

**T.C.
ÇEVRE VE ORMAN BAKANLIĞI**

TEZ KONUSU

**MEVCUT ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN FOSFOR GİDERİMİ İÇİN
REHABİLİTASYONUNDA SEÇENEKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

ÇEVRE VE ORMAN UZMANLIK TEZİ

FİLİZ DOĞAN

**Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü
Su ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı**

NİSAN 2010

ÖNSÖZ

Avrupa Birliği'ne uyum sürecinde olan Ülkemizde atıksulardan nütrient giderimi özellikle hassas alıcı ortamlarda oluşabilecek kirliliği önlemek amacıyla önem kazanmıştır. Bu sebeple yürürlüğe giren Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı) ve Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı) ile azot ve fosfor deşarj standartları mevzuatımıza dâhil edilmiştir. Atıksu arıtma proseslerinde en önemli nütrientler azot ve fosfordur. Ülkemizde ve dünyada azot giderimi prosesi içeren atıksu arıtma tesisleri konusunda yeterli tasarım ve işletme bilgisi mevcut olduğundan bu sistemlerde çok ciddi sorunlar yaşanmamaktadır. Ancak ayrı olarak ele alınması gereken bir diğer nütrient olan fosforun gideriminde sıkıntılar bulunmaktadır. Özellikle biyolojik fosfor giderim mekanizmaları çeşitli nedenlerle çalışmamaktadır.

Bu tez kapsamında fosfor giderimi teknolojileri irdelenmiştir. Bununla birlikte Türk ve Avrupa Birliği mevzuatında fosfor giderimi ile ilgili standartlar karşılaştırılmıştır. Ülkemizde fosfor arıtımı yapan 10 atıksu arıtma tesisinin arıtma kapasiteleri ve arıtamama nedenleri incelenmiştir. Bu tesislerdeki fosfor arıtımı performansını etkileyen faktörlere (pH, sıcaklık, hidrolik bekleme süreleri, çamur yaşı, uçucu yağ asitleri vb.) ait veriler elde edilerek tesislerin giderim verimleri karşılaştırılmıştır. Mevcut tesislerde yenileme ve iyileştirmeye gidildiğinde ilave arıtma seçeneği olarak hangi fosfor giderim teknolojisinin uygun olacağı değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Fosfor giderme prosesleri kompleks bir yapıya sahiptirler. Birçok faktörden etkilenmektedirler. Bu nedenle yapılan tez kapsamında kati sonuçlar elde edilemese bile bu tez gelecekte yapılacak çalışmalar için bilgi sağlayacaktır.

Son olarak; bu tezin hazırlanması aşamasında desteklerini her zaman hissettiğim eşim Ahmet DOĞAN ve aileme, yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	iv
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	ix
GİRİŞ	1
1. ATIKSULARDA FOSFORUN VARLIĞI VE KAYNAKLARI	3
2. EVSEL ATIKSULARDAN FOSFOR GİDERİMİ	5
2.1. Biyolojik Fosfor Giderimi	5
2.1.1. Biyolojik Fosfor Gideriminin Fizyolojisi	5
2.1.2. Biyolojik Fosfor Giderimi Sistemlerinin Performansını Etkileyen Faktörler	7
2.1.3. Biyolojik Fosfor Giderim Sistemlerinde Biyokimyasal Modeller	15
2.1.4. Biyolojik Fosfor Giderim Sistemlerinde Fosfor Giderim Verimini İyileştirme Yöntemleri	16
2.1.5. Fosfor Gideren Biyolojik Prosesler	18
2.1.6. Azot ve Fosforun Birlikte Giderildiği Biyolojik Prosesler	20
2.2. Kimyasal Çöktürme İle Fosfor Giderimi	34
2.2.1. Fosfat Çökeltiminin Kimyası	34
2.2.2. Kimyasal Fosfor Giderimi İçin Stratejiler	36
2.3. Fosfor Geri Kazanımı	45
2.4. Atıksulardan Fosfor Giderimi Üzerine Son Gelişmeler	47
3. ATIKSU SEKTÖRÜNDE MEVCUT DURUM	56
3.1. Ülkemizde Atıksu Sektöründeki Mevcut Durum	56
3.1.1. Ülkemizin Atıksu Sektöründeki Hedefleri	59
3.1.2. Avrupa Birliği'ne Uyum Sürecinde Finansman İhtiyaçları	61
3.2. Avrupa Birliği'ne Üye ve Aday Ülkelerde Atıksu Sektöründeki Mevcut Durum	62

4. ATIKSU SEKTÖRÜNDE YASAL ÇERÇEVE	66
4.1. Ülkemizde Atıksu Sektöründeki Yasal Çerçeve	66
4.2. Avrupa Birliği’nde Atıksu Sektöründeki Yasal Çerçeve	76
5. TÜRKİYE’DE FOSFOR GİDERİMİ YAPAN AAT’LERİN MEVCUT DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ	80
5.1. Fosfor Giderimi Yapan Mevcut Atıksu Arıtma Tesisleri	80
5.1.1. Bursa Büyükşehir Belediyesi Batı Atıksu Arıtma Tesisleri	86
5.1.2. Bursa Büyükşehir Belediyesi Doğu Atıksu Arıtma Tesisleri	92
5.1.3. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisleri	97
5.1.4. Antalya Büyükşehir Belediyesi Hurma Atıksu Arıtma Tesisleri	104
5.1.5. Antalya Büyükşehir Belediyesi Lara Atıksu Arıtma Tesisleri	109
5.1.6. Kayseri Büyükşehir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisleri	114
5.1.7. Malatya Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisleri	118
5.1.8. Fethiye Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisleri	122
5.1.9. Kütahya Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisleri	126
5.1.10. İzmir Büyükşehir Belediyesi Çiğli Atıksu Arıtma Tesisleri	130
6. SONUÇLAR- ÖNERİLER	137
KAYNAKLAR	151
ÖZGEÇMİŞ	163

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

m³	: Metreküp
%	: Yüzde
TL	: Türk Lirası
€	: Euro
Al	: Alüminyum
Ca	: Kalsiyum
Fe	: Demir
K	: Potasyum
Mg	: Magnezyum
Na	: Sodyum
N	: Azot
P	: Fosfor
TP	: Toplam Fosfor
PO₄³⁻	: Ortofosfat
TN	: Toplam Azot
NO₃⁻	: Nitrat Azotu
TKN	: Kjeldahl Azotu
g	: Gram
mg	: MiliGram
kg	: Kilogram
mg/L	: Miligram/Litre
kW	: Kilowatt
°C	: Santigrat
Sa.	: Saat
ha	: Hektar

Kısaltmalar

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
A/O	: Anaerobik+Oksik
A2O	: Anaerobik+Anoksik+Oksik
AKM	: Askıda Katı Madde
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
HRT	: Hidrolik Bekleme Süresi (Hydraulic Retention Time)
İSKİ	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi
KASKİ	: Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MCRT	: Katı Madde Alıkonma Süresinin Etkisi (Mean Cell Residence Time)
MAP	: Magnezyum Amonyum Fosfat
MLSS	: Askıda Katı Madde
non-PAO	: Fosfat Depolayamayan Mikroorganizma
PAO	: Fosfat Depolayabilen Mikroorganizma
PHA	: Polihidroksi Alkanot

PHB	: Polihidroksibütirat
PHV	: Poly- β -hydroxyvalyrate
RAS	: Geri Devir Çamuru
rbCOD	: Kolaylıkla Biyolojik İndirgenebilir Kimyasal Oksijen İhtiyacı
SBR	: Ardışık Kesikli Reaktör Prosesi (Sequencing Batch Reactor)
SÇD	: Su Çerçeve Direktifi
SRT	: Katı Madde Alıkonma Süresi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı
UAKM	: Uçucu Askıda Katı Madde
UCT	: University of Cape Town Process
UÇES	: AB Ulusal Çevre Stratejisi Dokümanı
UYA	: Uçucu Yağ Asitleri
WAS	: Fazla Aktif Çamur
VIP	: Virginia Initiative Plant Process
v.d.	: Ve diğerleri

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1	Amerika Atıksularında Fosforun Kimyasal Formları	4
Tablo 2.1	Farklı Biyolojik Fosfor Giderim Prosesleri İçin Gözlemlenen Giriş BOİ/P KOİ/P Oranları	11
Tablo 2.2	Fosforla Birlikte Taşınan İyonların Molar Oranları	15
Tablo 2.3	Fosfor Giderim Prosesi için Avantaj ve Sınırlamalar	24
Tablo 2.4	Farklı Çıkış Suyu Fosfor Değeri Sınırlamaları İçin Biyolojik Fosfor Giderim Prosesi Gereksinimleri	26
Tablo 2.5	Yaygın Olarak Kullanılan Biyolojik Fosfor Giderim Proseslerinin Tipik Dizayn Parametreleri	27
Tablo 2.6	Farklı Oranlarda Fosfor Giderimi için Gerekli Tipik Alüm Dozajları	39
Tablo 2.7	Kimyasal Fosfor Giderim Proseslerinin Karşılaştırılması	44
Tablo 2.8	Fosforun Kireç, Alüm Ve Demir İle Çöktürülmesi Sürecinde Üretilen Çamur Miktarının Belirlenmesinde Gerekli Reaksiyonlar	45
Tablo 3.1	Kanalizasyon Şebekesi İle Hizmet Verilen Nüfusun Toplam Belediye Nüfusuna Oranı	56
Tablo 3.2	Atıksu Arıtma Tesisi İle Hizmet Verilen Nüfusun Toplam Belediye Nüfusuna Oranı	57
Tablo 3.3	1994–2009 Yılları Arasında Atıksu Arıtma Tesisi Durumu	57
Tablo 3.4	Atıksu Arıtma Tesisi İle Hizmet Veren Belediye Sayısı	58
Tablo 3.5	Atıksu Arıtma Tesisi İle Hizmet Edilen Nüfusun Belediye Nüfusuna Oranı (Ülkemizin Hedefi)	60
Tablo 3.6	Atıksu Arıtma Tesisi İle Hizmet Edilen Belediye Sayısı (Ülkemizin Hedefi)	61
Tablo 3.7	Avrupa’da Arıtma Tesislerinin Durumu ve P Giderimi	65
Tablo 4.1	Kentsel Atıksu Arıtım Tesislerinden İkincil Arıtıma İlişkin Deşarj Limitleri	72
Tablo 4.2	Kentsel Atıksu Arıtım Tesislerinden İleri Arıtıma İlişkin Deşarj Limitleri	73
Tablo 4.3	Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği EK-1 Hassas Alanlar Tablosu	75
Tablo 5.1	Türkiye’de Fosfor Giderimi Yapan Mevcut Atıksu Arıtma Tesisleri	82

Tablo 5.2 Atıksu Arıtma Tesisi Bilgi Formu	83
Tablo 5.3 Fosfor Giderimi Tablosu	84
Tablo 5.4 Bursa Batı AAT Dizayn Parametrelerinin Literatürle Karşılaştırılması	87
Tablo 5.5 Bursa Batı AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları	88
Tablo 5.6 Bursa Batı AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri	90
Tablo 5.7 Bursa Batı AAT KOİ, TP ve Uçucu Yağ Asidi Değerleri	91
Tablo 5.8 Bursa Doğu AAT Dizayn Parametrelerinin Literatürle Karşılaştırılması	94
Tablo 5.9 Bursa Doğu AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları	95
Tablo 5.10 Bursa Doğu AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri	97
Tablo 5.11 İstanbul Paşaköy AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları	100
Tablo 5.13 Paşaköy AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri	101
Tablo 5.14 Paşaköy AAT KOİ, TP ve Uçucu Yağ Asidi Değerleri	102
Tablo 5.15 Hurma AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları	107
Tablo 5.16 Hurma AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri	109
Tablo 5.17 Lara AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları	111
Tablo 5.18 Lara AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri	113
Tablo 5.19 Kayseri AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları	116
Tablo 5.20 Kayseri AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri	117
Tablo 5.21 Malatya AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları	120

Tablo 5.22 Malatya AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri	121
Tablo 5.23 Fethiye AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları	124
Tablo 5.24 Fethiye AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri	125
Tablo 5.25 Kütahya AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları	128
Tablo 5.26 Kütahya AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri	129
Tablo 5.27 İzmir-Çiğli AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları	132
Tablo 5.28 Çiğli AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri	133
Tablo 6.1 Genel Değerlendirme	141
Tablo 6.2 Maliyet Değerlendirmesi	142
Tablo 6.3 Evsel Atıksulardan P Giderme Verimini Olumsuz Yönde Etkileyen Sebepler ve Çözüm Önerileri	145
Tablo 6.4 İlk Yatırım Maliyeti Artışı	148
Tablo 6.5 Günlük İşletme Maliyetlerindeki Artış	149

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Fosforun Bileşenleri	3
Şekil 2.1	Biyolojik Fosfor Giderim Mekanizması	6
Şekil 2.2	Prosesteeki Konsantrasyon Değişimlerinin Şematik Gösterimi	6
Şekil 2.3	Heteretrof PAO'lar ve Non-PAO'ların Anerobik/Anoksik/Aerobik Koşullardaki Davranışlarına Ait Diyagram	9
Şekil 2.4	KOİ/P Oranı, Çamurun Fosfor İçeriği ve Fosfor Giderim Verimi İlişkisi	12
Şekil 2.5	Asetat Asimilasyonu, Fosfor Salınımı ve Anaerobik Süre	13
Şekil 2.6	Fosfor Gideriminde Uçucu Yağ Asitlerinin Üretimi İçin Kullanılan Fermantasyon Reaktörlerine Örnekler	17
Şekil 2.7	A/O Prosesi	18
Şekil 2.8	PhoStrip Prosesi	19
Şekil 2.9	Karbon, Azot ve Fosfor için Ardışık Kesikli Reaktör İşletimleri	19
Şekil 2.10	A ² /O Prosesi	20
Şekil 2.11	Bardenpho Prosesi	21
Şekil 2.12	UCT Prosesi	22
Şekil 2.13	VIP Prosesi	23
Şekil 2.14	Johannesburg Prosesi	23
Şekil 2.15	Yapay Sulakalanda Fosfor Giderim Mekanizması	29
Şekil 2.16	Arıtılmamış Atıksu Alkalinitesinin Bir Fonksiyonu Olarak pH'ı 11'e Yükseltmek İçin Gerekli Kireç Dozajı Miktarı	35
Şekil 2.17	Çözülebilir Fosforla Dengedeki Alüminyum ve Ferik Fosfat Konsantrasyonu	36
Şekil 2.18	Fosfor Giderimi için Alternatif Kimyasal Ekleme Noktaları	37
Şekil 2.19	Demir Klorür İlavesi İle Çözülebilir Fosfor Giderimi	40
Şekil 2.20	Fosfor Giderimi İçin Tipik Kireç Arıtım Prosesi Akış Diyagramları	43
Şekil 3.1	Belediyelere Ait Atıksu Arıtma Tesislerinin Arıtma Türü	58
Şekil 3.2	Atıksu Yatırım İhtiyacı	61
Şekil 3.3	1990-2005 Yılları Arasında Avrupa'nın Tüm Bölgelerinde Atıksu Arıtımındaki Değişimler	63
Şekil 3.4	1995-2005 Yılları Arasında Güneydoğu Avrupa Ülkelerindeki Atıksuların Arıtılmasındaki Değişimler	65

Şekil 4.1 Türkiye’de Atıksu Mevzuatı	67
Şekil 5.1 Bursa Batı AAT Akım Şeması	86
Şekil 5.2 Bursa Batı AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri	89
Şekil 5.3 Bursa Batı AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	90
Şekil 5.4 Uçucu Yağ Asidi Değerinin TP Giderme Verimi Üzerine Etkisi –Bursa Batı AAT	92
Şekil 5.5 Bursa Doğu AAT Akım Şeması	93
Şekil 5.6 Bursa Doğu AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri	96
Şekil 5.7 Bursa Doğu AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	97
Şekil 5.8 Paşaköy AAT Görünüm	99
Şekil 5.9 Paşaköy AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri	101
Şekil 5.10 Paşaköy AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	102
Şekil 5.11 Uçucu Yağ Asidi Değerinin TP Giderme Verimi Üzerine Etkisi –Paşaköy AAT	103
Şekil 5.12 Hurma AAT Akım Şeması	105
Şekil 5.13 Hurma AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri	108
Şekil 5.14 Hurma AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	109
Şekil 5.15 Lara AAT Akım Şeması	110
Şekil 5.16 Lara AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri	112
Şekil 5.17 Lara AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	113
Şekil 5.18 Kayseri AAT Görünüm	114
Şekil 5.19 Kayseri AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri	117
Şekil 5.20 Kayseri AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	118
Şekil 5.21 Malatya AAT Görünüm	118
Şekil 5.22 Malatya AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri	121
Şekil 5.23 Malatya AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	122
Şekil 5.24 Fethiye AAT Akım Şeması	123

Şekil 5.25 Fethiye AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri	125
Şekil 5.26 Fethiye AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	126
Şekil 5.27 Kütahya AAT Genel Yerleşim Planı	127
Şekil 5.28 Kütahya AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri	129
Şekil 5.29 Kütahya AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	130
Şekil 5.30 Çiğli AAT Akım Şeması	131
Şekil 5.31 Çiğli AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri	133
Şekil 5.32 Çiğli AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	134

GİRİŞ

Yüksek konsantrasyonlarda fosfor içeren atıksuların kontrolsüz şekilde alıcı ortama deşarj edilmesi sonucunda, su kalitesinde önemli ölçüde bozulmalar olabilmektedir. Alıcı ortama fosfor deşarjı ötrofikasyon olarak bilinen aşırı miktarda alg ve diğer sucul bitkilerin büyümesine sebep olmaktadır. Su kalitesinin korunması ve alıcı ortamlarda ötrofikasyon riskinin azaltılması için karbon ve azot gibi nütrientlerin yanı sıra fosforun da atıksulardan giderilmesi gerekmektedir. Atıksulardan fosfor biyolojik ve kimyasal metotlarla giderilmekle birlikte, gerekli olduğunda her iki metot da kullanılabilir. Kimyasal metotlar seçici olmadığından kullanılacak kimyasallar atıksular içerisindeki farklı iyonlarla tepkime verebilir ve olumsuzluklara neden olabilir. Bununla birlikte biyolojik prosesler seçici olup, tesisler doğru bir şekilde dizayn edilip işletildiğinde düşük çıkış fosfor konsantrasyonları kolaylıkla elde edilebilmektedir. Bu nedenle çoğu atıksu arıtma tesisinde öncelikle biyolojik prosesler kullanılmakta, gerektiğinde kimyasal çöktürme yapılmaktadır.

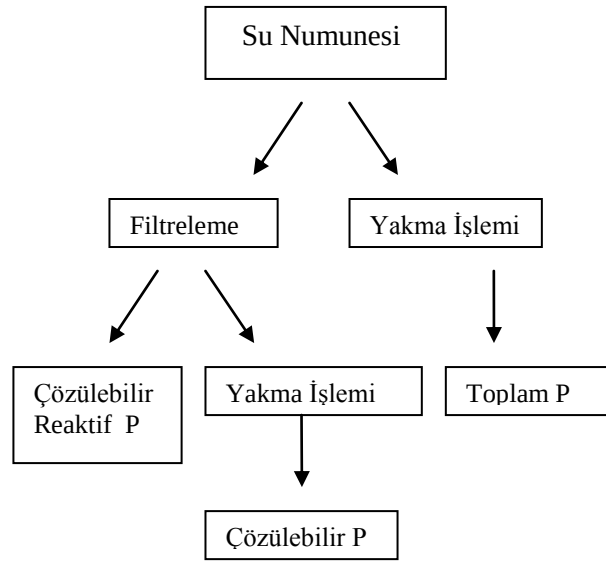
Biyolojik fosfor giderimi için sırasıyla anaerobik ve aerobik koşullar gereklidir. Anaerobik koşullarda fosfor depolayan mikroorganizmalar asetat, glikoz gibi uçucu yağ asitlerini hücre içine taşırlar. Ardından bu uçucu yağ asitleri polihidroksi alkanotlara (PHA, örn; polihidroksibütirat: PHB) dönüştürülür ve depolanır. Taşıma ve depolama için gerekli enerji polifosfatın ortofosfata hidrolizinden sağlanır. Böylece ortofosfatlar ortamdaki suya geçerler. Aerobik ya da anoksik koşullar altında depolanan PHB hücre gelişimi, polifosfat sentezi, glikojen oluşumu ve bakım için kullanılır. Aerobik koşullarda fosfor depolayan mikroorganizmalar daha önce anaerobik koşullarda saldığı fosfatın büyük miktarını polifosfat olarak depolar. Depolanan fosfat sistemden çamurun uzaklaştırılması ile giderilir. Biyolojik fosfor giderimini etkileyen faktörler üç gruba ayrılır. İlk grup sıcaklık, pH ve çözünmüş oksijen gibi çevresel faktörleri içerir. Katı madde alıkonma süresi, hidrolik bekleme zamanı gibi dizayn parametreleri ikinci grubu oluşturur. Üçüncü grup biyolojik olarak indirgenebilir substrat konsantrasyonu, uçucu yağ asidi üretimi ve anaerobik tanktaki nitrat varlığıdır.

Kimyasal yolla fosfor gideriminde, genellikle çok değerlikli metal tuzlarının suya ilave edilmesi ile suda çok az çözünen türde fosfat çökeleğı oluşturularak fosforun

sudan uzaklaştırılması sağlanmış olur. En yaygın kullanılan çok değerlikli metal iyonları kalsiyum (Ca (II)), alüminyum (Al (II)) ve demir (Fe (III)) dir. Fosfor giderimi için kullanılacak kimyasal seçimini etkileyen faktörler, giriş fosfor miktarı, atıksudaki askıda maddeler, alkalinite, oluşan çamur miktarı, kimyasalların maliyeti, kimyasalların bulunabilirliği ve diğer arıtma üniteleri ile uyumluluğudur.

1. ATIKSULARDA FOSFORUN VARLIĞI VE KAYNAKLARI

Fosfor (P) tüm yaşam formları için gerekli bir nütrienttir. Deoksiribonükleik asit (DNA), Ribonükleik asit (RNA), Adenozin difosfat (ADP) ve Adenozin trifosfat (ATP) yapılarında önemli rol oynar. Doğal sulardaki fosfor üç bileşene ayrılır. Çözülebilir reaktif fosfor, çözülebilir reaktif olmayan ya da çözülebilir organik fosfor ve partikül fosfor. (Rigler, 1973)



Şekil 1.1 Fosforun Bileşenleri (Carlson, R.E. & J. Simpson, 1996)

Çözülebilir reaktif fosforun büyük bir bölümü inorganik ortofosfattan (PO_4^{3-}) oluşur. Ortofosfatlar algler tarafından direkt alınabilir. Reaktif terimi çözülebilir reaktif fosfor fraksiyonunun sadece inorganik fosfordan oluşmadığını reaktiflerle tepkimeye giren bazı organik formları içeren diğer fosfor formlarını da içerebileceğini belirtmek için kullanılır. Bazı inorganik fosfor (polifosfatlar) formları gerçekte tepkimeye girmezken, bazı organik formlar görünüşte hidroliz yapar ve test koşulları altında tepkimeye girer.

Çözülebilir reaktif olmayan fosfor, fosfor reaktifleriyle tepkimeye girmeyen filtrelenebilir fosfor formlarından oluşur. Böylece çözülebilir reaktif fosfor ile çözülebilir fosfor arasındaki fark ölçümlenebilir. Çözülebilir reaktif olmayan fraksiyondaki bileşikler polifosfat olarak isimlendirilen inorganik fosfor molekülü

zincirleri ve fosforun organik formlarıdır. Çözülebilir fosfor filtratın yakılmasından sonra ölçülebilir ve fosforun tüm filtrelenebilen formlarını içeririr. Bu formlar organik ve yakma prosesinden sonra ortofosfatlara dönüşen inorganiklerdir. Partikül fosfor filtre üzerinde tutulan inorganik, organik bütün materyalleri içerir. Partikül fosfor ya suyu bir membran filtreden geçirip daha sonra yakma işlemi gerçekleştirilerek ölçülebilir ya da toplam fosfor konsantrasyonundan çözülebilir fosfor konsantrasyonu çıkarılarak elde edilebilir. Toplam fosfor filtrelenebilir ve partikül fosfor formlarının tümünü içerir.

Yetişkin bir insan günde 1,3-1,5 g fosforu vücudundan atar. Evsel atıksudaki fosforun %50-65'i bundan kaynaklanır. % 30-50'i ise deterjanlardan kaynaklanır. Diğer fosfor kaynakları dış macunu, gübre ve ilaç gibi endüstrilerin ürünleridir. 2008 yılında Bakanlığımızca yayımlanan Atıksu Arıtımı Eylem Planı'nda havza bazında fosfor yükleri ve kaynakları belirtilmektedir. Bu verilere göre; Marmara Havzası'nda endüstri, yerleşim alanları, tarım, orman, çayır, otlak arazileri ve turizmden kaynaklanan yıllık toplam fosfor yükü 5905,3 ton'dur. Orta Akdeniz Havzası'nda toplam azot ve fosfor kirliliğin büyük kısmı (%75) yerleşimden kaynaklanmaktadır. Doğu Akdeniz Havzası'nda toplam fosfor yükünün %60'ı yerleşimden, %38'i ise endüstrilerden kaynaklanmaktadır. Batı Karadeniz Havzası'nda evsel atıksudan kaynaklanan yıllık toplam fosfor yükü 313 ton'dur. Doğu Karadeniz Havzası'nda evsel atıksudan kaynaklanan yıllık toplam fosfor yükü 472 ton'dur.

Tablo 1.1'de Amerika'da evsel atıksudaki tipik fosfor konsantrasyonları verilmektedir. Ön arıtma fosforun %10'nunu giderirken, ikincil arıtma sadece %30'unu gidermektedir. (Smith,1990). İlave fosfor giderimi için üçüncül arıtma gereklidir. Fosfat konsantrasyonu 0,1 mg/L'nin üzerinde olduğunda istenmeyen alg gelişimi gözlemlenir. (F. Kargı, 1998)

Tablo 1.1 Amerika Atıksularında Fosforun Kimyasal Formları (Sedlak, 1991)

Ortofosfatlar	3-4 mg/L
Kondanse Fosfatlar (pyro-meta-ve diğer polifosfatlar)	2-3 mg/L
Organik Fosfatlar	1 mg/L

2. EVSEL ATIKSULARDAN FOSFOR GİDERİMİ

Evsel atıksularda fosfor biyolojik ve/veya kimyasal metotlarla giderilebilir. Kimyasal prosesler seçici değildir. Bu yüzden atıksuda bulunan çoğu farklı iyonlar kimyasal fosfor giderimini daima olumsuz yönde etkileyecektir. Biyolojik prosesler yüksek seçicilik kabiliyetine sahiptir ve kolaylıkla düşük çıkış standartlarını sağlayabilir.

2.1. Biyolojik Fosfor Giderimi

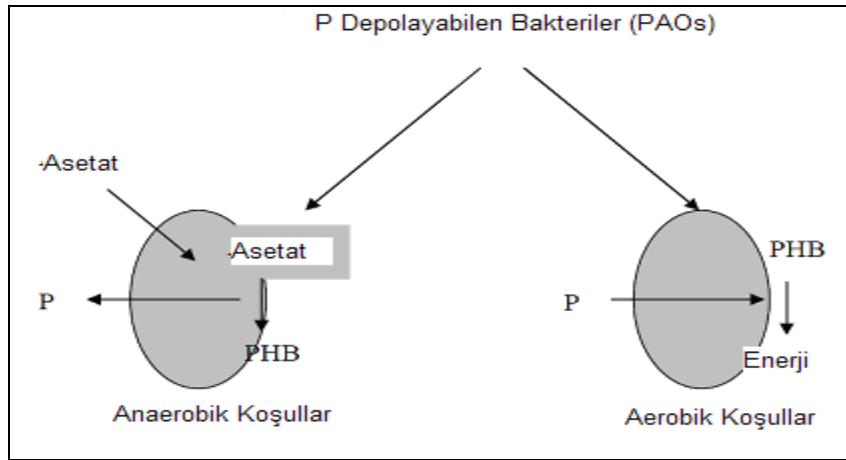
2.1.1. Biyolojik Fosfor Gideriminin Fizyolojisi

Aktif çamur fosfat depolayabilen organizmalarla zenginleştirildiğinde biyolojik fosfor giderimi mümkün olacaktır. Fosfat depolayabilen mikroorganizmalar (phosphate accumulating organism: PAO) ayrıca fosfor gideren ya da polifosfat bakterileri olarak ta adlandırılmaktadırlar. Bu mikroorganizmalar fosforu polifosfat olarak depolayabilirler. Fosfor giderimi için sırasıyla anaerobik ve aerobik şartlar gereklidir. Anaerobik koşullarda PAO'lar asetat, glikoz gibi uçucu yağ asitlerini (UYA) hücre içine taşırlar. Ardından bu UYA'lar polihidroksi alkanotlara (PHA, örn; polihidroksibütirat: PHB) dönüştürülür ve depolanır. Taşıma ve depolama için gerekli enerji polifosfatın ortofosfata hidrolizinden sağlanır. Böylece ortofosfatlar ortamdaki suya geçerler. Aerobik ya da anoksik koşullar altında depolanan PHB hücre gelişimi, polifosfat sentezi, glikojen oluşumu ve bakım için kullanılır. Aerobik koşullarda PAO'lar daha önce anaerobik koşullarda saldıgı fosfatın büyük miktarını polifosfat olarak depolar. Bu fosfor alınımıdır. Depolanan fosfat sistemden çamurun uzaklaştırılması ile giderilir.

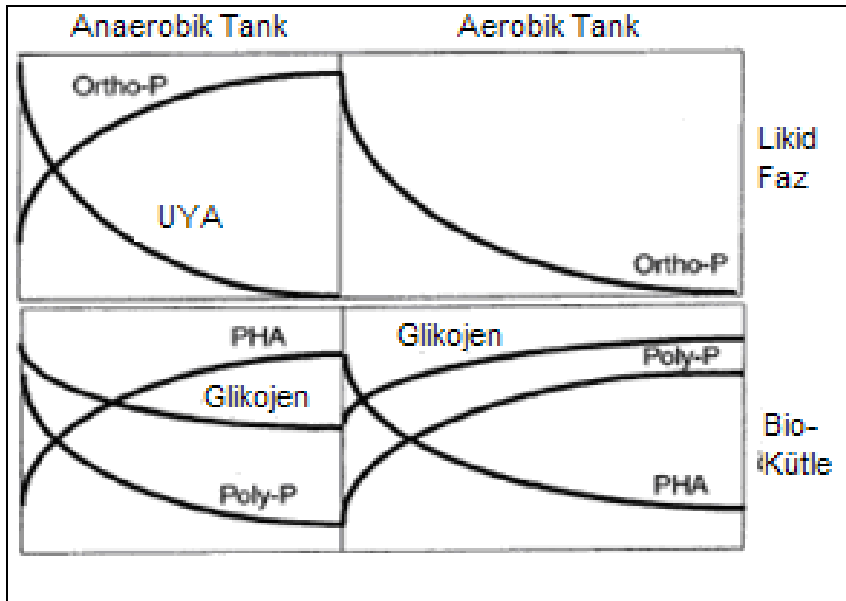
Biyolojik olarak fosfor arıtımında fazla çamurun alınmasında dikkat edilmelidir. Çamur anaerobik koşullar altında tutulduğu zaman fosfor salınımı gerçekleşecektir. Bakteri enerji kaynağı olarak depolanan polifosfatları kullanacağı için asetat ilavesi olmaksızın bile ortofosfatların salınımı mümkündür. Biyolojik fosfor arıtım sistemlerinin anaerobik bölgesinde uzatılmış kontak süresinden sonra ayrıca ortofosfat salınımı olabilir. Bu durumda salınan fosfor aerobik bölgede alınmayabilir. Çünkü sonraki oksidasyon için salınım asetat alınımı ve PHB depolamayla birlikte olmayacaktır. Bu koşullar altındaki ortofosfat salınımı biyolojik proses için daha

düşük fosfor giderim verimine yol açabilen ikincil salınım (Barnard 1984) olarak tanımlanır. (Metcalf&Eddy, 2004)

Biyolojik fosfor giderim mekanizması Şekil 2.1’de gösterilmektedir. Ayrıca anaerobik ve aerobik koşullarda biokütle ve yoğun çamur sıvısındaki UYA, PHA, glikojen, ortofosfat konsantrasyonlarındaki değişim Şekil 2.2’de niteliksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Biyolojik Fosfor Giderim Mekanizması



Şekil 2.2 Prosesteki Konsantrasyon Değişimlerinin Şematik Gösterimi (App.Microbial Biotech, 1997)

2.1.2. Biyolojik Fosfor Giderimi Sistemlerinin Performansını Etkileyen Faktörler

Biyolojik fosfor giderimini etkileyen faktörler 3 gruba ayrılabilir. İlk grup sıcaklık, pH ve çözülmüş oksijen gibi çevresel faktörleri içerir. Katı madde alıkonma süresi, hidrolik bekleme zamanı gibi dizayn parametreleri ikinci grubu oluşturur. Üçüncü grup biyolojik olarak indirgenebilir substrat konsantrasyonu, UYA üretimi ve anaerobik tanktaki nitrat varlığıdır.

Sıcaklığın Etkisi

Biyolojik fosfor giderimine sıcaklığın etkisi diğer biyolojik proseslerle karşılaştırıldığında kısmen daha azdır. Sell v.d. (1981) 5°C’de giderilen fosfor miktarının 15°C’de giderilenden %40 daha çok olduğunu raporlamışlardır. Polifosfat mikroorganizmaları muhtemelen psikrofillerdir. Bazıları mezofilik ya da termofilik olabilir. (Randall v.d., 1992) Biyolojik fosfor giderimi 10°C’nin altında işletilen gerçek boyutlu arıtma tesislerinin bazılarında sıcaklıktan etkilenmez. Bununla birlikte bazı tam ve pilot ölçekli tesis çalışmaları, soğuk mevsimlerde sıcaklığın biyolojik fosfor giderimini etkilediğini ve çıkış fosfor konsantrasyonunu arttırdığını göstermişlerdir. (Randall v.d., 1992) Mamais ve Jenkins (1992) biyolojik fosfor giderim sistemlerine üzerine katı madde alıkonma süresi ve sıcaklığın etkilerini değerlendirmek için sürekli akışlı deney düzenekleri kurdular. Fosfor gideren organizmaların gelişiminin yüksek sıcaklıklarda daha hızlı olduğu sonucunu vardılar. Nakamura v.d. (1995) polifosfat depolayabilen bakterilerden “*Microlunatus phosphovorus*, strain NM-1” kullanarak fosfor salınımı ve alınımı üzerine sıcaklığın etkilerini çalıştılar. 5°C ve 35°C ile karşılaştırıldığında 25°C’de en yüksek oranda fosfor salınımı gözlemlendi. 5°C ve 35°C’de daha düşük oranda fosfor alınımı gözlemlenirken 15°C ve 25°C’de daha yüksek orandaydı. Biyolojik fosfor giderimi baskın bakterilere bağlıdır. Bununla birlikte asıl konu anaerobik bölgede çözülmüş oksijen ve nitratın varlığıdır. Geri devir akımındaki elektron alıcıların konsantrasyonu (çözülmüş oksijen ve nitrat gibi) yüksek sıcaklıklarla karşılaştırıldığında daha düşük sıcaklıklarda daha azdır. Bu durum anaerobik bölgede polifosfat bakterileri tarafından depolanacak substrat konsantrasyonunun azalmasıyla sonuçlanacaktır. Bu nedenle biyolojik fosfor giderim verimi azalacaktır. Bazı geri

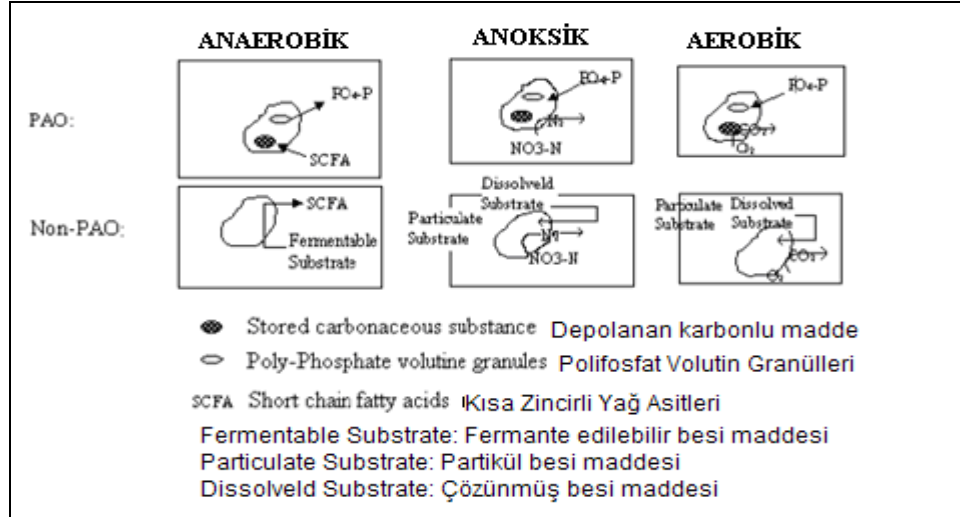
devir akımlarının dönüş yerine de dikkat edilmelidir. Örneğin filtre geri yıkama suyu geri devir akışı anaerobik ya da anoksik bölge yerine aerobik bölgeye gönderilmelidir. (Metcalf&Eddy,2004)

pH'in Etkisi:

Artan v.d. (1997) göre atıksulardan biyolojik yolla fosfor giderimini sağlamak için fosforun kimyasal çökmesi engellenmelidir. Bu yüzden pH değerinin 6.5 ve 7.5 arasında olması sağlanmalıdır. Groenestijin ve Deinema (1985) 25 °C'de biyolojik fosfor giderimi üzerine pH'ın etkisini çalıştılar. pH 8.5'ta pH 7'ye göre daha yüksek Acinetobacter maksimum spesifik büyüme oranı rapor ettiler. Tracy ve Flaminio (1985) aerobik fosfor alınımı üzerine pH'ın etkisini gözlemlediler. pH 6.5 ile 7 arasında çok önemli bir farklılık olmadığını tespit ettiler. pH 6.5'in altında fosfor alınımı sabit bir şekilde azaldı. pH 5.2'de tüm aktivite durdu.

Elektron Alıcıların (Nitrat ve Çözünmüş Oksijen) Etkisi:

Anaerobik bölgedeki nitrat ya da çözünmüş oksijen konsantrasyonu nütrientlerin yüksek giderim verimlerini elde etmek için minimize edilmelidir. Polifosfat bakterisi için gerekli olan organik madde okside olacaktır. Bakteri organik maddeyi PHB olarak depolamak yerine elektron alıcıları kullanırsa eğer gelişimi için daha fazla enerji elde edebilecektir. Sonuç olarak, PHB'nin düşük miktarları depolanabilecektir. Böylelikle aerobik bölgede fosfor alınımı için gerekli enerjiyi azaltacaktır. Ayrıca anoksik bölgede çözünmüş oksijen var olduğunda, denitrifikasyon bakterileri nitrat yerine çözünmüş oksijeni kullanacaktır. Çünkü çözünmüş oksijenden gelişimleri için daha fazla enerji elde edeceklerdir. Böylece denitrifikasyon verimi düşecektir. Bununla birlikte son zamanlarda ki çalışmalar göstermektedir ki; nitrat elektron alıcısı olarak kullanılmakta ve böylelikle fosfor alınımı anoksik koşullarda da gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple substrat için rekabet azalmaktadır. (Kuba v.d., 1993) Kuba v.d. (1994) denitrifikasyon yapabilen polifosfat bakterileri gözlemlediler. Barker&Dold (1997) UCT ve VIP (University of Cape Town Process ve Virginia Initiative Plant Process) proseslerinde anaerobik, anoksik, aerobik koşullar altında fosfor depolayabilen organizmalar (PAO) ve fosfor depolayamayan organizmaların (non-PAO) davranışları üzerine çalıştı. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3 Heteretrof PAO'lar ve Non-PAO'ların Anerobik/Anoksik/Aerobik Koşullardaki Davranışlarına Ait Diyagram

Meinhold v.d. (1998) birçok deneysel çalışma yaptılar. İlk deneysel çalışma anaerobik/anoksik/aerobik koşullar altında yapıldı. İkinci deneysel çalışma anaerobik/aerobik koşullarda yapıldı. Fosfor alınımı ilk çalışmada ikinciye göre daha yüksekti. Anoksik koşullardan aerobik koşullara geçildiği zaman fosfor alınımı üzerine nitratın etkisinin devam ettiği sonucuna vardılar.

Schön v.d. (1993) çamur durumuna göre 0.1 mg/L ve 0.5 mg/L çözülmüş oksijen konsantrasyonları arasında fosfor salınımının başladığını rapor ettiler. Havalandırma tankının her yerinde yeterli çözülmüş oksijenin olmasının ve son çökeltme tankının hidrolik bekleme süresinin anaerobik koşulların oluşumunu engelleyecek şekilde ayarlanmasının gerekliliğini vurguladılar. Biyolojik fosfor giderimini arttırmak için piston akışlı havalandırma havuzlarının ortasından sonuna 2 mg/L ve ya daha fazla çözülmüş oksijen konsantrasyonu olması gereklidir. (EPA, 1987)

Gerber v.d. (1987) aerobik ve anoksik koşullar altında asetat ve glikoz ilave ederek deneysel çalışmalar yürüttüler. Aerobik ve anoksik koşullarda asetat ilave ederek fosfor salınımı gözlemlədiler. Fakat glikoz ilavesiyle anaerobik koşullar haricinde fosfor salınımı gözlemlemediler. Buna göre substrat asetat ise eğer aerobik koşullarda da fosfor salınımı gerçekleşti. Sonuç olarak uçucu yağ asidi konsantrasyonu gereken miktardan daha fazla olmamalıdır ve fosfor alınımı için

aerobik bölgenin başlangıcında UYA tam olarak bitirilmelidir şeklinde bir açıklamada bulundular.

Katı Madde Alınma Süresinin Etkisi (Mean Cell Residence Time-MCRT):

Tesiste azot giderimi varsa eğer, MCRT yüksek olacaktır. Uzun MCRT değerleri daha az çamur atımı ile sonuçlanacaktır. Bu nedenle fosfor giderim verimi azalacaktır. Daigger v.d. (1987) VIP prosesini kullanarak pilot bir tesiste çalışma gerçekleştirdiler. 12°C sıcaklıkta 20 gün MCRT gerekli iken sistem 20°C ve üzerindeki sıcaklıklarda 5 gün MCRT’de işletildiğinde azot ve fosfor giderimin olabildiğini rapor ettiler. Okada v.d. (1991) ise ardışık kesikli reaktör prosesi (sequencing batch reactor-SBR) üzerinde çalıştılar. 25 günden daha az çamur yaşlarında, PAO’ların gelişim gösteremediğini rapor ettiler. Mamais&Jenkins (1992) yavaş büyüyen PAO’ların düşük çamur yaşlarında sistemden kaçabileceklerini ifade ettiler. Onlara göre yüksek sıcaklıkta ve 3 günden daha yüksek çamur yaşlarında sistem çamur yaşından etkilenmemektedir. Fakat sıcaklık azalırsa çamur yaşı arttırılmalıdır. Shao v.d. (1992) California’daki bir arıtma tesisinden veriler elde ettiler. Sistemdeki MCRT 1,5 günden 3.1 güne yükseltildiğinde çıkış fosfor konsantrasyonunun 3,1 mg/L’den 0,4 mg/L’ye düştüğünü tespit ettiler. Sistem 3 gün MCRT’de çalıştırıldığı zaman toplam askıda katı madde başına daha yüksek fosfor salınımı ve daha yüksek askıda katı madde fosfor içeriği gözlemlenildi. Chang&Hao (1996) ardışık kesikli reaktörde nütrient giderimini araştırdılar. 6 saatlik bir dönüşüm süresiyle 10 günlük katı bekleme süresinde sırasıyla %91,%98 ve %98; KOİ, toplam azot ve fosfat giderim verimleri elde ettiler. Kargı&Uygur (2002) farklı çamur yaşlarında pilot bir SBR tesisinde çalıştılar. 10 günlük çamur yaşında sırasıyla %94, %84, %70; KOİ, azot ve fosfor giderim verimleri elde ettiler. Bununla birlikte 15 gün çamur yaşı çok daha az değerlerle sonuçlandı. Çamur yaşı 15 günden fazla olduğunda giderim verimleri daha düşüktü. Birkaç fosfor giderim sistemi için dizayn MCRT değerlerinin bir fonksiyonu olarak gözlemlenmiş BOİ/P ve KOİ/P değerleri aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 2.1 Farklı Biyolojik Fosfor Giderim Prosesleri İçin Gözlemlenen Giriş BOİ/P KOİ/P Oranları (Metcalf&Eddy, 2004)

Biyolojik Fosfor Giderim Prosesi	BOİ/P oranı gBOİ/gP	KOİ/P oranı gKOİ/gP	Katı Madde Alıkonma Süresi, gün
Phoredox,VIP	15-20	26-34	<8
A²O,UCT	20-25	34-43	7-15
Bardenpho	>25	>43	15-25

Hidrolik Bekleme Süresinin Etkisi (Hydraulic Retention Time-HRT):

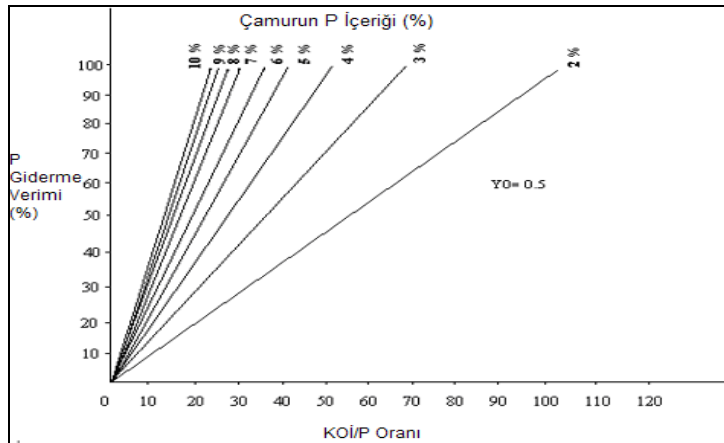
HRT anaerobik bölgede UYA miktarını ve oluşum oranlarını etkiler. Eğer ön fermentasyon varsa, anaerobik bölgedeki HRT düşük seçilebilir. Aerobik HRT ise anaerobik bölgede sıvıya salınan fosforu almak için yeterli sürede olmalıdır. HRT değerinden tasarım parametreleri bölümünde bahsedilecektir.

Çamur Arıtım Proseslerinin Etkisi:

Fosfor fazla çamurun bünyesinde sistemden giderilir. Bu sebeple çamur arıtım prosesleri önem arz etmektedir. Yoğunlaştırıcı ve/veya çürütücü ünitelerinde anaerobik koşullarda önemli miktarlarda fosfor salınımları gerçekleşebilir. Bu ünitelerden sistemin başlangıcına yapılacak geri devirler, giriş fosfor konsantrasyonunu arttıracak, bu durum fosforun çıkış suyunda düşük değerlerde eldesi için daha yüksek indirgenebilir kimyasal oksijen ihtiyacına sebep olacaktır. Kimyasal ilavesiyle bu geri devir akımlarındaki fosfor konsantrasyonu düşürülebilir. Çözünmüş hava flotasyonu, gravity bant yoğunlaştırıcı, ya da dönen tambur yoğunlaştırıcı kullanılarak yoğunlaştırma, fosfor salınımını minimize etmek adına gravity yoğunlaştırıcılara göre daha çok tercih edilir. Fosfor salınımı anaerobik ve aerobik çürütücülerde de beklenir. Bununla birlikte Randall v.d. (1992) anaerobik ve aerobik çürütücülerde beklenen den daha az fosfor salınımı ve geri devri gözlemlemiştir. Howard Eyaleti Little Patuxent atıksu arıtma tesisinde biyolojik fosfor giderim prosesinden kaynaklanan çamur üzerinde yapılan laboratuvar ölçekli çalışmalara dayanılarak sadece %20 fosfor salınımı gözlemlenmiştir. York Nehri'nde ki atıksu arıtma tesisinde giderilen fosforun yalnızca %27'si anaerobik çürütücüde salınmıştır. (Metcalf&Eddy, 2004)

Giriş Atıksuyunun Karakteristiği:

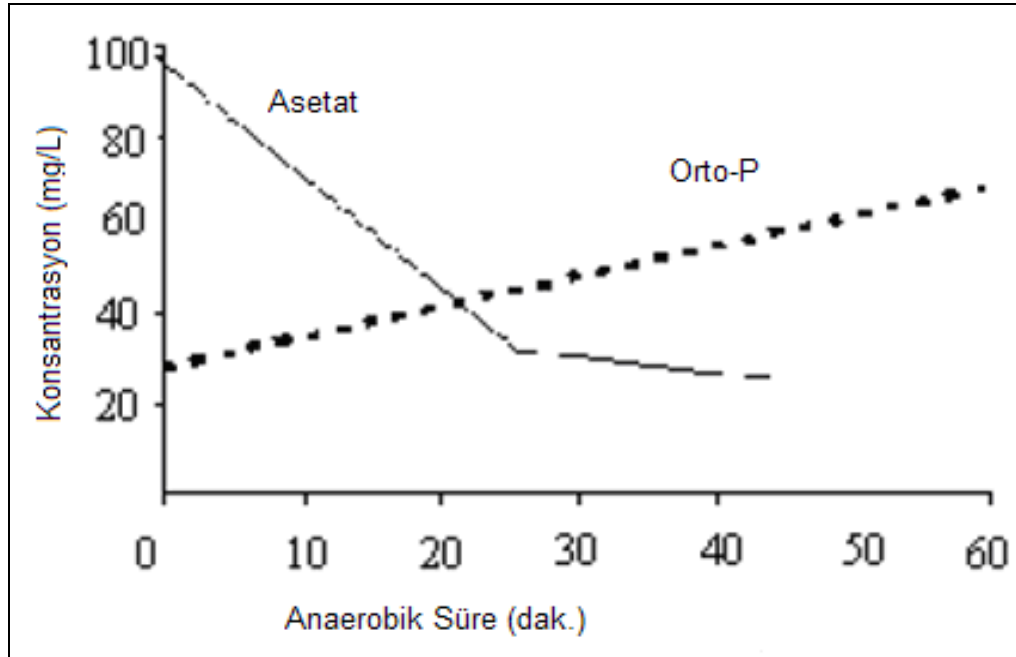
Ekama v.d. (1983) KOİ, TKN/KOİ oranı, biyolojik olarak indirgenebilir KOİ konsantrasyonu, azot bakterilerinin maksimum büyüme hızları, maksimum ve minimum sıcaklıklar, P/KOİ oranı gibi giriş atıksuyu karakteristiğinin biyolojik nütrient giderim proseslerini etkilediklerini rapor etmişlerdir. Anaerobik bölgede nitrat yokluğuyla bile gerekli fosfor giderim verimini elde etmek için biyolojik olarak indirgenebilir KOİ konsantrasyonunun en az 60 mg/L olması gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca Siebritz v.d. (1983) en az 25 mg/L biyolojik olarak indirgenebilir substratın gerekli olduğunu önermişlerdir. Abu-Ghararah&Randall (1991) UCT prosesi üzerine girişteki organik maddelerin etkilerini çalıştılar. 1 mg fosforu gidermek için KOİ olarak en az 20 mg asetik asitin gerekli olduğu kanısına vardılar. Reddy (1991) aktif çamur prosesini fosfor yüklemesi sınırlı ve fosfor depolaması sınırlı olarak iki bölüme ayırdı. İlk koşulda KOİ/P oranı yüksek ve fosfor sınırlıdır. Böylelikle çamurun fosfor depolama kapasitesi henüz aşılmamıştır. Çıkışta fosfor konsantrasyonu düşük olacaktır. Bu koşul altında aşırı KOİ konsantrasyonu polifosfat bakterisi olmayan diğer bakteriler tarafından gelişimleri için kullanılabilir ve polifosfat bakterileri dominant olmaz. Biokütlenin fosfor içeriği düşük olur. İkinci koşulda KOİ/P oranı düşük ve KOİ limitlidir. Polifosfat bakterilerinin sayısı artacaktır ve maksimum fosfor depolama kapasitesi kullanılacaktır. Böylelikle biokütlenin fosfor içeriği ve çıkış toplam fosfor konsantrasyonu yüksek olacaktır. Reddy (1991) KOİ/P oranı ile çamurun fosfor içeriği ve çıkış toplam fosfor konsantrasyonu arasında ters orantı olduğu sonucuna vardı. Bu ilişki Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4 KOİ/P Oranı, Çamurun Fosfor İçeriği ve Fosfor Giderim Verimi İlişkisi

Randall v.d. (1992) göre 1 mg/L ve daha az çıkış toplam fosfor konsantrasyonu elde etmek için BOİ/TP oranı 20:1 ve KOİ/TP oranı 40:1 gereklidir. Randall v.d. (1992), Ekama&Marais (1984) evsel atıksulardan 1 mg/L fosfor gidermek için 50-59 mg/L KOİ gerekli iken 1 mg/L nitrat gidermek için 8,6 mg/L KOİ gerekli olduğunu rapor etmişlerdir. Virginia Tech'de yapılan deneylerde giderilen mg/L fosfor başına yaklaşık 50 mg/L KOİ gerekli olduğu rapor edilmiştir.

Fermente substrat konsantrasyonu biyolojik fosfor giderimi için önemli bir faktördür. Polifosfat bakterileri glikozu direkt kullanamaz. Glikozun polifosfat bakterisi olmayan bakteriler tarafından yağ asitlerine dönüştürülmesi gerekir. Randall v.d.'ye göre anaerobik faz glikoz için fermentasyon bölgesi olamaz. Çünkü glikoz hızlıca fermente olmadan hücre içine geçer. Çoğu araştırmacı polifosfat bakterileri tarafından en çok tercih edilen fermentasyon ürününün asetat ve propiyonat olduğunu göstermişlerdir. (Potgieter&Evans, 1993; Siebritz v.d., 1983; Comeau v.d., 1987; Abughararah&Randall, 1991) Şekil 2.5 anaerobik bekleme süresinin bir fonksiyonu olarak asetat konsantrasyonundaki azalmayı ve ortofosfat konsantrasyonundaki artmayı göstermektedir. Asetat tüketiminin fosfor salınımına molar oranı 1,3'tür.



Şekil 2.5 Asetat Asimilasyonu, Fosfor Salınımı ve Anaerobik Süre (Rensink v.d., 1981)

Randall v.d. (1987), Wedi v.d. (1992), Raper v.d. (1993) tarafından ilk çökelmiş çamur bir çöktürme tankı içinde ya da bir asit çürütücünün içinde, anaerobik bölgede uçucu yağ asitlerinin konsantrasyonunu arttırmak için fermente edildi.

Siebritz v.d. (1983) evsel atıksudaki fermantasyon ürünlerinin miktarını saptamak için araştırmalar yaptılar. Giriş KOİ değerinin %20'nin kolaylıkla indirgenebilir substrat olduğu sonuca vardılar. Evsel atıksular septik koşullara maruz kalırsa eğer fermantasyon nedeniyle bazı uçucu yağ asitleri içerir. Ve giriş KOİ değerinin %6'sı asetik asit gibi UYA olacaktır. (Henze, 1992) 7-10 mg asetat fosfor gideriminin iyileştirilmesiyle yaklaşık 1 mg P giderebilir. (Wentzel v.d.,1989,1990) Oldham ve Stevens (1985) sürekli UYA ilavesiyle çıkış çözülebilir fosfor konsantrasyonunu 2,5 mg/L'den 0,3 mg/L'ye düşürdüler. UYA/P oranı 6,7 g/g olup tahmin edilen 7-10 g/g değerinden daha düşük bir değeri.

Biyolojik Fosfor Giderim Sistemleriyle İlgili Mikroorganizmalar

Aktif çamur sistemlerindeki baskın bakteri, organik maddeyi karbondioksit ve suya dönüştüren aerobik heterotroflardır. (Gray, 1989) Fuhs&Chen (1975) pilot ölçekteki bir aktif çamur sistemine zayıf Acinetobakter kültürü eklediklerinde fosfor toplanmasını hemen gözlemlediler. Birçok araştırma Acinetobakter olarak bilinen tek cins bir bakterinin biyolojik fosfor gideriminde baskın olduğunu göstermiştir. Daha da spesifik olarak tek bir tür Acinetobakter Calcoeticus bu konuyla ilişkilendirilmiştir. (Buchan, 1980, 1983; Horan, 1991; Starkenburg v.d., 1993) Acinetobakter türleri hücre sentezi için gerekli olandan daha fazla fosfat depolayabilirler. Bu türe ilaveten Gram-pozitifler de polifosfatı depolayabilirler. (Lötter&Murphy, 1985)

Biyolojik fosfor giderimi sistemlerinde AKM (Askıda Katı Madde)'deki fosfor içeriğinin tipik ortalama değeri %6'dır. Bazı durumlarda %8-12'lere ulaşılabilir. Tersine klasik aktif çamur fosfor içeriği P/UAKM (Uçucu Askıda Katı Madde) baz alarak tipik olarak %1,5'tan %2'ye değişir. Pseudomonas, Aerobacter, Beggiato, Moraxella, Escheichia coli, Mycobacterium ve Klebsiella gibi bakteriler de hücre kuru ağırlığının yaklaşık %1-3'ü kadar fosfor toplama kabiliyetine sahiptirler.

Katyonların Etkileri

Biyolojik fosfor giderim proseslerinde fosfor salınımı ve alınımı boyunca bazı katyonlar alınır ve salınır. (Comeau v.d., 1987; Wentzel et al., 1988) Fosforla birlikte salınan yaygın katyonlar K^+ , Mg^{2+} ve az miktarda Ca^{2+} 'dur. Birçok araştırmacı tarafından saptanan Katyon/P molar oranları Tablo 2.2'de gösterilmektedir.

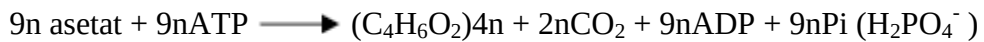
Tablo 2.2 Fosforla Birlikte Taşınan İyonların Molar Oranları (Bölükbaş, 2002)

K^+/P	Mg^{2+}/P	Ca^{2+}/P	Toplan İyon Miktarı/P	Taşıma Yönü	Referans
0.27	0.26	0.00	0.79	P Salınım	Miyamoto-Mills et al. (1983)
0.23	0.32	0.05	0.97	P Salınım	Arvin & Kristensen (1985)
0.34	0.24	0.06	0.94	P Salınımı ve Alüminyum Ortalaması	Comeau et al. (1985)
0.20	0.28	0.09	0.94	P Salınım	Comeau et al. (1985)
0.23	0.27	0.12	1.01	P Alınım	Comeau et al. (1985)
0.33	-	-	-	P Salınım	Brdjanovic et al. (1996)
0.21	0.30	0.00	0.81	P Salınımı ve Alüminyum Ortalaması	Rickard & McClintock (1992)

2.1.3. Biyolojik Fosfor Giderim Sistemlerinde Biyokimyasal Modeller

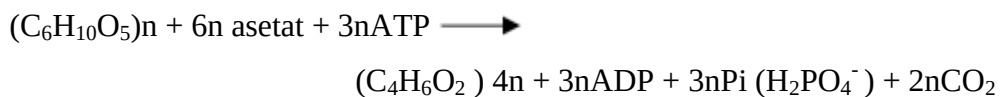
PHB oluşumunu sağlamak için nasıl bir indirgeme gücüne gerek olduğuyla ilgili biyokimyasal modeller geliştirildi. Biyolojik fosfor giderimiyle ilgili 3 ana model vardır.

- Comeau-Wentzel (1986)

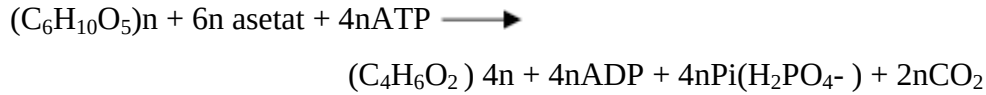


- Mino (1987)

Glikojen tüketimi ile asetatın PHB'ye dönüşümünün net reaksiyonu



- Modified Mino (1991)



Abu-Ghararah&Randall (1989), Wentzel v.d.'ye (1986) göre ATP: ADP oranı ve NADH (Koenzim NAD'ın indirgenmiş hali) oranları polifosfat ve PHB indirgemesi ve sentezinin kontrolünde ana parametrelerdir. Ayrıca Abu-Ghararah&Randall (1989) uçucu yağ asitlerinin kimyasal yapısının örneğin karbon atomlarının sayısı ve bağların derecesinin anaerobik bölgedeki karbon depolanmasını ölçmek için kullanılabileceğini önerdi. Fosfor salınımı ve alınımı ile ilgili PHB'ye ek olarak PHV (Poly-β-hydroxyvalyrate) bulundu. Eş zamanlı olarak anaerobik bölgede spesifik substrat metabolizmasında birden çok metabolik yol olduğunu kaydettiler. Benzer kimyasal modeller rapor edildi ve diğer birçok araştırmacı tarafından özetlendi. (Comeau et al, 1986; Heymann, 1985; Tracy and Flammino, 1985; Grady and Daigger, 1993). Ayrıca Heymann (1985) giriş atıksuyundaki karbonhidratlar ve yağlar gibi yüksek enerjili ve düşük biyosentetik değere sahip substrat bileşiklerinin sistemin performansını etkilediğini ve fazla fosfor giderimi için destek verdiğini belirtmiştir. Randall v.d. (1992)'a göre Lotter (1989) polifosfat kinazının anaerobik mekanizmada (örneğin; fosfor salınımı ve substrat alım kinetikleri) anahtar rol oynadığını açıkladı. Kawaharasaki ve Nakamura (1995) NM-1 kullanarak aerobik fosfor alım mekanizmasını etkileyen faktörleri araştırdılar. Hücrelerdeki glikojen gibi karbonhidratların hücre içi toplanmasının aerobik fosfor alımını arttırdığını buldular. Ayrıca gelişim evresinin bu bakteri türünün fosfor alım mekanizması üzerine büyük bir etkiye sahip olduğunu buldular. Durgun evre süresince hücrelerin toplanması daha az fosfor alım aktivitesi gösterirken logaritmik evre süresince hücreler toplandığında fosfor alımını büyük bir aralıkta gözledi.

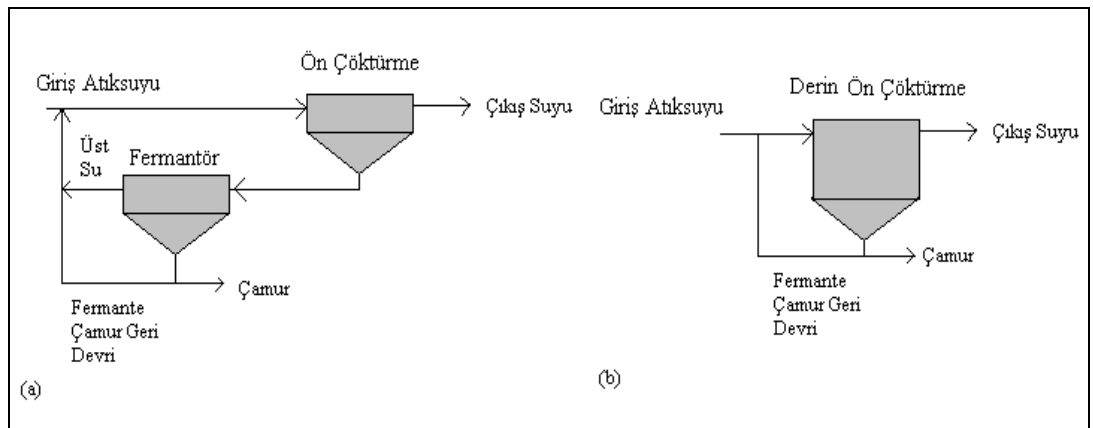
2.1.4. Biyolojik Fosfor Giderim Sistemlerinde Fosfor Giderim Verimini İyileştirme Yöntemleri

Fosfor giderimi için performans iyileştirme yöntemleri aşağıdaki verilmektedir.

1. Dışarıdan ya da ön çökeltim çamurunun fermantasyonu ile ilave asetat sağlanması
2. Katı madde alıkonma süresinin azaltılması

3. Ön çökeltme ya da çıkış suyuna alüm ya da demir ilavesi
4. Anaerobik bölgeye giren nitrat ya da oksijen miktarını azaltmak

İlave kolaylıkla biyolojik indirgenebilir kimyasal oksijen ihtiyacı (rbCOD) sağlamak için kullanılan iki metot; dışarıdan karbon kaynağı (Örn; asetat) tedarik etmek ya da ön çökeltim çamurunun fermentasyonu ile UYA üretmektir. Ön çökeltim çamuru fermentasyonu için iki örnek dizayn Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Farklı dizaynlar da mümkündür. Şekil 2.6 (a)'da görüldüğü üzere bir fermentasyon reaktörü bekleme süresi ve birincil çamurun karışımını sağlar. Ön çöktürme boyunca, anaerobik bölgede ikincil arıtma prosesine beslenmek üzere, UYA salınır. Daha derin bir çöktürme tankı dizaynı (Şekil 2.6 (b)) hidroliz ve asit fermentasyonunda çökeltilmiş birincil çamur için yeterli alıkonma süresini sağlayacaktır. (Barnard, 1984) Aşağı akım çamuru sıvı akıma UYA'ları salması için geri devrettirilir. Koku, karıştırma ve fermentörde madde toplanması gibi işletme problemlerine dikkat edilmelidir. Ön çökeltim tankı çamur fermentörleri ısıtılmaz ve katı madde alıkonma süreleri sıcaklığa bağlı olarak 3-5 gün arasında değişir. Genellikle metojenik aktivitenin başlayabileceği noktanın altında kalmak için kullanılır. (Rabinowitz ve Oldham, 1985) MCRT değerleri 4-5 günden büyük olursa metan oluşum aktivitesi UYA'ları tüketmek için yeterince yüksek olabilir. Fermentörlere uygulanan UYA üretim oranları 0,1-0,2 gUYA/gUAKM arasında değişir. Fermentörler giriş atıksuyuna 10-20 mg/L UYA ilave eder. Fermentörler kullanıldığında daha az ve daha tutarlı çıkış çözülebilir fosfor konsantrasyonları gözlemlenir.

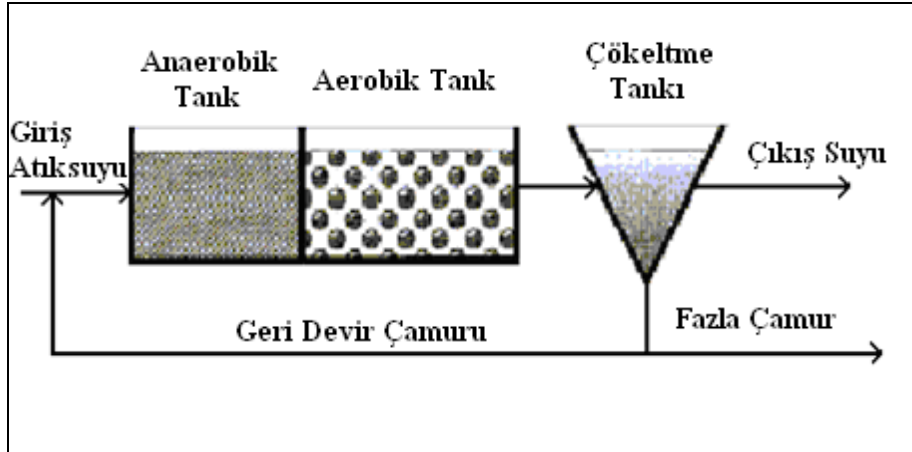


Şekil 2.6 (a), (b) Fosfor Gideriminde Uçucu Yağ Asitlerinin Üretimi İçin Kullanılan Fermentasyon Reaktörlerine Örnekler

2.1.5. Fosfor Gideren Biyolojik Prosesler

A/O Prosesi (Ana Akımda Fosfor Giderimi-Phoredox)

Patentli olan A/O Prosesi atıksulardan eş zamanlı olarak fosfor giderimi ve karbon oksidasyonu için kullanılır. A/O Prosesi sırasıyla anaerobik ve aerobik bölümleri içeren, basit askıda çamur gelişen sistemlerdir.

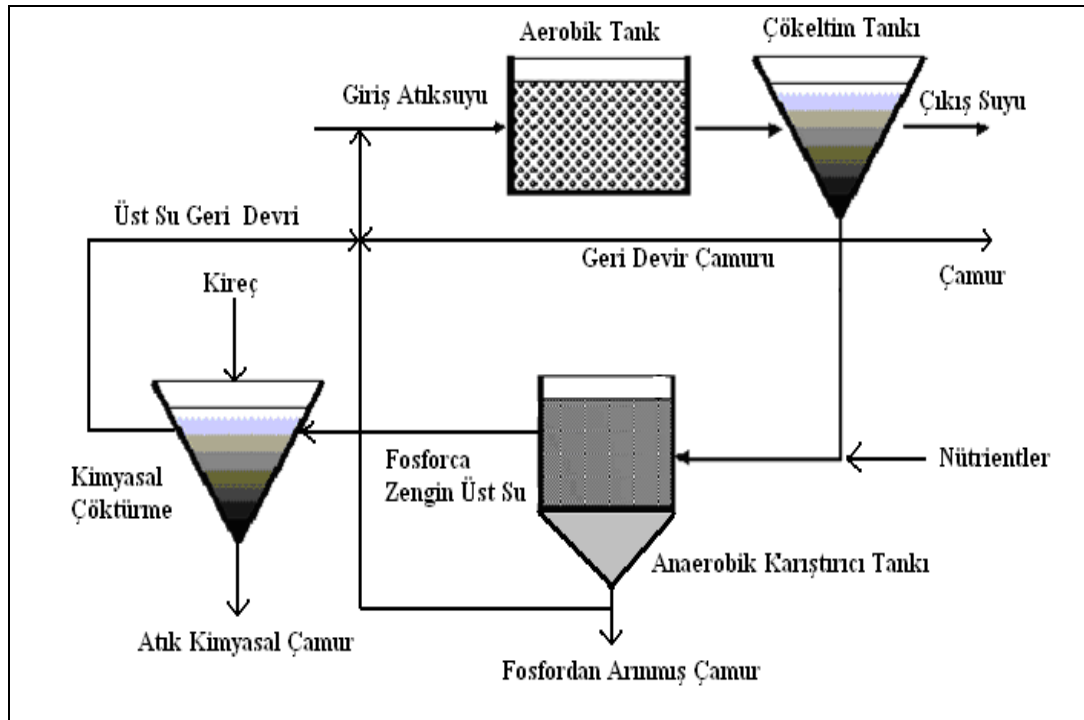


Şekil 2.7 A/O Prosesi

A/O Prosesinde nitrifikasyon yoktur ve biyolojik fosfor giderimi için anaerobik bekleme süresi 30 dakika ila 1 saat arasında değişir. Aerobik bölge tam karışimli sıvıda katı madde alıkonma süresi sıcaklığa bağlı olarak 2 ila 4 gün arasında değişir. (Metcalf&Eddy, 2004)

PhoStrip Proses (Yan Akımda Fosfor Giderimi)

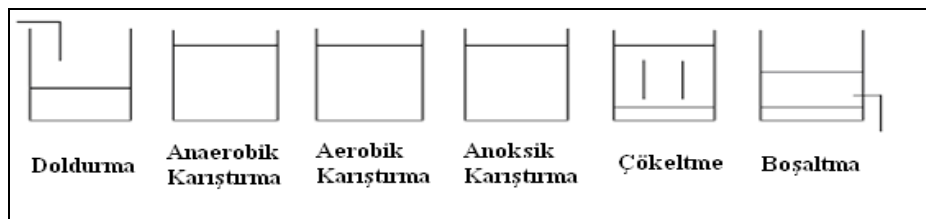
Gerçekte PhoStrip Proses biyolojik ve kimyasal prosesleri içerir. (Şekil 2.8) Geri devir aktif çamurunun bir kısmı anaerobik karıştırma tankına transfer edilir. Bu tankta bekleme süresi 8 -12 saat arasında değişir. (Metcalf&Eddy, 2004) Asetik asit ya da giriş atıksuyu fosfor salınımı için karıştırıcı tanka ilave edilir. Salınan fosfor üst su ile birlikte tankı geçer ve fosforca fakir aktif çamur havalandırma tankına döndürülür. Fosforca zengin üst su ayrı bir tankta kireçle ya da başka bir koagülanla arıtılır. Böylece fosfor kimyasal çamur içerisinde giderilecektir.



Şekil 2.8 PhoStrip Prosesi

Ardışık Kesikli Reaktör

Ardışık kesikli reaktör biyolojik arıtma prosesi aktif çamurun bir çeşididir. Bu proses klasik sistemlerdeki bir çok tank yerine aynı tankta çoklu adımları kullanır. (Şekil 2.9) Havalandırılmalı reaksiyon süresi özellikle sistemdeki BOİ ve azot yüklemesini karşılaması için değiştirilebilir. Çökelme süreleri flok tipinin çökelme gereksinimlerini karşılamak için modifiye edilebilir. Ardışık kesikli reaktörü geliştirmek için döngüye anaerobik adım eklenir. Havalandırılmayan doldurma adımı anaerobik koşullar yaratmak için yeterli olabilir. Anaerobik adıma ilave karışım eklenmesine ihtiyaç duyulabilir. Çökelme ve dinlendirme adımının uzunluğuna özellikle dikkat edilmelidir. Eğer nitrifikasyon olur da nitrat üretilirse anaerobik aşamadan önce giderilmek zorundadır.

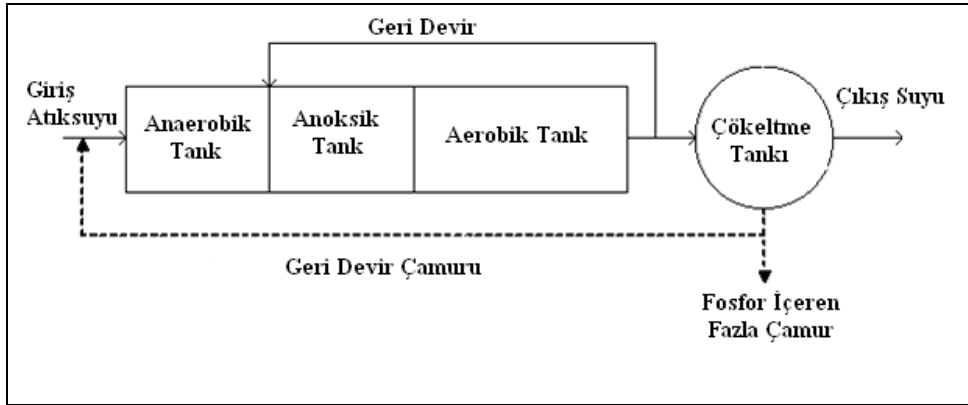


Şekil 2.9 Karbon, Azot ve Fosfor için Ardışık Kesikli Reaktör İşletimleri

2.1.6. Azot ve Fosforun Birlikte Giderildiği Biyolojik Prosesler

A²/O Prosesi

A²/O prosesi A/O prosesinin bir modifikasyonudur ve denitrifikasyon için anoksik bölge sağlar. (Şekil 2.10) Anoksik bölgede bekleme süresi yaklaşık bir saattir. (Metcalf&Eddy, 2004)



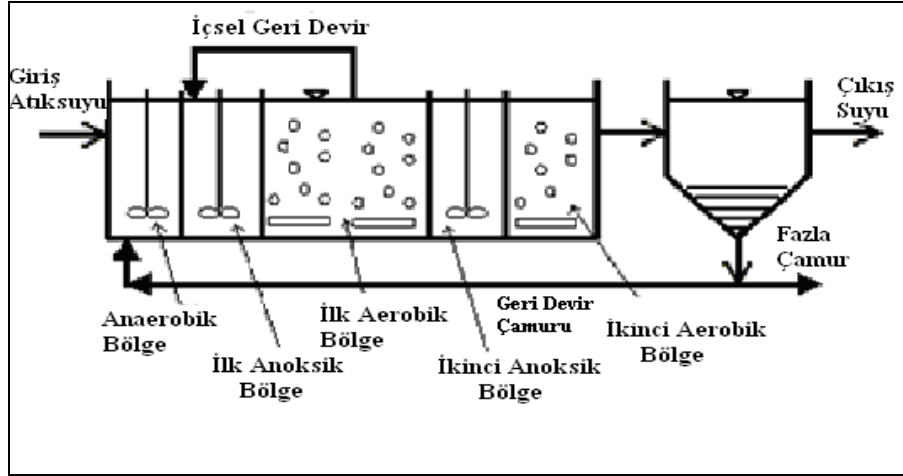
Şekil 2.10 A²/O Prosesi

Bardenpho Prosesi (Beş-Aşamalı)

Bardenpho prosesi (Şekil 2.11) fosfor depolayan bakterilerin uçucu yağ asitlerini alıp depoladıkları bir ön anaerobik bölge içerir. Uçucu yağ asitleri giriş atıksularında vardır ya da bu bölgede fermentasyonla üretilir. Anaerobik bölgeden çıkan atıksular anoksik bölgeye geçer. Bu bölge denitrifikasyona izin vermek için nitrat azotu sağlaması amacıyla aerobik bölgenin aşağı akımından gelen nitratça zengin karışık sıvının eklendiği ünitedir. Giriş atıksularında bulunan biyolojik olarak indirgenabilir organik maddeler hızlı bir denitrifikasyon sağlamak için karbon kaynağı olarak kullanılır. Atıksu anoksik bölgeden, nitrifikasyon olması için oksijen ilave edilen, ilk aerobik bölgeye geçer. Ayrıca fosfat depolayabilen bakteriler anaerobik bölgede depolanan uçucu yağ asitlerini burada okside ederler. Atıksu ilk aerobik bölgeden ilave denitrifikasyonun olduğu ikinci anoksik bölgeye geçer.

İkinci anoksik bölgeden gelen atıksu ikinci aerobik bölgeye geçer. Bu bölge son çökeltim havuzuna gelmeden önce karışık sıvıdan, anoksik bölgenin yukarı akımında gaz formunda bulunan azotun ayrıldığı bir bölgedir. Ayrıca bu bölge son çökeltim tankında fosfor salınımını minimize eder. 5 aşamalı Bardenpho prosesi A²/O

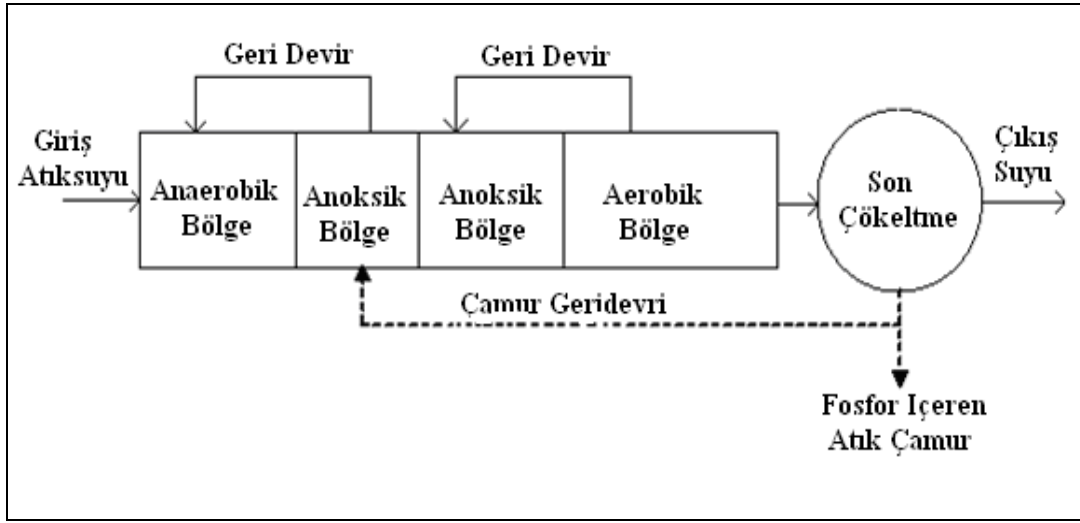
prosesinden daha fazla (10-20 gün) MCRT’lerde kullanılır ve böylelikle karbon oksidasyon kapasitesi artar. (Metcalf&Eddy, 2004)



Şekil 2.11 Bardenpho Prosesi

UCT (University of Cape Town) Prosesi

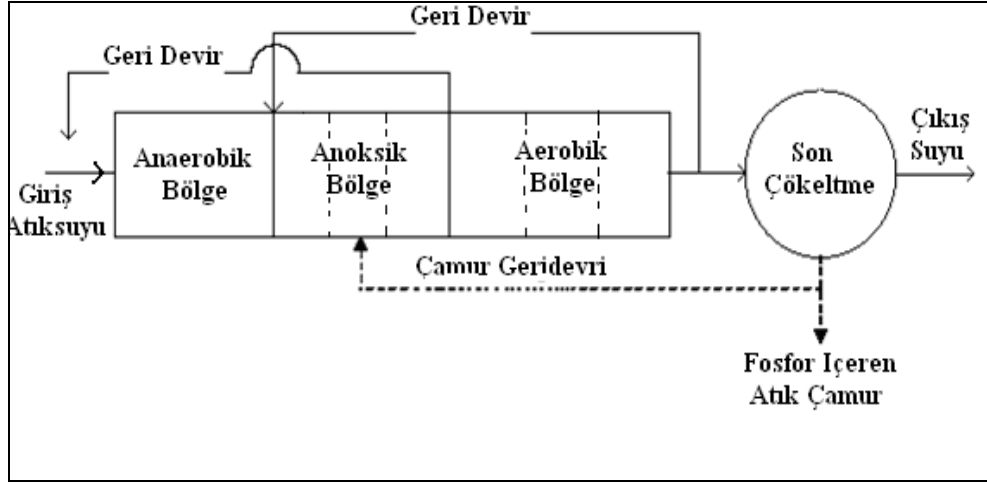
Anaerobik bölgeye nitrat geri devrinin olumsuz etkileri gözlemlenmiştir. (Barnard, 1975; Barnard, 1976; Nicholls, 1975) Bu gözlemlere dayanarak A^2/O Prosesi değiştirilerek UCT Prosesi geliştirilmiştir. A^2/O Prosesi ve UCT prosesi arasında iki fark vardır. İlk farklılık geri devir aktif çamurunun anaerobik bölge yerine anoksik bölgeye devrettirilmesidir. İkinci farklılık ise anoksik bölgeden anaerobik bölgeye içsel geri devrin ilave edilmiş olmasıdır. Aktif çamurun anoksik bölgeye geri devriyle anaerobik bölgeye nitrat girişimi elimine edilmiş olur. Böylelikle anaerobik fosfor salınımı kuvvetlendirilmiş olur. İçsel geri devir özelliği anaerobik bölgede organik madde tüketiminin artmasını sağlar. Anoksik bölgeden gelen karışık sıvı oldukça çözülebilir $BOİ$ içerirken az miktarda nitrat içerir. Anoksik karışık sıvının geri devri anaerobik bölgede fermentasyon oluşumu için optimal koşullar sağlar. Çünkü karışık sıvı daha az konsantrasyondadır. Anaerobik bekleme süresi Phoredox prosesinden daha fazla olmak zorundadır ve 1-2 saat aralığındadır. Anaerobik geri devir oranı giriş atıksu miktarının 2 katı kadardır. (Metcalf&Eddy, 2004)



Şekil 2.12 UCT Prosesi

VIP (Virginia Initiative Plant) Prosesi

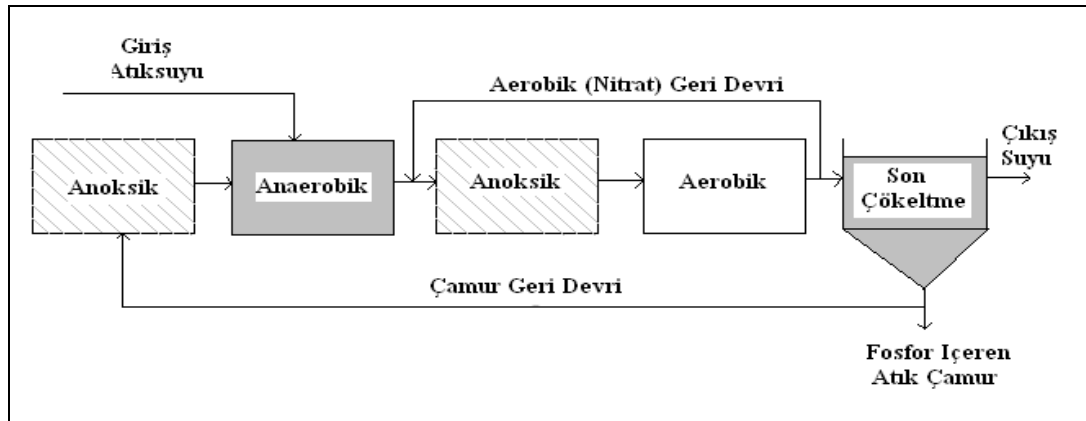
VIP prosesi Şekil 2.13'te gösterilmiştir. Bir fark dışında UCT prosesine benzerdir. VIP prosesinde anaerobik, anoksik ve aerobik tanklar birden fazla parçaya bölünmüştür. Bu proses yüksek fosfor içeren mikroorganizmaları seçmek için ön bir anaerobik bölgeden, denitrifikasyonu (toplam azot giderimi ile sonuçlanan) sağlamak için karışık sıvı geri devirli anoksik bölgeden ve nitrifikasyon ile fosfor alınımı için aerobik bölgeden oluşur. Bu proses konfigürasyonunda geri devir aktif çamuru (nitrat azotu içerecek) denitrifikasyonun olması için anoksik bölgeye yönlendirilir. Anoksik geri devrin oluşumunda ilave bir proses geri devir akımı uygulanır. Bu geri devir akımı anoksik bölgede var olan denitrifiye olmuş karışık sıvıyı alır ve anaerobik bölgeye akan proses giriş atıksuyuna iletir. Bu geri devir biyolojik reaksiyonun olması için anaerobik bölgeye karışık sıvının iletilmesi amacıyla gereklidir. Çünkü denitrifiye olmuş karışık sıvı geri devrettirilir. Böylelikle anaerobik bölgeye nitrat azotu ilavesi minimize edilmiş olur. Dolayısıyla biyolojik fosfor giderimiyle nitrat azotunun girişiminin azaltılması prosesin biyolojik fosfor giderme kapasitesini artırır. Anaerobik ve anoksik bölgeler için toplam MCRT değeri 1,5-3 gün arasındadır. Hidrolik bekleme süreleri ise anaerobik bölge için 60 dakika, anoksik bölge için 90 dakikadır. (Metcalf&Eddy, 2004)



Şekil 2.13 VIP Prosesi

Johannesburg Prosesi

UCT prosesine alternatif bir prosestir. Anaerobik bölgeye nitrat girişini engelleyerek zayıf atıksularda fosfor giderimini iyileştirmeyi amaçlar. Geri devir aktif çamuru anaerobik bölgeye beslenmeden önce denitrifikasyon için yeterli zamanın olacağı anoksik bölgeye yönlendirilir. Karışık sıvıdaki içsel solunumla nitratın azalması ve anoksik bölgede bekleme süresi karışık sıvı konsantrasyonuna, sıcaklığa, geri devir çamurundaki nitrat konsantrasyonuna bağlıdır. UCT prosesiyle karşılaştırıldığında 1 saat bekleme süresine sahip anaerobik bölgede daha yüksek AKM konsantrasyonları elde edilebilir. (Metcalf&Eddy, 2004)



Şekil 2.14 Johannesburg Prosesi

Tablo 2.3 Fosfor Giderim Prosesi için Avantaj ve Sınırlamalar (Metcalf&Eddy,2004)

Proses	Avantajlar	Sınırlamalar
A/O (Phoredox)	* Diğer proseslerle karşılaştırıldığında daha basit işletme. *Düşük BOİ/P oranı mümkün olması. *Diğerlerine oranla daha düşük hidrolik bekleme süresi *İyi çökelmiş çamur üretimi *İyi fosfor giderimi	*Nitrifikasyon olursa fosfor giderim prosesinin olumsuz etkilenmesi *Prosesin kolay kontrolünün sınırlanması
A ² /O	*Azot ve fosfor giderimi *Nitrifikasyon için alkalinite sağlaması *İyi çökebilir çamur üretimi *Diğerlerine kıyasla işletim kolaylığı * Enerji ihtiyacı düşük	*Nitrat içeren geri devir aktif çamurunun anaerobik bölgeye devredilmesi halinde fosfor giderim kapasitesinin etkilenmesi *İçsel geri devir oranı sebebiyle azot gideriminin kısıtlanması. *A/O prosesine nazaran daha yüksek BOİ/P oranı gerektirmesi
UCT	*Anaerobik bölgeye nitrat yüklemesini azaltmasıyla fosfor giderim kapasitesini arttırması *Zayıf atıksularda prosesin gelişmiş fosfor giderimi sağlaması * İyi çökebilir çamur üretimi *İyi azot giderimi	*Çok daha kompleks işletme *Ek geri devir sistemleri ihtiyacı

VIP	*Anaerobik bölgeye nitrat yüklemesini azaltmasıyla fosfor giderim kapasitesini arttırması *UCT prosesine kıyasla daha az BOİ/P oranı gerektirmesi *İyi çökebilir çamur üretimi	*Daha kompleks havalandırma * Ek geri devir sistemleri ihtiyacı *Aşamalı işletme için daha fazla ekipman ihtiyacı
Bardenpho (5-aşamalı)	*Filtrelenmemiş çıkış suyunda 3-5 mg/L TN sağlayabilmesi *İyi çökebilir çamur üretimi	*Daha az verimli fosfor giderimi *Daha büyük tank hacmi gerektirmesi
AKR (SBR)	*Azot ve fosfor giderimi *İşletme kolaylığı *Askıda katı maddelerin hidrolik akımlarla yıkanmaması *Durgun çökmeyle çıkış suyunda daha az askıda katı madde sağlanması	*Azot ve fosfor giderimi için daha kompleks işletme *Sadece azot gideren AKR prosesinden daha büyük hacim gerektirmesi *Çıkış suyu kalitesinin susuzlaştırma ünitesinin verimliliğine bağlı olması *Daha kompleks tasarım *Kalifiye bakım gerekliliği *Düşük debiler için daha uygun
PhoStrip	*Mevcut aktif çamur proseslerine kolaylıkla ilave edilebilmesi *Esnek proses; fosfor gideriminin BOİ/P oranı ile kontrol edilmemesi *Temel kimyasal çöktürme proseslerinden önemli miktarda daha az kimyasal kullanımı *Çıkış suyunda 1 mg/L'den daha az ortofosfat eldesi	*Fosfor çöktürme için kireç ilavesi gerekliliği *Son çökeltmede fosfor salınımını önlemek için aktif çamurda daha fazla çözünmüş oksijen ihtiyacı *Karıştırma için ilave tank kapasitesi gerekliliği *Kireç ayarlamasının bakım problemi olabilme ihtimali

Biyolojik fosfor giderim prosesi gereksinimleri değişik çıkış suyu fosfor değeri sınırlamaları için farklıdır. Tablo 2.4’te farklı çıkış suyu eldeleri için hangi fosfor giderim yönteminin gerekli olacağına yönelik bir çalışmanın özeti verilmektedir.

Tablo 2.4 Farklı Çıkış Suyu Fosfor Değeri Sınırlamaları İçin Biyolojik Fosfor Giderim Prosesi Gereksinimleri (Canviro Danışmanlık Ltd, 1986)

Çıkış TP (mg/L)	Phoredox	UCT	A/O	Phostrip
1-2	BFG*	BFG	BFG	BFG
1	BFG+F** ya da BFG+K***	BFG+F ya da BFG+K	BFG+F ya da BFG+K	BFG
0,3	BFG+F	BFG+F+ K	BFG+F+ K	BFG+F+ K

*BFG:Biyojik fosfor giderimi ** F: Filtrasyon *** K: Kimyasal İlavesi

Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (20.03.2010 Tarih ve 27527 Sayılı)’nde “atıksuda nispeten düşük KOİ/TKN, KOİ/ΔP seviyelerinde biyolojik fosfor giderimi için UCT, VIP tipi aktif çamur sistemleri tercih edilmelidir” ifadesi yer almaktadır. Bunun sebebi havasız tanka geri devir ile (içsel geri devir ve çamur geri devri) giren nitrat ve oksijen yükünün azaltılmasını sağlamaktır. Evsel atıksular için KOİ/TP değerinin düşük olması durumunda UCT, VIP tipi aktif çamur sistemleri biyolojik fosfor giderimi açısından A²O sistemine göre daha avantajlı olmaktadır. Ancak, UCT ve VIP sistemlerinde daha yüksek havasız hacim oranlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Tebliğde belirtildiğine göre BOİ₅/ΔP oranı 15-20 aralığında ise VIP ya da UCT prosesi, oran 20-25 aralığında ise A²/O ya da A/O, 25’ten büyük ise Bardenpho prosesi tercih edilmelidir. Burada ΔP, atıksu arıtma tesisi girişindeki toplam fosfor ile çıkışındaki çözünmüş fosfor arasındaki farkı ifade etmektedir.

Tablo 2.5 Yaygın Olarak Kullanılan Biyolojik Fosfor Giderim Proseslerinin Tipik Dizayn Parametreleri (Metcalf&Eddy, 2004)

Dizayn Parametresi Proses	SRT (Katı Madde Alıkonma Süresi), gün	MLSS (Askıda Katı Madde), mg/L	Anaerobik Bölge (Sa.)	Anoksik Bölge (Sa.)	Aerobik Bölge (Sa.)	RAS (Geri Devir Çamuru), Giriş Atıksuyunun Yüzdesi %	İçsel Geridevir, Giriş Atıksuyunun Yüzdesi %
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)
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 (SBR)	20-40	3000-4000	1,5-3	1-3	2-4	-	-

Yapay Sulak Alanlarda Fosfor Giderimi

Konvansiyonel sistemlerle karşılaştırıldığında, yapay sulak alanda fosfor arıtımı genel olarak çok alan gerektiren bir teknolojidir. Fosfor gideriminde kullanılan sulak alanlarda araziye olan ihtiyaç diğer bütün sulak alan sistemlerine göre çok fazladır. Fosforun doğal kaynağı yüzeysel su girişimleri ve atmosferdir. Çıkışlar ise dışarı akım ve yeraltı sularına sızmayla olabilir. Yeraltı sularından girişim ve buharlaşarak atmosfere karışım daha azdır. Fosforun bitkilerin bünyesine alınma yoluyla giderimi henüz tam olarak aydınlatılamamıştır.

Birçok doğal ortamda kısıtlı miktarlarda fosfor olmasına rağmen sulak alanların da içinde bulunduğu doğal ekosistemler, çok iyi adaptasyona sahiptir. Genel olarak, bir sulak alanın giderdiği fosfor miktarı bitkilerin tek bir büyüme mevsiminde ortamdan aldığı fosfor miktarından çok azdır. Tüm sulak alan canlıları; büyüme, ölüm ve kısmi ayrışmadan oluşan bir çevrim içinde bulunurlar. Sulak alanlardaki canlı organizmalar, büyümeleri için fosfora ihtiyaç duyarlar. Fosforun en hızlı bünyeye alımı bakteri, mantar gibi mikroskobik, canlılarca gerçekleştirilir. Çünkü bu organizmalar çok hızlı büyür ve çoğalırlar. Öte yandan, mikrofitler fosforu daha yavaş kullanırlar. Fosforun bir kısmı, suyun içinde bulunan bitki köklerinden alınır. Büyük bir kısmı ise toprak altında bulunan kökler tarafından alınır. Bu da fosforun toprağın içinde aşağıya doğru hareket ettiğini ortaya çıkarır. Fosforun bir nütrient oluşu sebebiyle bu elementin ortama ilavesi bitkinin büyümesini hızlandırır. Fosfor, sadece bitkilerin üremesi için değil, onların daha fazla büyümesi içinde kullanılır. Bu, sonuçta daha fazla artığın ortaya çıkmasına yol açar. Biyokütledeki fosfor miktarındaki artış hızlı ancak kararsız bir prosestir. Dolayısıyla bitkinin fosforu bünyesine alması kalıcı bir giderme olarak düşünülmemelidir.

Bitki kökü, aktif fosforun biriktiği önemli bir bölümdür. Kök, toprakta en üst katmanına "akrotelm" adı verilir. Buna karşılık, toprağın kök bölgesinin altındaki katman "catotelm" adını alır ve bu kısım pasif bir bölgedir. Her iki bölgede de kullanılmaya hazır ve hazır olmayan fosfor vardır.

Herskowitz (1986) tarafından bitki hasadı ile yüzeysel akışlı bir sulak alanda toplam fosforun ortalama %2,5'inin giderildiği belirtilmiştir. Yüzücü su bitkilerinin hasadı daha kolay olup, toplam fosforun %20'nin üzerinde su mercimeği ile giderimi söz

giderilmesinin mümkün olduğu belirtilmektedir. P gideriminde en önemli etken askıda katı madde ilişkisidir. Eğer atıksu yüksek oranda AKM içeriyor ve bu AKM çözünmez P ya da organofosfor kompleksleri içeriyorsa, P sedimentasyon prosesi ile giderilir. (Kadlec ve Knight, 1996; Mitsch v.d., 1995) Eğer atıksuda çözünmüş P fazla ve/veya AKM içinde hemen desorbe olabilen P ve/veya AKM içinde planktonlar gibi hemen ayrılabilen organik P formları varsa; P giderimi daha az etkili olacaktır. Çözünmüş P'nin giderimi ise yapay sulakalandaki en kritik konu olup, giderimi sedimantasyondan çok çökelme, bitki alımı, tutulma gibi proseslerle açıklanmaktadır. Yapay sulakalanlarda fosfor gideriminden esas olarak iki fiziksel proses sorumludur; partiküler fosforun sedimantasyonu ve çözünmüş fosforun ortamda tutulması. Partiküler bağlı fosfor sedimente kolayca çökebilir ancak zayıf bağlı olması durumunda tekrar su kolonuna karışma ihtimali de yüksektir.

1975 yılında Hollanda'da kurulmuş bir sulakalanda verime olan etkisini incelemek üzere su ve kütle dengesi üzerine yapılan bir araştırmada (Meuleman vd., 2003), dört adet 0.25 ha'lık sisteme *phragmites australis* ekilmiş olup, atıksu ile beslenen sistemde kumlu toprak ortam malzemesi olarak kullanılmıştır. Sistemin su bütçesi bir yıl boyunca aylık periyotlar halinde meteorolojik verilerden ve sistemdeki gerçek değerlerden yararlanılarak hesaplanmıştır. Sisteme uygulanan yükleme hızları 16700 kg KOİ/ha.yıl, 2400 kg N/ha.yıl, 335 kg P/ha.yıl'dır. KOİ ve BOİ için elde edilen verimler sırası ile %81 ve %96 olup, yaklaşık % 99 E.Coli giderimi de sağlanmıştır. N ve P giderimi ise %30 ve %24 olarak gerçekleşmiştir. Nutrient giderimi kaynaklarına göre bitki alımı ve hasat (%15 N ve %10 P), denitrifikasyon (%8 N), sedimantasyon ve organik maddenin toprakta birikimi (%7 N ve %14 P) olarak gerçekleşmiştir. Yazarlar, giderim veriminin artırılması için bitki hasadının Aralık-Ocak ayı yerine Ekim ayında yapılmasının ve ortam malzemesi olarak P adsorplama özelliği olan kumlu sediment kullanımının yararlı olacağını belirtmiştir. Sistemin P için dolma süresi 15 yıl olarak hesaplanmıştır.

Davies ve Cottingham (1993) tek basına alum kullanarak ve kireç ile birlikte uygulandığında fosfor giderimine olan katkının anlaşılması için 30 m uzunluğa, 5 m genişliğe ve 0.6 m derinliğe sahip bir sulakalanda değişik P:Al molar oranlarında bitkili ve bitkisiz sistemlerde çalışmışlar, alum ile birlikte kireç kullanarak fosfor giderimini araştırmışlardır. Sonuç olarak alum ile birlikte kireç kullanarak, tek basına

alum kullanıldığında elde edilen verimin (%28.8-%54.9) iki katına kadar ulaşmanın (%69.6-%81.8) mümkün olduğunu rapor etmişlerdir.

Brix v.d. (2000) tarafından yüzeyaltı akışlı yapay sulakalanlarda fosfor giderimi için ortam seçimi üzerine yapılan bir çalışmaya göre fosforun kum yatağına sorpsiyonu yüzeyaltı akışlı yapay sulakalanlar için en önemli fosfor giderim mekanizması olarak gösterilmektedir. Bu yüzden kum malzemesinin seçiminin önemine değinilerek 13 adet Danimarka kumunda fosfor giderimi üzerine çalışma yapılmıştır. Yazarlara göre fosfor giderimindeki en önemli özellik, kumların Ca ihtivasıdır. Bunun yanında fosfor bağlayıcı özelliği olarak kalsit ve kırılmış mermerin oldukça yüksek kapasiteye sahip olduğu belirtilmiştir.

Mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün 2005 verilerine göre yapay sulak alanlar, yapılan bilimsel çalışmalarla arıtma verimliliği ispatlanmış güvenilir sistemlerdir. Farklı bitki türüne ve akış şekline sahip sulak alanlarda evsel atıksu arıtımında, genel olarak, %80-99 BOİ₅, KOİ ve bakteri giderimi, %92-95 AKM, %30-80 toplam azot ve %20-70 toplam fosfor giderimi tespit edilmiştir.

Picard v.d. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada, bitkili ve bitkisiz sistemlere 31 mg/l TP verilerek yapılan giderim çalışmasında, bitkinin TP giderimindeki rolünün %3 ile %60 aralığında değiştiği belirtilmiştir. Steer v.d. (2005) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, çakılın dolgu malzemesi olarak kullanıldığı bir bitkili (*Scirpus* ve *Sagittaria*) sistemde %55 TP giderimi elde edilmiştir.

Dağlı 2006 yılında hazırladığı doktora tezinde yapay sulakalan sistemlerinde fosfor giderimini araştırmıştır. Laboratuvar çalışmalarında sentetik olarak hazırlanan evsel karakterde atıksu, arazi ölçekli çalışmalarda TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi Gebze Yerleşkesinden kaynaklanan evsel nitelikli atıksu kullanılarak, 1 m²'lik, 10 m²'lik ve 100 m²'lik pilot ölçekli yapay sulakalan sistemleri üzerinde deneyler yürütülmüştür. 1 m²'lik sistemlerde 5 farklı dolgu malzemesi (orta boy çakıl, orman toprağı, deniz kumu, perlit ve demir çelik endüstrisi atığı olan uçucu kül) kullanılmıştır. 10 m²'lik sistemde dolgu malzemesi olarak çakıl ve bitki olarak iris ve

phragmites kullanılmış, 100 m²'lik sistemde ise dolgu malzemesi olarak çakıl ve bitki olarak cyperus alternatifolius kullanılmıştır.

1 m²'lik sistemlerde yapılan giderim çalışmalarına göre, en iyi toplam fosfor (TP) giderimi elde edilen malzemelerin çakıl, kum ve yüksek fırın cürufu olduğu görülmüştür. Tüm malzemeler kış periyodunun bitişi ile hızlı bir verim artışı periyoduna girmiş ve giderim verimleri %50 civarında dengeye gelmiştir. Çakıl için elde edilen TP giderim verimi % 52.5 olarak gerçekleşmiş, bunu % 49.3 ile kum, % 46.4 ile yüksek fırın cürufu, % 35.9 ile perlit ve % 35.6 ile toprak izlemiştir. Ortofosfat iyonu (PO₄²⁻) açısından bakıldığında, en iyi giderime yine çakıl, yüksek fırın cürufu ve kumda ulaşılmıştır. Çakıl için elde edilen PO₄²⁻ giderimi %65,9, yüksek fırın cürufu için %61,5, kum için %58,8, perlit için % 50,2, toprak için ise %47,2'dir. 10 m²'lik sistemde yapılan giderim çalışmalarına göre, 5 m²'lik ilk reaktörde elde edilen TP giderim verimi %41,4, ikinci reaktörde ise %68,8'dir. Ortofosfat iyonu açısından bakıldığında ilk reaktörde %44, ikinci reaktörde ise %70,1 giderim verimi elde edilmiştir. Birinci reaktör, sisteme gelen şok yüklerin dengelenmesi ve ikinci sistemin daha yüksek verimde çalışmasını sağlamıştır. 10 m²'lik sistemde elde edilen giderim eğrilerindeki sapmanın azlığı da bu durumu doğrulamaktadır. 100 m²'lik sistemde yapılan giderim çalışmaları sonucunda, TP için elde edilen giderim verimi %47,5, PO₄²⁻ için ise %49,9'dur. 100 m²'lik sistem, 10 m²' ve 1m²'lik sistemlere göre daha iyi bir akım rejimi ve giderim ortamı sağladığından elde edilen %49'luk giderim verimin 10 m²'lik ve 1m²'lik sistemde elde edilen verimden daha iyi olması gereklidir. Ancak 100 m²'lik sistemde elde edilen toplam fosfor ve ortofosfat giderim veriminin 1 m²'lik sistemlerden daha iyi olmasına rağmen 10 m²'lik sistemin çıkışında elde edilen %70,1'lik verimden daha düşük olması şaşırtıcı bir sonuç doğurmuştur. Bu durumun en muhtemel sebebinin 100 m²'lik sistemin iki bölümlü reaktörden teşkil edilmemesi olduğu düşünülmüştür.

Bakanlığımızın müşteri kurum İstanbul Teknik Üniversitesi'nin ise proje yürütücüsü olduğu "Düşük Masraflı Arıtma Teknolojilerinin Türkiye Şartlarına Göre Geliştirilmesi Ve Marmara Bölgesi İçin Örnek Uygulama Projesi (2009)" kapsamında yapılan çalışmaların fosfor giderimine yönelik kısmının özeti aşağıda verilmektedir.

TÜBİTAK MAM sahasında kurulan pilot ölçekli sistemde, Anaerobik Perdeli reaktör ve Havasız Çamur Yataklı Reaktör sistemlerinden çıkan atıksuyun iki kademeli yapay sulak alan sisteminde giderimi incelenmiştir. Ayrıca yine MAM sahasında pilot ölçekli sistem sonuna kurulan 1x1 m boyutlu 30 cm derinlikli polyester haznelerde farklı dolgu malzemelerinin fosfor giderimine etkisi incelenmiştir. Mıdır, mermer taşı, cüruf ve zeolit ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deney sonuçları; cüruf dışındaki dolgu malzemelerinde fosfat adsorpsiyonunun çok düşük olduğunu ortaya koymuştur. Pilot ölçekli sistem ise havasız reaktörler ardından gelen iki kademeli yapay sulakalan sisteminden oluşmaktadır. Yapay sulak alanlar havasız reaktörlerden (Havasız Çamur Yataklı Reaktör (HÇYR) ve Ardışık Perdeli Reaktör (APR)) çıkan atıksu ile beslenmiştir. Pilot ölçekli havasız reaktörler iki farklı havasız reaktörü içermektedir ve bu iki sistem mukayeseli olarak çalıştırılmıştır. Her iki havasız reaktörün çıkışı, ortak bir rögarda toplanmış ve iki kademeli yapay sulak alan sisteminde besleme amaçlı kullanılmıştır. 18.12.2008 tarihinden bu yana yapay sulak alanlar, yalnızca HÇYR deşarjı ile beslenmektedir. Çalışmada kullanılan HÇYR ve APR'ler, TÜBİTAK MAM lojmanlarından temin edilen evsel atıksu ile beslenmiştir. Yüzeyaltı Akışlı (YAS) sistemde, organik madde giderimi ve denitrifikasyon hedeflenmiştir. Düşey Akışlı Sistemde (DAS) ise organik kirletici miktarı düşük konsantrasyonlara getirilen atıksuyun sisteme verilmesi ile sistemin nitrifikasyona yönelik olarak işletilmesi planlanmıştır. DAS'ta kullanılan dolgu malzemesi mermer taşı, kum ve çakıldır. DAS'ın dolgu malzemesi özellikleri ve sistemi besleyen atıksu karakteri, azot giderimi yanında fosfor giderimini de sağlamıştır. Dolgu malzemesi mıdır olan YAS'da $PO_4^{3-}P$ giderimi genel olarak %20'nin altındadır. YAS'da kısmi olarak ve dönem dönem gerçekleşen giderimin partiküllerin tutulmasından ve oluşan biyokütlenin fosforu kullanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Mermer taşının dolgu yatağı olarak kullanıldığı DAS'da ise sistemin işletilmeye başladığı ilk üç aylık dönemde Ağustos – Ekim 2007 %60 – 90 arasında giderim verimi elde edilmiş olup 4. aydan itibaren giriş– çıkış $PO_4^{3-}P$ konsantrasyonlarının aynı olduğu görülmüştür. Nisan – Temmuz 2008 döneminde %60 – 90 arasına çıkan giderim verimi görülmüştür. Ağustos – Kasım 2008 döneminde giderim verimi genel olarak %30'un altına düşmüştür. Aralık 2008'den Mart 2009'a kadar olan dönemde giderim oranı %10 ila 43 arasında değişmiştir. DAS'ta fosfat gideriminin YAS'a göre yüksek olması; fosfatın DAS'ta dolgu malzemesi olarak kullanılan kireç taşındaki kalsiyum katyonuyla çökmesi,

tutunması ve filtrasyon prosesinin gerçekleşmesi ile açıklanabilir. Bu durum, P adsorpsiyonunun, çok miktarda kalsiyum içeren alkali sulak alanda en yüksek olması bilgisi ile desteklenmektedir. Kalsiyum çözünebilir fosfor ile yüksek pH'ta reaksiyona girerek hidroksiapatit oluşturur ve çöker. (Stumm ve Morgan, 1981; Dağlı, 2005) Yine bilindiği üzere Ca, Fe, Al gibi metal oksitlerin mevcudiyeti adsorpsiyon ve çökelme mekanizmaları ile dolgu malzemesinin fosfor giderim kapasitesini artırmaktadır.(Sakadevan ve Bavor, 1997) Bu nedenle DAS'da yüksek oranda meydana gelen fosfor gideriminin, mermer taşının içeriğinde bulunan CaO'in etkili olması olarak açıklanabilmektedir. DAS'ta gerçekleşen fosfor giderimindeki diğer bir payın, ilk ekim yapılan tarihten itibaren gelişim gösteren bitkilere ait olduğu düşünülmektedir. YAS'ta ise sistem kurulduktan sonra ekilen, bitkiler, ilk olarak ham atıksu ile beslendikleri için kuvvetli bir organik madde ve besi maddesine maruz kalarak canlılıklarını yitirmişlerdir. Bu nedenle sisteme ikinci defa bitki ekilmiştir. İkinci ekimde ise sistem hidrolığının yetersiz olması nedeni ile bitkiler yeterince gelişmemişlerdir. YAS'ta kullanılan dolgu malzemesinin (mıcır) fosfor gideriminde yetersiz olması ve bitkilerin sistemde yeterince gelişmemeleri nedeni ile YAS'taki fosfor giderimi DAS'a göre düşük olmuştur.

2.2. Kimyasal Çöktürme İle Fosfor Giderimi

2.2.1. Fosfat Çökeltiminin Kimyası

Kimyasal fosfor giderimi atıksuya az çözünür fosfat çökeltisi formunda çok değerlikli metal iyonu tuzlarının eklenmesiyle gerçekleştirilir. En yaygın kullanılan çok değerlikli metal iyonları kalsiyum (Ca (II)), alüminyum (Al (II)) ve demir (Fe (III)) dir. Polimerler yoğunlaştırmaya yardımcı olarak alüm ve kireçle birlikte kullanılırsa etkili sonuçlar elde edilebilir. Çünkü kalsiyum ile fosfat çökeltimi kimyası alüminyum ve demir ile çöktürmeden oldukça farklıdır.

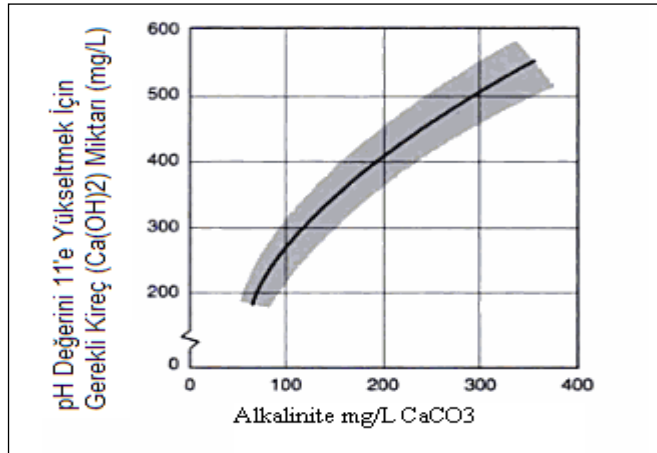
Kalsiyum ile Fosfat Çöktürülmesi:

Kalsiyum genellikle kireç formunda (Ca(OH)_2) eklenir. Daha önceki eşitliklerden anlaşılabacağı üzere kireç suya ilave edildiğinde CaCO_3 ' ı çöktirmek için doğal bikarbonat alkalinitesiyle reaksiyona girecektir. Aşağıdaki eşitlikte gösterileceği

üzere atıksudaki pH değeri 10'u geçtiğinde fazla kalsiyum iyonları hidroksilapatiti $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ çöktürmek için fosfatla reaksiyona girecektir.



Atıksu alkalinitesiyle kirecin reaksiyonu sebebiyle gerekli kireç miktarı genellikle mevcut fosfat miktarından bağımsız olup, öncelikle atıksudaki alkaliniteye bağlı olacaktır. (Şekil 2.16) Atıksulardaki fosforu çöktürmek için gerekli kireç miktarı tipik olarak yaklaşık CaCO_3 olarak ifade edilen toplam alkalinitenin 1,4 ya da 1,5 katı kadardır. Fosfatı çöktürmek için yüksek pH değerleri gerekir. Birlikte çöktürme genellikle uygun değildir. Kireç ham atıksuya ya da ikincil arıtmadan çıkan suya ilave edilirse genellikle bir sonraki arıtmadan önce pH ayarlaması gerektirir. pH değerini düşürmek için karbondioksit ile rekarbonizasyon kullanılır.



Şekil 2.16 Arıtılmamış Atıksu Alkalinitesinin Bir Fonksiyonu Olarak pH'ı 11'e Yükseltmek İçin Gerekli Kireç Dozajı Miktarı

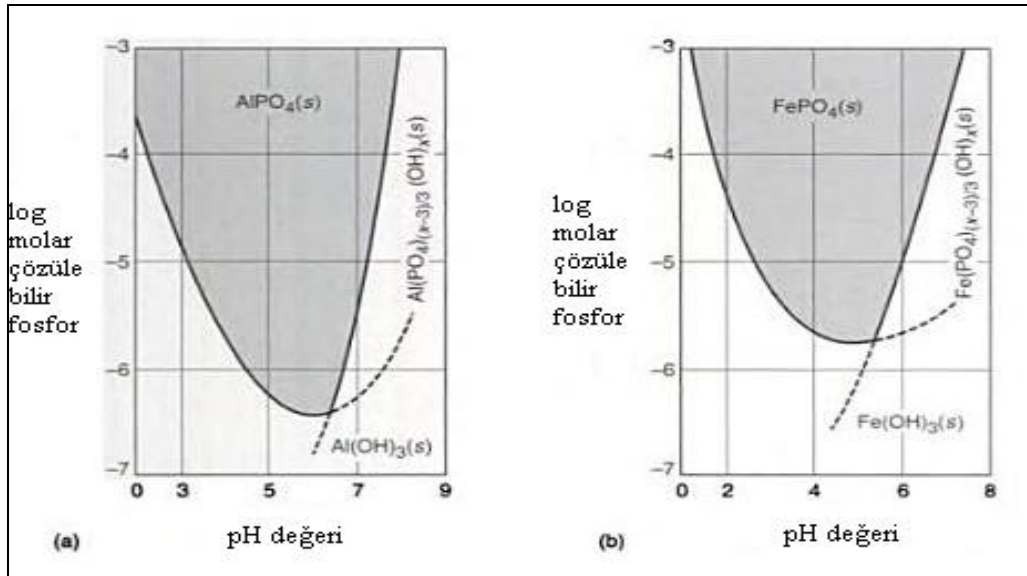
Alüminyum ve Demir İle Fosfat Çöktürülmesi:

Alüminyum ve demir ile fosfat çöktürülmesindeki temel eşitlikler aşağıda verilmektedir.



Bir mol alüminyum ya da demir bir mol fosfatı çöktürecektir. Bununla birlikte bu reaksiyonlar basit görülmekte olup, çoğu rakip reaksiyonun ve onların bağlı olduğu denge sabitleri ve alkalinitenin, pH'ın, iz elementlerin, ve atıksuda bulunan ligandların (merkezi atoma bağlı atom, molekül veya iyon) ışığında düşünülmelidir.

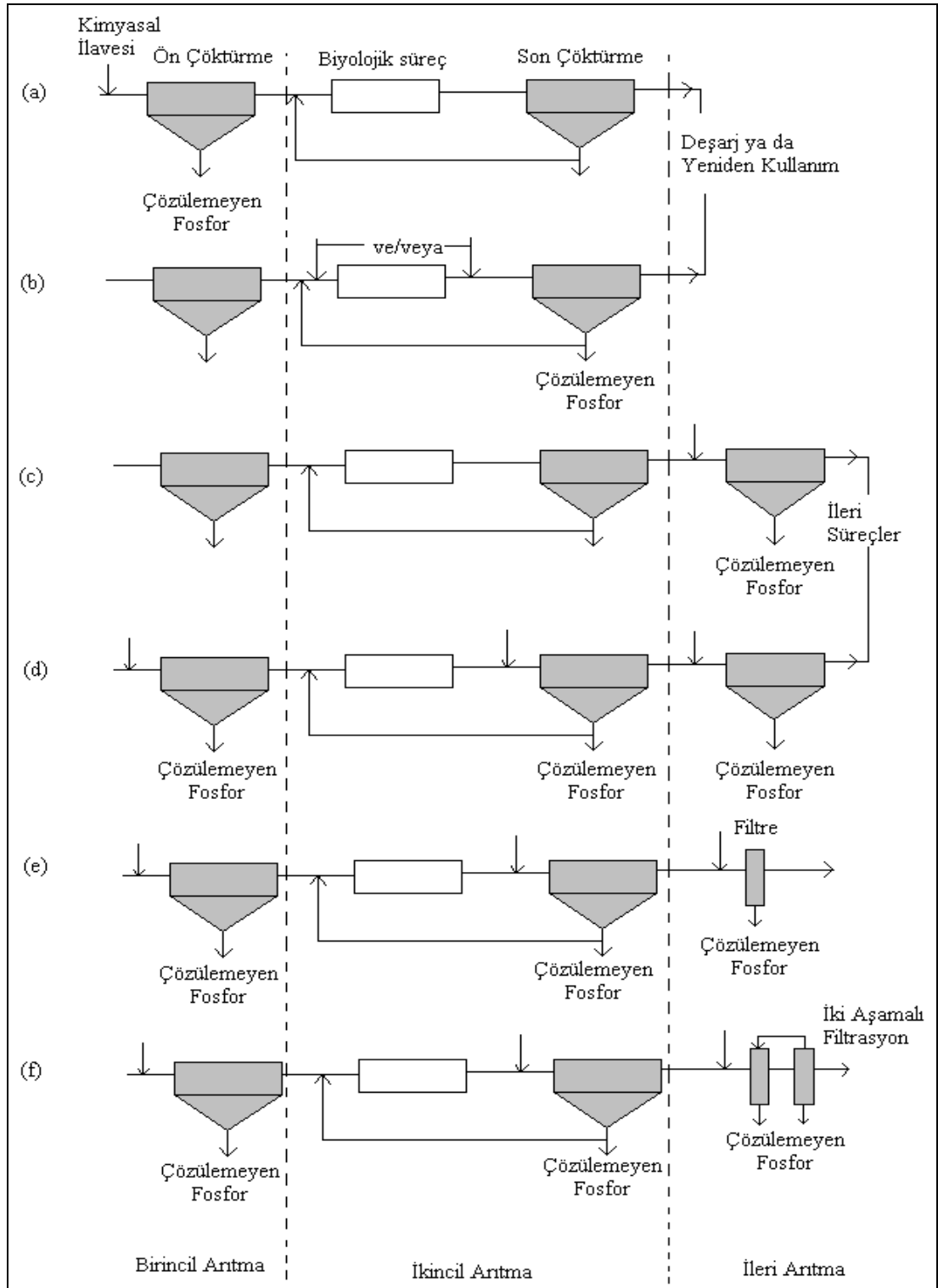
Çoğu karşı eşitlik sebebiyle yukarıdaki eşitlikler gerekli kimyasal dozajı miktarını belirlemede direkt olarak kullanılmayabilir. Bu sebeple dozaj miktarları laboratuvar ölçekli testlere dayanılarak, bazen ise özellikle polimer kullanılıyorsa tam ölçekli testlere dayanılarak belirlenir. Örneğin AL (III) , Fe (III) ve fosfatın eşmolar ilk konsantrasyonları için çözülemez AlPO_4 ve FePO_4 'ın her ikisiyle dengede çözülebilir fosfatın toplam konsantrasyonu aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Katı çizgiler çökelmeden sonraki çökelen çözülebilir fosfat konsantrasyonunu belirtir. Zayıf metal fosfatları dolgu bölgede çökeltir ve karışık kompleks polinükleer türler daha yüksek ve daha düşük pH değerleri doğrultusunda şekil alır.



Şekil 2.17 Çözülebilir Fosforla Dengedeki Alüminyum ve Ferik Fosfat Konsantrasyonu a) Al(III)-fosfat b) Fe(III)-fosfat

2.2.2. Kimyasal Fosfor Giderimi İçin Stratejiler

Atıksulardan fosforun çöktürülmesi akış diyagramında birkaç farklı noktada olabilir. Fosforun giderilebileceği genel noktalar önde çöktürme, birlikte çöktürme ve sonrasında çöktürme olarak sınıflandırılabilir. (Sedlak,1991)



Şekil 2.18 Fosfor Giderimi için Alternatif Kimyasal Ekleme Noktaları

- (a) Ön Çöktürmeden Önce (b) Biyolojik Arıtmadan Önce ve Sonra
(c) İkincil Arıtmadan Sonra (d-f) Süreçte Birkaç Noktada

Fosfor giderimi için kullanılacak kimyasal seçimini etkileyen faktörler aşağıda verilmektedir.

- Giriş fosfor miktarı
- Atıksudaki askıda maddeler
- Alkalinite
- Kimyasalların maliyeti
- Kimyasalların bulunabilirliği
- Oluşan çamur miktarı
- Nihai uzaklaştırma imkanı
- Diğer arıtma üniteleri ile uyumluluğu

Fosforun çöktürülmesi değişik kademelerde olabilir.

Önde Çöktürme:

Ön çöktürme havuzunda kimyasal ilavesi yapılarak fosforun çöktürülür. Çökelen fosfor çamurla birlikte sudan uzaklaştırılmış olur.

Birlikte Çöktürme:

Kimyasal ilavesi bazen de ön çöktürme havuzundan sonra veya aktif çamur ünitesinin içinde olabilir. Ayrıca son çökeltme havuzunun önünde biyolojik arıtma prosesinin çıkışında da olabilir.

Sonda Çöktürme:

Kimyasal ilavesi son çöktürme havuzu çıkış suyuna yapılır. Ve bu durumda çıkışta ayrı bir çökeltim havuzu ile ya da filtrasyon ilavesi ile çökelen fosfat çamurları giderilebilir.

Metal Tuzları ve Polimerler Kullanılarak Fosfor Giderimi:

Polifosfatlar ve organik fosfor, ortofosfatlardan daha zor giderilir. Organik fosforla polifosfatın ortofosfata dönüştürüldüğü yer olan ikincil arıtmadan sonra alüminyum ve demir tuzlarının ilavesi en iyi sonucu verir. Daha iyi çökeltme sebebiyle bazı ilave azot giderimi olur. Fakat gerçekte ön arıtmaya kimyasal ilavesi nitrifikasyonun olabileceği noktalarda BOİ yükünü azaltmadıkça amonyak giderilmez.

Arıtma sürecinde farklı noktalara metal tuzlarının ve polimerlerin ilavesinin birkaç önemli özelliği aşağıda belirtilmektedir.

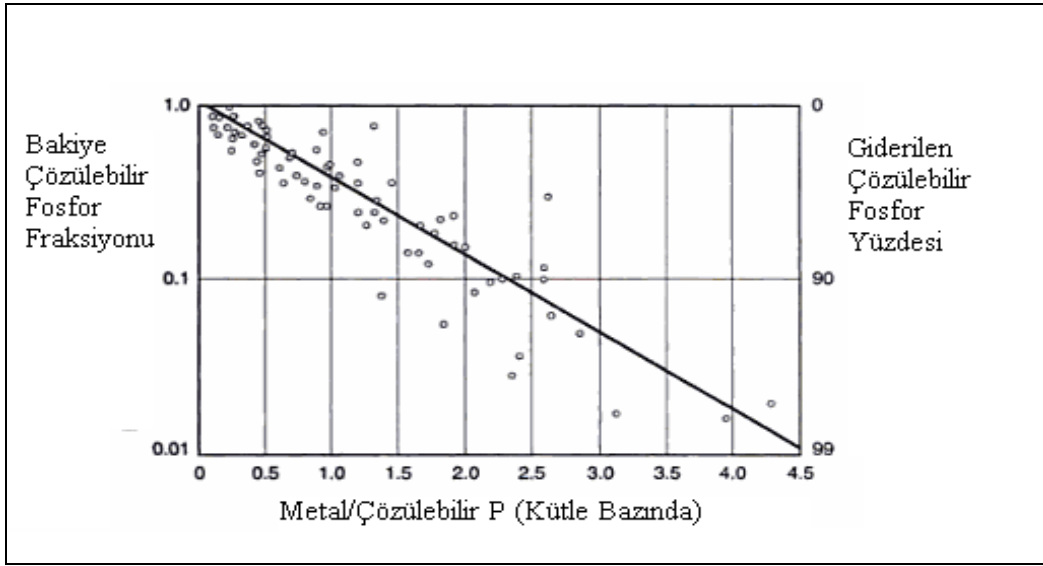
Ön Çökeltme Ünitesine Metal Tuzlarının İlavesi:

Arıtılmamış atıksuya alüminyum ve demir tuzları ilave edildiğinde bir çökelti elde etmek için çözülebilir ortofosfatla reaksiyona gireceklerdir. Organik fosfor ve polifosfatlar daha kompleks reaksiyonlarla ve flok partiküllerinin üzerine tutunarak giderilirler. Çözünmez haldeki fosfor, epeyce miktarda BOİ ve AKM'de de olduğu gibi sistemden ön çökeltme çamuruyla giderilir. Ayrı havuzlar sağlandığı ya da mevcut havuzların bu fonksiyonları sağlamak için modifiye edilip edilmediğine bakılmaksızın, yeterli ön karıştırma ve flokülasyon ön işlemlerin akışında gereklidir. Çökelmede yardımcı olması için polimer ilavesi gerekebilir. Düşük alkaliniteli sularda pH 5 ila 7 arasında olması için bazen baz ilavesi gerekli olur. Alüm genellikle 1,4-2,5 molAL/mol P aralığında bir molar oranında uygulanır. (Tablo 2.6) Demir klorür için molar oranlar Şekil 2.19'da gösterilmektedir. Tam uygulama oranı saha testleriyle belirlenir ve atıksuyun karakteristiği ile istenilen fosfor giderimine göre değişir.

Tablo 2.6 Farklı Oranlarda Fosfor Giderimi için Gerekli Tipik Alüm Dozajları*

Fosfor giderimi (%)	Mol oranları, Al:P	
	Aralık	Tipik Değer
75	1,25:1–1,5:1	1,4:1
85	1,6:1–1,9:1	1,7:1
95	2,1:1–2,6:1	2,3:1

*U.S.EPA (1976) değerlerinden geliştirilmiştir.



Şekil 2.19 Demir Klorür İlavesi İle Çözülebilir Fosfor Giderimi

İkincil Arıtmaya Metal Tuzu İlavesi:

Metal tuzları aktif çamur havalandırma havuzunda ya da son çökeltim giriş kanalında arıtılmamış atıksuya ilave edilebilir. Damlatmalı Filtre sistemlerinde tuzlar arıtılmamış atıksulara ya da filtre çıkış suyuna ilave edilir. Çoklu noktalarda ilave yapılabilir. Teorik olarak oluşan $AlPO_4$ için minimum çözünürlüğün pH 6,3 civarında ve $FePO_4$ için ise bu değerin pH 5,3 civarında gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Fakat pratik uygulamalarda iyi bir fosfor giderimi için pH'ın 6,5–7 civarında olması gerektiği gözlemlenmektedir. Demir tuzlarının kullanımı sınırlıdır. Çünkü sadece yüksek pH değerlerinde düşük fosfor seviyeleri üretirler. Düşük alkaliniteli sularda ya sodyum aluminat ve alüm ya da demir artı kireç veya her ikisi 5,5'ten daha yüksek pH elde etmek için kullanılabilir. İyileşmiş çökeltme ve daha düşük çıkış suyu BOİ'si kimyasal ilavesinden, özellikle son çökeltim havuzuna polimer ilavesinden kaynaklanır. Genellikle dozajlar 1-3 metal /P'dir.

Son Çökeltme Ünitesine Metal Tuzları ve Polimer İlavesi:

Damlatmalı filtre ve uzun havalandırma aktif çamur gibi belli durumlarda katılar yumaklaşmayabilir ve iyi çökelmeyebilir. Bu çökeltme problemi aşırı yüklenmiş tesislerde anlık olabilir. Alüminyum ve demir tuzlarının ilavesi metalik hidroksitlerin ya da fosfatların veya her ikisinin çökeltmesine sebep olacaktır. Alüminyum ve demir tuzları organik polimerle birlikte koloidal maddeleri koyulaştırmak ve filtrelerdeki

giderimi iyileştirmek için kullanılır. Koagülasyon sonucu oluşan kolloid ve çökeltiler son çökeltim ünitesinde çıkış suyunda AKM değerini azaltarak, fosfor giderimini etkileyerek kolaylıkla çökelecektir. Çıkış suyundaki fosfor konsantrasyonu 0,5 mg/L'den daha yüksekse alüminyum ve demir tuzları genellikle 1-3 metal /P oranında ilave edilir. 0,5 mg/L'den daha düşük P konsantrasyonları elde etmek için daha yüksek metal tuzu dozajlarına ve filtrasyona ihtiyaç duyulur. Polimerler yüksek karışımli bölgeye ya da içsel geri devredilmiş çökeltilmiş suya, statik ya da dinamik karıştırıcının öncesine veya havalandırılmış kanala eklenebilir. Polimerler için 10-30 saniyelik karıştırma zamanları kullanılmasına rağmen daha kısa karıştırma zamanları tercih edilir. (tipik olarak 10 sn.'den az) Polimerler yetersiz ya da aşırı karıştırmaya maruz bırakılmamalıdır. Çünkü daha önce belirtildiği gibi zayıf çökeltme ve yoğunlaşma karakteristikleriyle sonuçlanan prosesin verimliliği azalacaktır.

Kireç Kullanılarak Fosfor Giderimi

Fosfor giderimi için kireç kullanımı; metal tuzlarıyla karşılaştırıldığında çamur kütlesinde önemli bir artış meydana getirdiği ve taşıma, depolama, kireç beslemesi gibi işletme ve bakım problemleri oluşturduğu için düşüşe geçmiştir. (U.S. EPA,1987) Kireç kullanıldığında dozaj miktarını kontrol eden belli başlı değişkenler, gereken giderim derecesi ve atıksuyun alkalinitesidir. İşletme dozajı sahada yapılacak testlerle belirlenmelidir. Kireç alışıldığı gibi ya ön çökeltim tanklarında ya da son çökeltim tankına müteakip kullanılır. Kireç rekalsinasyonu kimyasal maliyetleri düşürmesine rağmen sadece büyük ölçekteki tesislerde uygun görülmektedir. Kireç geri kazanım sistemleri verimli maliyetli işletme için gereklidir. Bu sistemlerde 980 °C (1800 °F) 'e ısıtarak çamurun içindeki kalsiyum karbonatı kirece dönüştüren termal rejenerasyon faaliyeti gerçekleşir. Bu prosesden kaynaklanan karbondioksit ya da öteki baca gazları (%10-15 CO₂ içeren) atıksuyun pH ayarlaması için rekarbonizasyon kaynağı olarak kullanılır.

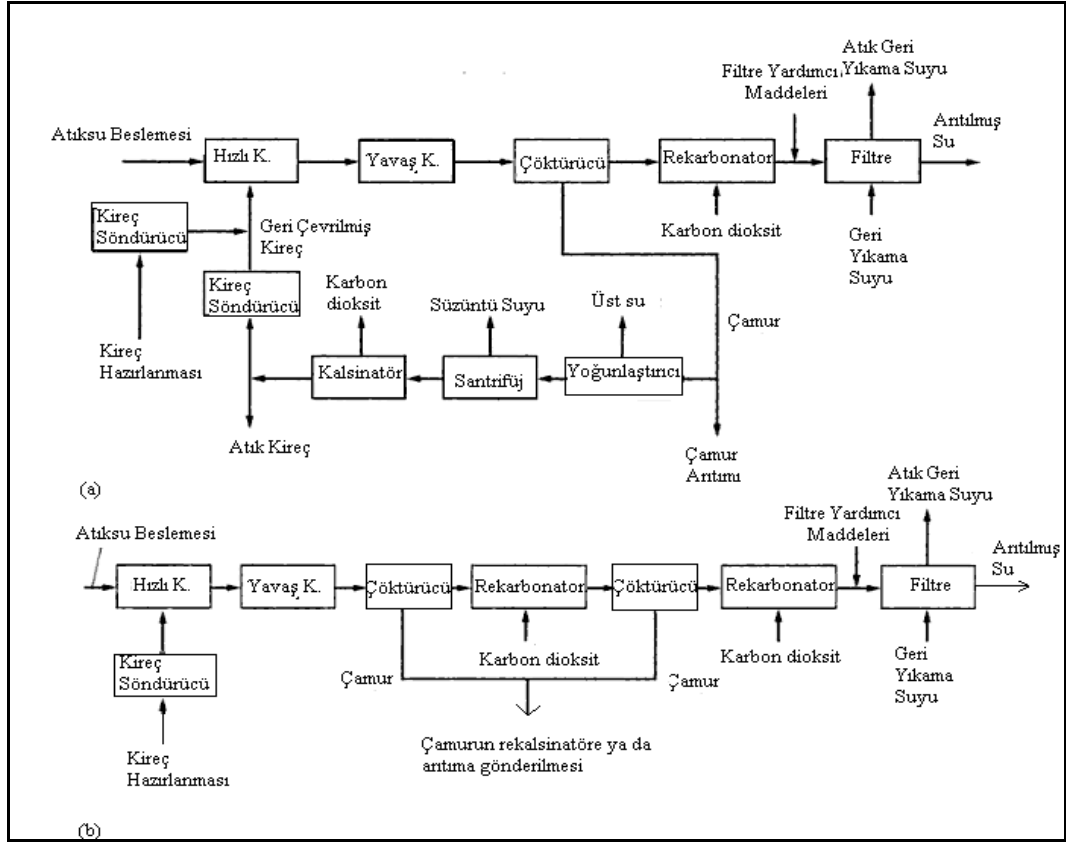
Ön Çökeltim Tanklarına Kireç İlavesi:

Düşük ve yüksek kireçli arıtım bir kısım fosforu (genellikle %65-80) çöktürmek için kullanılabilir. Kireç kullanıldığında, kalsiyum ve hidroksit çözülemez hidroksiapatit (Ca₅(OH)(PO₄)₃) oluşturmak için ortofosfatla reaksiyona girer. Kimyasal ilave edilebilen çıkış suyu filtrasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesiyle 1mg/L kalıntı fosfor seviyesi elde edilebilir. Yüksek kireçli sistemlerde pH'ı 11'e yükseltmek için

yeterli kireç ilave edilir. (Şekil 2.16) Çökeltmeden sonra çıkış suyu biyolojik arıtma öncesinde recarbonize edilmelidir. Aktif çamur sistemlerinde ilk çıkış suyu pH değeri 9,5-10'u geçmemelidir. Yüksek pH değerleri biyolojik aktiviteyi bozar. Damlatmalı filtre prosesinde genel arıtma süresince üretilen CO₂, rekarbonizasyon olmaksızın pH değerini düşürmek için yeterlidir. Düşük kireç sistemleri için dozaj genellikle 8,5-9,5 pH değerlerinde Ca(OH)₂ olarak 75-250 mg/L aralığında değişir. Bununla birlikte; düşük kireç sistemlerinde çökeltme için gerekli koşullar daha fazla özelleştirilmiştir. Ca²⁺/Mg²⁺ mol oranı ≤ 5/1. (Sedlak,1991)

Biyolojik Arıtmanın Ardından Kireç İlavesi:

Fosfor ve AKM seviyelerini azaltmak için biyolojik arıtmanın ardından atık hattına kireç eklenebilir. Kireç ilavesi için tek kademeli proses ve iki kademeli proses akış diyagramları Şekil 2.20'de gösterilmektedir. Şekil 2.20 (a)'da görüldüğü gibi tek kademeli kireç çöktürme prosesi ikincil arıtım çıkış suyunun arıtılmasında kullanılır. Şekil 2.20 (b)'de gösterilen iki kademeli prosesin ilk kademe çöktürmesinde, fosforu bazik kalsiyum fosfat(apatit) olarak çöktürmek için pH'ı 11 üzerine yükseltecek kadar kireç ilave edilir. Proseste ki çökelen kalsiyum karbonat formu AKM gideriminde koagülant olarak rol alır. Fazla çözülebilir kalsiyum, pH değerini yaklaşık 10' a düşürmek için karbondioksit gazı kullanılarak, ikinci kademe çöktürücüde kalsiyum karbonat şeklinde giderilir. Genellikle oluşum kademesini azaltmak için ikinci kademe çıkış suyuna ikinci bir karbondioksit enjeksiyonu vardır. Arta kalan AKM ve fosforu gidermek için ikincil arıtma çıkış suyu çoklu yataklı filtreden ya da membran filtreden geçirilir. Filtre ortamının katılaşmasını önlemek için filtre beslemesindeki kalsiyum miktarını sınırlamaya dikkat edilmelidir.



Şekil 2.20 Fosfor Giderimi İçin Tipik Kireç Arıtım Prosesi Akış Diyagramları

(a) Tek Kademeli Sistem (b) Çift Kademeli Sistem

Çıkış Suyunun Filtrasyonu ile Fosfor Giderimi:

Çıkış suyu filtrelerinin performansını iyileştirmek için, çökeltilmiş ikincil arıtma çıkış suyu kalitesine bağlı olarak kimyasal ilave edilir. Kimyasal ilavesi spesifik arıtma hedefleri içinde kullanılır. (Örn; fosfor, metal iyonları, humik maddeler) İki kademeli bir filtrasyon prosesinin fosfor gideriminde etkili olduğu kanıtlanmıştır. Tam ölçekli tesislerden alınan verilere göre filtrelenmiş çıkış suyundaki fosfor değerleri 0,02 mg/L ya da daha düşük elde edilmektedir. Düşük fosfor değerleri elde etmek için, küçük partiküller ve kalıntı koagülanlar içeren ikinci filtreden kaynaklanan geri yıkama suyu, ilk kademe filtrede flok oluşumunu iyileştirmek için ilk filtreye geri devredilir.

Kimyasal Fosfor Giderim Proseslerinin Karşılaştırılması:

Arıtma sistemlerinde çeşitli noktalarda kimyasal ilavesi ile fosfor giderimin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 2.7 Kimyasal Fosfor Giderim Proseslerinin Karşılaştırılması

Arıtma Kademesi	Avantaj	Dezavantaj
Ön Çöktürme Ünitesi	Birçok arıtma tesisinde uygulanabilir; BOİ ve AKM giderimi de sağlanır; çok az metal kaçıışı vardır; kireç geri eldesi mümkündür.	Giderim düşüktür; polimerlere ihtiyaç duyulabilir; birincil çamurdan daha zor susuzlaştırılan bir çamur oluşur.
Aktif Çamur / Son Çöktürme Ünitesi	Düşük maliyet; ön çöktürmeye kıyasla düşük kimyasal dozu; iyileştirilmiş aktif çamur stabilitesi; polimere gerek yok.	Aşırı dozda metaller pH toksisitesine sebep olabilir; Alkalinitesi düşük sular için pH kontrol sistemlerine gerek vardır; aşırı pH sebebiyle kireç kullanılmayabilir; aktif çamur karışık sıvıya inert katılar eklenmesi ve uçucu katı yüzdesinin azalması
İleri Çöktürme	Düşük fosforlu çıkış suyu, kireç geri kazanımı, kimyasalın kullanımı verimli	Yüksek işletme maliyeti, çıkış suyunda yüksek metal kaçakları
İleri Tek ve Çift Kademeli Filtrasyon	Düşük masraflar artakalan askıda katı maddelerin giderilmesi ile birleştirilebilir.	Özellikle iki basamaklı filtrasyon sistemi için ilave masraf

Fosfor Çöktürülmesiyle Oluşan Çamurun Miktarı:

Ön çökeltme ünitesine kimyasal dozlanması ile gerçekleşen ilave BOİ ve AKM giderimleri, aşağı akıştaki biyolojik sistemler üzerine aşırı yükleme problemlerini çözebilir ya da biyolojik sistem dizaynına bağlı olarak mevsimsel-yıl boyunca nitrifikasyona izin verebilir. Ön çökeltim tankında pH 9,5'ta %50-60 BOİ giderimi mümkündür. Birincil çamur miktarı önemli bir şekilde artacaktır. Gerek kireç ve gerekse diğer kimyasalların kullanımı neticesinde oluşacak çamur tür ve miktarını veren kimyasal reaksiyonlar Tablo 2.8'de verilmiştir.

Reaksiyonlar	Çamurdaki Kimyasal Türler
Kireç CaCO_3	
1. $10\text{Ca}^{2+} + 6\text{PO}_4^{3-} + 2\text{OH}^- \leftrightarrow \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$
2. $\text{Mg}^{2+} + 2\text{OH}^- \leftrightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2$	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
3. $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \leftrightarrow \text{CaCO}_3$	CaCO_3
Alüm , Al (III)	
1. $\text{Al}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} \leftrightarrow \text{AlPO}_4$	AlPO_4
2. $2\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- \leftrightarrow \text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Al}(\text{OH})_3$
Demir Fe (III)	
1. $\text{Fe}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} \leftrightarrow \text{FePO}_4$	FePO_4
2. $\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^- \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$

Tablo 2.8 Fosforun Kireç, Alüm Ve Demir İle Çöktürülmesi Sürecinde Üretilen Çamur Miktarının Belirlenmesinde Gerekli Reaksiyonlar

2.3.Fosfor Geri Kazanımı

Atıksu, arıtma çamurları ve hayvansal gübrelerde bulunan fosfor elementinin ekonomik bir değeri olduğundan bu maddenin geri kazanılması konusunda yapılmakta olan bilimsel çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Bu amaçla atıksu ve gübrelerde bulunan fosforlar, hidroliz neticesi ortofosfatlara dönüştüğü biyolojik aşama sonrasında, askıda katı maddesinden ayrılan suyun içerisine kalsiyum ve magnezyum toprak alkali metal tuzları veya başka metal tuzları ilave edilerek tortu halinde kimyasal olarak çökeltilmektedir. Çökelen bu fosfat bileşikleri maden ocaklarından çıkartılan fosfat kayaçları ile benzer nitelikte olup, katı halde taşınmaya ve endüstride tekrar kullanılmaya uygunluk göstermektedirler. Bu katı formlar çoğunlukla apatit (kalsiyum fosfat) veya struvit (magnezyum amonyum fosfat) kimyasal bileşikleridir. Struvit, gerek endüstriyel kullanıma ve gerekse gübre olarak kullanıma daha fazla uygunluk göstermektedir. Ancak struvit presipitasyonunda magnezyumun ilave edilmesi gerekliliği, apatit elde edilmesinde kullanılacak kalsiyuma (kirece) kıyasla ekonomik açıdan daha dezavantajlı olmaktadır. (Yiğit, 2003) Aşağıda bazı fosfor geri kazanım yöntemleri verilmektedir.

DHV Kristal Reaktörü

Bu proses kaskatlı gaz uçurma bölgesi, akışkan yataklı reaktör ve seri bağlı 2 adet basınçlı filtreden oluşmaktadır. Kaskatlı gaz uçurma aşamasında giriş suyuna konsantre sülfürik asit (%96lık) ilave edilerek CO₂ uzaklaştırılır. Proses, kalsiyum fosfat kristallerinin tipik olarak kuma benzer yapıda tohum granülleri üzerinde kristal oluşturmalarını sağlayan akışkan yataklı bir reaktörde gerçekleşir. İşletim sırasında tanecikler istenilen boyuta ulaşınca kadar büyümeleri sağlanır ve müteakiben uzaklaştırılırlar ve yerlerine daha küçük çaplı yeni kum beslemesi yapılır. Bu durum, sürekli akışlı işletim ve düzgün akış sağlar. Bazı şekilsiz (amorf) fosfat bileşikleri reaktör çıkışında üst su içerisinde askıda halde deşarj olurlar. Bu durum fosfat giderim veriminde düşüğe neden olur. Nihai çıkış suyunda düşük fosfat deşarj konsantrasyonlarını sağlamak için üst sudan gelen fosfatlar iki tabakalı (antrasit/kum) filtrasyon ünitesinin başına devrettirilerek uzaklaştırılır.

RIM-NUT İyon Değiştirici Prosesi

Rim-Nut patentli iyon değiştirici prosesi, ileri arıtma sonucunda oluşan magnezyum amonyum fosfat içeren atıksulardan fosfat ve amonyak iyonlarını giderir. Proses iki katyonik reçine kolonu, iki anyonik reçine kolonu ve nütrient çöktürme aşaması olmak üzere üç aşamadan oluşur. Biyolojik arıtmadan gelen atıksuyun pH değeri, sıcaklığı ve debisi (rotametre ile) kontrol edildikten sonra prosese girer. Doğal katyonik zeolit reçineler kullanılarak fosfat iyonları giderilir. Fosfatların en fazla bulunduğu üst su, struvit presipitasyonu için çöktürme ünitesine gönderilirken dip tortusu uzaklaştırılır.

Unitika Phosnix Prosesi

Bu proses, tipik uygulamalarda fosforca zengin çamur çürütücülerden, fermentasyon ünitelerinden, endüstriyel atıksulardan ve biyolojik nütrient giderim sistemlerinden gelen ve konsantre halde fosfat içeren atıksular için uygulanmaktadır. Kolonun tabanında bulunan hava üfleyicileri yardımıyla reaktör muhteviyatının tam karışımı olmasıyla partiküllerin askıda büyümesi sağlanır. Kristaller, kulenin tabanına çökelinceye kadar büyümeye devam ederler. Kulenin dibine çökelen kristaller belli aralıklarla uzaklaştırılır.

Kurita Sabit Yataklı Kristalizasyon Kolonu

Bu proste etkin kimyasal süreçler DHV kristal reaktöründe gerçekleşen süreçlere benzerdir. Bu proste çamur üretimi olmaksızın fosfat taşları ile beslenen kum kullanılarak evsel atıksuların biyolojik arıtımından gelen fosfatlar uzaklaştırılır. Biyolojik arıtmadan gelen üst sular kolonun tabanından üniteye girer ve yukarı akış yönünde hareket eder. Fosfatlardan arınmış üst su kolonu üstten terk eder. Granül reaktörün çıkışında fosfor konsantrasyonu çökelen kalsiyum fosfatın çözünürlüğüne bağlı olarak değişir.

CSIR Akışkan Yataklı Kristalizasyon Kolonu

Kristal çekirdek oluşumu ve büyüme, kimyasal esaslar bakımından DHV kristal reaktörüyle benzerlik gösteren laboratuvar ölçekli bir uygulamadır. çözültiden kristallerin oluşumu biçiminde çekirdek oluşturma ve kristal yüzeyi üzerinde ve kafes içine iyon taşınması biçiminde büyüme olarak iki proses içerisinde değerlendirilir.

2.4. Atıksulardan Fosfor Giderimi Üzerine Son Gelişmeler

Fosforun uzaklaştırılması ve geri kazanımı amacıyla geliştirilen birçok teknoloji, laboratuvar, pilot ve tam ölçek uygulamaları içeren önemli miktarda çalışmalara rağmen henüz yaygın olarak uygulama alanı bulamamıştır. Aşağıda son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalara örnekler verilmektedir.

- Karapınar (2003) manyetik aşılama tekniği kullanarak atık sulardan fosfatın uzaklaştırılmasında manyetik ayırma yönteminin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Yapılan çalışmaya göre; manyetik fosfat uzaklaştırılması, gerek kimyasal gerekse cevher olarak hazırlanan ve kuvvetli manyetik özellik taşıyan aşı malzemesinin kullanımını gerektirir. Manyetit minerali, kuvvetli manyetik özelliği ve uygunluğu nedeniyle en yaygın kullanılan manyetik aşı malzemesidir. Fosfatın manyetik olarak uzaklaştırılması, oluşan fosfat çöktürücülerin, manyetik aşı malzemesi ile aşılınması, bir başka deyişle fosfatın aşı malzemesi üzerine yüklenmesi temeline dayanır. Ayırımın başarısı, aşılama işleminin etkinliğine bağlıdır. Bu çalışmada da, manyetit tarafından aşılınmış sularda, fosforun kalsiyum fosfat olarak çökmesi ve aşı

malzemesi üzerine yüklenmesi incelenmiş, etkili mekanizmaların ve optimum koşulların belirlenmesi hedeflenmiştir. Çözelti pH'ının gerek çökelek oluşumunda gerekse bunun manyetik olarak uzaklaştırılmasında önemli bir parametre olduğu, pH'ın bu etkisinin temelde, çözeltinin, çökelek oluşumu gerçekleştirilecek katı faza göre doygunluk derecesini belirleyen önemli parametre olmasından kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Doygunluk indeksi (SI) ile çözeltide oluşan çökelek miktarının manyetik olarak uzaklaştırılan oranı arasında 2. dereceden polinom bir ilişki olduğu bulunmuş, aşırı doymuş çözeltilerde, homojen çekirdeklenme kaçınılmaz olduğundan, toplam kalsiyum fosfat çökeleği miktarı artmasına karşın, bunun manyetik tarafından uzaklaştırılan oranının azaldığı tespit edilmiştir. Fosfatın manyetik olarak uzaklaştırılmasını sağlayacak heterojen çekirdeklenme ve büyüme daha düşük aşırı doymuşluk derecelerinde gerçekleşmektedir.

- Li v.d. (2003) yılında biyofilm ardışık kesikli reaktör üzerinde çalışma yaptılar. Dolgu oranı%30 olan lifli materyal üzerinde oluşturulan biyofilm tabakası fosfor gideriminde etkili oldu. Anaerobik 3 saat, aerobik faz 6 saat olmak üzere toplam hidrolik bekleme süresi 9 saattir. 1 kg KOİ/m³/gün KOİ yüklemesinde yaklaşık %90 fosfor %57 azot giderme verimleri elde ettiler. Kuru biokütledeki fosfor içeriği %5,67 değerindeydi. Biyofilm üzerindeki baskın bakteri muhtemelen fosfor gideriminden sorumlu Pseudomonas, Aeromonas ve Bacillus türleriydi.

- Önel (2003) İzmir Büyükşehir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi'nde fosfor giderme mekanizmasını gözlemledi. Üç farklı test uygulandı. Birinci testin amacı Ağustos ve Eylül 2002'nin belli tarihlerinde, sıvı içindeki fosfor konsantrasyonlarına dayanarak, fosfor salınım ve alım mekanizmasını gözlemlemektir. İkinci testin amacı Kasım 2002'nin belli tarihlerinde, sıvı içindeki ve karışık sıvı askıda katı madde konsantrasyonu içindeki fosfor konsantrasyonlarına dayanarak, fosfor salınım ve alım mekanizmasını gözlemlemektir. Üçüncü testin amacı ise laboratuvar ölçeğinde basit bir reaktörde fosfor salınım ve alım mekanizmasını gözlemlemektir. İlk testte Bio-P tankında ortalama çözünmüş oksijen 0,7 mg/L ve nitrat 0,79 mg/L olarak tespit edildi. Bu değerler anaerobik tankta fosfor salınımına engel olarak değerlendirildi. Giriş atıksuyunda çözülebilir reaktif fosfor değeri ortalama 3,67 mg/L, Bio-P tankında 14,25mg/L, aerobik bölgede 3,25 mg/L, anoksik bölgede 6,86 mg/L ölçüldü. Bu ölçümler genelde literatürde bulunanların aksine, aerobik bölgeden

anoksik bölgeye geçildiğinde fosforun tekrar salındığını gösteriyordu. Çıkış çözülebilir reaktif fosfor ortalama değeri 1,63 mg/L, geri devir hattında ise bu değer 7,17 mg/L ölçüldü. Bu durum son çökeltim havuzunda ya da geri devir çamur toplama havuzunda anaerobik bir ortamın oluşmuş olabileceğine işaretledi. KOİ/P oranı yeterli olmasına rağmen ortalama fosfor giderim verimi %55,6'dı. Bunun nedeni Biyo-P tankında kolaylıkla biyolojik indirgenebilir KOİ değerinin düşük olması olabilirdi. İkinci testin amacı sıvı ve AKM içindeki fosfor konsantrasyonlarını gözlemlemektir. Biyo-P havuzunda maksimum nitrat değeri 5,26 mg/L, minimum değer ise 1,02 mg/L'dir. Giriş toplam fosfor konsantrasyonu ise çıkış değerinden daha yüksekti. Bunun sebebinin son çökeltim tankında çamurdan sıvıya fosfor kaçışlarının, çamur arıtım ünitelerinin verimsiz çalıştırılmasının, atıksuda besin eksikliğinin olabileceği ihtimalleri üzerinde duruldu. Başka bir tarihte ise yalnızca %8,5 fosfor giderimi vardı. Bu sonuçta nitrat değeri ne olursa olsun giderimi etkileyen çok farklı parametrelerin varlığına işaret ediyordu. Biyo-P tankında ve havalandırılmalı bölgede ortalama partikül fosfor konsantrasyonu ve ortalama AKM konsantrasyonu ölçüldü. Biyo-P tankında AKM başına partikül fosfor konsantrasyonu %0,33, havalandırılmalı bölgede %35 idi. Ayrıca yaz mevsiminde %55,6 fosfor giderimi kış mevsiminde %20,3 fosfor giderimi elde edildi. Üçüncü teste fosfor salınımı ve alınımı gözlemlemek için laboratuvar ortamında bir düzenek hazırlandı. Deneylerde besi maddesi ilave edilmediği halde fosfor giderim verimi iyileşti. UAKM başına partikül fosfor konsantrasyonu %0,34'ten %0,41'e yükseldi. 1 saatlik hidrolik bekleme süresine nazaran 2 saatlik hidrolik bekleme süresinde fosfor giderim verimi arttı.

- Shu v.d. (2005) atıksulardan strüvit (magnezyum-amonyumfosfat taşları, $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) geri kazanımı üzerine çalıştılar. $100 m^3$ anaerobik çürütücü üstsuyundan yaklaşık 1 kg strüvitin kristalleştirilebildiğini ve gübre olarak kullanılabileceğini belirttiler. Strüvitin geri kazanımıyla tesislerdeki kimyasal madde kullanımının, çamur üretiminin ve böylelikle çamur arıtım maliyetinin azalacağını, anaerobik çürütücü üstsuyundan kaynaklanan çözünmüş fosforun %90'ndan fazlasının strüvit olarak geri kazanılabileceğini ifade ettiler.

- Hernandez v.d. (2005) yaptıkları çalışmada, tuz çözeltisindeki 3-5 günlük açlık periyotlarının, iki mikroalg türü olan *C. Vulgaris* ve *C. Sorokiniana* üzerinde gelişim

ve fosfor absorblama kapasiteleri açısından önemli bir şekilde etkili olduğunu tespit ettiler.

- Gürtekin (2005) biri asetatla diğeri glikozla beslenen iki anaerobik/anoksik reaktör çalıştırdı. Asetatla beslenen reaktörde 12 saatlik hidrolik bekleme süresinde %87 fosfat giderme verimi ve 10 günlük çamur yaşında yine %87 verim elde etti. Glikozla beslenen reaktörde arıtma veriminin daha düşük olduğu kanısına vardı.

- Wang v.d. (2005) atıksuların arıtılmasında, kimyasal çöktürme ve akışkan yataklı biyofilm sistemini birlikte kullandılar. Akışkan yataklı biyofilm sistemine demir sülfat heptahidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) dozlamak fosfor gideriminde oldukça etkili bir metottu. Çalışmanın sonuçlarına göre; Avrupa Birliği standartlarında bir çıkış fosfor değeri eldesi için optimum Fe^{+2} dozu 1:1,3 (P/Fe) olmakla birlikte kimyasal çöktürme ve akışkan yataklı biyofilm sistemini birlikte kullanarak %89,1 TN %90,6 TP giderim verimi elde edilebilir.

- Liu, Chen ve Zhou (2006) tarafından yapılan çalışmalarda pH değerinin 6,4'ten 8'e yükselmesiyle çözülebilir ortofosfor giderim veriminin azaldığı ve PHB, PHV, toplam PHA ile glikojenin anaerobik-aerobik dönüşümlerinin azaldığı gözlemlendi. Laboratuar ölçekli çalışmalarda, pH değerinin 6,4-7,2 olmasının biyolojik fosfor giderim verimini optimum değerde sağladığı gözlemlendi.

- İrdemez v.d. (2006) alüminyum ve demir elektrotlar kullanılarak elektrokoagülasyonla fosfat giderimi üzerine, giriş fosfor konsantrasyonu ve akım yoğunluğunun etkilerini araştırdılar. Sonuç olarak giderim oranı ve verimleri düşünüldüğünde alüminyum elektrotu demir elektrotundan daha verimliydi.

- Hosni v.d. (2007) sentetik atıksulardan kalsiyum hidroksit ile fosfor gideriminde, giriş CA/P oranının etkisini ve çökeltme süresini araştırdılar. Yapılan çalışmaya göre; Ca/P molar oranının giriş pH değeri birbirinden bağımsız değillerdi. Ca/P 2,07 oranı için %98 fosfor giderildi. Optimum çökeltme süresi giriş Ca/P oranına bağlıydı. %98 fosfat giderimini ulaşmak için minimum 30 dakika çökeltme süresi yeterliydi.

Bununla birlikte $Ca/P < 0,8$ için %50 fosfor giderimi elde etmede 24 saatlik çökeltme süresi bile yeterli değildi.

- Baldan Pakdil ve Filibeli (2007) kentsel arıtma çamurundan fosforun geri kazanımı amacıyla model reaktörde çalışmalar yaptılar. Çalışma, çamur katı maddesindeki fosforun salınması ve struvit (MAP) olarak geri kazanılması olmak üzere iki kısımdan oluştu. Altı saatlik reaksiyon süresi sonunda %96,7 oranında fosfor, %52 oranında amonyum geri kazanıldı.

- Tuncal v.d.(2008) büyük ölçekli bir biyolojik aşırı fosfor giderimi sisteminin temel özelliklerini saha ve laboratuvar ölçekli araştırmalar ile irdediler. Oluşturulan kütle dengeleri ile aktif çamur içerisinde oluşan mikroorganizma oranları ve hücre içi P içeriği belirlendi. İncelemeler neticesinde fosfor depolayan bakteri (FDB) türlerinin sistemdeki kütle oranının %9 ile %34 arasında değiştiği tespit edildi. Daha önceki bilimsel çalışma sonuçlarını doğrular nitelikte, FDB'lerin hücre ağırlığının %32'si oranında, aşırı miktarda fosfor (P) depolayabilecekleri belirlendi. Buna ilave olarak, aktif çamur kültüründeki FDB kütle oranının artması ile birlikte sadece P giderim verimliliği değil aynı zamanda karbon (C) ve azot (N) giderim hızlarının da önemli ölçüde artabileceği saptandı. Bu bakteri türlerinin (FDB) sistemdeki oranlarının ise atıksu içerisindeki basit karbon formları ile yakından ilişkili olduğu saptanarak, bu konuda yapılmış olan bilimsel çalışmaları doğrular nitelikte sonuçlara ulaşıldı. Sistemdeki FDB kütle oranının %30'un üzerine çıktığı durumlarda, anoksik ve aerobik P giderim hızlarının $0.1 \text{ mg P (g UAKM)}^{-1} \text{ dk}^{-1}$, denitrifikasyon hızının $0.04 \text{ mg NO}_3\text{-N (g UAKM)}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ ve UYA giderim hızının ise $0.5 \text{ mg UYA (g UAKM)}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ değerlerine ulaşabileceği belirlendi.

- Li v.d. (2008) $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ (hidrojen peroksit) varlığında ikincil arıtma çıkış suyundan fosfor giderimini araştırdılar. Sonuçlara göre $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ sadece Fe^{2+} kullanımından daha iyi bir sonuç verdi. Düşük masraf ve yüksek fosfat giderim kapasitesiyle $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ giderim için kullanılabilir.

- Zhou v.d. (2008) atıksulardan fosfor gideriminde, demir klorürle koagülasyonu, tannik asit yardımıyla güçlendirmek için çalışma yaptılar. Bu çalışma sonuçlarına

göre; farklı atıksu tipleri için koagülasyon / flokülasyon prosesleri boyunca tannik asit ilavesinin flokların çökelme hızını arttırdığını, kalıntı Fe(III) oluşumunu azalttığını, Fe(III)'ten kaynaklanan sarı rengi elimine ettiğini ve bir dereceye kadar fosfor giderim verimini arttırdığını tespit ettiler. Tannik asit yardımıyla koagülasyonda elde edilen çökeltilerde fosfor salınımı sadece fosfat ve demir tuzlarıyla yapılan klasik koagülasyonda oluşan çökeltilerden daha hızlıydı.

- Wei v.d. (2008) asit maden suyu arıtımından kaynaklanan, fosfor gideriminde adsorbant olarak gelecek vaat eden çamur ile sürekli ve kesikli adsorbsiyon deneyleri gerçekleştirdiler. Asit maden drenaj çamurunun nihai halini almadan fosfor gideriminde yararlı olabileceği bulundu. İkincil arıtmadan çıkan suya uygulandığında sonuç başarılıydı.

- Demirer ve Othman (2009) arıtma tesisinde NH_4^+ ve PO_4^{3-} açısından en zengin akışlardan biri olan anaerobik çürütücü üst suyu üzerine çalışma yaptılar. Magnezyum amonyum fosfat oluşum kinetiklerini kurmak ve çeşitli Mg^{2+} ve PO_4^{3-} konsantrasyonlarında, pH seviyelerinde NH_4^+ ve PO_4^{3-} giderimlerini araştırmak için deneysel program dizayn edildi. Elde edilen sonuçlara göre; Magnezyum amonyum fosfat oluşumuyla NH_4^+ giderimi pH 9'da volatilizasyon ile olandan daha hızlıydı. NH_4^+ ve PO_4^{3-} giderimi Mg^{2+} konsantrasyonuna çok duyarlıydı. Ayrıca PO_4^{3-} konsantrasyonu MAP oluşumu yoluyla NH_4^+ giderimini kontrol ediyordu. Prosesi kontrol eden diğer bir faktör pH'tı.

- Guo v.d. (2009) tarafından yapılan çalışmadaki literatür bilgilerine göre, evsel atıksularda fosfor değeri 5-20 mg/L arasında değişmekle birlikte çamur arıtım işlemlerinden gelen süzüntü suyunda bu değer 130 mg/L'ye kadar yükselmektedir. Süzüntü suyu giriş atıksuyunun yaklaşık %2'sini oluştursa da aktif çamur havuzundaki fosfor yüküne %10-80 etki eder. Süzüntü sularındaki fosfor kimyasal çöktürme ile giderebiliriz. Ancak kullanılan kimyasallardan örneğin FeCl_3 maliyeti çok yüksektir. Yaklaşık 1 ton demir başına 1015 US\$'dir. Önemli bir şekilde daha ucuz bir opsiyon demir filizinin biyolojik indirgenmesiyle demir reaktiflerinin üretimi olabilir. Guo ve diğerleri (2009) dönen reaktörde anoksik demir filizinin biyolojik indirgenmesini çalıştılar. Bu sistemle süzüntü sularından en yüksek fosfor

giderim verimi 25mg/L gün ve 7,6 mm demir filizi partiküllü dönen reaktörde %97'ydi.

- Sözen v.d. (2009) İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nde mevcut durumda atıksu karakterizasyonu ve sistem performansı deneysel olarak belirlemiş, elde edilen bilgileri kullanılarak sürekli kullanıma uygun olacak model-bazlı tasarım ile işletme simülasyon programları hazırlamış ve işletme optimizasyonu çerçevesinde çıkış besi maddesi konsantrasyonlarının düşürülmesi amacıyla işletme senaryoları oluşturularak önerilerde bulunmuşlardır. Yürütülen senaryo analizleri ile, havalandırma tanklarındaki çözünmüş oksijen seviyelerinin uygun ayarlanması, tesisin geri devir denitrifikasyonu prensibi yerine A^2O veya UCT tipi sistem şeklinde işletilmesi ile sistem veriminin arttırılabileceği ve dolayısıyla çıkış besi maddesi konsantrasyonlarının azaltılabileceği belirlenmiştir. Öncelikle elde edilen istatistiksel veriler incelendiğinde girişteki KOİ, TKN, TP ve UYA konsantrasyonlarının düşük olması nedeniyle biyolojik fosfor gideriminin verimli bir şekilde gerçekleştirilemediği tespit edilmiştir. Havalandırma tanklarındaki çözünmüş oksijen seviyelerinin uygun ayarlanması ile tesisin azot ve fosfor giderim veriminin iyileştirilebileceği ve tesis çıkışında fosfat konsantrasyonun 3.6 mgP/L mertebelerine indirilebileceği belirlenmiştir. Geri devir denitrifikasyonunun etkisi incelendiğinde tesisin standart A^2O prensibine göre çalıştırılması durumunda azot ve fosfor çıkış kalitesinin iyileştirilebileceği belirlenmiştir. Biyolojik fosfor giderimi için gerekli olan UYA seviyesi giriş atıksuyunda çok düşük seviyelerdedir (ortalama 20 mg/L). Giriş UYA seviyesinin düşük olması fosfor giderim veriminin az olmasına neden olmaktadır. Ancak, tesisin uçucu askıda katı madde konsantrasyonu dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda, sistemin UYA konsantrasyonunun arttırılması durumunda mevcut koşullarda ek olarak en fazla 1.5 mg/L fosfor giderimi sağlanabileceği tespit edilmiştir. Atıksu arıtma tesisinin UCT tipi sistem şeklinde tasarlanması durumunda çıkış toplam azot ve fosfor konsantrasyonları sırası ile 7.5 ve 3.7 mg/L seviyesine düşürülebileceği belirlenmiştir. Geri devir denitrifikasyonu yerine bu konfigürasyonun uygulanması durumunda nitratin tamamen tükenmesi ve paralel olarak fosfor salımının engellenmesi ile ek avantaj sağlanabileceği ortaya konulmuştur. Ancak fosfor parametresi için deşarj limiti olan 1.0 mg/L değerinin sağlanamayacağı tespit edilmiştir. Bu standardın biyolojik arıtma ile sağlanabilmesi

için fermentasyon prosesi ile birlikte değişik sistem konfigürasyonları için deneysel olarak ve model bazlı sistem optimizasyonu çalışmalarının yürütülmesi gerekliliği ortaya konulmuştur.

- Soares v.d. (2009) yılında mekanik yolla ayrıştırılmış fazla çamurdan ve ön çökeltim çamurunun fermentasyonundan elde edilen UYA miktarlarını karşılaştırdılar. Fazla çamur ayrıştırılması işleminde gözlemlenen çözülebilir KOİ içerisindeki %12 UYA ile karşılaştırıldığında, ön çökeltim çamurunun fermentasyonu işleminde çözülebilir KOİ içerisinde %69-94 oranlarında uçucu yağ asidi oluşumu gözlemlendiler. Yüksek UYA verimleri fermentasyonun ilk 40 saatinde gözlemlendi.

- Yuan v.d. (2009) fazla aktif çamur fermentasyonu boyunca, katı madde alıkonma süresi (SRT) ve biyokütle konsantrasyonunun UYA oluşumu üzerine etkilerini, yarı sürekli deneylerle gözlemlendiler. SRT değerinin artmasıyla UYA veriminin arttığını belirterek, 10 günlük SRT değerinde en yüksek UYA değeri olan 690 mg/L'yi tespit ettiler. Biyokütle konsantrasyonu düşerken UYA veriminin arttığını gördüler. UYA üretiminde ön çökeltim çamuru fermentasyonu ile karşılaştırıldığında fazla aktif çamur (WAS) fermentasyonu için daha uzun SRT değerlerine gerek vardır. Öte yandan WAS ön çökeltim çamurundan daha tutarlıdır. Bu nedenle WAS fermentasyonu daha stabil ürünler çıkarmalıdır. WAS fermentasyonu boyunca nütrient salınımı geri kazanımları için bir olanak sağlar.

- Vohla v.d. (2009) yapay sulak alanlarda fosforun alıkonması için çok farklı filtre materyalleri üzerinde çalışmalar yaptılar. Bu materyallerin büyük çoğunluğu pH değeri 7'nin üzerinde ve yüksek kalsiyum ve/veya kalsiyumoksit içerikliydi. Bu nedenle yapay sulak alanlarda P giderim prosesinin ana prensibi çöktürmeydi. Çalışma kapsamında yapılan araştırmalar ve literatür bilgilerine göre, 5 yıllık uygulamadan sonra bu tip filtre materyallerinin fosfor alıkonma kapasitelerinin azalmaya başladığı gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, yüksek fosfor absorblama özelliğine sahip filtralite (mineral kil içerikli özel üretilmiş bir materyal), opoka, ve susuz kaya petrolü külü gibi bazı yeni ve umut vadeden materyallerin uzun vadede verimli fosfor giderimi için değerlendirilmesine vurgu yapılmıştır. Doymuş materyallerin gübre olarak geri kazanılabilirliğinin, sulak alan arıtım teknolojilerinin

farklı uygulamalarında önemli bir rol oynadığından, filtre materyalinin başarılı kullanımının, yerel ölçekte var olabilirliğine ve yüksek konsantrasyonda ağır metallerin yan etkilerinin olabilirliğine bağlı olduğundan, bu sebeple daha kapsamlı tam ölçekli çalışmalar yapılmasının gerekliliğinden bahsedilmiştir.

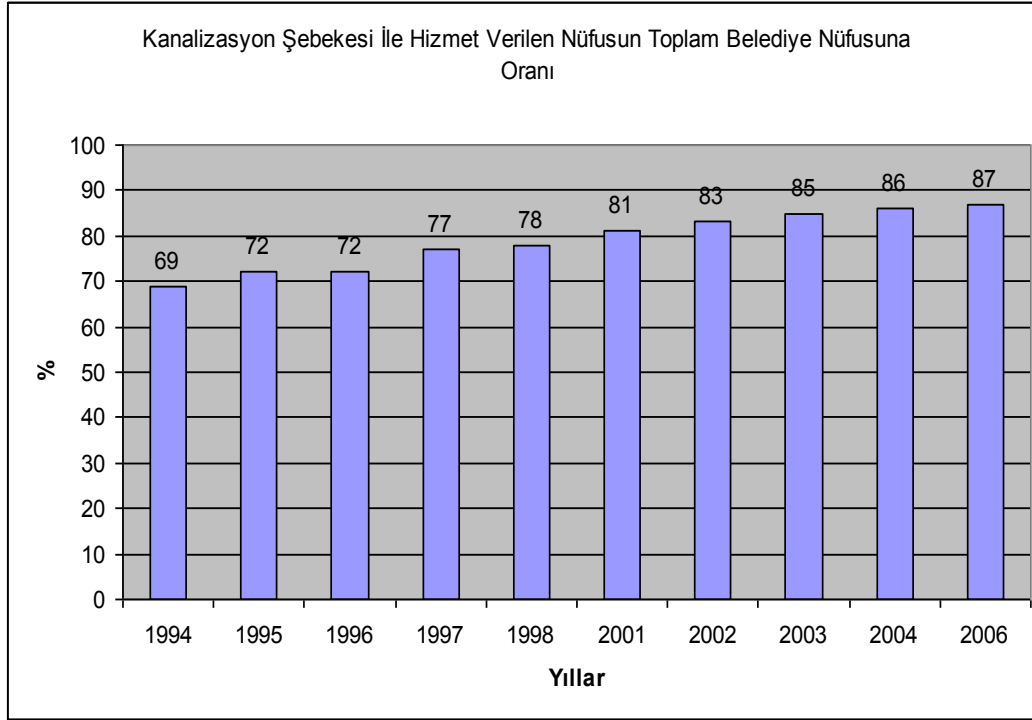
- Ayar (2009) bentonit kili kullanılarak sulu çözeltiden adsorbsiyon ile ortofosfat formunda fosfor giderimini araştırmıştır. Farklı başlangıç konsantrasyonlarında yapılan testlerde artan fosfat konsantrasyonları ile bentonit üzerinde adsorblanan fosfat miktarının arttığı gözlenmiştir. 30 °C'ye kadar sıcaklık artışı ile giderim veriminin arttığı, 40 °C'de ise verimde ani düşüş olduğu gözlenmiştir. Asit ve alkali pH'larda gerçekleştirilen rejenerasyon testlerinde, sadece güçlü asidik pH'larda fosfatın tümüyle desorbe olduğu gözlenmiştir.

3. ATIKSU SEKTÖRÜNDE MEVCUT DURUM

3.1. Ülkemizde Atıksu Sektöründeki Mevcut Durum

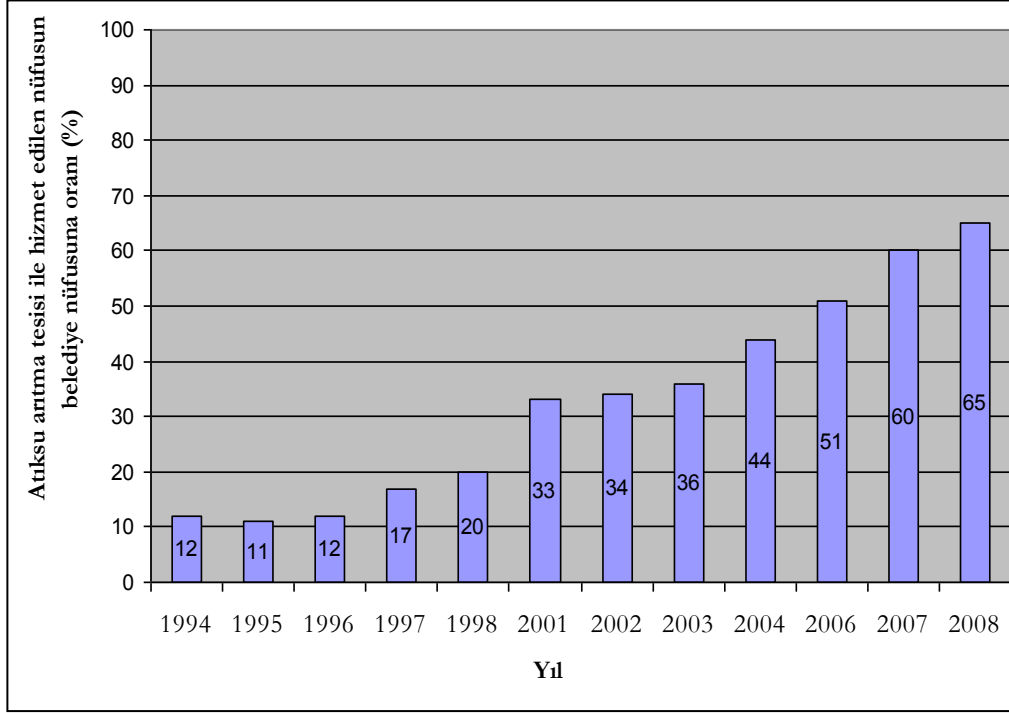
Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK-2006) verilerine göre ülkemizde 3225 belediyeden 2321'i kanalizasyon şebekesi ile hizmet vermektedir. Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen nüfusun toplam nüfusa oranı % 72'dir. Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen nüfusun toplam belediye nüfusuna oranı ise Tablo 3.1'de görüleceği üzere % 87'ye ulaşmıştır.

Tablo 3.1 Kanalizasyon Şebekesi İle Hizmet Verilen Nüfusun Toplam Belediye Nüfusuna Oranı (TÜİK, 2006)



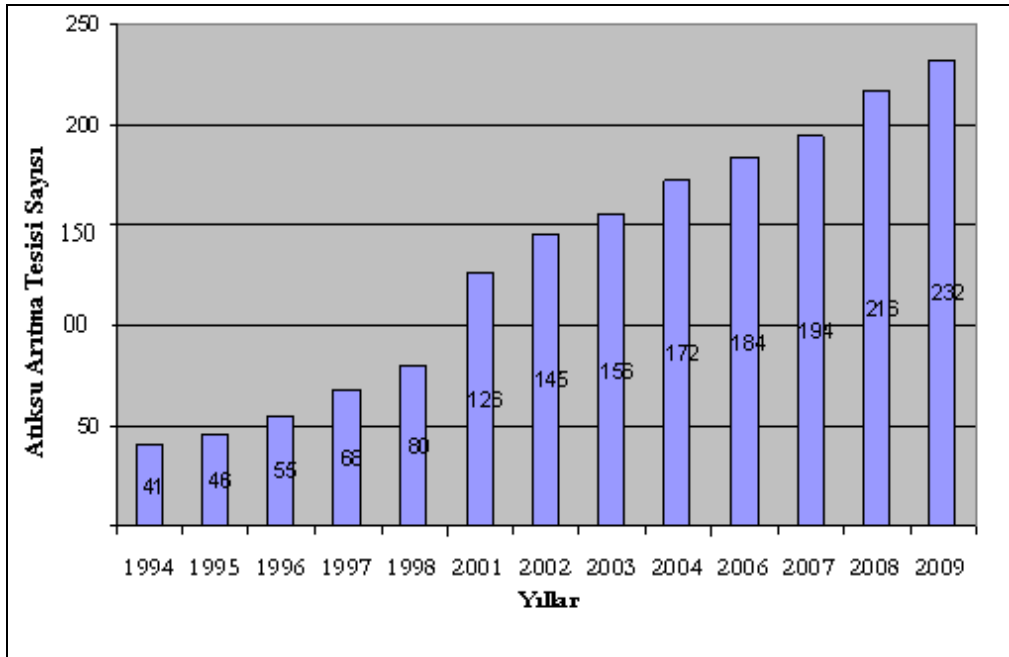
Bakanlığımız verilerine göre; 2008 yılı itibarıyla atıksu arıtma tesisi ile hizmet verilen nüfusun toplam belediye nüfusuna oranı % 65'tir. (Tablo 3.2)

Tablo 3.2 Atıksu Arıtma Tesisi İle Hizmet Verilen Nüfusun Toplam Belediye Nüfusuna Oranı

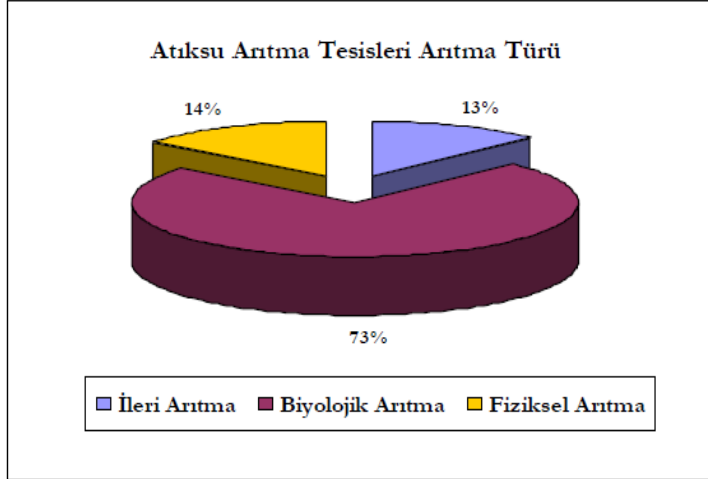


2006 yılı TÜİK verilerine göre 2006 yılı itibariyle ülkemizde toplam 184 atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Bakanlığımız verilerine göre ise bu değer 2009 yılı itibariyle 232'dir.

Tablo 3.3 1994–2009 Yılları Arasında Atıksu Arıtma Tesisi Durumu



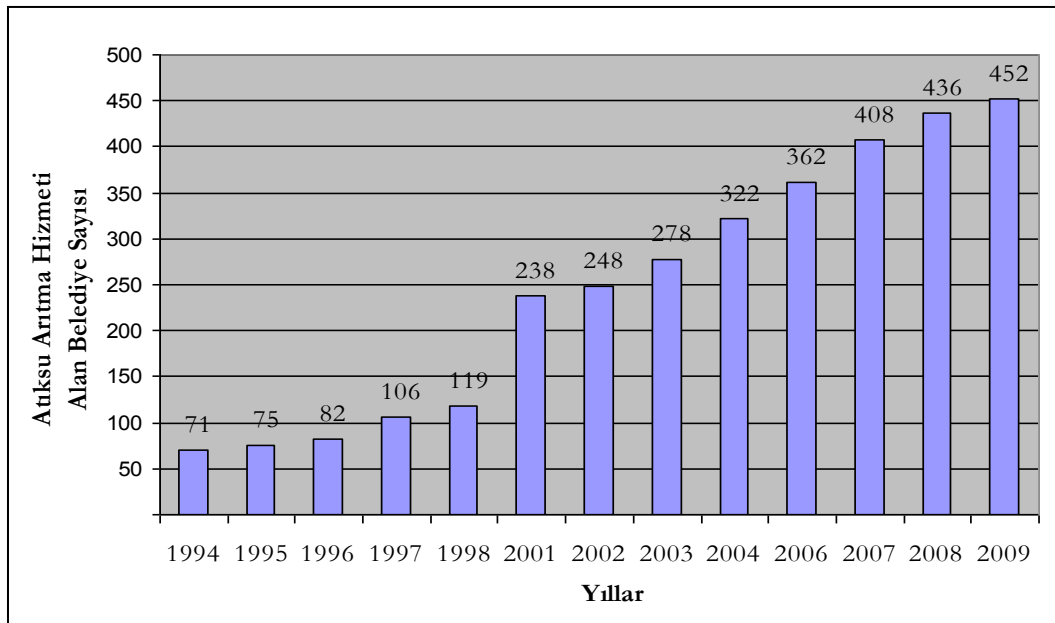
2006 yılında tespit edilen 184 tesisten 26 tanesinde yalnızca fiziksel arıtma, 135 tanesinde ikincil arıtma, 23 tanesinde ileri arıtma yapılmaktadır. İleri arıtma yapan tesislerin toplam kapasitesi $807.893 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olmakla birlikte, arıtılan su $499.509 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{yıl}$ değerindedir.



Şekil 3.1 Belediyelere Ait Atıksu Arıtma Tesislerinin Arıtma Türü (%) (TÜİK, 2006)

Bakanlığımız 2010 verileri ve bu tez kapsamında yapılan araştırmalar neticesinde, ülkemizde 259 adet atıksu arıtma tesisi bulunduğu ve 31 adet AAT'de kimyasal ve/veya biyolojik fosfor giderimi yapıldığı tespit edilmiştir. Bu duruma ilişkin tablo Bölüm 5'te yer almaktadır. Atıksu arıtma tesisi ile hizmet veren belediye sayısı 2006 yılı TÜİK verilerine göre 362 olmakla birlikte Bakanlığımız verilerine göre bu değer 2009 yılı itibarıyla 452'dir.

Tablo 3.4 Atıksu Arıtma Tesisi İle Hizmet Veren Belediye Sayısı (1994-2009)



3.1.1. Ülkemizin Atıksu Sektöründeki Hedefleri

Ülkemizin atıksu sektöründeki hedefleri AB Ulusal Çevre Stratejisi (UÇES-2006) dokümanı ile belirlenmiştir. Doküman Türkiye'nin, AB'ye girişi için bir ön koşul olan, AB çevre müktesebatına uyum sağlaması ve mevzuatın etkin bir şekilde uygulanması amacıyla tam uyumun sağlanması için ihtiyaç duyulacak teknik ve kurumsal altyapı, gerçekleştirilmesi zorunlu çevresel iyileştirmeler ve düzenlemelerin neler olacağına ilişkin detaylı bilgileri içermektedir. Bu bilgilerin tam olarak sunulabilmesi için öncelikle ülkenin çevre sorunlarına ilişkin mevcut durumu, mevzuat ve teşkilat yapısı, çevre sorunlarıyla mücadele konusunda bugüne kadar izlenen politika, yapılan harcamalar ile çevre sorunlarıyla mücadelede karşılaşılan sıkıntı ve darboğazlar tespit edilmiştir. Sonrasında ise Türkiye'nin öncelik verilen çevresel alanlar ile bu alanlardaki amaçlar, hedefler, stratejiler ve bunlarla ilgili yapılacak faaliyetler belirlenmiştir. Dokümanın atıksu sektörü ile ilgili hedeflerine göre;

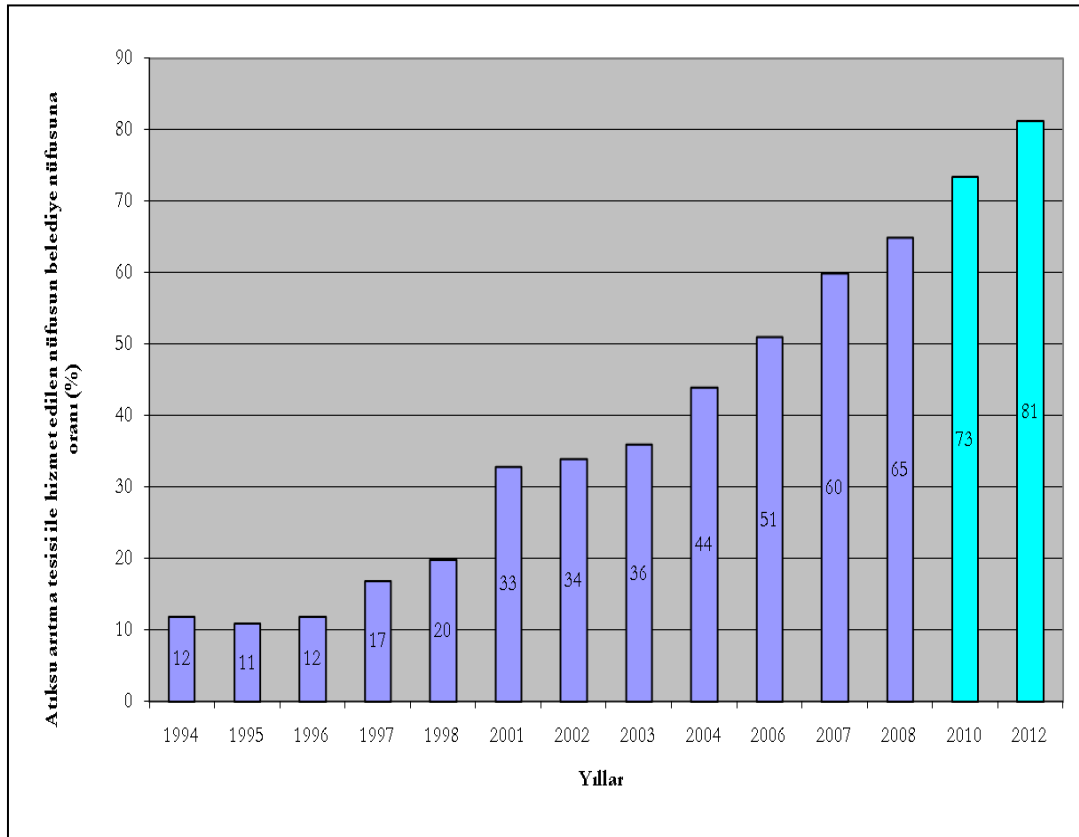
- 2020 yılına kadar nüfusu 50 bin'den büyük kentlerde kanalizasyon şebekesinden ve atıksu arıtma tesislerinden faydalanan nüfus %90'ın üzerine çıkarılacaktır.
- 2015 yılına kadar yüzme ve rekreasyon amacıyla kullanılan su ortamlarına atıksu arıtma tesislerinden bu su ortamlarını olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde deşarj yapılmasını sağlamak amacıyla uygun arıtma tesisleri, atıksu deşarj ve dezenfeksiyon sistemleri kurulacaktır.

UÇES'te belirtildiğine göre Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi'ne uyumda en az maliyet gerektiren senaryo seçilmiştir. Bu senaryoya göre Marmara, Ege Denizi Kıyıları, Antalya ve İskenderun Körfezi ile içme suyu kaynağına 100 km'den yakın içme suyu havzaları hassas, diğer yüzeysel sular normal ve tüm Karadeniz ile Boğaz'ın altından deşarj yapılan ve Karadeniz'e doğru akan bölgeler az hassas alan olarak kabul edilmiştir. En yüksek maliyetli senaryoda ise ülkenin bütün suları hassas alan olarak kabul edilmiş ve eşdeğer nüfusu 10.000'den yüksek tüm atık su toplama alanlarında ileri arıtma öngörülmüştür. Ülkenin ekonomik durumu dikkate

alındığında; arıtma sistemlerinin tipi, sayısı, işletme/bakım maliyetleri ve arıtma çamurlarının bertarafı ülkemize oldukça önemli bir mali yük getirmektedir. Bu çerçevede kanalizasyon ve arıtma tesislerinin yapımı ve seviyelerinin artırılmasının kademeli olarak yapılması gerekli görülmektedir.

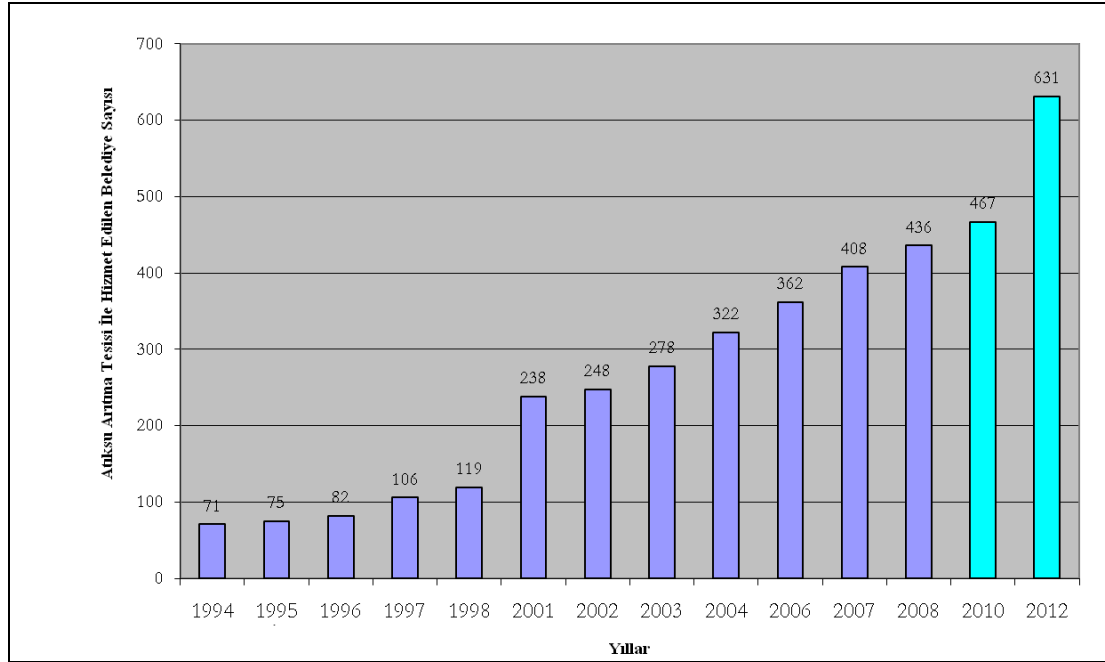
Bakanlığımızca yapılan değerlendirmeler neticesinde 2008 yılında %65 olan atıksu arıtma tesisi ile hizmet edilen nüfusun belediye nüfusuna oranının 2012 yılında %81'e ulaşması hedeflenmiştir. (Tablo 3.5)

Tablo 3.5 Atıksu Arıtma Tesisi İle Hizmet Edilen Nüfusun Belediye Nüfusuna Oranı (Ülkemizin Hedefi)



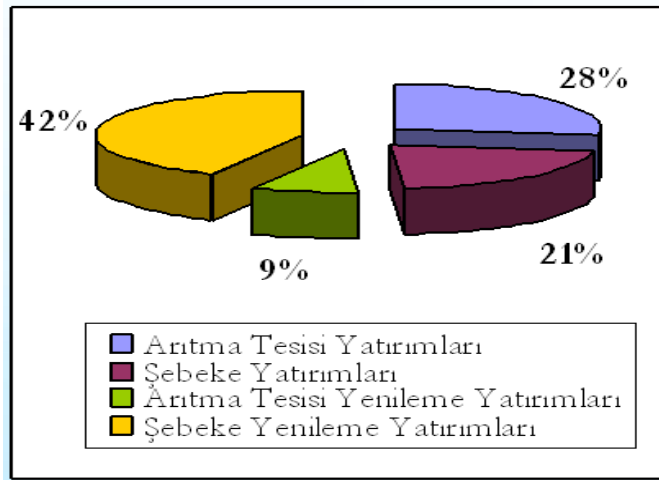
2008 yılında 436 olan atıksu arıtma tesisi ile hizmet edilen belediye sayısının ise 2012 yılında 631 olması hedeflenmektedir.

Tablo 3.6 Atıksu Arıtma Tesisi İle Hizmet Edilen Belediye Sayısı (Ülkemizin Hedefi)



3.1.2. Avrupa Birliği'ne Uyum Sürecinde Finansman İhtiyaçları

Avrupa Birliği müktesebatına uyum çalışmalar kapsamında, çevre sektöründe Bakanlığımız öncülüğünde yürütülen işler ve AB'nin de desteklediği birçok proje ile hazırlıklarımız hızlandırılmış bulunmaktadır. Çevre yatırımlarında su sektörü toplam finansman ihtiyacının %41'i (12.743 Euro) içme suyu, %59'u (18.083 Euro) atıksu sektörü ihtiyaçlarıdır. 2007-2023 yılları için atıksu yatırım ihtiyacı tablosu aşağıda verilmektedir.

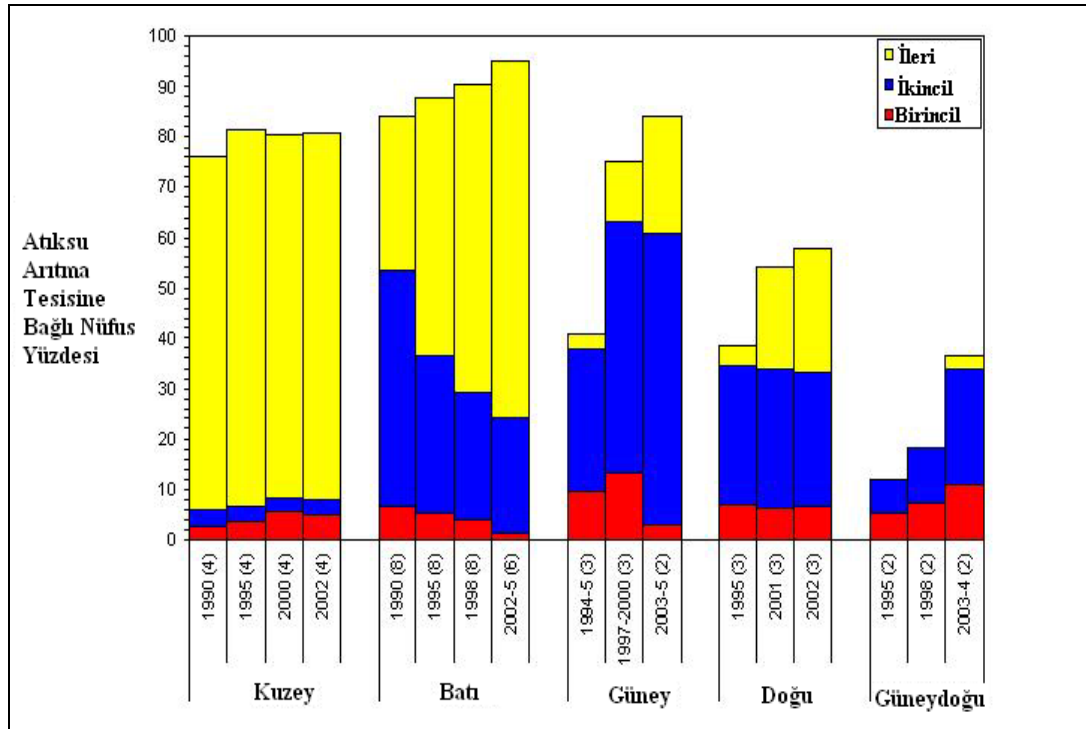


Şekil 3.2 Atıksu Yatırım İhtiyacı (2007-2023)

3.2. Avrupa Birliği'ne Üye ve Aday Ülkelerde Atıksu Sektöründeki Mevcut Durum

Avrupa çapında artan kentleşme ve gelişme ile birlikte, yerleşim yerleri ve endüstriler genellikle kanalizasyona bağı durumdadır. Fakat bu, bir kolektör sistemine bağı atıksuyun yeterince arıtılacağına garanti vermez. Bazen hattın sonunda arıtma tesisi yoktur ya da var olan tesis yeterli değildir. 1990 yılından önce, kentlerden, endüstrilerden, tarım alanlarından kaynaklanan ve yüzeysel sular ile yeraltısularının kirlenmesine sebebiyet veren, çok büyük hacimlerde kirleticiler yüzeysel sulara deşarj ediliyordu. 90'lı yılların başında kirletici deşarjları azaldı. Atıksu arıtımı ve bu sektördeki yeni teknolojilerin gelişimi önem kazandı. Bununla birlikte, atıksuların daha verimli arıtılması için yapılan büyük yatırımlara rağmen özellikle aşırı miktarlarında ötrofikasyona sebep olan azot ve fosfor gibi nütrientlerin arıtılması, halen Avrupa çapında tüm suları etkileyen büyük bir problemdir. Fosfor kaynağı olarak tarımsal faaliyetler ihmal edilemez olsa da, yerleşim yerleri ve endüstriler daha önemli görülmekle birlikte, azot kirliliğinin temel kaynağı tarımsal faaliyetlerdir. Toplam yükün %50-80'inini oluşturur. Genel olarak yayılı kaynaklardan (özellikle tarımsal faaliyetler) gelen azot ve fosfor yükleri geçtiğimiz 30 yıl boyunca sabit kalırken, noktasal kaynaklardan (özellikle endüstriyel ve evsel) gelen yüklerde azalma görülmüştür. Noktasal kaynaklı deşarjlardaki değişimler, kentsel atıksu arıtımındaki iyileştirmeler, fosfat içeriğı düşürülmüş deterjanlar ve azalan endüstriyel deşarjlar sayesinde. Bununla birlikte, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan azot fazlalılığının azaltılması için tedbirler bugüne kadar sınırlı başarılar sağlamıştır. Fakat şu an yayılı kaynakların azaltılması ile oluşan sonuçlar yavaş yavaş görülmeye başlanmış bulunmaktadır. (AÇA, 2007)

Kentsel atıksulardan Avrupa yüzeysel sularına nütrient ve organik madde deşarjlarında, azalmanın ölçütü olarak iki başarı göstergesi değerlendirilebilir. Birinci gösterge atıksu arıtma tesislerine bağı nüfus yüzdesi, ikincisi ileri arıtma yapılan atıksu yüzdesidir. Şekil 3.3'de 1990-2005 yılları arasında Avrupa'nın tüm bölgelerinde atıksu arıtımındaki değişimler gösterilmektedir.



Şekil 3.3 1990-2005 Yılları Arasında Avrupa'nın Tüm Bölgelerinde Atıksu Arıtımındaki Değişimler (AÇA,2009)

Şekil 3.3'te görüleceği üzere Kuzey ve Güney Avrupa ülkelerinde atıksu arıtma tesisi ile hizmet gören nüfus %80'den fazladır. Dağınık yerleşim yerlerinde kolektör sistemlerine bağlanılmamakta, fosseptik gibi bireysel arıtma seçenekleri değerlendirilmektedir. Orta Avrupa'da nüfusun %90'dan fazlası arıtma hizmeti görmektedir. Doğu Avrupa'da sadece %50'si (2002 yılı için), Güneydoğu Avrupa'da (Türkiye, Bulgaristan, Romanya) ise %35'i arıtma tesislerine bağlıdır.

Kuzey ülkelerinde nüfusun çoğu ileri arıtma yapan tesislere bağlıdır. Orta Avrupa ülkelerinde ise atıksuyun yarısından fazlası ileri arıtmaya tabidir. Güney ve Doğu Avrupa'da bu değer sadece %20'dir. Güney Avrupa ülkelerinde atıksuların yaklaşık yarısı, Doğu Avrupa'da %25'i sadece ikincil arıtmaya tabi tutulur. Güneydoğu Avrupa'da ise ikincil arıtmaya tabi atıksu %20 iken ileri arıtma yapılan %5'ten azdır.

Kuzey Avrupa ülkelerinde İzlanda'da nüfusun yarısından kaynaklanan atıksular hiç arıtılmayıp, diğer yarısı sadece birincil arıtmaya tabi tutulurken, Finlandiya, İsveç ve Norveç atıksularının (%80) çoğu ileri arıtmaya tabidir. Kentsel atıksu arıtma

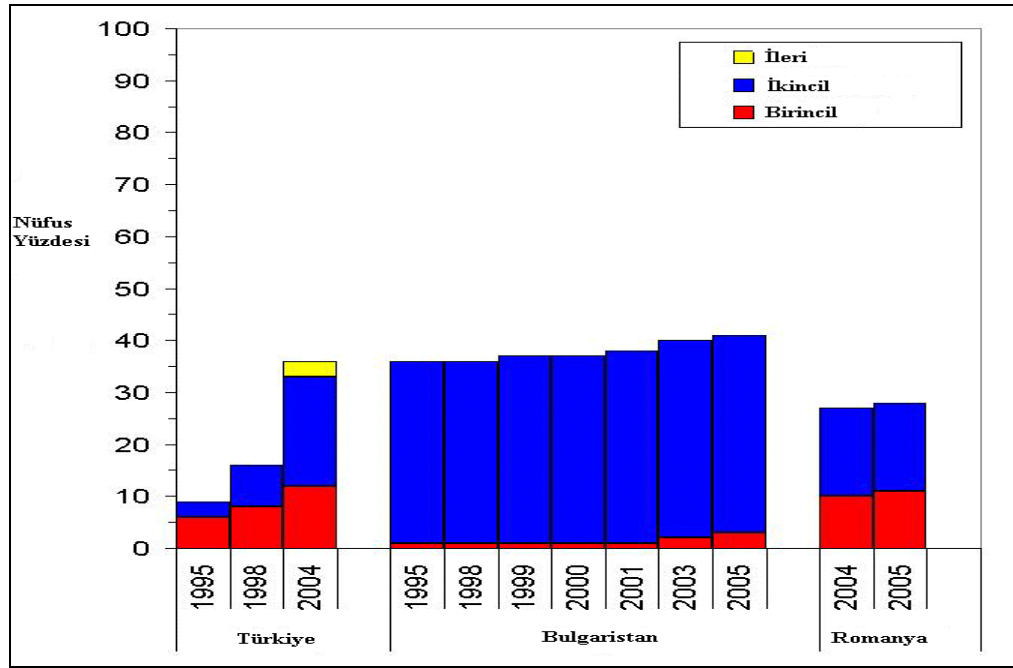
tesislerine bağı nüfus oranları kırsal alanlarda bireysel arıtma tesisleri kullanımının artmasıyla birlikte kırsal/kentsel nüfus oranlarından etkilenmektedir.

Orta Avrupa ülkelerinden İsviçre, Almanya, Danimarka, Avusturya ve Hollanda'da nüfusun çoğunluğu ileri atıksu arıtma tesisleriyle hizmet görmektedir. İrlanda nüfusunun %30'dan fazlası arıtmaya bağı değildir. %40'tan fazlası sadece ön arıtmaya tabidir. 1998 yılında yapılan araştırmaya göre, Belçika'da nüfusun %60'ından fazlası arıtma tesisi ile hizmet görmemektedir. Fakat son yıllarda ilerlemeler kaydedildiği bilinmektedir.

Güney Avrupa'da en iyi durum İspanya'da olup, nüfusun %90'ı arıtma sistemlerine bağıdır. Nüfusun nerdeyse %90'ının arıtma tesisine bağı olmadığı Malta ise en kötü durumdaki ülkedir. İtalya'da nüfusun %60'dan fazlası, Yunanistan'da %50'den fazlası, Portekiz'de %40'dan fazlası bağı iken Fransa'da %80'i bağıdır. Bu bölgede ileri arıtma İtalya, Fransa, İspanya'daki toplam atıksuyun maksimum %20'sine uygulanmakla birlikte, Yunanistan ve Portekiz'de %10'dan daha azına uygulanmaktadır.

Doğu Avrupa ülkelerinden Çek Cumhuriyeti, Estonya, Letonya ve Litvanya nüfusunun %65'ten fazlası arıtma hizmeti almaktadır ve sisteme bağı atıksuların yaklaşık yarısı ileri arıtmaya tabidir. Polonya ve Macaristan nüfusunun yaklaşık %60'ı arıtma sistemine bağıdır. Polonya'da atıksuların yaklaşık yarısı, Macaristan'da ise sadece %10'u ileri arıtma ile arıtılmaktadır. En kötü durumda olan Slovenya'da nüfusun yaklaşık %70'i atıksu arıtma sistemlerine bağı değildir. Slovakya için arıtma tipine dair detaylı bilgi bulunmamaktadır.

Güneydoğu Avrupa ülkelerinde (Türkiye, Bulgaristan, Romanya) Şekil 3.4'ten de görüleceği üzere popülasyonun sadece yaklaşık %40'ı atıksu arıtma tesisine bağıdır. Çoğunluğu sadece ikincil ve ön arıtma ile arıtılmaktadır. Türkiye'de toplam atıksuyun sadece %14'ü ileri arıtmaya tabi tutulmaktadır. (AÇA, 2009)



Şekil 3.4 1995-2005 Yılları Arasında Güneydoğu Avrupa Ülkelerindeki Atıksuların Arıtılmasındaki Değişimler

Tablo 3.7’de ise Avrupa ülkelerinden bazılarında kanalizasyona bağlı nüfus, bunların arıtılma durumları ve fosfor giderimlerine ilişkin değerler verilmiştir. Burada görüldüğü gibi İsveç ve Danimarka en başarılı ülkeler olup aynı şekilde fosfor giderimini de yüksek oranda uygulamaktadırlar.

Tablo 3.7 Avrupa’da Arıtma Tesislerinin Durumu ve P Giderimi* (%)

Ülke	Kanalizasyona bağlı nüfus (%)	Kanalizasyona bağlı fakat arıtılmayan (%)	Kanala bağlı sudan P-giderimine tabii tutulan (%)
Danimarka	98	0	78
İsveç	95	0	90
Norveç	77	20	42
Almanya	88	4	22

*Morse v.d., 1993.

4. ATIKSU SEKTÖRÜNDE YASAL ÇERÇEVE

4.1. Ülkemizde Atıksu Sektöründeki Yasal Çerçeve

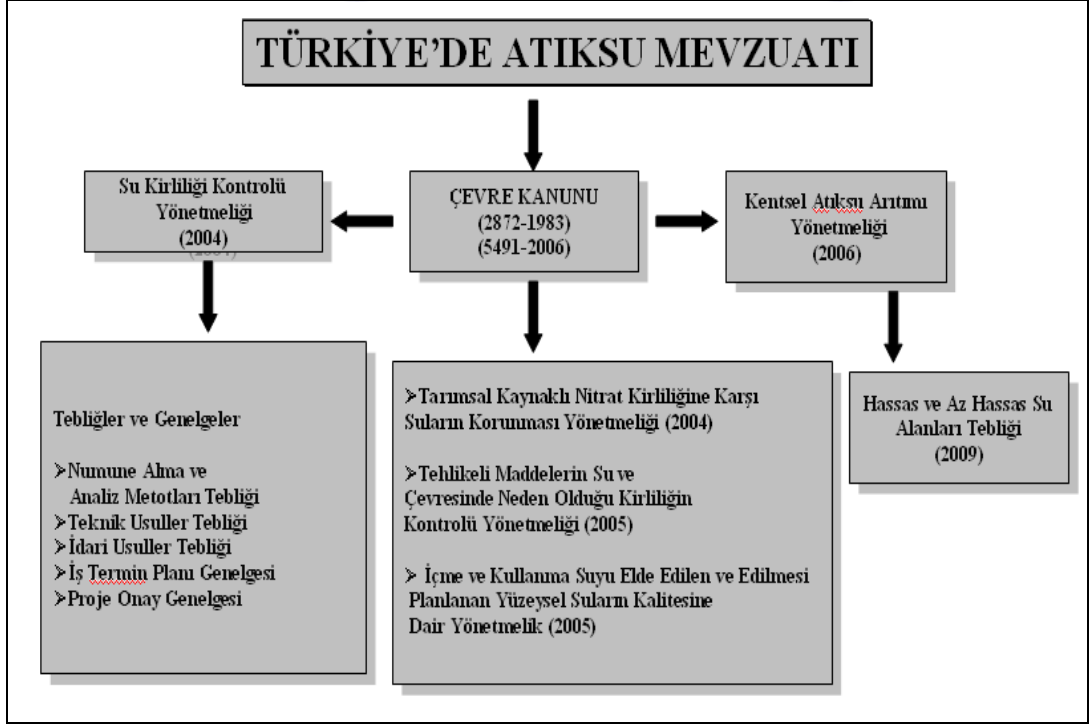
Ülkemizde atıksu sektörünü kapsayan politika dokümanları aşağıda sıralanmıştır.

- ❖ Çevre Kanunu (1983/2006)
- ❖ 9. Kalkınma Planı (2006/2007-2013)
- ❖ 60. Hükümet Programı (2008)
- ❖ UÇES (2006/2007-2023)
- ❖ Çevre Operasyonel Programı
- ❖ Atıksu Arıtımı Eylem Planı
- ❖ Havza Koruma Eylem Planları

Atıksu yönetimine ilişkin AB mevzuatına uyum sağlamak amacıyla yapılan mevzuat çalışmaları kapsamında;

- Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği (18.02.2004 tarih ve 25377 sayılı)
- Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği (26.11.2005 tarih ve 26005 sayılı)
- Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı)
- Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı)

yürürlüğe girmiş olup, Atıksu Altyapı ve Evsel Katı Atık Bertaraf Tesisleri Tarifelerinin Belirlenmesinde Uyulacak Usul ve Esaslara İlişkin Yönetmelik ise henüz taslak haldedir. Türkiye’de atıksu mevzuatını özetleyen şekil aşağıda verilmektedir.



Şekil 4.1 Türkiye’de Atıksu Mevzuatı

Çevre Kanunu

Çevre Kanunu (26 Nisan 2006 tarihinde değiştirildiği şekliyle 9 Ağustos 1983 gün ve 2872 sayılı) çevre alanındaki yasal düzenlemelerin esasını oluşturur. Çevrenin korunması ve iyileştirilmesi, doğal kaynakların korunması ve verimli kullanılması, su, toprak ve hava kirliliğinin önlenmesi, Türkiye’nin tarihi zenginliğine ilave olarak flora ve faunasının korunması amaçlanmaktadır. Çevre Kanunu, lisansların verilmesine ilişkin kuralları ve çerçeveleri, kirliliğin kontrolü için gerekli yasak ve kısıtlamaların formüllerini, Kanunların ihlalinde uygulanacak hapis ve para cezalarını belirlemektedir.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (13 Şubat 2008 gün ve 26786 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nde değişiklikler yapan Yönetmelik tarafından değiştirildiği şekliyle 31 Aralık 2004 gün ve 25687 sayılı Resmi Gazete) atıksuyun alıcı ortamlara deşarjına yönelik Türk standartlarını belirleyen başlıca belgedir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği yüzey ve yeraltı sularını korumak ve verimli kullanımlarını sağlamak için su kirliliğini önlemeyi amaçlar.

Bunun için, Yönetmelik;

- tüm su kaynaklarının korunması ve kirliliğin önlenmesine ilişkin ilkeleri tanımlar,
- kirlletici faktörleri belirler,
- yüzey suları, yeraltı suları, göller ve denizlerin kalite sınıflandırmasını belirler,
- içme ve evsel kullanım amaçlı kullanılan yüzey sularını kirleten etkenleri sınırlandırır,
- yeraltı sularını ve denizleri kirleten etkenlerin sınırlandırılmasına ilişkin esasları belirler.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ayrıca atıksu ile ilgili bir dizi kural, standart ve yöntemleri de ortaya koymaktadır. Bu bakımdan, Yönetmelik;

- alıcı ortamlara deşarj edilen evsel ve sanayi atıksularına yönelik kalite standartlarını,
- deşarj izni vermek için gerekli kural ve yöntemleri,
- evsel ve endüstriyel atıksuyun atıksu şebekelerine deşarj edilmesi için gerekli kuralları,
- atıksu kalitesinin test edilmesi için alınan numunelerin analizine yönelik kuralları ve ilkeleri,
- atıksu şebekesi ve atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi ve bakımını yürüten belediyeler ve diğer kuruluşların görev ve sorumluluklarını,
- deşarj kalitesi ve deşarj belgelendirmenin izlenmesi ve kontrol edilmesinden sorumlu ilgili kuruluşların sorumluluklarını belirler.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ndeki ileri arıtma ile ilgili önemli bazı maddeler aşağıda verilmektedir.

- (Değişik üçüncü fıkra:R.G.-13/2/2008-26786) Arıtılmış evsel atıksuların tam arıtma ilkelerine göre sağlamaları gereken deşarj standartları, bu Yönetmeliğin 32 nci maddesinde verilmiştir. Ayrıca toplam koliform ve ötrofikasyona yol açan azot ve fosfor elementlerinin alıcı göl ortamındaki tolere edilebilen sınırlara uyması esastır. Bakanlık, özellikle kirlilik ve ötrofikasyon kontrolü açısından göllere verilecek evsel ve endüstriyel

atıksuların bu Yönetmeliğin 31 inci ve 32 nci maddeleri uyarınca gerekli deşarj standartlarını sağlamak amacıyla 8/1/2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği’nde belirtilen deşarj standartlarını sağlayacak bir ileri arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra göllere ve/veya bu kaynakları besleyen akarsulara deşarj edilmesini ister. Bu konuda yapılacak yatırımların çok yüksek bulunması hâlinde, ekonomik kıyaslaması yapılmak kaydıyla, atıksuların söz konusu gölün su toplama havzası dışına kollektör veya kapalı kanal sistemleriyle tahliyesi yapılır. Alınan bütün bu tedbirlere rağmen, alıcı ortam olarak göl sularının kalitesi bu Yönetmeliğin ekinde yer alan Tablo 2’de istenen düzeylere ulaşmadığı takdirde, su kalitesinin düzenlenmesi amacıyla bir havza koruma planı hazırlanır. Bu yolla hazırlanacak koruyucu plana uyulması esastır.

- (Ek fıkra:R.G.-13/2/2008-26786) Yüzme ve Rekreasyon amacıyla kullanılan sulara yapılacak derin deniz deşarjının mümkün olmadığı hâllerde atık suların arıtılmasında azot ve fosfor giderimi ile birlikte dezenfeksiyon işlemi yapılır ve deşarj, söz konusu su ortamlarının kalitesini bozmayacak şekilde gerçekleştirilir.

Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği

08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği’ nin amacı kentsel atıksuların toplanması, arıtılması ve deşarjı ile belirli endüstriyel sektörlerden kaynaklanan atıksu deşarjının olumsuz etkilerine karşı çevreyi korumaktır. Bu Yönetmelik, kanalizasyon sistemlerine boşaltılan kentsel ve belirli endüstriyel atıksuların toplanması, arıtılması ve deşarjı, atıksu deşarjının izlenmesi, raporlanması ve denetlenmesi ile ilgili teknik ve idari esasları kapsar. Yönetmelik çoğunlukla Kentsel Atıksu Arıtımına İlişkin Direktif ile benzer olup arıtma türlerine ve hassas alan belirlenmesine yönelik önemli maddeleri aşağıda sıralanmaktadır.

- Mevcut arıtma derecesinin yetersiz kalması durumunda çevrenin olumsuz yönde etkilenmesinin önlenmesi için, bu Yönetmelik hükümleri gereğince uygun görülen yerlerde kentsel atıksuyun ikincil arıtmasının yapılması esastır. Az

hassas su alanlarında çevrenin olumsuz yönde etkilenmemesi durumunda birincil arıtma, hassas su alanlarında ise ileri arıtma yönteminin kullanılması esastır.

- Kanalizasyon sistemine bağlanan kentsel atıksuyun; genel hükümlerde yer alan nüfus ve alıcı ortam sınıflamaları dikkate alınarak, hassas ve az hassas su alanları dışındaki alanlar için ikincil arıtma veya eşdeğer bir arıtmaya tabi tutulması esastır.
- Mahallin en büyük mülki amiri, 10.000 E.N.'dan fazla toplama alanlarından hassas alanlara yapılacak tüm deşarjların Tablo 2'de belirtilen şartlara uyması için gerekli tedbirleri alır.
- Bir hassas su alanı içinde yer alan tüm kentsel atıksu arıtma tesisleri toplamında kirlilik yükünün, ilgili idarelerce, toplam fosforda minimum %75 ve toplam azotta minimum %75 arıtma veriminin gösterilmesi durumunda alternatifli olarak, münferit arıtma tesisi için ileri arıtma şartlar uygulanmayacaktır.
- Ötrofik olduğu belirlenen ya da eğer gerekli önlemler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelecek doğal tatlı su gölleri, diğer tatlı su kaynakları, haliçler ve kıyı suları hassas su alanı olarak belirlenir. Bu gibi alanlarda aşağıdaki hususlar dikkate alınarak, hangi besin maddesinin ileri arıtmayla azaltılacağı değerlendirilir;

1) Su değişiminin az olduğu, bu nedenle birikimin meydana gelebileceği göller ve aynı özellikleri taşıyan göllere ulaşan akarsularda; arıtımın ötrofikasyonun önlenmesi üzerinde herhangi bir etkisi varsa, fosfor giderimi arıtmaya eklenmelidir. Büyük toplama alanlarından deşarjların yapıldığı yerlerde ayrıca azot giderimi de söz konusu olabilir.

2) Su değişiminin az olduğu veya yüksek miktarda besi maddesi girdisi olan haliçler, koylar ya da diğer kıyı sularında; arıtımın ötrofikasyonun önlenmesi üzerinde herhangi bir etkisi varsa, büyük yerleşim yerlerinden bu alanlara yapılacak deşarjlarda fosfor ve/veya azot giderimi arıtmaya eklenmelidir.

- Morfolojik, hidrolojik ya da özel hidrolik şartlara göre, atıksu deşarjının çevreyi olumsuz yönde etkilemediği deniz alanı az hassas su alanları olarak tanımlanır.
 - a) Az hassas su alanları belirlenirken, deşarj edilen atıksuların ağır çevre etkilerine neden olabilecek komşu alanlara transfer olabileceği riski de dikkate alınır.
 - b) Az hassas su alanları belirlenirken; su değişiminin çok olduğu ve ötrofikasyon ya da oksijen tüketimine maruz olmayan veya kentsel atıksu deşarjına bağlı olarak ötrofik hale gelmesi veya oksijen tüketimini artırması olasılığı bulunmayan açık koylar, haliçler ve diğer kıyı suları dikkate alınır.
- (d) bendi: Bakanlık, dört yılda bir hassas su alanlarının gözden geçirilmesini sağlar.
- Mahallin en büyük mülki amiri, (d) bendi gereğince yeni belirlenecek hassas su alanlarında, bu alanların tespiti ve belirlenmesinden itibaren yukarıdaki şartlara yedi yıl içinde uyulması için gerekli tedbirleri alır.

Yönetmelikte yer alan ikincil arıtıma ilişkin deşarj limitlerini gösterir Tablo 4.1 ve ileri arıtıma ilişkin deşarj limitlerini gösterir Tablo 4.2 aşağıda yer almaktadır.

Tablo 4.1 Kentsel Atıksu Arıtım Tesislerinden İkincil Arıtıma İlişkin Deşarj Limitleri*

Parametreler	Konsantrasyon (mg/l)	Minimum Arıtma Verimi(%)	Referans Ölçüm Metodu
Nitrifikasyonsuz ¹ Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (20°C’de BOİ ₅)	25	70-90 40 Madde 8 (c)**	Homojen, filtre edilmemiş, çökeltilmemiş ham örnek. Tamamen karanlık ortamda 20°C ±1°C’de beş günlük inkübasyondan önce ve sonra çözünmüş oksijenin ölçülmesi. Bir nitrifikasyon inhibitörünün ilavesi
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	125	75	Homojen, filtre edilmemiş, çökeltilmemiş ham örnek. Potasyum dikromat yöntemi.
Toplam Askıda Katı Madde (TAKM)	35 35 Madde 8 (c) (10000E.N.’den fazla) 60 Madde 8 (c) (2000-10000E.N.)	90 ² 90 Madde 8 (c) (10000 E.N.’den fazla) 70 Madde 8 (c) (2000-10000 E.N.)	-Temsili örneğin 0,45 µm membran ile filtrasyonu. 105 °C’de kurutulması ve tartılması. - Temsili örneğin santrifüj edilmesi (ortalama 2800- 3200 g.lık ivme ile en az beş dakika kadar),105 °C’de kurutulması ve tartılması.

*Konsantrasyon değerleri veya arıtma verimleri uygulanacaktır.

** Madde 8 (c) Düşük sıcaklık nedeniyle etkili bir biyolojik arıtmanın uygulanmasının güç olduğu deniz seviyesinden 1500 metre ya da daha yüksek olan dağlık bölgelerde kentsel atıksu deşarjı, bu gibi deşarjların çevreyi olumsuz yönde etkilemediğine ilişkin atıksu karakterizasyonu ve alıcı ortamın taşıma kapasiteleri ile alıcı ortamın kullanım planları da göz önüne alınarak ayrıntılı bilimsel araştırmalar yapılması şartıyla, yukarıda öngörülenlerden daha esnek bir arıtmaya tabi tutmak üzere mahallin en büyük mülki amirinin uygun görüşü alınır.

¹ Eğer BOİ₅ ile yerine kullanılan parametre arasında korelasyon kurulabilirse, bu parametre bir başka parametre ile değiştirilebilir: toplam organik karbon (TOK) yada toplam oksijen ihtiyacı (TOİ) gibi.

² Bu şart yerleşim biriminin büyüklüğüne bağlıdır.

Lagünlerden deşarjlara ilişkin analizler filtre edilmiş örnekler üzerinde yapılmakla birlikte; filtre edilmemiş su örneklerinde toplam askıda katı madde konsantrasyonu 150 mg/l’yi aşmamalıdır.

Tablo 4.2 Kentsel Atıksu Arıtım Tesislerinden İleri Arıtıma İlişkin Deşarj Limitleri*

Parametreler	Konsantrasyon	Minimum Arıtma Verimi(%)	Referans Ölçüm Metodu
Toplam fosfor	2 mg/l P (10000-100000 E.N.) 1 mg/l P (100.000 E.N.'den fazla)	80	Moleküler absorpsiyon spektrofotometre
Toplam azot ¹	15 mg/l N (10000-100000 E.N.) 10 mg/l N (100.000 E.N.'den fazla) ²	70-80	Moleküler absorpsiyon spektrofotometre

*Yerel şartlara bağlı olarak parametrelerin biri veya ikisi birden uygulanabilir. Konsantrasyon değerleri veya arıtma verimleri uygulanacaktır.

¹ Toplam azotun anlamı: toplam Kjeldahl-azotu (organik azot + amonyak-azotu), nitrat (NO₃) - azotu ve nitrit (NO₂) -azotu

² Alternatif olarak günlük ortalama 20 mg/l N'yi aşmamalıdır. Bu şart atıksu arıtma tesisi biyolojik reaktörünün işleyişi esnasında 12 °C yada daha yüksek ısıdaki suya uygulanacaktır. Sıcaklıkla ilgili koşullar yerine yerel iklim koşullarını gözönüne almak bağlamında işletme süresi ile ilgili kısıtlar uygulanabilir. Bu alternatif ancak EK II'in yerine getirildiğinin gösterilmesi şartıyla uygulanır.

Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği

27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği'nin amacı, 8/1/2006 tarihli ve 26047 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği uyarınca hassas su alanları ve az hassas su alanlarının tespiti, izlenmesi ile bu alanlara yapılacak kentsel atıksu deşarjlarının tabi olacağı usul ve esasları belirlemektir. Yönetmelikte “Az Hassas Su Alanı” ; morfoloji, hidroloji ya da özel hidrolik şartlara göre atıksu deşarjının çevreyi olumsuz yönde etkilemediği deniz, haliç ve lagün gibi kıyı su ortamları ile hassas su alanları haricindeki kıyı suları, “Hassas Su Alanı” ise; ötrofik olduğu belirlenen veya gerekli önlemler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek doğal tatlı su gölleri, diğer tatlı su kaynakları, haliçler ve kıyı suları, önlem alınmaması halinde yüksek nitrat konsantrasyonları içerebilecek içme suyu temini amaçlanan yüzeysel tatlı sular ve diğer sebeplerle daha ileri arıtma gerektiren alanları, “Gri Alanlar”; morfolojik ve su kalitesi özelliklerine göre kentsel atık su girdilerinin ötrofikasyon riski oluşturabileceği düşünülen ve/veya potansiyel olarak ötrofikasyon riski taşıdığı tespit edilen ancak veri yetersizliği olan izlenmesi gereken haliçler ve kıyı sularını, ifade etmektedir. Tebliğde yer alan önemli hükümler aşağıda sıralanmıştır.

- Eşdeğer nüfusu 10.000 kişi üzeri olan atıksu toplama alanlarında yeni projelendirilecek atıksu arıtma tesisleri, gelecekte su ortamının hassas alan ilan edilmesi olasılığına uyum sağlayabilecek şekilde tasarlanır.
- Bakanlık yapılacak analiz ve teknik çalışmalar neticesinde gerekli gördüğü yerlerde, 50.000 ve üzerinde eşdeğer nüfusa sahip yerleşim alanlarında ikincil arıtmaya ek olarak Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği ekinde yer alan Tablo 2'de belirtilen şartlarda uygun arıtma isteyebilir.

Tebliğ kapsamında belirlenen hassas alanları gösterir EK-1 aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.3 Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği EK-1 Hassas Alanlar Tablosu

EK-1					
HASSAS ALANLAR					
Ek:1A Hassas Havzalar					
1. Konya Kapalı Havzası 2. Burdur Kapalı Havzası 3. Van Gölü Kapalı Havzası 4. Akarçay Kapalı Havzası 5. Ilısu Baraj Havzası					
Ek:1B İçme ve kullanma suyu temin edilen ya da temini amacıyla Yatırım Programına alınmış olan yüzeysel su kaynaklarının havzaları, (havza sınırı memba tarafındaki bir önceki rezervuarların sınırına kadardır)					
Ek:1C Hassas Koy, Körfez ve Kıyılar					
	X1	Y1	X2	Y2	Durum u
İskenderun - Mersin Mezitli	36d06'07.31"E	36d33'46.18"N	34d32'34.57"E	36d44'33.73"N	Hassas
Mersin Kızkalesi-Taşucu Burnu	34d10'19.37"E	36d28'38.26"N	33d52'55.62"E	36d18'54.63"N	Hassas
Fethiye Koyu	29d05'42.86"E	36d38'19.6"N	29d06'39.17"E	36d39'13.74"N	Hassas
Marmaris Koyu	28d18'42.36"E	36d49'04.71"N	28d15'19.84"E	36d47'25.75"N	Hassas
Güvercinlik – Didim	27d32'26.21"E	37d07'37.72"N	27d14'31.44"E	37d20'13.12"N	Hassas
Karaburun-İzmir Körfezi (Foça)	26d37'13.36"E	38d31'46.52"N	26d46'32.48"E	38d36'57.15"N	Hassas
Aliaga Koyu	26d57'54.32"E	38d50'07.76"N	26d36'34.33"E	39d16'23.27"N	Hassas
Ayvalık - Altınoluk	26d36'34.33"E	39d16'23.27"N	26d44'18.6"E	39d34'02.07"N	Hassas
Bandırma Körfezi	27d57'02.99"E	40d25'13.6"N	28d00'01.51"E	40d21'59.91"N	Hassas
Gemlik Körfezi - İstanbul Boğazı Doğu girişi	28d49'47.18"E	40d22'56.64"N	29d01'22.3"E	40d59'28.32"N	Hassas
İstanbul Boğazı Batı girişi – Büyükçekmece	28d56'09.68"E	40d59'59.86"N	28d32'09.33"E	40d59'13.97"N	Hassas
Ünye-Samsun-Bafra arası	37d26'42.85"E	41d04'29.85"N	35d43'18.57"E	41d39'33.18"N	Hassas
Haliç Körfezi	-	-	-	-	Hassas

4.2. Avrupa Birliği'nde Atıksu Sektöründeki Yasal Çerçeve

AB mevzuatında atıksu kalitesinin belirlenmesi açısından bakıldığında 3 önemli direktif bulunmaktadır.

- Su Çerçeve Direktifi (2000/60/EC)
- Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi (91/271/EEC)
- Arıtma Çamurunun Tarımda Kullanılması Halinde Çevrenin ve Özellikle Toprağın Korunması Hakkında Direktif (86/278/EEC)

Su Çerçeve Direktifi:

Aralık 2000 tarihinde yürürlüğe giren "Su Çerçeve Direktifi (SÇD)" (2000/60/EC) ile havza bazlı yönetim yaklaşımı benimsenmektedir. Direktif, tüm AB sınırları içerisindeki su kaynaklarının sadece nicel olarak değil, nitel olarak da korunmasını ve kontrol edilmesini hedeflemektedir. SÇD ile Avrupa sularının, ortak bir standarda göre korunması için kapsamlı bir politika ortaya konmuştur. Bu nedenle, SÇD, daha önce yayımlanmış olan "Kentsel Atıksu Arıtımına İlişkin Direktif (91/271/EEC), (1991); Nitrat Direktifi (1991), İçme Suyu Direktifi, (1998), Bütünleşik Kirlenme Önleme ve Kontrolü (IPPC) Direktifi (1996), Yüzme Suyu Kalitesi Direktifi (1991) gibi suyla ilgili tüm mevzuatı da kapsamaktadır. SÇD mevcut kaynakların uzun dönemli korunmasına dayalı sürdürülebilir su kullanımını destekleyen, öncelikli maddelerin deşarjlarının, emisyonlarının ve kayıplarının aşamalı olarak azaltılması ve öncelikli tehlikeli maddelerin deşarjlarının, emisyonlarının ve kayıplarının durdurulması ve yavaş yavaş ortadan kaldırılmasını amaçlayan ve yeraltı suyu kirliliğinin aşamalı olarak azaltılmasını sağlayan ve daha fazla kirliliği önleyen bir çerçeve oluşturmaktadır. SÇD'nin en önemli hükümleri şu şekilde özetlenebilir:

- Gelecekte, sınır ötesi su kaynakları, sahip oldukları su toplama havzaları ile birlikte, ilgili ülkelerin ortaklığı ile yönetilecek, sadece ulusal veya bölgesel yönetim yaklaşımından vazgeçilecektir.
- Su kaynağının kalitesinin incelenmesinde, geçmişte olduğu gibi sadece kirletici parametrelere bakılmayacak, aynı zamanda su ortamındaki flora ve fauna, yani su ekolojisi de mercek altına alınacaktır.

- Hedef, 2015 yılında, tüm su kaynaklarında, su kalite kategorilerine bağlı olarak iyi bir duruma (good status) kavuşmaktır. Bu amaçla tüm AB ülkeleri ulusal ve uluslararası ölçekte, ölçüm yöntemlerini ve yönetim planlarını oluşturacaklardır.

Bu ana hükümler doğrultusunda, SÇD tüm paydaşların su sorununun çözümüne daha aktif olarak katılımını sağlayacak ve ekonomik bir değeri olduğu kabul edilen suyun fiyatlandırılmasında gerçekçi ve doğru bir yaklaşım izlenebilecektir. Suyu kullananın, bedelini ödemesi ilkesini benimseyen AB, bu sayede su kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamayı hedeflemektedir.

Kentsel Atıksu Arıtımına İlişkin Direktif:

Avrupa Birliği, 1991 yılında yürürlüğe koyduğu Kentsel Atıksu Arıtımına İlişkin Direktif (KAAD) (91/271/EEC) ile, tüm üye ülkelerin kentsel atıksularını nasıl yönetmesi gerektiğini açıkça tanımlamıştır. Direktif, kentsel yerleşimlerden ve belli endüstrilerden kaynaklanan atıksuların çevreye olumsuz etkilerini önlemeyi amaçlamaktadır. Bu çerçevede yapılacak her işlem için gerekli standartlar iki faktöre bağlıdır. Bu faktörler; kentsel alanın büyüklüğü ve hassas ya da hassas olmayan alıcı ortamların sınıflandırılmasıdır. Direktif hassas sulara deşarjlar için 10.000 nüfustan fazla kentsel alanlarda birincil, ikincil ve üçüncül arıtmayı 1998' e kadar gerekli kılmaktaydı. Bunun yanı sıra hassas olmayan sulara deşarjlarda 15.000 kişiden fazla yerleşim yerlerinde 2000 yılına kadar birincil ve ikincil arıtmanın kurulması zorunluydu. Bu iki kategori için geçerli kurallar, 2005 yılından sonra 2000 nüfuslu ve üzerindeki tüm yerleşim yerleri için uygulanmaya başladı. Fakat bu süre 2004 yılında katılan 10 üye devlet için 2010'a kadar uzatıldı. 2004 yılından önceki 15 üye ülkeden çoğu henüz direktife tam olarak uyum sağlayamadı. Birkaçı nehir havzalarını gözlemlenmede ve ekolojik statülerini değerlendirmede başarısız oldular. 1998 ve 2000 yılına kadar direktifin gerektirdiği atıksu arıtma tesislerini kuramadılar. Avusturya, Danimarka, Almanya ve Hollanda gibi bazı ülkeler ise Kentsel Atıksu Arıtımı Direktifi'ne uyum sağlamada önemli gelişmeler elde ettiler.

Direktifin en önemli yanlarından biri “*hassas bölge*” kavramının ve bu bölgelere uygulanacak atıksu deşarj standartlarının tanımlanmış olmasıdır. Direktif’e göre her üye ülke 31 Aralık 1993 tarihine kadar kendi hassas bölgelerini belirlemek zorundaydı. Öte yandan eğer herhangi bir üye ülke kendi topraklarında hassas bölgeler için tanımlanmış deşarj standartlarından daha sıkı standartlar uyguluyorsa, o ülkenin hassas bölgelerini belirlemesi zorunlu değildir. Ancak bu durum pratikte o ülkenin tamamen hassas bölge sayılması anlamına gelmektedir. Danimarka, Lüksemburg, Hollanda, Finlandiya ve İsveç tüm topraklarını hassas bölge ilan etmişlerdir. Diğer üye ülkeler ise kendi topraklarında hassas bölge tanımlaması içine girecek alanlarını tanımlamış durumdadırlar.

KAAD’nin bazı önemli maddeleri;

- Üye devletlerin bütün yerleşim yerlerinden eşdeğer nüfusu 15.000’den fazla olanların en geç 31.12.2000 tarihine kadar, 2000-15.000 arasında olanlar en geç 31.12.2005 tarihine kadar kentsel atıksuları için kanalizasyon sistemi kurmak zorundadırlar.
- “Hassas bölge” olarak tanımlanan alıcı su ortamlarına kentsel atık su deşarjı yapmaları halinde, eşdeğer nüfusu 10.000 fazla olan yerleşim yerleri en geç 31 Aralık 1998 tarihine kadar kanalizasyon sistemlerini kuracaklardır. Bir kanalizasyon sistemi kurulmasının herhangi bir çevresel yarar sağlamaması ya da aşırı masraf gerektirmesi halinde, aynı düzeyde çevresel koruma sağlayan bireysel sistemler ya da diğer uygun sistemler kullanılacaktır.
- Üye Devletler kanalizasyon sistemine giren kentsel atık suyun (aşağıdaki tarihlere kadar) ikincil arıtma ya da ona denk bir arıtmaya tabi tutulmasını sağlayacaklardır.
- 15000 eşdeğer nüfustan fazla yerleşim alanlarından yapılan bütün deşarjlar için en geç 31 Aralık 2000 tarihine kadar,
- 10000 ila 15000 eşdeğer nüfus arasındaki yerleşim yerlerinden yapılan bütün deşarjlar için en geç 31 Aralık 2005 tarihine kadar,

- 2000 ila 10000 eşdeğer nüfus arasındaki yerleşim yerlerinden tatlı sulara ve haliçlere yapılan deşarjlar için en geç 31 Aralık 2005 tarihine kadar.
- Üye Devletler 31 Aralık 1993 tarihine kadar direktifte belirtilen kriterlere göre hassas bölgeleri belirleyeceklerdir.
- Hassas bölgelerde eşdeğer nüfusu 10.000 fazla olan yerleşim yerleri en geç 31 Aralık 1998 tarihine kadar atıksularını ileri arıtmaya tabi tutacaklardır.
- Hassas alanların belirlenmesinden itibaren 7 yıl içinde uygun şartlar sağlanacaktır.
- Üye devletler 31 Aralık 1993 tarihine kadar “az hassas bölgeler ”i belirleyeceklerdir.
- Üye Devletler, aşağıdaki hallerde, kanalizasyon sistemine giren kentsel atık suların, 31 Aralık 2005 tarihine kadar direktifte tanımlanan uygun arıtmaya tabi olmasını sağlayacaklardır.
- 2000’den az eşdeğer nüfusa sahip yerleşim yerlerinden tatlı su ve haliçlere yapılan deşarjların,
- 10.000’den az eşdeğer nüfusa sahip yerleşim yerlerinden kıyı sularına yapılan deşarjların.

5. TÜRKİYE'DE FOSFOR GİDERİMİ YAPAN AAT'LERİN MEVCUT DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Fosfor Giderimi Yapan Mevcut Atıksu Arıtma Tesisleri

Ülkemizde Bakanlığımız 2010 verilerine göre 259 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan incelemeler neticesinde 259 adet atıksu arıtma tesisinin 31'in de fosfor giderimi yapıldığı tespit edilmiştir. Bakanlığımız Merkez ve İl Müdürlüklerimiz verileri ile TÜİK verileri kullanılarak belirlenen, ülkemizdeki biyolojik ve/veya kimyasal fosfor giderimi yapan belli başlı atıksu arıtma tesisleri Tablo 5.1'de gösterilmektedir.

Tabloda yer alan bazı belediyelerden ekte yer alan resmi yazı ile bilgi talebinde bulunulmuştur. Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'ün doldurulması ve soruların cevaplanması istenmiştir. İstenilen bilgileri eksiksiz olarak tarafımıza ulaştıran belediyeler; Bursa, İstanbul, İzmir, Antalya, Kayseri Büyükşehir Belediyeleri ile Malatya, Kütahya, Fethiye Belediyeleridir.

Her bir belediyeye ait tesisler için tezin literatür kısmındaki bilgiler ışığında yapılan değerlendirmeler, tablolar ve grafikler ile birlikte bu bölümde sunulmuştur.

Öncelikle tesis hakkında kısa bir bilgi verilmiştir. Ardından prosese ait dizayn kriterlerinden bahsedilmiştir. Sıcaklık ve KOİ/BOİ, BOİ₅/TP, KOİ/TP oranlarının fosfor giderimi üzerine etkisi değerlendirilmiştir. UYA ölçümü yapan tesislerde fosfor giderim verimleri bu parametre açısından da incelenmiştir.

Değerlendirmede kullanılan literatür bilgileri aşağıda verilmektedir.

- “Literatürde fosfor giderimi üzerine etkileri bir çok farklılık göstermektedir. Nakamura vd. (1995) ise 25 °C’de fosfor salınım ve alınımının en yüksek değerde olduğunu tespit etmişlerdir.”
- “KOİ:BOİ₅ oranı atıksu kirlilik yükünün biyolojik olarak ayrışabilirliğinin bir ölçüsüdür. Eğer KOİ:BOİ oranı 2:1’i geçmezse, biyolojik olarak

ayrışabilirlik iyi olarak nitelendirilir. Yüksek değerler, biyolojik olarak zayıf ayrışabilir maddelerin varlığını göstermektedir. Randal vd. (1992) yaptıkları deneysel çalışmalarda, 1 mg/L ve daha az çıkış TP konsantrasyonu elde etmek için, giriş BOİ/TP oranının 20:1, KOİ/TP oranının 40:1'den yüksek olması gerektiğini tespit ettiler.”

- “Giriş atıksuyunda uçucu yağ asidi miktarı da biyolojik fosfor gideriminin performansını etkileyen faktörlerden biridir. Siebritz vd. (1983) giriş KOİ değerinin %20'sinin kolaylıkla indirgenebilir substrat, %6'sının ise asetik asit gibi uçucu yağ asitleri olduğu kanısına varmışlardır. Aynı şekilde Abamor vd. (2008) İstanbul Paşaköy AAT'nde yaptıkları çalışmada uçucu yağ asidi konsantrasyonunun giriş KOİ değerinin %6'sı olduğunu tespit etmişlerdir. Metcalf&Eddy (2004)'te anaerobik reaktörde 1 gr biyolojik olarak indirgenebilir KOİ başına 1,06 gr asetat üretildiği ve 1 gr P giderebilmek için 10 gr biyolojik olarak indirgenebilir KOİ gerekli olduğu belirtilmektedir. Tüm bu bilgilerden yola çıkarak anaerobik reaktörde bulunacak UYA miktarı giriş KOİ'sinin yaklaşık %30'u olarak kabul edilebilir. Bir başka bilgi ise anaerobik reaktörde en az 50 mg/L UYA olması gerekliliğidir.”

Tablo 5.1 Türkiye'de Fosfor Giderimi Yapan Mevcut Atıksu Arıtma Tesisleri

Türkiye'de Fosfor Giderimi Yapan Mevcut Atıksu Arıtma Tesisleri				
NO	İL	İLÇE	Arıtma Tesis	
			Adı	Arıtma Türü
1	Ankara	ÇUBUK	Çubuk	Biyolojik P Giderimi
2	Ankara	KARAKÖY	Karaköy	Biyolojik P Giderimi
3	Antalya	ALANYA	Avsallar Belediyesi	Kimyasal P giderimi
4	Antalya	BÜYÜKŞEHİR	Hurma*	Biyolojik P Giderimi
5	Antalya	BÜYÜKŞEHİR	Lara AAT ve DDD*	Biyolojik P Giderimi
6	Antalya	SERİK	Boğazkent	Kimyasal P giderimi
7	Antalya	SERİK	Belek I (Kadriye)	Kimyasal P giderimi
8	Antalya	SERİK	Belek II	Kimyasal P giderimi
9	Antalya	SERİK	Kumköy	Kimyasal P giderimi
10	Bursa	BÜYÜKŞEHİR	BUSKİ Batı	Biyolojik P Giderimi
11	Bursa	BÜYÜKŞEHİR	BUSKİ Doğu	Biyolojik P Giderimi
12	Düzce	MERKEZ	Düzce Belediyesi	Biyolojik P Giderimi
13	İstanbul	SULTANBEYLİ	Paşaköy AAT	Biyolojik P Giderimi
14	İstanbul	TUZLA	Tuzla AAT ve DDD	Biyolojik P Giderimi
15	İzmir	BÜYÜKŞEHİR	Güney Bölgesi	Biyolojik P Giderimi
16	İzmir	ÇİĞLİ	Kuzey (Çiğli) Bölgesi	Biyolojik P Giderimi
17	İzmir	FOÇA	Foça Belediyesi*	Biyolojik P Giderimi
18	İzmir	URLA	Urla	Biyolojik P Giderimi
19	İzmir	GÜMÜLDÜR	Gümüldür	Biyolojik P Giderimi
20	İzmir	BAYINDIR	Bayındır	Biyolojik P Giderimi
21	İzmir	MENDERES	Havza	Biyolojik P Giderimi
22	Kayseri	BÜYÜKŞEHİR	KASKİ	Biyolojik P Giderimi
23	Kütahya	MERKEZ	Kütahya Belediyesi	Biyolojik P Giderimi
24	Malatya	MERKEZ	Malatya Belediyesi	Biyolojik P Giderimi
25	Muğla	FETHİYE	Fethiye Belediyesi	Biyolojik P Giderimi
26	Muğla	GÖCEK	Göcek	Biyolojik P Giderimi
27	Muğla	GÖKOVA	Akyaka	Biyolojik P Giderimi
28	Muğla	DALYAN	Dalyan	Biyolojik P Giderimi
29	Muğla	KÖYCEĞİZ	Köyceğiz	Biyolojik P Giderimi
30	Uşak	MERKEZ	Uşak Belediyesi	Biyolojik P Giderimi
31	Sivas	Merkez	Sivas Belediyesi	Kimyasal P Giderimi

*Bu tesislerde gerektiği zamanlarda kimyasal P giderimi de yapılmaktadır.

Tablo 5.2 Atıksu Arıtma Tesisi Bilgi Formu

ATIKSU ARITMA TESİSİ BİLGİ FORMU									
1.Tesisin Adı	:								
2.Tesisinin Türü (Prosesi)	:								
3.Tesisinin Kapasitesi	:	Dizayn Debisi(m ³ /gün):				Q _{max} :			
	:	Hizmet Ettiği Nüfus:				Q _{min} :			
4.Eşdeğer Nüfus (kişi)	:	EN _{BOI}	EN _{KOI}	(EN hesabında KOI:100, BOI: 60 gr/kişi-gün alınacaktır.)					
5.Tasarım Kriterleri	:	Parametre	Giriş Değeri (mg/L)	Deşarj Kriteri (mg/L)	Verim(%)	Bölge	*SRT (gün)	HRT* (sa)	Tank Hacmi(m ³)
	:	BOİ5				Anaerobik			
	:	KOI							
	:	TAKM				Anoksik			
	:	TN							
	:	TP				Aerobik			
6.Toplam Yatırım Maliyeti	:	TL							
a) İnşaat	:	TL				İnşaat / Toplam Maliyet:			
b) Mekanik - Elektrik (İşçilik dahil)	:	TL				Mekanik -Elektrik /ToplamMaliyet:			
c) Maliyet / EN	:	TL							
d) Maliyet / m ³	:	TL							
e) Fosfor Giderim Ünitelerinin Yatırım Maliyeti/Toplam Yatırım Maliyeti	:								
7.Yıllık İşletme Maliyeti	:	TL							
a) İşletme maliyeti / m ³	:	TL							
b) İşletme maliyeti / EN	:	TL (yıllık)							
c) Fosfor giderim Prosesinin İşletme Maliyeti/Toplam İşletme Maliyeti	:								
8.Çamur Susuzlaştırma Tipi ve Nihai Bertaraf Şekli (KM%)	:								
9.Günlük Elektrik Sarfıyatı kwh/m ³	:								
10.Deşarj Yeri ve Havzası	:								

*SRT: Çamur Yaşı HRT: Hidrolik Bekleme Süresi

Tablo 5.3 Fosfor Giderimi Tablosu

Farklı Numune Alma Noktalarında Atıksu Karakteristikleri													
Parametreler Numune Alma Noktası	pH	Sıcaklık	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	Nitrat (NO ₃ N) (mg/L)	Fosfat (PO ₄ -3) (mg/L)	TP (mg/L)	Amonyum (NH ₄ -N) (mg/L)	TKN (mg/L)	UYA (mg/L)	CaCO ₃ Alkalinitesi (mg/L)
Giriş Atıksuyu													
Bio-P Tankı (Giriş)													
Bio-P Tankı (Çıkış)													
Havalandırma Havuzu (Anoksik Bölge)													
Havalandırma Havuzu (Aerobik Bölge)													
Arıtılmış Su													
Çamur Geri Devir Hattı													

*Bu tablo her mevsim için ayrı ayrı, ortalama değerler kullanılarak doldurulacaktır.

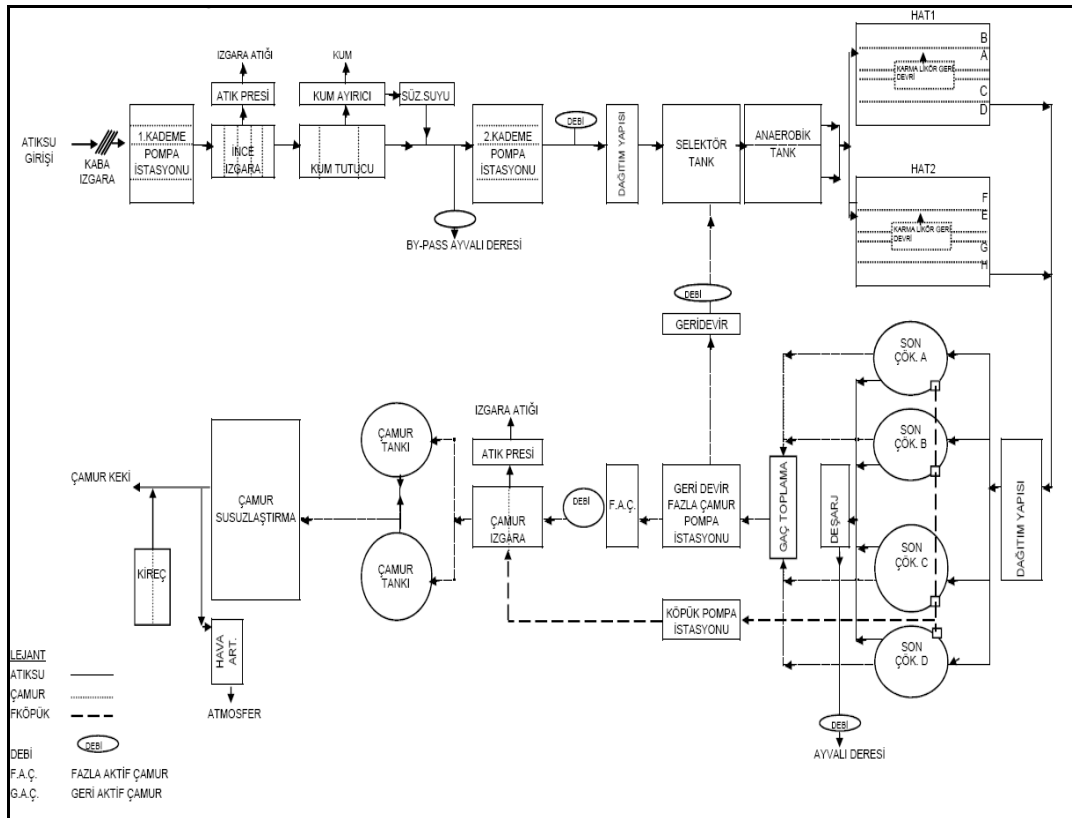
SORULAR

- 1) İşletme parametrelerinin son bir yıllık ortalamaları nedir? Son bir yıllık işletme parametreleri tablosunu gönderiniz. (debi, kirlilik yükleri vb.)
- 2) Tesisteki fosfor giderim yöntemi nedir? (Biyolojik / Kimyasal / B+K)
- 3) Biyolojik fosfor giderimi yapılıyorsa; sistem verimini olumsuz yönde etkilediğini tespit ettiğiniz ya da tahmin ettiğiniz faktörleri belirtiniz. Bu konu ile ilgili tesisin işletmeye alınmasından itibaren yaşanan sıkıntıları ve oluşturduğunuz çözüm yollarını paylaşınız. Çözümlerinizin size olan maliyetlerini belirtiniz.
- 4) Kimyasal yolla fosfor giderimi yapılıyorsa aşağıdaki soruları cevaplayınız.
 - * Tesisin hangi noktalarından ilave ediliyor?
 - * Kullanılan kimyasalın adı, günlük tüketim miktarı, birim fiyatı ve günlük maliyetini belirtiniz.
 - * Kimyasal fosfor gideriminin olumsuz yönlerini, oluşan kimyasal çamur miktarı ve nasıl uzaklaştırıldığını açıklayınız.
 - * Atıksu kimyasal ilavesinden sonra filtrasyon işlemine tabi tutuluyor mu? Filtrasyon işlemi P giderim verimini ne değerde etkiliyor?
- 5) Son çökeltim havuzunda bekleme süresi ve yüzeysel hidrolik yük nedir?
- 6) Fazla çamur geri devir oranı ve içsel sirkülasyon oranı nedir?
- 7) Tesise ait akım şemasını ilave ediniz
- 8) Tesisin yatırım ve işletme maliyetleri nedir? (Yatırım maliyetlerinin inşaat, mekanik, elektrik işleri, arazi bedeli vb., işletme maliyetlerinin ise Personel+ tüm elektrik giderleri+kimyasal madde sarfiyatları+su sarfiyatı vs. şeklinde detaylandırılması, İşletme maliyetinin TL/m³ ve TL/kgBOİ cinsinden verilmesi)
- 9) Tesiste ileri arıtma (azot ve fosfor giderimi) yapması için revizyonda ilave edilen ünite varsa yatırım maliyeti nedir?

5.1.1. Bursa Büyükşehir Belediyesi Batı Atıksu Arıtma Tesisi

Mevcut Durum:

Bursa Batı Atıksu Arıtma Tesisi, kentin batı havzasındaki evsel atıksuların arıtılması amacıyla Özlüce mevkiinde, 100.000 m²'lik bir alanda kurulmuştur. Eşdeğer nüfusu yaklaşık olarak 650.000 kişi olan tesisin, ortalama proje debisi 2017 yılı için 87.500 m³/gün ve 2030 yılı için 175.000 m³/gün'dür. Deşarj yeri Nilüfer Çayı'na bağlanan Ayvalı Dere olup Susurluk Havzası'nda yer almaktadır. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı) hükümlerine göre deşarj yeri "normal su alanı" dır. Tebliğde hassas su alanları dışında kalan kıta içi su ortamları normal su alanı olarak tanımlanmaktadır. Proses tipi 5 aşamalı Bardenpho'dur. Tesiste ilave kimyasal fosfor giderimi yapılmamaktadır. Tesis yetkilisi ile yapılan görüşmede; fosfor giderimini etkileyen olumsuzlukların endüstriyel atıksu deşarjlarından kaynaklandığı, bunun dışında önemli bir sorunlarının olmadığı ve eğer denetimler arttırılırsa bu sorunlarında çözülebileceği belirtilmiştir.



Şekil 5.1 Bursa Batı AAT Akım Şeması

Tesise ait akım şemasında anaerobik tanktan önce bir selektör tankı görülmektedir. Bu tankta, ön arıtma ünitelerinden gelen atıksuyun çok kısa bir süre, havasız ortamda, geri devir çamuru ile karıştırılması ve mikroorganizmaların prosese uygun şartlara getirilmesi sağlanmaktadır. Havuzda karışım dalgıç mixer ile yapılmaktadır.

Tesis Verilerinin Değerlendirilmesi:

Aşağıdaki tabloda tesise ait AAT bilgi formundan alınan tasarım kriterleri ve Metcalf&Eddy (2004) kaynağında bulunan Bardenpho (5 kademeli) prosesi dizayn parametreleri karşılaştırılmıştır. Tesisin literatüre uygun dizayn edildiği görülmekle birlikte Amerikan standartları ile karşılaştırma yapmak doğru bir yöntem olmayabilir. Çünkü çoğu tesis Alman standartlarına göre dizayn edilmektedir. Ayrıca tesisin tasarımı standartlara ne kadar uygun yapılırsa yapılsın gelebilecek atıksuyun karakteristiği işletme esnasında farklılıklar göstereceğinden verim hakkında konuşmak adına çok da doğru bir ölçüt sayılmaz. Zaman zaman yaşanabilecek verim düşüşleri işletmede yaşanan problemlerden ve giriş atıksuyunun özelliklerinden kaynaklanabilir.

Tablo 5.4 Bursa Batı AAT Dizayn Parametrelerinin Literatürle Karşılaştırılması

Dizayn Parametresi	Bursa Batı AAT	Metcalf&Eddy (2004)
SRT (gün)	25	10-20
MLSS (mg/L)	4200*	3000-4000
Anaerobik Bölge (Sa.)	1,3	0,5-1,5
Anoksik Bölge (Sa.)	6,6	1-3(1.kademe) 2-4(2.kademe)
Aerobik Bölge (Sa.)	8,6	4-12(1.kademe) 0,5-1(2.kademe)
RAS, Giriş Atıksuyunun Yüzdesi (%)	68-150	50-100
İçsel Geridevir, Giriş Atıksuyunun Yüzdesi (%)	400	200-400

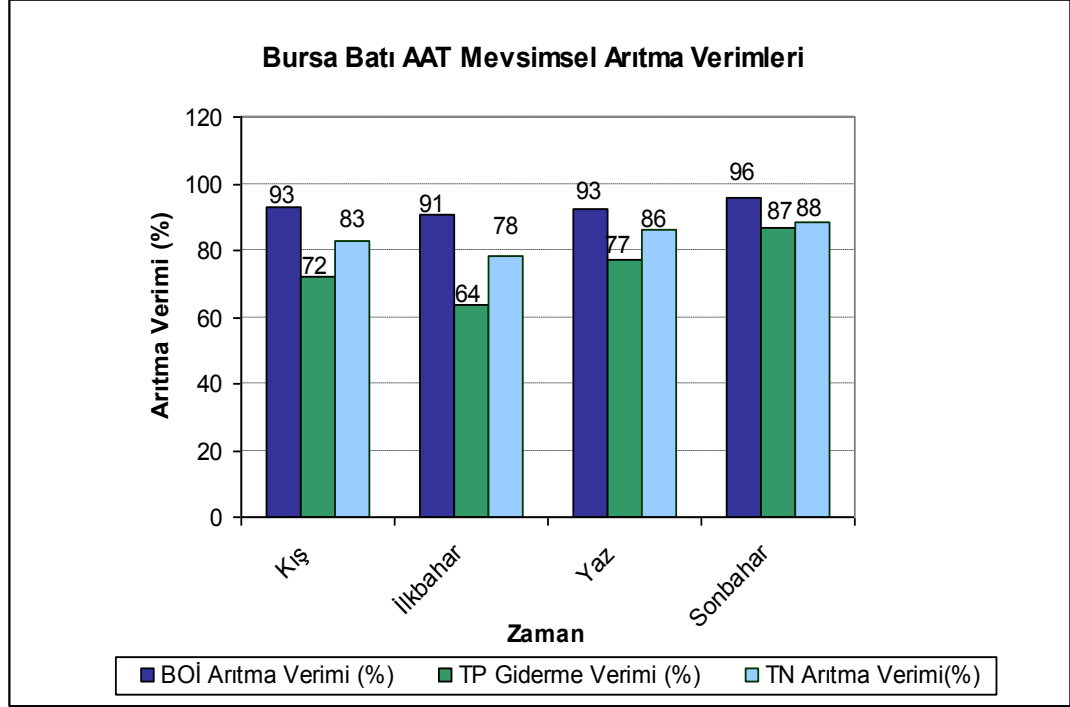
* MLSS değeri tesiste ölçülen yıllık ortalama değerden alınmıştır.

Tablo 5.5'te tesise ait 2009 yılı giriş-çıkış suyu parametre değerleri ve AKM, BOİ, KOİ, TN ile TP giderme verimleri gösterilmektedir.

Tablo 5.5 Bursa Batı AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları (2009)

Bursa Batı AAT																		
Numune Alma Noktaları	Giriş							Çıkış						Verim (%)				
Parametreler Zaman	pH	Sıcaklık	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	pH	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	AKM	BOİ	KOİ	TP	TN
Kış	7,76	15,79	201	208	490	7,57	47	7,67	10,7	15	37	2,1	8	95	93	92	72	83
İlkbahar	7,83	15,9	155	179	413	6,9	44	7,65	16,4	17	42	2,5	9,5	89	91	90	64	78
Yaz	7,79	21,9	233	257	586	10,2	66	7,86	18,5	19	53	2,3	9	92	93	91	77	86
Sonbahar	7,71	21,4	347	385	791	10,4	68	7,79	14,3	17	49	1,4	8	96	96	94	87	88

Şekil 5.2’de Tablo 5.5’deki veriler kullanılarak mevsimsel olarak ortalama BOİ, TN ve TP giderme verimleri gösterilmiştir. Her bir parametre için en yüksek verimler grafikten de görüleceği üzere sonbahar mevsiminde en düşük verimler ise ilkbahar mevsiminde elde edilmiştir. TP için ortalama giderme verimi kış aylarında %72, ilkbahar aylarında %64, yaz aylarında %77, sonbahar aylarında %87’dir.



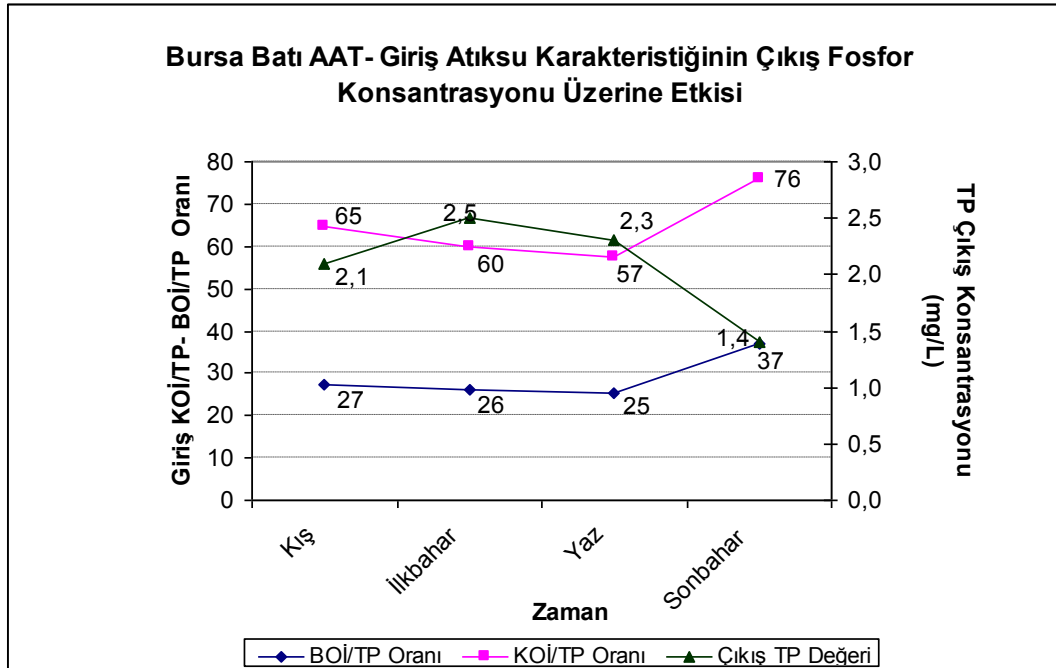
Şekil 5.2 Bursa Batı AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri

Nakamura vd. (1995) ise 25 °C’de fosfor salınım ve alınımının en yüksek değerde olduğunu tespit etmişlerdir. Bursa AAT’de sıcaklık ortalamasının 21,4 °C olduğu sonbahar aylarında TP giderme veriminin yüksek, sıcaklık ortalamasının 15,9 °C olduğu ilkbahar aylarında düşük seviyede olması bu bilgiyi destekler niteliktedir. Nitekim sıcaklık artışı ile mikrorganizma faaliyetinin ve arıtma veriminin arttığı bilinen bir gerçektir. Tablo 5.6’da tesis giriş atıksuyundaki KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP oranları ile TP çıkış değeri verilmektedir. KOİ/BOİ oranı atıksu kirlilik yükünün biyolojik olarak ayrışabilirliğinin bir ölçüsüdür. Eğer KOİ:BOİ oranı 2:1’i geçmezse, biyolojik olarak ayrışabilirlik iyi olarak nitelendirilir. Yüksek değerler, biyolojik olarak zayıf ayrışabilir maddelerin varlığını göstermektedir. Bursa Batı AAT için bakıldığında bu oran 2’den yüksektir. Randal vd. (1992) yaptıkları deneysel çalışmalarda, 1 mg/L ve daha az çıkış TP konsantrasyonu elde etmek için, giriş BOİ₅/TP oranının 20:1, KOİ/TP oranının 40:1’den yüksek olması gerektiğini

tespit ettiler. Bu tesis için BOİ/TP ve KOİ/TP oranları literatür değerlerine uygundur. Oranlar sonbahar ayında en yüksek değerlerde olup sırasıyla 37 ve 76'dır. Şekil 5.3'ten de görüleceği üzere en yüksek TP giderme verimi ve dolayısıyla en düşük TP çıkış konsantrasyonu 1,4 mg/L daha öncede bahsedildiği gibi sonbahar mevsiminde elde edilmiştir. Bu değer mevzuatta da belirtilen 1 mg/L TP deşarj kriterine uymama sebebi biyolojik olarak indirgenebilen BOİ değerinin girişte düşük olması olabilir. Tesisin deşarj noktası hassas su alanında olmadığından, aslında çıkış suyunda 1 mg/L'nin altına düşme gibi bir zorunluluğu yoktur. Fakat ileride hassas su alanı ilan edilmesi durumu söz konusu olacak olursa Tablo 2.4'te belirtilen ilave arıtma seçeneklerine ihtiyaç duyulabilir.

Tablo 5.6 Bursa Batı AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri (2009)

Bursa Batı AAT				
Zaman	Değerler	KOİ/BOİ	BOİ/TP	KOİ/TP
Kış		2,4	27	65
İlkbahar		2,3	26	60
Yaz		2,3	25	57
Sonbahar		2,1	37	76



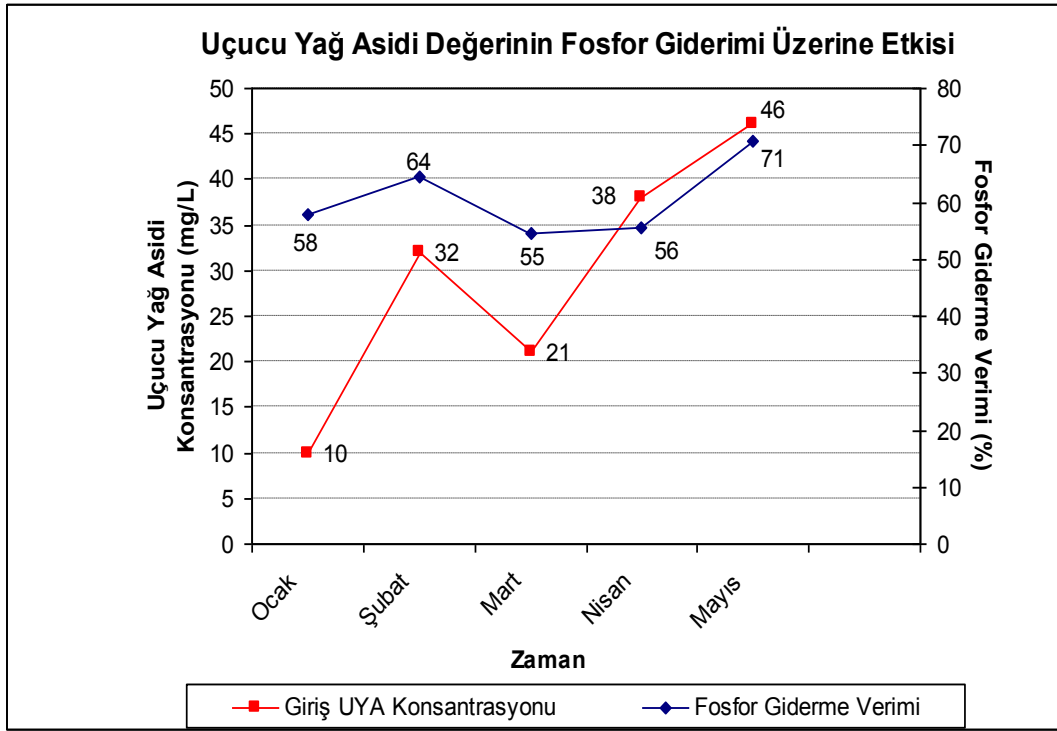
Şekil 5.3 Bursa Batı AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

Giriş atıksuyunda uçucu yağ asidi miktarı da biyolojik fosfor gideriminin performansını etkileyen faktörlerden biridir. Siebritz v.d. (1983) giriş KOİ değerinin %20'sinin kolaylıkla indirgenebilir substrat, %6'sının ise asetik asit gibi uçucu yağ asitleri olduğu kanısına varmışlardır. Aynı şekilde Abamor vd. (2008) İstanbul Paşaköy AAT'de yaptıkları çalışmada uçucu yağ asidi konsantrasyonunun giriş KOİ değerinin %6'sı olduğunu tespit etmişlerdir. Metcalf&Eddy (2004)'te anaerobik reaktörde 1 gr biyolojik olarak indirgenebilir KOİ başına 1,06 gr asetat üretildiği ve 1 gr P giderebilmek için 10 gr biyolojik olarak indirgenebilir KOİ gerekli olduğu belirtilmektedir. Tüm bu bilgilerden yola çıkarak anaerobik reaktörde bulunacak UYA miktarı giriş KOİ'sinin yaklaşık %30'u olarak kabul edilebilir. Bir başka bilgi ise anaerobik reaktörde en az 50 mg/L UYA olması gerekliliğidir. Bursa Batı AAT'de bazı aylarda UYA yetersizliğinden fosfor giderme veriminde düşüşlerin yaşandığı görülmüştür. (Tablo 5.7)

Tablo 5.7 Bursa Batı AAT KOİ, TP ve Uçucu Yağ Asidi Değerleri (2009)

Bursa Batı AAT					
Parametreler Zaman	Giriş			Çıkış	Verim
	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	UYA (mg/L)	TP (mg/L)	TP (%)
Ocak	384	7,6	10	3,2	58
Şubat	314	5,9	32	2,1	64
Mart	275	4,4	21	2,0	55
Nisan	385	6,3	38	2,8	56
Mayıs	579	9,9	46	2,9	71

Verimde düşüş olan aylar arasında en yüksek değer Şekil 5.4'te görüldüğü üzere uçucu yağ asidi ortalama konsantrasyonunun en yüksek ölçüldüğü mayıs ayındadır.

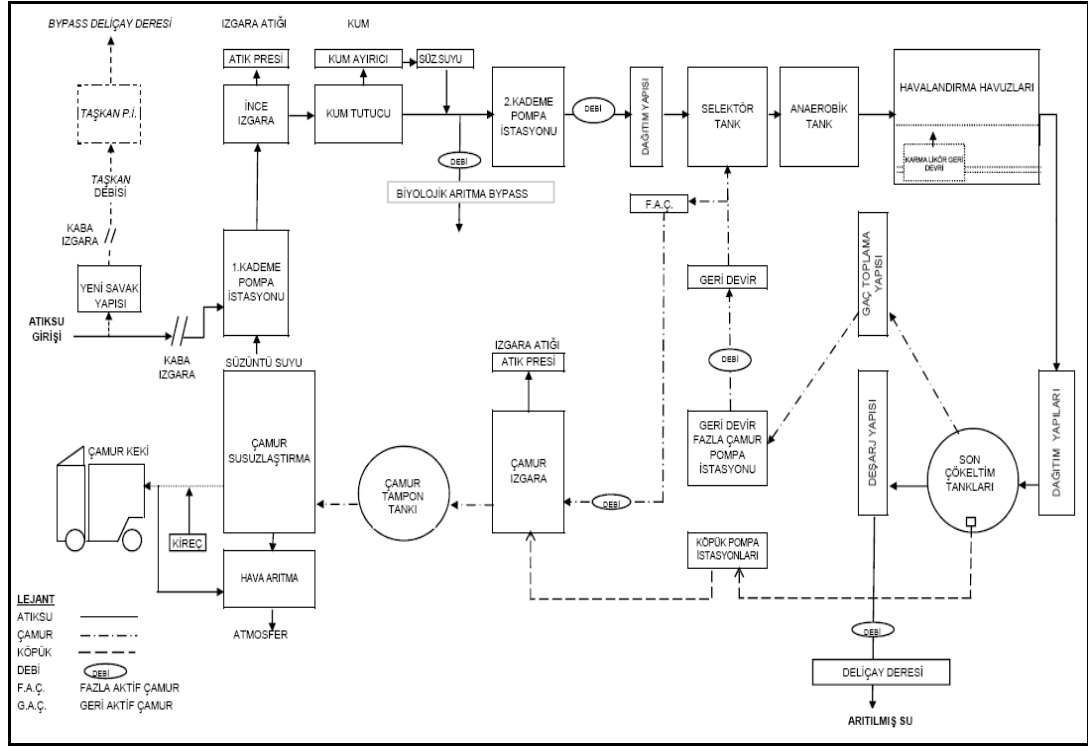


Şekil 5.4 Uçucu Yağ Asidi Değerinin TP Giderme Verimi Üzerine Etkisi –Bursa Batı AAT

5.1.2 Bursa Büyükşehir Belediyesi Doğu Atıksu Arıtma Tesisi

Mevcut Durum:

Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisi, kentin doğu havzasındaki evsel atıksuların arıtılması amacıyla Küçük Balıklı mevkiinde, 250.000 m²'lik bir alanda kurulmuştur. Eşdeğer nüfusu yaklaşık olarak 1.550.000 olan tesisin, ortalama proje debisi 2017 yılı için 240.000 m³/gün ve 2030 yılı için 320.000 m³/gün'dür. Deşarj yeri Susurluk Havzası'nda yer alan Deliçay Deresi'dir. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı) hükümlerine göre deşarj yeri "normal su alanı" dır. Proses tipi 5 aşamalı Bardenpho'dur. Tesiste ilave kimyasal fosfor giderimi yapılmamaktadır. Tesis yetkilisi ile yapılan görüşmede; fosfor giderimini etkileyen olumsuzlukların ağır metal içerikli endüstriyel atıksu deşarjlarından kaynaklandığı, bunun dışında önemli bir sorunlarının olmadığı ve eğer denetimler arttırılırsa bu sorunlarında çözülebileceği belirtilmiştir.



Şekil 5.5 Bursa Doğu AAT Akım Şeması

Tesise ait akım şemasında Batı AAT’de de olduğu gibi anaerobik tanktan önce bir selektör tankı görülmektedir. Hidrolik bekleme süresi 20 dakikadır.

Tesis Verilerinin Değerlendirilmesi:

Aşağıdaki tabloda tesise ait AAT bilgi formundan alınan tasarım kriterleri ve Metcalf&Eddy (2004) kaynağında bulunan Bardenpho (5 kademeli) prosesi dizayn parametreleri karşılaştırılmıştır. Görüldüğü üzere tesis literatüre uygun dizayn edilmiştir. Bu da zaman zaman yaşanabilecek verim düşüşlerinin işletmede yaşanan problemlerden ve giriş atıksuyunun özelliklerinden kaynaklandığı görüşünü desteklemektedir. Ayrıca Batı AAT havalandırma havuzunda MLSS değeri 4200 mg/L Doğu AAT’de ise 3130 mg/L’dir. Bir diğer farklılık ise anaerobik tanktaki bekleme süresi olup, bu değer Doğu AAT’de 1,3 saat, Batı AAT’de 1,7 saattir. MLSS ve anaerobik bekleme sürelerinde farklılıklar olsa da her iki tesis için yıllık ortalama TP giderme verimleri belirgin bir farklılık göstermemektedir. Bu değer, Doğu AAT için %74, Batı AAT için %76’dır. Tabii ki böyle bir değerlendirmeyi yaparken dizaynda seçilen bekleme sürelerini dikkate almak yanıltıcı olabilir. Çünkü işletmede yağışlı havalarda yüksek debilerle aşırı yükleme olup tesis kapasitesi aşılabılır. Böylelikle hidrolik bekleme süreleri azalabilir.

Tablo 5.8 Bursa Doğu AAT Dizayn Parametrelerinin Literatürle Karşılaştırılması

Dizayn Parametresi	Bursa Doğu AAT	Metcalf&Eddy (2004)
SRT (gün)	25	10-20
MLSS (mg/L)	3130*	3000-4000
Anaerobik Bölge (Sa.)	1,7	0,5-1,5
Anoksik Bölge (Sa.)	6,24	1-3(1.kademe) 2-4(2.kademe)
Aerobik Bölge (Sa.)	8,19	4-12(1.kademe) 0,5-1(2.kademe)
RAS Giriş Atıksuyunun Yüzdesi (%)	68-150	50-100
İçsel Geridevir, Giriş Atıksuyunun Yüzdesi (%)	400	200-400

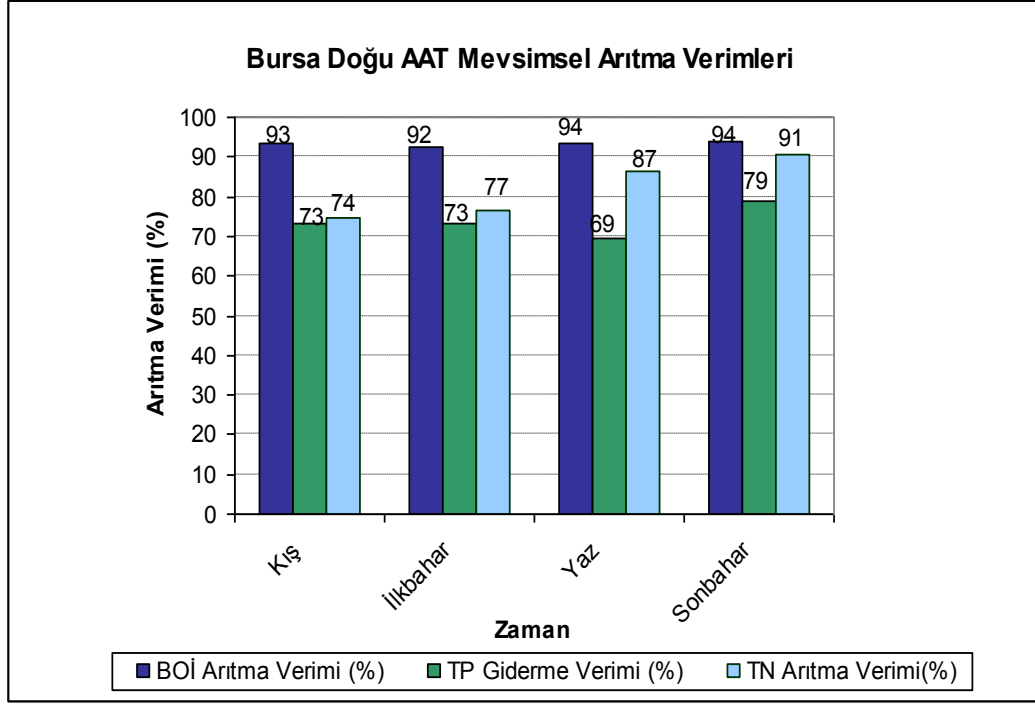
* MLSS değeri tesiste ölçülen yıllık ortalama değerden alınmıştır.

Tablo 5.9'da tesise ait 2009 yılı giriş-çıkış suyu parametre değerleri ve AKM, BOİ, KOİ, TN ile TP giderme verimleri gösterilmektedir.

Tablo 5.9 Bursa Doğu AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları (2009)

Bursa Doğu AAT																		
Numune Alma Noktaları	Giriş							Çıkış						Verim (%)				
Parametreler	pH	Sıcaklık	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	pH	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	AKM	BOİ	KOİ	TP	TN
Zaman																		
Kış	7,64	14,9	195	211	478	8,6	49	7,56	10,8	14	39	2,3	12,5	94	93	92	73	74
İlkbahar	7,71	16,7	169	185	410	7,8	48	7,56	10,2	14	37	2,1	11,2	94	92	91	73	77
Yaz	7,72	23,9	202	218	496	8,5	55	7,73	11,5	14	39	2,6	7,4	94	94	92	69	87
Sonbahar	7,66	21,7	208	233	499	8,1	53	7,76	10,4	14	41	1,7	4,9	95	94	92	79	91

Şekil 5.6'da Tablo 5.9'daki veriler kullanılarak mevsimsel olarak ortalama BOİ, TN ve TP giderme verimleri gösterilmiştir. Her bir parametre için en yüksek verimler grafikten de görüleceği üzere Batı AAT'de de olduğu gibi sonbahar mevsiminde elde edilmiştir. TP parametresi için incelendiğinde ise sıcaklık değişimlerinin verim üzerinde çok büyük farklılıklar yarattığı söylenemez.

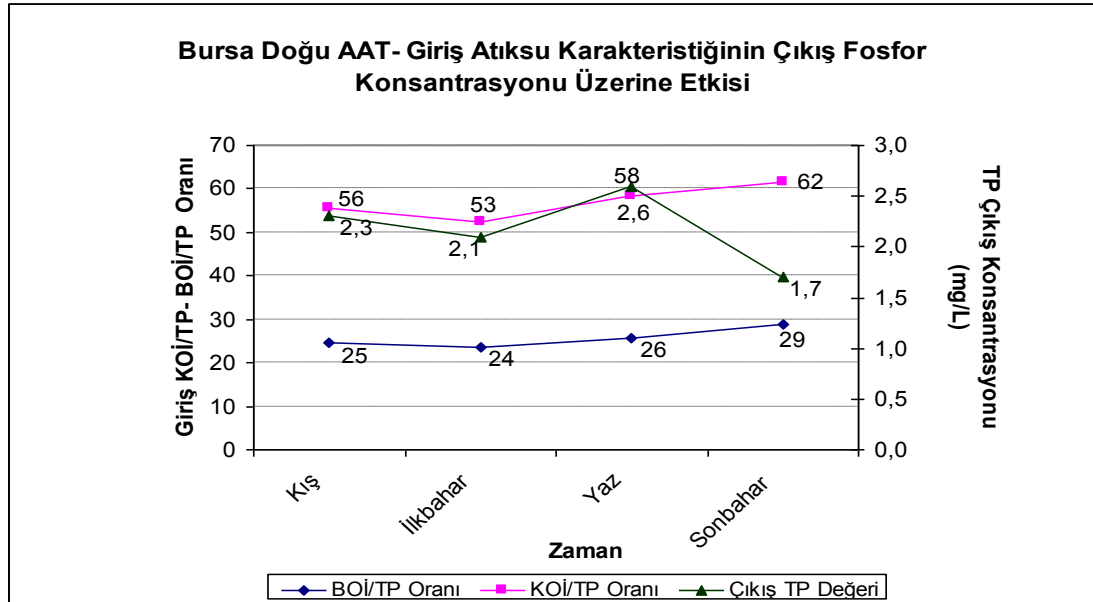


Şekil 5.6 Bursa Doğu AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri

Tablo 5.10'da tesis giriş atıksuyundaki KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP oranları ile TP çıkış değeri verilmektedir. KOİ/BOİ oranı 2'den yüksektir. BOİ/TP ve KOİ/TP oranları ise literatür değerlerine uygundur. Oranlar sonbahar ayında en yüksek değerlerde olup sırasıyla 29 ve 62'dir. Şekil 5.7'den de görüleceği üzere en yüksek TP giderme verimi ve dolayısıyla en düşük TP çıkış konsantrasyonu 1,7 mg/L daha öncede bahsedildiği gibi sonbahar mevsiminde elde edilmiştir. Bu değerin mevzuatta da belirtilen 1 mg/L TP deşarj kriterine uymama sebebi biyolojik olarak indirgenebilen BOİ değerinin girişte düşük olması olabilir. Tesisin deşarj noktası hassas su alanında olmadığından, aslında çıkış suyunda 1 mg/L'nin altına düşme gibi bir zorunluluğu yoktur. Fakat ileride hassas su alanı ilan edilmesi durumu söz konusu olacak olursa Tablo 2.4'te belirtilen ilave arıtma seçeneklerine ihtiyaç duyulabilir.

Tablo 5.10 Bursa Doğu AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri (2009)

Bursa Doğu AAT				
Değerler				
Zaman	KOİ/BOİ	BOİ/TP	KOİ/TP	TP(çıkış)
Kış	2,3	25	56	2,3
İlkbahar	2,2	24	53	2,1
Yaz	2,3	26	58	2,6
Sonbahar	2,1	29	62	1,7



Şekil 5.7 Bursa Doğu AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

5.1.3 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisi

Mevcut Durum:

Ömerli Barajı; İstanbul'un su kaynakları arasında çok önemli bir yere sahiptir. Ömerli Havzası'nda yer alan ve yetersiz altyapıya sahip, kontrolsüz kentleşmenin etkilerinden baraj gölünü korumak ve gelecekte de bu su kaynağından verimli olarak yararlanabilmek gayesiyle Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisi 2000 yılında 100.000 m³/gün'lük arıtma kapasitesi ile işletmeye alınmıştır.

Arıtma tesisi; Ömerli Su Havzasında, Sultanbeyli, Sancaktepe (Sarıgazi, Samandıra, Yenidoğan) ve kısmen Çekmeköy (Alemdağ ve Sultançiftliği) ilçelerini içine alan yaklaşık 10732 hektarlık alandan kaynaklanan, geçmişte Ömerli barajına dökülen atıksuları arıtmaktadır. Atıksular, ileri biyolojik arıtma sistemiyle alıcı ortam deşarj standartlarına uygun arıtılarak 6 km uzunluğunda bir tünel vasıtası ile Riva Deresi'ne deşarj edilmekte ve bu yolla Karadeniz'e ulaştırılmaktadır. Böylece İstanbul'un en önemli su kaynaklarından biri olan Ömerli Barajı kirlilikten korunmaktadır. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı) hükümlerine göre deşarj yeri “normal su alanı” dır. Arıtma tesisi, nihai kapasitede 2.500.000 kişilik bir nüfustan kaynaklanan ve 500.000 m³/gün debiye sahip atıksuları arıtacaktır. 2004-2005 yıllarında yapılan planlama çalışmaları neticesinde tesisin atıksu topladığı bölgede gerçekleşen yapılaşma ve nüfus artışına paralel olarak tesisin 2. ünite inşaatının yapılması gerekliliği ortaya çıkmış, bunun üzerine 08 Şubat 2007 tarihinde inşaat başlatılmıştır. 500.000 kişilik atıksu yüküne göre hizmet verecek olan 2. kademe tesis inşaatı 2009 yılı başında tamamlanarak işletmeye alınmıştır. Böylece tesisin toplam arıtma kapasitesi iki kat artırılmıştır. Ayrıca 2. kademe tesis kapsamında;

- Çamur Kurutma,
- Kojenerasyon,
- Bio filtre (Koku Kontrol),
- UV Dezenfeksiyon Üniteleri tesis edilmiştir.

Yüksek miktarda askıda katı madde ve çözünmüş kirletici organik-inorganik maddeler ihtiva eden atıksu fiziksel - biyolojik atıksu arıtma tesisinde arıtılır. Bu proses ön arıtma, biyolojik olarak fosforun bertaraf edilmesi, denitrifikasyon, nitrifikasyon ve son çöktürme aşamalarını içerir. Gerekli olan biyolojik arıtma anaerobik, anoksik ve aerobik bölgelerden, çökeltme tanklarından, geri dönüş ve fazla çamur pompa istasyonlarından ve blower binasından oluşmaktadır. Fazla çamurun uzaklaştırılması ise direkt susuzlaştırma ve çamur kurutma ünitelerinden oluşmaktadır. Ayrıca sisteme gerekli elektrik ve ısı enerjisini temin etmek için Kojenerasyon ünitesi kurulmuştur. Tesiste koku giderimi Biyofiltre ile gerçekleştirilmektedir. Arıtılmış çıkış suyu kum filtrasyonu sonrası UV teknolojisi ile dezenfekte edilmektedir.



Şekil 5.8 Paşaköy AAT Görünüm

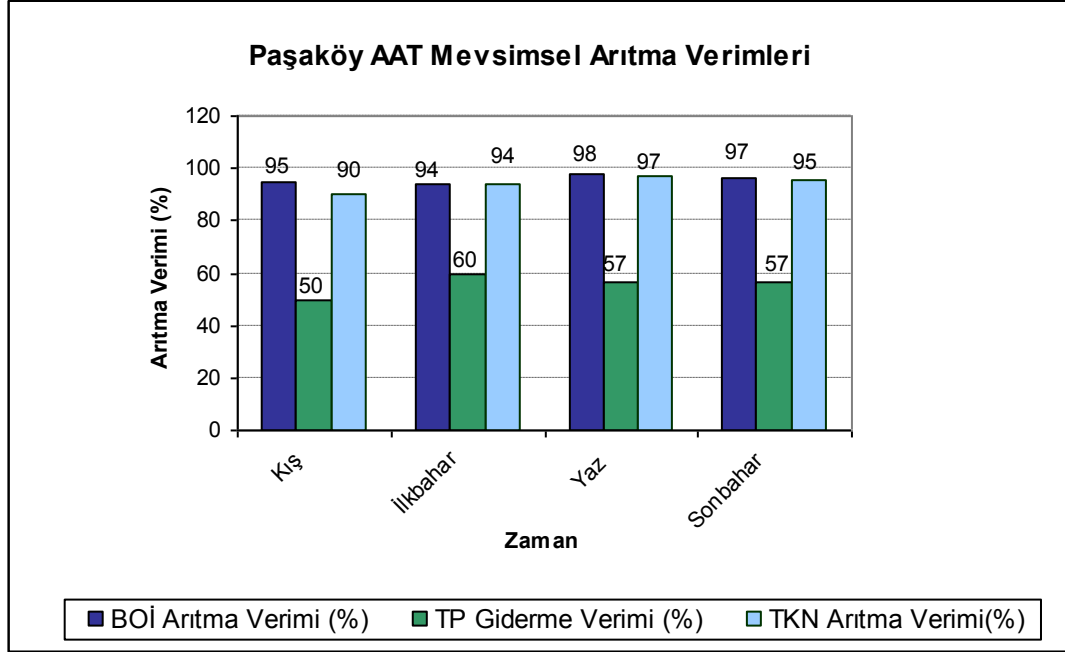
Tesis Verilerinin Değerlendirilmesi:

Tesis biyolojik fosfor giderim metotlarından 5 kademeli Bardenpho prosesine göre dizayn edilmiş olup, istenildiği takdirde VIP, UCT, A^2/O , Johannesburg gibi diğer proseslere dönüştürülebilme esnekliğine sahiptir. Tesisin çamur yaşı 8 gün, havalandırma havuzu hidrolik bekleme süresi 18 saat, anaerobik bölgede hidrolik bekleme süresi ise birinci kademede 0,9 saat, 2. kademede 1,1 saattir. Tesis yetkilisi ile yapılan görüşmede; anaerobik ortam oluşturulmasında gerek yağmur suları gerekse nitrat geri devri sebebiyle zorluklar meydana geldiği ve bu nedenle biyofosfor havuzlarının zaman zaman anoksik havuzlar gibi çalışmaya başladığı belirtilmiştir. Bu sorunu gidermek için Johannesburg prosesine benzer şekilde geri devir çamuru biyofosfor tankının ilk tankına verilmiş. İkinci tankta giriş atıksuyu ile karıştırılmıştır. Böylelikle geri devir ile gelebilecek nitratin ilk tankta azot gazına dönmesi sağlanarak verimde %20 artış sağlanmıştır. Verimi olumsuz etkileyen diğer bir faktör ise giriş atıksuyunda bulunan kolay ayrışabilir çözünmüş organik karbon değerinin biyolojik olarak fosfor giderimini için gerekli minimum değerden zaman zaman düşük olması olarak ifade edilmiştir. Tablo 5.11’de tesise ait 2009 yılı giriş-çıkış suyu parametre değerleri ve AKM, BOİ, KOİ, TKN ile TP giderme verimleri gösterilmektedir. Giriş fosfat değerleri TP değerinin yaklaşık %50’sini oluşturmaktadır.

Tablo 5.11 İstanbul Paşaköy AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları (2009)

Paşaköy AAT																		
Numune Alma Noktaları	Giriş							Çıkış						Verim (%)				
Parametreler Zaman	Sıcaklık	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	Fosfat (PO ₄ ³) (mg/L)	TP (mg/L)	TKN (mg/L)	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	Fosfat (PO ₄ ³) (mg/L)	TP (mg/L)	TKN (mg/L)	AKM	BOİ	KOİ	TP	TKN
Kış	11,1	187	142	272		4	31	17	7	34		2	3	91	95	88	50	90
İlkbahar	14	239	126	411	2,2	5	49	16	8	34	1,5	2	3	93	94	92	60	94
Yaz	23	329	348	612	5,06	9,2	70	11	8	34	3,35	4	2	97	98	94	57	97
Sonbahar	17,9	295	239	495	3,1	6,9	53,2	10	8	32	2,37	3	2,5	97	97	94	57	95

Şekil 5.9’da Tablo 5.12’deki veriler kullanılarak mevsimsel olarak ortalama BOİ, TN ve TP giderme verimleri gösterilmiştir. Her bir parametre için sıcaklık değişimlerinin verim üzerinde çok büyük farklılıklar yarattığı söylenemez. TP için yıllık ortalama giderme verimi %57’dir.

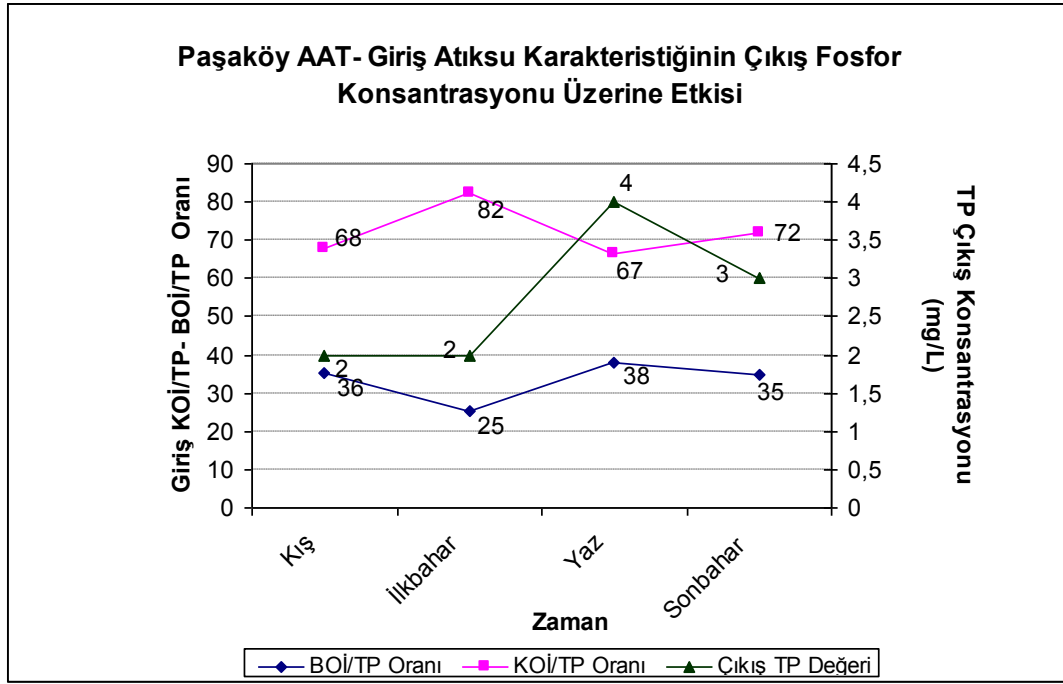


Şekil 5.9 Paşaköy AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri

Tablo 5.13’te tesis giriş atıksuyundaki KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP oranları ile TP çıkış değeri verilmektedir. KOİ/BOİ oranı ilkbahar aylarında ortalama 3,3’tür. Bu tesis için BOİ/TP ve KOİ/TP oranları da oldukça yüksek değerdedirler. Fakat önemli olan biyolojik olarak indirgenebilen BOİ değerinin girişte istenilen değerde olup olmadığıdır.

Tablo 5.13 Paşaköy AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri (2009)

Paşaköy AAT				
Değerler				
Zaman	KOİ/BOİ	BOİ/TP	KOİ/TP	TP(çıkış)
Kış	1,9	36	68	2
İlkbahar	3,3	25	82	2
Yaz	1,8	38	67	4
Sonbahar	2,1	35	72	3

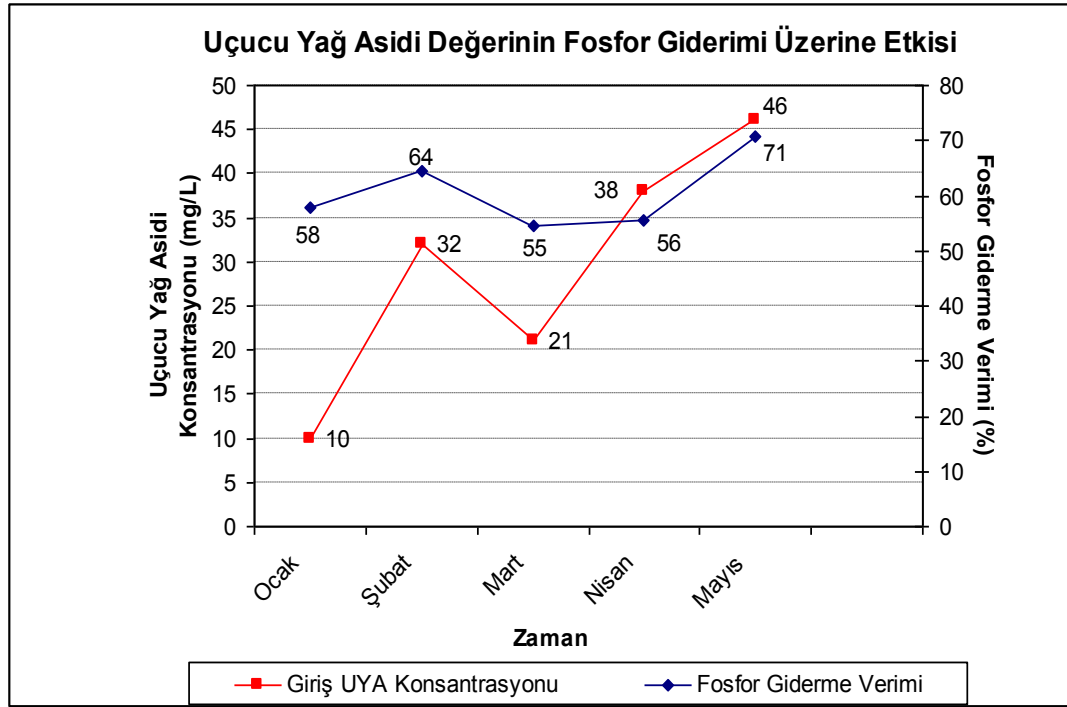


Şekil 5.10 Paşaköy AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

Giriş atıksuyunda uçucu yağ asidi miktarı da biyolojik fosfor gideriminin performansını etkileyen faktörlerden biridir. Paşaköy AAT’de mevsimsel UYA değerleri ve fosfor giderme verimleri Tablo 5.14’te görülmektedir.

Tablo 5.14 Paşaköy AAT KOİ, TP ve Uçucu Yağ Asidi Değerleri (2009)

Paşaköy AAT					
Numune Alma Noktaları	Giriş			Çıkış	Verim
Parametreler	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	UYA (mg/L)	TP (mg/L)	TP (%)
Zaman					
Kış	272	4	10,1	2	50
İlkbahar	411	5	25,75	2	60
Yaz	612	9,2	52,98	4	57
Sonbahar	495	6,9	26	3	57



Şekil 5.11 Uçucu Yağ Asidi Değerinin TP Giderme Verimi
Üzerine Etkisi –Paşaköy AAT

Grafiklerden görüleceği üzere Paşaköy AAT’de çok tutarlı sonuçlar elde edilmemiştir. Ortalama yıllık fosfor giderme verimi ise düşüktür. Tesisin deşarj noktası hassas su alanında olmadığından, aslında çıkış suyunda 1 mg/L’nin altına düşme gibi bir zorunluluğu yoktur. Fakat ileride hassas su alanı ilan edilmesi durumu söz konusu olacak olursa Tablo 2.4’te belirtilen ilave arıtma seçeneklerine ihtiyaç duyulabilir.

Sözen ve diğerleri (2009) İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi’nde mevcut durumda atıksu karakterizasyonu ve sistem performansını deneysel olarak belirlemiş, elde edilen bilgileri kullanılarak sürekli kullanıma uygun olacak model-bazlı tasarım ile işletme simülasyon programları hazırlamış ve işletme optimizasyonu çerçevesinde çıkış besin maddesi konsantrasyonlarının düşürülmesi amacıyla işletme senaryoları oluşturarak önerilerde bulunmuşlardır. Yürütülen senaryo analizleri ile, havalandırma tanklarındaki çözünmüş oksijen seviyelerinin uygun ayarlanması, tesisin geri devir denitrifikasyonu prensibi yerine A^2O veya UCT tipi sistem şeklinde işletilmesi ile sistem veriminin arttırılabileceği ve dolayısıyla çıkış besin maddesi konsantrasyonlarının azaltılabileceği belirlenmiştir. Öncelikle elde edilen istatistiksel

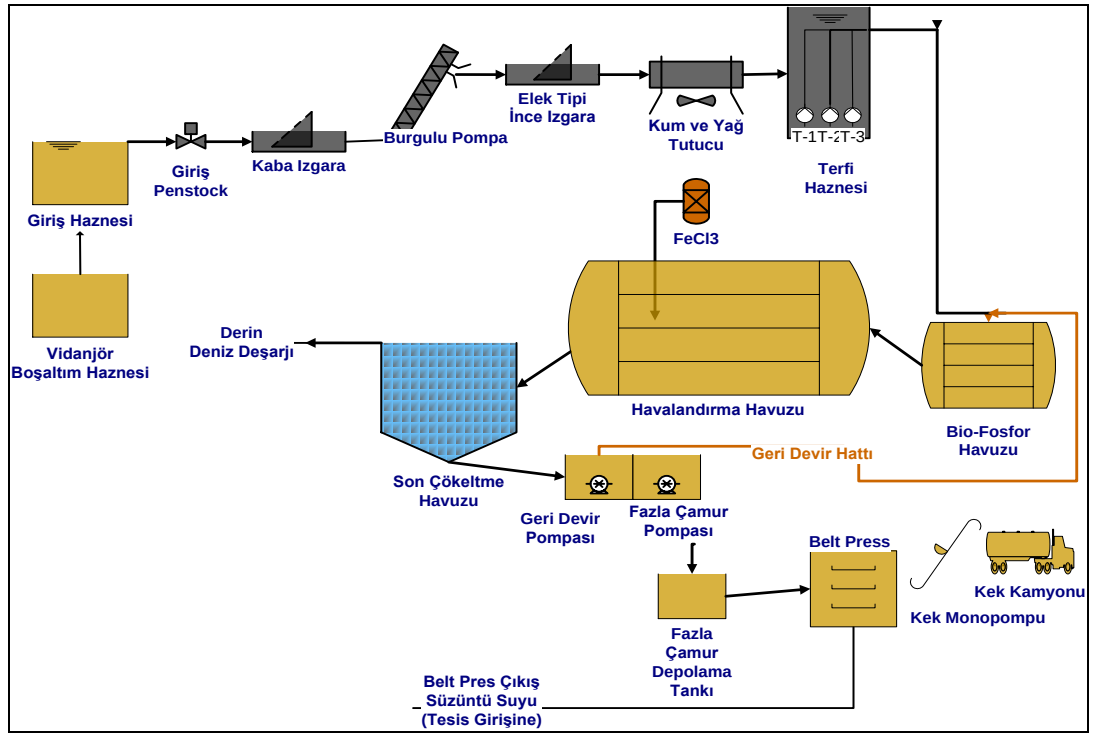
veriler incelendiğinde girişteki KOİ, TKN, TP ve UYA konsantrasyonlarının düşük olması nedeniyle biyolojik fosfor gideriminin verimli bir şekilde gerçekleştirilemediği tespit edilmiştir. Havalandırma tanklarındaki çözünmüş oksijen seviyelerinin uygun ayarlanması ile tesisin azot ve fosfor giderim veriminin iyileştirilebileceği ve tesis çıkışında fosfat konsantrasyonun 3.6 mgP/L mertebelerine indirilebileceği belirlenmiştir. Tesis yetkilisinden geri devir denitrifikasyonun %20 verimi arttırdığı bilgisi alınmasına rağmen Sözen v. d.'nin yaptığı çalışma tesisin geri devir denitrifikasyonu yerine standart A²O prensibine göre çalıştırılması durumunda azot ve fosfor çıkış kalitesinin iyileştirilebileceğini belirlemiştir. Biyolojik fosfor giderimi için gerekli olan UYA seviyesi giriş atıksuyunda çok düşük seviyelerdedir (ortalama 20 mg/L). Giriş UYA seviyesinin düşük olması fosfor giderim veriminin az olmasına neden olmaktadır. Ancak, tesisin uçucu askıda katı madde konsantrasyonu dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda, sistemin UYA konsantrasyonunun arttırılması durumunda mevcut koşullarda ek olarak en fazla 1.5 mg/L fosfor giderimi sağlanabileceği tespit edilmiştir. Atıksu arıtma tesisinin UCT tipi sistem şeklinde tasarlanması durumunda çıkış toplam azot ve fosfor konsantrasyonları sırası ile 7.5 ve 3.7 mg/L seviyesine düşürülebileceği belirlenmiştir. Geri devir denitrifikasyonu yerine bu konfigürasyonun uygulanması durumunda nitratin tamamen tükenmesi ve paralel olarak fosfor salımının engellenmesi ile ek avantaj sağlanabileceği ortaya konulmuştur. Ancak fosfor parametresi için deşarj limiti olan 1.0 mg/L değerinin sağlanamayacağı tespit edilmiştir. Bu standardın biyolojik arıtma ile sağlanabilmesi için fermentasyon prosesi ile birlikte değişik sistem konfigürasyonları için deneysel olarak ve model bazlı sistem optimizasyonu çalışmalarının yürütülmesi gerekliliği ortaya konulmuştur.

5.1.4 Antalya Büyükşehir Belediyesi Hurma Atıksu Arıtma Tesis

Mevcut Durum:

Tesis Antalya'nın batı bölgesindeki Hurma mevkiinde yer almaktadır. Birinci aşamada 250.000 EN'a (Eşdeğer Nüfus) hizmet edecek biyolojik arıtma tesisi yapılmıştır. Bu değer günde 37.500 m³ atıksu olarak tanımlanır. İkinci aşamada ise 250.000 EN'a hizmet edecek biyolojik arıtma tesisinde yapılması ile toplam mevcut

kapasite 500.000 EN'a hizmet verecek kapasiteye ulaştırılmıştır. Mevcut tesis ile günde 75.000 m³/gün arıtma kapasitesine hizmet edilmektedir. Büyükşehir Belediyesi hizmet sınırlarının genişlemesi ile tesisin öngörülen nihai kapasitesi 1.000.000 EN iken bu değer 1.400.000 EN'a göre revize edilmiştir. 2472 metresi karada, 2600 metresi ise denizde olan 1600 mm. çaplı HDPE polietilen borudan oluşan derin deniz deşarj hattı bulunmaktadır. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı) hükümlerine göre deşarj yeri "az hassas su alanı" dır. Tebliğde az hassas su alanı, morfoloji, hidroloji ya da özel hidrolik şartlara göre atıksu deşarjının çevreyi olumsuz yönde etkilemediği deniz, haliç ve lagün gibi kıyı su ortamları ile hassas su alanları haricindeki kıyı sularını ifade etmektedir.



Şekil 5.12 Hurma AAT Akım Şeması

Tesis Verilerinin Değerlendirilmesi:

Tesis çamur yaşı 12 gün, havalandırma havuzu hidrolik bekleme süresi 30 saat olan uzun havalandırılmalı aktif çamur prosesidir. Biyolojik fosfor giderim metotlarından A²/O prosesine benzerlik göstermektedir. Anaerobik bölgede hidrolik bekleme süresi ise 1,4 saattir. Tesis yetkilisi ile yapılan görüşmede; P ve N giderim verimini

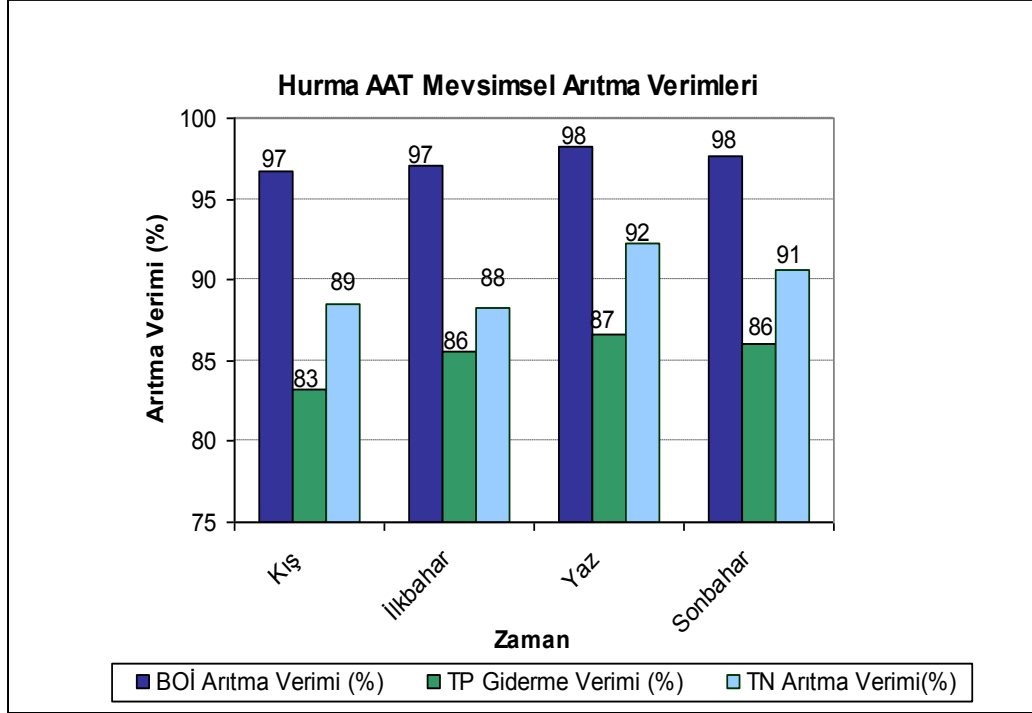
arttırmak için sistemin yenileneceği (5 Kademeli Bardenpho), çalışmaların başladığı belirtilmiştir. Son 1 yıldır geri devir çamurunu bio-P tankına değil ondan bir önceki terfi merkezine verdiklerini ve böylelikle geri devir hattını uzatıp, terfi merkezini selektör tankı gibi kullanarak P giderim verimini %20’lerde arttırdıklarını ifade etmişlerdir. Ayrıca gerekli görüldüğü zamanlarda havalandırma havuzu çıkış toplama yapısından günlük ortalama 750 L Demir-(III)-Klorür ilavesi yapıldığı belirtilmiştir.

Tablo 5.15’te tesise ait 2009 yılı giriş-çıkış suyu parametre değerleri ve AKM, BOİ, KOİ, TN ile TP giderme verimleri gösterilmektedir.

Tablo 5.15 Hurma AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları (2009)

Hurma AAT																
Numune Alma Noktaları	Giriş						Çıkış					Verim (%)				
Parametreler	Sıcaklık	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	AKM	BOİ	KOİ	TP	TN
Zaman																
Kış	14,20	404	431	728	9,50	67	14	14	46	1,6	7,7	97	97	94	83	89
İlkbahar		440	510	751	9,7	73	15	15	45	1,4	8,6	97	97	94	86	88
Yaz	20	545	609	929	12	66	12,3	11	32,3	1,6	5,1	98	98	97	87	92
Sonbahar		474	555	838	11,5	64	10,6	13	36,6	1,6	6	98	98	96	86	91

Şekil 5.13'te Tablo 5.15'deki veriler kullanılarak mevsimsel olarak ortalama BOİ, TN ve TP giderme verimleri gösterilmiştir. Her bir parametre için sıcaklık değişimlerinin verim üzerinde çok büyük farklılıklar yarattığı söylenemez. TP için yıllık ortalama giderme verimi %86'dır.



Şekil 5.13 Hurma AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri

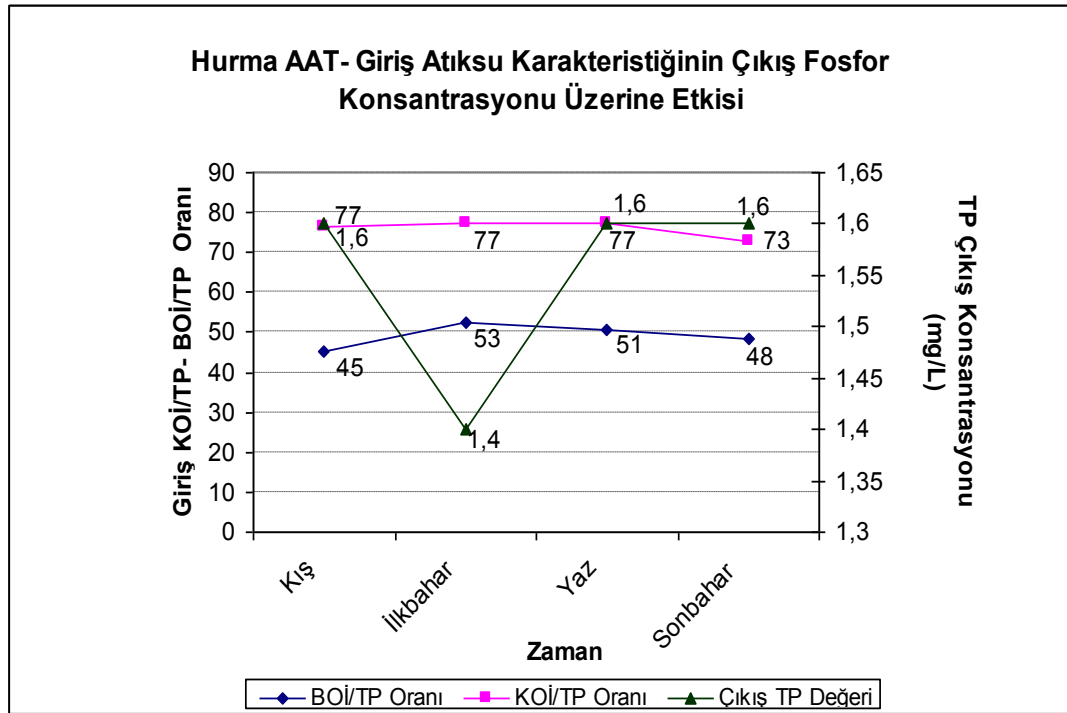
Tablo 5.16'da tesis giriş atıksuyundaki KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP oranları ile TP çıkış değeri verilmektedir. KOİ/BOİ oranı her mevsimde 2'den küçüktür. Daha önce bahsedildiği gibi KOİ:BOİ oranı atıksu kirlilik yükünün biyolojik olarak ayrışabilirliğinin bir ölçüsüdür. Eğer KOİ:BOİ oranı 2:1'i geçmezse, biyolojik olarak ayrışabilirlik iyi olarak nitelendirilir. Hurma Tesis TP giderme verimi açısından şu ana kadar incelenen tesisler arasında en iyilerden biridir. Bunu nedeni biyolojik olarak ayrışabilir BOİ'nin yeterliliği ve gerekli olduğu zamanlarda kimyasal arıtmanın yapılması olarak gösterilebilir. Tesisin deşarj noktası hassas su alanında olmadığından, aslında çıkış suyunda 1 mg/L'nin altına düşme gibi bir zorunluluğu yoktur. Fakat ileride hassas su alanı ilan edilmesi durumu söz konusu olacak olursa Tablo 2.4'te belirtilen ilave arıtma seçeneklerine ihtiyaç duyulabilir.

Ayrıca BOİ/TP ve KOİ/TP oranları da istenilen değerlerdedir.

Tablo 5.16 Hurma AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri (2009)

Hurma AAT				
Değerler				
Zaman	KOİ/BOİ	BOİ/TP	KOİ/TP	TP(çıkış)
Kış	1,7	45	77	1,6
İlkbahar	1,5	53	77	1,4
Yaz	1,5	51	77	1,6
Sonbahar	1,5	48	73	1,6

En düşük çıkış TP konsantrasyonu KOİ/TP ile BOİ/TP oranlarının en yüksek değerde olduğu ilkbahar aylarında ölçülmüştür.



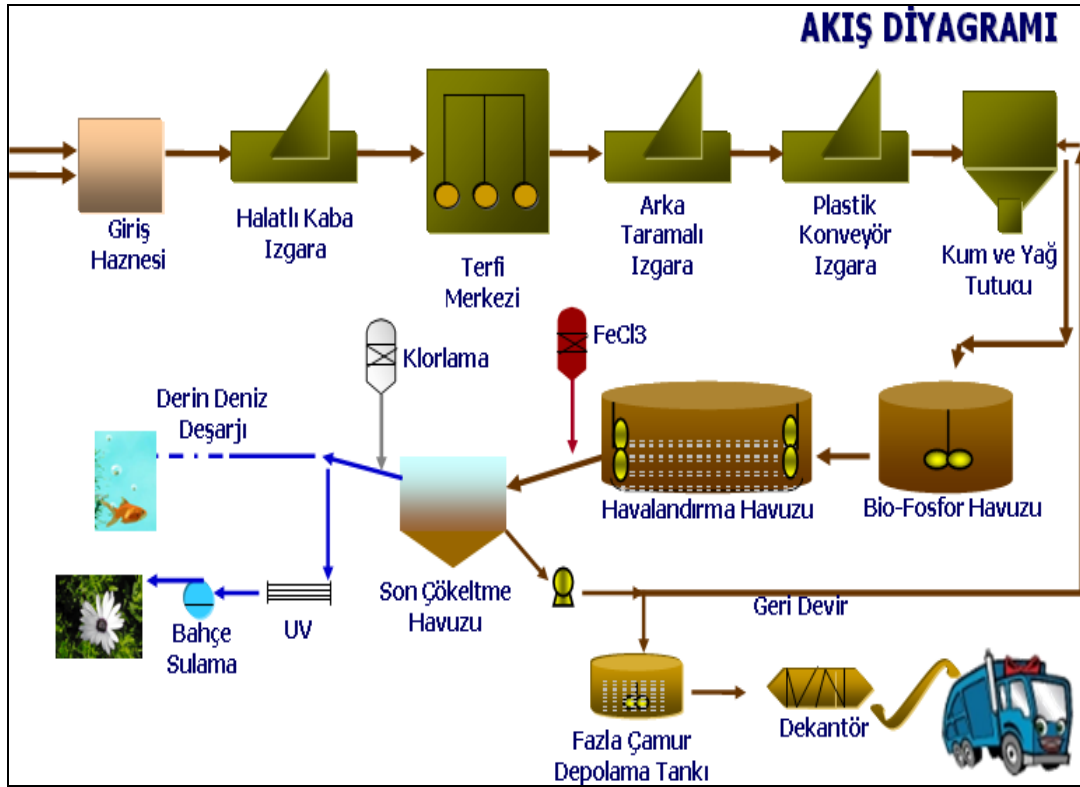
Şekil 5.14 Hurma AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

5.1.5 Antalya Büyükşehir Belediyesi Lara Atıksu Arıtma Tesisi

Mevcut Durum:

Tesis Antalya'nın doğu bölgesindeki Lara mevkiinde yer almaktadır. Söz konusu proje ile Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde Batı Bölgesinin dışında kalan

nüfus ile bölgede bulunan turistik tesislerin atıksuları arıtılmaktadır. Dizayn debisi 31.250 m³/gün olup, 350.000 eşdeğer nüfusa hizmet etmektedir. Arıtılmış su derin deniz deşarjı ile uzaklaştırılmaktadır. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı) hükümlerine göre deşarj yeri “az hassas su alanı”dır.



Şekil 5.15 Lara AAT Akım Şeması

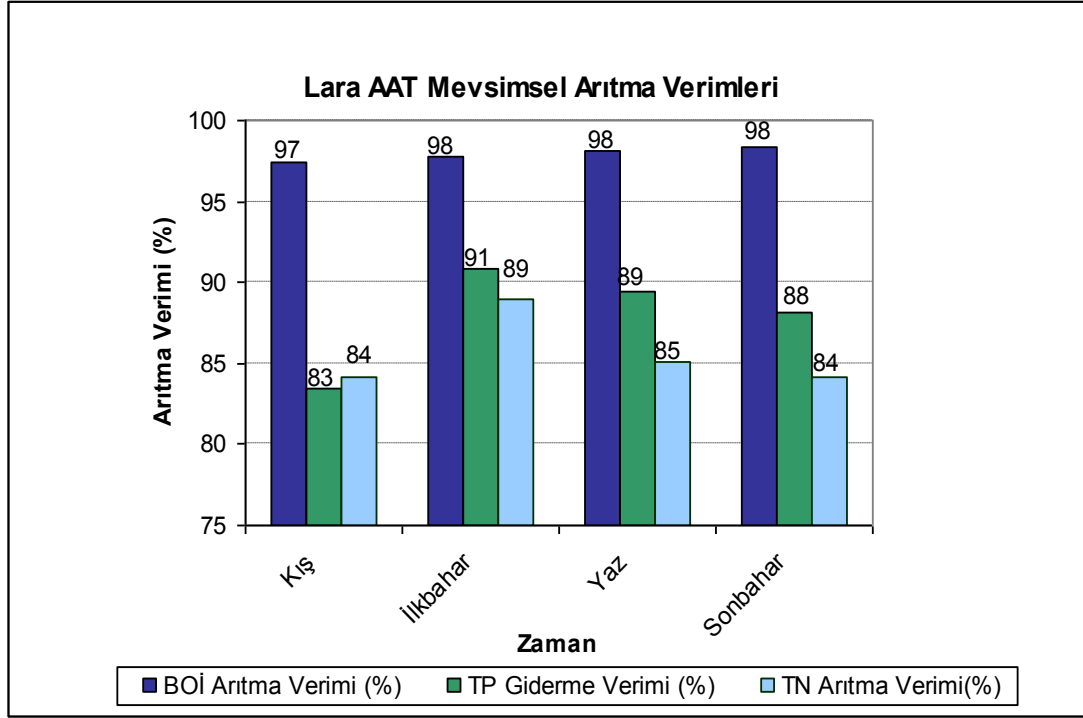
Tesis Verilerinin Değerlendirilmesi:

Tesis çamur yaşı 17 gün, havalandırma havuzu hidrolik bekleme süresi 52 saat olan Bardenpho prosesi olarak dizayn edilmiştir. Fakat işletmede ortalama 30 saat HRT ile işletilmektedir. Anaerobik bölgede hidrolik bekleme süresi ise 1,4 saattir. Ayrıca anaerobik tanktan önce geri devir çamuru ve giriş atıksuyunun karıştırıldığı HRT’si 28 dakika olan bir selektör tankı yer almaktadır. Tesis yetkilisi ile yapılan görüşmede; P giderimi açısından genelde herhangi bir sorun yaşanmadığı belirtilmiştir. Gerekli görüldüğü zamanlarda ise çöktürme havuzu öncesinde bulunan dağıtım yapısından günlük 400 L. Demir-(III)-Klorür ilavesi yapıldığı ifade edilmiştir. Tablo 5.17’de tesise ait 2009 yılı giriş-çıkış suyu parametre değerleri ve AKM, BOİ, KOİ, TN ile TP giderme verimleri gösterilmektedir.

Tablo 5.17 Lara AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları (2009)

Lara AAT																
Numune Alma Noktaları	Giriş						Çıkış					Verim (%)				
Parametreler	Sıcaklık	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	AKM	BOİ	KOİ	TP	TN
Zaman																
Kış	16,50	145	195	322	5,50	36	5,3	5	18	0,91	5,7	96	97	94	83	84
İlkbahar		228	313	484	7,1	49	4	7	20,3	0,65	5,4	98	98	96	91	89
Yaz	25,5	240	376	601	8,7	53	4,3	7	19	0,92	7,9	98	98	97	89	85
Sonbahar		231	304	493	7,9	39	3,3	5	16	0,94	6,2	99	98	97	88	84

Şekil 5.16'da Tablo 5.17'deki veriler kullanılarak mevsimsel olarak ortalama BOİ, TN ve TP giderme verimleri gösterilmiştir. Her bir parametre için sıcaklık değişimlerinin verim üzerinde çok büyük farklılıklar yarattığı söylenemez. TP için yıllık ortalama giderme verimi %88'dir.

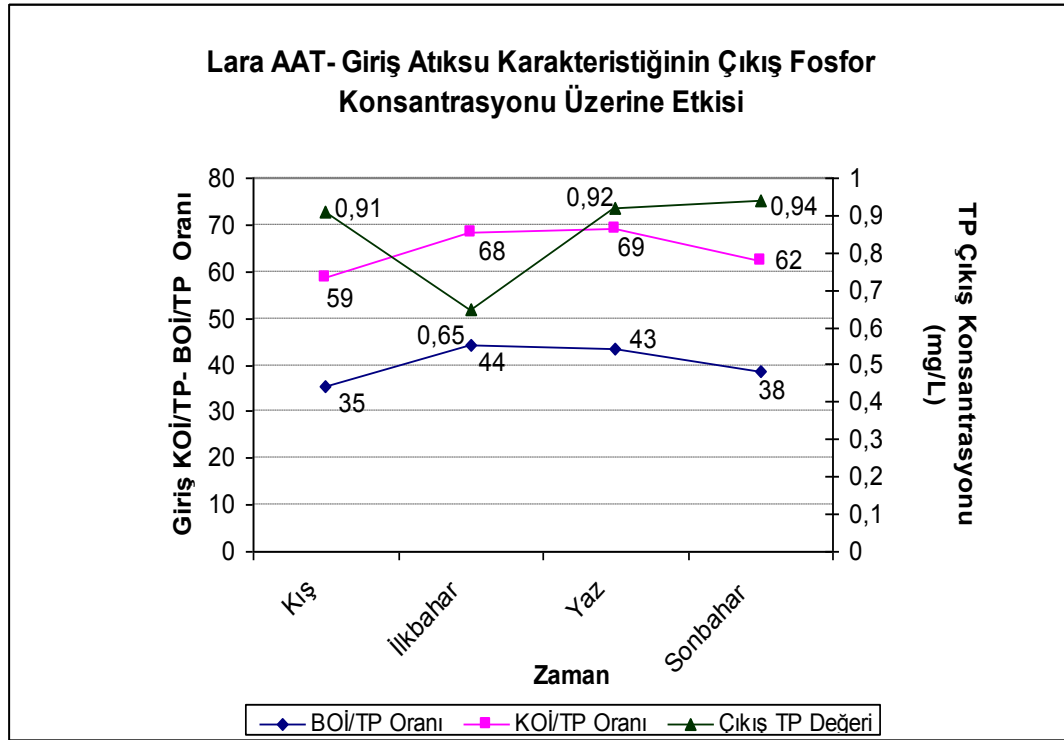


Şekil 5.16 Lara AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri

Tablo 5.18'de tesis giriş atıksuyundaki KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP oranları ile TP çıkış değeri verilmektedir. KOİ/BOİ oranı Hurma AAT'ye benzer şekilde her mevsimde 2'den küçüktür. Lara Tesis TP giderme verimi açısından şu ana kadar incelenen tesisler arasında en yüksek yıllık ortalama verimlerden birine sahiptir. Bunu sağlayan biyolojik olarak ayrışabilir BOİ'nin yeterliliği ve gerekli olduğu zamanlarda kimyasal arıtmanın yapılması olabilir. Tesisin deşarj noktası hassas su alanında olmadığından, aslında çıkış suyunda 1 mg/L'nin altına düşme gibi bir zorunluluğu yoktur. Fakat Çıkış TP konsantrasyonu her mevsim hatta ay için 1 mg/L'nin altındadır. Tesis bu anlamda Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'nde verilen deşarj standartlarını, zorunluluğu olmasa bile sağlamaktadır. Ayrıca BOİ/TP oranları 20'den KOİ/TP oranları da 40'tan büyüktür.

Tablo 5.18 Lara AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri (2009)

Lara AAT				
Değerler	KOİ/BOİ	BOİ/TP	KOİ/TP	TP(çıkış)
Zaman				
Kış	1,7	35	59	0,91
İlkbahar	1,5	44	68	0,65
Yaz	1,6	43	69	0,92
Sonbahar	1,6	38	62	0,94



Şekil 5.17 Lara AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

5.1.6 Kayseri Büyükşehir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi

Mevcut Durum:

Kayseri ve civarında oluşan atıksuların tamamına yakını KASKİ ana kolektöründe toplanmaktadır. Arıtılmış su Kızılırmak'a bağlanan Karasu'ya deşarj edilmektedir. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı) hükümlerine göre deşarj yeri "normal su alanı" dır. Tesisin dizayn debisi 110.000 m³/gün olup 800.000 eşdeğer nüfusa hizmet etmektedir. Mevcut doluluk oranı %100'dür.



Şekil 5.18 Kayseri AAT Görünüm

Tesis Verilerinin Değerlendirilmesi:

Tesis 25 gün çamur yaşına sahip uzun havalandırmalı aktif çamur prosesine göre dizayn edilmiştir. A²/O prosesine benzerlik göstermektedir. Fosfor giderimi için selektör tankı bulunmaktadır. Selektör tankı ve biyofosfor tankı için toplam hidrolik bekleme süresi 1,5 saattir.

Bunun yanı sıra tesiste ön çökeltim çamurundan biyogaz elde edilmektedir. Üretilen biyogaz ile elektrik üretilmekte ve tesisin elektrik ihtiyacının bir kısmı buradan karşılanmaktadır. 2005 yılı içerisinde tesiste kullanılan elektriğin % 27'si biogaz ile üretilmiştir. Tesiste yaklaşık olarak 5.000 m³/gün gaz üretilmekte ve elde edilen elektrik enerjisi yaklaşık 10.000 kwh/gün mertebelerindedir. Elektrik üretilirken elde edilen ısı enerjisinden kış aylarında tesisteki binaların ısıtılması sağlanmakta ve tesiste sürekli sıcak su kullanılmaktadır.

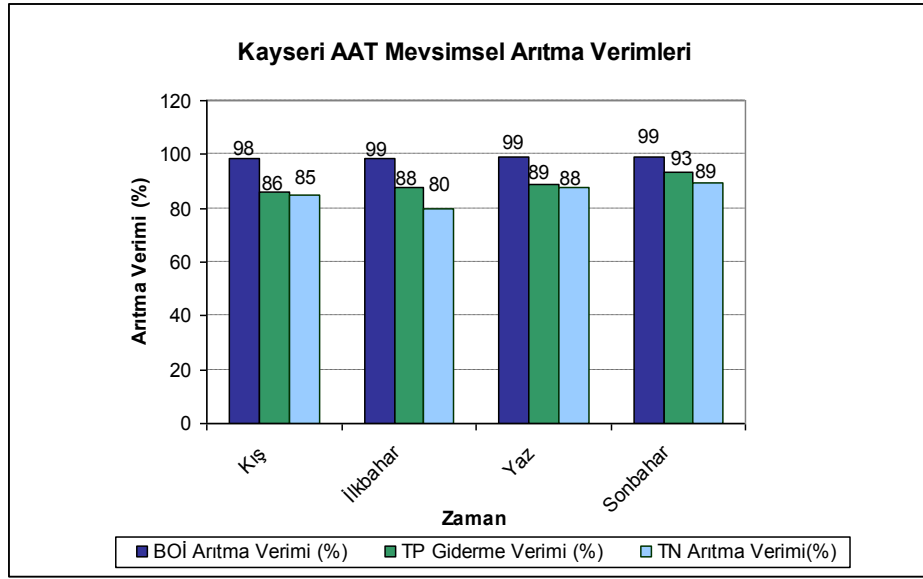
Tesis yetkilisi ile yapılan görüşmede; fosfor gideriminde yaşanan sorunların kapasitesinin aşılmasıyla istenilen bekleme sürelerinin azalmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Tablo 5.19'da tesise ait 2009 yılı giriş-çıkış suyu parametre değerleri ve AKM, BOİ, KOİ, TN ile TP giderme verimleri gösterilmektedir. Giriş fosfat değerleri TP değerinin yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır.

Şekil 5.19'da Tablo 5.19'daki veriler kullanılarak mevsimsel olarak ortalama BOİ, TN ve TP giderme verimleri gösterilmiştir. Her bir parametre için en yüksek verim sıcaklığın ortalama 21⁰C olduğu sonbahar aylarında görülmüştür. TP için yıllık ortalama giderme verimi %89'dur. Bu değer incelenen tesisler arasındaki en yüksek değerdir.

Tablo 5.19 Kayseri AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları (2009)

Kayseri AAT																			
Numune Alma Noktaları	Giriş							Çıkış						Verim (%)					
Parametreler Zaman	Sıcaklık	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	Fosfat (PO ₄ ³) (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	Fosfat (PO ₄ ³) (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	AKM	BOİ	KOİ	Fosfat (PO ₄ ³) (mg/L)	TP	TN
Kış	16,2	448	390	782	6,8	8,6	60	13	6,4	23	0,7	1,2	9	97	98	97	90	86	85
İlkbahar	16,3	433	301	684	6,5	8,1	50	11,5	4	15	0,6	1	10	97	99	98	91	88	80
Yaz	21,5	436	352	800	6,4	8,2	53	9,2	3,9	22	0,6	0,9	6,5	98	99	97	91	89	88
Sonbahar	21	445	394	862	6,6	9	61	8,8	4,6	19	0,3	0,6	6,5	98	99	98	95	93	89

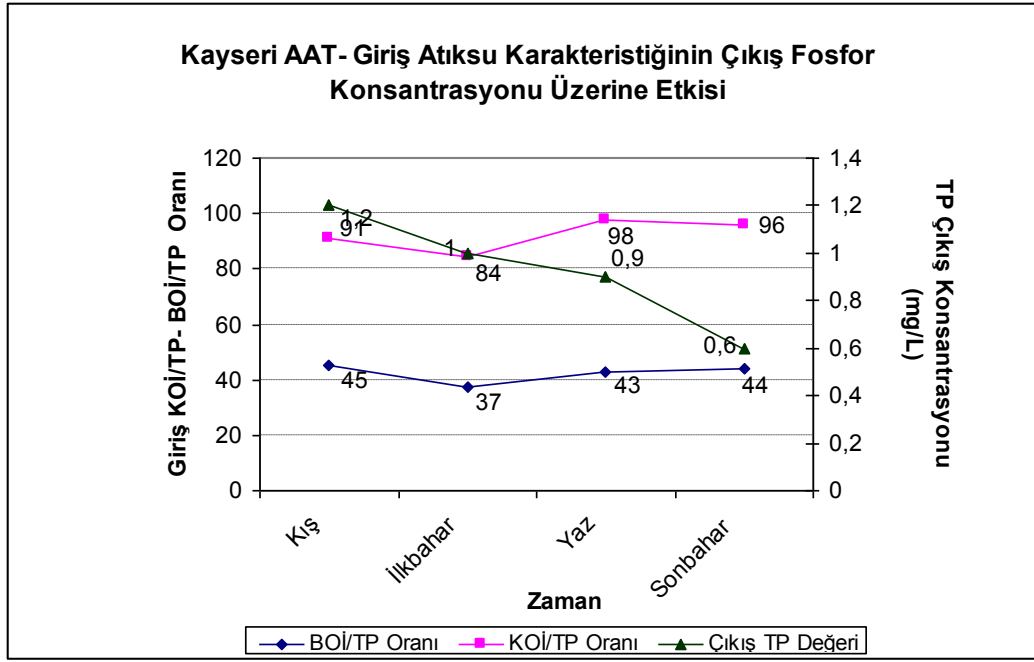


Şekil 5.19 Kayseri AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri

Tablo 5.20’de tesis giriş atıksuyundaki KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP oranları ile TP çıkış değeri verilmektedir. KOİ/BOİ oranları 2’den büyüktür. Bu tesis için BOİ/TP ve KOİ/TP oranları da oldukça yüksek değerdedirler. Çıkış TP konsantrasyonu ise en yüksek 1,2 mg/L’dir. Tesisin deşarj noktası hassas su alanında olmadığından, aslında çıkış suyunda 1 mg/L’nin altına düşme gibi bir zorunluluğu yoktur. Fakat Çıkış TP konsantrasyonu yılın büyük çoğunluğunda 1mg/L ve altındadır. Tesis bu anlamda Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği’nde verilen deşarj standartlarını, zorunluluğu olmasa bile sağlamaktadır.

Tablo 5.20 Kayseri AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri (2009)

Kayseri AAT				
Değerler	KOİ/BOİ	BOİ/TP	KOİ/TP	TP(çıkış)
Zaman				
Kış	2,0	45	91	1,2
İlkbahar	2,3	37	84	1
Yaz	2,3	43	98	0,9
Sonbahar	2,2	44	96	0,6



Şekil 5.20 Kayseri AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

5.1.7 Malatya Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi

Mevcut Durum:

Tesis dizayn debisi $133.629 \text{ m}^3/\text{gün}$ ve eşdeğer nüfusu 720.000 kişi olan uzun havalandırmalı aktif çamur prosesidir. Deşarj yeri Karakaya Baraj Gölü'dür. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı) hükümlerine göre deşarj yeri “normal su alanı” dır.



Şekil 5.21 Malatya AAT Görünüm

Tesis Verilerinin Değerlendirilmesi:

Tesiste çamur yaşı 21 gün, havalandırma havuzu hidrolik bekleme süresi 30 saattir. Biyolojik fosfor giderim metotlarından A²/O prosesine benzerlik göstermektedir. Anaerobik bölgede hidrolik bekleme süresi ise işletmede 0,5-0,75 saat aralığındadır. Bio-P tankından önce 15 dakika bekleme süresine sahip bir selektör tankı mevcuttur.

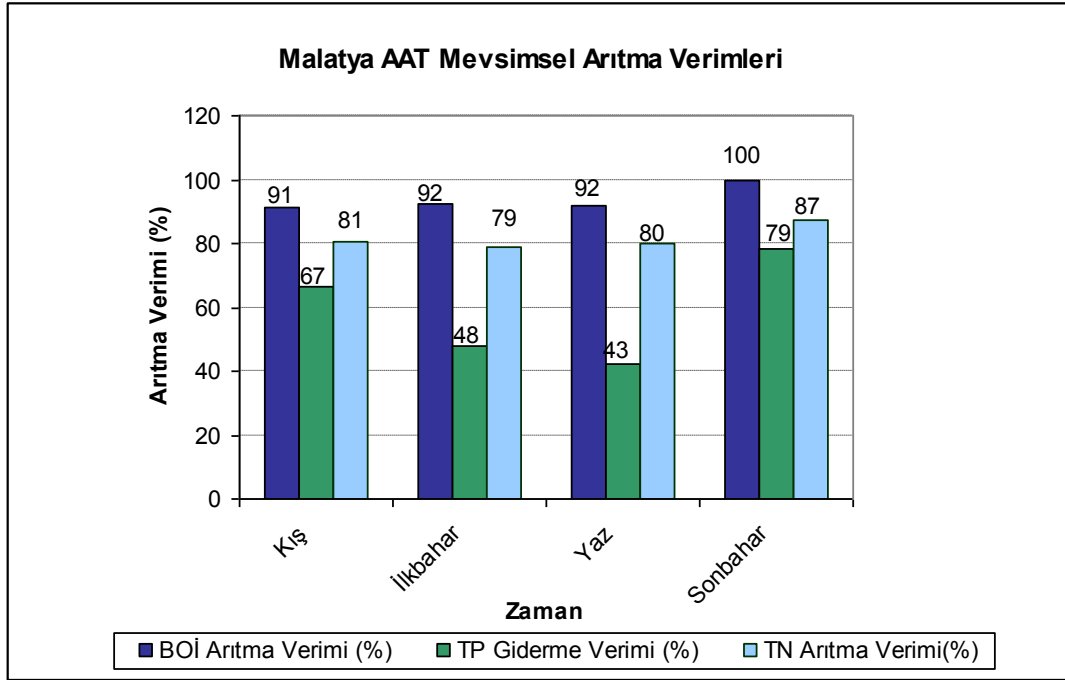
Tesis yetkilisi ile yapılan görüşmede; biyolojik fosfor giderimiyle ilgili şu ana kadar sistem verimini etkileyecek büyük sorunlarla karşılaşılması belirtilmiştir.

Tablo 5.21’de tesise ait 2009 yılı giriş-çıkış suyu parametre değerleri ve AKM, BOİ, KOİ, TN ile TP giderme verimleri gösterilmektedir.

Şekil 5.22’de ise Tablo 5.21’deki veriler kullanılarak mevsimsel olarak ortalama BOİ, TN ve TP giderme verimleri gösterilmiştir. Her bir parametre için en yüksek giderme verimleri sıcaklığın ortalama 17,6 °C olduğu sonbahar aylarında görülmüştür. TP için yıllık ortalama giderme verimi %59’dır. Ayrıca giriş atıksuyundaki TN ve TP değerleri dizayn için kabul edilen TN (44,5 mg/L), TP (7,3 mg/L) değerleri ile tipik evsel atıksudaki değerlerden oldukça düşüktür.

Tablo 5.21 Malatya AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları (2009)

Malatya AAT																
Numune Alma Noktaları	Giriş						Çıkış					Verim (%)				
Parametreler Zaman	Sıcaklık	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	AKM	BOİ	KOİ	TP	TN
Kış	12,9	149	80	259	4,8	26,5	8	7	17	1,6	5,1	95	91	93	67	81
İlkbahar	14,2	139	72	207	4,4	23	6	5,5	16	2,3	4,8	96	92	92	48	79
Yaz	18,3	139	119	234	4	21	5	9,4	13	2,3	4,2	96	92	94	43	80
Sonbahar	17,6	168	123	304	4,2	24	5		15	0,9	3,1	97	100	95	79	87



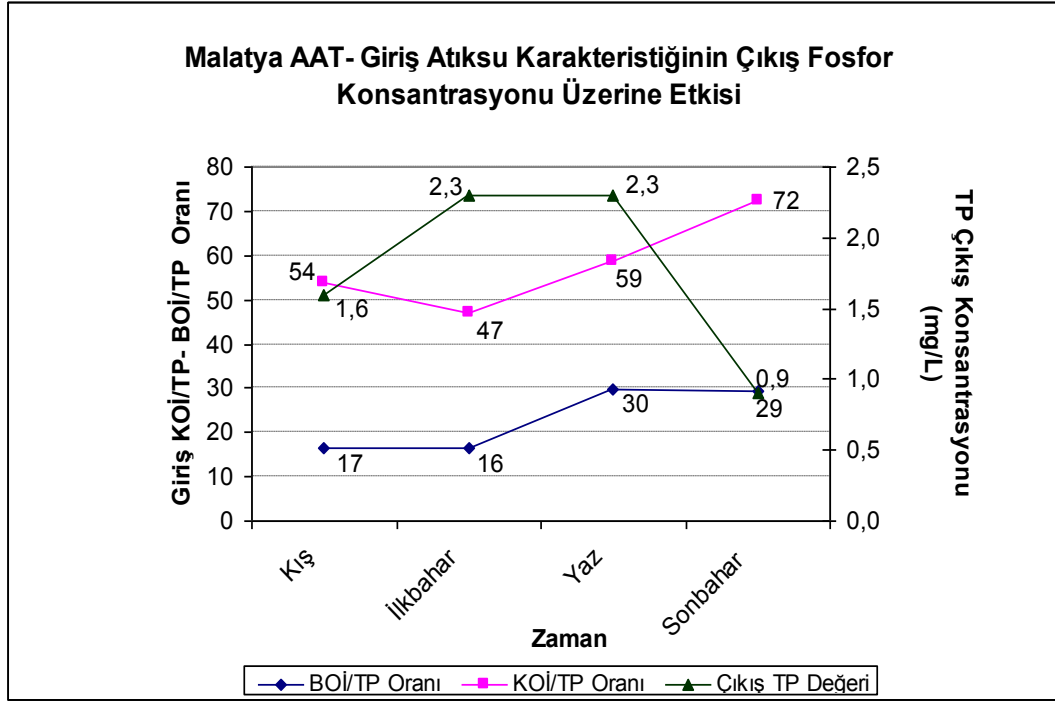
Şekil 5.22 Malatya AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri

Tablo 5.22’de tesis giriş atıksuyundaki KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP oranları ile TP çıkış değeri verilmektedir. KOİ/BOİ oranı her mevsimde 2’den büyüktür. Daha önce bahsedildiği gibi KOİ:BOİ oranı atıksu kirlilik yükünün biyolojik olarak ayrışabilirliğinin bir ölçüsüdür. Eğer KOİ:BOİ oranı 2:1’i geçmezse, biyolojik olarak ayrışabilirlik iyi olarak nitelendirilir. Ayrıca BOİ/TP oranları kış ve ilkbahar aylarında 20’den küçüktür. Fakat bu çıkış P konsantrasyonunu olumsuz etkileyecek kadar düşük değildir. KOİ/TP oranları ise 40’ın üzerindedir.

Tablo 5.22 Malatya AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri (2009)

Malatya AAT				
Değerler	KOİ/BOİ	BOİ/TP	KOİ/TP	TP(çıkış)
Zaman				
Kış	3,2	17	54	1,6
İlkbahar	2,9	16	47	2,3
Yaz	2,0	30	59	2,3
Sonbahar	2,5	29	72	0,9

En düşük çıkış TP konsantrasyonu ortalama KOİ/TP oranının en yüksek değerde olduğu sonbahar aylarında ölçülmüştür. Tesisin deşarj noktası hassas su alanında olmadığından, aslında çıkış suyunda 1 mg/L'nin altına düşme gibi bir zorunluluğu yoktur. Fakat ileride hassas su alanı ilan edilmesi durumu söz konusu olacak olursa Tablo 2.4'te belirtilen ilave arıtma seçeneklerine ihtiyaç duyulabilir.

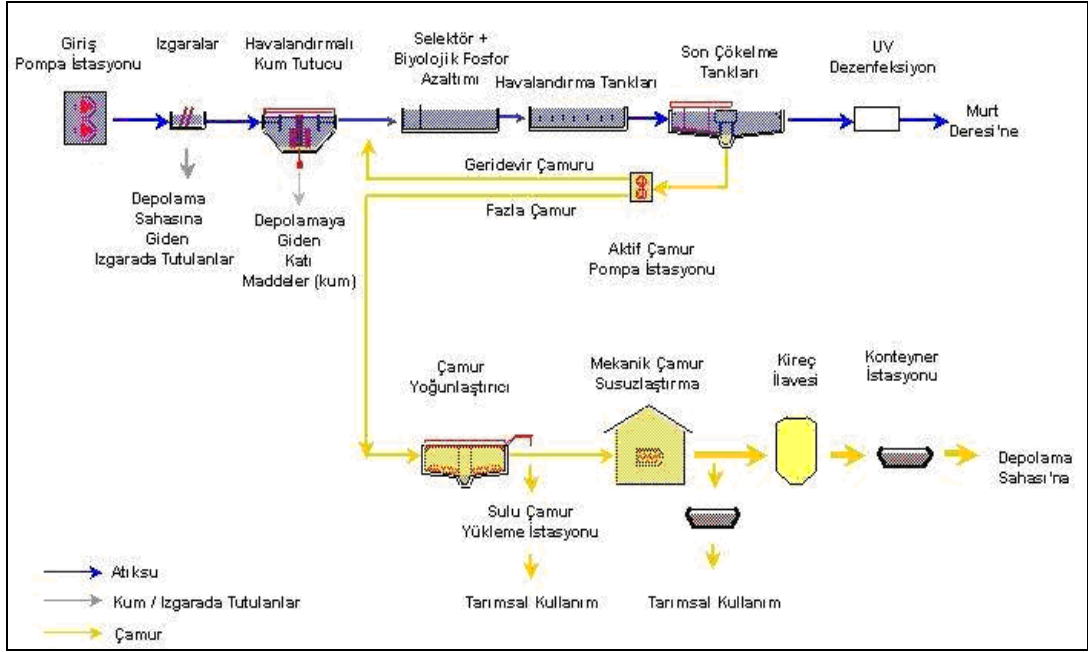


Şekil 5.23 Malatya AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

5.1.8 Fethiye Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi

Mevcut Durum:

Tesis dizayn debisi 22394 m³/gün ve eşdeğer nüfusu 140.000 kişi olan uzun havalandırmalı aktif çamur prosesidir. Mevcut doluluk oranı %120'dir. Deşarj yeri Murt Deresi olup Batı Akdeniz Havzası'nda yer almaktadır. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı) hükümlerine göre deşarj yeri "normal su alanı" dır.



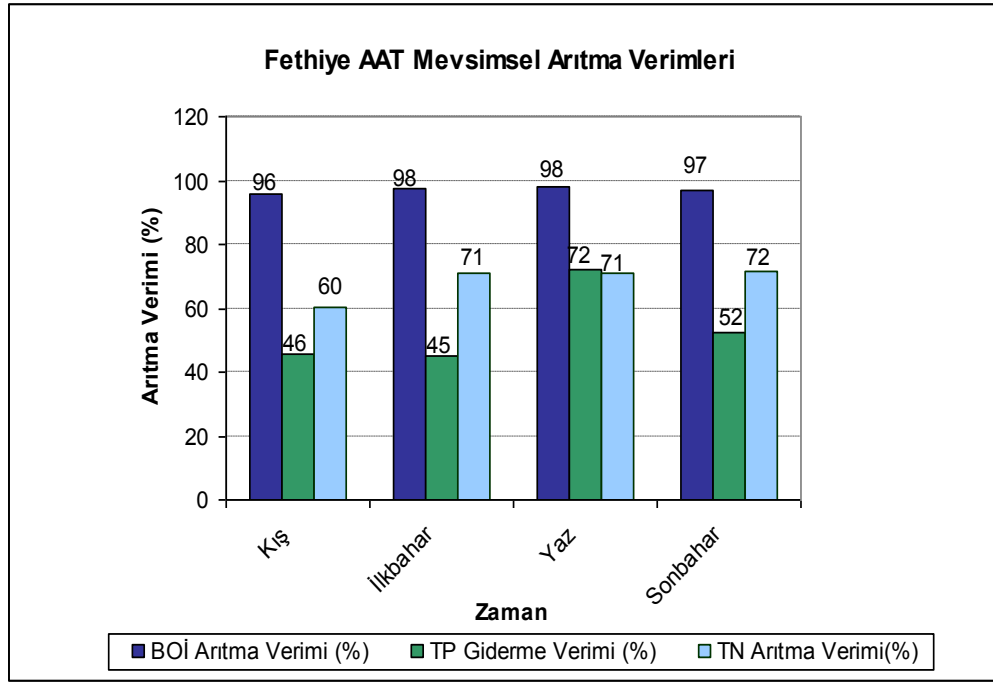
Şekil 5.24 Fethiye AAT Akım Şeması

Tesis Verilerinin Değerlendirilmesi

Tesiste çamur yaşı 20 gün, havalandırma havuzu hidrolik bekleme süresi 16 saattir. Biyolojik fosfor giderim metodlarından A^2/O prosesine benzerlik göstermektedir. Anaerobik bölgede hidrolik bekleme süresi ise 1,4 saattir. Bio-P tankından önce 10 dakika bekleme süresine sahip bir selektör tankı mevcuttur. Tesis yetkilisi ile yapılan görüşmede; tesis tasarım debi değerlerinin aşılması nedeniyle ikinci havalandırma havuzunun da devreye alındığı, zaman zaman yaşanan bu yüksek hidrolik yüklemeler nedeniyle proses ve özellikle mekanik ekipmanlar için sıkıntıların yaşandığı belirtilmiştir. Biyolojik fosfor gideriminde yaşanan sıkıntılar ise aşırı debi ve çözünmüş oksijen kontrolüdür. Fakat bu sorunların kontrol mekanizması ve tesisin emniyet katsayısının yüksek oluşu sayesinde çözülebildiği ifade edilmiştir. Gerekli görüldüğünde selektör tankına Demir-III-Klorür ilavesi yapılmaktadır. Tablo 5.23'te tesise ait 2009 yılı giriş-çıkış suyu parametre değerleri ve AKM, BOİ, KOİ, TN ile TP giderme verimleri gösterilmektedir. Şekil 5.25'te Tablo 5.23'deki veriler kullanılarak mevsimsel olarak ortalama BOİ, TN ve TP giderme verimleri gösterilmiştir. Her bir parametre için en yüksek giderme verimleri sıcaklığın ortalama $23^{\circ}C$ olduğu yaz aylarında görülmüştür. TP için yıllık ortalama giderme verimi %54'dür. Ayrıca giriş atıksuyundaki TN ve TP değerleri dizayn için kabul edilen TN (56 mg/L), TP (10 mg/L) değerleri ile tipik evsel atıksudaki değerlerden oldukça düşüktür.

Tablo 5.23 Fethiye AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları (2009)

Fethiye AAT																
Numune Alma Noktaları	Giriş						Çıkış					Verim (%)				
Parametreler Zaman	Sıcaklık	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	AKM	BOİ	KOİ	TP	TN
Kış	18	154	118	222	2,6	17,20	8	5	17	1,4	6,8	95	96	92	46	60
İlkbahar	19	135	120	209	2,6	17,01	7	3	15	1,4	5,0	95	98	93	45	71
Yaz	23	300	200	422	4	26,49	8	4	16	1,2	7,6	97	98	96	72	71
Sonbahar	22	231	218	414	2,8	24,73	7	7	20	1,3	7,0	97	97	95	52	72

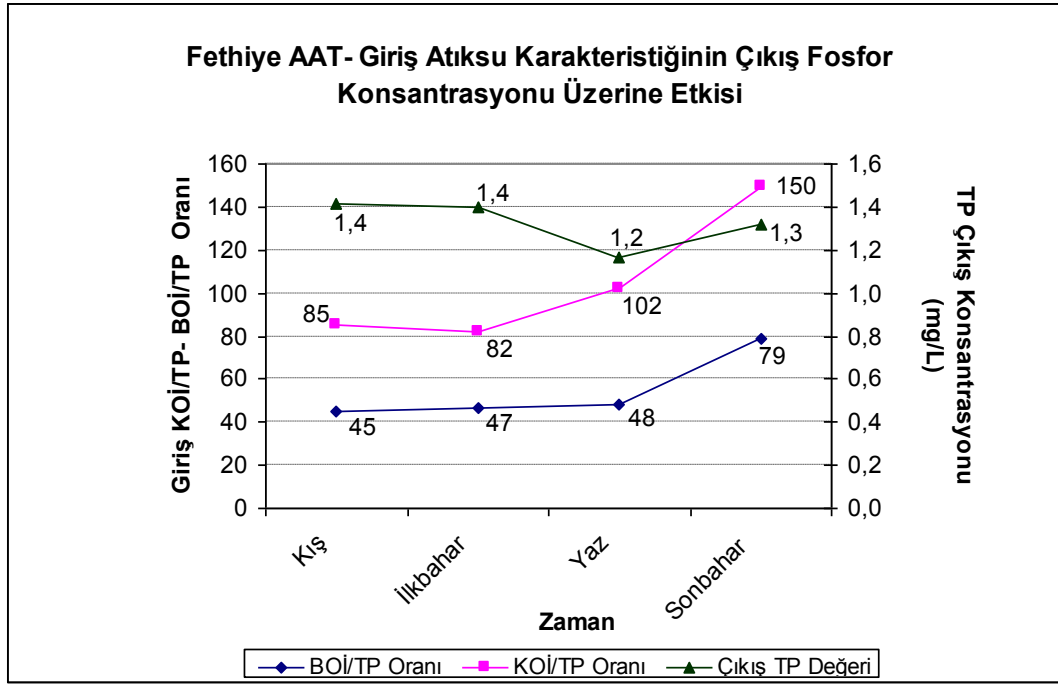


Şekil 5.25 Fethiye AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri

Tablo 5.24’te tesis giriş atıksuyundaki KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP oranları ile TP çıkış değeri verilmektedir. KOİ/BOİ oranı her mevsimde yaklaşık 2’dir. Ayrıca en düşük çıkış TP konsantrasyonu 1,2 mg/L BOİ/TP oranının 48 ile KOİ/TP oranının ise 102 olduğu yaz aylarında ölçülmüştür. Tesisin deşarj noktası hassas su alanında olmadığından, aslında çıkış suyunda 1 mg/L’nin altına düşme gibi bir zorunluluğu yoktur. Fakat ileride hassas su alanı ilan edilmesi durumu söz konusu olacak olursa Tablo 2.4’te belirtilen ilave arıtma seçeneklerine ihtiyaç duyulabilir

Tablo 5.24 Fethiye AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri (2009)

Fethiye AAT				
Değerler Zaman	KOİ/BOİ	BOİ/TP	KOİ/TP	TP(çıkış)
Kış	1,9	45	85	1,4
İlkbahar	1,8	47	82	1,4
Yaz	2,1	48	102	1,2
Sonbahar	1,9	79	150	1,3



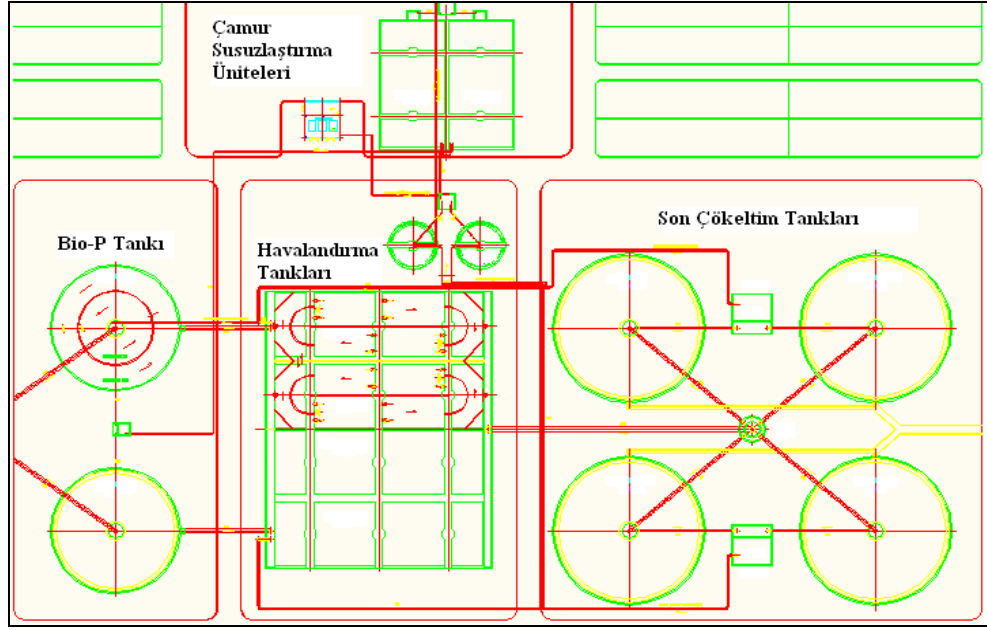
Şekil 5.26 Fethiye AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

5.1.9 Kütahya Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi

Mevcut Durum:

Kütahya Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi 1992 yılında işletmeye alınmıştır. Tesis klasik aktif çamur prosesine göre projelendirilmiştir. 2004 ile 2005 yıllarında revizyonlar yapılmıştır. Yapılan revizyonlarda mevcut ön çökeltme havuzları biyofosfor tankına ve mevcut havalandırma havuzları da ortalarına perde betonlar atılarak uzun havalandırmalı sisteme dönüştürülmüştür. Havalandırma ve çamur susuzlaştırma ekipmanlarında değişiklikler yapılmıştır. Tüm bu çalışmalar için 1.500.000 TL. yatırım masrafı yapılmıştır. Tesis ilk aşamada sadece karbon giderimi yapmak için kurulmuşken yapılan değişikliklerle azot ve fosfor gideren bir tesis haline almıştır. Fakat yine de azot gideriminde ancak %50 verim elde edilebilmiştir.

Tesisin dizayn debisi 53000 m³/gün olup yaklaşık 230.000 eşdeğer nüfusa hizmet etmektedir. Mevcut doluluk oranı %128'dir. Deşarj yeri Porsuk Çayı olup Sakarya Havzası'nda yer almaktadır. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı) hükümlerine göre deşarj yeri "hassas su alanı" dır.



Şekil 5.27 Kütahya AAT Genel Yerleşim Planı

Tesis Verilerinin Değerlendirilmesi:

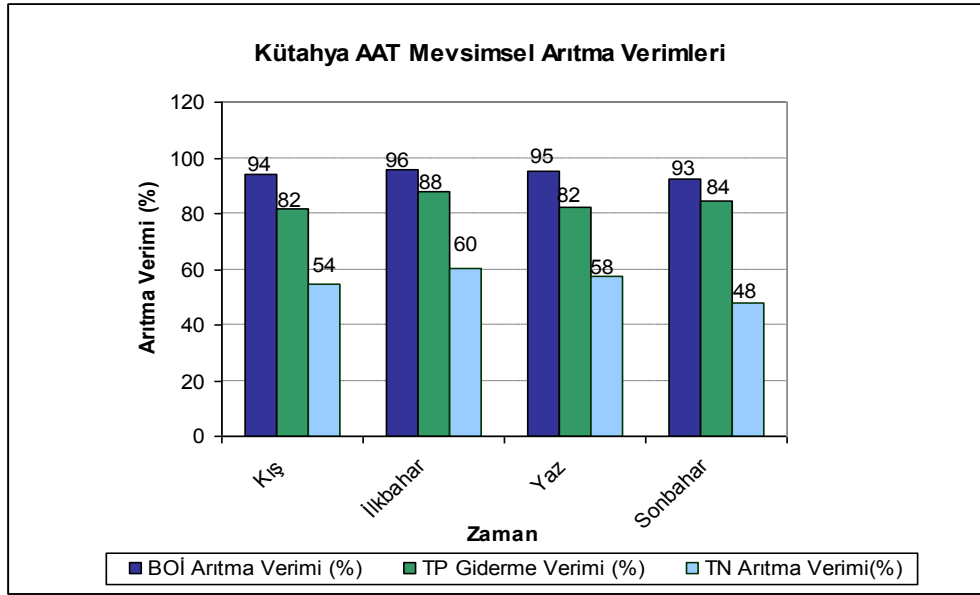
Tesis yetkilisi ile yapılan görüşmede; daha önce ön çökeltme havuzu olarak kullanılan konik tabanlı havuzun savakları sökülerek, ortasına havuzu hacim olarak ikiye bölen perde beton yapıldığı, geçiş noktasıyla da bu bölümlerin seri olarak birbirine bağlandığı ifade edilmiştir. Tankın iç bölümünde 2 adet, dış bölümde ise üç adet dalgıç mikser bulunduğu, havalandırma havuzuna basılan geri devir çamurunun %60 sirkülasyon oranı ile Bio-P tankına alındığı belirtilmiştir.

Tesisin çamur yaşı 4,5 gün, havalandırma havuzu hidrolik bekleme süresi 4 saat, anaerobik bölgede hidrolik bekleme süresi ise 1,01 saattir.

Tablo 5.25'te tesise ait 2009 yılı giriş-çıkış suyu parametre değerleri ve AKM, BOİ, KOİ, TN ile TP giderme verimleri gösterilmektedir. Şekil 5.28'de Tablo 5.25'teki veriler kullanılarak mevsimsel olarak ortalama BOİ, TN ve TP giderme verimleri gösterilmiştir. BOİ ve TP parametreleri için sıcaklık değişimlerinin verim üzerinde çok büyük farklılıklar yarattığı söylenemez. Fakat her bir parametre en yüksek giderme verimleri sıcaklığın ortalama 16⁰C olduğu ilkbahar aylarında ölçüldüğü görülmektedir. TP için yıllık ortalama giderme verimi %84'tür.

Tablo 5.25 Kütahya AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları (2009)

Kütahya AAT																
Numune Alma Noktaları	Giriş						Çıkış					Verim (%)				
Parametreler	Sıcaklık	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	AKM	BOİ	KOİ	TP	TN
Zaman																
Kış	16	221	155	351	4,3	46,3	5	9	39	0,8	21,1	98	94	89	82	54
İlkbahar	16	214	191	409	4,5	49,2	7	8	30	0,5	19,6	97	96	93	88	60
Yaz	22	230	189	414	5,4	57,3	7	9	34	1,0	24,2	97	95	92	82	58
Sonbahar	21	377	190	479	4,5	51,1	8	14	48	0,7	26,5	98	93	90	84	48

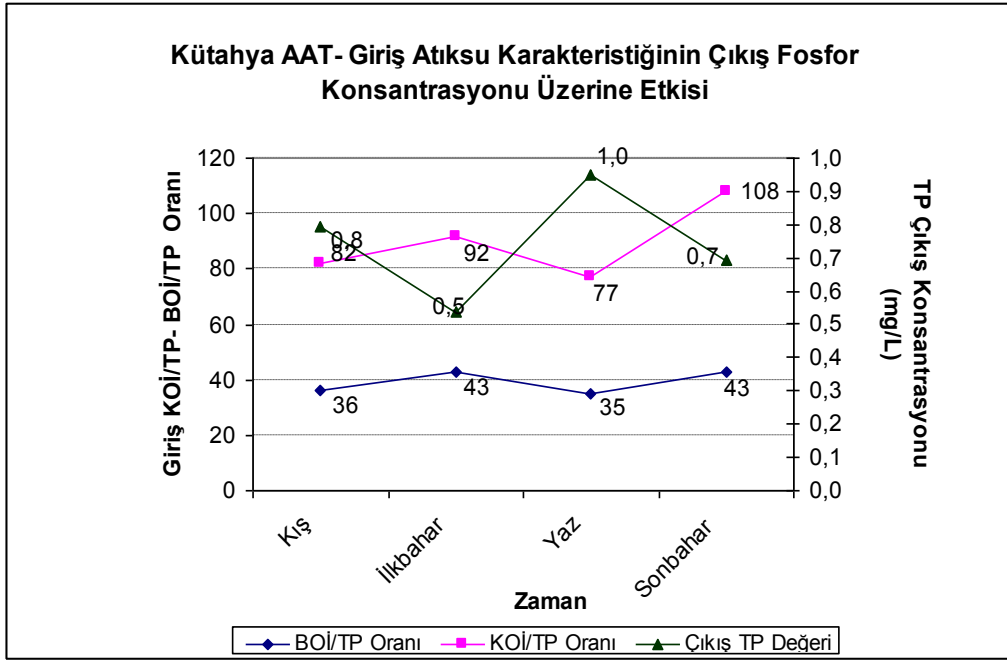


Şekil 5.28 Kütahya AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri

Tablo 5.26’da tesis giriş atıksuyundaki KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP oranları ile TP çıkış değeri verilmektedir. Bu tesis için BOİ/TP ve KOİ/TP oranları 2’nin üzerindedir. Giriş atıksuyundaki TP konsantrasyonları tipik bir evsel atıksudaki değerlerinden düşüktür. Çıkış TP değerleri ise yaz aylarında ortalama 1 mg/L diğer mevsimlerde ise 1 mg/L’den küçüktür. Tesisin deşarj noktası hassas su alanında olup, çıkış suyunda 1 mg/L ve altında TP değeri elde edilerek TN açısından olmasa da TP açısından Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği hükümlerine uyulmaktadır. BOİ/TP ve KOİ/TP oranları sırasıyla 20 ve 40’tan yüksektir.

Tablo 5.26 Kütahya AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri (2009)

Kütahya AAT				
Zaman \ Değerler	KOİ/BOİ	BOİ/TP	KOİ/TP	TP(çıkış)
Kış	2,3	36	82	0,8
İlkbahar	2,1	43	92	0,5
Yaz	2,2	35	77	1,0
Sonbahar	2,5	43	108	0,7



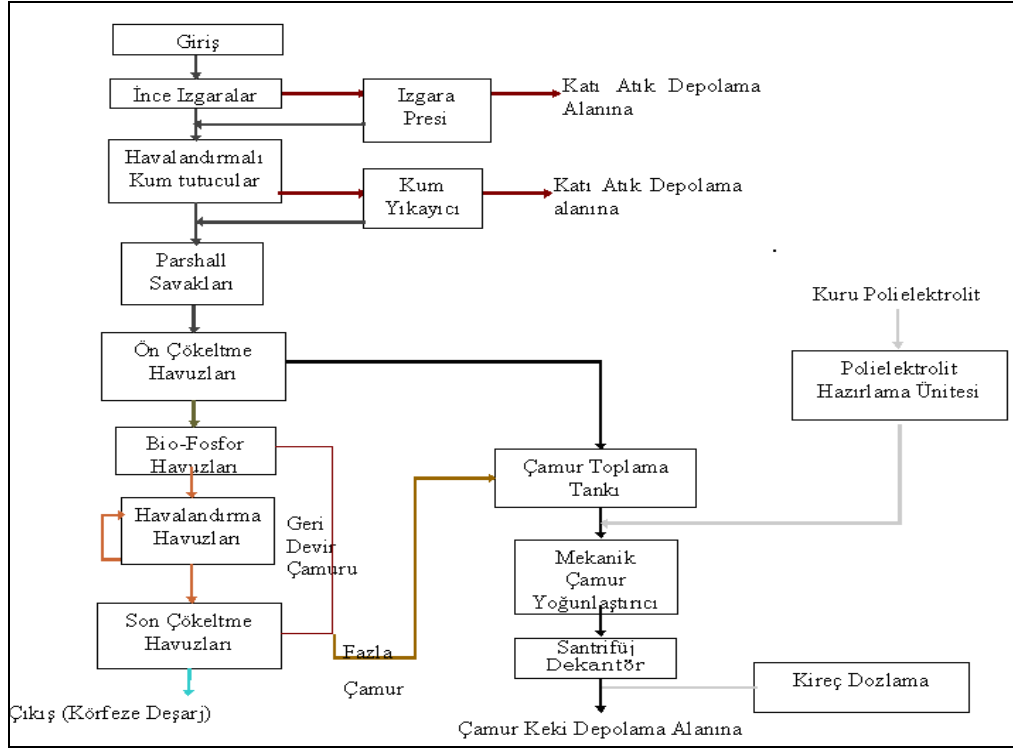
Şekil 5.29 Kütahya AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

5.1.10 İzmir Büyükşehir Belediyesi Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi

Mevcut Durum:

Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi, İzmir Körfezi'nin atıksu kirliliğinden kurtarılması amacı ile Büyük Kanal Projesi kapsamında inşa edilmiştir. İzmir Körfezi boyunca inşa edilen ana kuşaklama kanalı ve buna bağlı kollektörler aracılığıyla toplanan atıksu Gümrük, Bayraklı, Karşıyaka, Çiğli Pompa İstasyonlarından pompalanarak Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi'ne iletilmektedir. Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi eski Gediz deltası üzerinde Çiğli askeri havaalanı güneyindeki bölgede bulunmakta olup, 300.000 m² lik bir alan üzerine kuruludur. Arıtma Tesisi prosesi 5 kademeli Bardenpho sistemine oldukça benzer olup ortalama kapasitesi 605.000 m³/gün'dür. Tesis birbirinden bağımsız olarak çalışabilen 3 ayrı arıtma hattından oluşmakta olup, I. hat 25 Ocak 2000, II. hat 26 Eylül 2000, III. hat ise 12 Ağustos 2001 tarihinde devreye alınmıştır. Arıtma tesisi devreye alındığı tarihten itibaren kesintisiz olarak, tam kapasite ile hizmet vermektedir. Tesis ızgara, kum tutucu ve parshall savaklarından oluşan ön arıtma yapıları; 12 adet 40 m. çapında ön çökeltme tankları; 6 adet 90 m boyunda herbiri 8.850 m³ hacminde bio-fosfor tankları; 12 adet 155 m boyunda her biri 24.790 m³ hacminde havalandırma tankları; 12 adet 60 m çapında son çökeltme

tankları; arıtılmış su deşarj hattı, çamur arıtma sistemi ve servis binalarından oluşmaktadır. Arıtma tesisinden çıkan arıtılmış su 8 m genişliğinde 2 m yüksekliğinde ve 2,5 km uzunluğundaki betonarme açık kanal ile denize deşarj edilmektedir. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı) hükümlerine göre deşarj yeri “hassas su alanı”dır.



Şekil 5.30 Çiğli AAT Akım Şeması

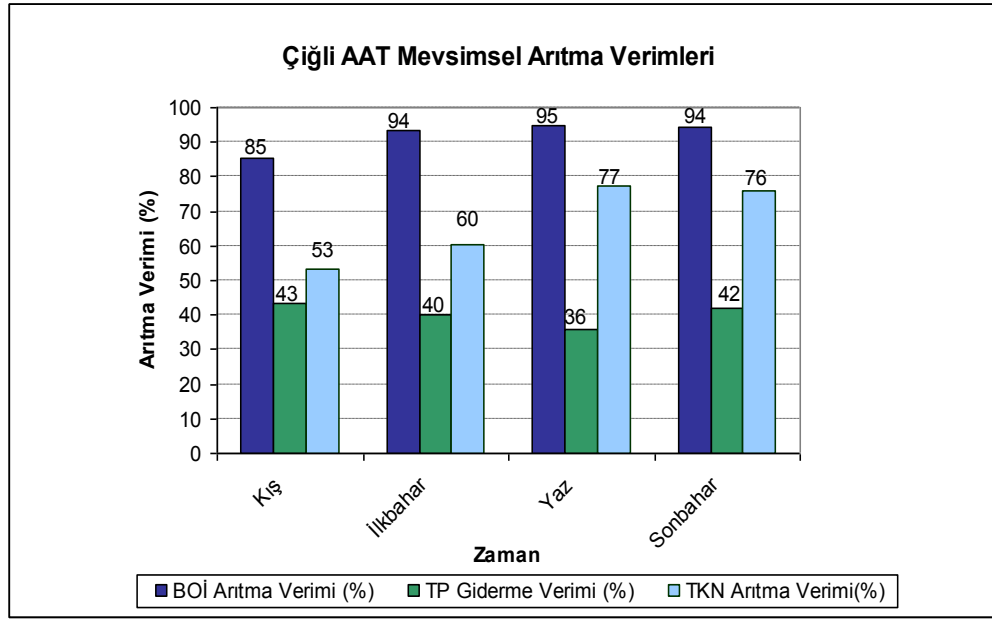
Tesis Verilerinin Değerlendirilmesi:

İzmir Atıksu Arıtma Tesisinin 605.000 m³/gün ortalama atıksu debisini arıtabilecek şekilde dizayn edilmiş olup, 5 kademeli Bardenpho sistemine oldukça benzerdir. Tesisin çamur yaşı 10 gün, havalandırma havuzu hidrolik bekleme süresi 11 saat, anaerobik bölgede hidrolik bekleme süresi 1,1 saattir. Tesis yetkilisi ile yapılan görüşmede tesise dizayn parametresinin üzerinde fosfor girişi olduğu, bu sebeple anaerobik bekleme süresinin yetersiz kaldığı, yağışlı günlerde ise seyrelmenin etkisiyle çıkış P konsantrasyonunun 1 mg/L'nin altına düştüğü ifade edilerek, verimin artırılması için kimyasal çöktürmenin tercih edilmediği belirtilmiştir. Tablo 5.27'de tesise ait 2009 yılı giriş-çıkış suyu parametre değerleri ve AKM, BOİ, KOİ, TKN ile TP giderme verimleri gösterilmektedir. Giriş fosfat değerleri TP değerinin yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır.

Tablo 5.27 İzmir-Çiğli AAT Giriş-Çıkış Atıksu Karakteristikleri ve Kirlilik Giderim Performansları (2009)

Çiğli AAT																		
Numune Alma Noktaları	Giriş							Çıkış						Verim (%)				
Parametreler Zaman	Sıcaklık	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	Fosfat (PO ₄ ⁻³) (mg/L)	TP (mg/L)	TKN (mg/L)	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	Fosfat (PO ₄ ⁻³) (mg/L)	TP (mg/L)	TKN (mg/L)	AKM	BOİ	KOİ	TP	TKN
Kış	18,1	173	136	324	4,5	5,6	35,9	29	20	92	2,4	3,2	16,8	83	85	72	43	53
İlkbahar	22	194	203	469	5,4	7,0	43,7	30	13	61	3,2	4,2	17,4	85	94	87	40	60
Yaz	26	224	257	578	5,9	7,7	47,8	25	13	46	4,1	5,0	10,8	89	95	92	36	77
Sonbahar	20	209	225	531	5,1	6,3	41,1	29	13	52	3,0	3,6	10,0	86	94	90	42	76

Şekil 5.31’de Tablo 5.27’deki veriler kullanılarak mevsimsel olarak ortalama BOİ, TKN ve TP giderme verimleri gösterilmiştir. TKN parametresi için giderme verimi özellikle yaz ve sonbahar aylarında yükselmiştir. TP parametresi için sıcaklık değişimlerinin verim üzerinde çok büyük farklılıklar yarattığı söylenemez. TP için yıllık ortalama giderme verimi %40’dır. Tablo 5.28’de tesis giriş atıksuyundaki KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP oranları ile TP çıkış değeri verilmektedir. KOİ/BOİ oranı her mevsimde 2 civarındadır. Bu tesis için BOİ/TP ve KOİ/TP oranları literatüre uygundur. Fakat önemli olan biyolojik olarak indirgenebilen BOİ değerinin girişte istenilen değerde olup olmadığıdır. TP çıkış konsantrasyonları deşarj standartlarının üzerindedir. Tesisin deşarj noktası hassas su alanında olduğundan, çıkış suyunda 1 mg/L’nin altına düşme zorunluluğu vardır. Bunu sağlamak için Tablo 2.4’te belirtilen ilave arıtma seçenekleri, biyolojik prosesi etkileyen olumsuzluklarla birlikte değerlendirilmelidir.

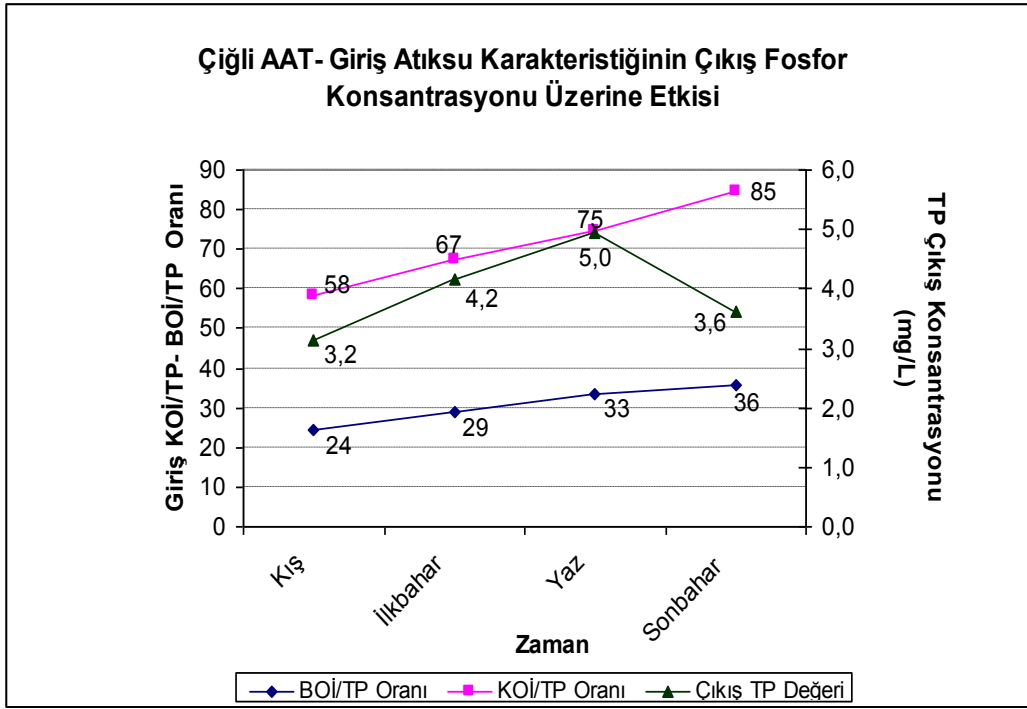


Şekil 5.31 Çiğli AAT Mevsimsel Arıtma Verimleri

Tablo 5.28 Çiğli AAT Giriş KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP Oranları ile TP Çıkış Değeri

Çiğli AAT				
Değerler*				
Zaman	KOİ/BOİ	BOİ/TP	KOİ/TP	TP(çıkış)
Kış	2,4	24	58	3,2
İlkbahar	2,3	29	67	4,2
Yaz	2,2	33	75	5,0
Sonbahar	2,4	36	85	3,6

*2009 değerleridir.



Şekil 5.32 Çiğli AAT Giriş Atıksu Karakteristiğinin Çıkış Fosfor Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

Grafiklerden görüleceği üzere ortalama yıllık fosfor giderme verimi düşüktür. Önel ve Uslu (2003) İzmir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi'nde fosfor giderme mekanizmasını gözlemlediler. Bu çalışmada üç farklı test uygulandı. Birinci testin amacı Ağustos ve Eylül 2002'nin belli tarihlerinde, sıvı içindeki fosfor konsantrasyonlarına dayanarak, fosfor salınım ve alım mekanizmasını gözlemlemektir. İkinci testin amacı Kasım 2002'nin belli tarihlerinde, sıvı içindeki ve karışık sıvı askıda katı madde konsantrasyonu içindeki fosfor konsantrasyonlarına dayanarak, fosfor salınım ve alım mekanizmasını gözlemlemektir. Üçüncü testin amacı ise laboratuvar ölçeğinde basit bir reaktörde fosfor salınım ve alım mekanizmasını gözlemlemektir. İlk testte Bio-P tankında ortalama çözünmüş oksijen 0,7 mg/L ve nitrat 0,79 mg/L olarak tespit edildi. Bu değerler anaerobik tankta fosfor salınımına engel olarak değerlendirildi. Giriş atıksuyunda çözülebilir reaktif fosfor değeri ortalama 3,67 mg/L, Bio-P tankında 14,25 mg/L, aerobik bölgede 3,25 mg/L, anoksik bölgede 6,86 mg/L ölçüldü. Bu ölçümler genelde literatürde bulunanların aksine, aerobik bölgeden anoksik bölgeye geçildiğinde fosforun tekrar salındığını gösteriyordu. Çıkış çözülebilir reaktif fosfor ortalama değeri 1,63 mg/L, geri devir hattında ise bu değer 7,17 mg/L ölçüldü. Bu durum son çökeltim havuzunda ya da

geri devir çamur toplama havuzunda anaerobik bir ortamın oluşmuş olabileceğine işaretledi. KOİ/P oranı yeterli olmasına rağmen ortalama fosfor giderim verimi %55,6'dı. Bunun nedeni Biyo-P tankında kolaylıkla biyolojik indirgenabilir KOİ değerinin düşük olması olabilirdi. İkinci testin amacı sıvı ve AKM içindeki fosfor konsantrasyonlarını gözlemlemektir. Biyo-P havuzunda maksimum nitrat değeri 5,26 mg/L, minimum değer ise 1,02 mg/L'dir. Giriş toplam fosfor konsantrasyonu ise çıkış değerinden daha yüksekti. Bunun sebebinin son çökeltim tankında çamurdan sıvıya fosfor kaçışlarının, çamur arıtım ünitelerinin verimsiz çalıştırılmasının, atıksuda besin eksikliğinin olabileceği ihtimalleri üzerinde duruldu. Başka bir tarihte ise yalnızca %8,5 fosfor giderimi vardı. Bu sonuçta nitrat değeri ne olursa olsun giderimi etkileyen çok farklı parametrelerin varlığına işaret ediyordu. Biyo-P tankında ve havalandırılmalı bölgede ortalama partikül fosfor konsantrasyonu ve ortalama AKM konsantrasyonu ölçüldü. Biyo-P tankında AKM başına partikül fosfor konsantrasyonu %0,33, havalandırılmalı bölgede %35 idi. Ayrıca yaz mevsiminde %55,6 fosfor giderimi kış mevsiminde %20,3 fosfor giderimi elde edildi. Üçüncü teste fosfor salınımı ve alınımı gözlemlemek için laboratuvar ortamında bir düzenek hazırlandı. Deneylerde besi maddesi ilave edilmediği halde fosfor giderim verimi iyileşti. UAKM başına partikül fosfor konsantrasyonu %0,34'ten %0,41'e yükseldi. 1 saatlik hidrolik bekleme süresine nazaran 2 saatlik hidrolik bekleme süresinde fosfor giderim verimi arttı.

Tuncal, Pala ve Uslu (2008) Çiğli AAT'de biyolojik aşırı fosfor giderimi sisteminin temel özelliklerini saha ve laboratuvar ölçekli araştırmalar ile irdediler. Oluşturulan kütle dengeleri ile aktif çamur içerisinde oluşan mikroorganizma oranları ve hücre içi P içeriği belirlendi. İncelemeler neticesinde fosfor depolayan bakteri (FDB) türlerinin sistemdeki kütle oranının %9 ile %34 arasında değiştiği tespit edildi. Daha önceki bilimsel çalışma sonuçlarını doğrular nitelikte, FDB'lerin hücre ağırlığının %32'si oranında, aşırı miktarda fosfor (P) depolayabilecekleri belirlendi. Buna ilave olarak, aktif çamur kültüründeki FDB kütle oranının artması ile birlikte sadece P giderim verimliliği değil aynı zamanda karbon (C) ve azot (N) giderim hızlarının da önemli ölçüde artabileceği saptandı. Bu bakteri türlerinin (FDB) sistemdeki oranlarının ise atıksu içerisindeki basit karbon formları ile yakından ilişkili olduğu saptanarak, bu konuda yapılmış olan bilimsel çalışmaları doğrular nitelikte sonuçlara ulaşıldı. Sistemdeki FDB kütle oranının %30'un üzerine çıktığı

durumlarda, anoksik ve aerobik P giderim hızlarının 0.1 mg P (g UAKM(Uçucu askıda katı madde)-1 dk-1, denitrifikasyon hızının 0.04 mg NO₃-N (g UAKM)-1 dk-1 ve UYA giderim hızının ise 0.5 mg UYA (g UAKM)-1 dk-1 değerlerine ulaşabileceği belirlendi.

6. SONUÇLAR- ÖNERİLER

Tez kapsamında evsel atıksulardan fosfor giderimi teknolojileri irdelenerek, ülkemizde fosfor arıtımı yapan atıksu arıtma tesislerinin arıtma kapasiteleri ve fosforu arıtamama nedenleri ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Fosfor arıtmaya yönelik tasarlanmış ve işletmede olan 10 adet atıksu arıtma tesisinden, fosfor arıtımı performansını etkileyen faktörlere (pH, sıcaklık, hidrolik bekleme süreleri, çamur yaşı, uçucu yağ asitleri vb.) ilişkin veriler elde edilerek tesislerin giderim verimleri karşılaştırılmıştır. Her bir tesis için literatür bilgileri ışığında yapılan değerlendirmeler, tablolar ve grafikler ile birlikte sunulmuştur. Öncelikle tesisler hakkında kısa bir bilgi verilmiştir. Ardından prosese ait dizayn kriterlerinden bahsedilerek, sıcaklık ve KOİ/BOİ, BOİ/TP, KOİ/TP oranlarının fosfor giderimi üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca mevcut tesislerde yenileme ve iyileştirmeye gidildiğinde ilave arıtma seçeneği olarak hangi fosfor giderim teknolojisinin uygun olacağı değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Tez kapsamındaki 10 adet atıksu arıtma tesisinden elde edilen veriler değerlendirildiğinde, aşağıdaki önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Her bir tesis için detaylı değerlendirme Bölüm 5’te sunulmaktadır.

- Bilindiği üzere anaerobik tankta bekletme süresi P salınımı açısından önemli bir faktördür. Bazen aşırı bekleme sürelerinde (>2 saat) fosfor salınımı yerine alınımın başladığı ya da aerobik bölgede alınımın olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir. Bursa Büyükşehir Belediyesi’ne ait ileri biyolojik arıtma yapan iki tesiste, giriş atıksu özellikleri ve dizayn parametreleri benzerlik gösterdiğinden, anaerobik tanktaki bekletme sürelerinin fosfor giderimi üzerine etkisi mukayese edilebilir. Bu süreler Doğu AAT’de 1,3 saat, Batı AAT’de 1,7 saattir. Anaerobik bekleme sürelerinde farklılıklar olsa da her iki tesis için yıllık ortalama TP giderme verimleri birbirine oldukça yakındır. Doğu AAT için %74, Batı AAT için 76’dır. Tabii ki böyle bir değerlendirmeyi yaparken dizaynda seçilen bekleme sürelerini dikkate almak yanıltıcı olabilir. Çünkü işletmede yağışlı havalarda yüksek debilerle aşırı

yükleme olup tesis kapasitesi aşılabılır. Böylelikle hidrolik bekleme süreleri azalabilir.

- Giriş atıksuyunda uçucu yağ asidi miktarı da biyolojik fosfor gideriminin performansını etkileyen faktörlerden biridir. Fakat bu tez kapsamında incelenen tesislerden sadece İstanbul Büyükşehir Belediyesi Paşaköy AAT'de periyodik olarak UYA parametresinin ölçüldüğü tespit edilmiştir. Fakat bu tesis için UYA miktarları ve giderimler arasında doğru orantı bulunmamaktadır. Kış ayında 10,1 mg/L UYA değerine karşılık %50 P giderme verimi elde edilirken, 53 mg/L UYA ölçülen yaz aylarında verim ancak %57'ye ulaşmıştır. Bu da bir kez daha P giderme mekanizmasının karmaşıklığını ve tek bir faktöre bağlı yorumlanamayacağını, anlık şartlara göre değişiklik gösterdiğini ispatlamaktadır. Bu tesis için daha önce yapılan çalışmalarda biyolojik fosfor giderimi için gerekli olan UYA seviyesinin giriş atıksuyunda çok düşük seviyelerde (ortalama 20 mg/L) olduğunu göstermiştir. Diğer tesislerde UYA için ölçüm ancak sorun yaşandığı, istenilen çıkış değerinin sağlanamadığı zamanlarda yapılmaktadır. Örneğin; Bursa Büyükşehir Belediyesi Batı AAT'de bazı aylarda UYA yetersizliğinden fosfor giderme veriminde düşüşlerin yaşandığı görülmüştür. Yapılan ölçüm sonuçları, verimde düşüş olan aylar arasında en yüksek verim değerinin uçucu yağ asidi ortalama konsantrasyonunun en yüksek ölçüldüğü (46 mg/L) mayıs ayında sağlandığını göstermektedir. Bu tesiste literatüre uygun sonuçlar elde edilmiştir.
- Daha önce bahsedildiği gibi KOİ:BOİ oranı atıksu kirlilik yükünün biyolojik olarak ayrışabilirliğinin bir ölçüsüdür. Eğer KOİ:BOİ oranı 2:1'i geçmezse, biyolojik olarak ayrışabilirlik iyi olarak nitelendirilir. Antalya Büyükşehir Belediyesi Hurma AAT (A^2/O Prosesi) ve Lara AAT (Bardenpho prosesi) farklı P giderme proseslerine sahip olup, TP giderme verimi açısından incelenen tesisler arasında en iyiler arasındadırlar. Bunu nedeni biyolojik olarak ayrışabilir BOİ'nin yeterliliği ve gerekli olduğu zamanlarda kimyasal arıtmanın yapılması olarak gösterilebilir. Her iki tesisin deşarj yeri Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı)

hükümlerine göre “az hassas su alanı” dır. Bu açıdan bakıldığında deşarj noktaları hassas su alanında olmadığından, aslında çıkış suyunda 1 mg/L’nin altına düşme gibi bir zorunlulukları yoktur. Fakat ileride hassas su alanı ilan edilmeleri söz konusu olacak olursa Tablo 2.4’te belirtilen ilave arıtma seçenekleri yıllık ortalama 1,6 mg/L çıkış TP değerine sahip Hurma AAT için düşünülebilir. Tesis yetkilisi de daha önce belirtildiği gibi proseste iyileştirmeye gidileceğini ifade etmiştir. Fakat derin deniz deşarjı yaptıkları göz önüne alındığında daha fazla ileri arıtmanın iyileştirilmesi mecburiyet arzetmemektedir.

- Kayseri Büyükşehir Belediyesi AAT A²/O prosesi ile benzerlik göstermekle birlikte ön çökeltim çamurundan biyogaz elde edilmektedir. Tesise gelen atıksuların KOİ değerleri ve TP giderme verimleri oldukça yüksektir. Bu tesiste hem çürütücülerde hem de TP gideriminde kullanılacak kadar yeterlilikte biyolojik olarak indirgenebilir BOİ değeri bulunmakta olduğu görülmektedir.
- Malatya Belediyesi AAT ve Fethiye Belediyesi AAT proses olarak A²/O ile benzerlik göstermektedirler. Her iki tesis için giriş atıksuyundaki BOİ, KOİ, TN ve TP değerleri dizayn için kabul edilen değerler ile tipik evsel atıksudaki değerlerden oldukça düşüktür. Zaten normal şartlarda da ikincil arıtma ile TP için %30 giderim verimi sağlanabildiğinden bu tesisler için çıkış suyunda 1-2 mg/L civarında TP değeri elde edebilmesi kolaylaşmaktadır. Ayrıca Fethiye Belediyesi’nin gerekli olduğu zamanlarda kimyasal çöktürme uyguladığı da hatırlanmalıdır.
- Kütahya Belediyesi AAT’de yapılan revizyonlarda mevcut ön çökeltme havuzları biyofosfor tankına ve mevcut havalandırma havuzları da ortalarına perde betonlar atılarak uzun havalandırma sistemine dönüştürülmüştür. Bu sistem N giderimi açısından olumlu sonuçlar vermese de TP ortalama çıkış değeri 1 mg/L’nin altına düşmektedir. Kütahya Belediyesi AAT işletilmesinde, verim elde etmek adına prosesin farklılaştırıldığı iyi bir

örnektir. Hassas su alanında yer alan AAT'de TN giderimine ilişkin iyileştirme çalışmalarına ihtiyaç vardır.

- İzmir Büyükşehir Belediyesi AAT'de ise verimin düşük olmasının sebebi olarak anaerobik tanka nitrat girişi ve dizayn değerlerinin üzerinde TP girişi gösterilebilir.
- Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de ise tesislere ilişkin genel bir değerlendirme sunulmaktadır. Tablo 6.1'den de görüleceği üzere Bursa Büyükşehir Belediyesi'ne ait AAT'ler sadece biyolojik yöntem kullanılarak P gideren tesisler arasında en yüksek verime sahiptirler. Antalya Büyükşehir Belediyesi AAT'leri biyolojik yöntemlere ilave kısmi zamanlı da olsa kimyasal yöntem kullanan tesisler arasında en yüksek verime sahip olan tesislerdir. Kayseri Büyükşehir Belediyesi AAT kimyasal çöktürme uygulamayı çıkış TP değerini 1 mg/L'nin altına düşürebilen hem de biyogaz elde edebilen bir tesistir. Biyolojik P giderme proses seçenekleri arasında ise verim açısından keskin bir ayırım yapılamamaktadır.

Tablo 6.2'de ise genel bir maliyet analizi verilmektedir. Buna göre eşdeğer nüfus başına en yüksek yatırım maliyeti 71 € ile Fethiye Belediyesi AAT'ye, en düşük maliyet ise 16 € ile Antalya Büyükşehir Belediyesi Hurma AAT'ye aittir. Eşdeğer nüfus başına en yüksek yıllık işletme maliyeti 12,9 TL ile en yüksek yatırım maliyetine sahip Fethiye Belediyesi AAT'de görülmektedir. En düşük işletme maliyeti ise kişi başına yıllık 3,1 TL ile Malatya AAT'ye aittir.

Tablo 6.1 Genel Değerlendirme

Atıksu Arıtma Tesis	Dizayn Debisi(1) Eşdeğer Nüfus	Proses Tipi	Deşarj Yeri	Giriş P Değeri(2) (mg/L)	Çıkış P Değeri(2) (mg/L)
Bursa Batı	87.500 650.000	5 Kademeli Bardenpho	Ayvalı Dere - Nilüfer Çayı	8,8	2,1
Bursa Doğu	240.000 1.600.000	5 Kademeli Bardenpho	Deliçay	8,3	2,2
İstanbul Paşaköy	100.000+125.000 1.000.000	5 kademeli Bardenpho(3)	Riva Deresi- Karadeniz	6,3	2,75
Antalya Hurma	75.000 500.000	A ² /O (4) + Kimyasal Çök.	Akdeniz	11	1,6
Antalya Lara	31.250 350.000	5 Kademeli Bardenpho + Kimyasal Çök.	Akdeniz	7,3	0,9
Kayseri	110.000 800.000	A ² /O(4) + Çürütücü	Karasu- Kızılırmak	8,5	0,9
Malatya	133.629 720.000	A ² /O(4)	Karakaya Baraj Gölü	4,4	1,8
Fethiye	22.394 140.000	A ² /O(4) + Kimyasal Çök.	Murt Deresi	3	1,3
İzmir Çiğli	605.000 2.800.000	5 Kademeli Bardenpho(5)	İzmir Körfezi	6,7	4

(1) Birim m³/gün.

(2) 2009 yılı ortalama değerleridir.

(3) 5 kademeli Bardenpho prosesine göre dizayn edilmiş olup, istenildiği takdirde VIP, UCT, A²/O, Johannesburg gibi diğer proseslere dönüştürülebilme esnekliğine sahiptir.(4) Sistem A²/O prosesi ile benzerlik göstermektedir.

(5) Sistem 5 Kademeli Bardenpho prosesi ile benzerlik göstermektedir.

Not: Kütahya Belediyesi AAT ilk yapıldığında P giderimi için tasarlanmadığından bu tabloda belirtilmemiştir.

Tablo 6.2 Maliyet Değerlendirmesi

Atıksu Arıtma Tesisi	Dizayn Debisi(mg/L) Eşdeğer Nüfus	Yatırım Maliyeti(1)	Yatırım Maliyeti/EN (€)	İşletme Maliyeti (2)(TL)	İşletme Maliyeti/EN(TL)	Kurulu Alan (Dönüm)
Bursa Batı	87.500 650.000	≈16 M €	25	3.024.623	4,7	100
Bursa Doğu	240.000 1.600.000	≈25 M €	17	7.120.155	4,5	250
İstanbul Paşaköy	100.000+125.000 1.000.000	≈22 +28M €	50	5.601.141	5,6	570
Antalya Hurma	75.000 500.000	≈8 M €	16	-	-	110
Antalya Lara	31.250 350.000	≈10 M €	29	-	-	55
Kayseri	110.000 800.000	≈24 M €	30	5.300.000	6,6	230
Malatya	133.629 720.000	≈26 M €	36	2.263.231	3,1	70
Fethiye	22.394 140.000	≈10 M €	71	1.800.000	12,9	36
İzmir Çiğli	605.000 2.800.000	≈50 M €	18	20.937.938	7,5	300

(1) 1€=2,1TL alınmıştır.

(2) İşletme maliyeti yıllık değerdir.

Tesis yetkilileriyle yapılan görüşmelerde P giderme veriminin düşük olmasının sebepleri tartışılmıştır. Aşağıda bu sebepler özetlenerek akabinde çözüm önerileri sunulmaktadır.

- Giriş atıksuyunda biyolojik olarak indirgenebilen BOİ değerinin düşük olması. Tesislerde laboratuvar ölçekli çalışmalar ile giriş atıksu karakterizasyonu özellikle UYA gibi önemli parametreler sürekli izlenmelidir. Bazı atıksularda UYA içeriği yüksek olabilir. Bu durumda %5 civarında bir hacim oranı (anaerobik reaktör hacminin toplam biyolojik reaktör hacmine oranı) yeterli iken, UYA içeriği düşük atıksular için fermentasyon prosesinin verimli olmasını sağlayacak %15-%25 oranlarına ihtiyaç duyulacaktır. Ayrıca P giderimi için gerekli olan UYA miktarının sağlanması için fermentör de kullanılabilir.
- Tesislere endüstriyel atıksu girişi sebebiyle atıksu karakterizasyonunun olumsuz yönde etkilenmesi. Kanalizasyona deşarjlarda Belediyeler başta olmak üzere ilgili kurumlarca gerekli denetimler hassasiyetle yapılmalıdır.
- Geri devir akımındaki nitratın anerobik tanka girişimi ile P salınımı için gerekli anaerobik koşulların oluşturulamaması. Nitrat geri devrine neden olmayan uygun prosesler seçilmelidir. Bu proseslere ilişkin detaylı araştırma Bölüm 2’de sunulmuştur. Anaerobik ve anoksik tankta sürekli olarak nitrat ve çözünmüş oksijen değerleri kontrol edilmelidir.
- Tesis kapasitesinin aşılmasıyla hidrolik bekleme sürelerinin azalması. Fizibilite raporları hazırlanırken ve dizayn aşamasında atıksu arıtma tesisinin hizmet edeceği nüfus ve debi değerleri ileriye yönelik en doğru şekilde hesaplanmalı ve öngörülmalıdır. Bakanlığımız olarak Fizibilite raporlarında bu hususlara özellikle dikkat edilmelidir.
- Kirlilik yüklerinin dizayn aşamasında yanlış seçilmesi. Fizibilite raporları hazırlanırken en az bir yıllık saha ölçümleri yapılmalı, toplanan atıksuların karakteristiği doğru saptanmalıdır.

- Son çöktürme havuzunda uzun bekleme süreleri nedeni ile anaerobik ortamın oluşması. Son çöktürme havuzlarından çamur çekme süresi (çamur yaşı) tesis içerisinde yapılacak laboratuvar ölçekli çalışmalar ve işletme deneyimleri ile tank tabanında anaerobik ortam oluşumunu engelleyecek şekilde optimum süre olarak belirlenmelidir.
- Kimyasal P gideriminin tercih edilmesi ile fazla kimyasal çamur oluşacağı düşüncesi. Her bir tesis kendi içinde ayrı bir dünyadır. Bu sebeple öncelikle işletmeciler tarafından tesislerine ait biyolojik P giderme mekanizması tam olarak öğrenilmeli ve uygun işletme koşulları sağlanmalı, ardından gerekli görüldüğü hallerde kimyasal fosfor giderimi devreye girmelidir. Ayrıca sürekli kimyasal çökeltim yolu ile fosfor giderimi eşdeğer nüfusu 100.000'den küçük olan atıksu debileri için avantajlı olmaktadır. Çünkü bu boyuttaki bir atıksu debisi için sarf edilecek kimyasal madde maliyeti ve bu yolla oluşacak %10-20 civarındaki ek çamur kütlesi bir aktif çamur arıtma tesisinde ileri biyolojik fosfor giderimi yapacak şekilde yenileştirmenin maliyeti ile rekabet edebilir nitelikte olmaktadır. Ancak atıksu debisinin bu değerlerin üzerinde olması halinde gerek kimyasal maddelere olacak yüksek gereksinim ve bu yolla sağlanacak fosfor gideriminin maliyetinin daha yüksek oluşu ve gerekse nispeten yüksek miktarlarda çamur oluşması, çıkış suyunda klorür (Cl-) ve sülfat (SO42-) iyonlarını ihtiva etmesi nedeniyle tuzluluğun artması ve ayrıca nitrifikasyon sürecinin olumsuz etkilenmesi gibi nedenlerle ileri biyolojik fosfor giderimi daha avantajlı olmaktadır. (Mazlum, 1995). Ayrıca küçük tesisler için kimyasal kullanıldığında çamur içerisinde hafif floklar oluşacağından, sıkı deşarj standartlarına ulaşmak için sistemin sonuna filtre ilave edilebileceği de belirtilmelidir. Tez kapsamında görüşülen tesislerin bazıları kimyasal arıtımın fazla kimyasal çamur oluşturarak ayrı bir külfete neden olacağı görüşünderken bazıları ise gerekli hallerde kullanılmasının herhangi bir olumsuz etkisini görmediklerini aksine verimi arttırmada destekleyici olduğunu belirtmişlerdir.

- Çamur yoğunlaştırıcılarda uzun bekleme sürelerinde fosforun tekrar salınması. Bu problemi önlemek için gravite yoğunlaştırıcılarda bekleme süreleri kontrol altında tutularak belli seviyede havalandırma yapılabilir. Gerekli finansal değerlendirmeler de yapılarak mekanik yoğunlaştırıcılar tercih edilebilir.
- Çamur arıtmada oluşan süzüntü sularının giriş yapısına verilmesi ile P yükünün artması. Bu durum özellikle çamur çürütücülerin olduğu tesislerde yaşanmaktadır. Çözüm olarak süzüntü sularındaki fosforun kimyasal çöktürmeyle uzaklaştırılması önerilebilir. Bir başka çözüm ise fosforun strüvit ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) olarak geri kazanıldığı sitemlerin uygulanmasıdır. Böylelikle doğadaki fosfor kayaçlarıyla hemen hemen aynı özellikte olan strüvit maddesi kazanılacak ve gübre olarak tarımda kullanılabilecektir. Bu geri kazanım sistemleri uzun yıllardır çalışılsa da uygulamada henüz iyi bir ilerleme kaydedilmemiştir.

Yukarıda bahsedilen P giderme verimini olumsuz yönde etkileyen sebepler ve çözüm önerileri Tablo 6.3'te özet halinde verilmektedir.

Tablo 6.3 Evsel Atıksulardan P Giderme Verimini Olumsuz Yönde Etkileyen Sebepler ve Çözüm Önerileri

Sebepler	Çözüm Önerileri
Giriş atıksuyunda biyolojik olarak indirgenebilen BOİ değerinin düşük olması	-Parametreler sürekli izlenmelidir. -Anaerobik reaktör hacmi doğru seçilmelidir. -Gerektiğinde fermantörler kullanılabilir.
Tesislere endüstriyel atıksu girişi sebebiyle atıksu karakterizasyonunun olumsuz yönde etkilenmesi	Kanalizasyona deşarjlarda Belediyeler başta olmak üzere ilgili kurumlarca gerekli denetimler hassasiyetle yapılmalıdır.
Geri devir akımındaki nitratin anerobik tanka girişimi ile P salınımı için gerekli anaerobik koşulların oluşturulamaması	-Uygun prosesler seçilmelidir. -Tanklarda nitrat ve ÇO değerleri sürekli kontrol edilmelidir.

Tablo 6.3 Devamı

Tesis kapasitesinin aşılmasıyla hidrolik bekleme sürelerinin azalması	Doğru projelendirme yapılmalıdır.
Kirlilik yüklerinin dizayn aşamasında yanlış seçilmesi	Fizibilite raporları hazırlanırken en az bir yıllık saha ölçümleri yapılmalı, toplanan atıksuların karakteristiği doğru saptanmalıdır.
Son çöktürme havuzunda uzun bekleme süreleri nedeni ile anaerobik ortamın oluşması	Çamur çekme süresi optimum düzeyde olmalıdır.
Kimyasal P giderimin tercih edilmesi ile fazla kimyasal çamur oluşacağı düşüncesi	Gerekli görüldüğü hallerde kısmi zamanlı kimyasal metot uygulanabilir.
Çamur yoğunlaştırıcılarda uzun bekleme sürelerinde fosforun tekrar salınması	Yoğunlaştırıcı tipi doğru seçilmelidir.
Çamur arıtmada oluşan süzüntü sularının giriş yapısına verilmesi ile P yükünün artması	Gerektiğinde süzüntü sularından fosfor uzaklaştırılmalıdır.

Ayrıca karbon gideren mevcut bir tesise azot ve fosfor giderimlerinin de ilave edilmesi gerektiğindeki durumu değerlendirecek olursak; rehabilitasyon için seçilecek metot eşdeğer nüfus ve atıksu karakteristikleri gibi bir çok faktörden etkilenecektir. Azot giderimi için seçilecek prosesin biyolojik olacağı bilinirken fosfor için biyolojik ve/veya kimyasal metot seçilebilir. Özellikle eşdeğer nüfusu 100.000 üzerindeki ve giriş KOİ/TP ile BOİ/TP değerleri literatüre uygun olan yerleşim yerleri için P gideriminde biyolojik yöntemlerin kullanılmasının, gerektiğinde kimyasal ilave edilmesinin daha uygun olacağı düşünülmektedir. Bu amaçlarla rehabilite edilecek bir tesiste öncelikle P salınımı için anaerobik, denitrifikasyon için anoksik, nitrifikasyon ve fosfor alınımı için aerobik koşullara ihtiyaç duyulacaktır. Mevcut tesiste birincil arıtma üniteleri ile ikincil arıtma üniteleri arasında yeterli alan olması halinde, daha önce bahsedildiği gibi giriş atıksularındaki UYA konsantrasyonları yeterli ise toplam biyolojik ünite hacminin

%5'i kadar yeterli değilse %15-25'i kadar hacimde bir anaerobik tank ilave edilir. Sadece karbon gideren tesislerde çamur yaşı düşük seçileceğinden havalandırma tankı hacmi küçük olur. Böylelikle mevcut havalandırma havuzları gerekli iç düzenlemeler (karıştırıcıların montajı, havalandırma ekipmanlarının devreden çıkarılması vb.) yapılarak anoksik tank olarak kullanılabilir. Fakat aerobik kısım için yeni tanklara ihtiyaç duyulacaktır. Birincil arıtma ünitelerinden sonra anaerobik tanklar için yeterli alan yok ise zaten sistem nütrient gidereceği için proseste yeterli karbonu sağlamak adına muhtemelen devre dışı kalacak olan mevcut ön çökeltme tankları gerekli düzenlemeler yapılarak Kütahya Atıksu Arıtma Tesisi örneğinde olduğu gibi anaerobik tank olarak kullanılabilir. Daha öncede vurgulandığı gibi biyolojik fosfor giderim sisteminin verimli bir şekilde çalıştırılması için gerekli koşullar sağlanmalı hala daha istenilen deşarj standartları sağlanamıyorsa kısmi zamanlı kimyasal ilavesi yapılmalıdır. Ayrıca fosfor gideriminde önemli rol oynayan bir diğer arıtma üniteleri çamur susuzlaştırma üniteleridir. Mevcut tesiste P giderimi yapılacaksa eğer mutlaka çamur susuzlaştırma ünitelerinden kaynaklanan süzüntü suyundaki P yükü hesaplanmalıdır. Gravity yoğunlaştırıcı kullanılıyor ise P salınımını engellemek için tanka havalandırma ekipmanları ilave edilebilir veya maliyet analizi yapılarak sistem tamamiyle mekanik yoğunlaştırmaya dönüştürülebilir. Eşdeğer nüfusu 100.000'den küçük olan karbon gideren tesislere azot ve fosfor giderimlerinin ilave edilmesi gerektiğinde ise azot giderimi için biyolojik yöntem kullanılacak olup, fosfor giderimi için biyolojik ve kimyasal yöntemler arasında fayda maliyet analizi yapılarak uygun olan seçilmelidir.

Son olarak yatırım ve işletme maliyetlerine ilişkin tahmini bir bilgi vermesi açısından Bakanlığımız koordinasyonunda yürütülmekte olan "Türkiye'de 15 Belediye için Atıksu Arıtma Tesisi Hazırlanmasına Yönelik Teknik Yardım" projesi kapsamında yer alan bazı AAT'ler ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Her bir belediye için yıkım işleri ve deşarj hattı kalemleri çıkarılarak, karbon ve azot giderimi yapılması halinde ilk yatırım maliyetleri ile karbon, azot ve fosfor giderimi yapılması halindeki ilk yatırım maliyetleri ve aralarındaki yüzde artış Tablo 6.4'te verilmiştir.

Tablo 6.4 İlk Yatırım Maliyeti Artışı

Belediye	EN	C,N Yatırım Maliyeti/EN	C,N,P Yatırım Maliyeti/EN	%Artış
Seydişehir	27465	160	160,9	0,6
Akşehir	62316	80,2	81,5	1,6
Aksaray	169150	53,3	54,6	2,4
Adıyaman	185117	53,3	55,6	4,3

* Yatırım maliyetleri Euro cinsindendir.

Tablo 6.4'te görüleceği üzere 27.465 EN ile 185.117 EN aralığında kapasitelere sahip azot gideren tesislerde sisteme P giderimi ilave edildiğinde, borulama dağıtım yapıları gibi ilave masrafları da göz önünde bulundurduğumuzda yaklaşık %1 ile %5 aralığında bir yatırım maliyeti artışı olacaktır.

Bu tesisler için işletme maliyetindeki artışı değerlendirecek olursak; P giderimi için kullanılacak kimyasal maddenin maliyeti, anaerobik tanklardaki karıştırıcıların işletme maliyeti ve oluşacak ilave kimyasal çamurun uzaklaştırılması maliyeti ana kalemleri oluşturur. Tablo 6.5'ten görüleceği üzere biyolojik ve kimyasal yolla fosfor giderimi yapıldığında sistemin işletme maliyetindeki artış %16 ile %32 arasında değişirken, sadece biyolojik metot kullanıldığında %2 değerinde kalmaktadır. Burada kimyasal yöntem kullanıldığında işletme maliyeti artış yüzdesinde görülen farklılık, giriş fosfor değerlerinin ve oluşacak kimyasal çamurun miktarındaki değişimlerden kaynaklanmaktadır. Bu tesisler için yüksek giriş P değerleri seçildiğinden pratikte sadece biyolojik metot ve kısmi zamanlı kimyasal metot kullanılarak istenilen deşarj standartları elde edilebilecektir. Böylelikle gerçekte çok daha düşük işletme maliyetleri ile karşılaşılacaktır. Bu hesaplamalar ileride yapılacak projelerde bir öngörü oluşturmak adına yapılmış olup, elbetteki ortam şartlarına (zemin durumu, sıcaklık, kirlilik yükleri vb.) ve yapılması muhtemel ilave ünitelere göre her bir tesis için farklılık gösterecektir.

Tablo 6.5 Günlük İşletme Maliyetlerindeki Artış

Belediye	EN	Kimyasal Maliyeti	Karıştırıcı Elektrik Maliyeti	Çamur Maliyeti (Biyolojik P Giderimi)	Çamur Maliyeti (Kimyasal P Giderimi)	Toplam Kimyasal+Biyolojik P Giderim Maliyeti	Sadece Biyolojik P Giderim Maliyeti	Toplam Sistem İşletme Maliyeti	İşletme Maliyeti Artış (Biyolojik +Kimyasal P Giderimi)%	İşletme Maliyeti Artış (Biyolojik P Giderimi)%
Seydişehir	27465	80	7,2	9,7	16	112,9	16,9	809	16	2
Akşehir	62316	160	7,2	17,6	32	216,8	24,8	1370	19	2
Aksaray	169150	470	14,3	33	58	575	47,3	2368	32	2
Adıyaman	185117	520	14,3	37	66	637	51,3	2970	27	2

*İşletme maliyetleri birimi Euro/gün'dür.

*Çamur arıtım maliyetinin toplam sistem işletme maliyetinin %30'unu oluşturduğu kabulü yapılmıştır.

*Bu tesisler için P gideriminden kaynaklanan çamur miktarının yaklaşık %35'i biyolojik %65'i kimyasal çamurdur.

Biyolojik fosfor giderim prosesleri kompleks bir fizyolojiye sahiptir. Bu sebeple yıllardır yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda tutarlı sonuçlar elde edilememiştir. Her bir tesis için ortam şartları farklılık göstermekle birlikte işletme süresi ilerledikçe fosfor giderme prosesleri kendi içinde ayrı bir sistem oluşturmaktadır. Bu tez kapsamında incelenen tesislerde farklı prosesler için farklı verimler elde edildiği görülmektedir. En verimli prosesi bulmak adına kati sonuçlar elde edilememiş olsa da fosforun giderilmesinin önünde engel teşkil eden ana faktörler belirlenmiştir. Bu faktörlerin bilinmesinin ileride Bakanlığımızca atıksu arıtma tesisi projelerinin verimli bir şekilde değerlendirilmesinde faydalı olacağı öngörülmektedir.

Bakanlığımız 2010 verilerine göre Ülkemizde nüfusu 10.000'den büyük olan ve hassas alanda olduğu düşünülen belediyelerin toplam nüfusu 17.340.798 kişi olup, bu değer tüm alanlarda nüfusu 10.000'den büyük toplam nüfusun %34'nü oluşturmaktadır. Bundan sonraki yıllarda bu kadar yüksek bir nüfusun atıksularının ileri arıtılması söz konusu olabileceğinden bu tez kapsamında yapılan incelemelerin ve çıktıların yapılacak çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] AB Entegre Çevre Uyum Stratejisi Dokümanı, (2007 -2023) (UÇES), 2006. Çevre ve Orman Bakanlığı.
- [2] Abu-ghararah, Z., Randall, C. W., 1989. Research Journal WPCF, 61, 1729-1730.
- [3] Abu-ghararah, Z., & Randall, C.W., 1991. The Effect Of Organic Compounds On Biological Phosphorus Removal. Water Science and Technology, 23, 585–594.
- [4] Applied Microbial Biotech Journal, 1997.
- [5] Artan, N., Taşlı, R., Özgür, N., & Orhon, D., 1997. The Fate of Phosphorus Under Anoxic Conditions in Biological Nutrient Removal Activated Sludge Systems. Biotechnology Letters, 20, 11, 1085–1090.
- [6] Atıksu Arıtımı Eylem Planı, 2008. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [7] Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (20.03.2010 Tarih ve 27527 Sayılı)
- [8] Ayar, E., 2009. Bentonit Kili Kullanılarak Su Ortamından Fosforun Adsorbsiyon İle Giderimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- [9] Ayaz S., Akça L., Güneş K., Baban A., 2007. Evsel Atıksuların Biyolojik Olarak Arıtma Bahçesinde Arıtılması ile Suların Tekrar Kullanılır Hale Getirilmesi-Şile Oruçoğlu Köyünde Uygulama, TÜBİTAK- Kimya ve Çevre Enstitüsü(KÇE), Teknik Rapor.
- [10] Barnard, 1984. Activated Primary Tanks For Phosphate Removal.

- [11] Bölükbaş, Ö., 2002. Determination of Nitrogen and Phosphorus Removal of Izmir Municipal Wastewater Treatment Plant By Batch Tests. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- [12] Brix H., Arias C.A. ve Del Bubba M., 2000. Nutrient Removal Mechanisms İnconstructed Wetlands, Water Science and Technology, 44, 47-54.
- [13] Buchan, L., 1983. Possible Biological Mechanism Of Phosphorus Removal. Water Science and Technology, 15, 87–103.
- [14] Carlson, R.E., & Simpson, J, 1996. A Coordinator’s Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. North American Lake Management Society.
- [15] Chang C.H., Hao O.J., 1996. Sequencing Batch Reactor System for Nutrient Removal: ORP and pH Profiles. J Chem Technol Biotechnol 1996; 67:27–38
- [16] Comeau, Y., Hall, K.J., Hancock, R.E.W., & Oldham, W.K., 1986. Biochemical Model For Enhanced Biological Phosphorus Removal. Wat. Res. Vol.20, No.12, 1511–1521.
- [17] Comeau, Y., Hall, K.J., Oldham, W.K., Rabionwitz, B., 1987. Phosphate Release and Uptake in Enhanced Biological Phosphorus Removal from Wastewater, JWPCF, Vol. 59, No. 7, 707–715.
- [18] Cooke, J. G., L. Stub and N. Mora. 1992. Fractionation of Phosphorus in The Sediment of A Wetland After A Decade Of Receiving Sewage Effluent. J.Environ. Qual., 21, 726-732.
- [19] Daigger, G.T., Randall, C.W., Waltrip, G.D., Romm, E.D., & Morales, L.M., 1987. Factors Affecting Biological Phosphorus Removal For A University Of Cape Town Type Process Applied in A High Rate Mode. Proceeding, IAWPRC International Specialized Conference, Biological Phosphorus Removal From

Wastewater, Rome, Italy, September 28–30, 177–184 in Biological Phosphorus Removal From Wastewater. R. Ramadori, Editor. Pergamon Press.

[20] Dağılı, S., 2006. Evsel Atıksulardan Yapay Sulak Alan Sistemleri ile Fosfor Gideriminin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

[21] Davies T.H.ve Cottingham P.D.,1993. Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Lewis Publishers, Newyork.

[22] Uludag-Demirer, S., Othman, M., 2009. Removal Of Ammonium And Phosphate From The Supernatant Of Anaerobically Digested Waste Activated Sludge By Chemical Precipitation. Bioresource Technology 100 (2009) 3236–3244.

[23] Düşük Masraflı Arıtma Teknolojilerinin Türkiye Şartlarına Göre Geliştirilmesi Ve Marmara Bölgesi İçin Örnek Uygulama Projesi 7. Proje Gelişme Raporu, 2009. Çevre ve Orman Bakanlığı.

[24] Ekama, G.A., Siebritz, I.P., & Marais, G. R., 1983. Considerations in The Process Design Of Nutrient Removal Activated Sludge Processes. Water Science and Technology, 15, 283–318.

[25] Ekama, G.A, Marais, G. v. R, & Siebritz, I.P., 1984. Biological Excess Phosphorus Removal Chapter 7 in Theory, Design and Operation of Nutrient Removal Activated Sludge Processes, Water Research Commission, Pretoria, South Africa, 1-32.

[26] Fuhs, G.W., Chen, M., 1975. Microbiological Basis Of Phosphate Removal in The Activated Sludge Process For The Treatment Of Wastewater. Micro Biol. Ecol., 2, 119 - 138.

[27] Gerber, A., Villiers De, R.H., Mostert, E.S., & Van Riet, C.J.J., 1987. The Phenomenon of Simultaneous Phosphate Uptake and Release, and Its Importance in

Ramadori, ed., Biological Nutrient Removal, in Advances in Water Pollution Control 4: Biological Phosphate Removal Wastewaters, 123-134, Oxford, England: Pergamon Press.

[28] Grady, C.P.L., & G.T. Daigger., 1993. Biological Wastewater Treatment: Theory And Applications (Draft). New York: Marcel Dekker, Inc.

[29] Gray, N.F., 1989. Biology of Wastewater Treatment, Oxford Univ. Press, USA.398–399.

[30] Groenestijn, J.W., & Deinema, M.H., 1985. Effects of Cultural Conditions on Phosphate Accumulation and Release by Acinetobacter strain 210A. Proceedings of the International Conference, Management Strategies for Phosphorus in the Environment, Lisbon, Portugal, July 1-4, 1985.

[31] Guo, C., Stabnikov, V., Kuang, S., Ivanov, V., 2009. The Removal Of Phosphate From Wastewater Using Anoxic Reduction Of Iron Ore in The Rotating Reactor. Biochemical Engineering Journal 46 (2009) 223–226

[32] Gürtekin, E., 2005. Anaerobik/Anoksik Ardışık Kesikli Reaktörde Biyolojik Fosfor Giderimi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Elazığ.

[33] Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği (27.06.2009 tarih ve 27271 sayılı)

[34] Henze, M., 1992. Characterization of Wastewater for Modeling of Activated Sludge Process, Wat. Sci. Tech., Vol. 25, No. 6, 1.

[35] Herkowitz, J. 1986. Listowel Artificial Marsh Project Report, Ontario Ministry of the Environment, Water Resources Branch, Toronto, Canada.

- [36] Hernandez, J.P., Bashan, L., Bashan, Y., 2005. Starvation Enhances Phosphorus Removal From Wastewater By The Microalga *Chlorella* Spp. Co-Immobilized With *Azospirillum* *Brasilense*. *Enzyme and Microbial Technology* (2006) 38, 190–198
- [37] Heymann, J.B., 1985. The Biochemistry Of Enhanced Phosphorus Removal By Activated Sludge. *Water Science and Technology*, 17, 303-304.
- [38] Horan, N.J., 1991. *Biological Wastewater Treatment Systems: Theory and Operation*. John Wiley & Sons Ltd. England. 230–223.
- [39] Hosni, K., Moussa, S.B., Chachi, A., Amor, M. B., 2007. The Removal of PO_4^{3-} By Calcium Hydroxide From Synthetic Wastewater: Optimisation of The Operating Conditions. *Desalination* 223 (2008), 337–343.
- [40] İrdemez, Ş., Demircioğlu, N., Yıldız, Y. Ş., 2006. The Effects Of Ph On Phosphate Removal From Wastewater By Electrocoagulation With Iron Plate Electrodes . *Journal of Hazardous Materials B137* (2006), 1231–1235.
- [41] İrdemez, Ş., Demircioğlu, N., Yıldız, Y. Ş., Bingül, Z., 2006. The Effects Of Current Density and Phosphate Concentration on Phosphate Removal From Wastewater By Electrocoagulation Using Aluminum and Iron Plate Electrodes . *Separation and Purification Technology* 52 (2006), 218–223.
- [42] Kadlec, R.H., ve Knight, L.R.,1996. *Treatment Wetlands*, CRC.Press. The University of Michigan, Ann Arbor and Wetland Manegement Services Chelsa, Michigan.
- [43] Karapınar, N., 2003. Atık Su Arıtımında Manyetik Ayırma Yöntemi; Manyetik Aşılama Tekniği Kullanılarak Fosfatın Atık Sulardan Uzaklaştırılması. *Madencilik*, Cilt 42, Sayı 2, 19-26.
- [44] Kargı, F.,1998. *Çevre Mühendisliğinde Biyoprosesler*.(3.Basım). Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fakültesi Basımı. İzmir.

- [45] Kargı, F., Uygur, A., 2002. Nutrient Removal Performance of A Five-step Sequencing Batch Reactor as A Function of Wastewater Composition Process. Elsevier, Biochemistry, (2002), 1-7.
- [46] Kawaharasaki, M., & Nakamura, K., 1995. Some Factors Which Affect The Phosphorus Uptake of A Phosphorus Accumulating Bacterium, Strain NM-1. Journal of Fermentation and Bioengineering, 79, 2, 190-192.
- [47] Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı)
- [48] Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi (91/271/EEC)
- [49] Kuba, T., Smolders, G., Van Loosdrecht, M.C.M., & Heijen, J.J., 1993. Biological Phosphorus Removal from Wastewater by Anaerobic-Anoxic Sequencing Batch Reactor, Wat.Sci.Tech., 27, 5-6, 241-252.
- [50] Kuba, T., Wachtmeister, A., Van Loosdrecht, M.C.M., & Heijen, J.J., 1994. Effect of Nitrate on Phosphorus Release in Biological Phosphorus Removal Systems. Wat.Sci.Tech., 30, 6, 213-219.
- [51] Li, J., Xing, X., Wang, B., 2003. Characteristics of Phosphorus Removal From Wastewater By Biofilm Sequencing Batch Reactor (SBR). Biochemical Engineering Journal 16, 279–285.
- [52] Li, C., Ma, J., Shen, J., Wang, P., 2008. Removal of Phosphate from Secondary Effluent with Fe^{2+} Enhanced by H_2O_2 at Nature pH/neutral pH. Journal of Hazardous Materials 166 (2009), 891–896
- [53] Liu, Y., Chen, Y., Zhou, Q., 2006. Effect of Initial pH Control on Enhanced Biological Phosphorus Removal From Wastewater Containing Acetic and Propionic Acids. Chemosphere 66 (2007) syf.123–129

- [54] Lötter, L.H. & Murphy, M., 1985. The Identification of Heterotrophic Bacteria in an Activated Sludge Plant with Particular Reference to Polyphosphate Accumulation. *Water SA* 11(4), 179-184.
- [55] Mamais, D., & Jenkins, D., 1992. The Effects of MCRT and Temperature on Enhanced Biological Phosphorus Removal. *Water Sci. Tech.*, 26:4/5, 955.
- [56] Masscheleyn, P. H., J. H. Pardue, R. D. DeLaune, and W. H. Patrick, Jr. 1992. Phosphorus Release and Assimilatory Capacity Of Two Lower Mississippi Valley Freshwater Wetland Soils, *Wat. Res. Bul.*, 28, 763-773.
- [55] Mazlum, S., 1995. Atıksulardaki Fosforun Biyolojik Olarak Giderilmesi. I. Ulusal Çevre Ve İnşaat Sempozyumu Kitapçığı, 500–509, İzmir.
- [57] Meinhold, J., Filipe, C.D.M., Daigger, G.T., Isaacs, S., 1998. Characterization of the Denitrifying Fraction of Phosphate Accumulating Organisms in Biological Phosphate.
- [58] Metcalf & Eddy, 2004. *Wastewater Engineering (Treatment and Reuse)*. (4th International ed.). Singapore: McGraw-Hill Inc.
- [59] Meuleman, A.F.M., Logtestijn R., Rijs, G.B.J., Verhoeven, J.T.A, 2003. Water and Mass Budgets of A Vertical-Flow Constructed Wetland Used For Wastewater Treatment, *Ecol. Eng.*, 20, 31-44.
- [60] Mitsch, W.J., Cronck, J.K., Wu, X., Nairn, R.W., Hey, D.L., 1995. Phosphorus Retention In Constructed Freshwater Riparian Marshes, *Ecol. Appl.*, 5, 830-845.
- [61] Morse, G.K., Lester, J.N., Perris, R., 1993. The Economic and Environmental Impact of Phosphorus From Wastewater in The European Community. Environmental Engineering Laboratory. Imperial College Of Science, Technology and Medicine. London SW7 2BU. Semper Publications, London.

- [62] Nakamura, K., Hiraishi, A., Yoshimi, Y., Kawaharasaki, M., Masuda, K., and Kamagata, Y., 1995. *Microlunatus Phosphovorus* Gen. Nov., Sp. Nov., A New Gram-Positive Polyphosphate-Accumulating Bacterium Isolated From Activated Sludge. *International Journal of Systematic Bacteriology*.
- [63] Okada, M., Lin, C.K., Murakami, A., Ueno, Y., & Okubo, T., 1991. Population Dynamics Of Bacteria For Phosphorus Removal in Sequencing Batch Reactor (SBR) Activated Sludge Processes. *Water Science and Technology*, 23, 755–763.
- [64] Orhon, D., Sözen, S., Üstün, B., Görgün, E., 2002. Su Yönetimi Ve Sürdürülebilir Kalkınma.Vizyon 2023: Bilim Ve Teknoloji Stratejileri Teknoloji Öngörü Projesi Çevre Ve Sürdürülebilir Kalkınma Paneli
- [65] Önel, F., Uslu, O., 2003. Phosphorus Removal From Municipal Wastewaters. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- [66] Pakdil, N. B., Filibeli, A., 2007. Kentsel Nitelikli Arıtma Çamurundan Fosfor Geri Kazanılması İçin Örnek Bir Çalışma. 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi: Yaşam Çevre Teknoloji, İzmir.
- [67] Picard C.R., Fraser L.H., Steer D., 2005. The Interacting Effects Of Temperature and Plant Community Type On Nutrient Removal In Wetland Microcosms, *Bioresource Tech.*, 96, 1039-1047.
- [68] Potgieter, D.J.J., Evans, B.W., 1983. Biochemical Changes Associated with Luxury Phosphate Uptake in A Modified Phoredox Activated Sludge System. *Wat. Sci.Tech.*, Vol. 15, No. 3–4, 105–115.
- [69] Randall, C.W., Barnard, J.L., & Stensel, H.D., 1992. Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania.

[70] Raper, W.G.J., Bridger, J.S., Pilkington, N.H., 1993. Recent Advances in Biological Nutrient Removal-Prefermentation, Nitrate and Their Effects on P Removal, Paper presented at Two-Day Workshop on Design and Operational Experience of Treatment Plants for Nutrient Removal from Wastewater, Perugia, Italy, 28-29 June,1993.

[71] Reddy, M., 1991. The Concept of Phosphorus Storeage Capability and Its Implications for Design of Systems for Enhanced Biological Phosphorus Uptake of Phosphate. Wat. Sci. Tech.,Vol. 23, 577–584.

[72] Rensink, J.H., Donker, H.J.G.W, & De Vries, H.P. (1981). Biological P Removal in Domestic Wastewater by the Activated Sludge Process. Presented at 5th European Sewage and Refuse Symposium, Munich, West Germany, June 1981, Procs., 487-502.

[73] Rigler, F.H., 1973. A Dynamic View of The Phosphorus Cycle in Lakes. In: E.J. Griffith, A. Beeton, J.M. Spencer, and D.T. Mitchell (Eds), Environmental Phosphorus Handbook. John Wiley & Sons.

[74] Sakadevan, K., H.J.Bavor, 1998. Nutrient removal mechanisms in Constructed Wetlands, Wat.Res., 32, No:2, 393-399.

[75] Samsunlu, A., 2003. Arıtma Tesisleri Kurulması, İşletilmesi Ve Eleman Eğitimi,Ataköy Atıksu Arıtma Tesis Örneği. V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi.

[76] Sedlak, 1991. Phosphorus and Nitrogen Removal from Municipal Wastewater Principles and Practice. 2nd ed.

[77] Sell, R.L. et al.,1981. Low Temperature Biological Phosphorus Removal. Presented at the 54th Annual WPCF Conference, Detroit, Michigan, October 1981.

- [78] Schön, G., Geywitz, S., & Mertens, F., 1993. Influence of Dissolved Oxygen and Oxidation-Reduction Potential on Phosphate Release and Uptake by Activated Sludge from Sewage Plants with Enhanced Biological Phosphorus Removal. *Wat.Res.*, 27, 3, 349-354.
- [79] Shao, Y.J., Wada, F., Abkian, V., Crosse, J., Horenstein, B., & Jenkins, D., 1992. Effects of MCRT on Enhanced Biological Phosphorus Removal. *Water Science and Technology*, 26, 5-6, 967-976.
- [80] Shu, L., Schneider, P., Jegatheesan, V., Johnson, J., 2005. An Economic Evaluation of Phosphorus Recovery As Struvite From Digester Supernatant . *Bioresource Technology* 97, 2211-2216
- [81] Soares, A., Kampas, P., Maillard, S., Wood, E., Brigg, C., Tillotson, M., Parsons, S. A., Cartmell, E., 2009. Comparison Between Disintegrated and Fermented Sewage Sludge For Production of A Carbon Source Suitable For Biological Nutrient Removal *Journal of Hazardous Materials* (2009).
- [82] Sözen, S., Orhon, D., Çokgör, E. U., İnsel, G., Karahan, Ö., Yağcı, N., Doğruel, S., Balcı, G., Hancı, T. Ö., Taş, D. O., Dülekürge, E., Çığgı, A. S., Pala, İ., Katipoğlu, T., 2009. İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde Model Bazlı Proses Optimizasyonu. *İtühergisi/E Su Kirlenmesi Kontrolü Cilt:19, Sayı:1-2, syf. 101-110*
- [83] Starkenburg, W. Van., Rensink, J.H., & Rus, G.B.J., 1993. Biological P-Removal: State of the Art in the Netherlands. *Water Sci. Technol.*, 27(5-6), 317-323.
- [84] Steer D., Fraser L., Seibert B., 2005. Cell-To-Cell Pollution Reduction Effectiveness of Subsurface Domestic Treatment Wetlands, *Bioresource Tech.*, 96, 969-976.
- [85] Stumm W. ve Morgan, J.J., 1981. *Aquatic Chemistry*, John Wiley&Sons, New York.

[86] Su Çerçeve Direktifi (2000/60/EC)

[87] Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (31.12.2004 Tarih ve 25687 Sayılı)

[88] Tracy, K.D., & Flammino, A., 1985. Kinetics of Biological Phosphorus Removal. Presented at the 58th Annual Water Pollution Control Federation Conference, Kansas City, Missouri, October 1985.

[89] Tunçal, T., Pala, A., Uslu, O., 2008. Biyolojik Aşırı Fosfor Giderimi Temel Özelliklerinin İzmir Atıksu Arıtma Tesisi'nde Araştırılması. İtÜdergisi/E Su Kirlenmesi Kontrolü Cilt:18, Sayı:1, syf. 17–31.

[90] Türkiye’de 15 Belediye için Atıksu Arıtma Tesisi Hazırlanmasına Yönelik Teknik Yardım” Projesi, 2009. Fizibilite ve Dizayn Raporları. Çevre ve Orman Bakanlığı.

[91] U.S. EPA., 1987. Phosphorus Removal.EPA/625/1-87/001. Center for Environmental Research Information Cincinnati OH 45268,USA.

[92] Vohla, C., Koiv, M., Bavor, H. J., Chazarenc, F., Mander, Ü., 2009. Filter Materials For Phosphorus Removal From Wastewater in Treatmentwetlands. Ecological Engineering (2009)

[93] Wang, X.J., Xia, S.Q., Chen, L., Zhao, J.F., Renault, N.J., Chovelon, J.M., 2005. Nutrients Removal From Municipal Wastewater By Chemical Precipitation in A Moving Bed Biofilm Reactor. Process Biochemistry 41 (2006), 824–828.

[94] Wedi, D., 1992, Effects of an Activated Primary Settling Tank on Biological Phosphorus Removal, Wat. Sci. Tech., Vol. 26, No. 9–11, 2199–2202.

[95] Wei, X., Viadero, R. C., Bhojappa, S., 2008. Phosphorus Removal By Acid Mine Drainage Sludge From Secondary Effluents of Municipal Wastewater Treatment Plants. Water Research 42 (2008), 3275 – 3284.

[96] Wentzel, M.C., Lötter, L.H, Loewenthal, R.E., Marais, G.v.R., 1986. Metabolic Behaviour of *Acinetobacter* spp. In Enhanced Biological Phosphorus Removal-A Biochemical Model. Water SA. Vol. 12, No. 4, 209–224.

[97] Wentzel, M.C., Loewenthal, R.E., Ekama, G.A., Marais, G.v.R., 1988. Enhanced Polyphosphate Organism Cultures in Activated Sludge Systems-Part I: Enhanced Culture Development, Water SA, Vol. 14, No. 2, 81–92.

[98] www.tuik.gov.tr

[99] www.eea.europa.eu/tr

[100] Yiğit, N. Ö., 2003. Biyolojik Arıtma Süreçlerinde Fosforun Geri Kazanımı. Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.

[101] Yuan, Q., Sparling, R., Oleszkiewicz, J.A., Waste Activated Sludge Fermentation: Effect Of Solids Retention Time And Biomass Concentration. Water Research 43 (2009), 5180 – 5186.

[102] Zhou, Y., Xing, X., Zehua, L., Cui, L., Yu, A., Feng, Q., Yang, H., 2008. Enhanced Coagulation Of Ferric Chloride Aided By Tannic Acid For Phosphorus Removal From Wastewater. Chemosphere 72 (2008), 290–298.

ÖZGEÇMİŞ

ADI SOYADI : Filiz DOĞAN
DOĞUM TARİHİ VE YERİ : İZMİR – 20.12.1979
MEDENİ HALİ : Evli
LİSAN DURUMU/DERECESİ: İngilizce (KPDS 77)

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : Süleyman Demirel Üniv.- Müh. Mim. Fakültesi
Çevre Müh. Böl.
Yüksek Lisans : Dokuz Eylül Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Teknolojileri Programı

İŞ DENEYİMİ:

- * ÇEVRE VE ORMAN BAKANLIĞI Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Su ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı Arıtma Teknolojileri Şube Müdürlüğü (15.01.2007-.....)
- * KISIKKÖY SANAYİ SİTESİ Atıksu Altyapı Tesisleri Yönetim Mühendisi (12.10.05-30.01.01.2007)
- * İLKURŞUN İLKÖĞRETİM OKULU İngilizce Öğretmenliği (03.10.04 – 15.06.05)
- * GEDİK Sondaj Müşavirlik Mühendislik İnşaat San. Tic. Ltd. Şti. Atıksu Arıtma Tesisi Uygulama Projesi Tasarımı (07.01.04–07.08.04)
- * TEKSER - VA TECH WABAG KONSORSİYUMU VE İZSU GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, Farklı Difüzör Tiplerinin Verimliliğinin Test Edilmesi Konulu Ortak Çalışma, Proje Elemanı, İzmir Kentsel Biyolojik Arıtma Tesisi (01.10.02 – 31.05.03)