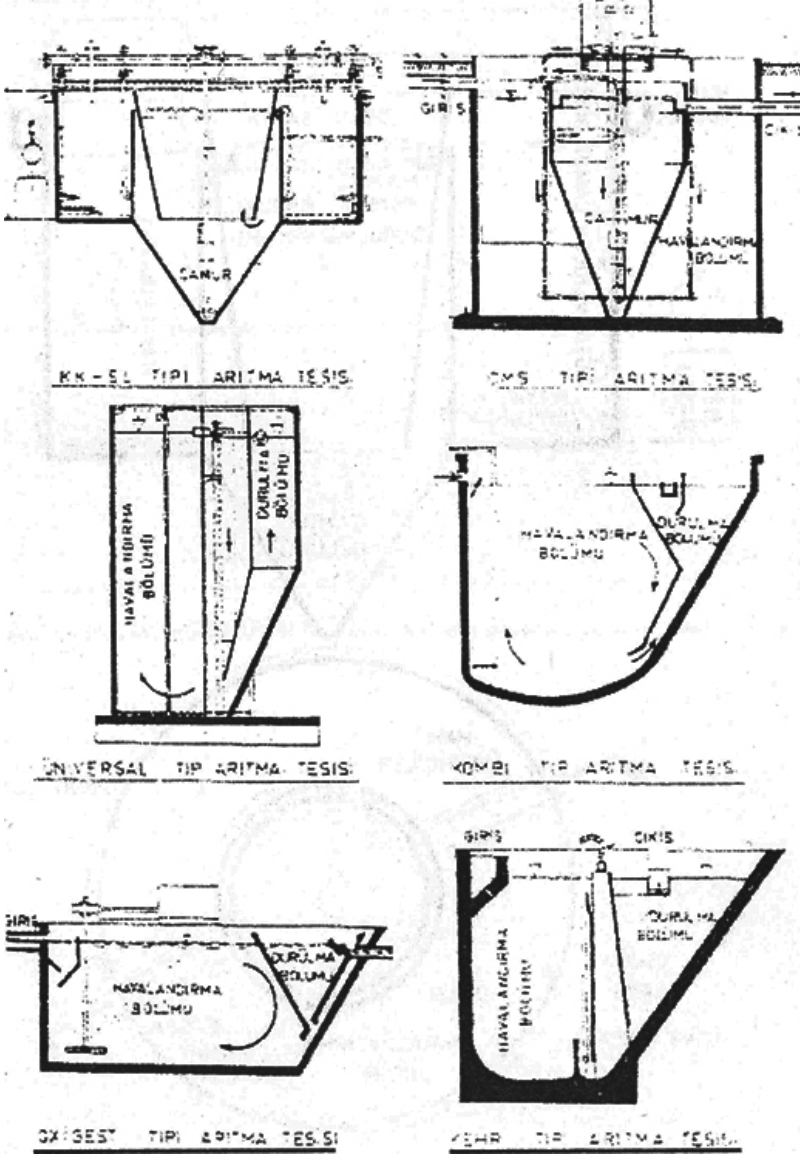
Küçük arıtma tesislerinde de fiziksel, kimyasal veya biyolojik işlemlerden biri veya birkaçı kullanılabilir.

12.2. PAKET TESİSLER

Paket arıtma tesisleri, genellikle 10 ~ 400 m³/gün arasında değişen kapasitelerde yapılırlar. Çabuk kurulmaları, tasarım safhasında daha az mühendislik hizmeti gerektirmesi gibi üstünlükleri sebebiyle, birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de son yıllarda paket arıtma tesisleri yoğun olarak kullanılmaktadır. Muhtelif tipte tesisler yapılmakla birlikte en çok uygulanan prosesler, aktif çamur işleminin uzun havalandırma, temas-stabilizasyon ve ardışık kesikli reaktör tipleri ile döner biyolojik disk veya diğer adıyla biyodisklerdir. Bu sistemlerden ortaya çıkan çamurlar aerobik olarak çürütülür.

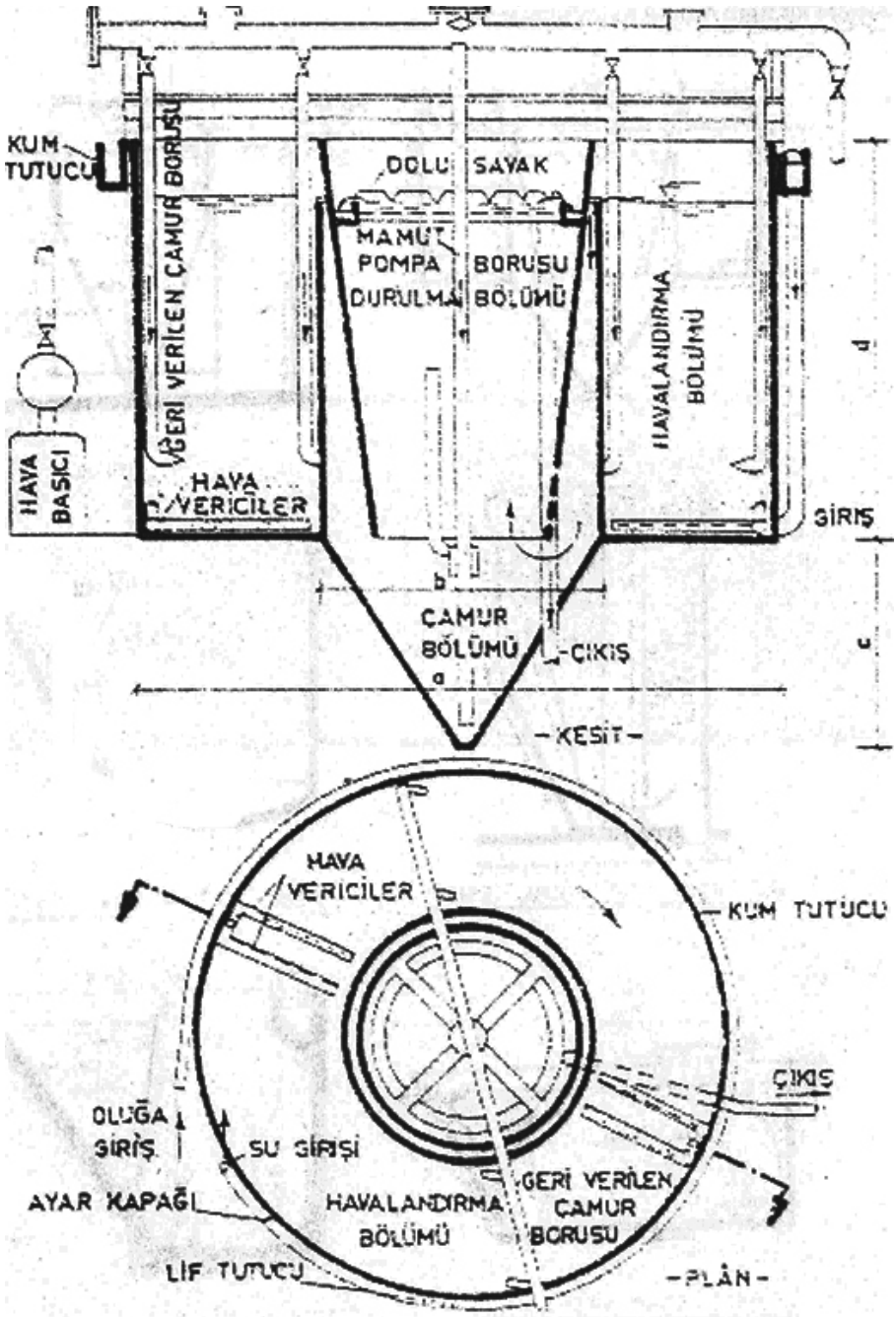
Paket tesisler fabrikadan tamamen monte edilmiş olarak çıkarılabileceği gibi, bazı kısımları arazide de monte edilebilir. Tesisin kurulması için arazinin hazırlanması, beton betonarme temel sisteminin yapılması, terfi merkezi emme haznesinin yapılması icap eder.

Paket tesisler, kompakt olarak imal edilirler. Aşağıda, yaygın olarak kullanılmakta olan paket arıtma tesisleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Şekil 12.1'de basınçlı hava ile çalışan ve uzun havalandırmalı aktif çamur modunda işletilen bazı tesislere ait tipik resimler görülmektedir.

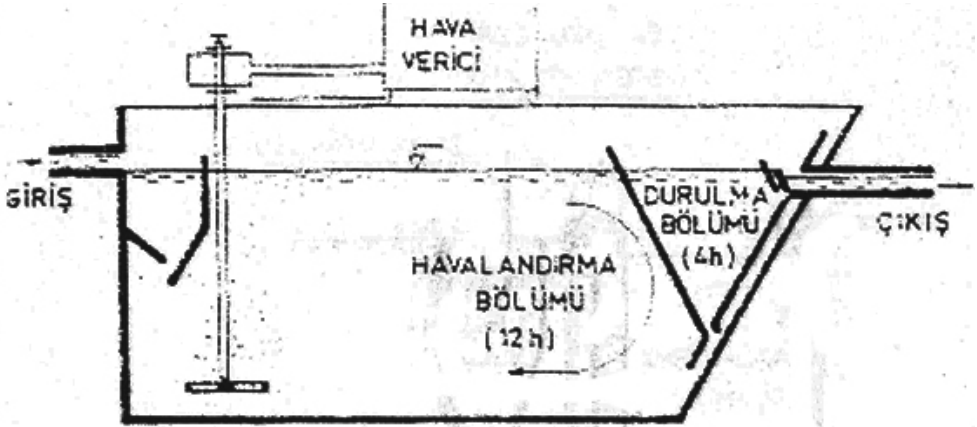


Şekil 12.1. Basınçlı Hava ile Çalışan Arıtma Tesisleri

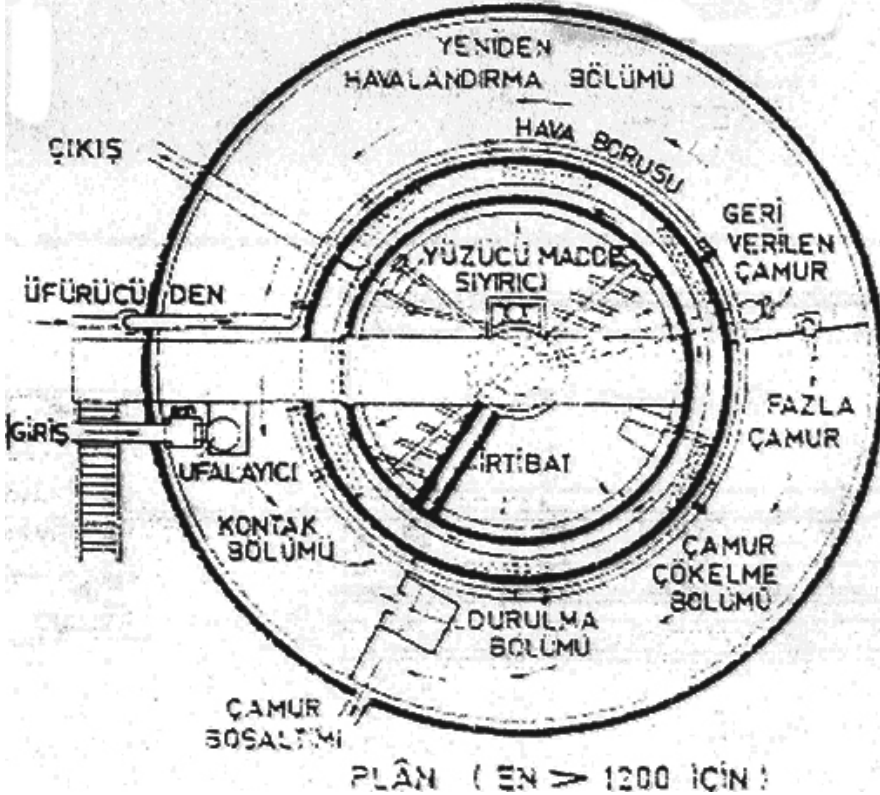
Sıklıkla kullanılan başlıca paket tesis tipleri Şekil 12.2., Şekil 12.3. ve Şekil 12.4'te görülmektedir.



Şekil 12.2. KK-SL Birleşik Arıtma Tesisi

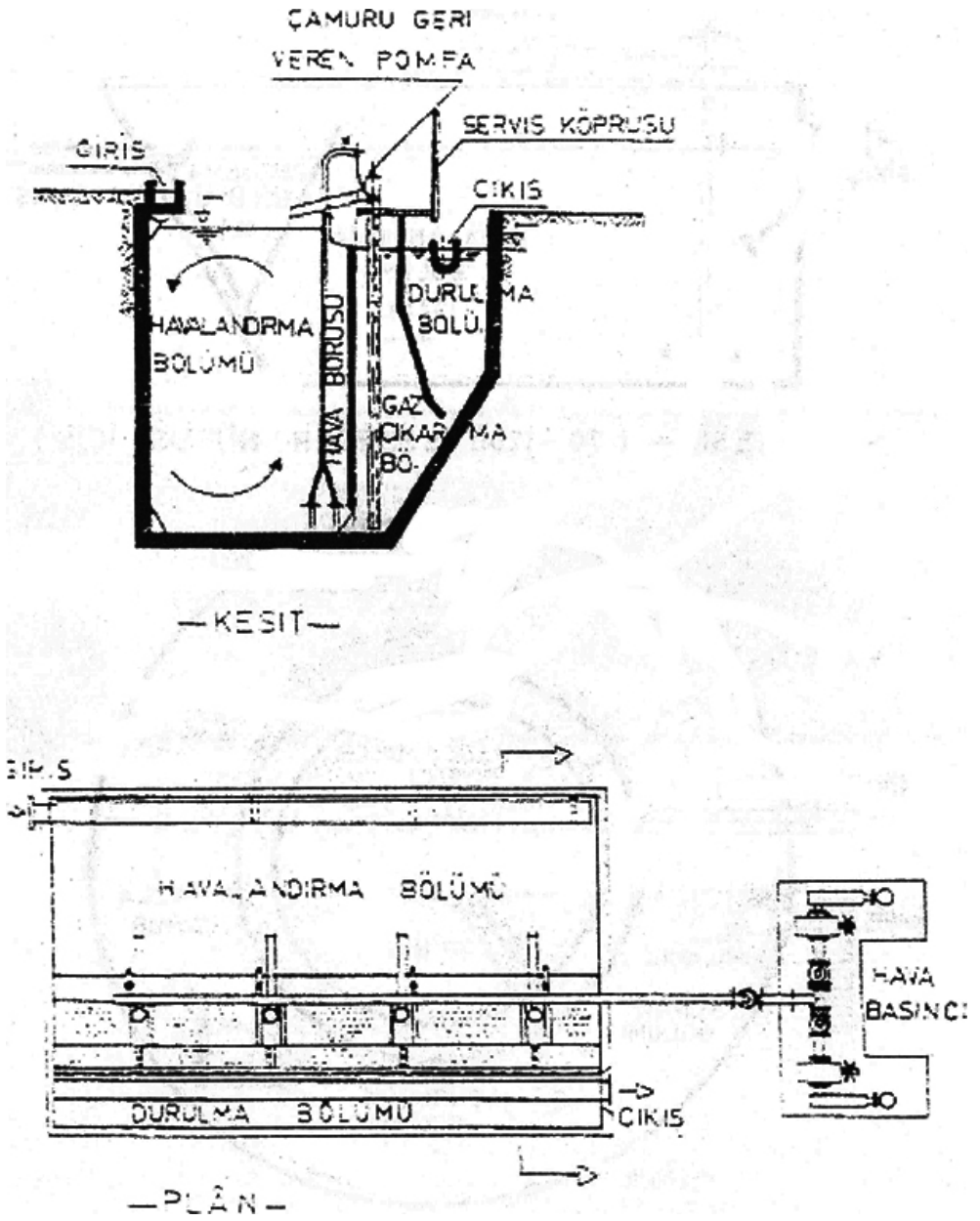


— TİP KESİT — (70 - 1200 EŞDEĞER NÜFUS İÇİN)



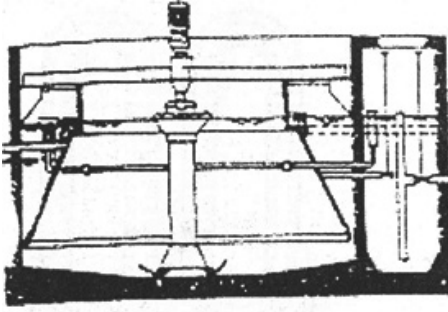
PLÂN (EN > 1200 İÇİN)

Şekil 12.3. OXIGEST Tipi Birleşik Arıtma Tesisi

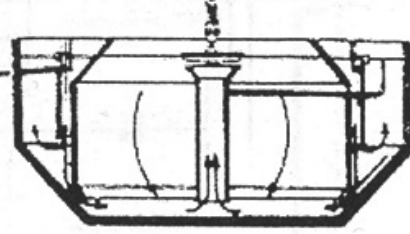


Şekil 12.4. PURIMAT Tipi Birleşik Arıtma Tesisi

Şekil 12.5'te mekanik havalandırıcıların kullanıldığı küçük arıtma tesislerine ait şematik şekiller verilmiştir. Bu arıtma tesislerinde çoğunlukla, havalandırma ve çöktürme havuzları birleşik olarak yapılır ve uzun havalandırılmalı aktif çamur tesisi olarak çalıştırılırlar.



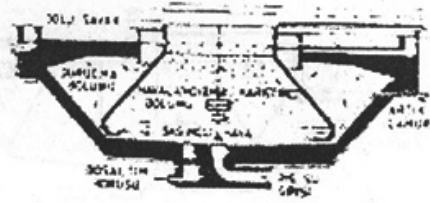
ESSEN TİPİ ARITMA TESİSİ



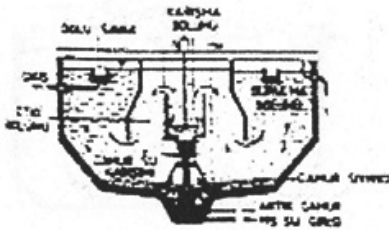
RIEBER TİPİ ARITMA TESİSİ



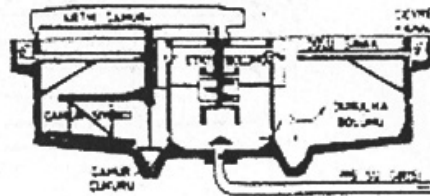
VORTAIR-ACCELERATOR TİPİ
ARITMA TESİSİ



FURTH ARITMA TESİSİ KESİTİ

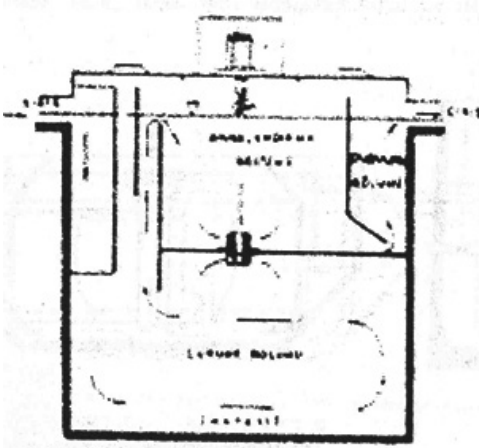


[KSU REAKTOR] BİRLEŞİK ARITMA TESİSİ

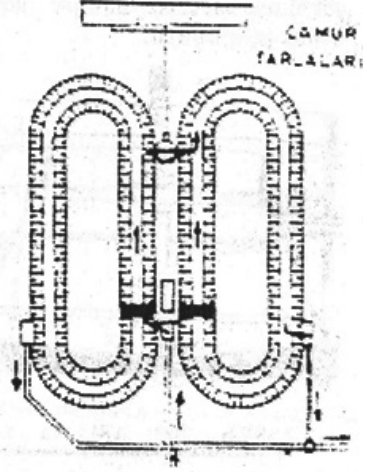


KONGLOMERATOR BİRLEŞİK ARITMA TESİSİ

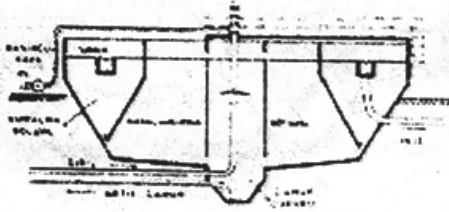
Şekil 12.5. Mekanik Araçlarla Arıtma Tesisleri



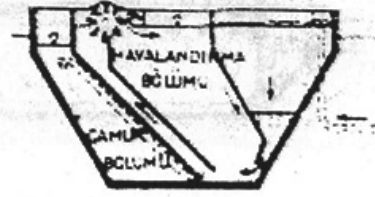
SPENCER BİRLEŞİK ARITMA TESİSİ



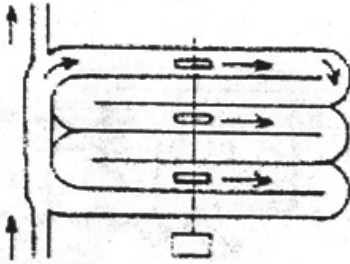
OKSİLEME HENDEÇİ



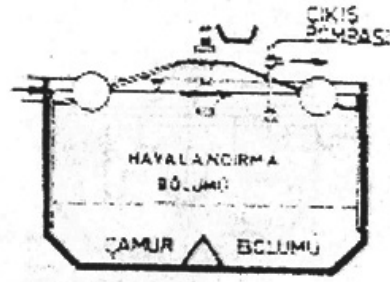
BIOLATOR BİRLEŞİK ARITMA TESİSİ KESİTİ



PASSAVANT KOMPAKT TESİSİ



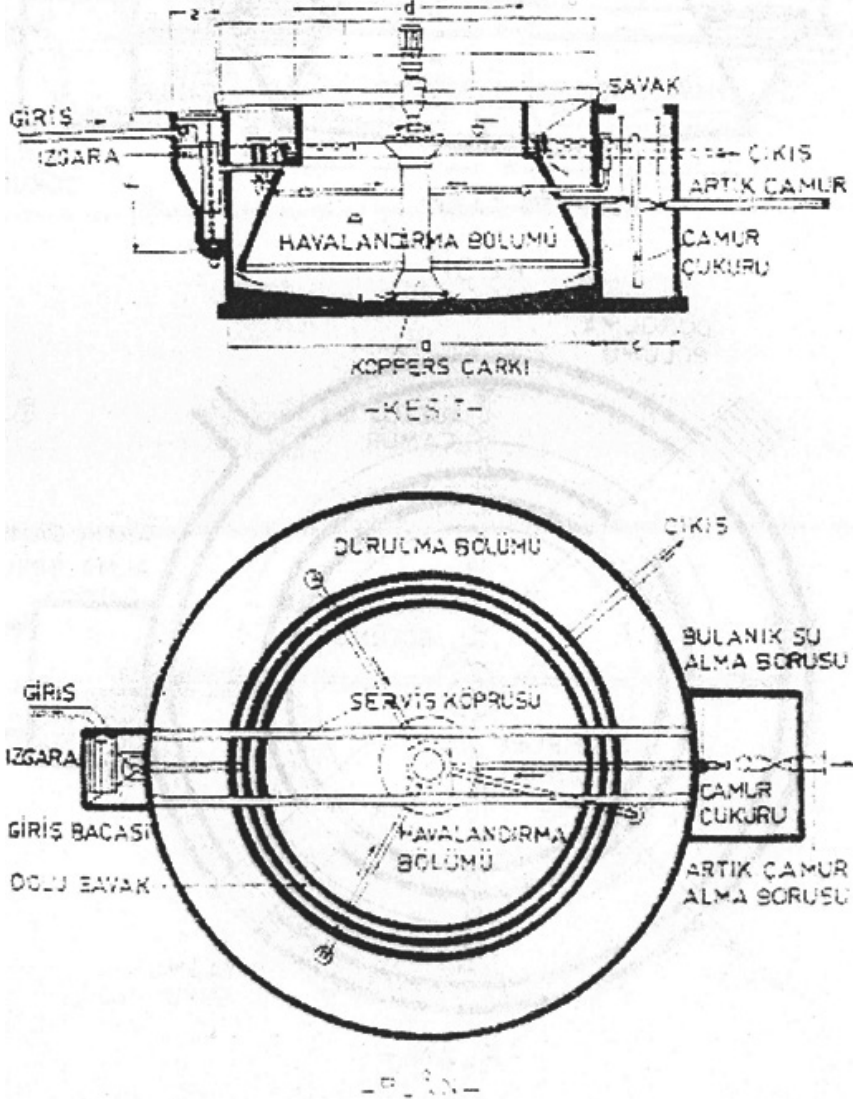
HAWORT KANALI



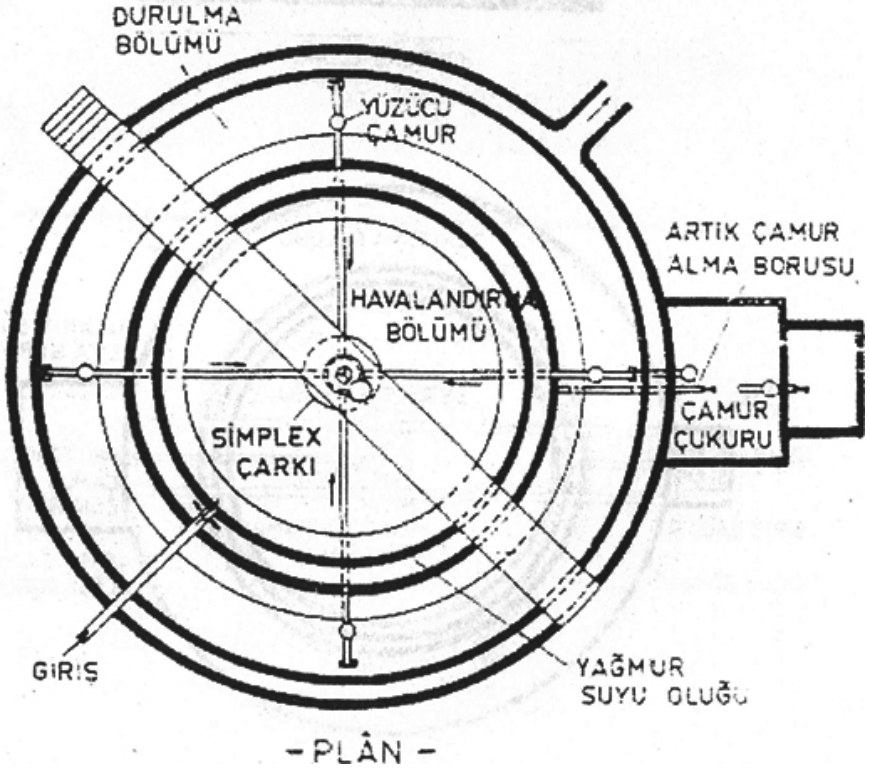
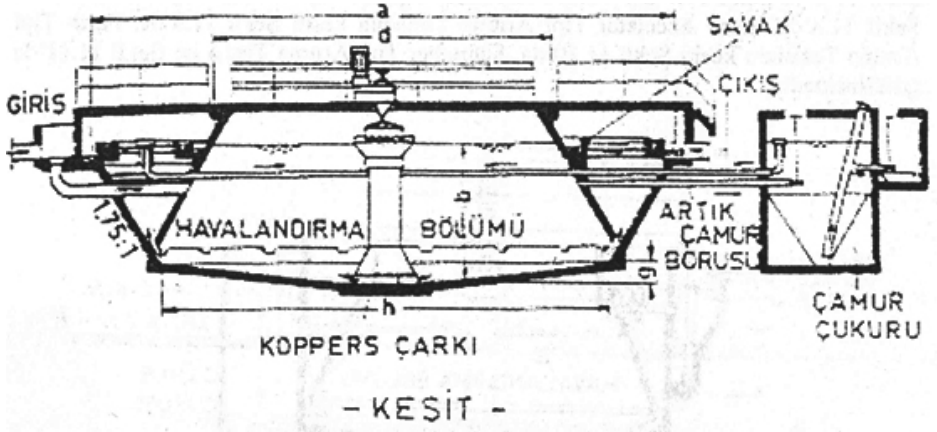
BSK TİPİ ARITMA TESİSİ

Şekil 12.5. Mekanik Araçlarla Arıtma Tesisleri (devam)

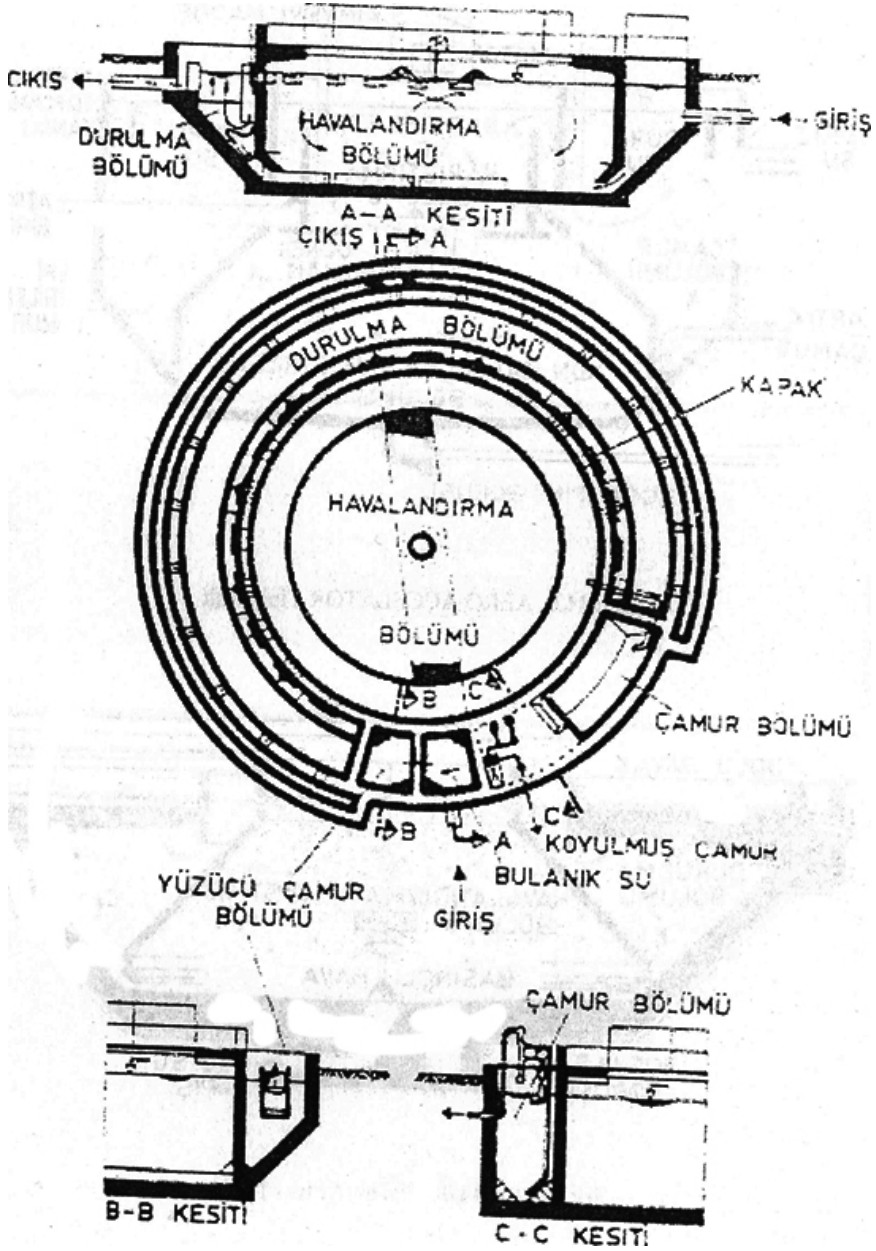
Bu tesislerden Essen Tipi Beton Birleşik Arıtma Tesisinin ayrıntılı resimleri Şekil 12.6 ve Şekil 12.7’de, Vortair Accelator Tipi Arıtma Tesisinin ayrıntılı resimleri Şekil 12.8’de, Aero Accelator Tipi Arıtma Tesisinin kesiti Şekil 12.9’da, Fürth Tipi Arıtma Tesisinin kesiti Şekil 12.10’da, Schreiber Tipi Arıtma Tesisi ise Şekil 12.11’de görülmektedir.



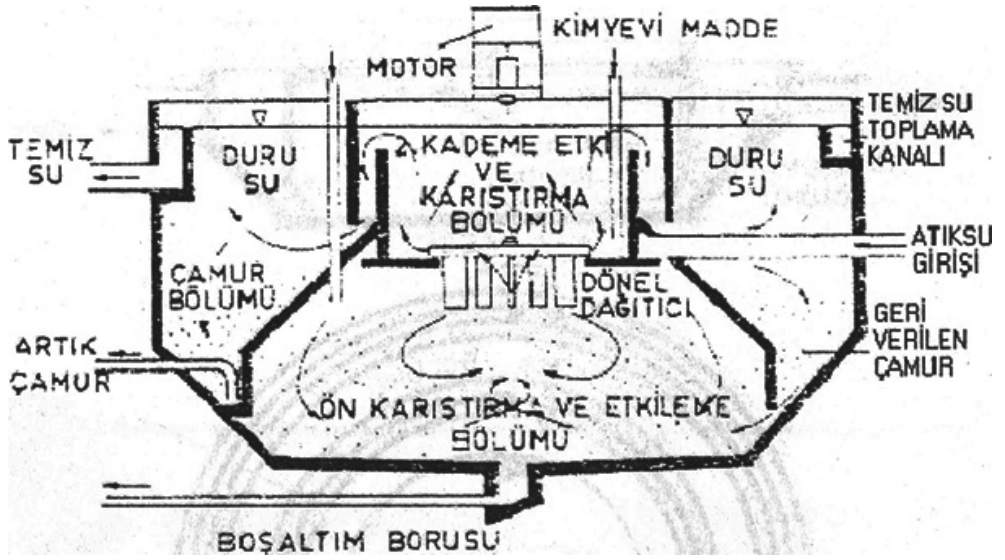
Şekil 12.6 ESSEN (50-1000) Tipi Beton Birleşik Arıtma Tesis



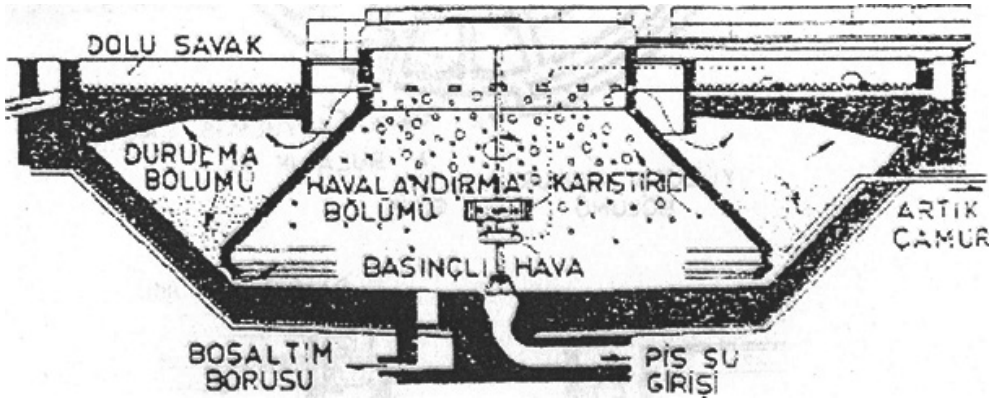
Şekil 12.7. 1000-3500 ESSEN Tipi Beton Birleşik Arıtma Tesisi



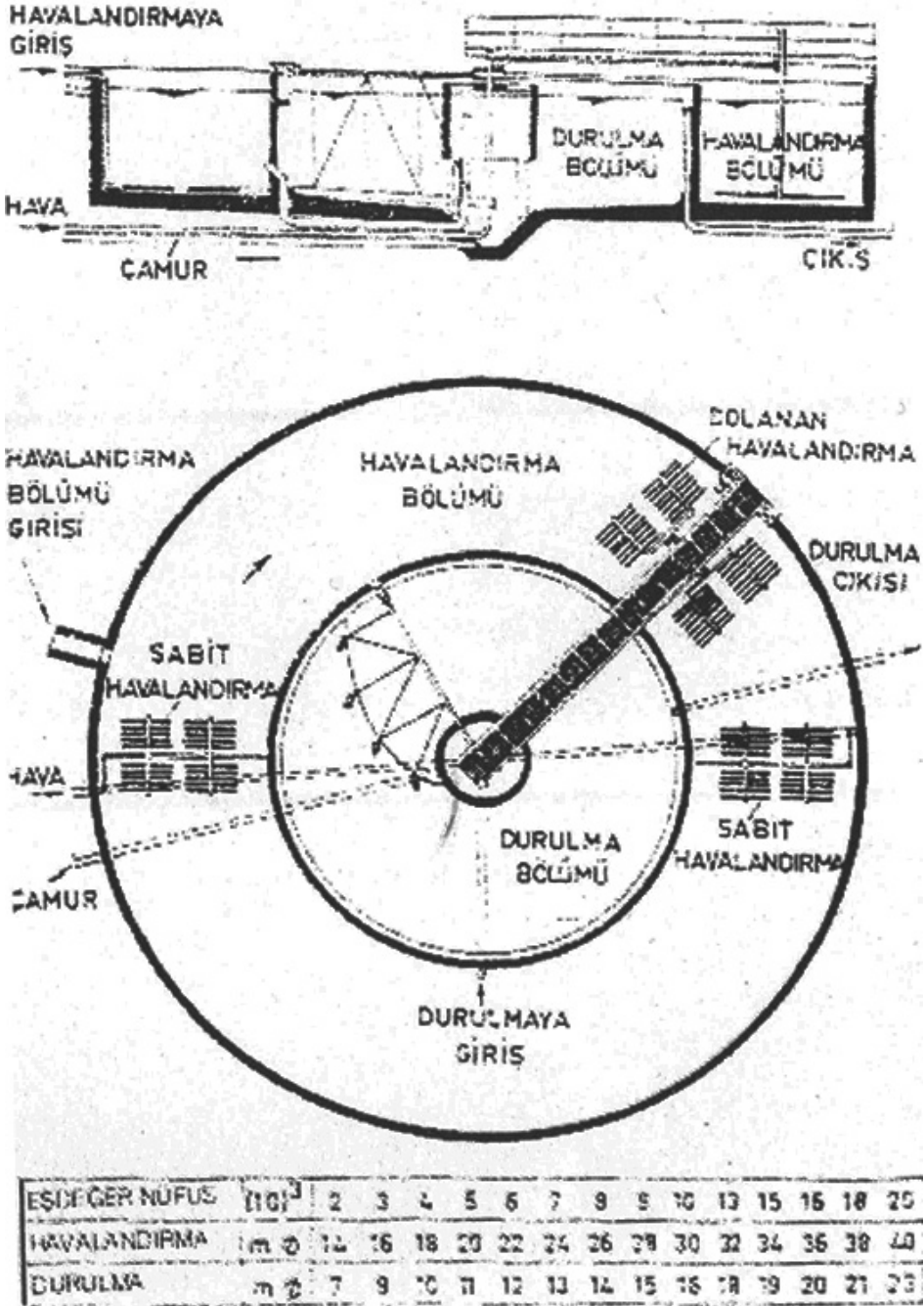
Şekil 12.8. VORTAIR ACCELERATOR Tipi Birleşik Arıtma Tesisi



Şekil 12.9. AERO ACCELATOR Tipi Kesit



Şekil 12.10. FURTH Tipi Arıtma Tesisi



Şekil 12.11. SCHREIBER Tipi Yuvarlak Pissu Arıtma Tesisi

13. TATBİKAT

(AFYONKARAHİSAR İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİ)

13.1. PROJE BÖLGESİNİN TANITILMASI

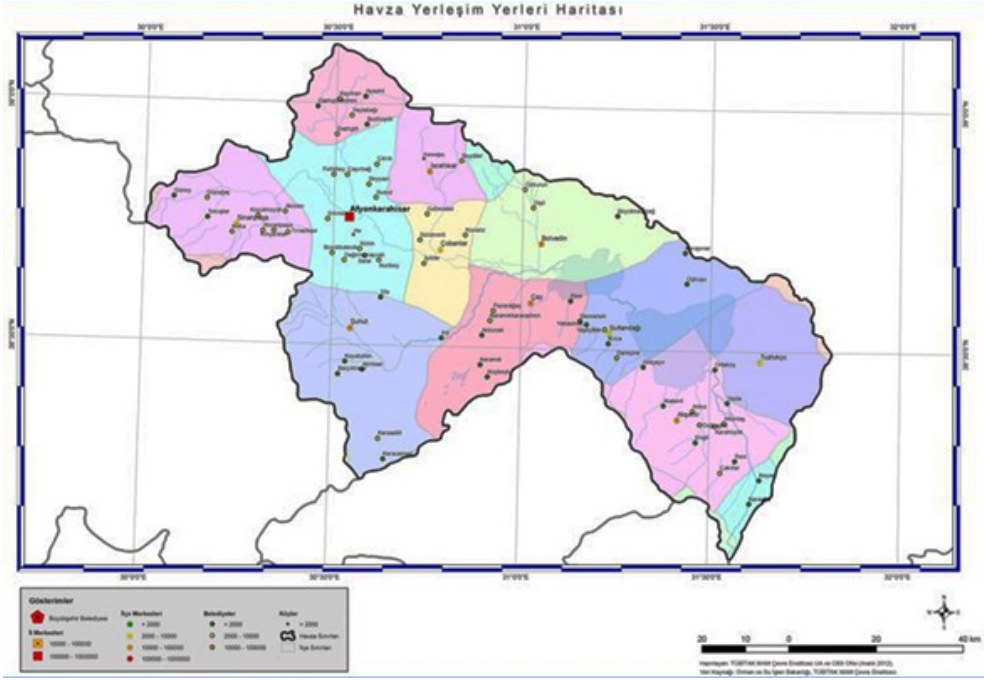
13.1.1 Yerleşim Yerleri

Afyonkarahisar'ın coğrafi konumu aşağıda Şekil 13.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 13.1. Afyonkarahisar İli Coğrafi Durumu

Afyonkarahisar ili Akarçay Havzası içerisinde bulunmakta olup Havzaya ait harita Şekil 13.2.'de verilmiştir.



Şekil 13.2.Akarçay Havza Haritası

13.2. SU KAYNAKLARI

13.2.1 Yüzeysel Sular

Akarçay Kapalı Havzasının en önemli yüzeysel su kaynağı Akarçay nehridir. Bunun haricindeki sular düşük debili olup yaz aylarının kurak geçmesi sebebiyle çoğu kez kurur veya suları çok azalır. Geçtikleri yerlerde sulamada kullanılırlar. Bunların çoğunu yan dereler teşkil eder.

Akarçay'dan sonraki en önemli kolu Gali Çayıdır. Gali Çayı Şuhut Ovasını geçtikten sonra yatağında bulunan Selevir Barajına girer ve sonrasında Akarçay Nehri ile birleşir.

Sultan Dağı kuzey yamaçlarından çok sayıda dere doğar ve çoğu yaz aylarında kurudur. Bunların bazıları Eber bazıları Akşehir Gölü'nü beslemektedir. En büyüğü Çay Deresi'dir. Debisi 300 l/sn'dir. Akşehir Gölü'nü besleyen en önemli kolu Adıyan Çayı'dır, Akşehir Gölü'ne dökülür.

Afyonkarahisar ili, Ege Bölgesinin diğer illerine göre, tabii göller bakımından oldukça zengindir. Bu göller ilin doğu ve güneybatı bölümünde toplanmışlardır. Başlıca göller:

Akşehir Gölü, Eber Gölü, Karamık Gölü, Acı Göl, Emre Gölü

Akarçay Havzası'nın YAS potansiyeli toplamı 187,6 milyon m³/yıl olup işletme rezervi 182,1 milyon m³/yıl'dır. (DSİ Su Veri Tabanı, 2011). Akarçay Havzası YAS işletme rezervlerinin ovalara göre dağılımı Tablo 13.1.'de verilmiştir.

Tablo 13.1. Akarçay Havzası YAS İşletme Rezervlerinin Ovalara Göre Dağılımı

YAS Kaynak	İşletme Rezervi 10 ⁶ m ³ /yıl
Bolvadin Ovası	92,0
Çay Ovası	28,0
Şuhut Ovası	9,4
B.Sincanlı Ovası	9,5
K.Sincanlı Ovası	2,5

13.3. ALICI ORTAM

Afyonkarahisar Arıtma tesisinin alıcı ortamı, tesisi çıkış yapısından takriben 350 m mesafedeki yıllık ortalama debisi 1,2 m³/sn olan Akarçay'dır. Deşarjı yapılan arıtılmış atıksu en son noktada Eber Gölü'ne ulaşmaktadır.



Şekil 13.3. Afyonkarahisar Akarçay Deşarjı

Akarçay su kalitesi açısından genel olarak değerlendirildiğinde, kirli ya da çok kirlenmiş özellik gösterdiği söylenebilir. Akarçay organik ve/veya oksijenlendirme parametreleri, nütrient parametreleri (amonyum, P) ile genel şartlar ve/veya fiziksel-inorganik parametreler Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği (YSKYY) göre Sınıf IV su özelliği göstermektedir.

13.4. DEŞARJ STANDARTLARI

Evsel nitelikli Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları uyarınca nüfusu 100.000 kişiden büyük ve kirlilik yükü ham BOİ olarak 600 kg/gün'den büyük olan yerleşimler için Tablo 13.2'deki değerler uygulanmaktadır. Bu tablo uyarınca deşarj kriterleri şu şekildedir;

Tablo 13.2. SKKY Deşarj Standartları

Parametre	Birim	Kompozit Numune (2 saatlik)	Kompozit Numune (24 saatlik)
BOİ ₅	mg/l	40	35
KOİ	mg/l	120	90
AKM	mg/l	40	25
pH	mg/l	6 ~ 9	6 ~ 9

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde azot ve fosfor ile ilgili kriterler bulunmamaktadır. Kentsel Atıksu Arıtım Tesislerinden İkincil Arıtıma İlişkin Deşarj Limitleri uyarınca limitler Tablo 13.2'de verilmiş ve bu değerler esas alınmıştır.

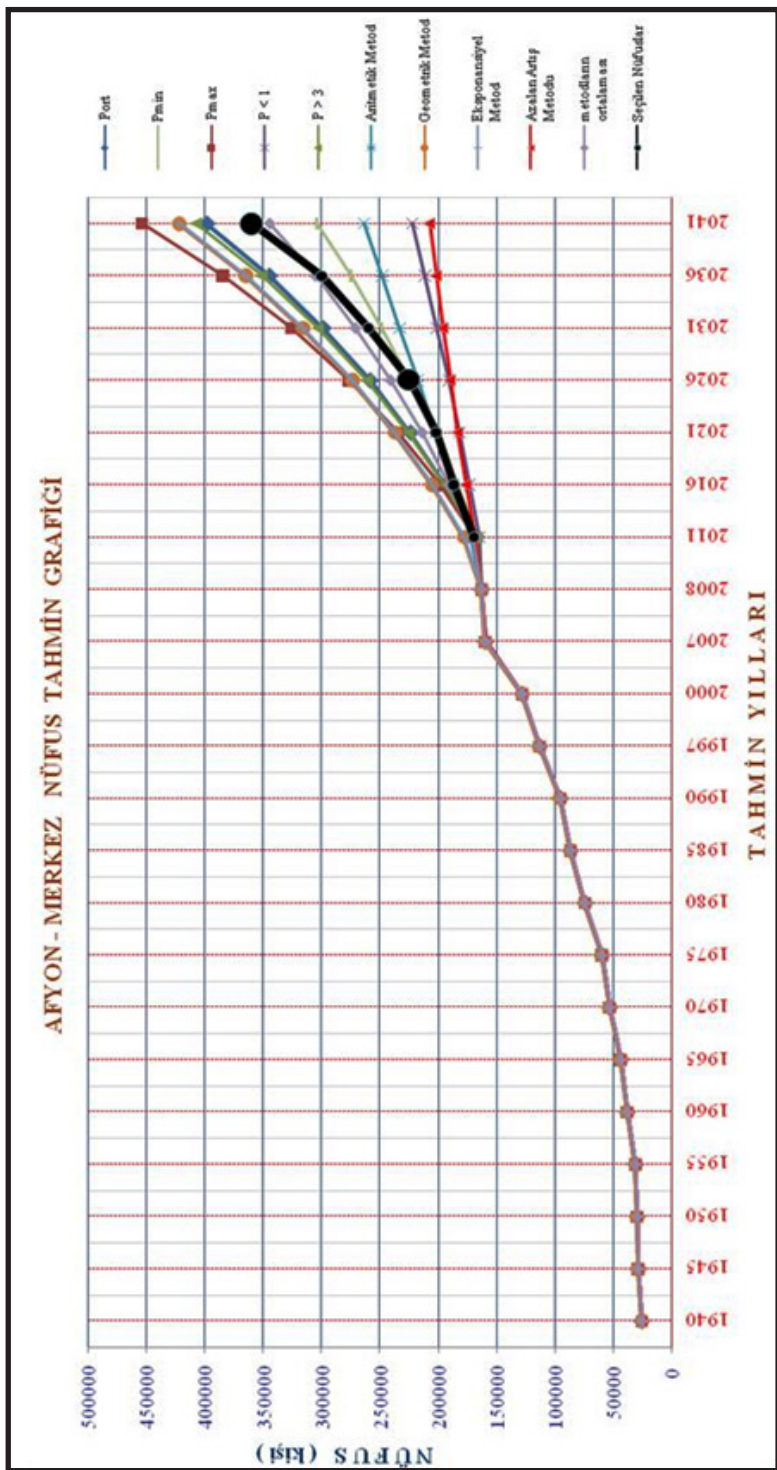
Tablo 13.3. Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinden İkincil Arıtma İlişkin Deşarj Limitleri

Parametre	Konsantrasyonu mg/l	Min. Arıtma Verimi, %	Referans Ölçüm Metodu
Nitrifikasyonsuz¹ BOİ₅ (20 °C’de)	25	70 ~ 90 40 madde 8 c	Homojen filtre edilmemiş, çökeltilmemiş ham örnek, tamamen karanlık ortamda 20 °C’de ± 1 °C’de beş günlük inkübasyondan önce ve sonra çözünmüş oksijen ölçülmesi. Bir inkübasyon inhibitörünün ilavesi
KOİ	125	75	Homojen filtre edilmemiş, çökeltilmemiş ham örnek, potasyum dikromat yöntemi
Toplam AKM	35 35 madde 8 c >10,000 EN 60 madde 8 c 2,000-10,000 EN	90 ² 90 madde 8 c >10,000 EN 70 madde 8 c 2,000-10,000 EN	Temsili örneğin 0,45 um membran ile filtrasyonu. 105 °C’de kurutulması Temsili örneğin santrifüj edilmesi, 105 °C’de kurutulması ve tartılması.
Toplam Fosfor	2 mg/l 10,000-100,000 EN 1 m/l >100,000 EN	80	Moleküler absorbsiyon spektrofotometre
Toplam Azot¹	15 mg/l 10,000-100,000 EN 10 m/l >100,000 EN	70 ~ 80	Moleküler absorbsiyon spektrofotometre

1: Eğer BOİ₅ ile yerine kullanılan parametre arasında korelasyon kurulabilirse, bu parametre bir başka parametre ile değiştirilebilir. Toplam organik karbon (TOK) ya da toplam oksijen ihtiyacı (TOİ) gibi.

2: Bu şart yerleşim biriminin büyüklüğüne bağlıdır. Lagünlerden deşarjlara ilişkin analizler filtre edilmiş örnekler üzerinde yapılmakla birlikte; filtre edilmemiş; atıksu örneklerinde toplam askıda katı madde konsantrasyonu 150 mg/l’yi aşmamalıdır.

13.5. NÜFUS TAHMİN HESAPLARI



Şekil 13.4. Afyonkarahisar ili 2041 yılı için nüfus tahmin grafiği

13.5.1. Atıksu Toplama Sistemi

Afyonkarahisar belediyesi kanalizasyon (Evsel atık suları) ve yağmursuyu hatları ayrı şebekeler halinde projelendirilerek inşa edilmiştir. Kanalizasyon şebeke hatlarına bağlı olan parsel atık suları, muhtelif bölgelerdeki toplayıcı hatlar sayesinde Akarçay'ın iki tarafında bulunan kolektör hatları vasıtasıyla belediye atıksu arıtma tesisine deşarj olmaktadır.

Belediye imar planı ve mücavir alanı içinde yapılaşması tamamlanan bölgelerin % 99,9'unda kanalizasyon şebekesi tamamlanmış durumdadır.

Şehri toplayan 3 adet ana kollektör hattı vardır. Ø1000'lik 1 adet, Ø1200'lük bir adet ve Ø1500'lük 1 adet olmak üzere planlanmış; Ø1000'lik ve Ø1500'lük hatlar 1. kademe, Ø 1200'lük ise 2. kademe olarak düşünülmüş olup 1. ve 2. kademe imalatı yapılmıştır.

13.5.2. Atıksu Miktarı, Özellikleri ve Tesisin Arıtma İhtiyacı

Afyonkarahisar belediyesi ile birlikte 6 belediye ve 9 köye hizmet veren tesis, günlük 44.000 m³ atıksuyu arıtacak şekilde projelendirilmiştir. Bölüm 4'te belirtildiği üzere mevzuat gereğince atıksu arıtma tesisi ileri biyolojik arıtma şeklinde tasarlanmıştır. Atıksu arıtma tesisine giriş atıksu karakterizasyonları Tablo 13.4.'de belirtilmiştir. Evsel ve Sanayi tesislerine ait kirlilik yükleri Tablo 13.5.'de verilmiştir.

Tablo 13.4. Atıksu Giriş ve Çıkış Değerleri

Parametre	Giriş Atıksu Değerleri	Deşarj Standartları	Çıkış Atıksu Değerleri
KOİ (mg/L)	860	120	40
BOİ (mg/L)	430	40	20
AKM (mg/L)	270	40	10
TN (mg/L)	60	10	10
TP (mg/L)	11	1	1
pH	6-9	6-9	7,35

Tablo 13.5. Evsel ve Sanayi Tesislerine Ait Kirlilik Yükleri

Parametreler	Kademe (yıl)	Nüfuslar kişi	Evsel Debiler m ³ /gün	Sanayi Debileri m ³ /gün	Mezbaha Debileri m ³ /gün	Seçilen Mezbaha Kirlilik Yüklü	L mezbaha (kg/gün)	Toplam Yük (kg/gün)	Maksimum Debi m ³ /gün
BOİ ₅	2008	183,170.00	13,665.19	5,000.00	3.20				70,000.00
	2026 (1. Kd.)	269,600.00	24,472.80	7,300.00	3.50				84,000.00
	2041 (2. Kd.)	425,760.00	50,241.46	9,600.00	6.10				168,000.00
KOİ	2008		6,410.95				4.16	12,915.00	359.00
	2026 (1. Kd.)	38.00	9,436.00	1,300.00		1,300.00	4.55	18,931.00	430.00
	2041 (2. Kd.)		14,901.60			12,480.00	7.93	27,390.00	311.00
AKM	2008		12,821.90				6.40	21,828.00	634.00
	2026 (1. Kd.)	70.00	18,872.00	2,000.00		2,000.00	7.00	33,479.00	761.00
	2041 (2. Kd.)		29,803.20			19,200.00	12.20	49,015.00	557.00
Toplam N	2008		5,495.10				1.60	7,997.00	222.00
	2026 (1. Kd.)	30.00	9,088.00	500.00		500.00	1.75	11,740.00	267.00
	2041 (2. Kd.)		12,772.80			4,800.00	3.05	17,576.00	200.00
Toplam P	2008		1,556.95				0.10	1,707.00	47.00
	2026 (1. Kd.)	8.50	2,291.60	30.00		30.00	0.11	2,511.00	57.00
	2041 (2. Kd.)		3,618.96			288.00	0.18	3,907.00	44.00
	2008		265.60				0.04	331.00	9.00
	2026 (1. Kd.)	1.45	390.92	13.00		13.00	0.05	486.00	11.00
	2041 (2. Kd.)		617.35			124.80	0.08	742.00	8.00

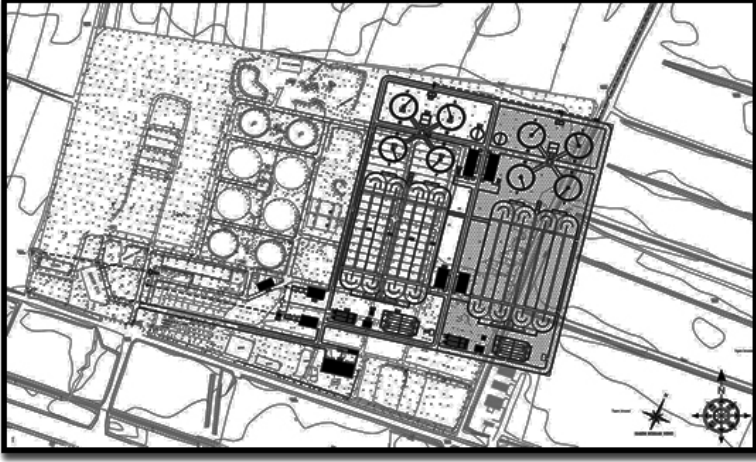
Afyon Merkez Atıksu Arıtma Tesisi
Arıtılmış Çıkaş Suyundaki Hedeflenen Su Kalitesi Değerleri

BOİ ₅	KOİ	AKM	Top. N	Top. P
25 mg/l	125 mg/l	35 mg/l	10 mg/l	1 mg/l

13.6. AFYONKARAHİSAR MERKEZ MEVCUT ATIKSU ARITMA TESİSİ

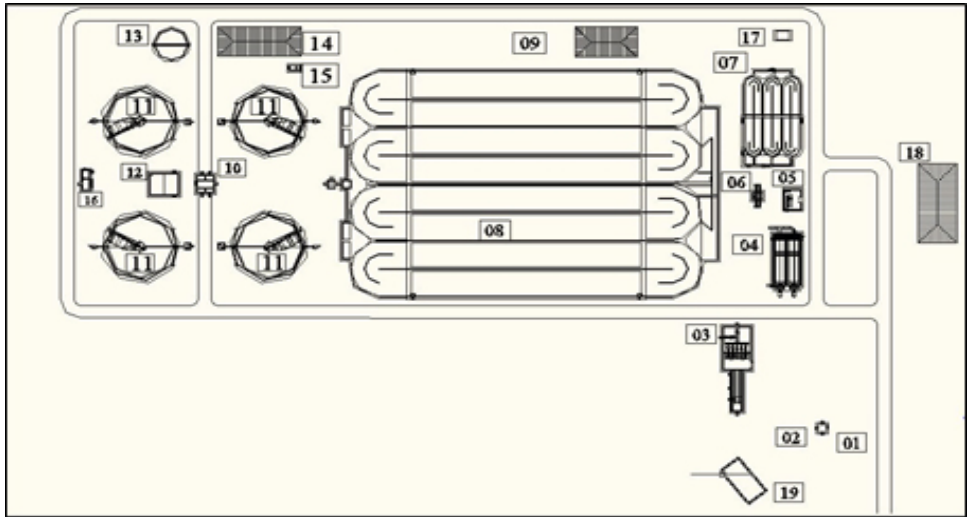
Mevcut Afyonkarahisar Merkez Belediyesi atıksu arıtma tesisi, şehrin takriben 13 km güney doğusunda yer almaktadır.

Tesisin işletmeye alınma yılı ise Temmuz 2000'dir. Tesis 2002 yılında (1. Kademe) 175.000 kişiye, 2017 yılında (2. Kademe) ise 300.000 kişiye hizmet edecek şekilde ve damlatmalı filtre prosesine göre tasarımı yapılmıştır.



Şekil 13.5. Afyonkarahisar Atıksu Arıtma Tesisi Genel Vaziyet Planı

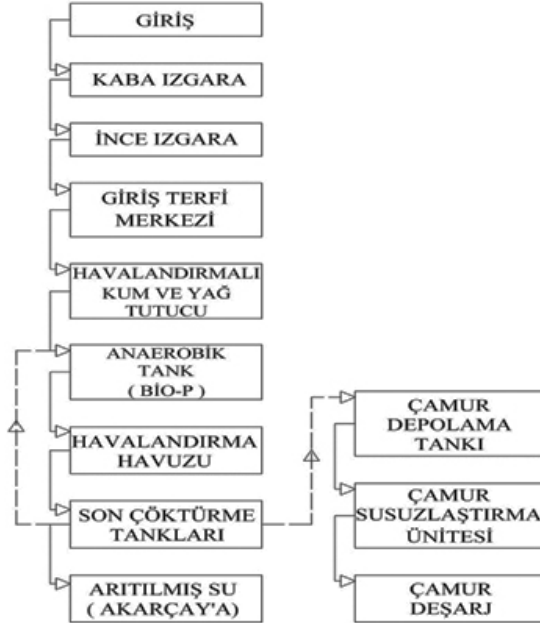
Proje kapsamında yapılacak olan Afyonkarahisar Merkez Atıksu Arıtma Tesisi prosesi Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Prosesi (Bardenpho) dir.



Şekil 13.6. Afyonkarahisar İleri Biyolojik Arıtma Tesis Bileşenleri

Atıksu arıtma tesisi aşağıda belirtilen bileşenlerden oluşmaktadır:

1. Giriş Yapısı ve Numune alma noktası,
2. Giriş Dağıtım Yapısı,
3. Izgaralar ve Terfi Merkezi,
4. Havalandırmalı Kum ve Yağ tutucu,
5. Havalandırmalı Kum Yağ Tutucu Körük Binası,
6. Debimetre Yapısı,
7. Anaerobik Fosfor Tankı,
8. Havalandırma Havuzu,
9. Havalandırma Havuzu Körük Binası,
10. Çöktürme Havuzu Dağıtım Yapısı,
11. Son Çöktürme Havuzu,
12. Geri Devir - Fazla Çamur Terfi Merkezi,
13. Çamur Toplama Tankı,
14. Çamur Susuzlaştırma Binası,
15. Süzüntü Suyu Terfi Merkezi,
16. Çıkış Yapısı,
17. Kimya Binası,
18. İdari Bina,
19. Trafo ve Jeneratör Binası,



Şekil 13.7. Akım Şeması

13.6.1.Tasarım Verileri

13.6.1.1. Giriş Yapısı ve Numune Alma Noktası

Proje kapsamında hali hazırda var olan tesise gelen kolektör hattından yeni inşa edilecek olan tesise ayırım sağlamak için bir baca tasarlanmıştır. Bu yapı öncesi hali hazırda var olan taşkın yapısı kullanılacaktır. Giriş yapısında 2 adet 1500 x 1500 mm paslanmaz çelik sürgülü kapak kullanılmıştır.

13.6.1.2. Giriş Dağıtım Yapısı

Proje kapsamında 1. Kademe ve 2. Kademe ızgara ve terfi merkezlerine akışı ayırabilmek için dağıtım yapısı tasarlanmıştır. Yapı içerisinde 2 adet 1200 x 1200 mm el kumandalı kapak ile kontrol sağlanacaktır.

13.6.1.3. Izgaralar ve Terfi Merkezi

Atıksu arıtma tesisi girişinde, sistemi büyük ebatlı yüzen parçaların zarar verici etkisinden korumak için kaba ve ince ızgaralar düşünülmüştür. Kaba ve ince ızgaralar 2 asıl 1 yedek hat olma üzere 3 hattan oluşmaktadır ve her bir hattın girişine 1000 x 1000 mm motor kumandalı sürgülü kapak yerleştirilmiştir.

Mekanik kaba ızgaraların ızgara aralığı 40 mm ve çubuk kalınlığı 10 mm olarak 20 adet çubuk tasarlanmıştır. Kaba ızgara önünde tutulan malzemeler, kaba ızgara sıyrıcısı vasıtası ile konteynere aktarılmaktadır.

Kaba Izgara’da atıksuyun içinde tutulamayan kalan taş, paçavra, tahta gibi maddeler ince ızgaralarda tutularak bundan sonraki ünitelere geçmesi engellenecektir. Mekanik ince ızgaraların ızgara aralığı 6 mm ve çubuk kalınlığı 10 mm olarak 56 adet çubuk tasarlanmıştır.

İnce ızgara önünde tutulan atıklar ince ızgara sıyrıcısı vasıtasıyla bant konveyöre aktırılacak ve oradan atık kompaktörüne boşaltılacaktır. Burada atıklar sıkıştırılarak atık konteynerine boşaltılacaktır.

13.6.1.4. Giriş Terfi Merkezi

Giriş Terfi Merkezinde kullanılacak olan pompalar, kullanım rahatlığı, işletme ve bakım maliyetlerinin düşük olması sebebi ile dalgıç tip pompa uygun görülmüştür. Dalgıç pompalar, su toplama çukuru içerisine yerleştirilecek ve çukurdaki su seviyesine bağlı olarak otomatik olarak devreye girecektir.

Kum tutucu çukurlarda biriken kumlar, kum pompaları vasıtası ile kum ayırıcılara basılacaktır.

Kum pompalarının basılan kumu ayırmak için 64 m³/h kapasiteli bir kum ayırıcının kullanılması uygun görülmüştür.

13.6.1.6. Debimetre Yapısı

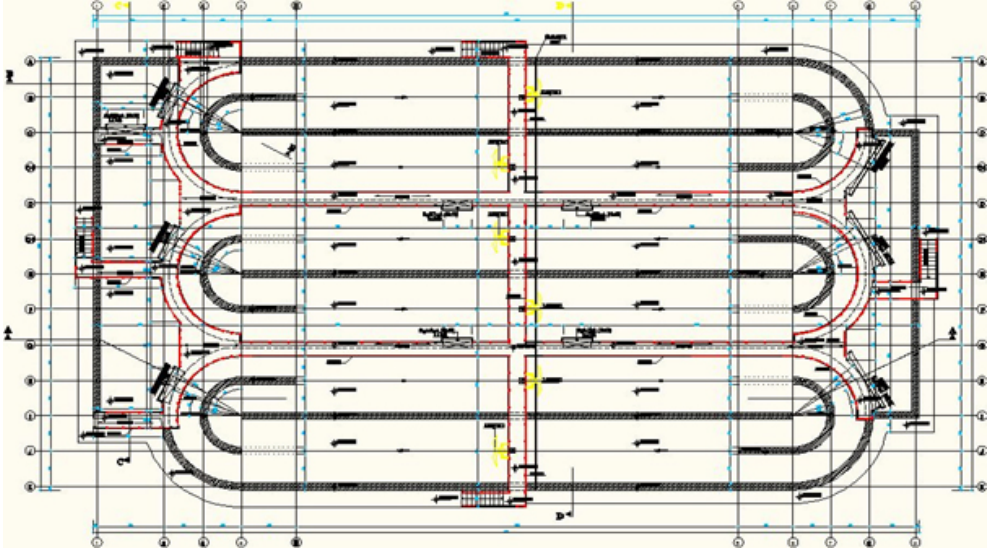
Sisteme giren suyu ve geridevir terfi istasyonundan gelen geridevir suyunu debileri ölçülmesi maksadıyla debimetre yapısında 2 adet DN 800 elektromanyetik debimetre konulmuştur.

13.6.1.7. Anaerobik Fosfat Giderim Havuzu

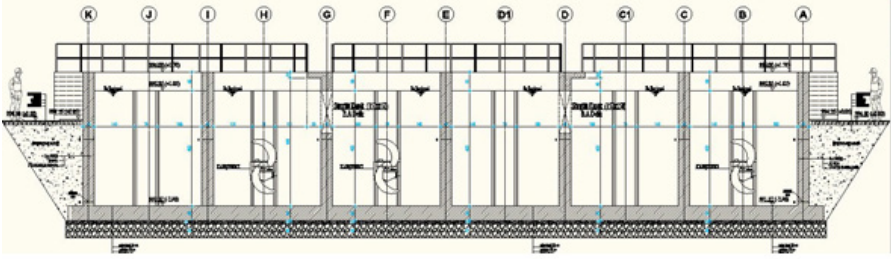
Afyonkarahisar Merkezi İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nde fosfor, biyolojik yöntemlerle giderilecektir. Bu sebeple anaerobik havuzlar kullanılacaktır. Anaerobik havuzlarda muz kanatlı karıştırıcılar kullanılacaktır, bu karıştırıcılar atıksuda homojen bir ortam sağlamak ve geri devir çamuru ile yeni atıksuyu karıştırmayı sağlar.

3 Adet muz kanatlı karıştırıcı kullanılmıştır.

Ayrıca anaerobik havuzun çıkışına kimya binasında hazırlanmış olan demir klorür çözeltisi dozlanmaktadır.



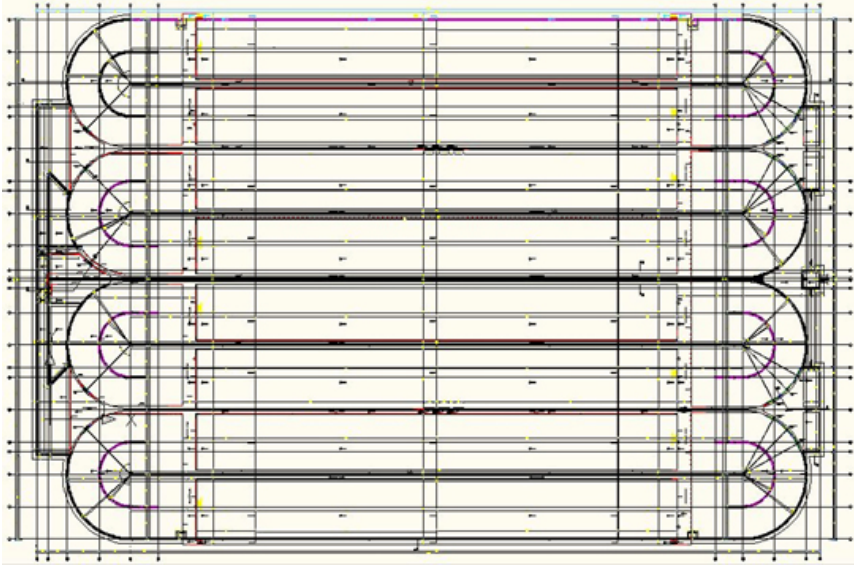
Şekil 13.10. Anaerobik Fosfat Giderim Havuzu Planı



Şekil 13.11. Anaerobik Fosfat Giderim Havuzu Kesiti

13.6.1.8. Havalandırma Havuzu

Arıtma tesisinin 1. kademesinde 4 adet, 2. kademesinde ise 8 adet uzun havalandırmalı aktif çamur havuzları tasarlanmıştır. Havalandırma havuzları KOİ ve azotun biyolojik süreçle verimli bir şekilde giderilmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Havuzlar, ortada bir ayıma duvarı olan carrousel tipinde ve yönlendirme duvarları ile havuz duvarları en az hidrolik kaybı oluşturacak şekilde dizayn edilmiştir. Hava boru aksamı 3'lü ve 5'li düzende çalışmaya imkan verecek Bardenpho prosesine göre tasarlanmıştır.



Şekil 13.12. Havalandırma Havuzu Planı

Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi organik maddelerin aerobik stabilizasyon işlemi ile giderilmesini ve nitrifikasyon/denitrifikasyon işlemini gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. Sistem 13°C'de 23,32 gün çamur yaşını esas alarak dizayn edilmiştir.

Havalandırma sistemi zemine monte edilen ince kabarcıklı havalandırma difüzörlerinden oluşacaktır. Difüzör sistemi birkaç ayrı ızgara ünitesine bölünerek farklı birimlere tamir ve bakım yapılması mümkün olacaktır. Denitrifikasyon için gerekli olan anoksik bölgeler, çözünmüş oksijen ayar noktası ve SCADA sistemi tarafından ilave ORP kontrolü ile havuz içinde havalandırmanın ayarlanmasıyla oluşturulacaktır.

Havalandırma Havuzları

Havuz Sayısı 1. Kademe	4 adet
Havuz Sayısı 2. Kademe	8 adet
Havuzun Uzunluğu	130,00 m
Havuzun Genişliği	26,00 m
Su Derinliği	5,30 m
Havuz Hacmi	82,913 m

Karıştırıcı:

Havalandırma havuzunda sıvı hareketinin 0,3 m/s sağlanması için her havuz için 16 adet muz kanatlı karıştırıcı seçilmiştir.

Difüzör:

Havalandırma havuzunda gerekli oksijenin sağlanması için her havuza 9.184 adet 9'lık membran disk yerleştirilmiştir.

13.6.1.9. Havalandırma Havuzunun Boyutlandırılması

$$V_{AT} = M_{SS,AT} / SS_{AT} = 313,226 / 3.78 = 82,864.10 \text{ m}^3$$

Karusel tipi havuz sayısı: 4 adet (1. Kademe)

: 4+4 adet (2. Kademe)

Seçilen havuz boyutları;

Yükseklik, H : 5,30 m

Genişlik, W : 26,00 m

Uzunluk, L : 130,00 m

Toplam yeni hacim : $5.30 \times 26.00 \times 130.00 \times 4 \times \frac{\pi \times 26.00^2}{4} \times 5.30 \cong 82,912 \text{ m}^3$

Denitrifikasyon hacmi, V_D : 17,411 m³

Nitrifikasyon hacmi, V_N : 65,500 m³

Havalandırma Havuzu İçerisindeki Karıştırıcılar;

Anoksik havuzda çökelmenin önlenmesi için muz tipi mikserler kullanılacaktır. Yata-
tay hızı 0,3 m/sn olan 16 adet mikser yerleştirilmiştir.

13.6.1.10. Hava Hesabı

Proses için Gerekli Olan Oksijen Miktarının Hesaplanması

Karbon için gerekli oksijen giderimi, $OU_{d,C}$

$$OU_{d,C} = B_{d,BOD} \times \left(0,56 + \frac{0,15 \times SRT \times F_T}{1 + (0,17 \times SRT \times F_T)} \right)$$

Havalandırıcının tasarımı için seçilen sıcaklık değeri 25°C'dir.

Sıcaklık faktörü F_T : 1,072^(T-15) : 2

$$OU_{d,C} = 18,931 \times 0,56 + \left(\frac{0,15 \times 25 \times 2}{1 + (0,17 \times 25 \times 2)} \right) = 25,434.40 \text{ kg/O}_2\text{gün}$$

Nitrifikasyon için gerekli oksijen miktarı, $OU_{d,N}$

$$OU_{d,N} : 4.30 \times (S_{NO3,D} - S_{NO3,IAT} + S_{NO3,EST}) \times Q_d / 1000 \text{ (ATV 131E-formül 5.25)}$$

$$: 4.30 \times (26.50 - 1.00 + 7.50) \times 44,000 / 1000$$

$$: 6,243.60 \text{ kg/O}_2\text{gün}$$

Denitrifikasyondan kaynaklanan oksijen ihtiyacı azalması, $OU_{d,D}$

$$OU_{d,D} : 2.90 \times S_{NO3,D} \times Q_d / 1000 \text{ (ATV 131E- formül 5.26)}$$

$$: 2.90 \times 26.50 \times 44,000 / 1000$$

$$: 3,381.40 \text{ kg/O}_2\text{gün}$$

Karbon giderimi için pik faktör: 1,10 (ATV 131 E – Tablo 8)

Nitrojen giderimi için pik faktör: 1,20 (ATV 131 E – Tablo 8)

Günlük oluşacak maksimum saatlik oksijen ihtiyacı (OU_h)

Karbon kaynaklı saatlik pik oksijen ihtiyacı;

$$OU_h = \frac{f_C \times (OU_{d,C} - OU_{d,D}) + f_N \times OU_{d,N}}{24}$$

$$OU_h = \frac{1.1 \times (25,434.40 - 3,381.40) + 1 \times 6243.60}{24} = 1,270.91 \text{ kg O}_2\text{/sa}$$

Nitrifikasyondan kaynaklı saatlik pik oksijen ihtiyacı;

$$OU_h = \frac{f_c \times (OU_{d,C} - OU_{d,D}) + f_N \times OU_{d,N}}{24}$$

$$OU_h = \frac{1 \times (25,434.40 - 3,381.40) + 1.20 \times 6243.60}{24} = 1,231.06 \text{ kg O}_2/\text{sa}$$

Seçilen OU_h değeri : 1,270.91 kg O_2 /sa

AOR: $1,270.91 \times 24$: 30,501.80 kg O_2 /gün

13.6.1.11. Havalandırma Havuzu Körük Binası

Körük Hesapları:

Havalandırma havuzunda gelen suya gerekli oksijeni karşılamak gayesiyle turbo körükler vasıtası ile hava sağlanmaktadır.

Körük Adedi = 2 Asıl + 1 Yedek

Gerekli toplam hava ihtiyacı = 41.000 m³/h

Seçilen Motor P=400 kW

Seçilen körük

Q=1750 m³/h

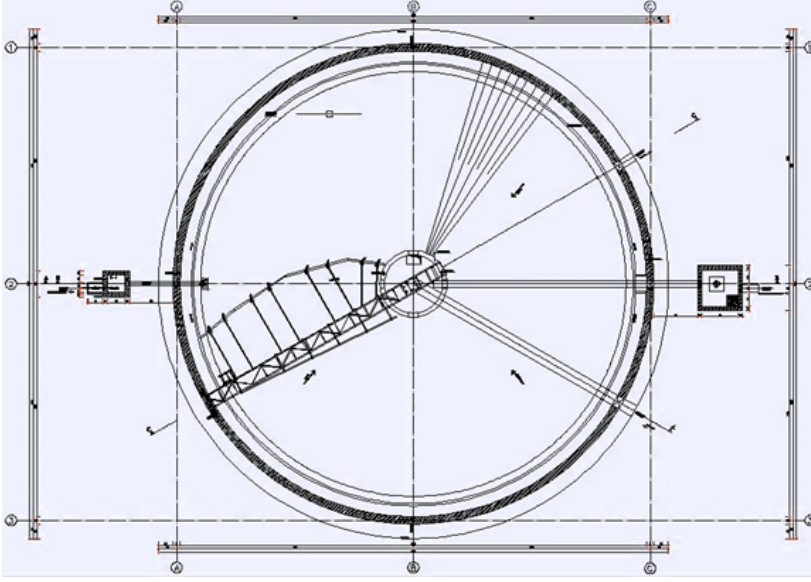
H=700 mbar

P=75 Kw

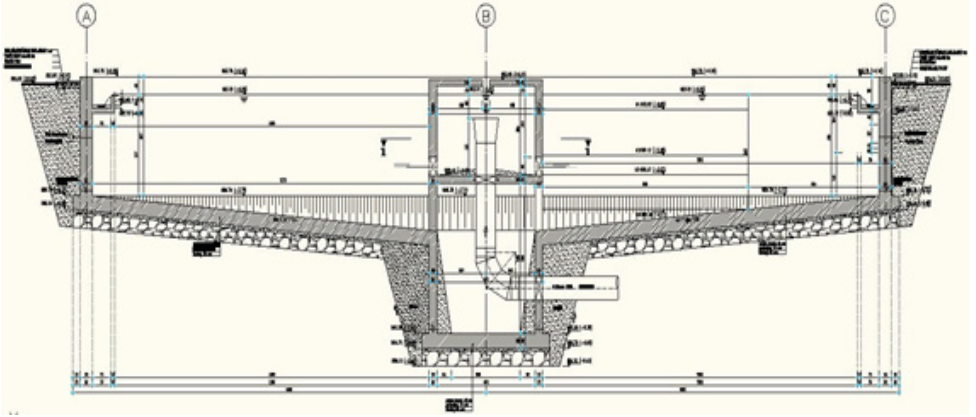
13.6.1.12. Çöktürme Havuzu Dağıtım Yapısı

Havalandırma Havuzundan gelen suyu çöktürme havuzlarına dağıtımını sağlamak için ve gerekli zamanlarda çöktürme havuzlarının istenilenini sistemden izole etmek için çöktürme havuzu dağıtım yapısında motor kumandalı 4 adet sürgülü kapak kullanılmıştır.

13.6.1.13. Son Çöktürme Havuzu



Şekil 13.13. Son Çöktürme Planı



Şekil 13.14. Son Çöktürme Kesiti

1. kademede 4 adet, 2. kademede ise 8 adet olarak tasarlanan son çöktürme havuzları, tabanları tankların ortalarında yer alan çamur çukuruna doğru eğimli halde, dairesel havuzlar olarak yapılacaktır. Aktif çamur gravite ile çökeltme havuzlarının ortasından beslenecektir. Çevre duvarları boyunca beton savak kanalları inşa edilecektir. Çöktürme havuzları, merkezden destekli ve çevre duvarı üzerinde dönen köprü ile donatılacaktır.

Köprüler, duvarlar üzerinde çalışan motor tahrikli tekerlekler tarafından döndürülecektir. Döner köprülerin üzerine yüzey ve taban sıyrıcıları monte edilecektir. Çökeltme havuzlarına “V” çentikli savaklar, köpük engeli ve yüzen köpük alma hunileri yerleştirilecektir. Arıtılmış su, toplama kanalı vasıtasıyla çıkış yapısına iletilecektir. Toplanan çamurlu su ise geri devir ve çamur pompalarının olduğu hazneye gönderilecektir. Çamurlu suyun %75’i geri devir ile anaerobik havuzun giriş yapısına, geri kalan kısmı ise belt tipi mekanik çamur yoğunlaştırma ve mekanik çamur susuzlaştırmaya gönderilecektir. Son çöktürme havuzunda dairesel hareketli dip sıyrıcı kullanılmaktadır. Ayrıca üstünde köpük sıyrıcı bulunmaktadır. Oluşan köpüğün arıtılmış su ile savaklanmaması için ikili savak kullanılmıştır. Toplanan köpük pompa ile çamur toplama tankına pompalanmaktadır.

Köpük Pompası:

Pompa Debisi : 15 m³/saat
Pompa Adedi : 1 Asıl
Pompa Tipi : Islak Tip Dalgıç Pompa

Seçilen Pompa Özellikleri

$$Q = 15 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$H_m = 10 \text{ m}$$

$$P_m = 1,5 \text{ kW}$$

Misal: Aşağıda verilen ATV 131 E Standartları doğrultusunda yapılan kabüllere göre Afyonkarahisar Merkez Atıksu Arıtma Tesisi için Son Çöktürme Havuzlarının yüzey alanlarını belirleyiniz.

Tablo 13.6. ATV 131 E Standardı Baskın Yatay ve Baskın Düşey Akışlı İkincil Çöktürme Tankları Arasından Geçiş Alanı İçin İzin Verilen Değerler

Oran*	≥ 0,33	≥ 0,36	≥ 0,39	≥ 0,42	≥ 0,44	≥ 0,47	≥ 0,5
$q_{sv} \text{ (L/m}_2\text{h)}$	≤ 500	≤ 525	≤ 550	≤ 575	≤ 600	≤ 625	≤ 650
$\leq q_A \text{ (m/h)}$	≤ 1,60	≤ 1,65	≤ 1,75	≤ 1,80	≤ 1,85	≤ 1,90	≤ 2,00
RS (-)	≤ 0,75	≤ 0,80	≤ 0,85	≤ 0,90	≤ 0,90	≤ 0,95	≤ 1,00

* düşey bölmenin yatay bölmeye oranı mesela; 1: 2,5 = 0,4

Hacimsel çamur yükleme oranı (q_{SV}) = 412 l/m².saat seçilmiştir.

Seyreltilmiş çamur hacmi (DSV) = $SS_{AT} \times SVI = 378 \text{ l/m}^3$

Yüzeysel hidrolik yükleme oranı (q_A) = (q_{SV}/DSV) = 1,09 m³/m².sa

Son çöktürme havuzları için gerekli yüzey alanı (A_{ST}) ;

$$A_{ST} = \frac{QWW, h}{qA} = \frac{3,500 \text{ m}^3/\text{sa}}{1.09 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{sa}} = 3211.01 \text{ m}^2$$

Son çöktürme havuz sayısı 4 adet seçilmiştir. Buna göre havuzların çap hesabı;

$$A_{ST} = \sqrt{\frac{4 \times A_{ST}}{4\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 3,211.01}{4\pi}} = 32.00 \text{ m}$$

Havuzların Yüksekliği Hesabı;

h_1 : Minimum h 0,5 m derinlik alınır (temiz su bölgesi)

: 0,5 m

h_2 : $(0,5 \times q_A \times (1+RS)) / (1-(DSV/1000))$ (ayırma bölgesi/geri devir akım bölgesi)

: 1,53 m

h_3 : $1,5 \times 0,3 \times q_{SV} \times (1+RS) / 500$ (yoğun akım ve depolama bölgesi)

: 0,65 m

h_4 : $(SS_{EAT} \times 0,3 \times q_{SV} \times (1+RS) \times t_{Th}) / SS_{BS}$ (yoğunlaştırma ve çamur tahliye bölgesi)

: 1,14 m

h_{top} : Toplam yükseklik ($h_1 + h_2 + h_3 + h_4$)

h_{top} : 3,82 m (hesaplanan)

h_{top} : 3,82 m (seçilen)

Tankın taban eğim oranı: 1/12 $h_{side} = h_{top} - (D_{ST}/2) \times (1/3) \times (1/12)$

$h_{side} = 3,38 \text{ m} \geq 2,50 \text{ m}$ old. uygundur.

$h_{merkez} = h_{top} + (D_{ST}/2) \times (2/3) \times (1/12)$

$h_{merkez} = 4,71 \text{ m} \geq 4,00 \text{ m}$ old. uygundur.

Tankın konik kısmın yüksekliği; $h_{konik} = \text{Taban eğimi} \times (D_{ST}/2)$

$h_{konik} = 1,33 \text{ m}$

$h_{hava \text{ payı}} = 0,60 \text{ m}$

13.6.1.14. Geri Devir - Fazla Çamur Terfi Merkezi

Geri Devir Pompaları:

Dalgıç pompalar, toplama yapısının içerisine yerleştirilecek ve PLC ye bağı olarak kumanda edilecektir. Pompa debileri %100 geri devir sağlayacak kapasitede seçilmiştir.

I. Kademe için

$$\text{Tasarım Debisi} = 44.000 \text{ m}^3/\text{gün} = 1.833,33 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$\text{Maks. Debi} = 84.000 \text{ m}^3/\text{gün} = 3.500 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$\text{Seçilen Pompa debisi ve sayısı} = Q_{\text{pompa}} = 1750 \text{ m}^3/\text{saat} (2 \text{ asıl} + 1 \text{ Yedek})$$

$$P_m = 90 \text{ kW Seçilmiştir.}$$

Seçilen Pompa Özellikleri

$$Q = 1750 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$H_m = 12,5$$

$$P_m = 90 \text{ kW}$$

Fazla Çamur Pompası:

Çamur toplama tankına fazla çamuru basabilmek için ıslak tip dalgıç pompa yerleştirilmiştir.

$$\text{Tasarım Debisi} = 55,5 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$\text{Seçilen Pompa Sayısı} = 1 \text{ Asıl} + 1 \text{ Yedek}$$

$$\text{Toplam Kayıp} = 1,18 \text{ m}$$

$$P_m = 3 \text{ kW Seçilmiştir.}$$

Seçilen Pompa Özellikleri

$$Q = 55,5 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$H_m = 10$$

$$P_m = 3 \text{ kW}$$

13.6.1.15. Çamur Toplama Tankı

Fazla çamur terfi istasyonundan basılan çamur çamur toplama tankında depolanarak susuzlaştırmaya iletilmek üzere burada bekletilir. Bu bekleme sırasında çamur mikser ile karıştırılır ve difüzör ile hava verilir.

13.6.1.16. Çamur Susuzlaştırma Binası

Çamur toplama tankında bekletilen çamuru dekantörlere iletmek için monopomp kullanılmaktadır. Çamurun susuzlaştırılmasında kullanılan polielektroliti hazırlamak için tam otomatik polielektrolit hazırlama ünitesi konuşmuştur. Çamur susuzlaştırılmasının sağlanması için 3 adet dekantör düşünülmüştür. Ayrıca Çamur toplama tankındaki difüzörlerin havası burada bulunan körükler vasıtası ile sağlanmaktadır.

13.6.1.17. Süzüntü Suyu Terfi Merkezi

Süzüntü Suyu Pompası:

Susuzlaştırma ünitesinden gelen süzüntü suyunun anaerobik havuza iletilmesini sağlamak amacıyla 1 Asıl + 1 yedek pompa seçilmiştir.

$$P_m = 7,5 \text{ kW}$$

Seçilen Pompa Özellikleri

$$Q = 168 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$H_m = 8,5 \text{ m}$$

$$P_m = 7,5 \text{ kW}$$

13.6.1.18. Çıkış Yapısı

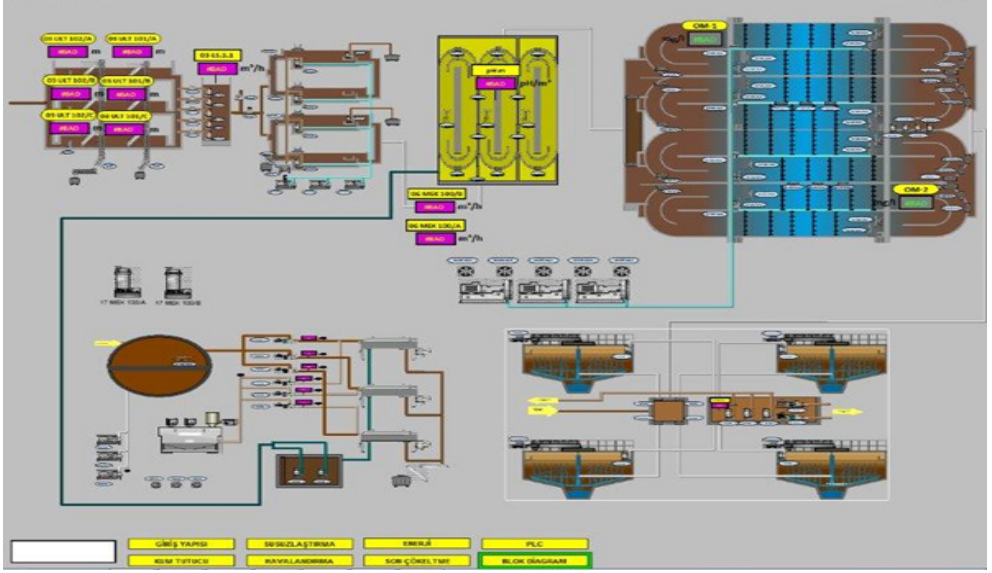
Sistemde arıtılmış suyu tek bir noktada toplayıp deşarj hattına iletilmesi ve arıtılmış suyun bir miktarını sistemde kullanım suyu olarak kullanılması için uygun bir çıkış yapısı tasarlanmıştır. Kullanım suyunu çamur susuzlaştırma binasında bulunan kum filtresine gerekli basınçta iletilmesi için paket hidrofor yerleştirilmiştir.

13.6.1.19. Kimya Binası

Gerekli görüldükçe anaerobik havuzun çıkışına dozlanmak üzere uygun kapasitelerde demir klorür hazırlama ünitesi ve dozlama pompaları seçilmiştir.

13.7 OTOMASYON SİSTEMİ

Afyonkarahisar ileri biyolojik arıtma tesisinde bulunan bütün makine ve ekipmanların kontrolünün sağlanması için otomasyon sistemi kurulmuştur.



Şekil 13.15. Scada Sistemi

13.8 ÇAMUR BERTARAFI

Atıksu arıtma tesisinden çıkan arıtma çamurları düzenli katı atık depolama sahasına gönderildikten sonra bertaraf edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Arceivala, S.J., “Wastewater Treatment and Disposal Engineering and Ecology in Pollution Control”, Marcel Deccer Inc.,1982.
- Arceivala, S.J., “Wastewater Treatment for Pollution Control”, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1998.
- Bartlett, Ronald E., “Wastewater Treatment”, Applied Science Publishers Ltd., 1971.
- Benjes, H.J.,” Handbook of Wastewater Treatment”, Gerland STPM Press, 1980.
- Çağlar, F. (2013) Modelling of membrane bioreactor systems, Master Thesis, Graduate of Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylül University.
- Eckenfelter, W.,W.,Jr.,and Ford,D.L.,”Economics of Wastewater Treatment”, Chem. Eng., 76,16,109,1969.
- Eroğlu,V. ve Sayınalp,N, “Müşterek Tasfiyenin Faydalan”, TÜBİTAK-CAG Ulusal Çevre Sempozyumu, 12-15 Kasım,Adana,1984.
- Eroğlu,V.,Topacık,D.,Akkoyunlu,A.,” Kullanılmış Suların Uygun Deşarj Yerlerine İletilmesinin Tasfiye Maliyetine Tesiri”, TÜBİTAK-ÇAG Ulusal Çevre Sempozyumu, 12-15 Kasım,Adana, 1984.
- Filibeli, A., “Arıtma Çamurlarının İşlenmesi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, 1998.
- Judd S., (2011) The MBR Book Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment, Elsevier.
- Kor, N., Çevre Teknolojileri, İTÜ Yayınları.
- Koyuncu, İ. ve diğerleri (2013) Prof. Dr. Dincer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi Faaliyet Raporu.
- Kraume, M., Wedi, D., Schaller, J., Iversen, V., & Drews, A. (2009). Fouling in MBR: what use are lab investigations for full scale operation? Desalination, 236(1-3), 94-103
- Metcalf&Eddy, Water Reuse, Issues, Technologies and Applications, McGrawHill, ABD, 2007.
- Miorin, A.F, Frissora, F.V. and etc., “Wastewater Treatment Plant Design”, American Society of Civil Engineers, New York, 1997.

- Muslu, Y., “Atıksuların Arıtılması”, İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası, 1996.
- Muslu, Y., “Kullanılmış Suların Tasfiyesi Cilt I Izgaralar, Kum Tutucular, Çöktürme Havuzları”, İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Bilimleri ve Teknolojisi Kürsüsü, 1974.
- Muslu, Y., “Su Getirme ve Kullanılmış Suları Uzaklaştırma Esasları”, Teknik Kitaplar Yayınevi, 1985.
- Okun, Daniel, A., “Community Wastewater Collection and Disposal”, World Health Organization, 1975.
- Osmonics Inc (1996) Filtration Specturum.
- Öztürk, İ, “Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları”, İTÜ inşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 1999.
- Patterson, W., L., and Banker, R., F., ” Estimating Costs and Menpower Requiresment for Conventional Wastewater Treatment Facilities”, Office of Research and Monitoring USEPA Washington D.C., 1971.
- Qasim, Syed, R., “Wastewater Treatment Plants Planning, Design, and Operation”, CBS Publishing Japan Ltd., 1985.
- Steel, E. W. and McGhee, Terence J., “Water Supply and Sewerage” McGraw-Hill Book Company, 1979.
- Smith, R., “Cost of Conventional and Advanced Treatment of Wastewater”, Journal of Water Pollution Control Federation, 40, 1546, 1968.
- Taşıyıcı, S. (2009). Batık membran sistemleri ile içme suyu arıtımı: membran tıkanıklığını azaltmak için farklı yöntemlerin kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İTÜ.
- T.C., Başbakanlık Çevre Müsteşarlığı, “Türkiye’de Arıtma Tesisi Kurma Önceliklerinin ve Arıtma Sektörünce Enerji Talebinin Planlanması”, Nihai Rapor, İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 1989.
- Tchobanoglous, G., Wastewater Engineering Treatment and Reuse”, Metcalf and Eddy Inc., Mc Graw Hill Book Comp., 1979.
- Topacık, D., “Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme El Kitabı”, İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 2000.
- Trussell, R. S., S. Adham, and R. R. Trussell (2005) “Process Limits of Municipal Wastewater Treatment with the Submerged Membrane Bioreactor,” J. Environ.

Eng., ASCE, 131, 410.

- Uslu,H.,” Arıtma Sistemlerinin Türkiye’ deki Maliyetleri”, Y.Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1984.
- Wiesner, MR ve Aptel, T. (1996) Water Treatment Membrane Filtration.

ALFABETİK İNDEKS

A

Aerobik bakteri, 2

bölge, 115

Aerobik çamur çürütme, 165

AKM, 10, 12, 14, 20, 21, 78, 81, 87, 118, 132, 142, 144, 186

Aktif çamur sistemi

modifikasyonları, 74, 75

klasik, 15, 51, 73, 81, 82, 83, 87, 109, 112, 172, 173, 185, 190

matematik yaklaşım, 76, 77

teorisi, 78, 79

uzun havalandırmalı, 16, 84, 108, 109, 227, 231

Alg, 192, 194, 196, 199

Anaerobik

bakteri, 222

bekletme süreleri, 162

bölge, 115, 116, 122, 123

çamur çürütme, 13, 153, 155, 156, 170, 172

farklı tipleri, 156

havuz, 201

hidrolik bekletme süresi, 117

kinetik katsayıları, 155

stabilizasyon havuzu, 17, 192, 200

Atıksu debisi, 22, 23

Ayrışabilir organik maddeler, 2, 36

Azot, 6, 7, 21, 113, 123, 125, 134, 154

B

Bakterilerin tipik çoğalma eğrisi, 71

Bakteriyolojik, 1, 218

Basınçlı havalandırıcılar, 89

Bekletme süresi, 17, 51, 52, 81, 84, 109, 117, 122, 123, 153, 162, 186, 188, 190, 192, 196, 197, 199, 201, 220

Besi maddesi, 75, 77, 78, 80, 113, 124, 153, 172

Biyodisk, 3, 4, 15, 18

Biyofilm, 9, 18, 173, 185

sistemleri, 7, 113, 173

Biyolojik

arıtma tesisi, 124

ayırışma, 18, 186

çamur, 76, 83, 86, 109, 125, 146, 152

fosfor giderimi, 115, 124, 130, 132, 136, 141, 207

NUTRIENT giderimi, 113, 118

reaksiyon, 3

reaktör, 185, 226

stabilizasyon, 150

tasfiye, 2, 6, 10, 15, 17, 45, 51, 71, 72, 84, 104, 173, 176, 190, 222

verim, 180

Biyolojik olmayan çamur, 148

Blower, 89, 130, 131, 133, 135

C

Çamur, 5, 6, 12, 51, 72, 83, 86,
138, 199, 220, 222, 226,

hesabı, 83

sıyırma tertibatı, 54, 56, 58

sıyırıcı hızı, 59

susuzlaştırma, 139, 141, 167

tasfiyesi, 11, 12, 13, 146

toplama konileri, 136

yaşı, 79, 81, 84, 87, 109

yükü, 80, 81, 82, 85, 109

Çamur çürütücü, 4, 154, 155
156, 158, 161, 162

boyutlandırma, 160

sabit kapaklı, 157, 158

yüzer kapaklı, 155

farklı karışım tipleri, 156

iki kademeli çamur
çürütücü, 158, 164

Çöktürme havuzu

boyutlandırma, 59

çıkış yapısı, 66

giriş yapısı, 65

proje kriterleri, 59, 60

yaklaşım yapıları, 66, 67, 68, 69, 70

Çökeltim havuzu tipleri, 52

daire planlı konik, 54

dairesel, 53, 57, 59

dikdörtgen, 55, 59, 60

kare planlı konik, 54

Çözünmüş

inorganik katılar, 4

oksijen, 2, 114, 115, 133, 154, 216

organik madde, 15, 17

Çubuk difüzör, 93, 94, 95

Çubuk ızgara, 27, 30, 33

Çürütme çukurları, 220, 221

D

Dağıtma kutusu tertipleri, 224

Damlatmalı filtreler, 4, 17, 51, 146, 173

boyutlandırma, 179

düşük hızlı, 174

filtre malzemesinin özellikleri, 175

geri devir, 180

taban drenaj sistemi, 178

tasarım parametreleri, 180

verim, 180

yüksek hızlı damlatmalı
filtreler, 175

Damlatmalı filtre tertip şekilleri, 182

cazibeli besleme hali, 182

terfi merkezi kullanılması, 182

Debi

dengeleme, 6

ölçme, 5

Denitrifikasyon, 114, 115

Dikdörtgen savak, 45

Dispersiyonlu akım, 188

E

Evsel atıksu, 20

F

Fakültatif bakteri, 115

Fakültatif stabilizasyon havuzları, 192
boyutlandırılması, 196

G

Geri devir, 18, 115, 116,
119, 121, 126, 123, 134

oranı, 82, 136, 142, 174, 180, 181

pompası, 11, 134, 136, 158

H

Hava pompası, 49, 50

Havalandırıcılar,
mekanik, 89, 98, 108
yatay milli, 98
yüksek devirli mekanik, 101

Havalandırma

ekipmanları, 88

sistemleri, 87

Havalandırma havuzu, 81

dubalı havalandırıcı, 106, 107

düşey milli mekanik
havalandırma, 98

ince kabarcıklı havalandırma, 90, 92

iri kabarcıklı havalandırma, 89

mekanik havalandırıcı, 100

orta kabarcıklı havalandırma, 91

proje kriterleri, 82

Hidrolik bekletme süresi, 117, 122, 186

Hidrolik karışım, 161

Hidrolik profil, 128

Hidrolik yük, 180, 185

I

Izgara, 7, 8, 18, 26, 29, 46

ince, 25, 126, 130

kaba, 25, 126, 129

mekanik temizlemeli, 129, 130

şekil katsayıları, 33

yük kaybı, 32

Izgara şeklinde giriş tertibatı, 68

İ

İnorganik madde, 6, 20, 21, 114

İki katlı çukurlar, 222

İmhoff konisi, 51

K

Kessener fırçaları, 111

Kimyasal

oksidasyon, 13

reaksiyon, 3

Kirletici madde konsantrasyonları, 21

Küçük yerleşim alanı, 227

Kum filtre hendekleri, 224

Kum tutucu, 36, 38, 45, 49, 131

çökeltme hızı, 36

hava miktarı, 50

hız kontrolü, 41
 Kum tutucu çeşitleri, 37
 daire planlı, 49
 düşey akımlı, 37
 havalandırılmalı, 46, 47, 48
 kare planlı, 40
 yatay akışlı, 37
 Kumların alınması, 41

M

Mansap şartları, 43
 Mekanik havalandırıcılı küçük
 arıtma tesisleri, 231, 232
 Metanojenik bakteri, 154
 Mikroorganizma, 1, 3, 4, 17, 71,
 78, 80, 109, 125, 132, 173
 ölme hızı, 83
 izafi çoğalma eğrileri, 71

N

Nitrat oksidasyonu, 113
 Nitrifikasyon, 72, 113
 bakterileri, 113
 Nutrient giderimi, 113
 NUTRIENT gideren
 sistemler, 118, 119, 120
 tasarım parametreleri, 121

O

Oksidasyon havuzu, 187
 Oksidasyon hendeği, 15, 109, 110, 111
 Oksijen ihtiyacı, 85, 86,
 89, 93, 113, 165
 iletim verimi, 93
 transferi, 92, 108
 Oksijenlendirme faktörü, 194
 Orantılı akım savağı, 37, 41, 45
 Organik karbon kaynağı, 6, 20, 21, 114
 Organik madde, 6, 20, 36, 46, 113, 115,
 123, 154, 160, 173, 190, 216, 222
 giderme kinetiği, 187-196
 Organik yük, 18, 174, 179, 185
 Ototrof bakteri, 113

Ö

Öğütücüler, 34, 35
 Ön çöktürme, 7

P

Paket arıtma tesisleri,
 226, 227, 228, 230
 Patojenik
 bakteri, 217
 mikroorganizma, 7, 13
 Pres Filtre, 166
 Piston akımlı reaktör, 76, 77, 89, 188
 Pompa, 6, 25, 129, 138,
 154, 158, 176, 178
 Resirkülasyon, 133
 Santrifüj, 49

S

Saf oksijen, 89
 sistemleri, 89
Sanayii debisi, 24
Simpleks konisi, 104, 105
Sızdırma kuyuları, 217

Sızma debisi, 24
Son çöktürme, 7, 10, 16
 havuzu, 109
Stabilizasyon havuzları, 190
 giriş ve çıkış yapıları, 200
 sınıflandırılması, 192
Su sarfiyatı, 21
Sürekli akımlı reaktör, 76, 162

T

Taban difüzörü, 96, 97
Tam karışım, 77
Tasarım parametreleri, 87

V

Venturi (parşal) savağı, 42, 44

Y

Yağ tutucu, 218, 219
Yeraltı sızdırma hendekleri, 225
Yüzey yükü, 36, 37, 49

Afyonkarahisar Merkez İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi...





Eşdeğer Nüfus: 370.000 kişi
Günlük Atıksu Bertaraf Kapasitesi: 44.000 m³
Artıma Şekli: İleri Biyolojik
Proses Tipi: Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi ile azot ve fosfor giderimi
Kalite: AB standartlarında çıkış suyu

Akyazılar Belediyesi tarafından İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi, 6 Şubat 2012 tarihli ihaleyle faaliyettedir. Akyazılar Belediyesi ile birleşen 6 belediye ve 9 köyün hizmet alanıdır. Alınış 44.000 m³ atıksu arıtma kapasiteye sahiptir. Tesis, çevre kısıtları ve ilgili yönetmelikler doğrultusunda atıksu suları bertaraf edilmiş en son teknolojiye sahiptir. Tesis, İleri Biyolojik artıma metoduyla gövde azot ve fosfor giderimi yapmaktadır. anel ve sanayi nitelikli atıksuların arıtılması için uygun edilmektedir.

İçerme Parametreleri

Parametre	Giriş Atıksu Değerleri	Speşil Standartlar	Çıkış Atıksu Değerleri
Kırsal Çıkarın İhtiyacı (KQİ), mg/L	860	1.200	40
Biyolojik Çıkarın İhtiyacı (BQİ), mg/L	430	40	20
Azotlu İyon İhtiyacı (ANI), mg/L	270	40	10
Fosfor Azot (TP), mg/L	40	10	10
Fosfor Fosfor (TP), mg/L	11	1	1
pH	6-9	6-9	7-8,5



Afyonkarahisar Merkez İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Yapısı

Izgara Yapısı ve Terfi Merkezi

Kollektör hatları ile arıtma tesisine gelen atıksular önce ızgara yapısına düşer. 2+1 şeklinde tasarlanan, bir metre genişliğinde 40 mm. çubuk aralığı bulunan kaba ızgaralar tesis girişinde, atıksudaki ağaç dalları, torbalar, şişeler gibi diğer büyük parçaları tutmak için tasarlanmıştır. 90 cm. genişliğinde 6 mm. çubuk aralığı bulunan ince ızgaralarda ise kaba ızgarada tutulamayan taş, paçavra, tahta gibi maddelerin tutularak, ızgara aşamasından sonraki ünitelere geçmesi engellenir.

Izgaralardan geçen atıksular terfi merkezine çazibe ile düşer. Terfi merkezinde dört asıl ve bir yedek olmak üzere beş pompa kullanılmaktadır. Izgaralar ile debimetre arasına konumlandırılan pompa istasyonu 2. Kademeyi de karşılayacak şekilde tasarlanmıştır ve her biri saatte 875 m³ kapasitede sıralı olarak çalışmaktadır.

Havalandırılmalı Kum ve Yağ Tutucular

Izgaralardan geçen ve pompa istasyonunda düşen atıksu, havalandırılmalı kum ve yağ tutucuya gönderilir. Burada kumlar alınarak sonraki arıtma ünitelerinde bulunan mekanik ekipmanın zarar görme riski azaltılır. Çöken kum konteynere aktarılır. Tutulan yağ ve gres ise bir gres toplayıcısına sıyılır. Havalandırılmalı kum ve yağ tutucu havuzlar, 20 metre uzunluğunda ve 4 gözden oluşmaktadır.

Debimetre Yapısı ve Anaerobik Havuz

Kum ve yağ tutucudan geçen atıksular elektromanyetik debimetreler ile otomatik olarak debisi ölçülerek anlık olarak merkezi kontrol bilgisayarına aktarılır. Debisi ölçülen ve Fiziksel ön arıtımı tamamlanan atıksular artık Biyolojik Arıtma sürecine hazır hale gelmişlerdir. Bardenpho prosesi ile karbon, azot ve fosfor giderimi yapılacak atıksular, İleri Biyolojik arıtma sürecinin başladığı ilk noktaya Anaerobik Havuzlara geçer. Burada fosfor giderimi sağlanmaktadır. Atıksu arıtma tesisinde "Carrousel" tipinde en az hidrolik kaybı oluşturacak şekilde dizayn edilmiş üç adet anaerobik havuz bulunmaktadır. Çamur ve suyun verimli bir şekilde karışmasının sağlanması ve çamurun havuzlarda kökelmesinden kaçınılması için anaerobik karıştırma havuzlarının her biri düşük devirli dalgıç mikserlerle donatılmıştır.

Havuz sayısı	3 adet	Su derinliği	4,00 m
Havuzun uzunluğu	30,00 m	Havuz hacmi	3230 m ³
Havuzun genişliği	7,50 m	Bekleme süresi	1,00 sa

Son Çöktürme Havuzu

Tesisde, dört adet son çöktürme havuzu bulunmaktadır. Çöktürme havuzlarında alt ve üst sıyrıcılar bulunmaktadır. Alt sıyrıcılar, çöken camuru dipten sıyrarak konik şeklindeki camur toplama haznesine aktarır ve toplanan camur geri devir fazla camur tankına gider.Yüzeysel sıyrıcılar anksu üzerindeki yüzey maddeleri ve köpüğü sıyrarak köpük haznesine aktarır ve toplanan maddeler camur toplama tankına gider. Burada çökelti olarak camuru alan ve yüzey köpüğü toplanan Arılmış su, toplama kanalı vasıtasıyla çıkış ünitesine gönderilir.

Havuz sayısı	4 adet	Su derinliği	3,80 m
Havuzun çapı	32,00 m	Toplam yüzey alanı	3,200 m ²

Ana Dağıtım Yapısı

Havalandırma havuzlarından gelen atıksular, ana dağıtım yapısına tabandan cüzbe ile geçerler. Ve savaklar yardımıyla ana dağıtım bölümünden çıkartma havuzlarına iletilir.

Gerİ Devir ve Toplama

Çöktürme havuzlarının tabanından alınan camurlu su, geri devir ve toplama yapısına cüzbeyle ulaşan camuru suyun yüzde 75'i geri devir yapılarak pompalar yardımıyla anaerobik havuzlara gönderilmektedir. Geri kalan kısmı ise camur susuzlaştırma yapısına iletmek üzere camur toplama tankına toplanır.

Çamur Susuzlaştırıcı Binası

Camur yoğunlaştırma işlemi dekantörlerde gerçekleştirilir. Stabil camur elde etmek için dekantör polimer (Katyonik Polimer) ilavesi gerekir. Polimer polü hazırlama ünitesinde hazırlanır ve istenilen camur kuruluğu oranına göre doz ayarlaması yapılır. Dekantörlerde santrifüj yöntemiyle stabil camur elde edilir ve çıkan stabil camur, konveyör bantla tahliye tankına iletilir. Çıkan süzünü ve yıkama suları ise anaerobik tankın giriş yapısına verilerek sisteme geri gönderilir.

Dekantör Sayısı	3 adet	Kapasitesi	60 m ³ /saat
-----------------	--------	------------	-------------------------

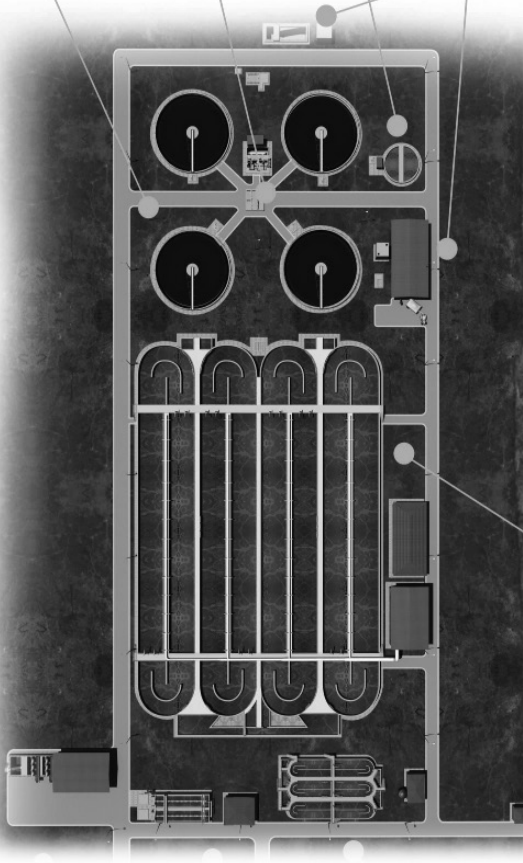
Çıkış Yapısı

Son çöktürme havuzlarından toplanan arılmış su, tesisin sonuna konumlandırılan çıkış yapısına iletilir. Buradan da yaklaşık 350 metre ilerideki Akarçay'a deşaj edilir.

Deşaj edilen atıksuların standartlara uygunluğu çıkış yapısı üzerinde bulunan gerçek zamanlı uzaktan anksu izleme istasyonu ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından online olarak 7 gün 24 saat izlenmektedir.

Laboratuvar

Artırma tesisinde biyolojik artırımın gerçekleşmesi ve sürecin takibi için düzenli olarak ünitelerden numune alınması ve analiz yapılması gerekmektedir. Bu amaçla tesis içinde Türk Akreditasyon Kurumundan (TÜRKAK) akredite olabilecek yeterlilikte modern bir laboratuvar kurulmuştur.



Havalandırma Havuzları

Anaerobik havuzlarda biyolojik artırmaya başlayan atıksular, organik maddelerin anaerobik stabilizasyon işlemi ile giderilmesi ve nitrifikasyon/denitrifikasyon işlemi gerçekleştirilmek üzere uzun havalandırma aktif camur havuzlarına geçerler.

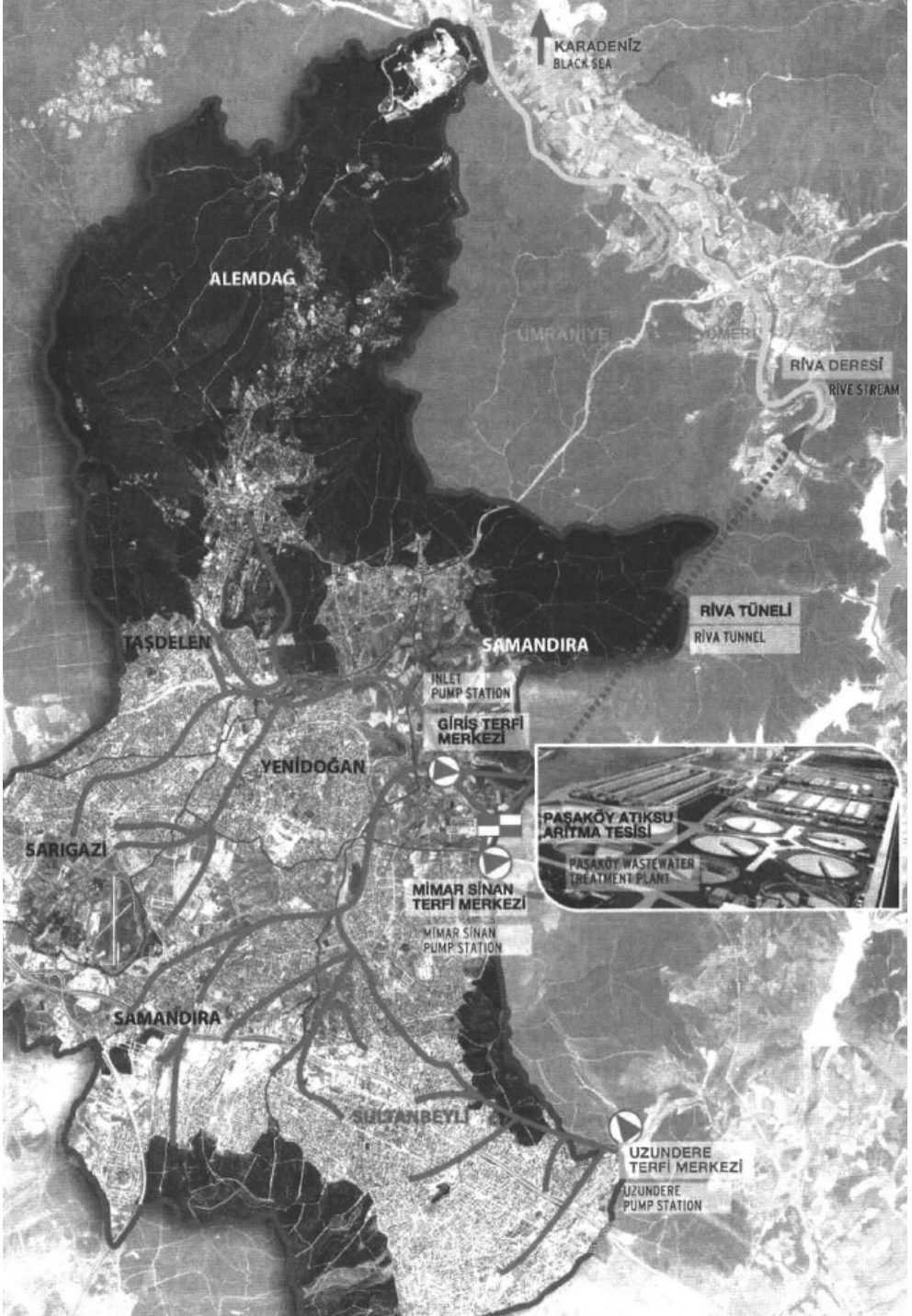
Tesisde, dört adet uzun havalandırma aktif camur havuzu bulunmaktadır. Havalandırma havuzları organik madde ve azotun biyolojik süreçte verimli bir şekilde giderilmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Havalandırma sistemi, zemine monte edilen ince kabarcıklı havalandırma diffüzörlerinden oluşmaktadır. Denitrifikasyon için gerekli olan anoksik bölgeler, çözünmüş oksijen ayır noktası ve SCADA sistemi tarafından ilave ORP kontrolü ile havuz içinde havalandırmanın ayarlanmasıyla sağlanmaktadır.

Havuz sayısı	4 adet	Su derinliği	5,30m
Havuz uzunluğu	130,00 m	Havuz hacmi	83,000 m ³
Havuzun genişliği	26,00 m		

PAŞAKÖY İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİ



**Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi
Ana Toplayıcılar, Terfi Merkezleri ve Arıtma Tesisi**



Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Akım Şeması

