T.C.
ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK
BAKANLIĞI

TÜBİTAK
MAM

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU
MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ
ÇEVRE VE TEMİZ ÜRETİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ VERİMLİ VE ENERJİ POZİTİF ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ

5178602

(ÇTÜE.17.384)

NİHAİ RAPOR

CİLT 1

PROJE SAHİBİ KURUM: ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI
ÇEVRE YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Haziran 2018

GEBZE, KOCAELİ

ENERJİ VERİMLİ VE ENERJİ POZİTİF ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ

NİHAİ RAPOR
CİLT 1

5178602
(ÇTÜE.17.384)

Gebze, KOCAELİ
HAZİRAN, 2018

ENERJİ VERİMLİ VE ENERJİ POZİTİF ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ

NİHAİ RAPOR
CİLT 1

5178602

(ÇTÜE.17.384)

Dr. Selda MURAT HOCAOĞLU

Proje Yürütücüsü

		Dr. Selda MURAT HOCAOĞLU	Y. Müh. Namık ÜNLÜ			
00	14.11.2017	Y. Müh. Recep PARTAL	Y. Müh. Mehtap DURSUN	Y. Müh. İrfan BAŞTÜRK	Doç. Dr. Haldun KARAN Ens. Md. Yrd.	Dr. Selma AYAZ Ens. Müdürü
Güncel	**Tarih**	**Hazırlayanlar**			**Kontrol Eden**	**Onaylayan**

Gebze, KOCAELİ

HAZİRAN, 2018

HAZIRLAYANLAR

TÜBİTAK MAM

Soyadı	Çalıştığı Birim	E-Posta Adresi	Projedeki Sorumluluğu
Dr. Selda MURAT HOCAOĞLU	ÇTÜE	selda.murat@tubitak.gov.tr	Proje Yürütücüsü
Dr. Nur FINDIK ÇINAR	ÇTÜE	nur.findik@tubitak.gov.tr	Proje Yürütücüsü Yrd.
Recep PARTAL	ÇTÜE	recep.partal@tubitak.gov.tr	Proje Yürütücüsü Yrd.
Mehtap DURSUN	ÇTÜE	mehtap.dursun@tubitak.gov.tr	Araştırmacı
İrfan BAŞTÜRK	ÇTÜE	irfan.basturk@tubitak.gov.tr	Uzman Araştırmacı
Dr. Şebnem KOYUNLUOĞLU AYNUR	ÇTÜE	sebnem.aynur@tubitak.gov.tr	Başuzman Araştırmacı
Dr. Cihangir AYDÖNER	ÇTÜE	cihangir.aydoner@tubitak.gov.tr	Başuzman Araştırmacı
Pamir TALAZAN	ÇTÜE	pamir.talazan@tubitak.gov.tr	Uzman Yardımcısı
Namık ÜNLÜ	EE	namik.unlu@tubitak.gov.tr	Başuzman Araştırmacı
Aslı SAYAR	EE	asli.sayar@tubitak.gov.tr	Başuzman Araştırmacı
Berrin ENGİN	EE	berrin.engin@tubitak.gov.tr	Başuzman Araştırmacı
Kader ÖZGÜR BÜYÜKSAKALLI	EE	kader.ozgur@tubitak.gov.tr	Araştırmacı
Fatih AYNACI	EE	fatih.aynaci@tubitak.gov.tr	Araştırmacı
Özgür GÜRSANLI	EE	ozgur.gursanli@tubitak.gov.tr	Uzman Araştırmacı
Dr. Özgür KARACASU	EE	ozgur.karacasu@tubitak.gov.tr	Başuzman Araştırmacı
YARDIMCI ELEMANLAR			
Sedat ÇELİK	ÇTÜE	sedat.celik@tubitak.gov.tr	Başteknisyen
İlker BAKIR	ÇTÜE	ilker.bakir@tubitak.gov.tr	Uzman Teknisyen
Coşkun DUMAN	ÇTÜE	coskun.duman@tubitak.gov.tr	Uzman Teknisyen

ÇTÜE : Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü
EE : Enerji Enstitüsü

T.C. ÇEVRE ve ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI ÇEVRE YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Muhammet ECEL	ÇŞB	muhammet.ecel@cb.gov.tr	Genel Müdür
Recep AKDENİZ	ÇŞB	recep.akdeniz@csb.gov.tr	Genel Müdür Yrd.
Su ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı			
Ercan GÜLAY	ÇŞB	ercan.gulay@csb.gov.tr	Daire Başkanı
Elif ÖZCAN	ÇŞB	elif.ozcan@csb.gov.tr	Şube Müdürü
Lütfiye DUMLU YILDIRIM	ÇŞB	lutfiye.dumlu@csb.gov.tr	Çevre ve Şehircilik Uzmanı
Çiğdem BUDAK	ÇŞB	cigdem.budak@csb.gov.tr	Çevre ve Şehircilik Uzmanı
Yılmaz ŞENGÜL	ÇŞB	yilmaz.sengul@csb.gov.tr	Çevre Mühendisi

Engin AYAR	ÇŞB	engin.ayar@csb.gov.tr	Çevre Mühendisi
M.Barış PEKCAN	ÇŞB	mbpekcan@csb.gov.tr	Çevre Mühendisi
Tuğba İMRE ŞAHİN	ÇŞB	tugba.sahin@csb.gov.tr	Çevre Mühendisi

DESTEK VERENLER

DANIŞMANLIK/HİZMET ALIMI		
Prof. Dr. Barış ÇALLI	Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü	Atıksuların Arıtımı ve Yönetimi
Yrd. Doç. Dr. Neslihan SEMERCİ		

- Proje kapsamında üretilen her türlü veri, rapor ve benzeri bilgi ve belgenin bütün hakları saklıdır. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan yazılı izin alınmadan kısmen veya tamamen alıntı yapılamaz, hiçbir şekilde kopya edilemez, çoğaltılamaz ve yayımlanamaz.
- Bu raporlardaki verilere uyulmaksızın üretilecek ürünlerden TÜBİTAK MAM sorumlu değildir. Bu rapor kurumdan izin alınmadan reklam amaçlı kullanılamaz.

Yazışma Adresi:
P.K. 21 41470 Gebze KOCAELİ
T 0 262 677 20 00 F 0 262 641 23 09
http://www.mam.gov.tr

İÇİNDEKİLER

1 ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİ 16

2 ENERJİ VERİMLİ ATIKSU ARITMA 34

2.1 AB Prosesi 36

2.2 Organik Maddenin Atıksudan Ayrılıp Geri Kazanımı 39

2.2.1 Birincil Çamur Miktarının Arttırılmasına Yönelik Ön Arıtma Prosesleri 39

2.2.2 Yüksek Hızlı Aktif Çamur Sistemleri İle Karbonun Ayrılması (A Prosesi) 41

2.2.3 Anaerobik Arıtma (Yukarı Akışlı Çamur Yataklı Anaerobik Reaktör/UASB, Anaerobik Membrane Biyoreaktör/AnMBR) 42

2.2.4 Atıksuların Membranla Konsantre Edildikten Sonra Anaerobik Olarak Arıtılması .. 46

3 ENERJİ VERİMLİ ATIKSU ARITIMINDA NUTRİENT GİDERİMİ 48

3.1 Konvansiyonel Nitrifikasyon- Denitrifikasyon 48

3.2 Aktif Çamur Sistemlerinin Düşük Oksijen Konsantrasyonlarında İşletilmesi - Eş Zamanlı Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon (SND) 52

3.3 Diğer Besin Maddesi Giderim Prosesleri 78

3.3.1 Nitritasyon ve Denitritasyon 78

3.3.2 Nitritasyon ve Anammox 86

3.3.3 Atıksulardan Besin Maddesi Giderimi İçin Mikroalglerin Kullanımı 95

3.4 Yenilikçi Atıksu Arıtma Proseslerine ve Enerji Verimli AAT'lere Geçişte Dikkat Edilecek Hususlar 107

3.5 Enerji Verimli Atıksu Arıtımında Ulusal ve Uluslararası Uygulama Örnekleri 108

4 LABORATUVAR ÖLÇEKLİ DÜŞÜK OKSİJEN KONSANTRASYONUNDA BESİ MADDESİ GİDERİMİ ÇALIŞMALARI 131

4.1 Membran Biyoreaktör (MBR) İle Düşük Oksijen Konsantrasyonlarında Eş Zamanlı Nütrient Giderimi 132

4.1.1 Materyal ve Yöntem 136

4.1.2 Arıtılabilirlik Çalışması Sonuçları 138

4.2 Aktif Çamur Sistemi İle Düşük Oksijen Konsantrasyonlarında Eş Zamanlı Nütrient Giderimi 148

4.2.1 Materyal ve Yöntem 150

4.2.2 Arıtılabilirlik Çalışması Sonuçları 152

5 ENERJİ VERİMLİ ATIKSU ARITMA ALTERNATİFLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI 164

5.1 Mevcut ve Yeni Kurulacak AAT'lerde Biyolojik Besin Giderimi Kaynaklı Enerji Tüketiminin Hesaplanması (BNR ve SND Karşılaştırılması) 168

5.2 Yeni Kurulacak AAT'lerde Biyolojik Besin Giderimi Kaynaklı Enerji Tüketiminin Hesaplanması (YHAÇ, PNA/A Sistemleri Karşılaştırılması) 175

5.3 Ön Çöktürme Çamuru ve Fazla Aktif Çamurdan Elde Edilen Biyogaz İle Üretilen Enerjinin Hesaplanması 179

5.4 Farklı Atıksu Arıtma Konfigürasyolarına Ait Enerji Dengeleri ve Arıtma Hacimlerinin Karşılaştırılması 181

5.5 Pilot Tesis Kavramsal Tasarımı 186

5.5.1 Kimyasal ile zenginleştirilmiş ön çöktürme tankı 186

5.5.2 Eş Zamanlı Nitrifikasyon denitrifikasyon 187

5.5.3 Son Çöktürme Tankı 190

6 AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİNİN DÜŞÜK OKSİJEN KONSANTRASYONLARINDA İŞLETİLMESİNİN ÜLKEMİZ KOŞULLARINDA UYGULANABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ 191

6.1 Evsel Atıksu Arıtımının Türkiye'deki Durumu 191

6.1.1 Mevcut Biyolojik Arıtma Sistemlerimizde Kapasite Kullanımı 193

6.2 Kentsel Atıksu Karakterizasyonu Açısından Ülkemizdeki Durum 193

6.3 Proje Kapsamında Düzenlenen Atıksu Arıtma Tesislerinde Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimli Yenilikçi Prosesler Çalıştayı Değerlendirmeleri 199

7 SONUÇ ve DEĞERLENDİRME 204

8 KAYNAKLAR 210

EK-1: ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ VE ENERJİ VERİMLİ YENİLİKÇİ PROSESLER ÇALIŞTAYI 221

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1 Bir ileri AAT'e üniteler bazında elektrik enerjisi tüketiminin dağılımı 17
Tablo 1.2 Dünyada bazı tipik AAT'lerin çeşitli yöntemlerle sağladığı enerji verimliliği oranları 22
Tablo 1.3 Enerji verimliliği sağlanabilecek muhtemel önlemler, tasarruf oranları, ilave yatırım maliyetleri ve geri ödeme süreleri 23
Tablo 3.1 SND için çamur yaşı ihtiyaçları 56
Tablo 3.2 Farklı ÇO konsantrasyonlarında MBR SND verimleri 67
Tablo 3.3 Düşük oksijen konsantrasyonlarında eş zamanlı nütrient giderimi yapılan pilot ölçekli çalışmalara ait bilgiler..... 70
Tablo 3.4 Düşük oksijen konsantrasyonlarında eş zamanlı nütrient giderimi yapılan laboratuvar ölçekli çalışmalara ait bilgiler 72
Tablo 3.5 Düşük oksijen konsantrasyonlarında eş zamanlı nütrient giderimi yapılan gerçek ölçekli çalışmalara ait bilgiler 74
Tablo 3.6 SND prosesinin avantaj ve dezavantajları 76
Tablo 3.7 Farklı tekniklerin karşılaştırılması 80
Tablo 3.8 Laboratuvar, pilot ve tam ölçekli kısmi nitrifikasyon/Anammox çalışmaları 90
Tablo 3.9 Farklı atıksu kaynaklarında farklı türde mikroalglerin nütrient giderim verimleri 99
Tablo 3.10 Çalışma ait performans bilgileri 110
Tablo 3.11: Farklı ülkelerde AAT'lerde enerji sarfiyatı 114
Tablo 4.1 MBR reaktörleri için işletim şartları..... 137
Tablo 4.2 İşletim süresince MBR'da günler bazında ortalama ÇO konsantrasyonları 139
Tablo 4.3 Sonuçların literatür çerçevesinde karşılaştırılması 146
Tablo 4.4 Aktif çamur reaktörü için işletim şartları..... 149
Tablo 4.5 Aktif çamur reaktörü için işletim şartları..... 151
Tablo 4.6 Laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlar- özet tablo 161
Tablo 5.1 Enerji sarfiyatı hesaplamalarında kullanılan tesis giriş ve çıkış değerleri 167
Tablo 5.2 BOİ arıtımı ve nitrifikasyon için aktif çamur tasarımı kinetik katsayıları (20°C 'de)..... 168
Tablo 5.3 Konvansiyonel BNR ve SND Proseslerinde Oluşan Fazla Çamur Miktarı..... 170
Tablo 5.4 Konvansiyonel BNR ve SND'de havalandırma ve içsel geri devir için enerji sarfiyatı 174
Tablo 5.5 Enerji Verimli Yenilikçi Atıksu Arıtma Tesislerinde oluşan fazla çamur miktarı..... 176
Tablo 5.6 Enerji Verimli Yeni Atıksu Arıtma Tesislerinde havalandırma için tüketilen enerji..... 178
Tablo 5.7 Biyogaz üretimi ve enerji eldesi hesaplarında kullanılan değerler 180
Tablo 5.8 Biyogazdan kojenerasyon ile üretilen elektrik enerjisi..... 181
Tablo 5.9: Mevcut ve yeni 5 farklı AAT konfigürasyonu için hesaplanan enerji dengesi..... 182
Tablo 5.10 Pilot tesis hesaplamalarında kullanılan tesis giriş ve çıkış değerleri 186
Tablo 5.11 Ön çöktürme tankı çıkış değerleri 187
Tablo 6.1 Evsel atıksuya ait tipik değerler 195

Tablo 6.2 Çeşitli ülkelere ait evsel atıksu karakterizasyon değerleri 196
Tablo 6.3 Farklı ülkelerden çeşitli şehirlere ait evsel atıksu karakterizasyonu..... 197
Tablo 6.4 Ülkemizde kentsel atıksu karakterizasyonu 198

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Ulu Pandan WRP atıksu arıtma tesisinde arıtma proseslerine göre elektik enerjisi tüketimin dağılımı 17
Şekil 1.2 Tipik bir evsel AAT'de tüketilen enerjinin dağılımı 19
Şekil 1.3 Tesislerde arıtılan birim atıksu başına harcanan enerji 20
Şekil 1.4 Atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketimini azaltmaya yönelik yöntemler 31
Şekil 1.5 Enerji pozitif arıtma tesislerine geçişte yol haritası 33
Şekil 2.1 AB prosesine ait akım şeması 37
Şekil 2.2 Organik maddelerin bakteriler tarafından parçalanması 38
Şekil 2.3 Ön arıtma a) konvansiyonel ön çökeltme, b) kimyasalla zenginleştirilmiş ön çökeltme 41
Şekil 2.4 Yüksek hızlı aktif çamur sistemleri (A prosesi) 42
Şekil 2.5 Aerobik ve anaerobik proseslerde KOİ bazlı kütle akışı 44
Şekil 2.6 Enerji verimli atıksu arıtma tesislerinde etkin ön arıtma alternatifleri 46
Şekil 2.7 Membranla konsantre etme + anaerobik+besin maddesi giderimi 47
Şekil 3.1 Konvansiyonel nitrifikasyon denitrifikasyon 50
Şekil 3.2 Aktif çamur floğunda SND'nin şematik diyagramı 55
Şekil 3.3 SND'nin kavramsal şeması 57
Şekil 3.4 İşletim süresince farklı ÇO şartlarında TN ve NOx giderim verimleri 58
Şekil 3.5 Çalışma kapsamında değerlendirilen eski difüzörler ve yeni difüzörler 61
Şekil 3.6 Klasik/düzenli ÇO oksijen kontrolü (solda) ve kademeli (cascade) ÇO kontrolü (sağda) 62
Şekil 3.7 Düşük ÇO seviyelerinin nitrifikasyon bakterileri üzerine etkileri 63
Şekil 3.8 Farklı ÇO şartlarında, MBR'da azotlu bileşiklerin konsantrasyonları ve giderim verimleri 67
Şekil 3.9 Nitritasyon denitritasyon 78
Şekil 3.10. SHARON reaktörü 80
Şekil 3.11 2 aşamalı AAT akış diyagramı 82
Şekil 3.12 ANITA Çevrimleri 83
Şekil 3.13: PANDA prosesi 84
Şekil 3.14 Strass AAT proses akış diyagramı 84
Şekil 3.15 Ana tesis bileşenleri arasında KOİ dengesi 85
Şekil 3.16. Kısmi nitritasyon/ anammox (PN/AN) 87
Şekil 3.17: IFAS Anammox 89
Şekil 3.18 Atıksu arıtımında fotosentetik oksijenasyon ile bakteri-mikroalg konsorsiyumu 97
Şekil 3.19 Büyük ölçekli mikroalg bazlı atıksu arıtım tesisi projeleri 102
Şekil 3.20 Enerji verimli arıtma: mikroalglerle besin maddesi giderimi, ön arıtma olarak a) anaerobik arıtmanın, b) ön çöktürme veya kimyasal çöktürmenin uygulanması 106

Şekil 3.21 Çalışma kapsamında geliştirilen hibrit biyofilm reaktör sistemi akım şeması 110
Şekil 3.22 Çalışma kapsamında kurulan pilot tesise ait görüntüler 110
Şekil 3.23 IFAS prosesine ait akım şeması 111
Şekil 3.24 Arıtma tesisine yerleştirilen IFAS modülleri 112
Şekil 3.25 Çalışmada kullanılan pilot ölçekli arıtma tesisinin akış diyagramı 115
Şekil 3.26 Çalışmada kullanılan pilot ölçekli arıtma tesisinin (Q = 380 m^3/gün) fotoğrafı (soldan sağa doğru üniteler: mikro-elek, üçüncül filtre, biyo-filtre, birincil filtre) 115
Şekil 3.27 (a) Döner bant filtre mikro-elek (M2 Renewables, Inc.). (b) Mikro-eleğin fotoğrafı (c) Mikro-elekte kullanılan kumaş filtre (d) Burgulu presten çıkan susuzlaştırılmış çamur. 116
Şekil 3.28 Test hattında kullanılan havalandırma kontrol sistemi 119
Şekil 3.29 Süreç kurulumu ve on-line ölçümler (Line 1: Test hattı ve Line 2: Referans hat) 119
Şekil 3.30 Singapur'da iki kademeli (AB prosesi) biyolojik arıtma prensibi ile kurulan pilot ölçekli tesisin akış diyagramı 120
Şekil 3.31 Membran havalandırmalı biyofilm reaktörü 122
Şekil 3.32 Gelişmiş ön çöktürme ünitesini (LEAPprimary, GE Water & Process Technologies) ve membran havalandırmalı biyofilm reaktörden (ZeeLung MABR, GE Water & Process Technologies) oluşan AB prosesi esaslı pilot ölçekli AAT 123
Şekil 3.33 Gelişmiş anaerobik çamur çürütücü 124
Şekil 3.34 IWAMA projesi konsorsiyumu 125
Şekil 3.35 Powerstep projesi konsorsiyumu 128
Şekil 4.1 Laboratuvar ölçekli MBR sisteminin şematik gösterimi 133
Şekil 4.2 Lab Ölçek MBR sistemi fotoğrafları (solda su, sağda ise aktif çamurla dolu olarak görülmektedir) 133
Şekil 4.3 Düz tabaka Mikrofiltrasyon (MF) membran modülü 134
Şekil 4.4 İşletim süresince MBR reaktörlerindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonları 138
Şekil 4.5 İşletim süresince MBR reaktörlerindeki MLSS konsantrasyonları 140
Şekil 4.6 İşletim süresince MBR reaktörlerindeki KOİ konsantrasyonları 141
Şekil 4.7 İşletim süresince MBR reaktörlerindeki toplam azot-çözünmüş oksijen konsantrasyonları 142
Şekil 4.8 MBR'da siyah ve gri suda akının zamanla değişimi (tıkanma trendleri) 143
Şekil 4.9 Laboratuvar ölçekli aktif çamur sisteminin işletmeye alındıktan sonraki görünümü ve sistem elemanları 150
Şekil 4.10 İşletim süresince AÇ reaktöründeki çözünmüş oksijen konsantrasyonları 153
Şekil 4.11 İşletim süresince AÇ reaktöründeki KOİ konsantrasyonları 154
Şekil 4.12 İşletim süresince AÇ reaktöründeki toplam azot-çözünmüş oksijen konsantrasyonları 155
Şekil 4.13 İşletim süresince AÇ reaktöründeki azotlu bileşikler ve çözünmüş oksijen konsantrasyonları 156

Şekil 4.14 Aktif çamur son çöktürme tankından normal koşullarda savaklanan su (solda). Çöktürme problemi yaşanan ve son çöktürme havuzundan savaklanan su örneği (sağda) 156
Şekil 4.15 İşletim süresince nitrifikasyon ve denitrifikasyon verimleri 158
Şekil 4.16 İşletim süresince toplam azot giderim verimleri..... 159
Şekil 4.17 İşletim süresince toplam fosfor giderim verimleri 160
Şekil 4.18 ÇO oksijen değerinin a) yarı doygunluk sabiti ve b) arıtılmış toplam azot konsantrasyonuna etkisi 163
Şekil 5.1 Karşılaştırılan alternatif yenilikçi enerji verimli arıtma şemaları (a,b,c, d)..... 167
Şekil 5.2: Farklı atıksu arıtma konfigürasyonlarının a) enerji dengesi ve b) yıllık enerji maliyeti açısından karşılaştırılması..... 183
Şekil 5.3 Mevcut bir konvansiyonel BNR tesisindeki enerji üretimi ve tüketimi 184
Şekil 5.4 SND olarak işletilen mevcut BNR tesisindeki enerji üretimi ve tüketimi 184
Şekil 5.5: KZÖÇ ve peşinden eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT'deki enerji üretimi ve tüketimi 185
Şekil 5.6 Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden kısmi nitritasyon ve Anammox prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT'deki enerji üretimi ve tüketimi 185
Şekil 6.1. Teknolojiler arasındaki dağılım 192
Şekil 6.2 Ülke genelinde AAT dağılımı 192
Şekil 6.3 Ülkemizde kentsel atıksu karakterizasyonu, a) farklı tesislerde ortalama karakterizasyonun dağılımı b) ortalama karbon azot oranı dağılımı..... 195
Şekil 6.4 Grup çalışmaları 199
Şekil 6.5 Grup çalışmaları sonuçlarının paylaşılması 201

KISALTMALAR DİZİNİ

A/O : Anaerobik+Oksik
AAT : Atıksu Arıtma Tesisi
ABD : Amerika Birleşik Devletleri
AÇ : Aktif Çamur
AKM : Askıda Katı Madde
Anammox : Anaerobik Amonyum Oksitleme
AnMBR : Anaerobik Membran Biyoreaktör
AOB : Amonyum Oksitleyen Bakteriler
AOR : Actual Oxygen Required (Gerçek Oksijen ihtiyacı)
BETO : Biyokütle Enerjisi Teknolojileri Ofisi
BNR : Biological Nutrient Removal (Biyolojik Besi Giderimi)
BOİ : Biyolojik Oksijen İhtiyacı
C:N : Karbon/Azot Oranı
CH_4 : Metan
CO_2 : Karbondiokasit
ÇBS : Çamur Bekletme Süresi
ÇHI : Çamur Hacim İndeksi
ÇM : Çözünmüş Madde
ÇO : Çözünmüş Oksijen
DOE : ABD Enerji Bakanlığı
EGSB : Expended Granule Sludge Blanket (Genişletilmiş Granül Çamur Yatak Reaktörleri)
EPS : Hücre Dışı Polimerik Bileşenler
F/M : Besi/Mikroorganizma Oranı
HBS : Hidrolik Bekleme Süresi
HDPE : High Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen Malzeme)
HES : Hidroelektrik Santrali

HNO_2 : Nitröz Asit

HRAP : Yüksek Hızlı Alg Havuzları

IFAS : Integrated Fixed-Film Activated Sludge (Entegre Biyofilm ve Aktif Çamur Sistemi)

KAS : Konvansiyonel Aktif Çamur

KOİ : Kimyasal Oksijen İhtiyacı

kWh : Kilowatt-saat

KZÖÇ : Kimyasalla Zenginleştirilmiş Ön Çöktürme

MBR : Membran Biyoreaktör

MET : Mevcut En İyi Teknik

MF : Mikrofiltrasyon

MLSS :Mixed Liquor Suspended Solids (Karışık Sıvı Askıda Katı Madde Konsantrasyonu)

N_2O : Nitröz Oksit ya da Diazot Monoksit

NH_4-N : Amonyum Azotu

NO_2-N : Nitrit Azotu

NO_3-N : Nitrat Azotu

NOB : Nitrit Oksitleyen Bakteriler

ORP : Oxidation Reduction Potential (Yükseltgenme İndirgenme Potansiyeli)

ÖÇ : Ön Çöktürme

PAO : Phosphorus Accumulating Bacteria (Fosfor Depolayan Organizmalar)

PCR : Polymerase Chain Reaction (Polimeraz Zincirleme Tepkimesi)

PHA : Poli-Hidroksialkanoatlar

PHB : Poli-Hidroksibütiratlar

PID : Proportional Integral Derivative (Oransal İntegral Türevsel Kontrol)

PLC : Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)

PN/A : Kısmi Nitritasyon ve Anammox

PVDF : Polivinilidin Florür

SBR : Sequencing Batch Reactors (Ardışk Kesitili Reaktör)

SCADA : Supervisory Control and Data Acquisition (Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama)
SMP : İçsel Solunum İle Oluşan Mikrobiyal Ürünler
SND : Simultaneous Nitrification and Denitrification (Eş Zamanlı Nütrient Giderimi)
SOTE : Standard Oksijen ihtiyacı
SRT : Sludge Retention Time (Çamur Alıkonma Süresi)
SVI : Sludge Volume Index (Çamur Hacim İndeksi)
TKM : Toplam Katı Madde
TKN : Toplam Kjeldahl Azotu
TMP : Transmembrane Pressure (Transmembran Basıncı)
TN : Toplam Azot
TOK : Toplam Organik Karbon
TP : Toplam Fosfor
TÜRAAT : Ülke Genelindeki Evsel/Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Durumunun Tespiti, Revizyon İhtiyacının Belirlenmesi Projesi
UAKM : Uçucu Askıda Katı Madde
UASB : The upflow anaerobic sludge blanket reactor (Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör)
UV : Ultraviyole
YHAÇ : Yüksek Hızlı Aktif Çamur

YÖNETİCİ ÖZETİ

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı koordinasyonunda, TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü tarafından 03.08.2017 itibarı ile yürütülmeye başlanan, Enerji Verimli ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi Projesi ile Ülkemizde faaliyet gösteren atıksu arıtma tesislerinin enerji tüketimi açısından verimli hale getirilmesi ve enerji verimli teknolojilere geçiş amacıyla, atıksu arıtma tesislerinde kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin, düşük oksijen konsantrasyonlarında eş zamanlı nütrient giderimi prosesinin ve enerji pozitif atıksu arıtma tesislerinin araştırılması ve pilot uygulama yapılabilecek alternatiflerin belirlenerek kavramsal tasarımlarının yapılması hedeflenmiştir.

Organik maddelerin karbondioksit ve biyokütleye dönüştürüldüğü konvansiyonel aktif çamur sistemleri 100 yıldan daha uzun süredir atıksuların arıtımında kullanılmakta, konvansiyonel biyolojik azot giderim prosesinin geçmişi 50 yıl, biyolojik fosfor giderimi uygulamaları ise yaklaşık 30 yıl öncesine dayanmaktadır. Son dönemlerde Konvansiyonel Aktif Çamur prosesleri yüksek enerji tüketimleri sebebi ile dikkat çekmekte ve daha düşük enerji tüketen proseslere, yenilikçi arıtma şemalarının geliştirilmesine ve optimizasyona yönelim artmaktadır. Bunun için, atıksudaki organik maddenin aerobik olarak arıtılması yerine, mümkün olduğunca doğrudan anaerobik parçalama işlemine tabi tutulması ve hava ihtiyacının azaltılırken, üretilen enerji miktarının arttırılması hedeflenmektedir. Anaerobik proseslerin kentsel atıksu arıtımında, daha etkin kullanımı amacıyla gerçekleştirilen yenilikçi çalışmalar, atıksuyun karbon içeriğinin düşmesine ve karbon/azot oranının konvansiyonel besin maddesi giderimi aleyhine seviyelere gerilemesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, enerji tüketimin azaltılmasına yönelik proses değişikliği ve yenilikçi proses uygulamaları aynı zamanda azot giderimi yaklaşımının da değişimini ve yenilikçi bir proses olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Proje hedefleri doğrultusunda, bu proje raporu kapsamında enerji tüketiminin azaltıldığı ve aynı zamanda enerji üretim veriminin arttırılabileceği yenilikçi arıtma proseslerinin kullanımı konularına yer verilmiştir. Yenilikçi proseslerde genel amaç, havalandırmada kullanılan enerjinin azaltmasıdır. Bu amaç doğrultusunda atıksu içerisindeki karbon kaynağının en verimli şekilde

kullanılması, çamur yaşının kısaltılması ve daha az oksijen kullanımına olanak sağlayan yenilikçi proseslerin kullanım alternatifleri incelenmiştir. İncelenen besin maddesi giderim prosesleri arasında, düşük oksijen konsantrasyonlarında eş zamanlı nitrifikasyon ve denitrifikasyon (SND) prosesine detaylı olarak yer verilmiştir. Yine bu rapor kapsamında, atıksu arıtma tesislerinde alternatif enerji kaynaklarının kullanımı ve üretilen enerji miktarının arttırılmasına yönelik yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve arıtma çamurlarından termal yöntemlerle enerji elde edilmesi konularına yer verilmiştir. Rapor kapsamında yer alan ana konu başlıkları aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik yenilikçi prosesler ve besin maddesi giderimi prosesleri incelenmiş, uluslararası uygulama örneklerine yer verilmiştir.
- Mevcut ve yeni kurulacak AAT'lerde biyolojik besin giderimi kaynaklı enerji tüketiminin hesaplanması, ön çöktürme çamuru ve fazla aktif çamurdan elde edilen biyogaz ile üretilen enerjinin hesaplanması, farklı atıksu arıtma konfigürasyonlarına ait enerji dengeleri ve arıtma hacimlerinin karşılaştırılması çalışmaları gerçekleştirilmiştir.
- Aktif çamur sistemlerinin düşük oksijen konsantrasyonlarında işletilmesinin ülkemiz koşullarında uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.
- Proje kapsamında laboratuvar ölçekli olarak işletilen iki adet MBR reaktörüne ve aktif çamur sistemine ait sonuçlar değerlendirilmiştir.
- Atıksu arıtma tesislerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, HES, güneş, rüzgâr ve biyokütle enerjilerinin arıtma tesislerinde kullanım olanakları, ülkemizdeki potansiyelleri değerlendirilmiştir.
- Atıksu arıtma tesisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik, web tabanlı bir hesap aracı geliştirilmiştir. Hesap aracı kullanılarak, hidroelektrik enerji ile bölgesel olarak güneş ve rüzgâr için yıllık olarak üretilebilecek enerji miktarı hesaplanabilmektedir. Hesaplamalar, bölgesel güneş ve rüzgâr potansiyelleri ve haritaları kullanılarak yapılmaktadır, sonuçların ortalamayı yansıtacağı ve mevzuat gereği kurulum öncesinde ölçüm yapma zorunluluğu bulunduğu unutulmamalıdır.

Ülkemizde, gerek mevcut atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılması amacıyla, gerekse de, atıksuyun organik madde içeriğinin artan oranda anaerobik prosese aktarıldığı yenilikçi bir proseste, biyolojik besin maddesi gideriminin SND ile entegre edilebileceği bir atıksu arıtma sisteminin potansiyel vaat ettiği değerlendirilmektedir. Mevcut atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılması amacıyla gerçek ölçekli bir AAT'de çalışmalar yapılması önerilmektedir. Mevcut AAT'lerde, SND uygulaması ve oksijen kontrollü nütrient giderimi, sadece karbon giderimi gerçekleştiren tesislerde karşılaşılan çökelme problemi, çamur kabarması sorunun çözülmesine de katkı sağlaması beklenmektedir. Bu açıdan, SND prosesi uygulamasının, mevcut bir AAT'de pilot olarak denenmesi ve uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi önerilmektedir. Yeni kurulacak tesisler için ise kimyasal çöktürme ile zenginleştirilmiş atıksuda SND uygulaması ve/veya biyodizele dönüşme potansiyeli ve alternatif yakıt olma potansiyeli olan mikroalgin kullanıldığı, yenilikçi yaklaşımlarla nütrient giderimi çalışmalarının desteklenmesinin, ülkemize uzun vadede önemli fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir. Enerji verimliliği göz önünde bulundurularak, arıtma tesislerine olan bakışın yeniden düzenlendiği yenilikçi atıksu arıtma proseslerine yönelik çalışmalar, atıksu arıtma tesislerinde tüketilen enerji miktarının azaltılması açısından son derece önemlidir. Bununla birlikte, atıksu arıtımının, kirletici giderim verimi, enerji tüketimi ve üretimi, emisyonlar, değerli madde geri kazanımı başlıklarını içerecek bütüncül (entegre) bir yaklaşım ile ele alınması ve teknoloji seçimi ve tasarımlarının bu doğrultuda geliştirilmesi, kaynakların korunması ve verimli kullanımı açısından katkı sağlayacaktır. Gerçekleştirilen çalışmalar, deneysel aşamaları içermesi ve biyolojik sistemlerin temel mekanizmasının, mikroorganizmaların gerçekleştirdiği biyokimyasal süreçler olması nedeniyle uzun soluklu çalışmalardır. Her ne kadar, çalışılan prosesler büyük oranda mevcut teknolojileri içeriyor olsa da, geliştirilen konfigürasyonlar yenidir ve biyolojik sistemin uzun süreli tepkisi ve sonuçları açısından incelenmelidir. Nitekim SND prosesinin uygulandığı pilot çalışmalarda, sistemde mikroorganizma çeşitliliğinin artması ve değişmesi ile uzun işletme sonunda çok yüksek giderim verimlerine ulaşıldığı raporlanmıştır. Bu nedenle, bu konularda yürütülecek çalışmaların, gerek sonuca ulaşma, gerekse verim açısından, en azından birkaç yıllık çalışmalar olarak planlanması önerilmektedir.

Türkiye'de atıksu arıtma tesislerinde, yenilenebilir enerji teknolojileri arasında hidroelektrik ile enerji üretimi, güneş enerjisi ile elektrik üretimi ve çamur kurutma, arıtma çamurundan termokimyasal ve biyolojik çevrimler ile elektrik üretimi uygulamaları potansiyel ve ekonomik açıdan katma değeri yüksek seçenekler olarak tespit edilmiştir. Entegre arıtma çamuru kurutma ve yakma sistemleri ve hidroelektrik sistemleri uygulamalarında, nispeten az sayıda örnek bulunması nedeni ile bu konularda gerçekleştirilecek çalışmaların (pilot uygulamaların, rehberlerin geliştirilmesi çalışmalarının vb.) desteklenmesinde fayda görülmektedir.

Ön plana çıkan diğer bir önemli husus ise; arıtma tesislerinde enerji verimliliğinin arttırılması yönünde gerçekleştirilecek çalışmalardır. Motorların verimli sınıftan seçilmesi, devir kontrolü, pompa kanatlarının kaplanması, pompa dizayn değişiklikleri bunlara örneklerdir. Bunun için öncelikli olarak, AAT'lerde farklı kriterlerin (atıksu özellikleri, arıtma tipi, topoğrafya vb.) enerji verimliliğine ne kadar etki ettiğini tespit etmek üzere enerji üretim / tüketim taraması (ölçüm ve etüt) yapılması ve daha sonra verimlilik ve yenilenebilir enerji kullanım potansiyellerinin ortaya konması faydalı olacaktır. Bunun için, seçilecek belli sayıda kritere bağlı olarak belirlenecek örnek tesislerde, enerji taraması (ölçüm ve etüt dâhil) yapılarak, verimlilik ve yenilenebilir enerji kullanım potansiyellerinin belirlenmesi uygun olacaktır.

Sonuç olarak, AAT'lerde önemli bir enerji tasarrufu potansiyeli mevcut görünmekte olup, bu potansiyelin harekete geçirilmesinde üstünde durulması önerilen çalışma konuları özet olarak aşağıda sunulmuştur;

- Mevcut AAT'lerde SND prosesinin ve/veya kesikli havalandırma uygulamasının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla, seçilecek mevut bir pilot AAT'de uygulama yapılması önerilmektedir.
- Gerek SND uygulamasında, gerekse de konvansiyonel sistemlerde karşılaşılan çökelme problemlerinin önlenmesine yönelik kontrol sistemlerinin geliştirilmesi, ayrıca ekonomik ve basit filtrelerin geliştirilmesi çalışmalarının desteklenmesi faydalı olacaktır.

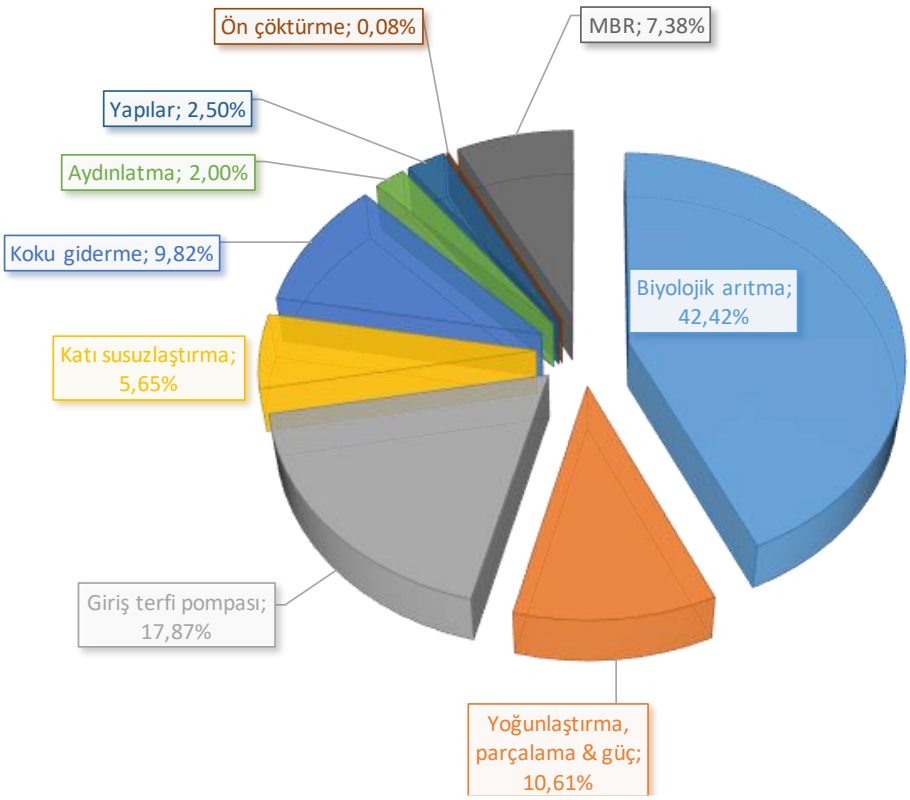
- Yenilikçi yaklaşımlarla atıksu arıtımını bütüncül bir yaklaşımla değerlendirildiği çalışmaların artması ve bu konuda yürütülecek projeler, kurulacak pilot sistemler desteklenmesi önerilmektedir. Örneğin, organik maddenin olabildiğince enerji üretimi amacıyla kullanılabileceği yenilikçi arıtma ve nütrient giderimi çalışmaları, yakma ile birlikte değerlendirilmeli ve yakma sonrasında kalan külden fosfor ve değerli madde geri kazanımı ayrıca incelenmelidir. Bu çerçevede, bütüncül bir yaklaşımla geliştirilecek sistemlerde, geleceğin potansiyel yakıtları olarak görülen mikroalglerin, atıksulardan nütrient giderimi için kullanılmasının araştırılması da önerilmektedir.
- Arıtma çamuru ve diğer atıklar ile birlikte kurutma ve yakma ile yardımcı yakıt olmadan elektrik üretimi, arıtma çamurundan doğalgaz ve sıvı yakıt üretimi çalışmaların desteklenmesi önerilmektedir. Bunun için, öncelikli olarak farklı tip ve özellikteki AAT'lerde oluşan çamur özelliklerinin ve detaylı karakterizasyonunun belirlenmesi faydalı olacaktır.
- Arıtma tesislerinde giriş kısmında Arşimet vidası ile elektrik üretimine yönelik pilot uygulama ve çalışmaların desteklenmesi ve pilot uygulamalar faydalı olacaktır.
- Arıtma tesislerinde enerji etiketleme ve kıyaslama (benchmarking) aracı geliştirilmesine yönelik çalışma ve projelerin desteklenmesi ile AAT'lerde öz değerlendirme ve farkındalık oluşturmasına ve enerji tüketiminin azaltılmasına katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

Yenilenebilir enerji uygulamalarının yanı sıra, yukarıda belirtilen uygulamalar ile ülkemizde bulunan arıtma tesislerinde sağlanacak enerji verimliliği sayesinde, pozitif enerji kavramına uygun tesislerin olabileceği ve mevcut duruma göre önemli oranlarda kaynak kullanımında azalma sağlanabileceği öngörülmektedir.

1 ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİ

Su, gıda ve enerji, iyi yönetilmesi gereken ve önemli olan üç kaynaktır. Bu durum, su alanında atıksuyun artık topyekün bir atık değil, bir kaynak olarak algılanmasını ve değerlendirilmesini beraberinde getirmektedir. Bunu yanı sıra, 1980'den bu yana yüzey suları ve deniz sularında ötrofikasyon endişesi sebebi ile atıksu deşarj standartlarında ciddi uygulamalar ön plana çıkmıştır. Özellikle Avrupa'da, toplam azot ve toplam fosfor parametrelerinde sıkı kriterler uygulanmaktadır. Bu sıkı kriterlerin uygulanmasındaki yasal gereklilikler zamanla atıksu arıtma tesislerinde oksijen ihtiyacı ve havalandırmada tüketilen enerji miktarlarını artırmıştır. Özellikle elektrik enerjisi tüketimi atıksu arıtma tesislerinde ön plana çıkan ana giderler arasında yer almaktadır. Dünya genelinde, tüketilen elektrik enerjisinin % 0,1 ila %0,4'ü, A.B.D. gibi gelişmiş ülkelerde ise tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık %3'ü atıksu arıtma tesislerinde kullanılmaktadır. Tüketilen bu enerjinin büyük bir kısmı ise biyolojik arıtma ünitelerinden kaynaklanmaktadır. Örnek olarak Singapur'da Ulu Pandan WRP atıksu arıtma tesisinde arıtma prosesleri bazında elektrik enerjisi tüketimleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Elektrik enerjisi tüketiminde en yüksek payı biyolojik arıtma ünitesi gerçekleştirmektedir (Shi, 2011).

Bunun yanında arıtma tesislerinde enerji tüketimi, üretimi ve verimlilik fırsatları tesis kapasitesine göre farklılık gösterebilmektedir. Örnek olarak nitrifikasyon yapan 37.850 m^3/gün kapasiteli arıtma tesisi için elektrik enerjisi tüketimleri üniteler bazında Tablo 1.1'de gösterilmiştir. Tablodan görüleceği üzere arıtma tesisinde elektrik enerjisinin %51'i havalandırma sürecinde tüketilmektedir. Havalandırma aşamasında tüketilen spesifik enerji, 0,23 kWh/m^3'tür.



Şekil 1.1 Ulu Pandan WRP atıksu arıtma tesisinde arıtma proseslerine göre elektik enerjisi tüketimin dağılımı

Tablo 1.1 Bir ileri AAT'e üniteler bazında elektrik enerjisi tüketiminin dağılımı (Shi, 2011)

	Birim/Ekipman	Elektrik Tüketimi (kWh)	Toplam Elektrik Tüketimi İçerisindeki Payı (%)	Spesifik Elektrik Tüketimi (kWh/m^3)
1	Terfi pompası	1402	8,2	0,04
2	Izgara	2	0,01	İhmal edilebilir**
3	Kum tutucu	134	0,8	İhmal edilebilir
4	Ön çöktürme	155	0,9	
5	Havalandırma	8766 (5320 + 3446)*	**51,2** (31,1 + 20)*	0,23 (0,14 + 0,09)*
6	Geri devir pompası	508	3	0,01
7	Son çöktürme	155	0,9	0,01

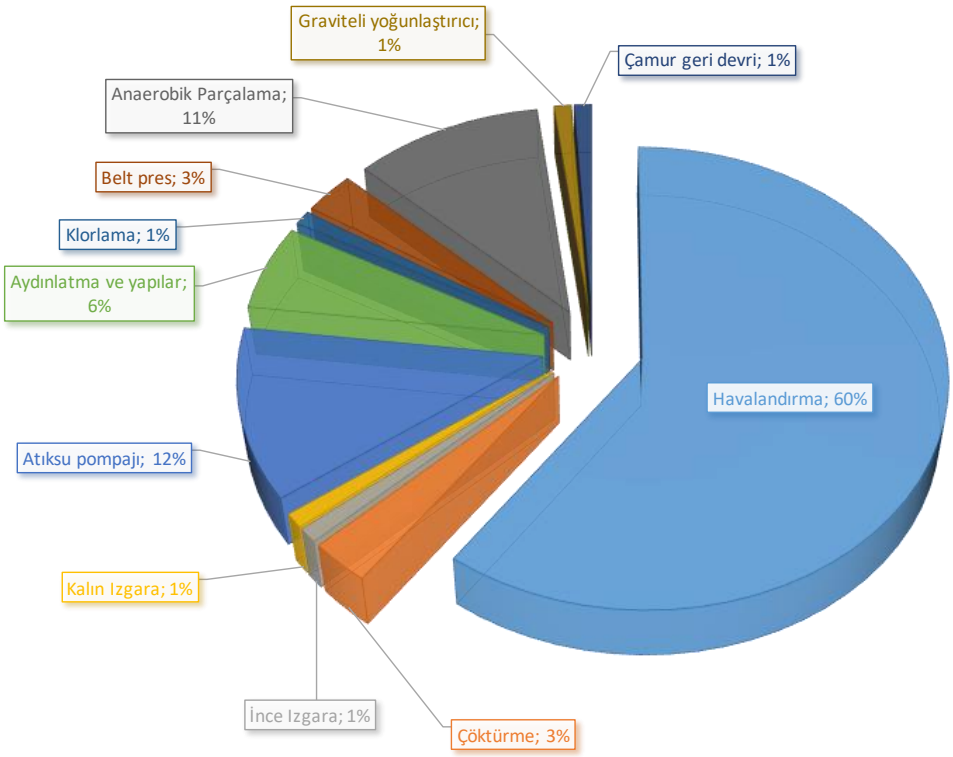
	Birim/Ekipman	Elektrik Tüketimi (kWh)	Toplam Elektrik Tüketimi İçerisindeki Payı (%)	Spesifik Elektrik Tüketimi (kWh/m^3)
8	Kimyasal karıştırıcı	552	3,2	0,01
9	Filtre besleme tankı	822	4,8	0,02
10	Filtrasyon	385	2,2	0,01
11	Klorlama	27	0,1	İhmal edilebilir
12	Graviteli çamur yoğunlaştırıcı	25	0,1	İhmal edilebilir
13	Flotasyonlu çamur yoğunlaştırıcı	2022	11,8	0,05
14	Anaerobik Parçalama	1700	10	0,05
15	Belt pres susuzlaştırma	457	2,7	0,01

** Parantez dışındaki rakam toplam KOİ giderimi ve nitrifikasyon için gerekli olan elektrik tüketimleridir. Parantez içerisindeki ilk ve ikinci rakam sırasıyla KOİ giderimi ve nitrifikasyon için tüketilen elektrik enerjileridir.*
*** < 0,01*

Tablo 1.1'deki verilerden yola çıkarak havalandırma ünitesinde KOİ giderimi ve nitrifikasyon için tüketilen spesifik elektrik enerjisi 0,23 kWh/m^3 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, toplam tüketilen elektrik enerjisinin %51'ine karşılık gelmektedir. KOİ giderimi ve nitrifikasyon amacının yanı sıra, son yıllarda ilaç etken maddeleri gibi kirleticilerin giderimleri için ön plana çıkan ileri arıtma teknolojileri de bu oranların üzerine eklenerek, önemli derecede enerji tüketimlerine yol açacaktır. UV/ozon, UV/hidrojen peroksit gibi uygulamalar ek olarak enerji tüketimlerini 0,2-0,4 kWh/m^3 oranında artıracaktır. Benzer şekilde koku kontrol prosesleri ve membran proseslerin de benzer seviyelerde enerji tüketimlerini artıracağı ifade edilmiştir. Bu durum, Avrupa ülkelerinde enerji tüketimlerinin niçin ABD'den daha yüksek seviyelerde olduğunu açıklamaktadır

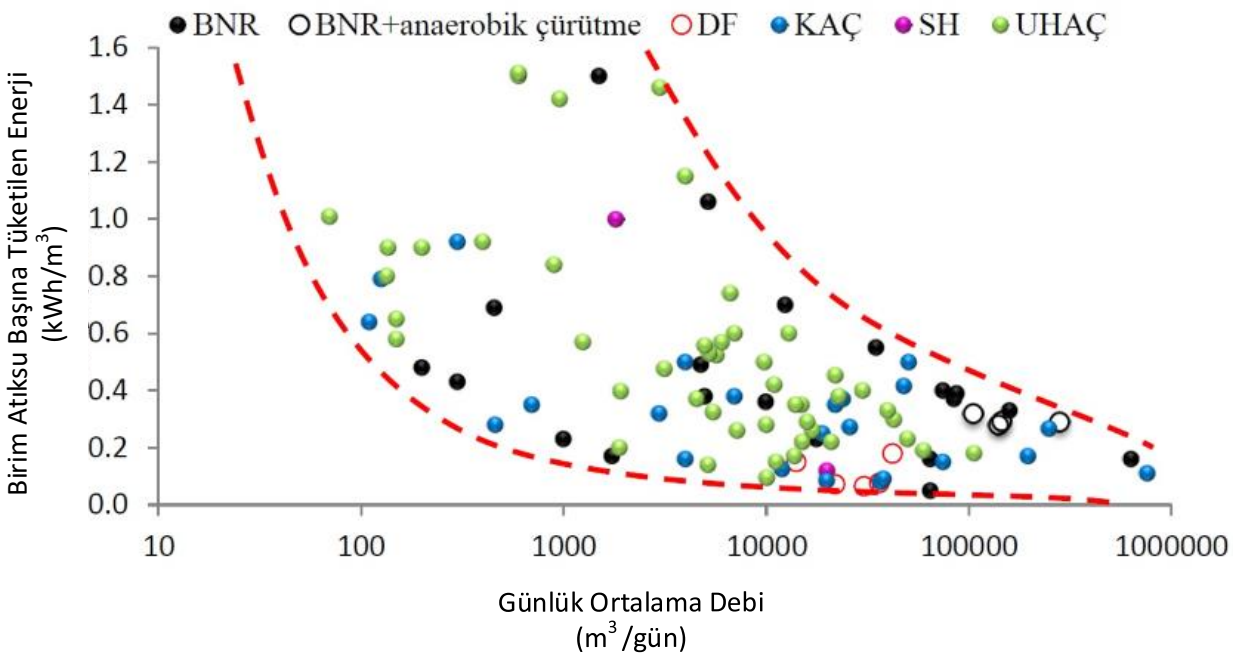
Yine yapılan farklı çalışmalar AAT'lerdeki enerji tüketiminin 0,3-0,6 kWh/m^3 aralığında olduğunu göstermektedir. Bir g KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) giderimi için gereken enerji potansiyeli ise 17,8-28-7 kJ civarındadır (Yuan ve He, 2015). Benzer debiler için gruplama yapıldığı durumda dahi, birim enerji tüketiminin geniş bir aralıkta değişiyor olması; atıksu karakterizasyonundaki farklılıklar, kullanılan arıtma teknolojisi, kullanılan ekipmanlar ve işletme parametreleri gibi birçok değişkenle açıklanabilir. Şekil 1.2'de konvansiyonel bir evsel AAT'ye ait enerji tüketiminin dağılımı görülmektedir. Bu grafiğe göre, enerji tüketiminin %60'ının havalandırma, %12'sinin

pompalama ve %11'inin ise anaerobik çürütme işlemleri kaynaklı olduğu görülmektedir (Shi, 2011).



Şekil 1.2 Tipik bir evsel AAT'de tüketilen enerjinin dağılımı
(Shi, 2011)

Ülkemizde gerçekleştirilen bir çalışmada, AAT'lere ait enerji sarfiyatı atıksu debisi ile ilişkilendirilmiş ve arıtma prosesi dikkate alınarak arıtılan birim atıksu başına tüketilen enerji miktarları belirlenmiştir (Şekil 1.3). Buna göre debisi 10,000 m^3/gün'den az olan küçük ölçekli tesislerde enerji sarfiyatının 0,2-0,8 kWh/m^3, 10,000-100,000 m^3/gün olan orta ölçekli tesislerde 0,1-0,6 kWh/m^3, 100,000 m^3/gün' den fazla olan büyük ölçekli tesislerde ise 0,1-0,4 kWh/m^3 aralığında olduğu belirlenmiştir. Debi oranı arttıkça spesifik enerji tüketimlerinin azaldığı dikkat çekmektedir (ÇŞB, 2013).



BNR: Biyolojik nütrient giderimi **DF**: Damlatmalı Filtre **KAÇ**: Klasik Aktif Çamur **SH** : Stabilizasyon Havuzu **UHAÇ**:Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur

Şekil 1.3 Tesislerde arıtılan birim atıksu başına harcanan enerji (ÇŞB, 2013)

Evsel AAT'lerde enerji tüketimi etkileyen faktörler şu şekilde özetlenebilir (Haas ve Dancey, 2015).

- Kullanılan arıtma teknolojisi,
- Arıtma seviyesi ve çıkış suyu kalitesi,
- Atıksu arıtma tesisinin boyutları (genellikle, büyük ölçekli tesislerde küçük tesislere göre daha fazla enerji sarf edilmektedir),
- Kullanılan havalandırma sisteminin tipi ve verimi,
- Terfi ihtiyacı (giriş ve çıkış suyunun ve geri devri için aktif çamurun terfi edilmesi),
- Çıkış suyunun yeniden kullanılıp kullanılmadığı (üçüncül arıtma ihtiyacı ve ikincil kalite suyun terfi ve dağıtımı),

- Üçüncül arıtmanın bulunup bulunmaması ve türü (örneğin, filtrasyon, dezenfeksiyon, vb.),
- Çamur işleme ve yönetimi için gerekli enerji (örneğin, yoğunlaştırma, susuzlaştırma, kurutma, vb.),

Arıtma tesislerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliği ve enerji pozitif arıtım sistemlerinin uygulanabilirliği, hem çevre hem de enerjinin korunması açısından oldukça önemlidir. Klasik arıtma yöntemleri, genel olarak büyük miktarlarda enerji tüketimine sahiptir. Atıksu artıma tesislerinde havalandırma ihtiyacından kaynaklanan bu yüksek enerji girişlerinin sağlanamaması ve sonuç olarak yetersiz arıtım nedeniyle alıcı ortam kirlilik yüklerinin artması gibi çevresel problemler de söz konusu olabilmektedir. Geleneksel aktif çamur prosesleri, biyolojik olarak parçalanabilir organik kirletici giderimini sağlayabilmesine karşın, inorganik besin maddelerinin (azot ve fosfor gibi) uzaklaştırılması noktasında yetersiz kalabilmektedir. Özellikle nütrient gideriminin yapılamadığı arıtma sistemlerinde, alıcı ortama verilen bu arıtılmış atık suların yüksek miktarda organik ve azot-fosfor gibi inorganik bileşikler içermesi, ötrofikasyon problemlerine de neden olabilmektedir (Cai vd., 2013; Wang vd., 2017). Anoksik ve aerobik koşular altında besin maddesi giderimi de ilave proses adımlarını içerdiği için artıma tesisinin alan ve hacim ihtiyacını arttırmakta ve klasik aktif çamur prosesi ile karşılaştırıldığında, ilk yatırım maliyetleri de yüksek olmaktadır. Sonuç olarak, aktif çamur prosesi, besin maddesi giderimi için yoğun enerji ve kimyasal ilavesi gerektirir. Çeşitli çalışmalarda, aktif çamur sistemlerinde, havalandırma prosesinin, atık su arıtımının enerji tüketiminin % 25-75'ini oluşturduğu raporlanmıştır (Jia ve Yuan, 2016; Shen vd., 2017; Gu vd., 2016). Bu noktada, arıtma sistemlerinin harcadığı enerjinin ve alıcı ortamın kirlilik yüklerinin azaltılmasında enerji verimli ve çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Ayrıca bir arıtma tesisinde aktif çamur ve nütrient giderimi proseslerinde %50-80 seviyelerinde enerji verimliliğine ulaşmak için, spesifik elektrik enerjisi üretiminin 0,25 kWh/m^3 ve 0,45 kWh/m^3 seviyelerinde gerçekleşmesi gerekmektedir. Dünyada bazı ülkelerin kentsel AAT'lerde çeşitli yöntemlerle sağladığı enerji verimliliği seviyeleri Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.2 Dünyada bazı tipik AAT'lerin çeşitli yöntemlerle sağladığı enerji verimliliği oranları

Ülke/Tesis	İsveç /Tüm AAT'lerin ortalaması)	Çek Cumhuriyeti /Prag Merkezi AAT	Singapur /Jurong AAT	İngiltere /AAT'lerin ortalaması	İsviçre /Werdhölzli AAT, Zürih	Avusturya /Strass
Enerji Verimliliği (%)	9	83,5	40	50	100	108

Konuyla ilgili olarak ülkemizde yapılan çalışmalardan birisi de, 2010 yılında gerçekleştirilen "Atıksu Arıtımında Enerji Verimliliği Projesi" dir. Proje kapsamında oluşturulan rehberde, en iyi teknolojik uygulama örnekleri, kentsel atıksu arıtma alanındaki enerji tüketimine yönelik tasarım ve işletim kriterleri ve belediyelerin enerji verimliliğini arttırarak sera gazı salınımlarını azaltmalarına yönelik tavsiyeler yer almıştır. Rehber içeriğinde, AAT'lerde enerji verimliliği sağlanabilecek muhtemel önlemler, bu önlemlerin enerji verimliliği açısından tasarruf oranları, ilave yatırım maliyetleri ve bu yatırımların geri ödeme süreleri sunulmuştur. Bu muhtemel önlemler Tablo 1.3'te özetlenmiştir (ÇŞB, 2010).

Tablo 1.3 Enerji verimliliği sağlanabilecek muhtemel önlemler, tasarruf oranları, ilave yatırım maliyetleri ve geri ödeme süreleri (ÇŞB, 2010)

Enerji Verimliliği Önlem Noktası		Önlemler	Enerji Tasarrufu Aralığı-% Etki	İlave Yatırım	Geri Ödeme Süresi (yıl)
Havalandırma Sistemleri	Yüzey havalandırma	Havalandırma bağlantısının kesilmesi ve sıvı tahriki	< %1	< 250.000 €	>15
		Yüzey havalandırma yerine kabarcıklı havalandırma	%10-20	< 500.000-1.500.000 €	5-15
		Yüksek verimle çalışan yüzey havalandırıcılar	%5-10	< 250.000 €	5-15
		Yüzey havalandırıcılarda sıçramayı önleyici kapakların kaldırılması	< %1	< 50.000 €	>15
		Yüzey havalandırıcılarda batma derinliğinin ayarlanması	%1-10	< 50.000 €	>15
	Kabarcıklı havalandırma	Tüp veya disk havalandırma yerine plaka havalandırma	%5-10	< 500.000-1.500.000 €	>15
		Deplasmanlı (değiştirmeli) ya da roots tipi kompresör yerine santrifüj tipi kompresör	%5-10	< 500.000-1.500.000 €	5-10
		Optimal havuz derinliğinin tespit edilmesi	Değişken	Değişken	Değişken
		Arıtma prosesinde egzozdan gelen havanın havalandırma havuzuna yönlendirilmesi	< %1	Değişken	>15
Havalandırmanın Kontrolü		Kesikli havalandırma kontrolü	%1-5	< 250.000 €	5-15
		İstenen oksijen konsantrasyon ayar değerinin düşürülmesi	%1-10	-	Yatırım gerektirmez
		Çamur yaşına göre işletme	%1-10	-	Yatırım gerektirmez
		Alfa-faktörünün geliştirilmesi	%1-10	-	Yatırım gerektirmez
		Beklenmeyen oranda yüksek havalandırma olması halinde alarm	%1-5	<10.000 €	<5
Tesis Tasarımı		Konfigürasyonun optimizasyonu	%5-10	Değişken	Değişken

Enerji Verimliliği Önlem Noktası	Önlemler	Enerji Tasarrufu Aralığı-% Etki	İlave Yatırım	Geri Ödeme Süresi (yıl)
	Yukarı Akışlı Çamur Yataklı Filtreleme (USBF)	%1-5	Değişken	Değişken
	Ardışık Kesikli Reaktör (SBR)	%1-10	Değişken	Değişken
	Kaynakta arıtma	Değişken	> 1.500.000 €	Değişken
	Termal enerji değişimi	< %1	> 1.500.000 €	>15
Ekipman	Ekipmanların sık aralıklarla ON/OFF yapılmaması	< %1	< 100.000 €	5-15
	Ekipmanların istenmeyen ayar değerlerinde çalışmasını önlemek	%1-5	< 100.000 €	5-15
	Çöktürme ünitelerinde sıyırıcı çalışma şeklinin ayarlanması	< %1	< 50.000 €	>15
	İleri düzey ön arıtma (elekler)	Değişken	Değişken	Değişken
Karıştırma ve Tahrik	Tahrik ve karıştırma için yüksek verimlilikte karıştırıcı kullanımı	%1-5	< 250.000 €	5-15
	Tahrik pervanesinin periyodik ayarı	< %1	< 10.000 €	5-15
	Pervanelerin tipi ve tahrik için kabarcıklı havalandırmayla koordineli olarak konumlandırılması	< %1	Değişken	>15
	Akış yönünde kompartmanlar arası geçiş	< %1	Değişken	>15
	Pervane yerine havalandırmayla karıştırma	%1-5	-	Yatırım gerektirmez
	Havalandırma sırasında tahrik pervanelerinin kapalı konuma getirilmesi	%1-5	-	Yatırım gerektirmez
Hidrolik Sistem	Cazibe ile iletim	Değişken	Değişken	Değişken
	Yağmur suyunun ayrılması	Değişken	Değişken	Değişken
	Sızmalara dikkat edilmesi	Değişken	Değişken	Değişken
	Hidrolik sistemin optimizasyonu	Değişken	Değişken	Değişken
Egzozdan Gelen Havanın Temizlenmesi	Kompost filtre yerine lav filtre konulması	Değişken	Değişken	Değişken
	Üflemeli filtre	< %1	Değişken	Değişken

Enerji Verimliliği Önlem Noktası	Önlemler	Enerji Tasarrufu Aralığı-% Etki	İlave Yatırım	Geri Ödeme Süresi (yıl)
Hava Çekme	Hava çekiminin optimizasyonu	< %1	Değişken	5-15
	Çekilen hava hacminin azaltılması	< %1	Değişken	> 15
	Çekilen havanın H_2S ölçümlerine göre düzenlenmesi	< %1	Değişken	> 15
	Havalandırma havuzu üzerinde ventilasyon debisinin arttırılması	Değişken	Değişken	Değişken
Çamur Sistemi	Solucan patlaması (worm bloom)	Değişken	Değişken	Değişken
	Çamur nakliye işleminin zamanlanması	Değişken	Değişken	Değişken
	Cannibal (fazla çamur miktarının azaltılması)	Değişken	> 1.500.000 €	Değişken
Çürütme	Çamur çürütme ve kojenerasyonu	> %20	> 1.500.000 €	> 15
Donanım	Çok aşamalı termofilik çürütme	Değişken	Değişken	Değişken
	Mevcut çürütme kapasitesinin kullanımı	Değişken	Değişken	Değişken
	Eski çürütücülerin yalıtımı	< %1	< 100.000 €	5-15
	Çamur arıtılmadan önce kum tutulması	Değişken	Değişken	Değişken
Enerji Üretimi	Kompresörlerin doğrudan gaz motoruyla çalıştırılması	Değişken	Değişken	Değişken
	Küçük gaz türbinleri veya gaz motorlarıyla enerji üretilmesi	Değişken	Değişken	> 15
	Küçük bir gaz türbini ya da ekstra biyogaz depo tankı ilavesi	Değişken	Değişken	Değişken
	Yüksek verimlilikte ısı ve enerji eşleşimi	%5-10	< 250.000 €	5-15
	Isı enerji eşleştirmesinin optimizasyonu	Değişken	Değişken	Değişken
	Isı enerji eşleştirmesinden önce gazın şartlandırılması	Değişken	Değişken	Değişken
	Yüksek verimlilik için yakıt hücreleri kullanılması	%10-20	> 1.500.000 €	> 15
Biyogaz	Çürütücüdeki ısı tampon kapasitesinin kullanılması	%1-5	-	Yatırım gerektirmez

Enerji Verimliliği Önlem Noktası	Önlemler	Enerji Tasarrufu Aralığı-% Etki	İlave Yatırım	Geri Ödeme Süresi (yıl)
	Biyogazın doğal gazla karıştırılması	> %20	Değişken	> 15
	Biyogazın üçüncü taraflara ulaştırılması	Değişken	Değişken	Değişken
	Biyogazın metana çevrilerek tekrar gaz şebekesine verilmesi	Değişken	Değişken	Değişken
	Gaz depolama için ilave depo tankı kurulumu	%1-5	< 250.000 €	> 15
Öncöktürme	Yüksek verimlilikte öncöktürme	%5-20	< 100.000 €	< 5
Çamurun Ön-Arıtılması	Çürütme öncesinde ultrasonik/hidrodinamik çamur parçalama teknikleri	Değişken	Değişken	Değişken
	Çürütme öncesinde yüksek basınçlı, termik, hidroliz, cambi çamur parçalama teknikleri	%1-10	> 1.500.000 €	> 15
İşletme	Çürütücünün sürekli olarak beslenmesi	< %1	< 250.000 €	> 15
	Çürütücü içerisinde düzgün miksaj	%1-5	< 50.000 €	5-15
	Çürütücüye gaz verilerek karıştırma yerine karıştırıcı kullanarak karıştırma yapılması	%1-5	< 100.000 €	< 5
	Çürütücüden kumun bir kerede temizlenmesi	Değişken	Değişken	Değişken
	Çürütücüden bakım sırasında kumun temizlenmesi	Değişken	< 500.000 €	Değişken
Üçüncü taraflar	Çevredeki atık ısı enerjisinin kullanılması	Değişken	Değişken	Değişken
	Atık ısının üçüncü taraflara verilmesi	Değişken	Değişken	Değişken
Yoğunlaştırma	Çamurun graviteli olarak değil mekanik olarak yoğunlaştırılması	Kalma süresi ve çürütme prosesine göre değişken	< 500.000 €	Kalma süresi ve çürütme prosesine göre değişken
	Polielektrolit dozlama	Kalma süresi ve çürütme prosesine göre değişken	< 10.000 €	Değişken

Enerji Verimliliği Önlem Noktası		Önlemler	Enerji Tasarrufu Aralığı-% Etki	İlave Yatırım	Geri Ödeme Süresi (yıl)
Yan akımların Arıtılması		Yan akımların sabit ve yüksek oranda amonyak nitrit üzerinden dönüştürülerek (SHARON) arıtılması	%5-10	Giderilen 0,5 – 1,5 € / kg N	5-15
		Azotun kimyasal olarak strüvite çöktürülmesi	< %1	Değişken	5-15
		Anaerobik deamonifikasyon	%10-20	Giderilen 0,5 – 1,5 € / kg N	5-15
		İki reaktörlü ve iki aşamalı Sharon-Anammox prosesi	%10-20	Giderilen 1,0 – 3,0 € / kg N	> 15
Isının Tekrar Kullanımı		Düşük değerli ısının yeniden kullanımı	< %1	< 250.000 €	> 15
		Gaz motoru egzoz gazlarından elde edilen ısının tekrar kulanımı	Değişken	Değişken	Değişken
Susuzlaştırma	Ekipmanlar/Konfigürasyon	Yoğunlaştırmadan sonra santrifüj yerine belt pres	%1-5	< 250.000 €	> 15
		Doğrudan çamur susuzlaştırma için basamaklı (kaskat) hizalama ve belt pres	%1-5	< 250.000 €	> 15
		Çürütmeden sonra belt presle çamur susuzlaştırma	%1-5	< 250.000 €	> 15
		Susuzlaştırma ünitesinde kuru madde içeriği	Değişken	Değişken	Değişken
		Aktif çamur depolarından su tahliyesi	Değişken	Değişken	Değişken
	Kontrol	Santrifüj hızının düşürülmesi	< %1	-	Yatırım gerektirmez
		Santrifüj operasyon kontrol sistemi	Değişken	< 50.000 €	Değişken
	Çamur Beslemesi	Susuzlaştırma kurulumuna iyi karışmış çamur beslemesi	< %1	< 250.000 €	> 15
Nutrient (N, P) Giderimi	Tesis Konfigürasyonu	İlave anoksik hacim oluşturulması	Değişken	< 10.000 €	Değişken
		Enerji açısından en uygun tasarımın tercih edilmesi	Değişken	Değişken	Değişken
		Geri devir çamur debisinin takibi	%1-5	< 100.000 €	5-15
		Anoksik bölgede nitrat geri devrinin düzenlenmesi	%1-5	< 100.000 €	5-15

Enerji Verimliliği Önlem Noktası		Önlemler	Enerji Tasarrufu Aralığı-% Etki	İlave Yatırım	Geri Ödeme Süresi (yıl)
	Proses Kontrol	Havalandırma hızının proses parametreleriyle eşleştirilmesi	%10 – 20 (oksijen)	< 100.000 €	< 5
			%1 – 5 (redox)	< 100.000 €	< 5
			%1 – 10 (amonyak/nitrat)	< 100.000 €	< 5
		Sensör konumu ve sayısının optimizasyonu	%1 – 5 (konum)	< 10.000 €	< 5
			%1 – 5 (sayı)	< 100.000 €	< 5
		Sensörlerin düzenli olarak kalibrasyonu	%1-5	< 10.000 €	< 5
		Fosfor gideriminin optimizasyonu	Değişken	Değişken	Değişken
	İleri Arıtma Teknikleri	Deamonifikasyon	Araştırma aşamasında	Bilinmiyor	Araştırma aşamasında
		Aerobik granül çamur (Nereda)	Araştırma aşamasında	Bilinmiyor	Araştırma aşamasında
		İdrarın ayrılması	Değişken	Değişken	Değişken

Enerji verimli evsel atıksu arıtımı

Son yıllarda evsel AAT'ler, yüksek enerji tüketimleri (karbon ayak izi), sera gazı emisyonları (CO_2, N_20 ve CH_4) ve atık çamurun yaratmış olduğu mikrokirletici mevcudiyeti, geniş depolama alanı ihtiyacı gibi nedenlerle maliyetleri ve maliyetlerin geri dönüşü açısından tartışılır hale gelmiştir. Birçok durumda AAT'nin performansını arttırmak için yapılan değişiklikler daha fazla elektrik sarfiyatı ve sera gazı emisyonu ile sonuçlanmaktadır. Bununla beraber, artan enerji ihtiyacı ile birlikte, AAT'lerin daha düşük enerji sarfiyatı ile veya enerji-nötr, hatta enerji pozitif olarak daha sürdürülebilir şekilde işletilmesine yönelik çalışmalar son yıllarda gittikçe artmaktadır. Enerji-nötr veya eneji-pozitif arıtma tesislerine geçiş net enerji dengesi terimini de beraberinde getirmektedir. Bu terim, tesisler için enerji korunumu/tasarrufu anlamına gelmektedir. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak enerjinin nerelerde tüketildiği ve tüketilen enerjinin miktarı belirlenmeli, ardından tesiste enerji üretmenin olanakları tespit edilmelidir. Enerji-nötr veya enerji-pozitif evsel AAT'ler için enerji harcamalarının azaltılmasına ek olarak üretilen enerji miktarının da arttırılması esastır (WREF, 2011).

Shi, C.Y., 2011. Mass Flow and Energy Efficiency of Municipal Wastewater Treatment Plants. IWA Publishing. ISBN13: 9781843393825

Enerji Tüketiminin Azaltılması

Arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılması, temelde dört başlık altında değerlendirilebilir. Bunlar;

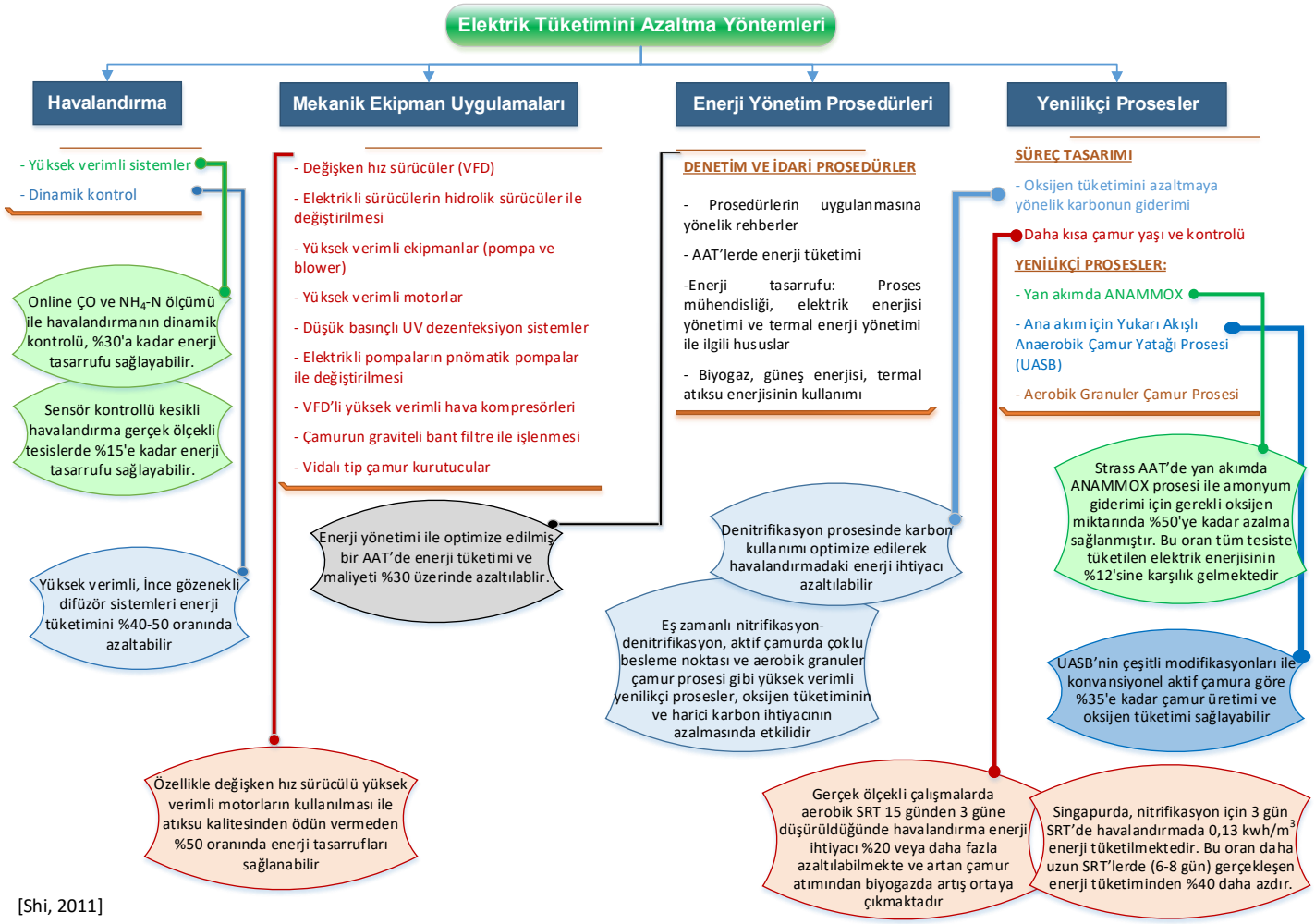
(i) **Havalandırma kontrolü**: Yüksek verimli difüzörlerin kullanılması ile %15, online ÇO ve NH_4-N ölçümü kontrollü havalandırma yöntemleri ile %30'a varan enerji tasarrufları.

(ii) **Ekipman ve makinaların enerji verimli hale dönüştürülmesi** (örn. frekans ayarlı sürücüler kullanılması, yüksek verimli ekipmanlar ve yüksek verimli motorların tercih edilmesi, tesisin hidrolik dizaynının minimum terfi gerektirecek şekilde düzenlenmesi vb.) ,

(iii) **Enerji tüketiminin kontrol altına alınabilmesine yönelik yönetimsel önlemler-işletme optimizasyonu ve otomasyon kontrolü:** Enerji tüketiminin kontrol altına alınabilmesine yönelik yönetimsel önlemler arasında en yaygın kullanılan uygulama havalandırma sisteminin oksijen sensörlerine bağlı olarak kontrollü çalıştırılmasıdır. Havalandırma, kentsel AAT'lerde sarf edilen enerjinin yaklaşık %40-60'ına tekabül etmektedir. Sistem üzerindeki dinamik havalandırma kontrolleri %30'lara varan enerji tasarrufuna imkan sağlanabileceği belirtilmekle birlikte, tam ölçekli tesislerde uygulanan sensor bazlı kesikli havalandırma ile %15 oranında tasarruf sağlanabileceği belirtilmektedir (Shi, 2011).

(iv) **Yenilikçi arıtma proseslerine geçiş:** Arıtma prosesleri seçiminin konvansiyonel karbon ve azot giderim sistemleri yerine, enerji tüketiminin esas alındığı yenilikçi sistemlerden yana kullanılması ile arıtma tesislerinde enerji tüketimi önemli oranlarda azaltılabilir. Son yıllarda, arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılmasının hedeflendiği çeşitli konfigürasyonlar üstünde çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik yöntemler ve bu yöntemlerin kapsamları özet olarak Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



[Shi, 2011]

Şekil 1.4 Atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketimini azaltmaya yönelik yöntemler

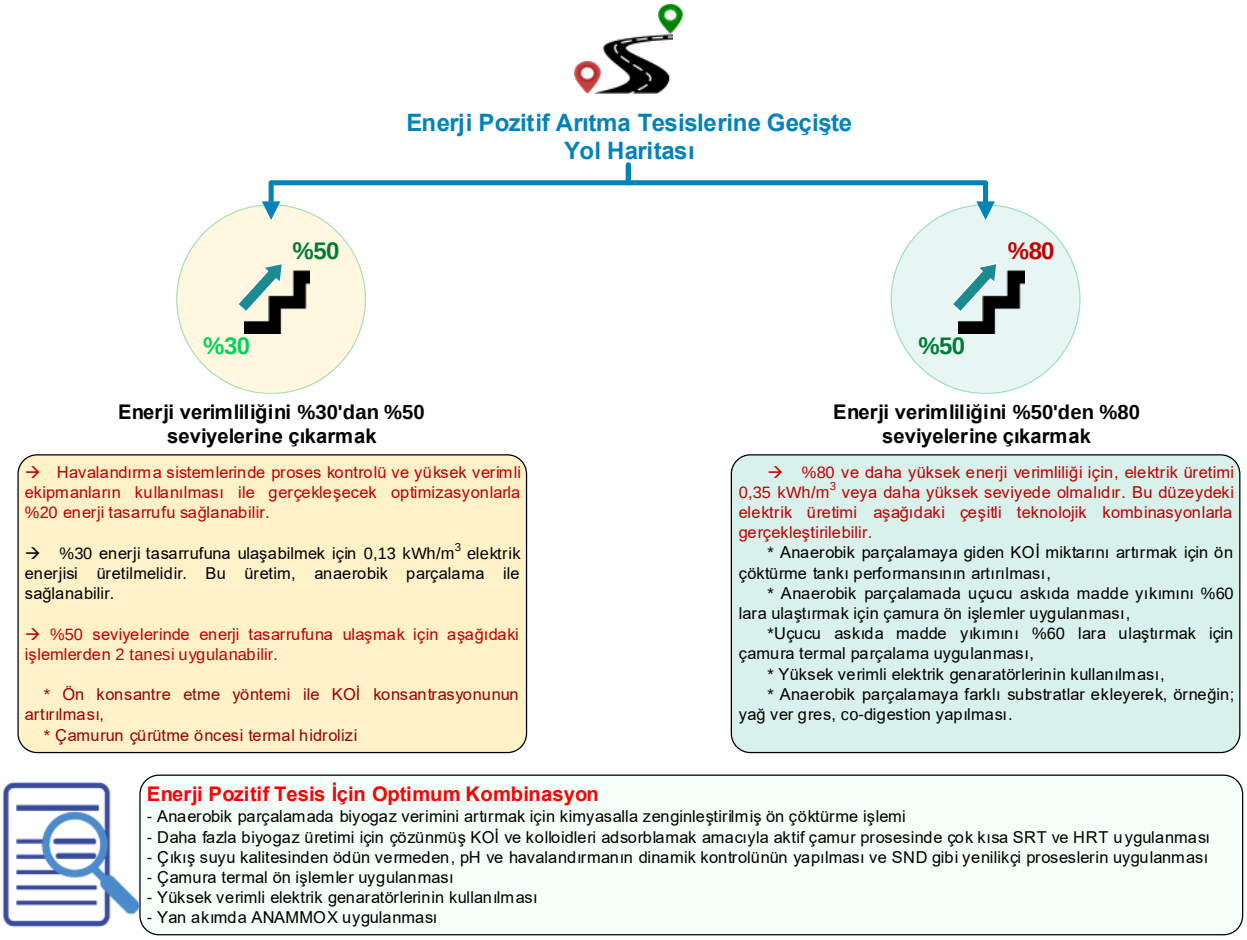
Üretilen Enerji Miktarının Arttırılması

AAT'lerde elektrik enerjisi, genellikle arıtma çamurunun anaerobik olarak çürütülmesiyle elde edilen biyogazdan veya termal arıtımıyla elde edilen ısıdan üretilir. Arıtma tesislerinde üretilen enerji miktarının arttırılmasına yönelik diğer alternatifler arasında ise, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve arıtma çamurlarından termal yöntemlerle enerji elde edilmesidir (yakma, gazlaştırma, piroliz vb.). Atıksu arıtma tesislerinde enerji üretimini artırma yönündeki en yaygın uygulama, arıtma çamurundan biyogaz eldesidir. Biyogazdan elde edilen elektrik enerjisi miktarının arttırılması için, gereken temel husus anaerobik çürütücüde elde edilen biyogaz miktarını artırmak ve yüksek dönüşüm verimleri ile çalışan elektrik jeneratörleri kullanmaktır. Bu doğrultuda, son yıllarda gerçekleştirilen araştırmaların, aşağıdaki konular üstünde yoğunlaştığı görülmektedir; (Shi, 2011).

- Ön-yoğunlaştırıcı çamur miktarının arttırılması (gelişmiş birincil arıtım-birincil çamur miktarının arttırılması, ikincil çamur miktarının arttırılması-hızlı aktif çamur sistemleri),
- Anaerobik çürütücü performansının geliştirilmesi/arttırılması,
- Ko-jenerasyon sistemleri ile entegre sistemlerin kullanımı,
- Gaz temizleme sistemlerinin iyileştirilmesi (gazdan yararlanan sistemlerde ekipmanların zarar görmemesi için H_2S gibi bileşiklerin temizlenmesi),
- Özellikle ikincil çamurun bozunma hızının arttırılmasına yönelik ön işlemler/disintegrasyon (biyolojik, fiziksel, kimyasal termal vb. ön işlemler),
- Arıtma çamurunun, atık bitkisel yağlar veya yemek atıkları ile birlikte çürütülmesi (bu sayede elde edilen biyogaz miktarı artarken, ölçek ekonomisinden de yararlanmak mümkün olabilir).

Arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik farklı uygulamaların gerçekleştirilebileceği ve bu uygulamalarla enerji verimliliği sağlanabileceği dünyada yapılan diğer çalışmalarda ifade edilmiştir. Gerçekleştirilen uygulamaya bağlı olarak verimlilik oranları da farklılık göstermektedir. Enerji verimli AAT'lere geçişte uygulanabilecek teknik ve teknolojilere ait yol haritası Şekil 1.5'te ifade edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi enerji verimliliği artışı farklı uygulamalara bağlı olarak %30'dan %50'ye bir kademe olarak, %50'den %80 seviyelerine ise

ikinci bir kademe olarak ön plana çıkmaktadır. Enerji tasarrufu uygulamaları %30'lara kadar tesis içi optimizasyonlarla gerçeklştirilebilirken, %30 sonrası için genellikle tesis içi elektrik enerjisi üretimi, farklı arıtma sistemleri ve çeşitli güç üretim teknolojileri ile bu oran yükseltilebilmektedir.



Şekil 1.5 Enerji pozitif arıtma tesislerine geçişte yol haritası
(Shi, 2011)

2 ENERJİ VERİMLİ ATIKSU ARITMA

Geçmişte atıksulardan besin maddesi giderimine yönelik yürütülmüş çalışmalar, genel olarak besin maddesi giderim veriminin arttırılmasına yönelik olmuştur. Ancak son yıllarda, arıtma tesislerinde kullanılan enerji miktarının azaltılması konusu da gündeme gelmiş, arıtma prosesine olan bakışın bu doğrultuda şekillendirildiği yenilikçi yaklaşımlar ön plana çıkmaya başlamıştır. Atıksuyun enerji kaynağı olarak kullanımı ve atıksudaki organik içeriğin anaerobik prosesler ile metan gazına dönüştürülmesi daha çok kuvvetli atıksu karakterizasyonuna sahip endüstriyel atıksu uygulamaları ile sınırlı kalmıştır. Kentsel atıksulardan anaerobik prosesler ile metan elde edilmesi ise, ön çöktürme çamurunun ve ikincil çamurun çürütülmesi ile sağlanmaya çalışılmıştır. Ancak, ön çöktürme uygulamasından, özellikle atıksudaki azot içeriğinin yüksek ya da karbon içeriğinin görece düşük olduğu atıksularda (bir başka ifadeyle Karbon/Azot oranının düşük olduğu atıksularda), denitrifikasyon prosesinde karbon limitasyonu yaşanmasına ve denitrifikasyon veriminin düşmesine sebep olabildiği için, çoğu zaman kaçınılmış ve özellikle ülkemizde yaygın kullanım imkanı bulamamıştır. Aerobik arıtma sonrası, arıtma çamuruna uygulanan anaerobik çamur çürütme prosesi, atıksuyun enerji potansiyelinin yalnızca bir kısmının kullanılabilmesine imkan tanımaktadır. Bu şekilde, çözünmüş formdaki organik madde içeriğinden enerji elde edilmesi yerine, organik kirleticiler aerobik prosesler ile giderilmekte ve yeni biyokütle ve karbondioksite dönüştürülmektedir. Aerobik prosesler, havalandırma ünitesindeki yüksek miktardaki enerji sarfiyatı nedeniyle, arıtma tesislerinde enerji tüketiminin en yüksek olduğu proseslerdir. Bu yöntemde, anaerobik çürütmede üretilebilecek enerjiden daha fazlası, aerobik arıtma sırasında tüketilmektedir (Mc Carty vd. 2011).

Son yıllarda atıksu arıtma proseslerine olan bakışın, enerji tüketimi eksenli olarak yeniden tartışıldığı ve yenilikçi proseslerin gündeme geldiği araştırmalar artmaktadır. Bu çalışmalar, genel olarak havalandırmada kullanılan enerjinin azaltması ve atıksuda bulunan potansiyel enerjiden metan gazı üretimi ile faydalanılması üstüne kurulmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, atıksu içerisindeki karbon kaynağının en verimli şekilde kullanılması, çamur yaşının kısaltılması ve daha az oksijen kullanımına olanak sağlayan proseslerin kullanımı değerlendirilmektedir.

Bu bölümde, ilk olarak enerji verimli atıksu arıtımı için etkin ön arıtma yöntemleri daha sonra enerji verimli besin maddesi giderimi yöntemleri incelenmiş ve ayrı alt başlık olarak sunulmuştur.

Konvansiyonel biyolojik proseslerde oksijen; (i) Organik maddenin oksidasyonu, (ii) amonyak oksidasyonu (nitrifikasyon) ve (iii) biyolojik fosfor prosesi için gerekmektedir. Havalandırma için gerekli olan enerjinin azaltılması için bu proseslerde kullanılan oksijen ihtiyacının azaltılması ya da tamamen kaldırılması ile sağlanabilir. Örneğin, azot ve fosfor giderimine ihtiyaç duyulmadığı ya da söz konusu besin maddelerinin farklı proseslerle giderilebildiği durumlarda (örn. azot gideriminin yenilikçi proseslerle sağlanması, fosfor için kimyasal yöntemler uygulanması vb.), atıksudaki organik maddenin büyük bir kısmı biyogaz (CH_4) üretimi için anaerobik çürütücülere yönlendirilebilir. Sonuç olarak enerji verimli veya enerji pozitif atıksu arıtma tesisleri, konvansiyonel biyolojik proseslerin değiştirilmesi ve yerini yenilikçi proseslere bırakması ile mümkün olabilir. Son yıllarda, arıtma tesislerinde enerji tüketimini azaltmak amacıyla geliştirilen arıtma prosesleri, atıksuda bulunan organik maddelerin, olabildiğince fazla oranının anaerobik ayrışmaya tabi tutularak aerobik değil de anaerobik olarak arıtılması ve böylece aerobik sistemlerdeki enerji tüketimi üstüne dayalı arıtma yerine, enerji üretimine dayalı anaerobik proseslerin daha etkin kullanılması üstüne kurulmuştur.

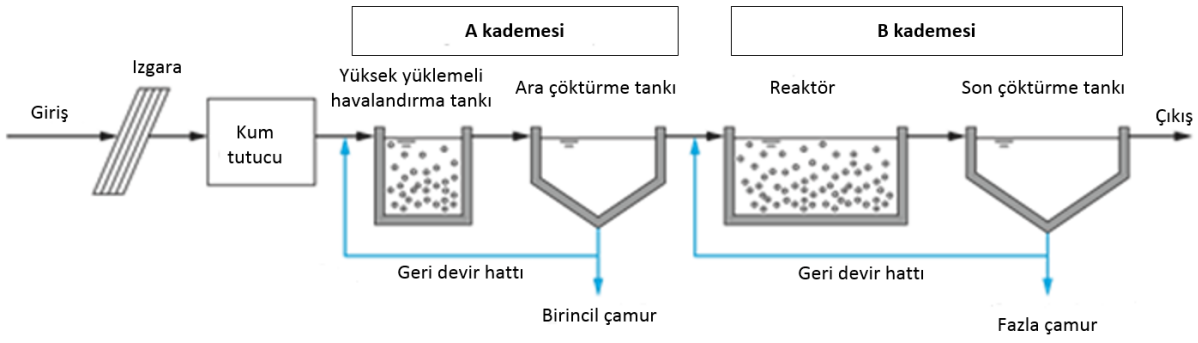
Raporun bu bölümünde, konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinin ön arıtma veya ikincil arıtma ünitelerinden, daha yüksek oranlarda organik maddenin tutulmasını ve çamur çürütücüye iletilebilmesini sağlayabilecek iyileştirmeler (ön çöktürme, kimyasal ön çöktürme, yüksek hızlı aktif çamur sistemi, atıksuyun membranla konsantre edilmesi) hakkında bilgiler verilmiş (Wan vd., 2016), enerji tüketiminin azaltılması amacıyla son yıllarda üstünde çalışılan proses alternatifleri değerlendirilmiştir.

Anaerobik proseslerin kentsel atıksularda daha etkin kullanımı amacıyla gerçekleştirilen yenilikçi çalışmalar, atıksuyun karbon içeriğinin düşmesine ve karbon/azot oranının konvansiyonel besin maddesi giderimi aleyhine seviyelere gerilemesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, enerji tüketimin azaltılmasına yönelik proses değişikliği ve yenilikçi proses uygulamaları aynı zamanda azot giderimi yaklaşımının da değişimini ve yenilikçi bir proses olarak ele alınmasını zorunlu

kılmaktadır. Aşağıda alt başlıklar altında incelenen prosesler değerlendirildiğinde, gerek ön arıtma olarak çöktürme ve kimyasal çöktürmenin uygulanması, gerekse de anaerobik olarak ön arıtma yapılması durumunda, besin maddesi gideriminin verimli ve düşük enerji tüketimi ve maliyetlerle nasıl yapılacağı sorusunu gündeme getirmektedir. Bu nedenle, atıksudaki karbonun maksimum oranda anaerobik olarak metana dönüşümü ve böylece enerji tüketmek yerine, enerji üretmek sağlanırken, entegre edilecek azot giderim yöntemlerinin de detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu çerçevede, Bölüm 3.1'de verilen azot giderim yöntemleri ile bu bölümde yer alan, enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik yenilikçi proses alternatifleri bir arada düşünülmelidir. Nitekim Bölüm 3'te değerlendirilen besin maddesi giderim yöntemleri, gerekse de mevcut sistemlere alternatif olabilecek enerji tüketiminin azaltılmasının hedeflendiği ön arıtma prosesleri bir arada değerlendirilmiş ve ön plana çıkan alternatifler için arıtma şemaları geliştirilmiş, enerji tüketimi, çamur oluşumu ve hacim gereksinimi açısından Bölüm 5'te karşılaştırılmıştır.

2.1 AB Prosesi

Atıksu arıtımında uygulanan ve AB prosesi olarak adlandırılan proses, A ve B kademesi olarak tanımlanan arıtma aşamalarını içermektedir. A kademesinde, yüksek organik yükleme hızında organik madde giderimi yapılmaktadır (yüksek hızlı aktif çamur). B kademesinde ise organik maddelerin yanı sıra, azot ve fosfor gibi besin maddeleri de giderilmektedir. "A", Adsorpsiyonu, "B" ise Biyolojik parçalanma (Biyooksidasyonu) ifade etmektedir. AB prosesi, yüksek organik yükleme yapılarak gerçekleştirildiği için, reaktör hacmi kompakt olabilir. Şekil 2.1'de, bu artıma prosesine ait akış şeması göstermektedir. Aşağıda A ve B prosesleri kısa özetlenmiştir. Ayrıca, Bölüm 2.2.2 ve Bölüm 3'te bu kapsama giren arıtma sistemleri enerji tüketimi açısından değerlendirilmiştir.

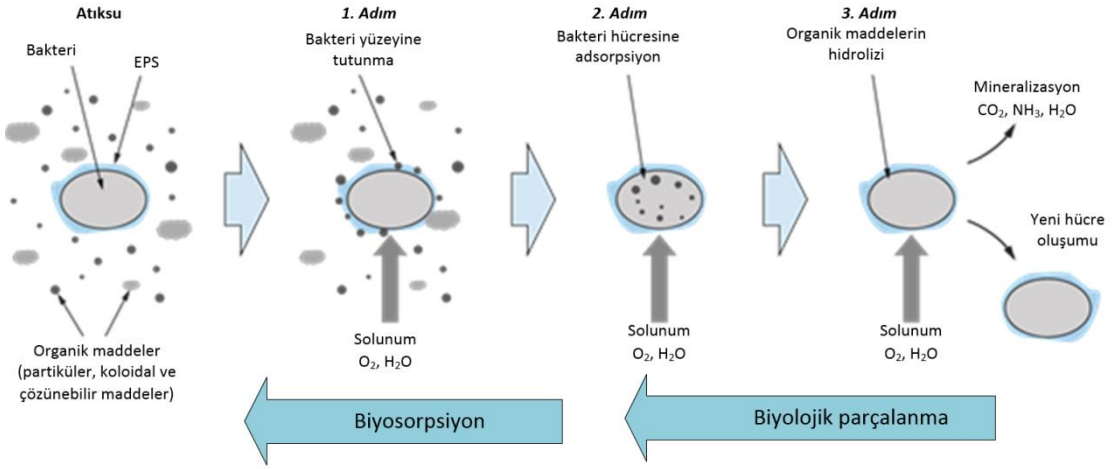


Şekil 2.1 AB prosesine ait akım şeması
(Fukuzaki vd., 2015)

A Kademe

A kademe sistemler, karbonun aerobik ayrışmaya uğramadan olabildiğince ayrılabilmesi ve çürütücüde anaerobik olarak parçalanabilmesinin sağlanabilmesi amacıyla geliştirilmiş sistemlerdir. Literatürde, çok yüksek hızlı aktif çamur sistemleri olarak da isimlendirilmektedir. A kademesi, havalandırma ve ara çöktürme tankından oluşur. Ara çöktürme tankından çöken çamurun bir kısmı, havalandırma tankının başına geri devredilir. Bu durum, konvansiyonel aktif çamur prosesinden oldukça farklıdır. Atıksudaki organik maddeler, bakteriler tarafından ayrıştırılır ve havalandırma tankında Ekstraselüler Polisakkaritler (EPS) tarafından hızla adsorbe edilir. Düşük moleküllü maddeler, daha sonra bakteri hücrelerine alınarak, depolanır. Yüksek moleküllü maddeler ise hücre dışı enzimler tarafından ayrıştırıldıktan sonra bakteri hücrelerine alınarak depolanır. Organik maddelerin bakteri hücrelerinin yüzeyine adsorpsiyonu ve depolanması “biyosorpsiyon” olarak adlandırılır. Daha sonra organik maddeler, oksijen varlığında enzimlerle oksitlenir ve katabolik reaksiyondan enerji üretilir. Üretilen enerji, hücre bölünmesi için kullanılır ve yeni bakteri oluşumu gerçekleşir. Özetle, atıksuda bulunan organik maddelerin bakteriler tarafından, adsorpsiyonu, depolanması ve ardından hidroliz edilerek hücre bölünmesi gerçekleşir (Şekil 2.2). A kademede, organik maddenin adsorpsiyonundan depolanmasına kadar olan reaksiyon süreci, biyosorpsiyon aşamasında durdurulur (Fukuzaki vd. 2015). Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, sadece katı maddeler değil, aynı zamanda kolloidal ve çözünmüş organik maddeler de bakteriler tarafından adsorbe edilebilir. Bu maddeler, birincil

çamur şeklinde sistemden uzaklaştırılır. A-kademesinde organik madde giderim oranı yaklaşık %60'tır. Bir çalışmada, atıksudaki organik maddelerin bileşiminin partikül, kolloidal, çözünür olarak sırasıyla %45, %31 ve %24 olduğu belirtilmiştir. Yani partiküler madde dışında, önemli oranlarda kolloidal ve çözünmüş organik madde ayrımı da sağlanabilir. Biyosorpsiyon aşamasının kontrolü için iki şey önemlidir, bunlar; (i) Organik maddelerin bakterilere teması ve adsorpsiyonu yaklaşık 30 dakika içinde gerçekleşir. Bunun için A-kademesinin havalandırma havuzundaki hidrolik bekletme süresi (HRT) yaklaşık 30 dakikadır. (ii) Çamur yaşı uzun olursa biyolojik parçalanma başlayacağı için, çamur yaşı yaklaşık 0,5 gün gibi kısa sürelerde tutulur. Ayrıca, organik maddenin büyük bir bölümünün oksidasyonunu önlemek için havalandırma oranı daha düşük bir seviyelerde tutulmalıdır. Bu yüzden genel olarak, sistemin oksijen değeri 1 mg/L olarak ayarlanır ve sistem düşük oksijen seviyelerinde işletilir. A kademe sonrasında çökeltme tankında hidrolik bekletme süresi genellikle 1-2 saat arasındadır. Bu süre, konvansiyonel aktif çamur sistemlerindeki ön çöktürmeye göre daha kısadır.



Şekil 2.2 Organik maddelerin bakteriler tarafından parçalanması
(Fukuzaki vd., 2015)

B Kademe

B kademesi, A kademe arıtma sonrasında, kalan organik madde ile birlikte, azot ve fosfor giderimi için tasarlanmış bir aktif çamur prosesidir. Bu kademe, havalandırma ve son çöktürme

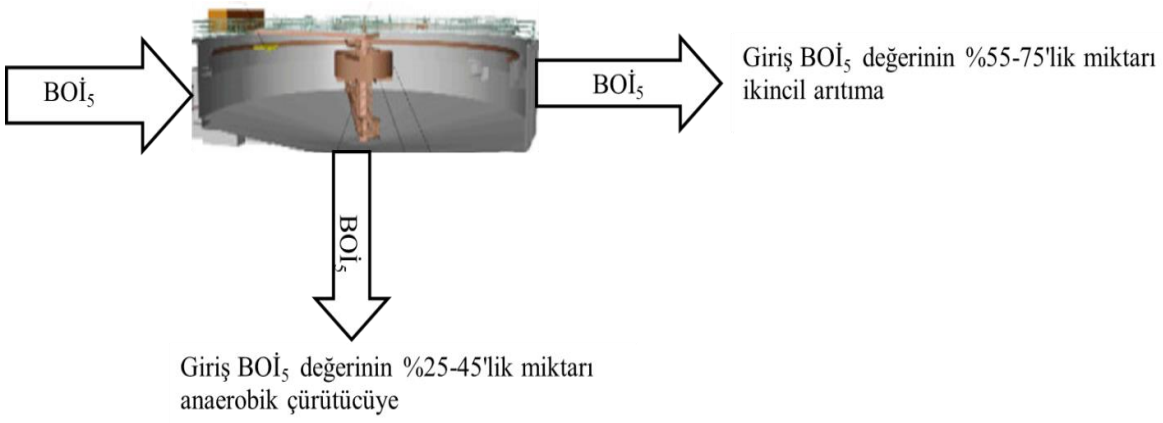
tankından oluşur. Havalandırma tankında HRT 2-5 saat, son çöktürme tankındaki HRT 3-4 saattir. Havalandırma tankında anaerobik ve aerobik bölgeler oluşturularak besi maddesi giderimi sağlanır. A kademesinde, organik madde giderimi fazla olduğunda, denitrifikasyon için yeterli organik madde bulunmamaktadır ve B kademesinde azot giderimi, sınırlı olmaktadır. Bu yüzden, yüksek oranda azot giderimi gerçekleşebilmesi için sistemde yeterli organik madde bulunmalıdır. Fosfor, biyolojik olarak giderilebildiği gibi kimyasalların kullanımı ile koagüle edilir ve fiziksel ve kimyasal olarak bir çamur biçiminde de sistemden uzaklaştırılır. B kademesinde havalandırma, geri devir hattı ve fazla çamur kontrol edilir. Bu kademenin işletme şartları incelendiğinde, çözünmüş oksijen 2 mg/L veya daha düşük ve çamur yaşı 10-20 gün seviyelerinde olduğu görülmektedir (Fukuzaki vd. 2015). Havalandırma tankında kalış süresi uzun olduğu için, oluşan çamurda rotifer, nematod gibi yüksek dereceli organizmalar (metazoo sınıfı) daha fazla görünür. Bunun sonucunda, organizmaların hücre duvarları kalınlaşır ve çamur çürütücüde çamurun ayrışması zorlaşır. Çamur çürütücüde üretilen enerji miktarını arttırmak için çürümesi zor olan çamur hacminin azaltılması gereklidir.

2.2 Organik Maddenin Atıksudan Ayrılıp Geri Kazanımı

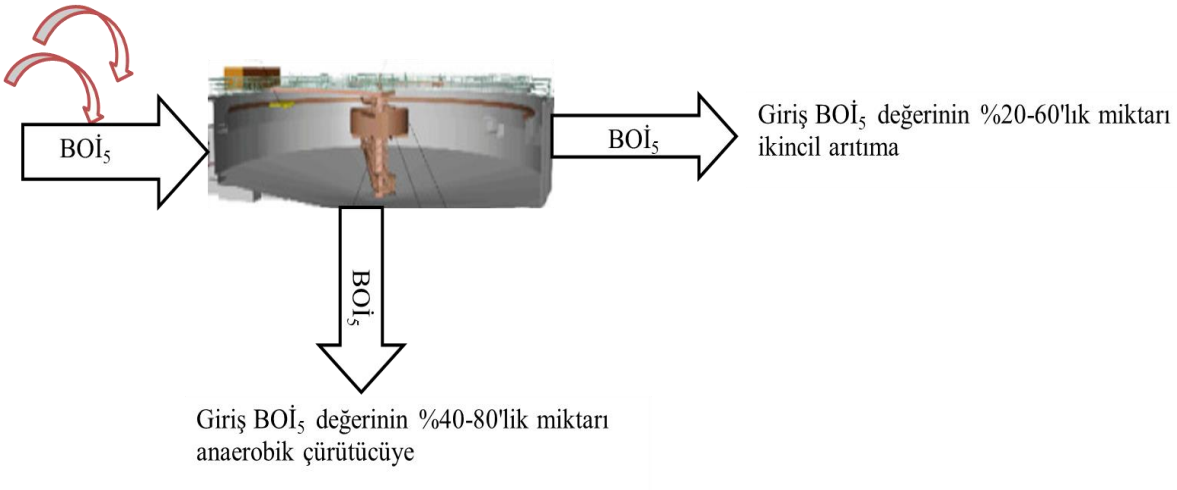
2.2.1 Birincil Çamur Miktarının Arttırılmasına Yönelik Ön Arıtma Prosesleri

Enerji verimli atıksu arıtımında, uygulanacak birincil arıtmanın performansı, enerji üretiminin arttırılması (biyogaz oluşumu) ve tüketilen enerjinin azaltılması (azalan havalandırma ihtiyacı) üzerinde kayda değer ölçüde etkilidir. Konvansiyonel aktif çamur sistemlerinde 1 kg KOİ' nin arıtımı sonucunda, ortalama olarak 0,3-0,5 kg kuru biyokütle üretilmekte ve aerobik biyolojik arıtma sonucunda, bertaraf edilmesi gereken, oldukça fazla miktarda atık çamur oluşmaktadır. Konvansiyonel biyolojik besin giderim sistemlerinde, organik maddenin büyük bir kısmı, biyolojik azot giderim prosesinin ikinci kademesi olan denitrifikasyon prosesinde kullanılmakta ve konvansiyonel yöntemlerle azot giderimi yapılan sistemlerde, karbon limitasyonuna neden olması sebebiyle, genellikle ön çöktürme işleminden kaçınılmaktadır. Bu durum, biyogaz üretiminden kazanılacak enerji üretim potansiyelini de doğal olarak düşürmektedir. Anaerobik çürütücüler ile alakalı gelişen teknolojilere rağmen, biyogaz üretimi sırasında

mikroorganizmaların doğrudan kullanabilecekleri organik madde miktarı, özellikle ikincil çamurun ağırlıklı olması durumunda çoğu zaman yetersizdir ve toplam KOİ veya uçucu katı maddelerin sadece %30-50'si oranında bozunma gerçekleştirilir. Evsel atıksu içerisindeki organik maddelerin ön arıtma ile olabildiğince tutulması ve birincil çamurun doğrudan anaerobik çürütücüye iletilmesi neticesinde, tesis içi enerji tüketiminde azalma sağlanırken, enerji üretim potansiyelinin ciddi oranda yükseleceği ön görülmektedir. Böylece, havalandırma ile alakalı olan enerji kullanımımda azalma olacak ve ayrıca daha az ikincil çamur oluşacaktır. Evsel atıksuda bulunan organik maddenin ayrılması için, partiküler organik maddenin giderilebileceği bir ön çöktürme uygulanabileceği gibi, kolloidal ve bir kısım çözünmüş organik maddenin de ayrılabileceği, kimyasal çöktürmenin de uygulanması mümkündür. Şekil 2.3a'da konvansiyonel bir evsel atıksu arıtma tesisinin ön çöktürme tankında BOİ bazlı kütle dengesi, Şekil 2.3b'de ise kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme durumunda BOİ bazlı kütle dengesi gösterilmektedir. Özetle, konvansiyonel ilk çöktürme tankı ile sadece çökebilen fraksiyonları tutulabilirken, gelişmiş birincil arıtma teknolojileri (örn. kimyasal çöktürme) sayesinde çökebilen bileşenlere ek olarak koloidal partiküller de tutulabilmekte ve anaerobik çürütücüde enerji üretimi amacıyla kullanılabilmektedir (Yingjie vd., 2013).



a)



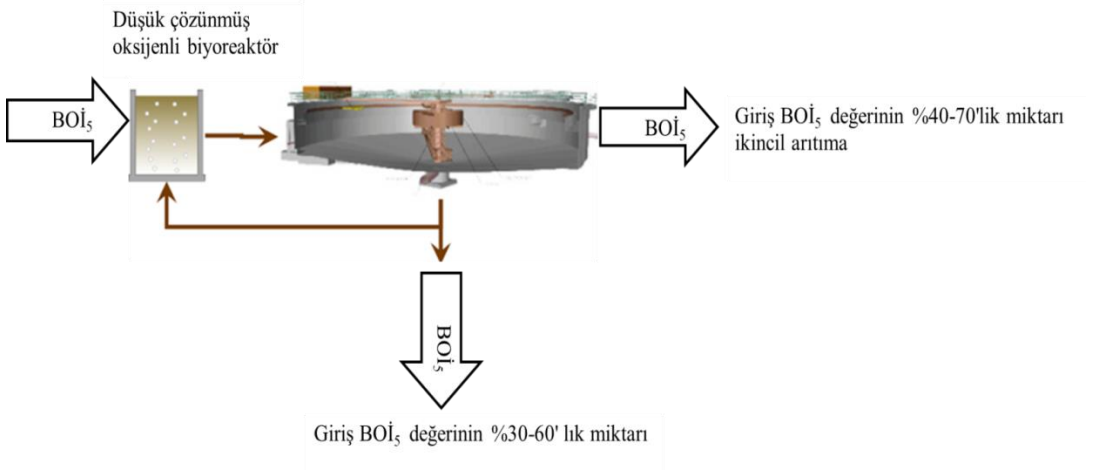
b)

Şekil 2.3 Ön arıtma a) konvansiyonel ön çökeltme, b) kimyasalla zenginleştirilmiş ön çökeltme

2.2.2 Yüksek Hızlı Aktif Çamur Sistemleri İle Karbonun Ayrılması (A Prosesi)

Son yıllarda, içsel solunum fazında ve yüksek oranda parçalanmayla sonuçlanan yüksek çamur yaşlarında işletilen sistemler yerine, çok yüksek hızda çalıştırılan aktif çamur sistemlerin (Şekil 2.4) kullanımına yönelik çalışmalar artmıştır. Bu sistemler aynı zamanda A prosesleri olarak adlandırılmaktadır ve organik maddenin aktif çamur üstüne tutunması ve aynı zamanda adsorpsiyon özelliğinden faydalanılarak partiküler ve bir miktar çözünmüş organik maddenin biyokütle ile birlikte sistemden ayrılması sağlanmaktadır, biyolojik ayrışma çok düşüktür. Prosese ait detaylar ve temel giderim mekanizması Bölüm 2.1'de sunulmuştur. Yüksek hızlı aktif çamur (YHAÇ) sistemlerinde, F/M oranı (besin/mikroorganizma oranı) 2-8 g BOİ/g UAKM.gün gibi yüksek oranlarda tutulabilmekte, böylece yüksek ikincil çamur oluşum oranları sağlanabilmektedir. Organik madde giderimi kısıtlıdır ve biyokütlenin aerobik parçalanması için harcanan oksijen tüketimi, dolayısıyla havalandırma ihtiyacı düşüktür ve konvansiyonel aerobik arıtma sistemlerine kıyasla enerji tüketimi düşüktür. Rotterdam Atıksu Arıtma (Hollanda) Tesisi'nde uygulanan YHAÇ sistemi sayesinde, 1 kg KOİ giderimi için kullanılan oksijen (kg) miktarı 0,6'dan 0,2'ye düşmüştür. Gerçekleşen bu kazanım, çoğu YHAÇ sistemi için tipik bir özelliktir (WREF, 2015). Kısacası, bu sistem sayesinde küçük havalandırma tank hacimlerinde,

daha az miktarda havalandırma enerjisi kullanılarak arıtma gerçekleştirilir. Ancak, sistem ile ilgili olarak düşük kaliteli çıkış suyu, nitrifikasyon için uygunsuz oluşu, işletmede yüksek yükleme akımlarından kaynaklanabilecek aksamalar gibi durumlar söz konusudur (Metcalf &Eddy, 2003). YHAÇ sistemleri, tipik olarak sadece karbon giderimi üstüne kuruludur ve besin maddesi giderimi için çeşitli proseslerle entegre edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. YHAÇ'de oluşan fazla çamur miktarı, tipik bir aktif çamur prosesinde oluşan çamur miktarından fazla olacaktır. Bunun sonucunda da doğal olarak, ikincil çamurun anaerobik olarak çürütülmesi durumunda üretilebilecek enerji miktarının, tipik bir aktif çamur prosesinde oluşacak ikincil çamurun çürütülmesi ile üretilebilecek enerji miktarından fazla olması da söz konusudur (ikincil çamurun anaerobik parçalanabilirliğinin arttırılmasına yönelik ön işlemlere ihtiyaç duyulabilir).



Şekil 2.4 Yüksek hızlı aktif çamur sistemleri (A prosesi)

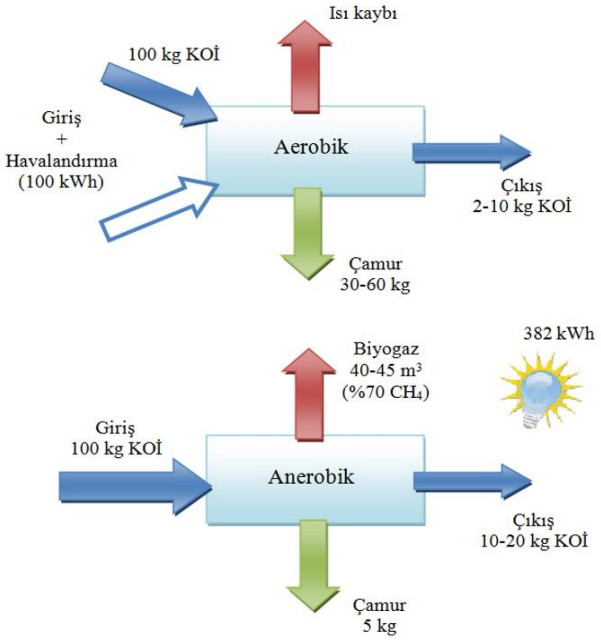
2.2.3 Anaerobik Arıtma (Yukarı Akışlı Çamur Yataklı Anaerobik Reaktör/UASB, Anaerobik Membrane Biyoreaktör/AnMBR)

Anaerobik arıtma teknolojileri enerji verimli evsel atıksu arıtma tesisleri için kullanılabilecek olan etkin ön arıtma metotları arasındandır. Oksijensiz ortamda gerçekleşen anaerobik prosesler sonrasında, aerobik proseslere göre daha az miktarda atık çamur üretilmekte olup, aynı zamanda yenilebilir enerji kaynaklarından olan metan gazı açığa çıkmaktadır. Şekil 2.5 aynı

besleme koşulları çerçevesinde gerçekleştirilen aerobik ve anaerobik proseslere ait KOİ bazlı kütle akışını göstermektedir. Buna göre,

- Aerobik bir sistemde, 100 kg KOİ'nin arıtımı için 100 kWh enerji tüketilirken (havalandırma için), ortalama 30-60 kg çamur oluşacak, buna karşın 2-10 kg KOİ arıtılmış su ile deşarj edilecektir.
- Anerobik bir sistemde ise, 100 kg KOİ'nin arıtımı neticesinde %70'i metan olan 40-45 m^3 biyogaz üretilecek, ortalama 5 kg çamur oluşacak, buna karşın 10-20 kg KOİ arıtılmış su ile deşarj edilecektir.

Görüldüğü üzere, anaerobik arıtma sonrasında, karbon giderim verimi, aerobik sisteme kıyasla daha düşüktür. Ayrıca anaerobik sistemde, besin maddesi gideriminin sağlanamaması, bu proseslerin devamında farklı arıtma teknolojilerinin kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu özellikleri ile anaerobik arıtma sistemleri, kentsel atıksuların arıtımında genellikle ön arıtma alternatifleri arasında değerlendirilmektedir. Son yıllarda, arıtma tesislerinde tüketilen enerji miktarının sorgulanmaya başlanması ile birlikte anaerobik ön arıtma sistemlerinin kullanımı, yeniden gündeme gelmiştir. Kentsel atıksuların, karakterizasyonu ve düşük organik madde içeriği dikkate alındığında, anaerobik arıtma sistemlerinin metan üretim potansiyeli sebebiyle tercih edilmeyeceği açıktır. Kentsel atıksuların arıtımında, anaerobik sistemler, metan üretimi özelliğinden ziyade, alternatifi konumunda olan aerobik sistemlere kıyasla, karbon gideriminin enerji tüketimi olmadan sağlanabilmesi özelliği ile ön plana çıkmaktadır.



Şekil 2.5 Aerobik ve anaerobik proseslerde KOİ bazlı kütle akışı (Shi, 2011).

Yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör (UASB) tasarımı, anaerobik arıtma teknolojileri içerisinde geniş kullanım alanına sahip sistemler arasındadır. UASB sistemi, kentsel atıksuların anaerobik ön arıtımı olarak kullanılabilir. Böylece evsel atıksu içerisindeki KOİ değerinde yaklaşık % 60-80 giderim sağlanabilir ve sonrasındaki aerobik arıtmaya iletilen KOİ yükü ciddi oranlarda azaltılabilir. Yapılan çalışmalar sonucunda, genişletilmiş granül çamur yatak reaktörleri (EGSB) ve anaerobik filtreler gibi sistemleri içeren anaerobik ön arıtma sistemleri içerisinde, yüksek kirlilik yüküne sahip atıksuların düşük enerji ihtiyacı ile arıtılmasına olanak sağlayan en uygun sistemin UASB olduğu belirtilmektedir (Yingjie vd., 2013). Ancak, anaerobik arıtmanın doğrudan atıksuyun ön arıtılması amacıyla uygulanması durumunda, gereken anaerobik reaktör hacmi, ön çöktürme çamuru ve ikincil çamurun çamur çürütücüde parçalanmasına kıyasla daha büyük olacaktır.

Enerji tüketiminin azaltılmasının hedeflendiği bir çalışmada incelenmiş olan hızlı aktif çamur, A/O ve UASB gibi üç farklı ön arıtmayı içeren alternatif proses şemaları aşağıda, Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Buna göre, incelenen proses şemaları;

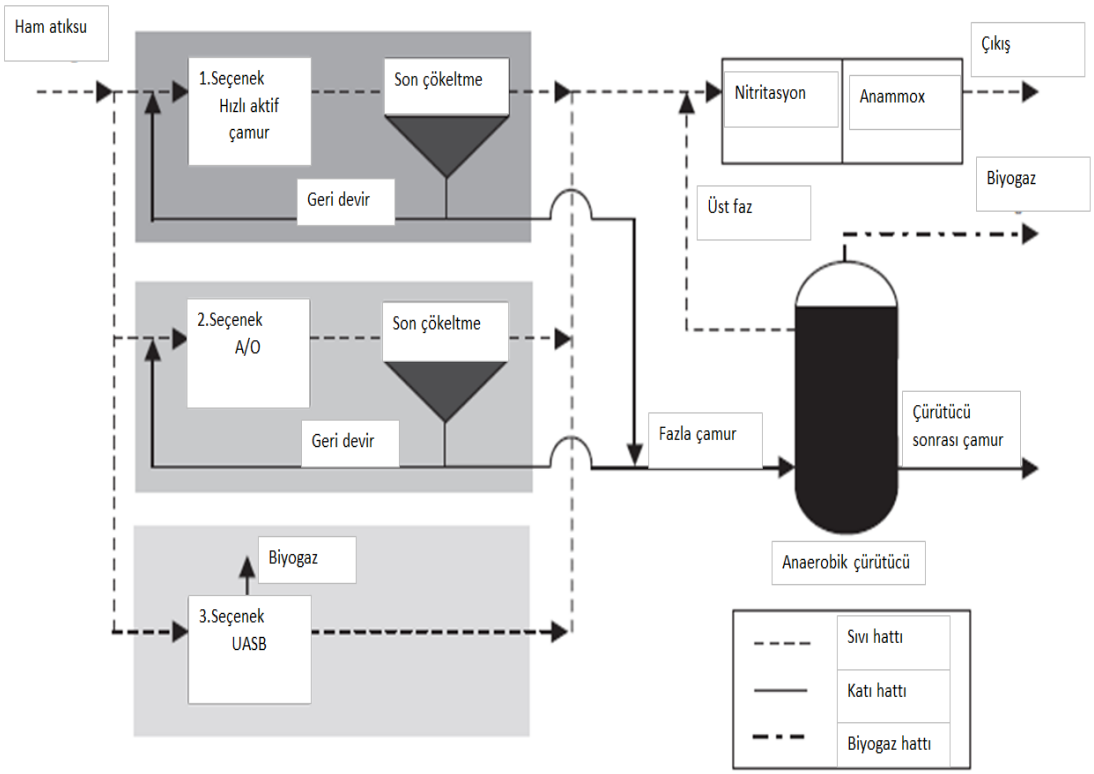
i. Önde hızlı aktif çamur prosesinin kullanımı: Prosesin genel yapısı Strass AAT, Avusturya tesisine ait olan A-B aktif çamur sisteminin A- etap aktif çamur sistemine (HBS ≅ 0,5 saat, ÇBS≅0,5 gün) benzemektedir.

ii. Önde A/O prosesinin kullanımı: A/O prosesi de hızlı aktif çamur prosesidir. Çözülebilen KOİ, fosforu polifosfat (poly-P) olarak depolayabilme kapasitesine sahip olan fosfor depolayan organizmalar (PAO) tarafından anaerobik ortamda açığa çıkan fosfatı kullanırlar. Bu sistemde, konvansiyonel aktif çamur sistemi ile karşılaştırıldığında anaerobik stabilizasyondan dolayı daha az havalandırma ihtiyacı bulunmaktadır ve yaklaşık olarak %30 tasarruf sağlanmaktadır. Sistemde, fosfor içeriği (PHA/PHB ve poly-P) artmış olan atık çamur anaerobik çürütücüye gönderilir ve daha yüksek miktarda biyogaz eldesi sağlanabilmektedir. Ancak, bu sistem ile ilgili pratik tecrübeler ve proses optimizasyonu yeterli değildir.

iii. Önde UASB Reaktörünün kullanımı: UASB reaktörü içerisinde KOİ metana dönüştürülür ki bu esnada reaktör anaerobik çürütücü olarak çalışmaktadır. Bu sayede, altyapı maliyetlerinde önemli ölçüde tasarruf sağlanabilmektedir. Reaktör ile alakalı çözülmesi gereken en önemli konulardan biri UASB reaktörünün çıkışından bir sonraki Nitritasyon-Anammox prosesine iletilen çözünmüş metanın alıcı ortama deşarjı sonucunda sera gazı emisyonuna sebebiyet vermesidir. (Shi, 2011).

Bu şemada yer alan, prosesleri değerlendirmek gerekirse, önemli reaksiyonlar ve öne çıkan hususlar şu şekilde özetlenebilir (i) biyolojik ön arıtma ünitelerinin çıkış suyunun, yüksek oranda amonyak azotu ile arıtma sonunda giderilemeyen partiküler ve çözünmüş KOİ içermesi beklenmektedir. (ii) Çıkış suyunun konsantrasyonuna bağlı olarak, Nitritasyon-Anammox prosesi öncesinde, ayrıca ilave bir KOİ giderimine ihtiyaç duyulabilir. (iii) Atıksudaki amonyak azotunun, Nitritasyon-Anammox prosesi tarafından arıtılması söz konusudur ve amonyak azotu, nitritasyon prosesinde sınırlı oksijen ile kısmi olarak nitrite yükseltgenecektir. Daha sonra, nitrit Anammox

prosesinde başlıca anaerobik koşullar altında otorofik denitrifikasyon sayesinde amonyak azotu ile reaksiyona girecektir (Shi, 2011). (iv) Biyolojik ön arıtma ve Nitritasyon-Anammox proseslerinden gelen atık çamurların, anaerobik çürütücülerde çürütülmesi ve metan üretilmesi ön görülmüştür (burada yer alan iii. Şemada UASB kullanımı ile doğrudan metan üretimi de söz konusudur). (v) Metan gazı üretimi sonrasında elde edilen üst faz, daha sonrasında Nitritasyon-Anammox proseslerine iletilerek amonyak azotu gideriminin sağlanması söz konusudur.

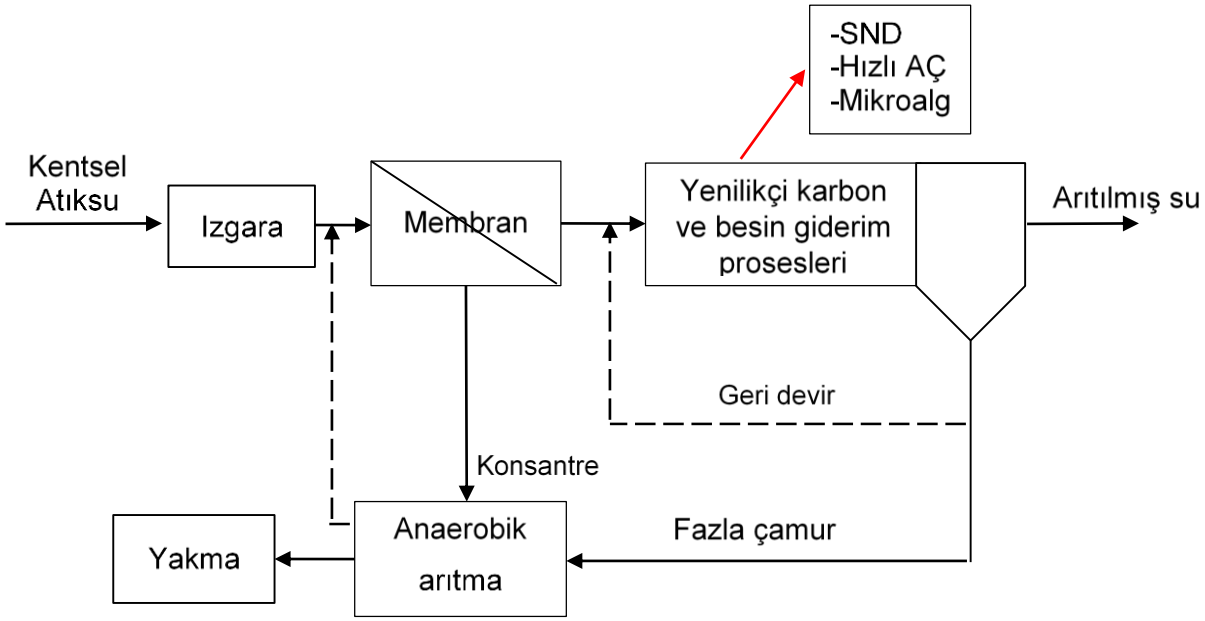


Şekil 2.6 Enerji verimli atıksu arıtma tesislerinde etkin ön arıtma alternatifleri (Shi, 2011).

2.2.4 Atıksuların Membranla Konsantre Edildikten Sonra Anaerobik Olarak Arıtılması

Atıksuların membranla konsantre edildikten sonra anaerobik olarak arıtılması, böylece anaerobik arıtmanın etkinliğinin arttırılması söz konusu olabilir. Bu alternatifte de, anaerobik arıtma

sonrasında, besin maddesi giderimi için ilave bir arıtmaya ihtiyaç olacaktır. Kentsel atıksuyun membranla konsantre edildikten sonra anaerobik olarak arıtılması, yukarıda yer alan alternatiflere kıyasla daha yeni bir yaklaşımdır (Şekil 2.7). Membran teknolojisinin gelişmesi ve maliyetlerin geçmiş yıllara kıyasla görece olarak düşmesi ile son yıllarda üstünde tartışılmaya başlanmıştır. Membran sistemlerin, kentsel atıksuyun konsantre edilmesi için uygulanması alternatifinde karşılaşılabilecek en önemli sorun membran tıkanmasıdır. Bununla birlikte, membran filtrasyonu için gerekecek enerji tüketimi de hassas bir şekilde incelenmeli ve net enerji tüketimi açısından değerlendirilmelidir. Bunun için, pilot ölçekli çalışmalara ve membran tıkanma, akı azalması, geri yıkama ihtiyacı ve sıklığı gibi işletme parametrelerinin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Farklı malzeme ve gözenek açıklığına sahip membranlarda, elde edilecek sonuçların çok farklı olabileceği unutulmamalıdır.



Şekil 2.7 Membranla konsantre etme + anaerobik+besin maddesi giderimi

3 ENERJİ VERİMLİ ATIKSU ARITIMINDA NUTRİENT GİDERİMİ

Evsel kaynaklı atıksulardan azot ve fosfor giderimde, azot için nitrifikasyon-denitrifikasyon, amonyak sıyırma, iyon değiştirme, kırılma noktası klorlaması ve doğal arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Kentsel atıksulardan, besin maddesi giderimi amacıyla en yaygın tercih edilen yöntem konvansiyonel nitrifikasyon-denitrifikasyon proseslerinden birisi olan ön denitrifikasyon sistemidir. Fosfor giderimi için ise metal tuzlarıyla çöktürme, kireçle çöktürme, biyolojik fosfor giderimi, biyolojik-kimyasal fosfor giderimi ve doğal arıtma yöntemlerinden yararlanılır. Biyolojik besin giderimi sistemleri ise, azot ve fosforun birlikte biyolojik olarak giderildiği sistemleri ifade etmektedir. Enerji-nötr veya enerji-pozitif yaklaşımlı atıksu arıtma tesisleri için oksijen tüketimi ile bağlantılı olarak yüksek enerji sarfiyatından dolayı azot giderimi daha çok önem kazanmaktadır. Aşağıda, öncelikle konvansiyonel nitrifikasyon-denitrifikasyon ardından ise azot giderimi için yenilikçi teknolojiler ile ilgili detaylı bilgiler sunulmuştur.

3.1 Konvansiyonel Nitrifikasyon- Denitrifikasyon

Nitrifikasyon: Atıksuda bulunan amonyağın öncelikle nitrit ardından nitrata çevrimini içeren biyolojik bir prosestir. Reaksiyonlar kemootototfların metabolik faaliyetleri ile gerçekleştirilir. Biyokütle sentezi (katabolizm) için gerekli olan enerji kaynağı inorganik azot oksidasyonu sayesinde meydana gelen kimyasal enerji olup, karbon kaynağı inorganik karbon olan CO_2'dir. Aynı zamanda, elektron verici amonyak, elektron alıcısı ise oksijendir. Genel olarak nitrifikasyon, Nitritasyon ve Nitratasyon proseslerini içermektedir ve proseslere ait bilgiler aşağıda belirtilmiştir.

1. Nitritasyon: Amonyumun nitrite oksidasyonu (AOB"amonyak oksitleyen bakteriler" tarafından gerçekleştirilir.)

   $$NH_4+3/2O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O \quad (1)$$

2. Nitratasyon: Nitritin nitrata oksidasyonu (NOB"nitrite oksitleyen bakteriler" tarafından gerçekleştirlir.)

   $$NO_2^- + 1/2O_2 \rightarrow NO_3^- \quad (2)$$

Nitrifikasyon kinetiği birçok faktörden etkilenebilir, bu faktörler ve etkileri aşağıda sunulmuştur;

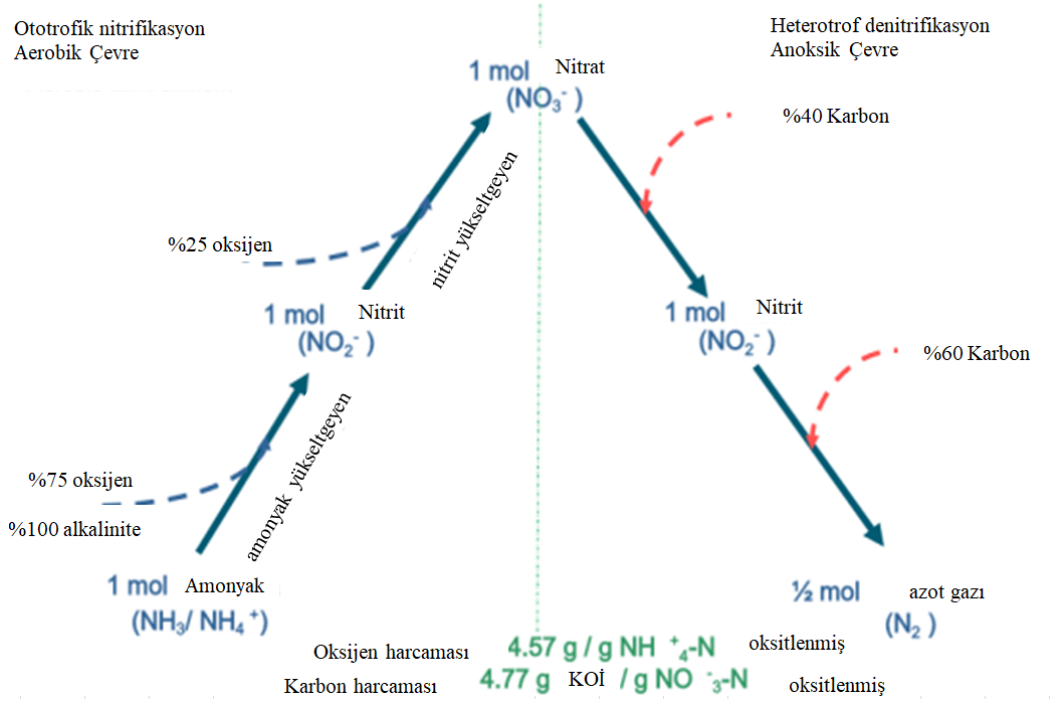
- **pH:** Nitritasyon ve nitratasyon prosesleri için optimum pH değerleri sırasıyla 7,2 ve 8,5'dir. Ancak dikkat edilmesi ve kontrol edilmesi gereken husus, aşama aşama oluşan hidrojen iyonundan dolayı pH değerinin 6' nın altına düşmesidir ki böyle bir durumda reaksiyon durur. Bu problemle, tam nitrifikasyonun sağlandığı, ancak denitrifikasyonun olmadığı ve/veya düşük alkalinite içeren atıksularda karşılaşılması muhtemeldir.
- **Alkalinite:** Amonyumun oksitlenmesi esnasında ortaya çıkan hidrojen iyonları ve aynı zamanda meydana gelen nitröz asidi (HNO_2) alkalinite tüketimine sebebiyet vermektedir. Bundan dolayı, reaksiyon için alkalinite seviyesinin devamlılığı oldukça önemlidir.
- **Çözünmüş oksijen:** Literatürde, yüksek verimde nitrifikasyon sağlanabilmesi için gerekli olan oksijen miktarı 2-3 mg/L sağlanması gerektiği belirtilmektedir.
- **Sıcaklık:** Sıcaklık nitrifikasyon bakterilerinin hassas olduğu parametrelerden birisidir. Nitrifikasyon için optimum sıcaklık değeri, 30° civarında olarak belirtilmekle birlikte, düşük sıcaklık değerlerinde uygun çamur yaşı ile nitrifikasyon prosesinin sağlanması mümkündür.
- **Ağır metaller ve organik maddeler:** Ağır metallerin örneğin Zn^{2+}, Cd^{2+}, Cr^{3+} ve Pb^{2+} bulunması reaksiyon için kısıtlayıcı etken olabilir.

Denitrifikasyon: Genel olarak, nitratın azot gazına çevrilme süreci olan bu biyolojik proses heterotrof fakültatif anaerobik mikroorganizmalar tarafından yönetilir. Bu mikroorganizmalar, azot salan (N_2 gazı üretimi) bakteriler olarak adlandırılır ve karbon ve enerji kaynağı olarak organik maddeleri kullanılırlar. *Achromobacter, Micrococcus ve Pseudomonas*, bu bakteriler arasında en çok bilinenlerdir. Bununla beraber, bu bakteriler hakkındaki önemli husulardan biri metabolik aktiviteleri ve organik maddelerin oksidasyonu için ya oksijen ya da nitrat kullanabiliyor olmalarıdır. Eğer ki ortamda oksijen ve nitrat eş zamanlı olarak kullanılabilir halde ise, bu bakteriler daha az metabolik enerjinin tüketileceği oksijeni tercih ederler. Bu yüzden, ortamdaki çözünmüş oksijen miktarı düşük seviyelerde tutulmalıdır. Denitrifikasyon verimini etkileyen başlıca faktörler aşağıda belirtilmiştir.

- **pH:** Denitrifikasyon için optimum pH aralığı 7 ile 8,5 arasındadır. Değerin 6' nın altına düşmesi durumunda denitrifikasyon prosesi önemli oranda olumsuz etkilenmektedir.

- **Çözünmüş oksijen:** Çözünmüş oksijen ile denitrifikasyon verimi arasında ters orantı vardır. Çözünmüş oksijen miktarı ortamda 0,3-0,5 mg/l' dan fazla olmamalıdır. Üstüne çıktığı durumda, denirifikasyonu gerçekleştirilen bakteriler elektron alıcısı olarak nitrat yerine oksijeni tercih edecektir.
- **Sıcaklık:** Genel olarak, denitrifikasyon bakterileri sıcaklığa nitrifikasyon bakterileri kadar hassas değildir, düşük sıcaklıklarda dahi yüksek verimde denitrifikasyon sağlanabilir.
- **Ağır metaller ve organik maddeler:** Sıcaklık parametresine benzer şekilde, denitrifikasyon bakterileri, nitrifikasyon bakterilerine göre toksik etkenlere karşı daha toleranslıdır.

Kısaca, denitrifikasyon için nitratın varlığı, çözünmüş oksijen olmaması, fakültatif biyokütle ve ayrışabilir organik madde gerekmektedir. Şekil 3.1 şematik olarak konvansiyonel nitrifikasyon-denitrifkasyon prosesini göstermektedir.



Şekil 3.1 Konvansiyonel nitrifikasyon denitrifikasyon

Konvansiyonel nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesi, bilinen ve uzun yıllardır uygulanan proses olmasının yanında, temelde iki yönüyle ön plana çıkmaktadır. Bunlar;

- Sağlamış oldukları stabilite: Azot giderim veriminin değişkenlerden görece olarak az etkilenmesi ve/veya kısa sürede performansın toparlanma özelliği,
- Yüksek azot giderim verimi: Çamur yaşı kontrol edilerek tam nitrifikasyonun sağlanabilmesi, geri devir oranının ayarlanarak yüksek oranda denitrifikasyon (nitratın azot gazına dönüştürülebilmesi) sağlanabilmesi ve sonuç olarak yüksek verimlerde azot giderimine ulaşlabilmesi.

Son yıllarda, nitrifikasyon bakterilerinin, atıksularda bulunan çeşitli ilaç ve mikrokirletici gideriminde rol aldıklarını gösteren ve nitrifikasyon yapan sistemlerde giderim verimlerinin nitrifikasyon yapmayan sistemlere kıyasla yüksek olduğunu gösteren çalışmalar da mevcuttur (Stadler, 2016). Buna karşın, konvansiyonel nitrifikasyon ve denitrifikasyon sistemlerinde karşılaşılan problemler ve dezavantajları şu şekilde sıralanabilir (Salmistraro, 2015).

- Yüksek enerji ihtiyacı,
- Harici karbon kaynağına ihtiyaç duyulması (genellikle metanol),
- Yüksek azot konsantrasyonuna veya düşük C/N oranına sahip atıksuların arıtımına dair zorluklar,
- Nispeten yüksek miktarda çamur oluşumu'dur.

Konvansiyonel nitrifikasyon ve denitrifikasyon uygulamaları: Konvansiyonel nitrifikasyon ve denitrifikasyon uygulamalarında, askıda ve bağlı büyüme olmak üzere iki farklı uygulama söz konusu olabilir. Askıda büyüme ile gerçekleştirilen uygulamalar: "Atıksudaki organik maddelerin gazlara ve yeni hücrelere dönüşmesinde, atıksu içerisinde askıda halde bulunan mikroorganizmaların sorumlu olduğu biyolojik arıtma sistemleri" ni ifade etmektedir (Trajanowicz vd., 2016). Askıda büyüme ile gerçekleştirilen konvansiyonel nitrifikasyon ve denitrifikasyon uygulamaları, ayrı ve birleşik sistem olmak üzere temelde iki ayrı konfigürasyon olarak uygulanmaktadır.

- Ayrık sistem: Nitirifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri farklı reaktörlerde meydana gelmektedir. Bu sistemler için iki ayrı reaktör kurulması gerekmekte olup, yatırım

maliyetleri, duruma göre ilave terfi maliyetleri ortaya çıkabilmekte, maliyetler yüksek olabilmektedir.

- Birleşik sistem: Nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri aynı reaktör içerisinde gerçekleşmektedir.

Bağlı büyüme ile gerçekleştirilen uygulamalar: “Atıksudaki organik maddelerin gazlara ve yeni hücrelere dönüşmesinde, taş, seramik, plastik vb. gibi maddelere bağlı olarak bulunan mikroorganizmaların görev aldığı biyolojik arıtma sistemleri” ni ifade etmektedir (Trajanowicz vd., 2016). Bu sistemler, askıda büyüme ile gerçekleştirilen sistemlere göre daha az yer kaplar ve daha az enerji harcarlar. Sıcaklığın düşük olduğu yerleşim yerlerinde, kapasite arttırımı söz konusu olduğunda bağlı büyüyen sistemlerin daha fazla tercih edildiği görülmektedir. Bağlı büyüme ile gerçekleştirilen uygulamalara, daha çok küçük ve orta büyüklükteki tesislerde uygulamalarına rastlanmaktadır. Biyofilm malzemesini karıştırmak ve/veya havalandırmak, bu sistemlerde karşılaşılabilen sorunlar arasındadır. Etkin havalandırmanın sağlanamaması durumunda, verimin düşmesi ile birlikte, karşılaşılması muhtemel koku problemleri, bu sistemlerin dezavantajları arasında yer almaktadır (Salmistraro, 2015). Geçmiş yıllarda, kullanılan damlatmalı filtrelerin yerini, daha hafif ve yüzey alanı geniş biyofilm malzemelerinin aldığı görülmektedir.

3.2 Aktif Çamur Sistemlerinin Düşük Oksijen Konsantrasyonlarında İşletilmesi - Eş Zamanlı Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon (SND)

Atıksuların arıtılmasında, organik maddelerin karbondioksit ve biyokütleye dönüştürüldüğü konvansiyonel aktif çamur sistemleri 100 yıldan daha fazla süredir kullanılmaktadır. Bu süreçte aktif çamur sistemleri nütrient giderimi amacıyla farklı şekillerde de modifiye edilmiştir. Bu yenilikçi ve modifiye yaklaşımlar nütrient giderimi için daha sürdürülebilir ve ekonomik yaklaşımları da beraberinde getirmiştir. Fakat son dönemlerde Konvansiyonel Aktif Çamur (KAS) prosesleri yüksek enerji tüketimleri sebebi ile dikkat çekmekte ve daha düşük enerji tüketen proseslere ve optimizasyonlara yönelim artmaktadır. Ülkelerdeki enerji tüketimleri izlendiğinde bu durum daha net ortaya çıkmaktadır. Örneğin; ABD'de yıllık elektrik enerjisi tüketiminin %3'ü

Atıksu Arıtma Tesislerinde (AAT) gerçekleşmektedir (Wan vd., 2016). AAT'lerde enerjinin yarıdan fazlasının KAS tesislerinde havalandırma amacıyla tüketildiği, sürdürülebilir enerji tasarrufu sağlamak ve nütrient deşarj kriterlerine uyum amacıyla AAT'lerin düşük ÇO seviyelerinde havalandırma kontrolü uygulamaya yöneldiği belirtilmiştir. ABD'de AAT'ler 2011 yılında 30 terawatt-saat elektrik enerjisi tüketmiş ve bu enerjinin yarısından fazlası KAS'larda havalandırma amacıyla sarf edilmiştir (Stadler vd., 2016)

AAT'lerde kullanılan enerjinin bir şekilde fosil yakıtlar vasıtasıyla karşılandığı da ayrı bir tartışma konusu olarak gündeme gelmiştir. Bu aynı zamanda küresel ısınma ile de dolaylı olarak bağlantılıdır. Örneğin Çin'de atıksu arıtma tesislerini işletmek için harcanan elektrik enerjisinden kaynaklı 114 milyon ton karbondioksit emisyonu oluştuğu ifade edilmektedir. Ayrıca, atıksu arıtma tesislerinde organik ve azotlu maddelerin dönüşümleri sırasında sera gazına katkıda bulunan, metan, nitröz oksit salınmaktadır. Bu sebeplerle AAT'ler gelecek için hem enerji açısından hem de küresel ısınma açısından üzerinde durulması gereken ve enerji tüketiminin azaltılması gereken bir alan olarak ön plana çıkmaktadır (Wan vd., 2016).

AAT'lerdeki enerji tüketiminin azaltılması amacıyla yenilikçi proseslerin geliştirilmesi ve uygulanması küresel olarak önem arz eden bir konudur. İdeal olarak atıksulardaki organik maddeler biyolojik arıtma ile çamur haline dönüşmeden önce mümkün olduğunca doğrudan anaerobik parçalama işlemine tabi tutulmalıdır. Böylesi yaklaşımlarla, enerji üretimi, havalandırmanın azaltılması ile enerji tasarrufu ve daha az çamur üretimi gibi avantajlar sağlanabilir (Wan vd., 2016).

Bu gelişmelerle birlikte günümüzde AAT'ler artık atıksu arıtan ve atık üreten bir uygulama yerine enerji ve değerli minerallerin kazanıldığı noktalar olarak ön plana çıkmaktadır. KAS'larda mevcut şartlarda enerji tüketimi arıtılan atıksuyun m^3'ü başına ortalama 0,45 kwh olarak ifade edilmiştir. Bu rakam 1620 kj/m^3'e denk gelmektedir. Tipik bir evsel atıksuda KOİ seviyesi 500 mg/L'dir. Bu sebeple, KAS'larda enerji tüketiminin 1620 kj m^3/500 g KOİ = *3,2 kj/g KOİ* olduğu tahmin edilmektedir (Wan vd., 2016).

Son yıllarda KAS'larda, özellikle havalandırma havuzlarında ön plana çıkan enerji tüketimleri sebebi ile mevcut tesislerde tüketilen enerji miktarını azaltmak için proses optimizasyonları ve yenilikçi teknolojilerin değerlendirilme olanaklarını gündeme gelmiştir. Enerji tüketiminin azaltılmasının yanı sıra, gittikçe sıkılaşan nütrient deşarj limitleri de, arıtılan atıksularda nütrient konsantrasyonlarının azaltılmasını gerekli kılmaktadır. Bu sebeplerle AAT'ler, teknoloji değişiminden ziyade, öncelikli olarak mevcut proseslerde iyileştirme yönünde uygulamalara yönelmişler, bunun sonucu olarak da enerji tasarrufu ve nütrient giderimi üzerine birçok literatür çalışması yayınlanmaya başlamıştır. Bu çalışmalardan en yaygın olanı ise düşük oksijen konsantrasyonlarında Eş Zamanlı Nütrient Giderimi (SND) çalışmalarıdır. Başlangıçta eş zamanlı nütrient giderim prosesi tek bir tankta hem nitrifikasyon hem de denitrifikasyonun gerçekleşmesi olarak tanımlansa da (Metcalf and Eddy, 2002), sonraki çalışmalarda SND prosesinde farklı oksijen konsantrasyonlarının nütrient giderim performanslarını etkilediği ortaya koyulmuştur. Buradan yola çıkarak laboratuvar, pilot ve gerçek ölçekte çalışma sayıları artmaya başlamıştır. AAT'lerde tüketilen enerjinin %60'a yakınının havalandırma için kullanıldığı düşünülürse (Shi, 2011), bu proseslerde düşük oksijen konsantrasyonlarında SND prosesi ile yapılacak enerji tasarrufları ve nütrient giderimleri ile önemli kazanımların elde edilebileceği oldukça açıktır.

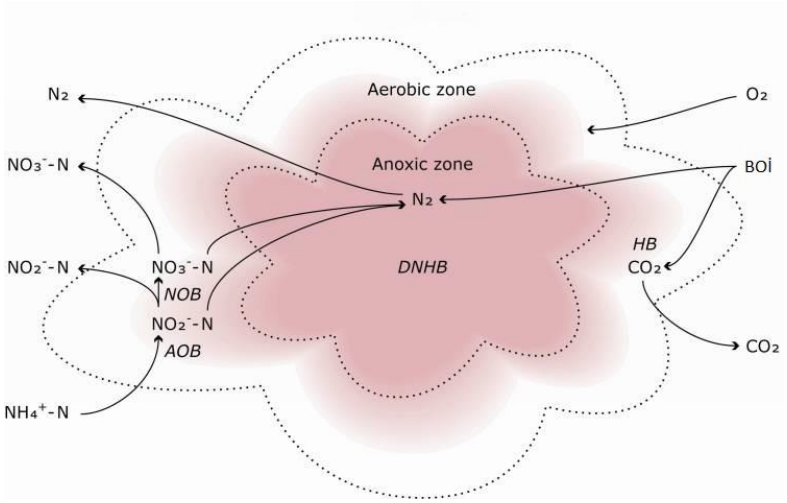
Nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri eş zamanlı olarak bir aerobik reaktör içerisinde gerçekleşir. Bu yöntemde hiçbir ek karbon ve alkalinite ihtiyacı olmaksızın azot giderim verimi %80 ile %96 arasında gerçekleşebilmektedir (Magdum vd., 2017). Askıda büyüyen eş zamanlı nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri genellikle aşağıdaki verilen ortak özellikleri gösterirler (Daigger ve Littleton, 2014).

- Çamur yaşı nitrifikasyon için gerekli minimum süreden fazladır.
- Oksijen transfer sistemi uniform olmayan hidrolik koşulları oluşturmaktadır.
- Prosese oksijen girişini kontrol etmek için sistemler mevcuttur.

Eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon genellikle uzun çamur yaşına sahip oksidasyon hendeği sistemlerinde gözlenmiştir. Bunun nedeni, bu sistemlerde nitrifikasyonun gerçekleşmesi için

yeterli sürenin olması ve yetersiz oksijen koşullarının oluşması ile azot giderimi ve fosfor giderimi için gerekli koşulların kendiliğinden ortaya çıkmasıdır. Eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesinin oksijen girişinin kontrollü ve sınırlandırılmış olduğu askıda büyüyen sistemlerde gerçekleştiği gözlenmiştir. Oksijen, denitrifikasyon prosesinin de gerçekleşmesini sağlayacak kadar sınırlandırılmış koşullar altında, nitrifikasyon prosesi için yeterli olacak miktarda sisteme verilir. Oksijen transferinin kontrolü sıvı fazda ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonu ile sağlanmaktadır. Ayrıca yükseltgenme-indirgenme potansiyeli (ORP), diğer besi maddelerin ölçümü ile de kontrol edilebilir (Daigger ve Littleton, 2014).

Yapılan çalışmalara göre, karbon miktarı, flok boyutu ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu SND prosesini etkileyen faktörler arasındadır. Denitrifikasyon prosesinin tatmin edici bir şekilde tamamlanabilmesi için organik karbon çok önemlidir ve bunun için KOİ/N oranı 3,5-4,5 aralığında olmalıdır. Flok boyutu konusunda ise, boyutun 80 μm'den büyük olması durumunda flok merkezine yakın anoksik bölgenin gelişiminden dolayı (Şekil 3.2) SND prosesi için olumlu olduğu söylenebilmektedir (Trivedi, 2009).



Şekil 3.2 Aktif çamur floğunda SND'nin şematik diyagramı
(Beylier vd., 2011).

SND verimini etkileyen bir diğer faktör ise çamur yaşıdır. Hava akımı kontrol mekanizmalarına ek olarak, çamur yaşı dikkate alındığında, farklı sıcaklık değerlerinde SND prosesine ait önerilen

minimum nitrifikasyon çamur yaşı ve denitrifikasyon hızı Tablo 3.1'de sunulmuştur (Trivedi, 2009).

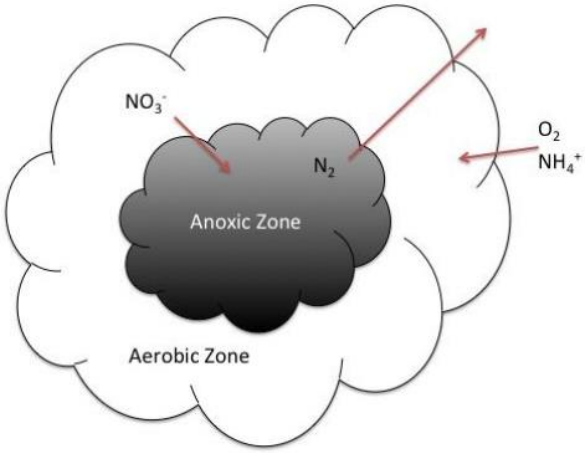
Tablo 3.1 SND için çamur yaşı ihtiyaçları
(Trivedi, 2009)

İşletme Sıcaklığı (◦C)	Minimum nitrifikasyon çamur yaşı (gün)	Denitrifikasyon hızı (lb nitrat-N/lb UAKM-gün)
10	10	0,054
15	6	0,066
20	4	0,108
25	4	0,186

SND ve düşük ÇO şartlarında işletim konusunda merak edilen ve araştırılan konulardan en öne çıkanı, bu prosesin kinetiğinin anlaşılması üzerine olmuştur. Sager (2016) yaptığı çalışmada SND'nin meydana gelmesi ile ilgili birçok teori olduğunu ifade etmiştir. Fakat çalışmada, literatürün SND'nin flok içinde farklı bölgelerde mi, reaktör içerisinde mi, sıra dışı mikroorganizmalar veya iki mikroorganizmanın kombinasyonu ile mi gerçekleştiği konusunda tatmin edici sonuçlar göstermediği belirtilmiştir. SND'nin avantajlarının %80-96 oranında azot giderimi, enerji, kimyasal, ekipman ihtiyacının azalmasının sağlanması olarak ifade edilmiştir. SND, spesifik olarak oksijen gereksinimi azaltmakta, aerobik/anoksik bölgelere ihtiyaç duymamakta, iç resirkülasyonlar, ek karbon ve alkanite gerektirmemektedir. Avantajlarına rağmen SND'nin dezavantajları: kinetiğinin tam olarak anlaşılmamasının yanı sıra, SND nin performansını etkileyen faktörler arasındaki bağlantıların net olarak ortaya koyulamamasıdır. Literatürde SND'nin mekanizmaları şu şekilde sıralanmaktadır (Sager, 2016).

- Floğun dışındaki oksijen tüketiminin sebep olduğu çamur flokları içinde mikroskobik anoksik ve aerobik bölgelerin varlığı veya anoksik mikro ortamlar (Şekil 3.3)
- Aerobik denitrifikasyon
- Shortcut denitrifikasyon (denitrifikasyonun nitrat yerine nitrit ile yapılması)
- Reaktörde aerobik ve anoksik bölgelerin varlığı veya makro ortamın varlığı

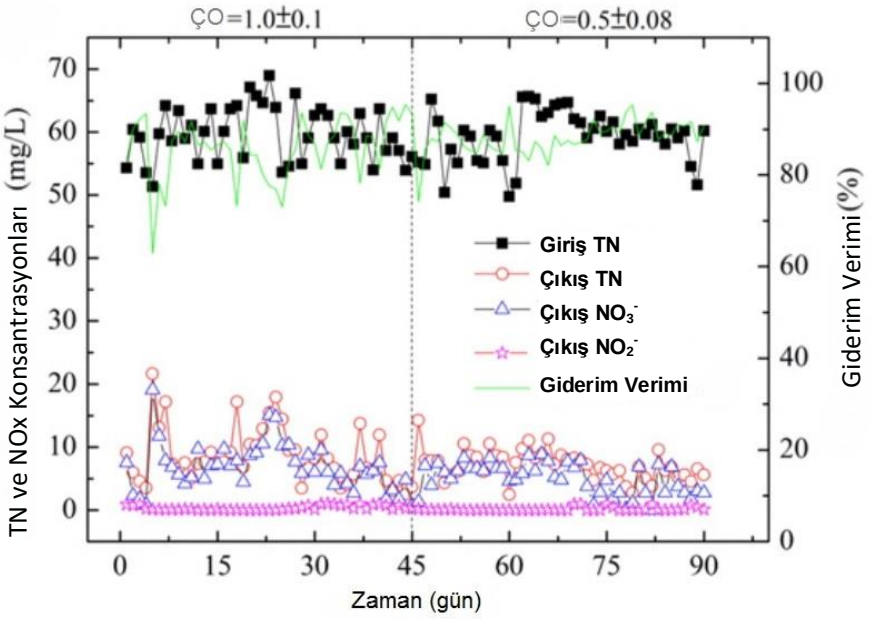
- Yeni mikroorganizmaların varlığı (Sager, 2016).



Şekil 3.3 SND'nin kavramsal şeması
(Sager, 2016)

Bu konuda Çin'de yapılan bir çalışmada aktif çamur sisteminde düşük oksijen konsantrasyonlarında havalandırma optimizasyonu ile nitrifikasyonun kinetiği üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çin Deşarj Kriterlerini dikkate alan bu çalışmada, küçük ölçekli testlerde farklı ÇO seviyelerinde nitrifikasyonun büyüme kinetiği parametreleri belirlenmiştir. Sonuçlar, aktif çamur sisteminin ÇO seviyeleri 0,3 mg/L iken deşarj kriterlerini karşılayabildiği belirlenmiştir. Ayrıca düşük ÇO seviyelerine adapte olmuş/büyümüş nitrifikasyon bakterileri yüksek ÇO seviyelerinde büyüyen bakteri topluluklarından daha yüksek oksijen afinitesine sahip olmuştur. Çalışmada reaktör 1 mg/L ÇO seviyesinde 45 gün işletilmiştir. Giriş KOİ değeri 250-400 mg/L, NH_4-N değeri 45-60 mg/L, çıkış KOİ değeri <50 mg/L olarak belirlenmiştir. Hem 0,5 hem de 1 mg/L ÇO seviyelerinde KOİ giderim verimi >%85 tespit edilmiştir. ÇO 1'den 0,5'e düşmesi KOİ giderim verimini etkilememiştir. Fakat ÇO 0,5'e düşürüldüğünde çıkış NH_4-N konsantrasyonu artış göstermiştir. Fakat işletimden birkaç gün sonra NH_4-N konsantrasyonu yine 0,5 mg/L seviyelerine inmiştir. Bu durum nitrifikasyonun adım adım geri kazanıldığına işaret etmiştir. TN gideriminde başlangıçta giderim verimi daha az stabil olmuştur. Fakat ÇO seviyesi 0,5 mg/L düştüğünde TN konsantrasyonu 10 mg/L civarına düşmüştür. Yüksek ve düşük ÇO'da ortalama

TN giderimi sırasıyla %85,5 ve %88 olmuştur (Şekil 3.4). Elde edilen sonuçlara göre, enerji tasarrufu amacı ile uzun süreli işletimlerde ÇO konsantrasyonunu çok düşük seviyelere adım adım indirilebileceği ifade edilmiştir (Fan vd., 2017a)



Şekil 3.4 İşletim süresince farklı ÇO şartlarında TN ve NOx giderim verimleri (Fan vd., 2017)

Son yıllarda, aktif çamur sistemlerinde düşük oksijen konsantrasyonlarında eş zamanlı nütrient giderim performansları değerlendirilirken, bu prosesi etkileyen faktörler, prosesin farklı parametrelerdeki giderim verimleri, bakteri toplulukları üzerine etkileri, ekipman değişimlerinin etkileri gibi konular üzerine araştırmalar devam etmektedir. Bu kapsamda yapılmış bazı çalışmalar ve elde edilen sonuçlar, bu bölümde literatür taraması şeklinde verilmiştir.

SND sistemlerinde amonyum, nitrat ve nitrit oksitleyen bakterilerin rolleri oldukça önemlidir. Tam nitrifikasyon veya denitrifikasyon için bu bakterilerin performansları da ayrı bir yer tutmaktadır. Bu sebeple, ÇO konsantrasyonunun bu bakteri toplulukları üzerine etkilerini araştıran çalışmalar yapılmıştır. Park ve Noguera (2004) çalışmalarında aktif çamur sistemlerinde amonyum oksitleyen bakteriler üzerinde Çözünmüş Oksijenin (ÇO) etkisini incelemişlerdir. Çalışmada,

laboratuvar ve gerçek ölçekte Amonyum Oksitleyen Bakteriler (AOB) üzerine ÇO'nun etkisi filogenetik karşılaştırma ile amoA geni kullanılarak değerlendirilmiştir. Laboratuvar şartlarında iki kemostat (kararlı durumdaki koşullar altında besinleri sınırlandırılmış mikroorganizmaların büyüme özelliklerini tanımlamak için kullanılan bir sürekli kültür cihazı) aynı kaynaktan aktif çamur ile ekilmiştir. Bu sistem 8,5 mg/L ÇO ve düşük ÇO konsantrasyonlarında (0,24 ve 0,12 mg/L) 300 gün izlenmiştir. Yüksek oksijen konsantrasyonlarında %91 nitrifikasyon sağlanmıştır. Fakat düşük ÇO konsantrasyonlarında başlangıçta tam nitrifikasyon başarılamamıştır. Çünkü ekilen çamur nitrifikasyon için AOB'yi yeterli seviyede aktive edememiştir (0,24 mg/L ÇO). Tam nitrifikasyon ise 36 gün civarında gerçekleşmiştir. İlginç bir şekilde bu dönem süresince nitrit birikmemiştir. Bu durum düşük ÇO seviyelerinde amonyağın nitrite oksidasyonunun sınırlayıcı kademe olduğunu düşündürmektedir. Sonuç olarak başlangıçta nitrifikasyonda geçici bir azalma gözlenirken daha sonra bu durum tam nitrifikasyona dönmüştür (Park ve Noguera, 2004).

Yine benzer şekilde Liu ve Wang (2013) çalışmalarında aktif çamur sistemlerinde uzun dönemli düşük ÇO konsantrasyonlarının nitrifikasyon yapan bakteriler üzerine etkilerini araştırmışlardır. Sonuçlar, 10 ve 40 gün çamur yaşlarında, sırasıyla 0,37 ve 0,16 mg/L ÇO seviyelerinde uzun dönemli işletim sonucunda tam nitrifikasyon gerçekleştiğini göstermiştir. Uzun dönemli düşük ÇO şartlarında, nitrit oksitleyen bakteriler amonyum oksitleyen bakterilere göre daha fazla rekabet üstünlüğü kazanmıştır. Bunun sonucu olarak da nitrit birikimi gözlenmemiştir. PCR ölçümleri, uzun dönemli düşük ÇO şartlarının hem amonyum oksitleyen bakterileri hem de nitrit oksitleyen bakterilerin aktif çamurda zenginleştiğini göstermiştir. Nitrifikasyon yapan bakterilerin değişmesi ve zenginleşmesi nitrifikasyon üzerine düşük ÇO'nun olumsuz etkisini azaltmıştır. Bu sebeple düşük ÇO şartlarında işletim tam nitrifikasyon için uygulanabilir bir prosestir (Liu ve Wang, 2013).

SND sistemlerinde ÇO konsantrasyonunun SRT ve ÇO optimizasyonlarının bazı işletme problemlerine etkisi de araştırılmıştır. Ju ve arkadaşları (2006) SND'de nütrient giderimine performansını artırmak ve çamur kabarması sorunlarını önlemek için uygun SRT, ÇO ve işletme sürelerini tespit etmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda sürekli havalandırma ile

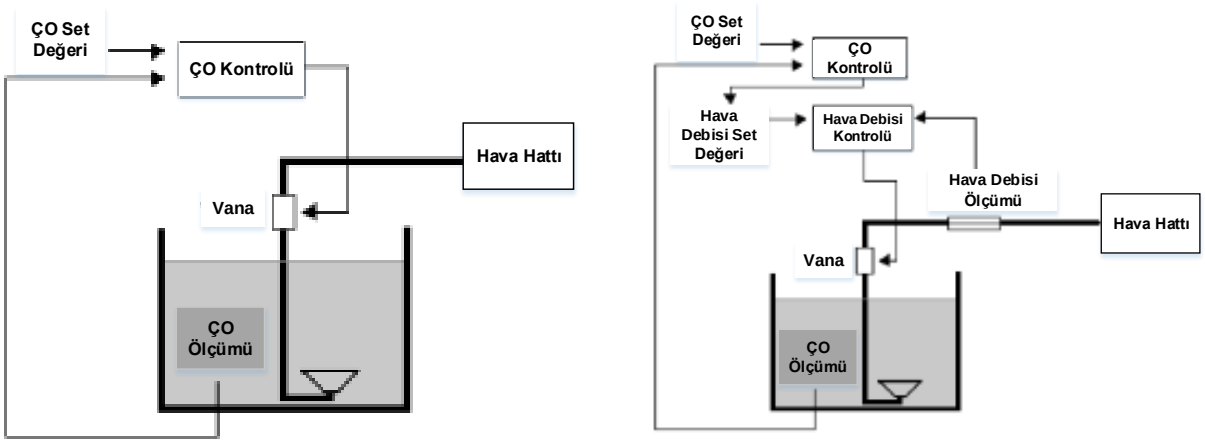
karşılaştırıldığında, döngüsel/devirli havalandırmanın hem daha iyi çamur çökmesine hem de azot ve fosfor giderim performansının artmasına yardımcı olduğu ortaya çıkmıştır (Ju vd., 2006).

Düşük ÇO konsantrasyonlarında SND sistemlerinde azotlu bileşiklerin gideriminin yanı sıra, önemli bir parametre olan fosfor maddesinin de giderim verimleri araştırılmıştır. Ju ve arkadaşları (2007) çalışmalarında düşük oksijen konsantrasyonlarında SND ve fosfor giderimi üzerine çalışmışlardır. 5 gün gibi düşük çamur yaşında ve 0,53-0,8 mg/L Çözünmüş Oksijen (ÇO) seviyelerinde düşük nitrifikasyon verimi görülmüştür. Bu durumun sebebinin, nitrifikasyon bakterilerinin düşük ÇO'da yavaş büyümesi olduğu düşünülmektedir. Sürekli düşük oksijen konsantrasyonlarında çalışmak yerine, bir yüksek bir düşük döngü şeklinde çalışmak azot ve fosfor gideriminde daha etkili bulunmuştur. Azot giderimi SRT ve ÇO artışı ile artmaktadır. Fosfor giderimi ise %3 ile %65 arasında değişim göstermiştir (Ju vd., 2007) Keen ve arkadaşları (2017) ise çalışmalarında, pilot ölçek bir tesiste düşük ÇO konsantrasyonlarında nütrient giderimi üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada, pilot ölçekte ileri biyolojik fosfor giderimi performansı düşük ÇO konsantrasyonlarında araştırılmıştır. 16 aylık işletme süresince havalandırmada kademeli olarak azaltma yapılarak, ortalama 0,33 mg/L ÇO konsantrasyonunda %90 fosfor giderimi sağlanmıştır. Düşük ÇO şartlarında, nitrifikasyon verimi sürdürülebilmiş ve havalandırma havuzu çıkışındaki yüksek nitratın anoksik bölgeye geri dönüşüm gerekliliği olmaksızın azotun yaklaşık %70'i denitrifiye olmuştur. Düşük ÇO şartları konvansiyonel nütrient giderim prosesleri ile karşılaştırıldığında havalandırma ihtiyacının azalması ile enerji kullanımında %25 azalma sağlamıştır. AAT'lerde biyolojik nütrient giderimi aşamalarında düşük oksijen konsantrasyonları kullanılarak enerji kullanımı ve bazı maliyetlerin azaltılabileceği ortaya çıkmıştır (Keene vd., 2017).

Son yıllarda enerji verimliliği ve düşük ÇO nütrient giderimi için yapılan uygulamalardan birisi de arıtma tesislerinde ekipman değişiklikleri olmuştur. Özellikle havalandırma havuzlarında difüzör değişimleri ile enerji verimliliği sağlanırken, düşük ÇO şartları da değerlendirilebilmiştir. Larsson (2011) çalışmasında tam ölçekli bir AAT'de havalandırma ekipmanlarının ve ÇO kontrol sisteminde yenilikler yapılması sonucu elde edilen enerji tasarrufu üzerine çalışmıştır. Mevcut

sistem ve yeni sistemin (Şekil 3.5) BOİ ve NH_4 giderimindeki performansları değerlendirilmiştir. Değerlendirme periyodu 4 aşamadan oluşmuştur. Başlangıç periyodunda NH_4 azalımı %71'den %88 e çıkmıştır. Fakat sonraki periyotlarda NH_4 azaltımı %99 seviyelerine ulaşmıştır. Böylece son aşamada haftalık yaklaşık 4000 kwh enerji tasarrufu elde edilmiştir. İlgili çalışmada, kademeli (cascade) ÇO kontrolü, klasik (regular) ÇO kontrolünden daha stabil sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Klasik ÇO kontrolü ve kademeli ÇO kontrolü yaklaşımları şematik olarak Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Klasik ÇO kontrolünde, hedeflenen oksijen değeri, hava hattı üstündeki vananın kontrolü ile ayarlanmaktadır. Klasik ÇO kontrolünde, prosesin tepki süresinin uzun olmasından dolayı, ÇO'nun aniden yükselmesi ya da düşmesi gibi sorunlarla karşılaşılmakta ve ÇO konsantrasyonunun sabitlenmesi güç olmaktadır. Kademeli (cascade) ÇO kontrolü yaklaşımında ise, iki aşamalı bir kontrol söz konusudur ve hem hava debisi, hem de ÇO birlikte değerlendirilmektedir. Kademeli ÇO kontrolünde, ÇO ölçümü ile birlikte aynı zamanda hava debisi de ölçülmekte ve hava debisi ayarı kademeli ayarlanabilmektedir. Bu uygulamada, verilen hava miktarı hem ÇO, hem de hava kontrol ünitesinde yapıldığı için, aslında ince ayar yapılabilmekte ve klasik ÇO kontrolünde karşılaşılan vananın açılması sırasında meydana gelebilecek ani ÇO konsantrasyonu değişimleri önlenebilmektedir.

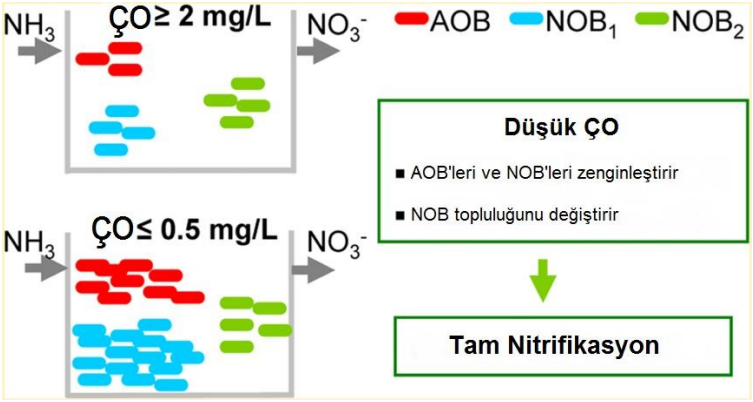
Şekil 3.5 Çalışma kapsamında değerlendirilen eski difüzörler ve yeni difüzörler (Larsson, 2011)



Şekil 3.6 Klasik/düzenli ÇO oksijen kontrolü (solda) ve kademeli (cascade) ÇO kontrolü (sağda) (Larsson, 2011)

Aktif çamur sistemlerinde düşük ÇO konsantrasyonlarında işletimlerde, nitrifikasyon ve denitrifikasyon verimi üzerine araştırılan bir diğer konu ise çamur yaşı etkisi olmuştur. Liu (2012) çalışmasında düşük oksijen konsantrasyonlarında aktif çamur sisteminin performansını değerlendirmiştir. Çalışmada, özellikle düşük ÇO konsHavaantrasyonlarında çamur yaşının nitrifikasyon performansına etkisi araştırılmıştır. 10 ve 20 gün SRT'de ya çıkış amonyum ya da çıkış nitrit konsantrasyonunun artış gösterdiği tespit edilmiştir. Fakat SRT 40 gün olduğunda yetersiz ÇO koşullarında KOİ ve nitritten önce çıkış amonyum konsantrasyonu artış göstermiştir. Farklı giriş yükleri ve sıcaklık koşulları altında çıkış suyu kalitesi işletme ÇO ile yakından ilişkili bulunmuştur. Bu sebeplerle çıkış amonyum ve nitrit havalandırma sisteminin kontrolünde anahtar parametreler olarak öne çıkmıştır. Ayrıca farklı SRT'lerde oluşan bakteriyel topluluklar farklı olabilmektedir (Şekil 3.7). 10 gün SRT için 1,5 mg/L ÇO seviyesinde çıkış nitrit konsantrasyonu önemli derecede artmıştır. Buna rağmen ÇO seviyesi 0,8 mg/L veya daha az iken çıkış amonyum miktarında artış olmuştur. Çıkış KOİ konsantrasyonları bu değişimlerden çok fazla etkilenmemiştir. Pilot çalışma sonucunda ise ÇO düşükken nitrit ve amonyum konsantrasyonu yüksek tespit edilmiştir. Tam nitrifikasyonun 5 gün SRT de başarılamayacağı ifade edilmiştir. 40 gün SRT de ise çıkış amonyum konsantrasyonu, yetersiz ÇO için bir indikatör olarak kullanılabilir. 40 gün SRT'de 0,5 mg/L ÇO'da tam nitrifikasyon gerçekleşmesi görülmüştür.

ÇO 0,5 mg/L altına indiğinde 20 ve 40 gün SRT'de reaktörlerde nitrobacter sayısında bir değişim görülmezken Nitrospira sayısında önemli artış görülmüştür. Önceki çalışmalarda aktif çamur sistemlerinde ÇO seviyesinin 2 mg/L civarında tutulması önerilmiştir. Bu çalışma sonucunda nitrifikasyonun 0,2 mg/L ÇO seviyelerinde tam olarak gerçekleşebileceği tespit edilmiştir. Düşük ÇO işletme koşullarının aktif çamur prosesinde nütrient giderimi ve havalandırma ihtiyacının azalmasına yardımcı olacağı bu çalışmada da belirtilmiştir. Çalışma sonucu ulaşılan diğer bir önemli sonuç ise düşük oksijen seviyelerinde nitrifikasyon bakterilerinin bozunması yavaşlayacak ve ortamda nitrifiye biyokütle konsantrasyonu artacaktır. Böylece Nitrifikasyon üzerine düşük ÇO'nun olumsuz etkisi azaltılabilecektir. Diğer bir önemli tespit ise günümüzde aktif çamur sistemlerinde ÇO set değeri ile kontrol yapıldığı fakat bu uygulamanın çıkış suyu kalitesi hakkında yeterli bilgi vermediğidir (Liu, 2012).



ÇO: Çözünmüş oksijen, **AOB**: Amonyum Oksitleyen Bakteriler, **NOB**: Nitrit Oksitleyen Bakteriler

Şekil 3.7 Düşük ÇO seviyelerinin nitrifikasyon bakterileri üzerine etkileri (Liu ve Wang, 2013)

Düşük ÇO şartlarında, ÇO ile Çamur Hacim İndeksi (SVI) ve flok yapısı ilişkisi, araştırılan bir diğer konu olmuştur. Adonadaga (2015) çalışmasında aktif çamur sistemlerinde ÇO, SVI ve flok yapısı ilişkisi üzerine çalışmıştır. 3 tam ölçek KAS çalışmasında genellikle yüksek ÇO konsantrasyonları daha kompakt ve yumak flokların oluşmasını sağlamıştır. Düşük ÇO seviyelerinde ise düzensiz ve dağınık floklar oluşmaktadır. ÇO ile SVI arasında bir korelasyon tespit edilememiştir (Adonadaga, 2015). Fan ve arkadaşları (2017) ise çalışmalarında düşük ÇO konsantrasyonlarında farklı çamur yaşlarında aktif çamur flok yapısı ve oksijen transfer

dinamikleri üzerine incelemeler yapmışlardır. Deneysel çalışma sonuçları uzun SRT'lerde küçük flok boyları ve daha az EPS (hücre dışı polimerik bileşenler) lerden dolayı aktif çamurun çökme ve arıtma performansının geliştiği tespit edilmiştir. Uzun dönemli düşük oksijen konsantrasyonları birim çamur başına daha büyük floklar ve daha fazla EPS üretmiştir. Bu floklar oksijen difüzyonuna da engel olmuştur. Çalışma sonucu, uzun SRT'lerin düşük ÇO seviyelerinde işletme performanslarını artırabileceği ifade edilmiştir. Düşük ÇO konsantrasyonlarında işletimin dezavantajları ise zayıf nitrifikasyon ve nitrifikasyon bakterilerinin büyümesinin inhibe olması olarak tespit edilmiştir. Düşük oksijenin bir diğer problemi, aktif çamur floklarının çökme performansını etkilemesidir. Fakat son dönemlerdeki çalışmalar 0,12 mg/L oksijen konsantrasyonlarında bile amonyak oksitleyen bakterilerin düşük ÇO şartlarına adapte olması ile birlikte nitrifikasyonun iyi bir şekilde sağlanabileceği belirtmiştir (Fan vd., 2017b).

Düşük oksijen konsantrasyonlarında nütrient giderim proseslerinde öne çıkan konulardan birisi de düşük ÇO şartlarında, ototrofik amonyum oksitleyen bakteriler tarafından oluşan ve sera gazı etkisi olduğu bilinen nitröz oksit (N_2O) miktarıdır. Hong ve arkadaşları (2017) ise çalışmalarında farklı oksijen seviyelerinde azotlu bileşiklerin dönüşümlerini incelemişlerdir. Çalışmada kültür yetiştirilip azotlu bileşiklerin giderimi üzerine değerlendirme yapılmıştır. Yarı Anaerobik koşullarda nitrit ve nitrat geçici olarak birikmiş ve bozunmuştur. Anaerobik koşullarda (0,36-0,67 mg/l ÇO) birikim olmamış fakat denitrifikasyona işaret eden N_2O oluşumu gözlenmiştir. ÇO 0,36-0,67 mg/L seviyelerinde nitrit ve nitrat çok az birikmiş fakat nitröz oksit oranında artış gözlenmiştir. Oksijen konsantrasyonu düştükçe N_2O üretiminin arttığı çalışmanın önemli sonuçlarındandır (Hong vd., 2017).

Nütrient giderimi dışında, düşük ÇO şartlarında farklı maddelerin giderimleri de değerlendirilmiştir. Liu ve arkadaşları (2017) çalışmalarında antibakteriyel özelliğe sahip triklosan maddesinin düşük ÇO seviyelerinde SND ile giderim performansı değerlendirilmiştir. Başlangıçta triklosan eklendiğinde KOİ ve NH_4-N verimlerinde düşüş gözlenmiştir. Fakat 3. günden sonra verimler tekrar geri kazanılmış ve 14.günden sonra NH_4-N ve KOİ giderim verimleri tekrar artış göstermiştir. Bunun yanı sıra triklosan giderim verimi de artış göstermiştir (Liu vd., 2017).

Stadler ve arkadaşları (2016) ise çalışmalarında AAT'lerde düşük oksijen seviyelerinde işletimin ilaç etken madde giderimi üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmanın giriş bölümünde konvansiyonel AAT'lerin 2 mg/L veya daha yüksek seviyelerde ÇO işletimine göre dizayn edildiği belirtilmiştir. Bunun sebebi, nitrifikasyon prosesinin ÇO limitlerine hassas olması olarak ifade edilmiştir. Fakat birçok kanıt, 0,5 mg/L veya daha az seviyelerde tam ve sürekli nitrifikasyonun gerçekleştiğini göstermiştir. Düşük ÇO seviyelerindeki bu nitrifikasyon performansının SRT'deki artışla daha stabil hale geldiği ifade edilmiştir. Önceki çalışmalar düşük ÇO seviyelerinin bazı protozoaları inhibe ettiğini ve bu durumun bozunma oranını ve biyokütle konsantrasyonunu etkilediğini ifade etmiştir. Böylece, azalan ÇO işletme konsantrasyonları hem yüksek oksijen afinitelerine sahip biyokütlenin seçilmesi ve bozunmanın azaltılması ile oksijen ihtiyacını azaltmak hem de oksijen transfer verimliliği artırılarak havalandırma enerji ihtiyacı azaltılabilmektedir. Fakat havalandırma aktif çamur sistemlerinde karışımı da sağlamaktadır. Bu sebeple bu tür bir durumda ilave karıştırma mekanizması gerekebilir. Böylesi bir ihtiyaç durumunda ise havalandırmadan kazanılan enerjinin bir kısmı karıştırma işleminde yeniden kullanılabilir. Birçok gerçek ölçekli çalışmada düşük ÇO'da SND ile %80-90 TN giderimi sağlanmıştır. Enerji tasarrufu amacı ile gerçek ölçek AAT'lerde uygulanan yöntem genellikle ÇO set etme ve amonyak kontrollü sistemlerdir. Amonyuma dayanan havalandırma kontrolünde havalandırma set edilen bir ÇO seviyesinde kontrol edilmekte ve bu ÇO seviyesi de havalandırma tankı çıkışındaki anlık amonyum ölçümüne dayalı olarak yapılmaktadır. Düşük ÇO seviyeleri ileri biyolojik fosfor giderim performansına da faydalı olmaktadır. Çünkü Polifosfat Biriktiren Organizma (PAOs), Accumulibacter, yüksek oksijen afinitesine sahip olduğundan, glikojen biriktiren organizma Competibacter üzerinde bir rekabet avantajına sahiptir. Çalışma kapsamında yapılan araştırmalarda ilaç seçiminde biyotransformasyona uğrayan ilaç etken madde türleri seçilmiştir. Sonuçlar, düşük ÇO seviyelerinde ÇO kontrolünün su kalitesini artırırken filamentli bakterilerin büyümesinin kontrolünde ve enerji tasarrufunda etkili olduğu ortaya koyulmuştur. Bu çalışma ve diğer bazı çalışmalar düşük ÇO seviyelerinde stabil nitrifikasyonun mümkün olabileceğini tespit etmiştir. AAT'ler difüzörlerden verilen hava hızlarını azaltarak yüksek oksijen transfer verimliliğinde düşük ÇO konsantrasyonları elde edebilirler ve enerji tasarrufu sağlayabilirler. Çalışmada SND aktivitesi ve azot giderim performansının giriş

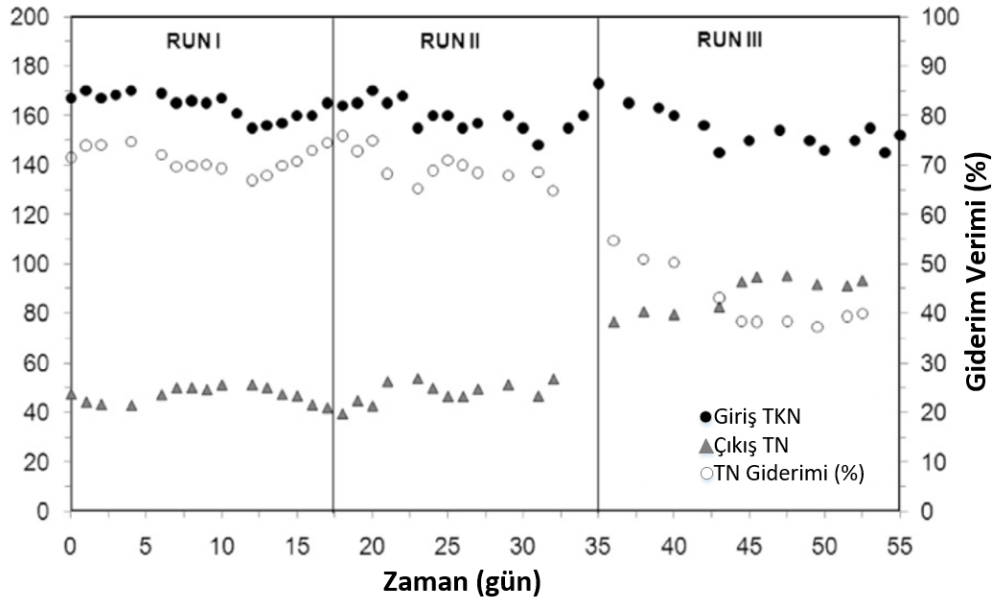
C:N oranı, reaktör içi ÇO konsantrasyonu, biyoreaktör konfigürasyonu ve karıştırma gibi işlemlerle ilişkili olduğu ortaya koyulmuştur. Düşük oksijen konsantrasyonlarında (0,3 mg/L) ilaç etken madde giderimi, normal oksijen konsantrasyonlarındaki (2 mg/L) giderim verimlerine göre düşüş göstermiştir. Giderim verimlerinde atenalol %89 dan %73'e, trimethoprim %21'den %5,8'e düşüş gözlenmiştir. Yalnızca sulfmethoxazole giderimi %38'den %62'ye yükselmiştir (Stadler vd., 2016)

KAS'ların yanı sıra, son yıllarda arıtma performansı açısından ön plana çıkan, biyolojik ve membran sistemlerin bir kombinasyonu olan Membran Biyoreaktör (MBR) teknolojilerinin gelişimi de hızlanmıştır. KAS'lara benzer şekilde MBR'larda da havalandırma ihtiyacı bulunmaktadır. Buradaki tek fark, MBR'larda havalandırma, hem tıkanma kontrolü için membran yüzeyinde oluşacak kek tabakasını sıyırmak hem de biyolojik aktiviteyi sürdürmek için yapılmaktadır. Düşük oksijen konsantrasyonlarında KAS'larla yapılan çalışmaların yanı sıra MBR'larda da düşük oksijen konsantrasyonlarında bazı çalışmalar yürütülmüştür.

Hocaoğlu ve arkadaşları (2011a) çalışmalarında Membran Biyoreaktör (MBR) teknolojisinde SND ile düşük oksijen konsantrasyonlarında siyah suların arıtılması üzerine uygulamalar yapmışlardır. Çalışmada, 60 gün çamur yaşında aerobik bir MBR 0,5 mg/L ÇO şartlarında işletilmiştir. Çalışma sonucunda nitrifikasyon tam olarak gerçekleşmemiştir. Bu durumun sebepleri; düşük ÇO seviyeleri, SMP inhibisyonu, sınırlı alkanite olarak açıklanmıştır. ÇO etkisinin denitrifikasyon üzerine oldukça etkili olduğu, nitratın tamamen giderildiği fakat ÇO seviyesinin artışı ile birlikte giderimin yavaş bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Azot giderimi optimum 0,15-0,35 mg/L ÇO şartlarında gerçekleşmiştir. Çalışmada elde edilen giderim verimleri Tablo 3.2'de verilmiştir. Ayrıca 3 farklı işletim süresince elde edilen toplam azot giderim verimleri ve çıkış TN konsantrasyonları Şekil 3.8'de verilmiştir (Hocaoğlu vd., 2011a).

Tablo 3.2 Farklı ÇO konsantrasyonlarında MBR SND verimleri
(Hocaoğlu vd., 2011a)

Giderim verimi (%)	Çalışma Modu 1 ÇO: 0,15-0,2 mg/L	Çalışma Modu 2 ÇO: 0,3-0,35 mg/L	Çalışma Modu 3 ÇO: 0,5-0,55 mg/L
KOİ	96,7	97,1	97,4
Toplam Azot	73	70	36
Amonyum Oksidasyonu	68	76	77
Denitrifikasyon	97	84	37



Şekil 3.8 Farklı ÇO şartlarında, MBR'da azotlu bileşiklerin konsantrasyonları ve giderim verimleri (Hocaoğlu vd., 2011a)

Hocaoğlu ve arkadaşlarının (2011b) siyah suların arıtılması üzerinde MBR'da SND ile yaptıkları bir diğer çalışmada ise 0,1-0,2 mg/L ÇO konsantrasyonlarında 20 gün çamur yaşında ayrı bir anoksik tank olmaksızın azot giderim performansları değerlendirilmiştir. Çamur yaşı 60 gün olan işletimle karşılaştırıldığında flok boyutu dağılımı, görünür viskozite ve azot giderim verimleri önemli ölçüde farklı çıkmıştır. 20 gün çamur yaşında KOİ, toplam azot, amonyum oksidasyonu

ve denitrifikasyon verimleri sırasıyla %96, %49,%40 ve %99 olarak gerçekleşmiştir (Hocaoğlu vd. 2011b).

Yapılan tüm bu değerlendirmelerin ardından, pilot, laboratuvar ve gerçek ölçekli çalışmalar sırasıyla Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre düşük ÇO şartlarında SND prosesinde KOİ giderim verimi >%75 olup, birçok çalışmada %90 üzerinde giderim verimi tespit edilmiştir. Tablo 3.3'te verilmiş olan ve aktif çamur sistemlerinde gerçekleştirilmiş olan SND ve düşük ÇO şartlarında yapılan arıtılabilirlik çalışmalarında ÇO konsantrasyonu arttıkça TN giderim veriminde düşüşler olduğu gözlenmiştir. Özellikle <0,5 mg/L ÇO konsantrasyonlarında TN giderim verimlerinin %90 seviyelerine ulaştığı görülmektedir. Bunun yanında ÇO konsantrasyonu arttıkça amonyum oksidasyonu veriminin arttığı da gözlenmektedir. Yapılan çalışmalarda prosesler genellikle ÇO ve çıkış amonyum konsantrasyonuna göre kontrol edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda çoğunlukla ÇO kontrol mekanizmasının çıkış amonyum konsantrasyonuna göre olması gerektiği yönünde sonuçlara varmışlardır (Liu, 2012). Yapılan pilot ölçekli çalışmalarda genellikle düşük ÇO şartlarında yüksek nitrifikasyon verimleri göze çarpmaktadır. MBR sistemlerinde ise yüksek nitrifikasyon ve denitrifikasyon verimleri ön plana çıkmaktadır. Bu durum, reaktör içerisindeki yüksek MLSS konsantrasyonuna bağlı olarak floklar içerisinde oluşan aerobik ve anoksik bölgelerde SND'nin daha iyi bir şekilde gerçekleşmesi şeklinde açıklanabilir. Fakat MBR sistemlerinde düşük ÇO şartlarında işletim için azalan havalandırma oranına bağlı olarak, akı miktarlarında azalmalar yani tıkanma problemleri gözlendiği ifade edilmiştir.

Çalışmaların genelinde, işletimin ilk dönemleri düşük ÇO seviyelerinde nitrifikasyon tam olarak gerçekleşmezken, uzun dönemli çalışmalarda verimin arttığı ifade edilmiştir. Zaman içinde artan nitrifikasyon verimi; düşük ÇO konsantrasyonlarında yaşayabilen ve yüksek verimde nitrifikasyon yapabilen ototrof türlerinin ve/veya çeşitli kısa metabolik yolları kullanabilen farklı ototrof türlerinin gelişerek, reaktörde zenginleşmesi ve buna bağlı olarak, gözlenen net nitrifikasyon veriminin artması ile açıklanabilir.

Pilot, laboratuvar ve gerçekli ölçekli çalışmalarda göze çarpan bir diğer husus ise, düşük ÇO şartlarında çamur yaşı arttıkça giderim verimlerinin artış göstermesi olmuştur. Örnek olarak, Fan ve arkadaşlarının (2017b) laboratuvar ölçekli yaptıkları çalışmada 35 gün çamur yaşında 0,3 mg/L ÇO şartlarında, %87 amonyum oksidasyonu sağlanmıştır. Diğer çamur yaşları ve ÇO konsantrasyonlarında bu oran %81-86 civarındadır. Çalışmalarda giriş KOİ seviyeleri yaklaşık 400 mg/L civarında seyrederken, KOİ giderim verimleri yüksek seviyelerde gerçekleşmiştir.

Düşük ÇO ve SND şartlarında gerçek ölçekli çalışma sayıları gün geçtikçe artış göstermektedir. 0,8 mg/L ve 2 mg/L ÇO seviyelerinde gerçekleştirilen gerçek ölçekli uygulamalarda, KOİ giderim verimi ortalama >%90, TN giderimi ortalama %73, nitrifikasyon verimi ortalama %83 şeklinde gerçekleşmiştir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda genellikle 0,5 mg/L ve üzeri ÇO konsantrasyonlarında çalışmalar yapılabilmiştir. Bu durum, mevcut AAT'lerdeki oksijen sensörlerinin hassas olmaması ve hassas sensörlerin mevcut durumda daha yüksek maliyette olması olarak gösterilebilir. Ayrıca yalnızca hassas problar değil, aynı zamanda ÇO kontrol sistemlerinin de değişmesi maliyetli bir uygulama olabilmektedir. Fakat yapılacak fizibilite çalışmaları ile yatırımların geri dönüş süreleri değerlendirilebilir, uzun vadede elde edilecek kazanımlar ortaya koyulabilir. Gerçek ölçekli yapılan diğer enerji verimliliği çalışmaları Bölüm 2.3'te verilmiştir.

Özellikle, SND'nin kinetiği ve düşük ÇO şartlarının giderim verimleri ve bakteri toplulukları üzerine etkilerinin anlaşılması amacıyla, laboratuvar ölçekli çalışmalar ağırlık kazanmıştır. Çalışmaların birçoğunda ise laboratuvar ölçekte yapılan çalışmalar, bir pilot veya gerçek uygulamanın optimizasyonu amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu durum, aslında SND ve düşük ÇO şartlarında işletilen prosesin, laboratuvar ölçekli seviyede kalmadığını ve uygulanabilirliğinin olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.3 Düşük oksijen konsantrasyonlarında eş zamanlı nütrient giderimi yapılan pilot ölçekli çalışmalara ait bilgiler

Proses/Reaktör /Biyokütle	Referans	Reaktör hacmi (m^3)	Çamur Yaşı (gün)	Sıcaklık (°C)	Kontrol Mekanizması	Giriş (mg/L, C/N)	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	ÇHI	Arıtma verimi (%)
Pilot ölçekli eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi									
Aktif Çamur, SBR (Ardışık Kesikli Reaktör), MBR	İnsel vd., 2014	1050	-	20	-	TKN =80, KOİ≅ 595	0,3	Sludge Bulking Problem (Type 0092, Nocardia)	KOİ: - Nitrifikasyon : 98 Denitrifikasyon : 79 Toplam azot :78
Aktif çamur,	Jimenez vd., 2010	0,12	10	20	-	TKN =20-60, KOİ≅ 300-600	0,3	~150	KOİ: - Nitrifikasyon : 98 Denitrifikasyon : 79 Toplam azot :78
Aktif çamur, A2O	Keene vd., 2017	1.87	10	15-25	ÇO ölçümü	TKN =38 TP=5,5	0,51-1,1		KOİ: - Nitrifikasyon: 96 Toplam azot :70 Toplam P:89
Aktif çamur, A2O	Keene vd., 2017	1,87	10	15-25	ÇO ölçümü	TKN =38 TP=5,5	0,23-0,48		Nitrifikasyon: >96 Toplam azot :68 Toplam P:89
Aktif çamur, oksidasyon hendeği (gerçek ölçekli, aerobik kısım 0.3 mg/L ÇO ile çalışıtırılıyor), bardenpho prosesi	Jimenez vd., 2013	154,000 m3/gün	15	-	Amonyum ölçümüne dayalı	TKN =25, BOD≅ 203	<0,5	115-165	Toplam azot: 92
Aktif çamur, tek kademe	Jimenez vd., 2013	57840 m^3/gün	20	-	ÇO ölçümü	-	<0,5	200-300	Toplam azot: 92
Aktif çamur, tek kademe	Jimenez vd., 2013	23160 m^3/gün	25	-	ÇO ölçümü	-	<0,5	170-280	Toplam azot: 86
Aktif çamur, tek kademe	Jimenez vd., 2013	15480 m^3/gün	18	-	ÇO ölçümü	-	<0,5	212-350	Toplam azot: 86
Aktif Çamur	Liu, 2012	19,8	10-20-40	10	Amonyum	NH_4-N ≅ 48	0,37-0,25-	-	Nitrifikasyon ≅ 99

Proses/Reaktör /Biyokütle	Referans	Reaktör hacmi (m^3)	Çamur Yaşı (gün)	Sıcaklık (°C)	Kontrol Mekanizması	Giriş (mg/L, C/N)	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	ÇHI	Arıtma verimi (%)
					ölçümüne dayalı	KOİ ≅ 180	0,16		
MBR	Hocaoğlu vd., 2011b	0,63	20	19±1	ÇO ölçümü	TKN ≅ 169 KOİ ≅ 930	0,1-0,2	-	KOİ: 96; TN:49; Denitrifikasyon=99; Amonyum Oksidasyonu=40
MBR	Hocaoğlu vd., 2011a	0,63	60	22	ÇO ölçümü	TKN =168, KOİ≅ 865	0,15-0,2	-	KOİ: 97 Nitrifikasyon : 68 Denitrifikasyon : 97 Toplam azot :73
MBR	Hocaoğlu vd., 2011a	0,63	60	22	ÇO ölçümü	TKN =168, KOİ≅ 865	0,3-0,35	-	KOİ: 97 Nitrifikasyon : 76 Denitrifikasyon : 84 Toplam azot :70
MBR	Hocaoğlu vd., 2011a	0,63	60	22	ÇO ölçümü	TKN =168, KOİ≅ 865	0,5-0,55	-	KOİ: 97,4 Nitrifikasyon : 77 Denitrifikasyon : 37 Toplam azot :36

Tablo 3.4 Düşük oksijen konsantrasyonlarında eş zamanlı nütrient giderimi yapılan laboratuvar ölçekli çalışmalara ait bilgiler

Proses/Reaktör /Biyokütle	Referans	Reaktör hacmi (L)	Çamur Yaşı (gün)	Sıcaklık (°C)	Kontrol Mekanizması	Giriş (mg/L, C/N)	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	ÇHI	Arıtma verimi (%)
Laboratuvar ölçekli eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon çalışmaları									
Anaerobik–Anoksik–Aerobik (A^2O)	Fan vd., 2017a	37,5	15	25	ÇO ölçümü	NH_4-N ≅ 50 KOİ ≅ 300	1 0,5	180-200	Nitrifikasyon: 99 KOİ: >85 TN: 85,5 Nitrifikasyon: 99 KOİ: >85 TN: 88
Aktif Çamur, SBR (Ardışık Kesikli Reaktör)	Peng vd., 2012	12	10-12	21	ÇO ölçümü	NH_4-N ≅ 50 KOİ ≅ 318		200	Nitrifikasyon ≅ 88
Aktif Çamur, SBR *Ön Denitrifikasyon ile Eş Zamanlı Nitrifikasyon- İçsel Denitrifikasyon ve Fosfor Giderimi kombinasyonu*	Wang vd., 2016	8	10,9	25	ÇO ölçümü	KOİ ≅ 243 TN ≅ 71	0.5 ± 0.1	136	KOİ: >90 TN: 59
Aktif çamur, CSTP	Fan vd., 2017b	3,5	10 17,5 25 35	-	Amonyum ölçümüne dayalı	KOİ ≅ 215	1,5 0,8 0,5 0,3		KOİ: 86; NH_4-N:81 KOİ: 93; NH_4-N:86 KOİ: 97; NH_4-N:82 KOİ: 97; NH_4-N:87
Aktif çamur	Ju vd., 2007	6	5 10 20 10	22±1	ÇO ölçümü	KOİ ≅ 480 TKN ≅ 50	0,8 0,53 1,33 0,33	60 75 140 140	KOİ: 96; TN:69 KOİ: 95; TN:86 KOİ: 93; TN:84 KOİ: 95; TN:62
Tam karışımlı aktif çamur	Mines vd., 2017	11,4	11,9	20,7	ÇO ölçümü	KOİ ≅ 362 TN ≅ 162	0,37	-	KOİ: 62; TN:10
Aktif çamur, SND biyoreaktör	Liu vd., 2017	5	40	25±2	ÇO ölçümü	KOİ ≅ 400 NH_4-N ≅ 50 TP ≅ 5	0,3-0,8	-	KOİ: 95; NH_4-N:99

Proses/Reaktör /Biyokütle	Referans	Reaktör hacmi (L)	Çamur Yaşı (gün)	Sıcaklık (°C)	Kontrol Mekanizması	Giriş (mg/L, C/N)	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	ÇHI	Arıtma verimi (%)
Aktif çamur	Stadler vd., 2016	1,8	10	25	ÇO ölçümü	KOİ ≅ 250 NH_4-N ≅ 25	0,3	≅100	KOİ: 95; TN:45
Aktif çamur, Eckenfelder Modeli Reaktör	Ju vd., 2006	6	10	22 ± 1	ÇO ölçümü	TKN ≅ 58,7 KOİ ≅ 460	0,33	140	KOİ: 95; TN:62 TKN: 8,8
Aktif çamur, SND	Sager, 2016	4	-	22 29,5	Amonyum ölçümüne dayalı	KOİ ≅ 190 NH_4-N ≅ 28	0,21 0,86	-	KOİ: >75; NH_4: >98 KOİ: >80; NH_4: >98

Tablo 3.5 Düşük oksijen konsantrasyonlarında eş zamanlı nütrient giderimi yapılan gerçek ölçekli çalışmalara ait bilgiler

Proses/Reaktör /Biyokütle	Referans	Reaktör hacmi (m^3)	Çamur Yaşı (gün)	Sıcaklık (°C)	Kontrol Mekanizması	Giriş (mg/L, C/N)	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	ÇHI	Arıtma verimi (%)
Gerçek ölçekli eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi									
Aktif çamur (gerçek ölçek)	Wood ve Jeremy, 2017	3043	-	-	ÇO ölçümü	TKN =25, KOİ≅ 152	0,5-2,0	80-130	KOİ: 97,4 Nitrifikasyon : 93 Denitrifikasyon : 83 Toplam azot :84
Aktif çamur, ön çöktürmesiz	Si-qing vd., 2001	9000	15	20-25	ÇO ölçümü	TKN = 66,2 KOİ=500-900	0,5-1	-	KOİ: 95 Nitrifikasyon : 88 Toplam azot : 87
Aktif çamur	Wang vd., 2007	55000	-	-	ÇO ölçümü	-	0,8	-	KOİ: 80 TN: 30-50
Piston akımlı reaktör	Wang vd., 2007	18400	15	-	ÇO ölçümü	TKN =50-60 BOİ ≅ 250	Düşük oksijen SND	130	TKN ≅97 Nitrifikasyon= 70 Fosfor= 43
Aktif çamur	Larsson, 2011	1232	-	17,2	ÇO ve NH_4	TN ≅ 30 mg/L BOI ≅ 145 mg/L	0,8	-	BOI=96 NH_4= 99

SND ve düşük oksijen konsantrasyonlarında, aktif çamur ve MBR gibi biyolojik sistemlerin işletilmesi birçok avantajı beraberinde getirirken, bir takım dezavantajları da ortaya çıkarmaktadır. SND veya SND+düşük ÇO işletilen proseslerin avantaj ve dezavantajları Tablo 3.6'da verilmiştir. SND ile düşük ÇO şartlarında işletimin en öncelikli avantajları enerji verimliliği sağlaması ve çıkış nütrient konsantrasyonlarının azaltılması olarak ön plana çıkmaktadır. Buna karşın bu sistemlerin, uzun dönemli işletme ve çamur yaşı gerektirmesi, düzensiz flok problemleri, N_2O oluşturmaları, tam nitrifikasyonun kolay sağlanamaması, farklı ekipmanlar gerektirmesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Fakat bu dezavantajların birçoğu Ar-Ge çalışmaları, sürekli işletimler ve küçük modifikasyonlarla sağlanabilir. Tasarım, ekipman değişimi gibi maliyetlerin geri dönüş süreleri ve kazançları ise fizibilite çalışmaları ile belirlenip değerlendirilebilir. Bu sayede SND ve düşük ÇO şartlarında işletim prosesleri oldukça faydalı bir süreç haline getirilebilir.

Arıtma tesislerinde enerjinin %60'nın havalandırma sistemlerinde harcandığı dikkate alındığında ve çıkış sularındaki nütrient konsantrasyonlarının düşürülmesi gerekliliklerinden dolayı, SND prosesini ve bununla birlikte düşük ÇO şartlarında işletim koşullarını cazip kılmaktadır. MBR sistemlerinde yenilikçi yaklaşımlar ile tıkanma sorunlarının aşılabilmesi durumunda ise, bu prosesler de bu konuda oldukça fayda sağlayabilir.

Tablo 3.6 SND prosesinin avantaj ve dezavantajları

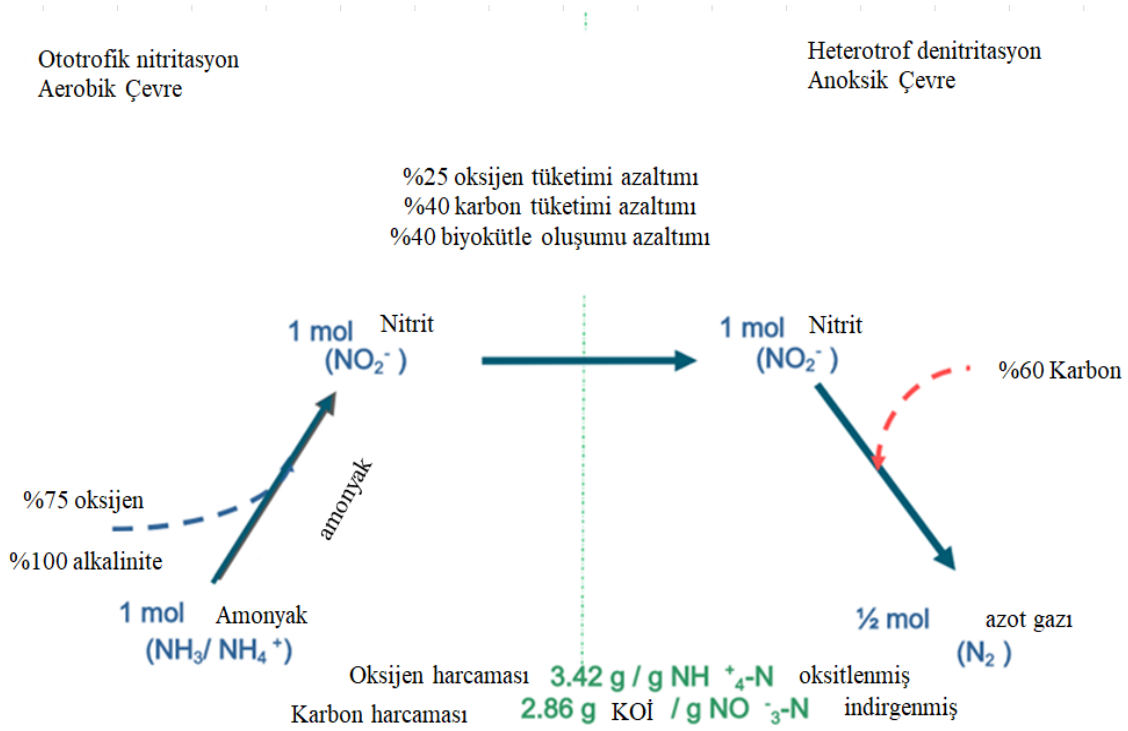
SND Avantaj	Kaynak	SND Dezavantaj	Kaynak
%90'a varan azot giderimi sağlayabilir	Fuerhacker, 2000; Zeng, 2003; Jimenez et al., 2010; Sager, 2016	Uzun dönemli işletim ve çamur yaşları gerekmektedir.	Ergas and Aponte-Morales, 2013; Sager, 2016; Fan vd., 2017a
Enerji, kimyasal ve ekipman ihtiyacının azalmasını sağlayabilir.	Sager, 2016	Düzensiz ve dağınık floklar oluşabilmektedir.	Adonadaga., 2015; Fan vd., 2017b
Uzun dönemli işletimlerde bazı toksik kimyasalların gideriminde etkili olabilmektedir.	Liu vd., 2017	Anaerobik koşullarda, düşük oksijen konsantrasyonlarında N_2O oluşumun gözlenmektedir.	Hong vd., 2017
İleri biyolojik fosfor giderim performansını artırabilir.	Carvalheira vd., 2014	Tam nitrifikasyon olmaması durumunda çıkış suyunda yüksek nitrit ve amonyum konsantrasyonu tespit edilebilir.	Mines vd., 2017
Filamentli bakterilerin kontrolüne yardımcı olabilir.	Stadler vd., 2016	Havalandırmanın karışımı sağlayamaması sebebi ile karıştırma ekipmanı gerektirebilir.	Carvalheira vd., 2014
Fosfor biriktiren mikroorganizmaları etkilememektedir.	Wang vd., 2016	Kinetiği henüz net olarak tespit edilememiştir.	Jimenez et al., 2010; Sager, 2016
Amonyak oksitleyen bakteriler, uzun dönemli işletimlerde düşük ÇO seviyelerine adapte olabilmektedir.	Fand vd., 2017b	Sistemin performansını etkileyen faktörler arasındaki bağlantılar net olarak ortaya koyulamamıştır.	Sager, 2016
Daha küçük tank boyutu ve daha basit proses tasarımı kolaylığı sağlamaktadır.	Kaempfer et al., 2000; Stensel, 2001; Ju et al., 2007; Sager, 2016	Nitrifikasyon ve denitrifikasyon arasında bir denge kurulmasını gerektirir.	Grady et al., 1999; Martins et al., 2004; Sager, 2016
Ayrı tanklar inşa etme ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır.	Jimenez et al., 2010; Ergas and Aponte-Morales, 2013; Ju et al., 2007; Yoo, 1997; Sager, 2016	Tasarım, kontrol ve işletmede zorluklar ortaya çıkabilir.	Grady et al., 1999; Martins et al., 2004; Jimenez et al., 2010; Sager, 2016
Alkanite nitirifikasyon ile tüketildiği için, biyoreaktörde haricen asit ve baz ilavesi olmadan nötral pH düzeylerini sürdürmek, denitrifikasyonda üretilen alkanite ile sağlanabilir.	Ju et al., 2007; Grady et al., 1999; Ju et al., 2007; Sager, 2016	Başlıca filamentli bakterilerin aşırı büyümesinden dolayı şişkin çamura daha yatkındır.	Grady et al., 1999; Martins et al., 2004; Sager, 2016
Spesifik olarak oksijen gereksinimi azaltılır ve	Sager, 2016	Hassas ÇO kontrolü gerektirir.	Ergas and Aponte-

SND Avantaj	Kaynak	SND Dezavantaj	Kaynak
aerobik/anoksik bölgeler, iç resirkülasyonlar ve ek karbon ve alkanite gerektirmez			Morales, 2013; Sager, 2016
MBR sistemlerinde düşük ÇO şartlarında yüksek nitrifikasyon ve denitrifikasyon verimleri sağlanabilir.	Hocaoğlu vd., 2011a; Hocaoğlu vd., 2011b	Çıkış amonyum konsantrasyonu ve ÇO konsantrasyonları ile kontrol gerektirdiğinden, ilgili sistemlerin (problar, vanalar vb.) maliyetleri yüksek olabilir.	Liu, 2012
		MBR sistemlerinde uygulanması durumunda, düşük ÇO seviyelerinde hızlı tıkanma problemleri görülebilir.	Hocaoğlu, 2010

3.3 Diğer Besin Maddesi Giderim Prosesleri

3.3.1 Nitritasyon ve Denitritasyon

Nitritasyon- denitritasyon prosesi "**Nitrit üzerinden azot giderimi**" olarak da adlandırılmaktadır ve reaksiyon genel olarak nitritin nitrata oksitlenmesinin engellenmesi ve nitritin azot gazına indirgenmesidir. Bu sistem, azot arıtımı için harcanan karbon miktarında yaklaşık olarak %40 azalma sağlamaktadır. Aynı zamanda, nitrit oksidasyonu engellendiği için %25 oranında havalandırma masrafı azaltılabilir. Belirtildiği üzere, 15 °C'de havalandırma uzunluğunun ve çözünmüş oksijen miktarının beraber bir şekilde kontrol edildiği aerobik granül çamur SBR (Ardışk Kesitili Reaktör) sisteminde aerobik şartlar altında %98' e varan arıtma verimleri elde edilmektedir. Bununla beraber, aynı sistem amonyak zengin sızıntı suyu ile çalıştırıldığında verim %96 olarak kaydedilmiştir (Sandip ve Kalyanraman, 2017). Şekil 3.9'da nitritasyon-denitritasyon prosesi gösterilmektedir. Aşağıda nitrit üzerinden azot giderimi prosesleri örnekleri (SHARON, ANITA, PANDA, STRASS prosesi) özetlenmiştir.

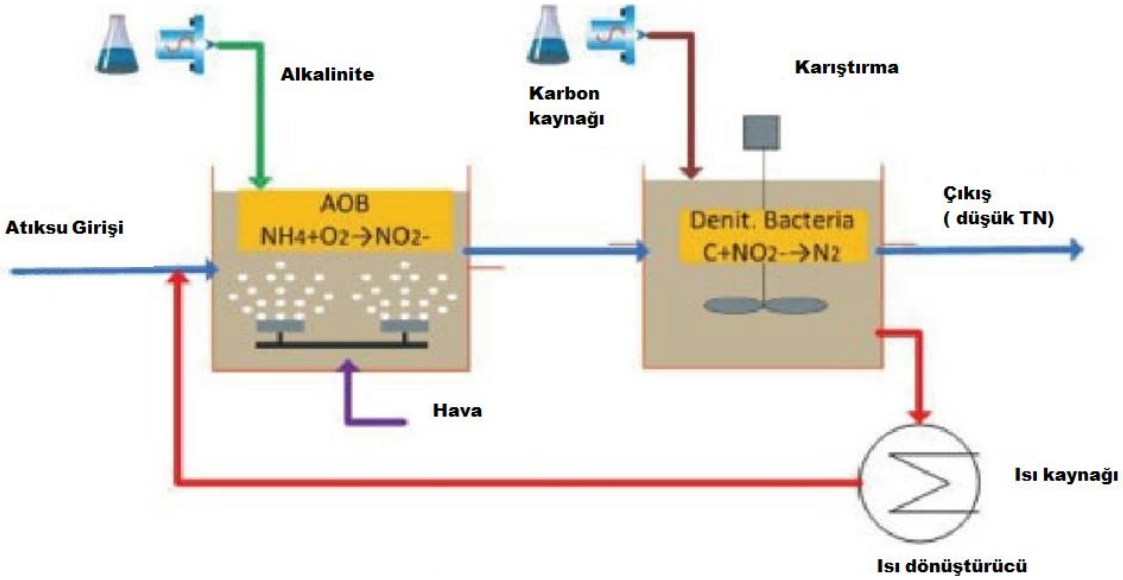


Şekil 3.9 Nitritasyon denitritasyon

1. SHARON

SHARON prosesi nitrit üzerinden azot giderimi metotlarından ilkidir. Proses genel olarak düşük çamur yaşında (~ 2 gün), yüksek sıcaklıklar (30^0-35^0C) 'da çalışır ve bu sayede ortamdan nitrit oksitleyen bakteriler (NOB) uzaklaştırılır ve nitrit üzerinden denitrifikasyon gerçekleşir. SHARON prosesi ilk olarak amonyağın nitrit üzerinden giderilmesi için geliştirilmiş bir prosestir (Hellingha vd., 1997). 2 sene boyunca laboratuvarda test edilmiş ve sonrasında 2 L lik hacimden 1800 m^3' lük hacme yükseltilmiştir. Sharon prosesi kemostat sistemi olarak geliştirilmiş olduğundan biyokütle birikimi yoktur, çamur yaşı hidrolik bekletme süresine eşit olmaktadır ve seyreltme hızı nitrit oksitleyen bakterilerin maksimum büyüme hızından daha yüksek ve amonyak oksitleyen bakterilerin maksimum büyüme hızından daha düşük olarak seçilir. Bu koşullar altında nitrit oksitleyen organizmalar reaktörde birikemez. Reaktör çıkışında stabil olarak NO_2-N gözlemlenir. SHARON prosesi yüksek amonyak konsantrasyonlarına ve yüksek sıcaklıklara sahip atıksulardan önemli miktarda amonyak giderimi için çok uygun bir prosestir. Makul boyutlarda bir kemostat tankı ve tam karışımı sağlayacak bir karıştırıcı yeterli olduğu için ilk yatırım maliyetleri yüksek değildir. 2 sene boyunca laboratuvarda yapılan denemelerde 35^0C su sıcaklığında 1 günlük aerobik ve 0.5 günlük anoksik bekletme sürelerinde nitrit üzerinden azot giderimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Yüksek azot konsantrasyona sahip anaerobik çürütücü çıkış sularından amonyak giderimi amacıyla SHARON prosesinin uygulanması durumunda atıksuyun pH' sında ciddi düşüşler meydana gelir. Her bir mol NH_4^+ için 2 mol H^+ üretilir. Bunun yarısı anaerobik çürütücü çıkış sularında bulunan alkalinitenin CO_2' ye dönüşerek sıyırılması ile nötralize olur. Kalan kısmının nötralizasyonu için denitrifikasyon prosesi sonucunda oluşan alkalinite kullanılır veya dışarıdan alkalinite eklenmesi gerekebilir (WREF, 2015). Denitrifikasyon prosesi için gerekli olan karbon kaynağı metanol olarak eklenmelidir. Bununla birlikte, nitrifikasyon ve denitrifikasyon aşamalarından oluşan proses iki farklı şekilde uygulanabilmektedir.

- Tek reaktörde- iki aşama zamana bağlı olarak kontrol edilir;
- İki reaktörde- iki aşama farklı reaktörlerde kontrol edilir ve buna göre birinci reaktör oksik olan diğeri ise anoksik olandır (WREF, 2015). Şekil 3.10, iki farklı reaktörde gerçekleşen SHARON prosesini göstermektedir.



Şekil 3.10. SHARON reaktörü
(Shi, 2011)

Aynı zamanda belirtilmelidir ki, SHARON prosesi kimyasal çamur üretimi olmaması, düşük biyolojik çamur üretimi, nitrit üzerinden azot arıtımına olanak sağlaması ve kolay uygulanabilen bir proses olması gibi sunduğu olanaklardan dolayı uygun maliyetli bir proses olarak sınıflandırmak doğrudur. Tablo 3.7 anaerobik çürütücüden geri dönen süzüntü suyundan azot giderimi amacıyla kullanılan SHARON prosesini de içeren farklı tekniklerin karşılaştırmasını içermektedir (van Kempen vd., 2001).

Tablo 3.7 Farklı tekniklerin karşılaştırılması
(van Kempen vd., 2001)

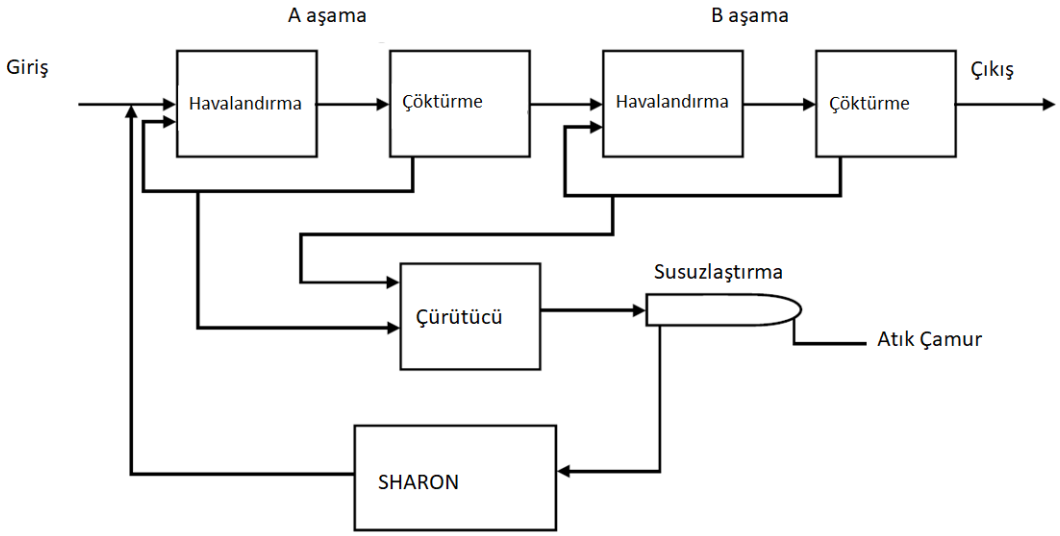
	Kimyasal çamur üretimi	Biyolojik çamur üretimi	Kimyasal dozlama	Enerji ihtiyacı	İşletme	Tahmini maliyet Euro/kgN
Hava sıyırması	Evet	Hayır	Evet	Ortalama	Ortalama	6,0
Buhar sıyırması	Evet	Hayır	Evet	Yüksek	Kompleks	8,0
MAP/CAFR prosesi	Evet	Hayır	Evet	Düşük	Kompleks	6,0
Membran Biyoreaktör	Hayır	Evet	Evet	Yüksek	Ortalama	2,8
Biyofilm hava yüklemeli reaktör	Hayır	Düşük	Evet	Ortalama	Ortalama	5,7
SHARON prosesi	Hayır	Düşük	Evet	Ortalama	Basit	1,5

Tabloda bahsedilen MAP/CAFR prosesi Magnezyum-Amonyak-Fosfat Çöktürmesi olup, belirtilen fiyat tahminleri Hollanda Uygulamalı Su Araştırma Vakfı, 500.000 nufüs eşdeğerine ve tabloda belirtilen farklı arıtma tekniklerine sahip AAT temel alınarak

hesaplanmıştır. Belirtilen yöntemler arasında SHARON prosesi en düşük maliyet değerine sahip olmasının yanında düşük çamur üretimi, düşük enerji ihtiyacı ve işletme kolaylığı bakımından da farklılıklar ve yararlar sunmaktadır.

Bununla beraber, 2 aşamalı akış diyagramına sahip Şekil 3.11 Utrecht ve Rotterdam AAT'lerinde gerçekleştirilen SHARON prosesi ile alakalı yürütülen deneyler sonucunda aşağıdaki belirtilen durumlar özet niteliğinde listelenmiştir:

- Proses laboratuvar ölçekli çalışmadan tam ölçekli çalışmaya başarılı bir şekilde uyarlanmıştır,
- Yüksek yük konsantrasyonlarına ve bazı proses aksaklıklarına rağmen SHARON dengeli/kararlı bir prosestir. Aynı zamanda proses, havalandırma periyodundaki düzenlemeler ile oldukça kolay bir şekilde kontrol edilebilir,
- SHARON oldukça dinamik ve hızlı bir proses olduğundan proses kontrolü önemlidir (özellikle pH için),
- Yüksek giriş konsantrasyonlarına ve dönüşüm oranlarına bağlı olarak yüksek miktarda ısı üretimi gerçekleşir,
- SHARON prosesi yüksek AKM giriş konsantrasyonlarına duyarlı değildir,
- Metanol, 2,4 kgKOİ/(kg uzaklaştırılmış azot) gibi minimum oranlar ile karbon kaynağı olarak kullanılmıştır,
- SHARON sisteminde pH, denitrifikasyon prosesinden kaynaklanan alkalinite ile kontrol edilebilir,
- %90 oranında azot giderimi gerçekleştirilebilir,
- Ana akımda beklenilen azot giderimi sağlanmıştır (van Kempen vd., 2001).



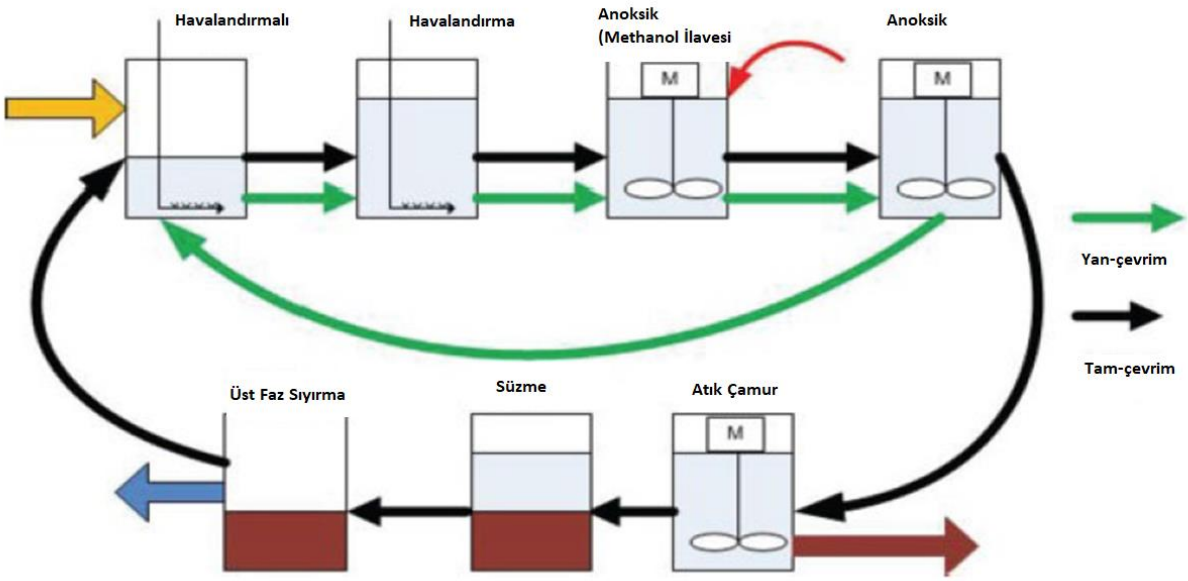
Şekil 3.11 2 aşamalı AAT akış diyagramı
(van Kempen vd., 2001).

SHARON prosesi azotun Anammox prosesi ile giderimi için gerekli olan NH_4-N/NO_2-N oranını sağlamak amacı için de uygulanmaktadır. Anammox prosesi için giriş amonyum/nitrite mol oranının (1) bir olması gerekmektedir. SHARON prosesi anaerobik çürütücü çıkış sularına uygulandığında bu oranı yakalamak için herhangi bir pH kontrolü gerekmemektedir. Bunun nedeni çamur süzüntü sularında amonyumun yarısı nitrite dönüştüğünde sudaki alkalinitenin tamamı tükenmesi ve pH düşüşünün gerçekleşmesidir. pH' yı yükseltecek herhangi bir kimyasal eklenmediği takdirde düşük pH nedeniyle nitrifikasyon daha fazla ilerlemez. Böylelikle giriş amonyumunun sadece %50'si nitrite dönüşmüş olur.

2. ANITA

ANITA prosesinde Ardışık Kesikli Reaktörde nitrit oksitleyen bakteriler serbest amonyak (FA) inhibisyonu ile sistemden atılır ve nitrit üzerinden denitrifikasyon prosesi gerçekleşir (Şekil 3.12). Reaktöre atıksu beslemesi esnasında elde edilen yüksek amonyak gradyanları ve oksik fazda nitrit birikimi ile oluşan serbest nitröz asit (FNA) üretimi NOB bakterilerini inhibe ederek sistemden atılmalarına neden olur. ANITA prosesinde uygulanan atıksu besleme besleme şekli klasik bir ardışık kesikli reaktörden farklıdır. Reaktör seviyesi maksimum işletme hacmine ulaşana kadar birçok yan çevrim (besleme, havalandırma ve karbon dozlama) ile kademeli olarak arttırılır. Ancak bu proses

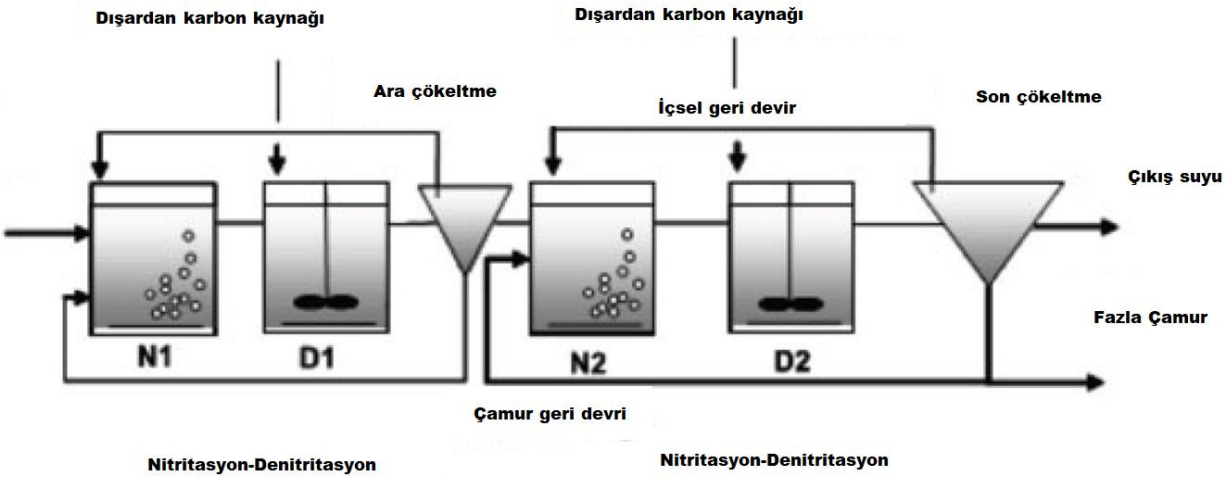
karbon/azot oranı 2 ile 5 aralığında olan sular için geçerlidir. Birçok evsel atıksu arıtma tesisinin anaerobik çürütücü yan akımları için uygun değildir. ANITA ile SHARON prosesleri karşılaştırıldığında, ANITA prosesinde NOB'lerin sistemden uzaklaştırılması yüksek sıcaklığa bağlı olmadığından sisteme dışarıdan ısı girişi gerekli değildir. Bu sayede süreç esnasında daha az sera gazı emisyonunun ortaya çıktığı iddia edilmektedir (WREF, 2015).



Şekil 3.12 ANITA Çevrimleri

3. PANDA

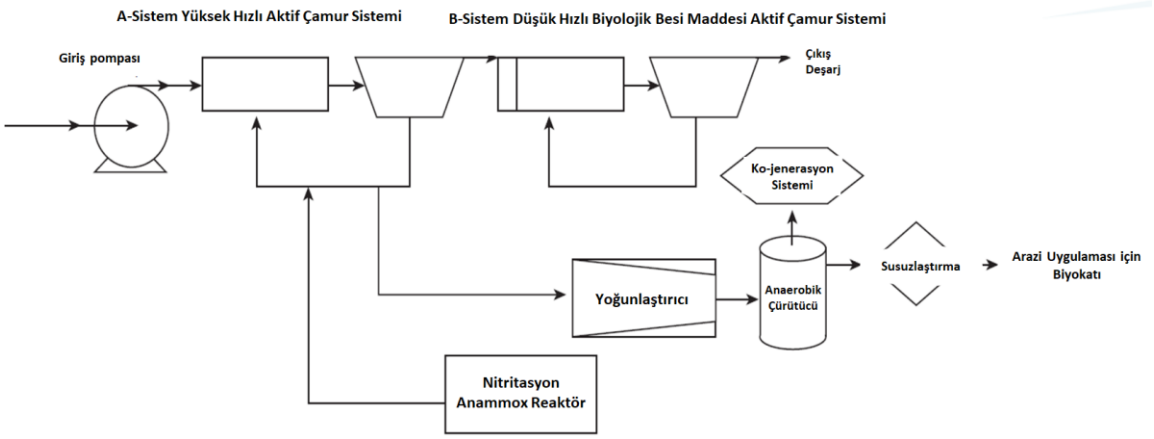
İki aşama nitritasyon-denitritasyon PANDA prosesinde her iki aşamada da katı madde birikimi, içsel geri devir ve çamur geri devri görülmektedir. İçsel geri devir alkalinite geri kazanıma destek vermektedir ve bu sayede çamur flok yapısının bozulmaması ve prosesin pik hidrolik ve kütle yükünde çalışması düzenlenir. PANDA prosesinde nitrit oksitleyen bakterilerin ortamdan uzaklaştırılması için çözünmüş oksijen kontrolü ve denitrifikasyonun gerçekleşmesi için karbon besleme kontrolü yürütülür (Şekil 3.13) (WREF, 2015).



Şekil 3.13: PANDA prosesi
(Shi, 2011)

4. STRASS prosesi

Avusturya'da bulunan Strass AAT'de geliştirilen Strass ardışık kesikli reaktör prosesinde reaktör yüksek çamur yaşında ve karbon desteği için birincil çamur ilavesi ile çalışmaktadır. Nitrit üzerinden azot giderim mekanizması ise proseste havalandırma sisteminin belirli aralıklarla açılıp kapatılması (kesikli havalandırma) sayesinde gerçekleştirilir (WREF, 2015). Aşağıda belirtilen Şekil 3.14 ve daha sonrasındaki açıklamalar Strass AAT tesisi ile alakalı daha detaylı bilgi vermeyi amaçlamaktadır: (WERF, 2010)

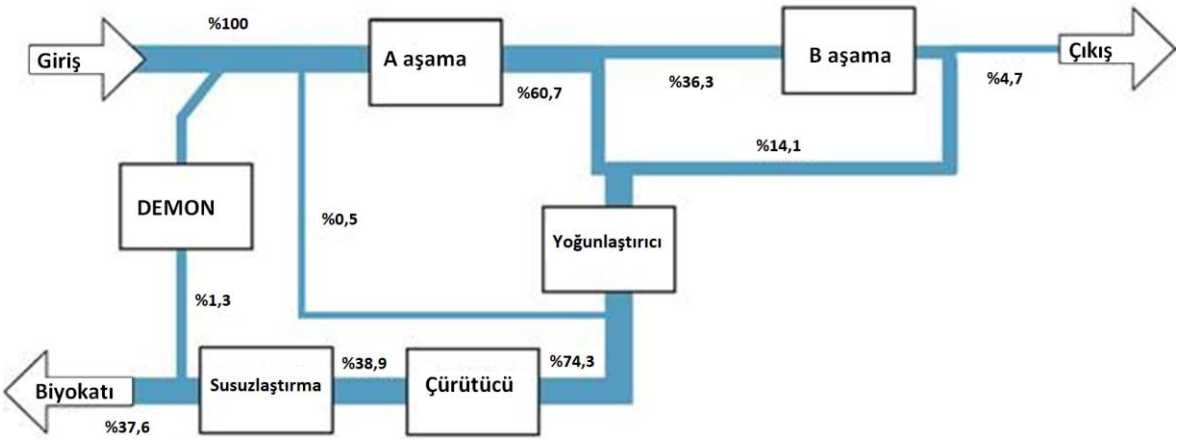


Şekil 3.14 Strass AAT proses akış diyagramı
(WERF, 2010)

- İki aşamalı biyolojik arıtma (A/B aşamaları) içerir,
- Tesise kirlilik yükü girişi 60.000-250.000 eşdeğer nüfus aralığında değişmektedir,

- Çöktürme ile beraber A aşama proses ve çamur devri organik yük değerini %55-65 aralığında azaltmaktadır,
- A aşama 0,5 gün çamur bekleme süresi (ÇBS) ile çalışırken, B aşama için hedeflenen ÇBS 10 gündür,
- Düşük yüklü B aşama proseste azot giderimi çıkışta maksimum 5 mg/L azot limitini sağlamak amacıyla ön-denitrifikasyon işlemi ile gerçekleştirilir,
- Tüm aktif çamur sistemleri gerekli olması durumunda aerobik koşullarda çalıştırılabilir,
- Hava akımları ve havalandırma süreleri on-line amonyak ölçümleri ile kontrol edilebilir,
- Fazla çamur önce yoğunlaştırılır ve sonrasında anaerobik koşullarda çürütülür ve susuzlaştırılır,
- Çürütücüden gelen yan akım ana akıma tekrardan dâhil olmadan önce amonyak arıtımını için DEMON prosesine adapte edilen ardışık kesikli reaktör teknolojisi aracılığıyla arıtılır,
- İki aşamalı biyolojik arıtma sayesinde A aşamada fazla aerobik stabilizasyon olmaksızın yüksek oranda organik madde tutulması sağlanır,
- Düşük ÇBS katkısıyla A aşamada organik maddelerin çoğunlukla adsorpsiyon ile giderimi sağlanır ki bundan dolayı organik maddeler yüksek miktarda öncelikle yoğunlaştırıcıya ardından çürütücüye taşınır (WERF, 2010) .

Şekil 3.15 ise 2004 yazında tesise ait ana proseslerdeki KOİ dengesini göstermektedir.



Şekil 3.15 Ana tesis bileşenleri arasında KOİ dengesi
(WERF, 2010)

Strass atıksu arıtma tesisinde yararlanılan de-ammonifikasyon uygulamasının enerji alanında kendi kendine yeterlilik (Şekil 'de şematize edilmiştir) konusunda oldukça önemli olduğu aşikardır ancak bununla beraber genel anlamda alanında uzman personellerle ile çalışmanın, yüksek seviye otomasyon ve gelişmiş proses analiz aletlerinin kullanımının ve proseste meydana gelebilecek aksaklıklarının tolere edilebilirliği oldukça mühimdir (WERF, 2010) Strass AAT'sinde gerçekleştirilen enerji optimizasyonuna bir diğer deyişle tesis kazanımlarına ait bazı bilgiler aşağıda listelenmiştir:

- Çamur yoğunlaştırması için kullanılan kimyasal miktarında %50 azalma,
- %33 oranında çamur susuzlaştırma maliyetinde azalma,
- Arıtılan su kütlelerine dair enerji harcamasında azalma,
    - 2003 yılında 6,5 euro/kg NH_4-N
    - 2007/2008 yıllarında 2,9 euro/kg NH_4-N
- Yan akım arıtımı,
    - Nitritasyon/Anammox (DEMON) kullanarak yan akım arıtımı için gerekli olan enerji harcaması 350 kWs/g'den 196 kWs/g'e azalmıştır.
- Çürütücüden elde edilen gazın kullanımı
    - Elektrik üretim veriminde %33'ten %40'a artış
    - Toplam çürütücü gazı kullanım veriminde 2,05 kWs/m^3'ten 2,3 kWs/m^3 artış elde edilmiştir (Crawford, 2011).

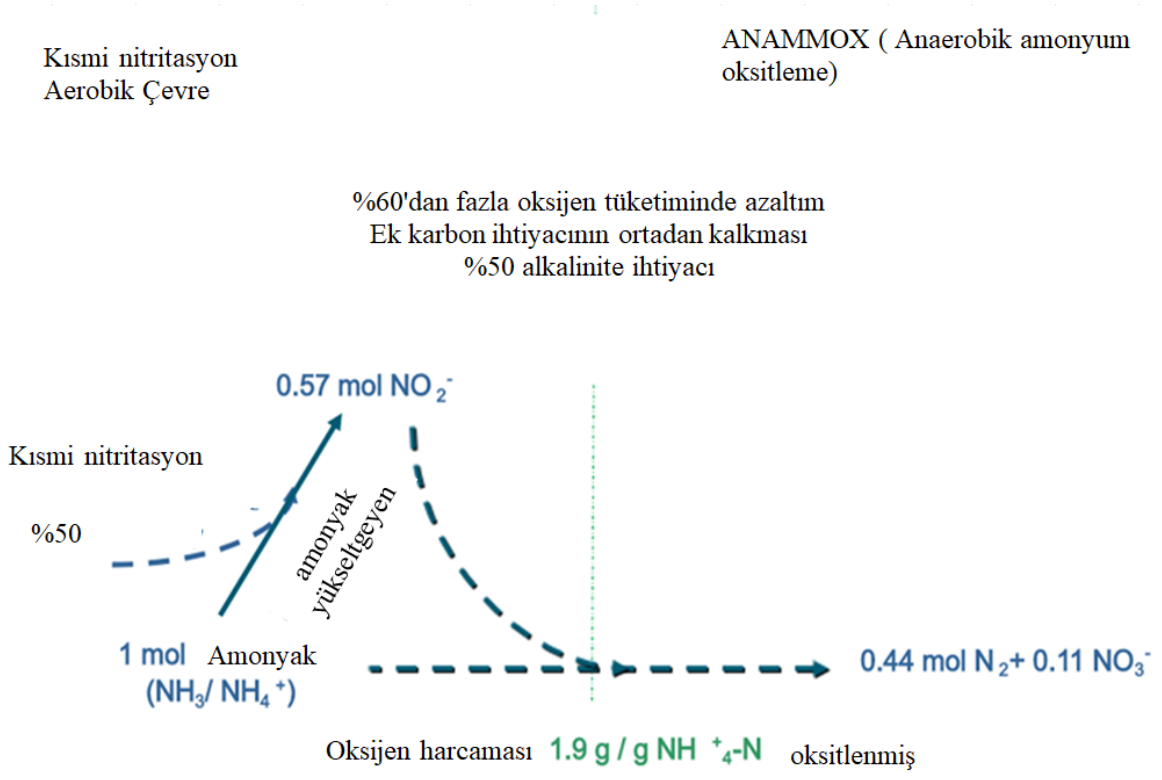
3.3.2 Nitritasyon ve Anammox

Anammox (anaerobik amonyum oksitleme) prosesi yeni bir teknolojidir ve düşük oksijen sarfiyatını amaçlamaktadır. Proses, amonyağın yarısının AOB tarafından nitrite oksitlenmesini ve nitritin anammox bakterileri tarafından elektron alıcısı olarak kullanılarak amonyağın diğer yarısını oksitleyerek azot gazını oluşturmasını içermektedir ve aşağıda belirtilen denklem (3) ve Şekil 3.16 anammox prosesini göstermektedir (Sandip, M., and Kalyanraman, 2017.

$$NH_4 + NO_2^- \rightarrow N_2 + 2H_2O \quad (3)$$

Anammox prosesinde, prosesin başarılı uygulanabilmesi için nitrit ile amonyum arasındaki oranın 1.32:1 olması gerekmektedir. Ancak, bu koşulun sağlanması çeşitli atıksular için

oldukça zordur. Bu nedenle nitrit oluşumunu sağlamak için ön arıtma tavsiye edilmektedir (Salmistraro, 2015)..



Şekil 3.16. Kısmi nitritasyon/ anammox (PN/AN)

<u>Anammox Biyoreaktörü için Proses Kontrolü</u>

Anammox biyoreaktörü için ana kontrol esasları aşağıda belirtilen hususları kapsamaktadır.

i. Çözünmüş maddeler ve metanol gibi inhibitörler sistem dışında tutulmalıdır;
ii. Organik karbon kaynağı sınırlı seviyede tutulmalıdır. Organik karbon veya ışık kaynakları heterotorofik ve ototrofik bakterilerin büyümesine imkan tanımakta ve bu bakterileri Anammox bakterileri ile mücadele eder hale getirmektedir;
iii. Anammox bakterileri nitrit ve amonyak arasındaki doğru oran ile beslenmelidir; ve
iv. Anammox biyokütlesinin reaktör içerisinde çamur bekleme yaşı 11 veya daha fazla olacak şekilde tutulması gerekmektedir. Bu amaçla askıda büyüyen prosesler, örneğin; granüler çamur prosesleri veya membran biyoreaktör ve bağlı film

prosesleri, bağlı veya hareketli yatak reaktörü veya RBCs (döner biyolojik kontaktör) kullanılabilir.

İki reaktörde Kısmi nitritasyon ve Anammox sistemleri: Bu tarz prosesler iki adet reaktör içermekte ve reaktörlerde sırasıyla amonyum içeriğinin %50 oranında kısmi nitrifikasyonu ve ardından ikinci tankta azot gazına dönüşümü gerçekleşmektedir. Birinci tankta, ideal koşullarda nitrit ile amonyum arasındaki oranın daha önce de ifade edildiği gibi 1,32:1 olması beklenirken yüksek konsantrasyonlarda anammox bakterileri için toksik etki gösteren nitritin inhibisyonunun engellenmesi için 1:1 oranı seçilmektedir ve denklem şu şekildedir.

$$4NH_4^+ + 3O_2 + 4HCO_3^- \rightarrow 2NH_4^+ + 2NO_2^- + 4CO_2 + 6H_2O \quad (4)$$

Proses içerisinde her iki reaktörde de iyi işlevsel koşulların var olduğundan emin olmak gerekmektedir. Kısmi nitrifikasyon aşaması için ilgili parametreler sıcaklık, çözünmüş oksijen, pH ve hidrolik beklme süresidir. Tipik pH aralığı 6,6 ile 7 arasında iken sıcaklık aralığı 30°- 40°C'dir. Bu sistem sayesinde havalandırma ve karbon kaynağı için olan harcamaların sırasıyla %40 ve %100 azalmasına ek olarak 1 kg azot gerekimi için gerekli olan O_2 miktarı 4,6 kg'dan 1,6 kg' a düşmektedir. Üretilen çamur miktarında da azalma olmaktadır. 1 kg azot arıtımı sonucunda oluşan 1 kg UAKM, bu yöntem aracılığıyla 0,08 kg UAKM olmaktadır. Aynı zamanda sistem, harici karbon kaynağına ihtiyaç duymadan çalıştığı gibi CO_2 emisyonun da azalma sağlamaktadır.

Bir reaktörde Kısmi nitritasyon and Anammox sistemleri: Bu sistem CANON, SNAP ve Deammonification olarak adlandırılabilmektedir (Salmistraro, 2015).

a. CANON (Nitrit aracılığıyla tamamen otorofik azot giderimi); Bir reaktör içerisinde kısmi nitritasyon ve anammox proseslerinin birleşimi
b. SNAP (Anammox ve kısmi nitritasyon kullanılarak tek kademede azot giderimi); Bir reaktör içerisinde kısmi nitritasyon ve anammox proseslerinin birleşimi
c. Deanammox ya da Deammonifikasyon; Bir proses içerisinde denitrifikasyon ve anammox kombinasyonudur.
d. Hibrit sistemlerde anammox - Hibrit sistemler askıda ve bağlı büyüyen sistemleri içeren sistemlerdir. Örneğin; IFAS sistemleri, bu sistemlerde çamur geri devri hem biyofilm hem de askıda mikroorganizmalar için ortam oluşması

amacıyla kullanılır. Biyolojik reaksiyonlar her iki ortamda da gerçekleşir, IFAS sisteminin çok temel gösterimi Şekil 3.17'de verilmektedir.

Şekil 3.17: IFAS Anammox

Laboratuvar, pilot ve tam ölçekli tek kademeli kısmi nitrifikasyon ve anammox çalışmaları Tablo 3.8'de özetlenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, tek kademeli kısmi nitrifikasyon/Anammox çalışmaların çoğunun bağlı büyüyen çamur üstünde gerçekleştirildiği görülmektedir. Prosesin doğası gereği, askıda büyüyen proses uygulaması kısıtlıdır. Çoğu laboratuvar ölçeğinde incelenen, tek kademeli kısmi nitrifikasyon/Anammox çalışmalarında, TN giderim veriminin oldukça geniş bir aralıkta, %25 ila %95 arasında olduğu görülmektedir. TN arıtma hızı için, gözlemlenmiş en küçük değer 0,005 kgN/m^3/ gün olurken, en yüksek değer, 0,9 kgN/m^3/ gün ile %95'lik TN giderim veriminin sağlandığı SBR'da yürütülmüş çalışmada elde edilmiştir. Pilot ölçekli çalışmalarda kullanılan reaktör hacimleri, 2-50 m^3 arasındadır. Pilot çalışmaların, TN giderim verimlerinin, laboratuvar çalışmalarına kıyasla, biraz daha dar bir aralıkta, %50 ila %70 aralığında olduğu görülmektedir. Gerçek ölçekli, tek kademeli kısmi nitrifikasyon/Anammox(PN/A) tesisinde (Strass AAT and Changi Water Reclamation Plant) gerçekleştirilen ve hidrolik bekletme süresinin benzer seviyelerde olduğu (5,6 ve 5,7 saat) iki çalışmada 9-15 ve 30 ^{o}C sıcaklık aralığında TN giderim verimi sırasıyla % 82 ve % 88 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.8 Laboratuvar, pilot ve tam ölçekli kısmi nitrifikasyon/Anammox çalışmaları

Proses/Reaktör /Biyokütle	Referans	Reaktör hacmi (m^3)	HBS (saat)	Sıcaklık (°C)	pH	Giriş (mg/L, C/N)	N yükleme hızı ($kgN/m^3/gün$)	N arıtma hızı ($kgN/m^3/gün$)	Arıtma verimi (%) ve azot çıkış suyu (mg/l)
Tek kademeli kismi nitrifikasyon/Anammox (PN/A); askıda büyüyen prosesler									
Aktif Çamur, SBR (Ardışık Kesikli Reaktör)	Hu vd., 2013	0,005	11	12	7,3	NH_4-N =70, KOİ≅ 0	0,03	0,028	N arıtma verimi 90%, NO_2 birikimi yok
Aktif Çamur	Han vd., 2016	0,2	3,7	Oda sıcaklığı	Mevcut değil	NH_4-N=24, C/N= 1-3	0,14	0,1	TN arıtma verimi 70%, NH_4-N 1.4, NO_2-N 0.6 NO_3-N 5.3
Tek kademeli kismi nitrifikasyon/Anammox (PN/A); bağlı büyüyen proses (granul çamur, biyofilm prosesi)									
SBR (Ardışık Kesikli Reaktör)	Winkler vd., 2012	0,0029	4	18	7,2	NH_4-N =190, H_{AC} =100	Mevcut değil	0,9	N arıtma verimi 85 %
Gaz yüklemeli SBR (Ardışık Kesikli Reaktör)	Lotti vd., 2014	0,027	5,5-7,2	20	7,3	NH_4-N=60-160 KOİ≅ 0	0,53	0,51-0,49	%TN arıtma verimi 95-89 % NO_2-N <1
Gaz yüklemeli SBR (Ardışık Kesikli Reaktör)	Lotti vd., 2014	0,027	5,5-7,2	15	7,3	NH_4-N= 60-160 KOİ≅ 0	0,53	0,48-0,41	% TN arıtma verimi 89-73
Gaz yüklemeli SBR (Ardışık Kesikli Reaktör)	Lotti vd., 2014	0,027	5,5-7,2	10	7,3	NH_4-N= 60-160 KOİ≅ 0	0,27-0,43	0,,2-0,1	% TN arıtma verimi 47
Anaerobik arıtma ünitesinden beslemeli EGSB	Cong vd., 2015	0,001	6	30	Mevcut değil	NH_4-N= 44, çözülebilen KOİ/N=0,8-1,1	Mevcut değil	Mevcut değil	N arıtma verimi %73
Anaerobik arıtma	Cong vd.,	0,001	6	20	Mevcut	NH_4-N= 44,	Mevcut değil	Mevcut değil	N arıtma

Proses/Reaktör /Biyokütle	Referans	Reaktör hacmi (m^3)	HBS (saat)	Sıcaklık (°C)	pH	Giriş (mg/L, C/N)	N yükleme hızı (kgN/m^3/gün)	N arıtma hızı (kgN/m^3/gün)	Arıtma verimi (%) ve azot çıkış suyu (mg/l)
ünitesinden beslemeli EGSB	2015				değil	çözülebilen KOİ/N=0,8-1,1			verimi %73
Anaerobik arıtma ünitesinden beslemeli EGSB	Cong vd., 2015	0,001	6	10	Mevcut değil	NH_4-N= 44, çözülebilen KOİ/N=0,8-1,1	Mevcut değil	Mevcut değil	N arıtma verimi %46
Aktif Çamur	Lotti vd., 2014b; Geilvoet vd., 2015	4	1,5-2	17-23	7-7,3	BOİ/N= 0,67(kimyasal zenginleştirilmiş A etap besleme)	Mevcut değil	0,20-0,30	TN arıtma verimi %50-70
OLAND RBC	De Clippeleir vd., 2011	0,0036	2-1	25	7,3	NH_4-N = 66-31 KOİ≅ 0	0,85	≅0,4	Arıtma verimi %50 NH_4-N= 3-7
OLAND RBC	De Clippeleir vd., 2013	0,0036	1,8	29	7,5-7,7	NH_4-N = 55-60 KOİ/N ≅0	1,1-1,4	0,5	TN arıtma verimi≅ %40 NH_4-N= 8
OLAND RBC	De Clippeleir vd., 2011	0,0036	1,8	15	7,5-7,7	NH_4-N = 55-60 KOİ/N ≅0	1,2-1,4	0,5	TN arıtma verimi≅ %40 NH_4-N= 4
MBRR(K3®taşıyıcı, 10 mm genişlikte biyofilm)	Gilbert vd., 2014	0,001	24	20	7,3	NH_4-N= 50 KOİ ≅0	Mevcut değil	0,04	NH_4-N<8 NO_2-N =1-8
MBRR(K3®taşıyıcı, 10 mm genişlikte biyofilm)	Gilbert vd., 2014	0,001	>48	10	7,3	NH_4-N= 50 KOİ ≅0	Mevcut değil	0,015	NH_4-N<8 NO_2-N= 1-8
MBBR(K1 taşıyıcı) IFAS	Trajanowicz vd., 2016	0,2	40	17	7,2-7,5	NH_4-N= 45 KOİ 44-71	0,02	0,005	TN arıtma verimi %25
MBBR(K1 taşıyıcı) IFAS	De Clippeleir vd., 2013	0,2	40	17	7,2-7,5	NH_4-N 45 KOİ =44-71	0,02	0,01	TN arıtma verimi %44
MBBR(K1®taşıyıcı)(taşıyıcı	Gustavsson	2,3	4	15	Mevcut	NH_4-N = 28	0,20	0,12	% TN arıtma

Proses/Reaktör /Biyokütle	Referans	Reaktör hacmi (m^3)	HBS (saat)	Sıcaklık (°C)	pH	Giriş (mg/L, C/N)	N yükleme hızı ($kgN/m^3/gün$)	N arıtma hızı ($kgN/m^3/gün$)	Arıtma verimi (%) ve azot çıkış suyu (mg/l)
transferi ile tartışma)	vd., 2014				değil	Çözülebilen KOİ= 56			verimi; %60 seviyelerinde
Granul ve biyofilm	Liv d., 2016	0,0025	16	25	7-7,5	NH_4-N =70 Glikoz-KOİ= 40	0,1	0,08	TN arıtma verimi %81 NH_4-N= 4-8
	Zhang vd., 2014	0,12	4-6	22-28	7,3-7,5	NH_4-N =45	0,22	0,16	TN arıtma verimi; %65-80
A/O SBR çıkış suyu ile beslenen bağlı biyofilm(sünger ortam)	Veuillet vd., 2015			20-14	7,2-7,5	KOİ≅ 80	0,17	0,12	TN arıtma verimi %60-82
IFAS ANITA Mox (yan akım ve ana akımda ANITA Mox değişimi)	Veuillet vd., 2015	2	Mevcut Değil	23-17	Mevcut Değil	NH_4-N= 35 Çözülebilen KOİ/NH_4-N= 1.5–2 NH_4-N 20–25 Çözülebilen KOİ/NH_4-N~3	Mevcut Değil	0,1-0,3	N arıtımı70 % NH_4-N<10 NO_3-N<7 NO_2-N<2
IFAS ANITA Mox (yan akım ve ana akımda ANITA Mox değişimi)	Veuillet vd., 2015	50	2,5-3	12-18	Mevcut Değil	NH_4-N =35 Çözülebilen KOİ/NH_4-N = 1.5–2 NH4-N= 20–25 Çözülebilen KOİ/NH_4-N~3	Mevcut Değil	0,1-0,3	N arıtımı 40 % NH_4-N<10 NO_3-N<7 NO_2-N<2
SBR hibrit MBBR	Laureni vd. ,2016	0,012	15	15	Mevcut Değil	NH_4-N= 21 NO_3-N ve NO_2-N<0,4 KOİ= 69 Çözülebilen KOİ= 46	Mevcut Değil	0,02-0,04	TN arıtma verimi > 70 % NH_4-N <2 TA<10

Proses/Reaktör /Biyokütle	Referans	Reaktör hacmi (m^3)	HBS (saat)	Sıcaklık (°C)	pH	Giriş (mg/L, C/N)	N yükleme hızı ($kgN/m^3/gün$)	N arıtma hızı ($kgN/m^3/gün$)	Arıtma verimi (%) ve azot çıkış suyu (mg/l)
TAM ÖLÇEKLİ, Tek kademeli kismi nitrifikasyon/Anammox(PN/A) (Strass AAT and Changi Water Reclamation Plant " Su İyileştirme Merkezi")									
Aktif Çamur	Wett vd., 2013; Al-Omari vd., 2015	10,46	5,6	9-15	Mevcut Değil	NH_4-N= 15-40 KOİ/N= 9,2	0,19	0,15	%N arıtımı 82 NH_4-N =2,7 NO_3-N = 2 NO_2-N = 1,9
Aşama Aşama beslemeli Aktif Çamur	Cao vd., 2013	56,800	5,7	30	6,5-7,3	NH_4-N= 30,8 NO_3-N = 0,7 NO_2-N = 0,4 KOİ/N~7	0,17	0,15	% TN arıtma verimi 88 NH_4-N = 1,7 NO_2-N = 1,2 NO_3-N = 1,1
İki kademeli kismi nitrifikasyon/Anammox (PN/A)									
(PN:askıda; Anammox:biyofilm)	Ma vd., 2011	0,028 PN ve 0,0085 Anammox	4,6 (PN) için ve 1,4(anammox) için	27-30	Mevcut Değil	Toplam Azot= 45,9 KOİ =44,4	0,11	0,10	N arıtımı 88 % NH_4-N= 0,84 NO_3-N =0,61 Toplam Azot= 5,4
PN: Aktif Çamur; Anammox:MBBR	Regmi vd., 2014a	0,34 PN ve 0,45 Anammox	3	25	6,7	PN NH_4-N= 33,4 C/N ~7 Anammox NH_4-N= 5,5 NO_2-N =0,7 NO_3-N =2,9	0,25	0,15(PN) ve 0,05(Anammox) için	N arıtımı 75 % NH_4-N = 6,6 NO_2-N =2,1 NO_3-N = 4,6
PN: Aktif Çamur; Anammox:MBBR	Regmi vd., 2014b	0,34 PN ve 0,45 Anammox	4	25	6,7	PN NH_4-N 33,4 C/N ~7 Anammox NH_4-N= 5,5 NO_2-N =0,7 NO_3-N =2,9	0,25	0,15(PN) ve 0,05(Anammox) için	N arıtımı 38 % NH_4-N= 4,5 NO_2-N= 0,21 NO_3-N= 4

Proses/Reaktör /Biyokütle	Referans	Reaktör hacmi (m^3)	HBS (saat)	Sıcaklık (°C)	pH	Giriş (mg/L, C/N)	N yükleme hızı (kgN/m^3/gün)	N arıtma hızı (kgN/m^3/gün)	Arıtma verimi (%) ve azot çıkış suyu (mg/l)
Anammox prosesi									
Gaz yüklemeli granül çamur reaktörü	Hendrickx vd., 2012	0,0045	5,3	20	7,5-8,2	NH_4-N= 35 NO_2-N =30 KOİ =30	0,31	0,26	(NH_4 + NO_2)-N= 0,03-0,17
Aktif Çamur SBR	Hendrickx vd., 2014	0,0042	98-43	10	7,5	(NH_4+NO_2)= 61 KOİ~10	Mevcut Değil	0,027	TN arıtma verimi 81%
Granul Çamur UASB	Ma vd., 2013	0,008	0,12	30	Mevcut Değil	KOİ~10 NH_4-N=16,8	Mevcut Değil	5,72	NO_2 arıtımı 94 % NH_4 arıtımı 93%
Granul Çamur UASB	Ma vd., 2013	0,008	0,28	16	Mevcut Değil	NO_2-N= 20,5 NO_3-N =13,9 Çözülebilen KOİ= 25,5	Mevcut Değil	2,28	NO_2 arıtımı 92 % NH_4 arıtımı 79 %
Hibrit SBR	Laureni vd., 2015	0,012	3-16,5	29	7,3	NH_4-N =19 KOİ =71 Çözülebilen KOİ= 47	Mevcut Değil	0,47	Mevcut Değil
Hibrit SBR	Laureni vd., 2015	0,012	3-16,5	12,5	7,3	NH_4-N =19 KOİ =71 Çözülebilen KOİ= 47	Mevcut Değil	0,05	Mevcut Değil
Sünger yataklı Damlatmalı filtre	Guillen vd., 2015	0,004	0,12	20	7,9	NH_4-N = 50 NO_2-N = 50 KOİ = 0	0,64	0,46	TN arıtma verimi 74%
Sünger yataklı Damlatmalı filtre	Guillen vd., 2015	0,004	0,11	30	7,9	NH_4-N = 50 NO_2-N = 50 KOİ = 0	0,64	0,43	TN arıtma verimi 78%

3.3.3 Atıksulardan Besin Maddesi Giderimi İçin Mikroalglerin Kullanımı

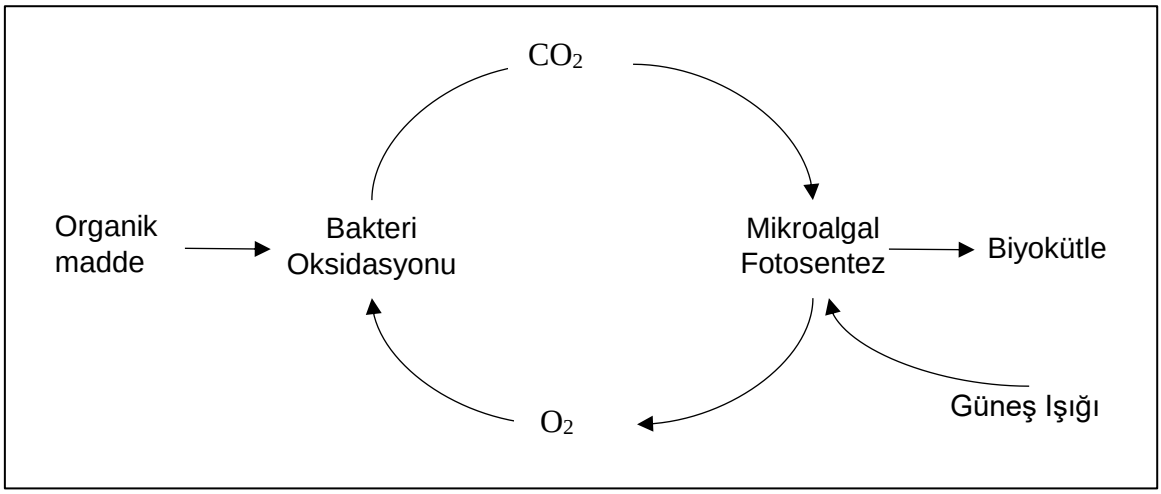
Yenilikçi besin maddesi giderim yöntemleri arasında yer alan bir diğer uygulama, SND ve kısmı nitritasyon ve annamox gibi proseslere alternatif olarak, mikroalgler ile besin giderimi yapılmasıdır. Mikroalglerle atıksulardan besin maddesi giderimi, özetle, doğada gerçekleşen ötrofikasyon prosesinin mühendislik çözümleri ile atıksu arıtımında uygulanmasıdır. Bu özelliği ile, besin maddesi giderimi amacıyla geliştirilecek mikroalg sistemleri, kontrollü alg çoğaltma sistemleri olarak da ifade edilebilir. Arıtma sistemlerinde, mikroalg kullanımı eski bir teknolojidir. Stabilizasyon havuzları, mikroalg ve aktif çamurun bir arada bulunduğu ilk sistemlerdir. Ancak, bu sistemler, daha ziyade mikroalgin ürettiği oksijenden faydalanmak üzerine kurulmuştur ve mikroalgin doğrudan atıksulardan besin maddesi giderimi için uygulanmasından farklıdır. Son on yılda, mikroalglerin fosil yakıtlara alternatif olarak kullanıldığı çalışmaların artması, mikroalglerin depoladığı yağ ve karbonhidratın biyoyakıta dönüştürülmesi yönünde yürütülen araştırmalar, atıksudaki besin maddelerinin mikroalg üretiminde kullanılmasını ve aynı zamanda da atıksudan besin maddelerinin giderilmesi çalışmalarını yeniden gündeme getirmiştir. Atıksulardan besin maddesi giderimi için mikroalg uygulamalarında karşılaşılması en muhtemel sorun, mikroalg ve su fazının verimli ve uygun maliyetlerle ayrılmasının sağlanmasıdır. Aşağıda, atıksulardan besin maddesi giderimi amacıyla mikroalglerin kullanılmasına yönelik araştırma ve uygulamalar detaylı bir şekilde değerlendirilmiş, mikroalgin de yer aldığı enerji verimli yenilikçi arıtma proses şemaları geliştirilmiştir.

Azot-fosfor bakımından zengin olan atıksular mikroalglerin büyümesi için uygun ortamlar olduğundan, arıtma sistemlerindeki mevcut problemler mikroalglerin kullanımı ile çözülebilir. Genel olarak birçok mikroalg türünün çok çeşitli atıksulardan azot-fosfor, koliform bakterileri, ağır metalleri gidermede, kimyasal ve biyolojik oksijen ihtiyacını azaltmada etkili oldukları kanıtlanmıştır (Munoz ve Guieysse, 2006; Suali ve Sarbatly, 2012; Cai vd., 2013). Bu açılardan bakıldığında arıtma tesisi bünyesinde kurulacak bir mikroalg prosesi ile besin maddelerin daha düşük maliyet, daha az enerji kullanımı ile giderimi çevre dostu bir yaklaşım olarak görülmektedir.

Mikroalglerin Atıksu Arıtımındaki Rolleri

Mikroalgler tek veya çok hücreli fotosentetik sucul organizmalar olarak tanımlanmaktır. Güneş enerjisini, CO_2'i ve inorganik azot ve fosforu, fotosentez yoluyla biyokütleye dönüştürme yeteneğine sahip sucul mikroorganizmalardır. Son derece zengin protein, karbonhidrat ve lipit içeriğine sahip olmaları nedeniyle hayvansal yem, gıda katkı maddesi, kozmetik ve ilaç sanayi gibi çeşitli alanlarda kullanıma sahip olan mikroalgler, son yıllarda biyodizel üretiminin hammaddesi olarak da ön plana çıkmıştır (Soydemir, 2016).

Mikroalglerin atıksu arıtımında kullanılmaları, yüksek hızlı alg havuzları (High Rate Algal Pond- HRAP) olarak bilinen ve 1950'li yılların sonlarından itibaren Oswald ve arkadaşları tarafından geliştirilen, gelişmiş entegre atıksu havuzu sistemlerine dayanmaktadır (Oswald, 1988; Oswald and Golueke, 1960). Bu sistemlerde %90 üzerinde BOİ, ve nütrient (azot-fosfor) giderimi sağlanması, mikroalg ve bakteri arasındaki sinerjik ilişki ile açıklanmıştır (Oswald, 1988). Bakteri-mikroalg konsorsiyumunda, mikroalgler atıksudaki azot ve fosforu kullanarak/bünyelerine alarak, hem arıtım sağlarlar hem de hetetrotrofik aerobik bakterilerin organik maddeleri parçalaması için ihtiyacı olan oksijeni üretirler. Üretilen oksijenin bakteriyel oksidasyon sırasında kullanımıyla da, mikroalglerin fotosentez için ihtiyaç duyduğu karbon kaynağını olan CO_2 üretilmektedir (Şekil 3.18). Fotosentetik havalandırma olarak tanımlanan bu süreç, mekanik havalandırma için gereken enerji ihtiyacının azaltılması ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi açısından avantajlı bir yöntemdir (Munoz ve Guieysse, 2006 Rawat et al., 2011; Aitken and Antizar-Ladislao, 2012; Kim et al., 2014; Shen et al., 2017). Bu sayede eş zamanlı olarak gerçekleştirilen atıksu arıtımı ve mikroalgal biyokütle üretimi sayesinde, üretilen biyokütlenin biyoyakıta dönüştürülme potansiyeli ile çok yönlü bir enerji verimliliği sağlanabilmektedir. Sonuç olarak üretilen mikroalg biyokütlesinin ikinci bir kirliliğe neden olmaması da, bu prosesi çevre dostu bir süreç haline getirmektedir.



Şekil 3.18 Atıksu arıtımında fotosentetik oksijenasyon ile bakteri-mikroalg konsorsiyumu

Mikroalgler için gerekli besinlerin tamamı (organik karbon, inorganik azot ve fosfor, çeşitli iz elemetler) evsel, tarımsal ve bazı endüstriyel atıksularda önemli oranda bulunmaktadır (Cai et al., 2013). Literatürde özellikle evsel atıksulardan azot ve fosfor gideriminde çeşitli mikroalg türlerinin kullanımını içeren çok sayıda çalışma mevcuttur (8,9,21,22).

Mikroalgler büyümeleri için gereken inorganik karbon kaynağı olan atmosferdeki mevcut CO_2'i de etkili bir şekilde özümseme yeteneğine sahiptiler. 1 kg kuru mikroalg biyokütlesi üretimi için yaklaşık olarak 1,83 kg CO_2'in mikroalg tarafından biyofiksasyonu sağlanmaktadır (Chisti, 2007; Sanchez et al., 2011). Dolayısıyla atmosferde biriken fazla CO_2'i de bünyelerine alarak küresel ısınmanın önlenmesine ve karbon ayak izinin düşürülmesine katkıda bulunabilirler. Ayrıca mikroalglerin yüksek CO_2 konsantrasyonlarına karşı tolerans göstermeleri, atık baca gazlarından etkin bir şekilde CO_2 özümsemelerine de olanak sağlamaktadır. Bu yüzden mikroalgler hem atmosfere karbon salınımının azaltılması ve küresel karbon dengesinin korunması, hem de küresel enerji ihtiyacının karşılanması açısından da büyük faydalar sağlayabilecek bir enerji kaynağıdır (Gürol, 2013).

Mevcut Çalışma ve Uygulamalar

Kentsel, endüstriyel ve tarımsal atık suların arıtılması için mikroalgler ve bakterilerden oluşan simbiyotik mikroalgal-bakteri prosesinin uygulanması son zamanlarda sürdürülebilir platformalar olarak kabul edilmektedir (Shen vd., 2017; Quijano vd., 2017). Besin maddesi gideriminin yanı sıra, yenilebilir biyodizel hammaddesi de olan mikroalglerin biyokütle üretim maliyetinin düşürülmesi için atıksu ortamlarında yetiştirilmeleri günümüzde giderek artan bir öneme sahiptir. Bu amaçlar doğrultusunda, literatürde özellikle evsel atıksuyun arıtımında

Chlorella, Scenedesmus, Phormidium, Botryococcus, Chlamydomonas ve *Spirulina* gibi çok sayıda mikroalgin kullanımı ve üretilen mikroalg biyokütlesinin biyodizel hammaddesi olarak kullanımını içeren çeşitli çalışmalar mevcuttur. Gerçek atıksu ve tek ya da birden fazla mikroalg türü ile gerçekleştirilen laboratuvar ya da pilot ölçekteki çalışmalardan bazıları Tablo 3.9'da özetlenmiştir. Genel olarak kentsel atıksular birincil arıtım, ikincil arıtım ve aktif çamurun anaerobik çürütülmesi sonrasında oluşan susuzlaştırma atıksuları olarak üç kategoride toplanmaktadırlar. Yapılan çalışmalarda (Tablo 3.9) çeşitli atıksu akımları kullanılmakla birlikte, özellikle evsel atıksu arıtma tesisi ikincil arıtım çıkış sularının, düşük azot-fosfor içeriğine sahip olmalarına rağmen, toksik madde içermemeleri nedeniyle mikroalglerin büyümesi için uygun ortamlar olduğu rapor edilmektedir (Kim vd., 2013; Sydney vd., 2011; Cabanelas vd., 2013; Bohutskyi vd., 2016; McGinn vd., 2012). Bununla birlikte birçok araştırmacı da, azot-fosfor bakımından zengin anaerobik çürütme sonrası çıkış sularını da mikroalgler ile nütrient giderimi için tercih etmiştir (Kong vd., 2010; Sniffen vd.,2016; Ren vd., 2017). Yine literatürde domuz çiftliği, alkol endüstrisi ve tekstil endüstrisi gibi toksik madde içermeyen değişik endüstriyel atıksuların da kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda mikroalgler tarafından %80 üzerinde BOİ ve KOİ giderimi ile %90 üzerinde nütrient giderim verimlerinin sağlandığı bildirilmektedir (Gonzales, 1997; Kumar vd., 2010; Travieso vd., 2008; Chinnasamy vd., 2010; Wu vd., 2012; Nam vd., 2017).

Mikroalg bazlı arıtım sistemlerinin son ürünleri hayvan yemi ve tarımsal gübre olarak da kullanılabilmektedir. ABD Enerji Bakanlığı (DOE) Ulusal Algal Biyoyakıt Teknolojisi tarafından belirtildiği üzere, mikroalg bazlı atıksu arıtmasının avantajları, tarımsal drenaj ve ötrofik su yapılarını arıtma potansiyelini, mikroalg üretim maliyetlerini dengeleyen atıksu arıtma gelirlerini, konvansiyonel atıksu arıtımına göre daha düşük yatırım, işletme ve bakım maliyetleri ve daha düşük enerji yoğunluğunu içermektedir (Jia and Yuan, 2016).

Tablo 3.9 Farklı atıksu kaynaklarında farklı türde mikroalglerin nütrient giderim verimleri

		Nütrient Giderim Verimi (%)					
Atıksu Kaynağı	**Mikroalg türü**	**KOİ**	**TN**	**NH_4^+-N**	**NO_3^--N**	**TP ya da PO_4^{-3}**	**Kaynak**
İkincil arıtım çıkış suyu	*Chlorella vulgaris*	-	-	100	-	-	Kim et al., 2013
İkincil arıtım çıkış suyu	*Botyrococcus braunii*	-	-	-	80	100	Sydney et al., 2011
İkincil arıtım çıkış suyu	*Chlorella sp.*	13.8–24.8	75-92	-	-	84-86	Cabanelas et al., 2013
İkincil arıtım çıkış suyu	*Scenedesmus sp.*	21–48.36	36	24-55	-	40-80	Bohutskyi et al., 2016
İkincil arıtım çıkış suyu	*Scenedesmus sp. AMDD*	-	-	100	-	100	McGinn et al., 2012
Çamur süzüntü suyu	Karışık mikroalg-bakteri kültürü	-	-	80	-	-	Sniffen et al.,2016
Ham endüstriyel atıksu	*Chlamydomonas sp. TAI-2*			100	100	33	Wu et al., 2012
Çamur susuzlaştırma suyu	*Chlamydomonas reinhardtii*	-	-	83	-	15	Kong et al., 2010
Ön arıtılmış kentsel atıksu	Karışık mikroalg-bakteri kültürü	-	-	91	-	-	Su et al. 2012
Çamur susuzlaştırma suyu	*Chlorella vulgaris*	88	77	84	-	90	Ren et al., 2017
Domuz çiftliği atıksuyu	*Chlorella vulgaris*	90		96		98	Nam et al., 2017
Arıtılmış endüstriyel atıksu	*Scenedesmus sp*	-	46	-	-	100	Zhen-Feng et al., 2011
Tarımsal atıksu	*Chlorella vulgaris*	-	86	-	-	83	Gao et al., 2016

Mikroalg Bazlı Atıksu Arıtım Sistemlerinin Dünyadaki Uygulamaları

Mikroalg bazlı atıksu arıtım sistemleri, geleneksel atıksu arıtım sistemlerine kıyasla maliyet etkili arıtma, düşük enerji gereksinimi, çamur oluşumda azalma ve üretilen mikroalg biyokütlesinin biyoyakıtlara dönüştürülmesi gibi avantajları sebebiyle, dünya çapında oldukça ilgi çeken sistemler olmuştur. Sürdürülebilir mikroalgal biyokütle üretimi ve nütrient giderimi amacıyla Amerika, İspanya, İsrail, Yeni Zelland ve Macaristan gibi çeşitli dünya ülkelerinde orta ve büyük ölçekte araştırma çalışmaları mevcuttur (Şekil 3.19). Çalışmalar atıksu arıtma tesislerinde yetiştirilen mikroalg biyokütlesinin biyoyakıtlara dönüştürülmesinin fizibilitesinin araştırılması amacıyla, açık sistemler (yüksek hızlı alg havuzları (HRAP) ve kanal tipi (raceway) veya kapalı sistemler (fotobiyoreaktör) tasarımlarını içermektedir.

NIWA, son 12 yıldır HRAP benzer arıtımı sağlayan yüksek enerjili mekanik atıksu arıtma sistemlerinden çok daha maliyet etkin sistemler olduğunu göstermiştir. NIWA firmasının, Solrary Enerji ve Christchurch Kent Konseyi işbirliğinde gerçekleştirdiği Bio-oil projesi, Christchurch atıksu arıtma havuzlarında mikroalg üretimi ve üretilen biyokütlenin biyoyakıta dönüştürülmesi amacıyla, suya CO_2 ilavesi yapılması konusunda öncülük eden ilk pilot ölçekli tesis olarak dikkat çekmiştir.

AB destekli All-gas Projesi de atıksuyu kullanarak üretilen mikroalg biyokütlesinin enerjiye dönüştürülmesi için Chiclana'daki alanında algal biyokütle üretimini başarıyla gerçekleştirmiştir. Projenin nihai hedefi, biyokütle ayırımı ile entegre edilmiş sürdürülebilir alg kültürü havuzları için, biyokütlenin yetiştirilmesinden hasatlanmasına kadar tüm proses aşamalarını barındıracak 10 hektar büyüklüğünde bir tesis hayata geçirmektir.
Utah State Üniversitesi araştırmacılarının Logan atıksu arıtma tesisinde kurdukları pilot tesis mikroalg yetiştirme, hasatlama (sudan ayrılması) ve biyoyakıt üretim sistemlerinden oluşmaktadır. Projenin sonuçları üretilen mikroalg biyokütlesinden fermentasyon prosesi ile aseton, butanol ve etanol üretilebildiğini göstermiştir. Atıksuda mikroalg üretiminin optimizasyonunun proses maliyetlerini düşürerek ve verimliliği arttırarak, ABE fermentasyonunun gelişimini olumlu etkilediği bildirilmiştir.

Seambiotic Şirketi mikroalglerden biyoyakıt üretimi amacıyla, açık havuz sistemlerde hammadde olarak yakınındaki bir kömür tesisinden çıkan CO_2 ve azot gibi uçucu gazları

hammadde kaynağı olarak kullanıp, mikroalg üretimini gerçekleştirmiştir. 1000 m^2'lik alana sahip olan tesis günde yaklaşık 23 kg mikroalg biyokütle üretim kapasitesine sahiptir.

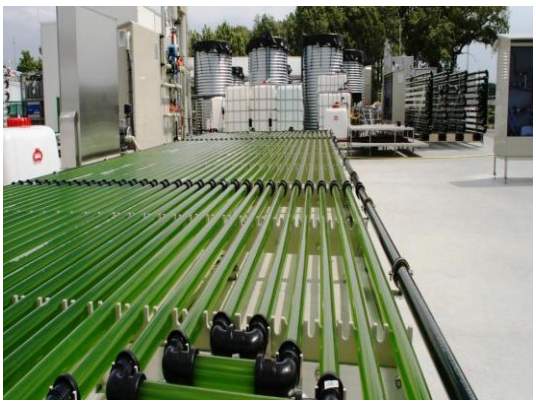
California Polytechnic State University'nin (Cal Poly) MicroBio Mühendislik işbirliği ile gerçekleştirdiği projede, kentsel atıksuda yetiştirilen algal biyokütle çöktürme, yoğunlaştırma ve kurutma işlemleri ile hasat edilmiştir. Cal Poly Projesi, elde edilen biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesi kapsamında ABD Enerji Bakanlığı (DOE) Biyokütle Enerjisi Teknolojileri Ofisi (BETO)'nin, dönüm başına yılda 2.500 galon biyodizel üretme hedeflerini karşılamayı amaçlamaktadır.

Bio-oil Projesi, NIWA, Yeni Zellanda

All-gas Projesi, İspanya

Seambiotic Ltd., İsrail

Utah State University, Amerika



Budapest Sewage Work Company, Macaristan

Polytechnic State University, Amerika

Şekil 3.19 Büyük ölçekli mikroalg bazlı atıksu arıtım tesisi projeleri

Mikroalgal Biyokütle Üretim Sistemlerinin Kısıtları:

Mikroalg üretimi genel olarak açık veya kapalı sistemlerde gerçekleştirilmektedir. Açık havuzlar ve kapalı fotobiyoreaktörler şeklinde tasarlanan mikroalg üretim sistemleri belirli avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Açık havuz sistemlerin kapalı fotobiyoreaktörlere göre düşük enerji girişi, daha az yatırım ve işletme maliyetine sahip olmaları ve üretim kapasitelerin geniş olması gibi üstünlükleri bulunmaktadır. Bununla birlikte kapalı sistemler ise çevresel şartların kontrolü (pH, sıcaklık, aydınlanma, buharlaşma, karışım vb.) alan gereksinimlerinin az olması, buharlaşmanın ve kontaminasyon riskinin bulunmaması ve yüksek biyokütle konsantrasyonlarına ulaşılabilmesi açısından avantajlı sistemlerdir (Mata vd., 2010; Harun vd., 2010).

Reaktör tasarımının yanı sıra sistemin başarılı olmasında önemli parametrelerden bir diğeri atıksuyun N/P oranıdır. Literatürde N/P oranının mikroalg bazlı atıksu arıtım verimliliğini etkilediği rapor edilmektedir (Fujimoto vd., 1997). Genel olarak evsel atıksuyun ve AAT ikincil arıtım çıkış sularının N/P oranları (7,5-9,6) mikroalg biyokütlesinin N/P oranına yakındır (Luo vd., 2017). Literatürde yüksek N/P oranlarında (ör; 30:1 gibi) genel olarak fosfor hız sınırlayıcı nütrient olarak gösterilirken, düşük N/P oranlarında (ör; 5:1 gibi) ise azotun hız sınırlayıcı olduğu rapor edilmektedir (Larsdotter, 2006). Bununla birlikte azot ile kıyaslandığında, genel olarak fosfor parametresinin mikroalg bazlı atıksu arıtımı için büyümeyi engelleyici faktör olduğu bildirilmiştir (Gürol, 2013; Luo vd., 2017).
Nütrient gereksiniminin dışında sıcaklık, pH, aydınlanma, havalandırma, tuzluluk gibi diğer çevresel şartlar da mikroalg büyümesini ve arıtım verimliğini etkileyebilmektedir. Parametrelerden biri mikroalgler için hız sınırlayıcı faktör haline geldiğinde, hem biyokütle verimliliği hem de besin maddesi uzaklaştırılması açısından sistem performansı önemli ölçüde etkilenebilmekte ve bu durumda diğer parametrelerin etkisi önemsiz hale gelebilmektedir (Luo vd., 2017).

Atıksuda üretilen mikroalg biyokütlesini sudan ayırma (hasatlama) yönteminin seçimi de mikroalg türüne ve istenen ürün kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Negatif yüzey yüküne sahip olan mikroalgler genel olarak suda askıda kaldıklarından, bu durum alglerin bir araya gelip çökmelerine engel olmaktadır. Toplam biyokütle üretimi maliyetinin yaklaşık % 20-30'unu kapsadığı belirtilen hasatlama prosesi için günümüzde endüstriyel ölçekte

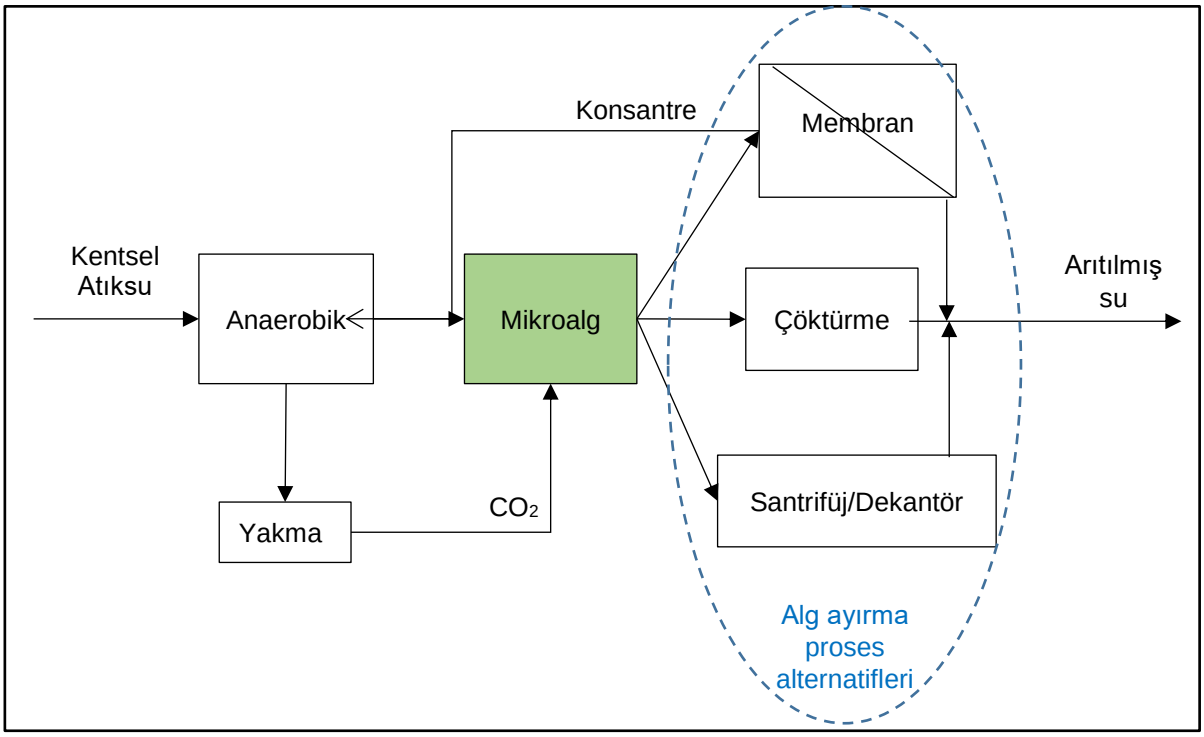
yaygın olarak kullanılan evrensel olarak bir yöntem de bulunmamaktadır. Bununla birlikte bu organizmaları sudan ayırmak için uygun ve ekonomik bir hasatlama yönteminin geliştirilmesi için araştırmalar aktif olarak devam etmektedir. Literatürde mikroalglerin hasatlanmasında santrifüj, filtrasyon, koagülasyon/flokülasyon, biyoflokülasyon, ultrases, ozonlama ve elektroforez gibi çeşitli fiziksel, kimyasal, biyolojik yöntemlerin ya da bu yöntemlerin kombinasyonlarının uygulandığı görülmektedir. Seçilecek yönteminin, öncelikle alg üretimi aşamasında biyokütlenin canlılığına zarar vermeden arıtılmış suyun sistemden uzaklaştırılmasına ve yüksek biyokütle konsantrasyonlarına izin vermesi gerekmekte ve ayrıca enerji maliyetlerini de arttırmaması beklenmektedir (Mata vd., 2010; Brennan ve Owende, 2010; Pragya vd., 2013; Velasquez-Orta vd., 2014). Örneğin santrifüj büyük hacimlerde hızlı sonuç veren ve etkili bir yöntem olmasına karşın, enerji tüketimi, yatırım ve işletme maliyetleri yüksektir. Santrifüj ile harcanan yüksek enerji tüketiminin azaltılabilmesi için öncesinde bir konsantre etme yöntemi (filtrasyon, biyoflokülasyon gibi) kullanılmasının faydalı olacağı belirtilmektedir. Düşük enerji ve işletme maliyeti ile avantajlı görünen flokülasyon yönteminin ise kullanılan kimyasallar nedeniyle mikroalg biyokütlesini ve çevreyi kirletme gibi olumsuzlukları bulunmaktadır (Harun vd., 2010). Filtrasyon yöntemi kimyasal kullanımı gerektirmemesi ve düşük enerjili gereksinimi ile özellikle düşük hacimlerde (2 m^3/gün'den az) avantajlı bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Aitken ve Antizar-Ladislao, 2012).

Mikroalglerin kullanımının esas alındığı enerji verimli kentsel atıksu arıtma şeması

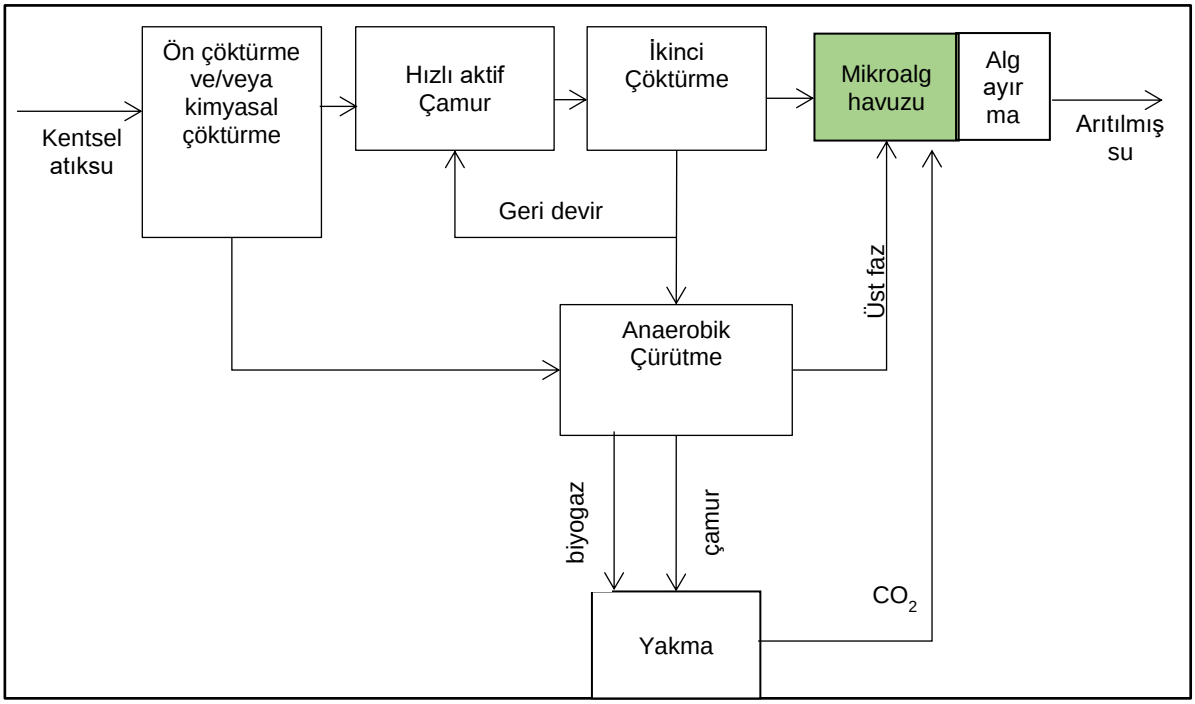
Arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılması ve üretilen enerji miktarının arttırılması amacıyla, öncelikli olarak kentsel atıksudaki organik maddenin çeşitli yöntemlerle büyük oranda ayrılmasının sağlandığı, atıksuda kalan görece olarak düşük konsantrasyonlardaki karbon ve besin maddesi gideriminin ise mikroalg ile gerçekleştirilebileceği iki alternatif arıtma şeması aşağıda sunulmuştur. İlk şema, anaerobik arıtmanın ön arıtma olarak kullanılması durumunda arıtma şemasını, ikinci alternatif ise ön çöktürme ve/veya kimyasal çöktürmenin ön arıtma olarak kullanılması durumunda arıtma şemasını göstermektedir. Atıksulardan besin maddesi gideriminin mikroalglerle ve yenilikçi arıtma şemaları üstünden gerçekleştirilmesi durumunda sağlanabilecek avantajlar şunlardır;

- Atıksudan azot-fosfor gibi besin maddesi gideriminin mikroalgler vasıtasıyla düşük maliyet ve daha az enerji ile sağlanması,

- Fotosentez için gerekli inorganik karbon kaynağının (CO_2) anaerobik çürütme çamurunun yakılması ile mikroalg sistemine sağlanması ve böylece karbon döngüsü açısından gelişmiş bir şema sunması,
- Kendisi de bir biyoyakıt hammaddesi olan, mikroalg biyokütlesi için gerekli besin maddelerinin atıksu ortamında karşılanması,
- Üretilen mikroalg biyokütlesinin ise enerji değeri dolayısıyla, biyogaz ve biyodizel gibi biyoyakıtlara dönüştürülme potansiyeli sayesinde “sıfır atık” yaklaşımına uyum.



a)



b)

Şekil 3.20 Enerji verimli arıtma: mikroalglerle besin maddesi giderimi, ön arıtma olarak a) anaerobik arıtmanın, b) ön çöktürme veya kimyasal çöktürmenin uygulanması

3.4 Yenilikçi Atıksu Arıtma Proseslerine ve Enerji Verimli AAT'lere Geçişte Dikkat Edilecek Hususlar

Enerji verimliliğinin esas aldığı yenilikçi atıksu arıtma sistemleri üstünde gerçekleştirilen çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Çalışılan arıtma şemaları ve entegre sistemler, SND'den mikroalge, membran prosesinden anaerobik arıtmaya kadar oldukça geniş bir aralıktadır. Her ne kadar, çalışılan prosesler büyük oranda mevcut teknolojileri içeriyor olsa da, geliştirilen konfigürasyonlar yenidir ve biyolojik sistemin uzun süreli tepkisi ve sonuçları açısından incelenmelidir. Bu nedenle, yürütülecek çalışmaların, gerek sonuca ulaşma, gerekse de verim açısından, en azında birkaç yıllık çalışmalar olarak planlanması önemlidir. Yenilikçi atıksu arıtma proseslerine ve enerji verimli AAT'lere geçişinde dikkat edilecek hususlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

1. AAT'lerde enerji tüketiminin en yüksek olduğu bölümler havalandırma sistemleridir. Havalandırma sistemini ikinci sırada pompalar için enerji kullanımı takip etmektedir. Bu nedenle alınacak elektromekanik önelmelere bu noktadan başlanmalıdır. Gerekli olan hava miktarı, pompalama (çamur geri devir pompalaması) ve alan ihtiyacı azaltılmalıdır.
2. Enerji tüketimi ile AAT deşarj kalitesi arasında optimum bir denge sağlanmalıdır.
3. Atıksudaki değerli kaynaklar (arıtılmış atıksu, enerji ve besi maddeleri özellikle fosfor) geri kazanılmalıdır.
4. Arıtma çamuru bir atık olarak değil bir kaynak olarak değerlendirilmelidir ve üretilen biyokatı (çamur) miktarı mümkün olduğunca düşük olmalıdır.
5. Kentsel bölgelerde uygun arazi bulmak gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Bu nedenle, aynı zamanda alan gereksinimi düşük olan kompakt arıtma prosesleri tercih edilmelidir.
6. Atıksu arıtma tesisleri kendi enerjisini karşılayabilmeli ve düşük karbon ayak izine sahip olmalıdır.
7. Anaerobik çürütme işlemi ile elde edilen biyogazdan ısı ve güç teknlojileri ile enerji elde edilmelidir. Biyogaz üretimini arttırmak için
    a) Yüksek biyogaz potansiyeline sahip çamur üretimi (havalandırma tankında çamurun stabilize edilmemesi)

b) Anaerobik çürütme öncesinde çamura ön arıtma uygulanması gerekmektedir.

8. Geliştirilecek arıtma sistemlerinde, mikrokirleticiler ve mikrobiyal kirleticilerin giderimi de dikkate alınmalıdır.

3.5 Enerji Verimli Atıksu Arıtımında Ulusal ve Uluslararası Uygulama Örnekleri

Raporun bu bölümünde, enerji verimli atıksu arıtımına yönelik son yıllarda gerçekleştirilen pilot ve gerçek ölçekli araştırmalar hakkında özet bilgiler sunulmuş, farklı ülkelerde raporlanan, atıksu arıtımında kullanılan birim enerji miktarları değerlendirilmiştir.

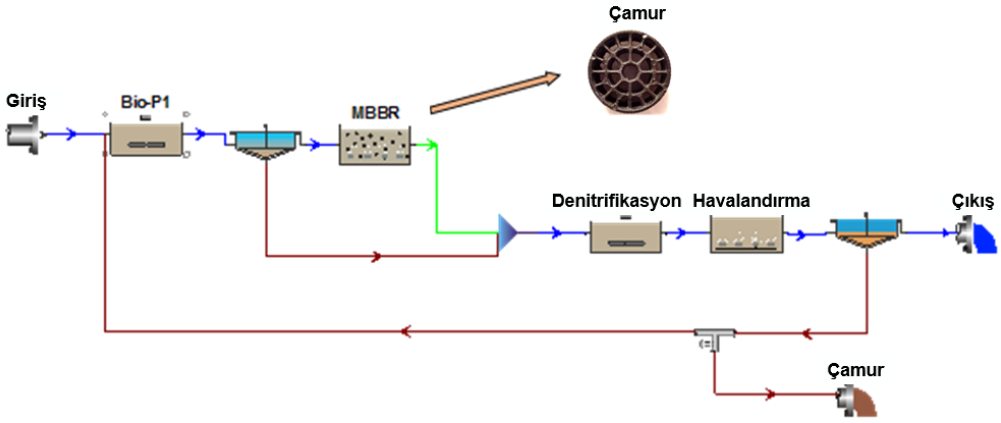
Nuhoğlu tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada, yıllık nüfus başına gerekli enerji ihtiyaçları açısından, nütrient gideren klasik aktif çamur ile nütrient gideren uzun havalandırmalı aktif çamur tesisleri karşılaştırılmış ve enerji ihtiyacı açısından klasik aktif çamur sistemi daha uygun bulunmuştur. Aynı çalışmada, sadece karbon giderimi yaparak aerobik ve anaerobik çamur stabilizasyonu yapan tesisler karşılaştırılarak, anaerobik çamur stabilizasyonun daha az enerji gereksinimine ihtiyaç olduğu görülmüştür.

Türkiye'de yapılan başka bir çalışmada (Gülsoy, 2017), matematiksel bir model yardımıyla, bir yıl boyunca atıksu arıtma tesisinde, havalandırma havuzu için gerekli olan parametreler dikkate alınarak, blowerların güç ve hava üretme kapasitesi incelenmiştir. Çalışmada, havalandırma havuzu hava miktarını etkileyen her bir parametrenin bir yıllık davranış modeli çıkartılmış ve debi, giriş $BOİ_5$, çıkış $BOİ_5$, sıcaklık ve azot giderimi arasında doğrusal bir bağlantının olduğu görülmüştür. Ayrıca, oluşturulan model ile hesaplanan hava miktarına göre gerekli cihazları optimum düzeyde çalıştırarak yaklaşık %17-21 oranında enerji tasarrufu sağlanabileceği ve böylece işletme maliyetinin azaltılabileceği belirtilmiştir.

Türkiye'de beş adet tam ölçekli atıksu arıtma tesisinde yapılan bir araştırma (Erşahin, vd., 2017 ve Aynur, Z., 2014) sonuçlarına göre pompa ve havalandırma ünitelerinde yapılan iyileştirmeler tesis genelinde %37'ye varan enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Söz konusu araştırmaya konu olan tesisler, Kocaeli İl sınırları içinde kurulmuş olan ön çökeltim prosesi olmayan ve besin maddesi giderimi yapan aktif çamur prosesine sahiptir. Tesislerin hizmet verdikleri nüfus aralığı 33.300 ila 343.000 aralığındadır. Tesislerin özgül

enerji kullanımlarının, 28,6 ila 54,3 kWh/kişi.yıl aralığında, birim atıksu başına enerji tüketiminin 0,24 ila 0,42 kWh/m^3 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Tesislerde en fazla enerji tüketiminin biyolojik arıtma ünitelerinde olduğu ve bu oranın %51 ila %71 aralığında değiştiği saptanmıştır. Ayrıca, tesislerde giderilen BOI_5, KOI, AKM gibi kirlilik yükleri ve tesis debisi arttıkça birim enerji tüketiminin azaldığı görülmüştür. Bu çalışmada da pek çok diğer araştırmada olduğu gibi havalandırma ünitesinin enerji tüketimindeki payının yüksek olduğu görülmektedir.

Ülkemizde yapılan ve atıksudaki azotun, konvansiyonel arıtmalara kıyasla daha küçük hacimlerde işletilerek ve yüksek çamur yaşlarına gerek kalmadan giderilmesi, denitrifikasyon işlemini nitrifikasyondan ayırarak, düşük anoksik çamur yaşında denitrifikasyon ve biyolojik aşırı fosfor giderimi (EBPR) yapılması, bununla birlikte kalorifik değeri yüksek çamur elde edilmesi için bilimsel araştırma projesi (BAP) yapılmıştır (İnsel vd, 2016). Bu projede, pilot tesis kurulmuş olup, hibrit biyofilm reaktör sistemi geliştirilmiştir (Şekil 3.21). Proje kapsamında kurulan pilot tesise ait görüntüler Şekil 3.22'de ve tesisin çalışma performansına ait biligler, Tablo 3.10'da gösterilmiştir. Pilot tesisin çalışma performansı incelendiğinde, KOİ, azot ve AKM gideriminin sırasıyla yaklaşık %95, %88 ve %98 seviyelerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.21 Çalışma kapsamında geliştirilen hibrit biyofilm reaktör sistemi akım şeması

Şekil 3.22 Çalışma kapsamında kurulan pilot tesise ait görüntüler

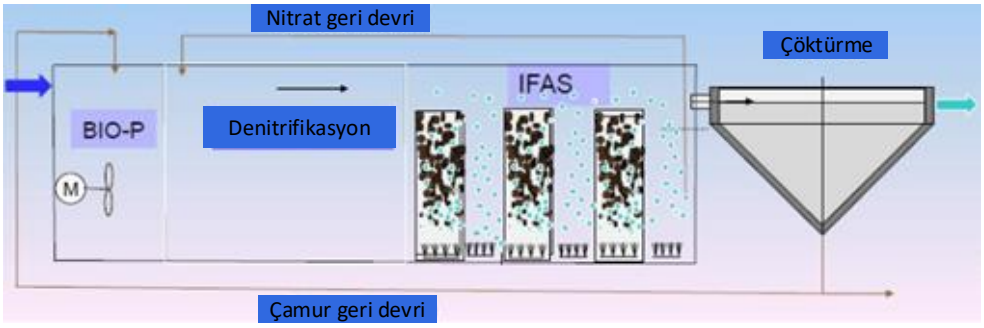
Tablo 3.10 Çalışma ait performans bilgileri

Parametre	Birim	Giriş	Deşarj
KOİ	mg/L	600	28
AKM	mg/L	400	<10
Toplam N	mg N/L	60	7.5
NH_4-N	mg N/L	38	1.5
NO_3-N	mg N/L	<0.2	4.6
Toplam P	mg P/L	7.0	0.5
PO_4-P	mg P/L	4.6	0.3

Türkiye'de yapılan başka bir çalışmada (Sözen vd., 2018), yenilikçi bir yaklaşım olan süper hızlı membran biyoreaktör (SFMBR) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu yenilikçi membran biyoreaktör, düşük çamur yaşlarında (SRT), atıksuyun arıtılmasına olanak sağladığı vurgulanmıştır. Laboratuvar ölçekli gerçekleştirilen bu çalışmada, evsel atıksuya benzer biyolojik bozunma özelliği gösteren sentetik atıksu hazırlanarak, çamur yaşı 0,5-2 gün arasında ve hidrolik bekletme süresi 8 saat olacak şekilde farklı işletme koşullarında, mikrobiyal ortamın kompozisyonundaki değişiklikleri gözlemlemek için molekül ve partikül dağılım analizleri yapılarak, proses kinetiğinin modellenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Diğer taraftan, sistem benzer işletme koşullarında gerçek atıksuda da işletilmiştir. Bu çalışma sonunda, SFMBR'nin farklı aktif çamur alternatiflerine kıyasla daha yüksek enerji tasarrufu sağladığı, bu yenilikçi sistem sayesinde %54 ile %77 arasında enerji tasarrufu elde edildiği belirtilmiştir. Çalışmada, SFMBR'nin atıksuyun yeniden kullanabilmesine ve atıksuların arıtımı sırasında ciddi enerji tasarrufu sağlamasına imkan verebileceği vurgulanmıştır.

Ülkemizde yürütülen bir çalışmada, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından desteklenen, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi tarafından, ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi çamur çürütücü çıkış sularında, anaerobik amonyum oksidasyonu prosesi ile azot giderimi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, öncelikli olarak laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiş, daha sonra atıksu arıtma tesisine pilot ölçekli sistem kurulmuştur. Çalışmada, biyolojik azot giderim performansı ile birlikte, proses optimizasyonu sonrası maliyet analizleri yapılarak, sistem performansının değerlendirilmesi hedeflenmiştir ve proje devam etmektedir (TÜBİTAK MAM, 2018).

Yenilikçi yaklaşım olarak ifade edilen IFAS prosesi (Integrated fixed film activated sludge), arıtma tesisilerinde kullanımı, her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Bu proses, konvansiyonel arıtmaya, sabit film modüllerinin entegre edilmesi sonucu oluşan bir hibrit arıtma sistemidir. Sistem, konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinde bulunan havalandırma havuzlarına, bir destek yardımıyla askıda bulunan biyofilm içeren modülün yerleştirilmesi ile gerçekleştirilir (Şekil 3.23). Bu sistemin avantajları arasında, konvansiyonel arıtma tesislerinin ilave havalandırma havuzuna ihtiyaç olmadan, daha büyük kapasitelere ulaşması, düşük yatırım maliyeti, şok yüklemelere karşı daha dirençli, eş zamanlı nitrifikasyon/denitrifikasyon sağlaması ve daha iyi SVI özelliklerine sahip çamur oluşu olarak sıralanabilir. Özetle bu sistem, belediye atıksu arıtma tesislerinin kapasite artışı için son derece uygun maliyetlerle tesislerin revize edilmesine ve bu sayede aktif çamur sistemlerini hacimsel verimliliğe imkan veren entegre biyofilm ve aktif çamur prosesidir.



Şekil 3.23 IFAS prosesine ait akım şeması

IFAS prosesinin avantajlarından yararlanmak için A.B.D.'nin en kalabalık ikinci eyaleti olan Teksas'da bulunan Colony Belediye Atıksu Arıtma Tesisi'ne bu sistem kurulmuştur. Colony Belediye Atıksu Arıtma Tesisi 2006 yılında, bu sistemi de içerecek şekilde yeniden

modifiye edilmiştir (Şekil 3.24). Bu sistem sayesinde, minimum maliyetle, tesis kapasitesi yaklaşık %33 arttığı belirtilmektedir.

Şekil 3.24 Arıtma tesisine yerleştirilen IFAS modülleri

Konvansiyonel atıksu arıtma tesisleri genellikle birincil, ikincil ve üçüncül arıtma aşamalarından oluşur. Birincil arıtmada, ham atıksu toplama ve pompalama için sarf edilen enerji, Kanada'da 0.02-0.1 kWh/m^3, Macaristan'da 0.045-0.14 kWh/m^3 ve Avustralya'da 0.1-0.37 kWh/m^3 mertebesindedir. Konvansiyonel aktif çamur arıtma sistemlerinde ortalama enerji sarfiyatı ise Avustralya'da 0.46 kWh/m^3, Çin'de 0.269 kWh/m^3, ABD'de 0.33-0.60 kWh/m^3 ve Japonya'da 0.30-1.89 kWh/m^3 olarak belirtilmiştir. İkincil arıtmadaki havalandırma, atıksu arıtımında en fazla enerji tüketilen işlemdir. Aktif çamur sistemi bulunan birçok orta ve büyük ölçekli atıksu arıtma tesisinde havalandırma maksatlı enerji sarfiyatı tüm enerji sarfiyatının yaklaşık %50-60'lık kısmını oluştururken çamur arıtımı %15-25, çamur geri devri için pompalamanın dahil olduğu ikincil çöktürme ise %15'ini oluşturur. Aktif çamur sistemleri ile karşılaştırıldığında oksidasyon hendekleri, uzun hidrolik bekleme süresi ve yüksek spesifik oksijen ihtiyacına bağlı olarak daha fazla enerji (Avustralya'da 0.5-1.0 kWh/m^3, Çin'de 0.302 kWh/m^3 ve Japonya'da 0.43-2.07 kWh/m^3) tüketirler (Gu vd., 2017).

Yang vd. (2010) 2006'da Çin'deki farklı arıtım teknolojilerine sahip ikincil arıtma tesisleri için enerji tüketimlerini incelemiştir. Enerji sarfiyatları büyükten küçüğe doğru şu şekilde tespit edilmiştir:

- Uzun havalandırma sistemleri (13 AAT): 0,340 kWh/m^3
- Ardışık kesikli reaktör (103 AAT): 0,336 kWh/m^3
- Membran biyoreaktör (MBR) sistemler (36 AAT): 0,33 kWh/m^3
- Oksidasyon hendeği (170 AAT): 0,302 kWh/m^3
- Anoksik - oksik sistemler (A/O prosesi, 48 AAT): 0,283 kWh/m^3
- Karbon gideren aktif çamur sistemleri (36 AAT): 0,269 kWh/m^3
- Anaerobik-anoksik-oksik sistemler (A^2O prosesi, 87 AAT): 0,267 kWh/m^3
- Yapay sulak alanda arıtma (10 AAT): 0,253 kWh/m^3
- Adsorpsiyon-biyolojik sistem entegrasyonu (17 AAT): 0,219 kWh/m^3

Bazı arıtma teknolojileri için AAT'nin konfigürasyonuna bağlı olarak farklı tesislerde farklı enerji tüketimi değerleri belirlenmiştir. Örneğin, MBR'lar için 0,37 kWh/m^3'den (Singapur'da Ulu Pandan AAT'deki optimum şartlarda işletilen MBR için), 0,7-1,6 kWh/m^3'e hatta 2,2-2,5 kWh/m^3'e kadar çok geniş enerji tüketim değerleri rapor edilmiştir. MBR'lerin AAT'lerdeki toplam enerji sarfiyatına katkısı ilave arıtma proseslerine bağlı olarak %55 ila %90 arasında değişmektedir (Gu vd., 2017).

Çamur arıtma, AAT'lerde havalandırmadan sonra gelen enerji yoğunluklu diğer bir işlemdir. Yunanistan'daki 15.000 ila 4.000.000 nüfus eşdeğeri kapasiteye sahip 10 farklı AAT'de yapılan bir çalışmada, çamur arıtma ünitelerinin, toplam enerji sarfiyatının yaklaşık %8'ini oluşturduğu belirlenmiştir. Danimarka, Fransa, Belçika ve Almanya gibi Avrupa ülkelerinde, arıtma çamurunun %14'ü, ABD'de %25'i, Japonya'da ise %50'sinden fazlası yakılmaktadır.

Japonya'da yapılan ve 985 kentsel AAT'nin incelendiği bir çalışmada, çamur yakma ünitesi bulunan konvansiyonel aktif çamur sistemlerinin enerji sarfiyatı (0,38-1,49 kWh/m^3) yakma uygulanmayan sistemlere göre çok daha yüksek olarak belirlenmiştir. İleri atıksu arıtımında, besin maddesi gideriminden dolayı nispeten daha fazla enerji tüketilmektedir. Japonya'da ileri atıksu arıtma proseslerinde enerji kullanımı, 0,39-3,74 kWh/m^3 olarak raporlanmıştır. Bu değer ABD'de 0,43 kWh/m^3, Tayvan'da 0,41 kWh/m^3, Yeni Zelenda'da 0,49 kWh/m^3 ve Macaristan'da 0,45-0,75 kWh/m^3 olarak raporlanmıştır ve sadece karbon gideriminin söz konusu olduğu konvansiyonel atıksu arıtma sistemleri enerji sarfiyatının oldukça üzerindedir (Tablo 3.11) (Mizuta vd., 2010).

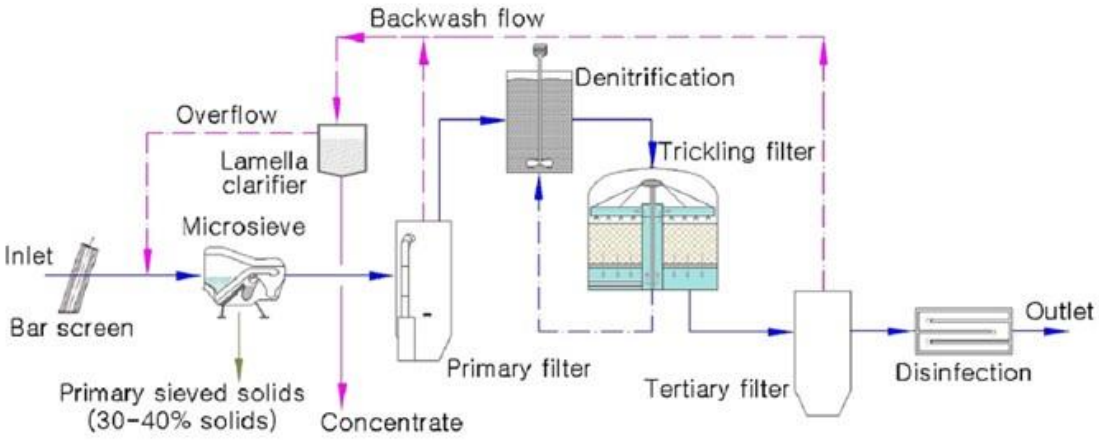
Tablo 3.11: Farklı ülkelerde AAT'lerde enerji sarfiyatı

Ülkeler	Arıtılan birim atıksu başına enerji tüketimi (kWh/m^3)
Amerika	0,52
Çin	0,31
Almanya	0,40-0,43
Güney Afrika	0,08-0,41
Japonya	0,30
Kore	0,24
İsveç	0,42
Türkiye*	0,1-0,4

Kaynak: Gu vd., 2017

Pilot ölçekli uygulama : Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerine Geçiş, Yunanistan

Gikas ve arkadaşları (2017) tarafından gerçekleştirilmiş çalışmada, ön çöktürme çamurlarının ileri seviyede giderimi için döner bant tipi bir mikro elek (gözenek boyutu: 100-300 µm) (M2 Renewables, Inc., CA, ABD) ve peşinden sürekli geri yıkamalı olarak çalışan yukarı akışlı kum filtreden oluşan bir sistem (M2 Renewables, Inc., CA, ABD) kullanılmıştır. Pilot olarak geçekleştirilen çalışmaya ait akış diyagramı Şekil 3.25'te, tesisin görünümü ise Şekil 3.26'da sunulmuştur. Bu sayede ham kentsel atıksudaki AKM'nin %80-90'ı, BOİ$_5$'in ise %60-70'ı giderilmiştir. Birincil arıtmadan geçirilen atıksu, geri kalan BOİ ve azotun uzaklaştırılması için kapsüllenmiş denitrifikasyon bakterileri (Lentikats S.A., Çek Cumhuriyeti) ilave edilen bir damlatmalı filtreye (GEA H2 Water Technologies, GmbH, Almanya) beslenmiştir.

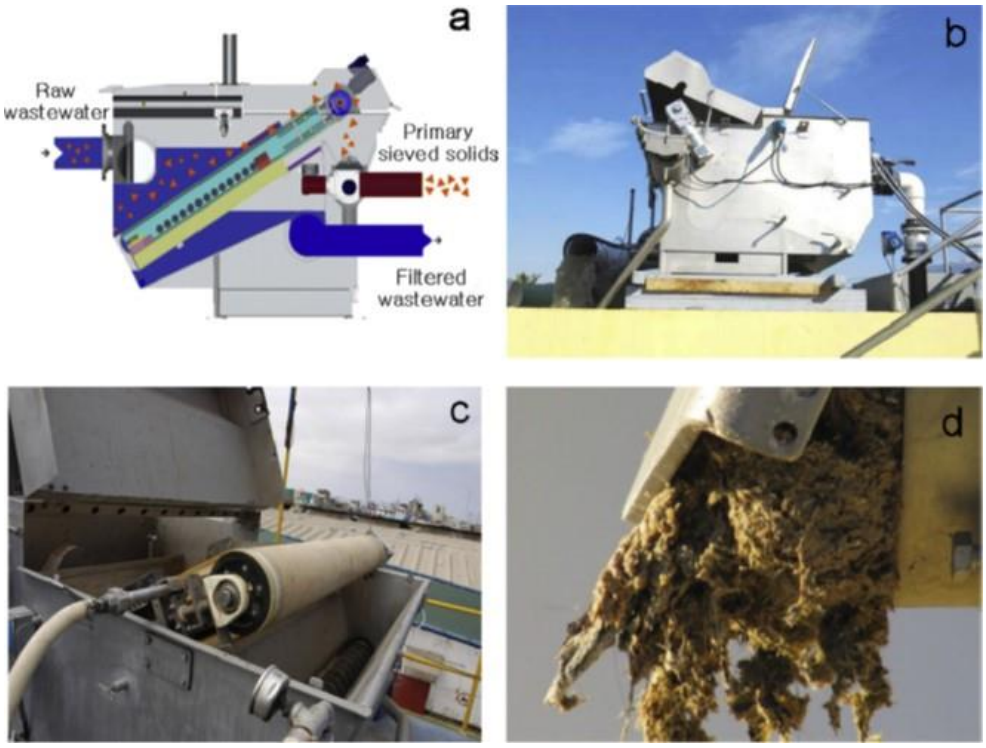


Şekil 3.25 Çalışmada kullanılan pilot ölçekli arıtma tesisinin akış diyagramı

Şekil 3.26 Çalışmada kullanılan pilot ölçekli arıtma tesisinin (Q = 380 m^3/gün) fotoğrafı (soldan sağa doğru üniteler: mikro-elek, üçüncül filtre, biyo-filtre, birincil filtre)

Mikro-elek ve ters yıkama ile elde edilen çamur, bir burgulu presten geçirilerek yaklaşık %35-40 kuru madde oranına kadar susuzlaştırılmıştır. Susuzlaştırılan çamur daha sonra termal olarak %80 kuru maddeye kadar kurutulup kojenerasyon ile ısı ve elektrik enerjisi üretilen bir gazlaştırma sistemine beslenmiştir. Elde edilen ısının bir kısmı susuzlaştırılmış çamurun kurutulması için kullanılmıştır. Termal işleme alternatif olarak susuzlaştırılan çamur anaerobik çürütme işlemi ile biyogaz üretimi ve elde edilen biyogaz ise yine kojenerasyon ile ısı ve elektrik enerjisi üretimi için kullanılabilir. Test edilen entegre atıksu arıtma işlemi için sarfedilen enerji 0.057 kWh/m^3 (UV dezenfeksiyon uygulandığında 0.087 kWh/m^3) olarak tespit edilmiştir ve konvansiyonel aktif çamur prosesine ait elektrik enerjisi

ihtiyacından yaklaşık %85 daha az olduğu raporlanmıştır. Çamur gazlaştırma ve kojenerasyon ile elde edilen net elektrik enerjisi 0.172 kWh/m^3 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmada test edilen konfigürasyona sahip bir AAT enerji pozitif olarak işletilebileceği belirtilmiştir. Kullanılan mikroelek ve ekipman fotoğrafları Şekil 3.27'de sunulmuştur.



Şekil 3.27 (a) Döner bant filtre mikro-elek (M2 Renewables, Inc.). (b) Mikro-eleğin fotoğrafı (c) Mikro-elekte kullanılan kumaş filtre (d) Burgulu presten çıkan susuzlaştırılmış çamur.

Pilot ölçekli uygulama - A-kademe Arıtma Çıkış Suyunun Kısmi Nitritasyon/Anammox Prosesi ile Arıtımı, Hollanda

Seuntjens ve arkadaşları (2016) tarafından gerçekleştirilmiş çalışmada, Hollanda'nın Breda şehrinde bulunan Nieuwveer AAT'de (iki kademeli: yüksek/düşük hızlı biyolojik arıtma) nitrit üzerinden azot gidermek için kurulan ve 20 ^{o}C'de işletilen pilot ölçekli (Hacim = 7m^3, yükseklik = 4 m, çap = 1.495 m) bir tesiste gerçekleştirilmiştir. Reaktör, yan akım atıksularını arıtan bir kısmi nitritasyon/anammox (PN/A) sisteminden alınan çamur ile aşılanmıştır ve yüksek hızlı aktif çamur sisteminin (KOİ/N = 3) çıkışı ile sürekli olarak beslenerek gerçekçi azot yükleme hızlarında (90-100 g N/m^3.gün) işletilmiştir. Silindirik reaktör, yukarı akış hızını alt (0-3 m yükseklik) ve üst (>3 m) bölmelerde ayrı ayrı kontrol

eden iki dikey geri devir hattına sahiptir. Yukarı akış hızı, reaktörün alt bölmesinde 2,3 m/sa, üst bölmesinde ise 0,45 m/sa'dir. Arıtılmış su çıkışı kesikli olarak alınmış ve bir elekten geçirilmiştir. Elek üstünde tutulan çamur bir tanka aktarılmış ve kesikli olarak reaktöre geri gönderilmiştir. Sistemin, çamur çökelme hızı üzerindeki artan stres altında işletilmesi ile nitrit oksitleyici bakterilerin baskılanmasını sağlayan ve ortalama partikül çapı 280 µm olan küçük granüllü bir çamurun gelişmesine yardımcı olmuştur. Bu sayede pilot tesiste 3,2 ± 0,9. KOİ/N giderim oranı ile azotun bir kısmını (% 51 ± 23) nitrit üzerinden arıtılabilmiştir. Elde edilen KOİ/N giderim oranı Breda AAT'nin B aşamasında elde edilen (6,8-9,4) değerden daha düşüktür. Bu sonuçlar, çökelme özellikleri iyi (SVI_{30}<100 mL/g) bir çamur ve karbon-verimli azot giderimi için umut verici niteliktedir.

Tam ölçekli atıksu arıtma tesisi – Strass Atıksu Arıtma Tesisi, Avusturya

Strass atıksu arıtma tesisi dünyada tükettiğinden daha fazla enerji tüketen nadir tesislerden birisi olarak ön plana çıkmaktadır. Tesis %108 enerji verimliliğini artırmıştır ve spesifik enerji üretimi 0,33 kWh/m^3 seviyelerindedir. Üretilen elektiriğin %100'ü tesis için kullanılırken, %8'i şebekeye verilmektedir. Strass atıksu arıtma tesisinde %108 enerji verimliliğine aşağıdaki uygulamalarla ulaşılmıştır.

1. Havalandırmanın dinamik kontrolü
2. Yenilikçi ön konsantre yöntemi ile anaerobik parçalayıcıya gönderilen KOİ yükünü maksimum düzeye getirerek biyogaz veriminin artırılması
3. Yüksek elektrik verimli motorlar kullanılması
4. Yan akımda amonyum giderimi için ANAMMOX prosesi uygulayarak oksijen gereksinimini azaltılması

1. ve 4. Uygulama enerji tüketimini azaltırken, 2.ci ve 3. Uygulamalar elektrik enerjisi üretimini artırmıştır (Shi, 2011).

Tam ölçekli atıksu arıtma tesisi - Sternö Atıksu Arıtma Tesisi'nde Enerji Tüketimi İyileştirilmiş Havalandırma uygulaması, İsveç

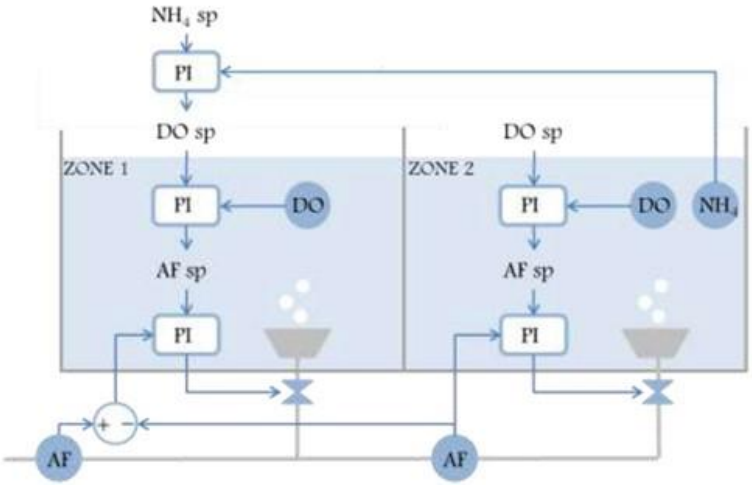
Güney İsveç'te bulunan Sterno AAT, 1997 yılında 26,000 kişiye hizmet verecek şekilde inşa edilmiştir. Tesisin 2010 yılındaki giriş $BOİ_5$ yükü 1246 kg/gün'dür. Tesis çıkışında aylık ortalama 10 mg/L $BOİ_5$ ve 0.5 mg/L TP, yıllık 12 mg/L TN istenmektedir. Tesis, her birinde sırasıyla anaerobik, anoksik ve oksik bir tank bulunan iki hattan oluşmaktadır. Klasik bir ön-denitrifikasyon aktif çamur tesisi olarak tasarlanmıştır. Havalandırma tankları

üç adet aerobik bölüm içerir. Gerçek ölçekli çalışmada, tesisin bir hattında çeşitli revizyonlar yapılmış ve elde edilen sonuçlar mevcut halinde hiçbir değişiklik yapılmayan diğer hatta ait sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma arıtma ve havalandırma verimi üzerinden yapılmıştır (Xylem, 2012)

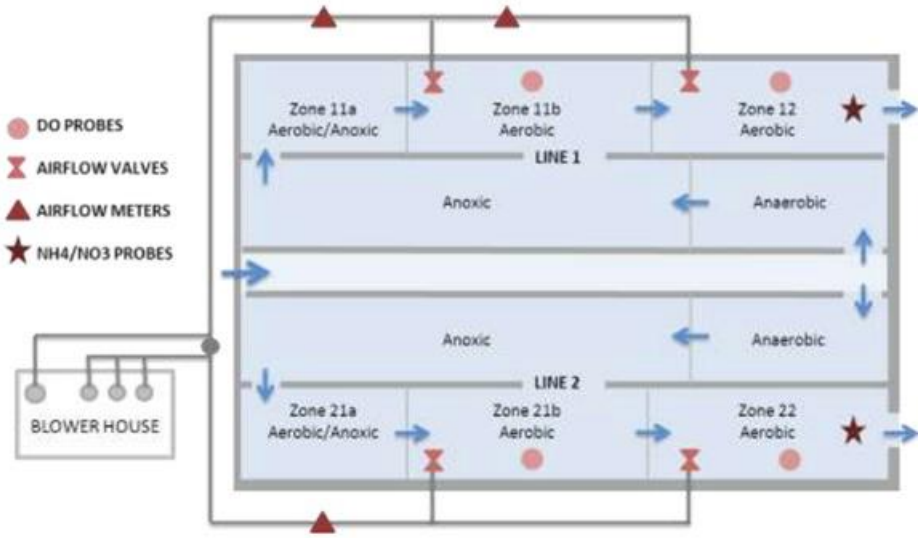
Referans hatta konvansiyonel lop hava üfleyiciler ve tüp difüzörler bulunmaktadır. Bu hattın havalandırma sistemi her biri ilgili bölümün kelebek vanasının pozisyonunu ayarlayan 2 adet çözünmüş oksijen probu ile kontrol edilmektedir. Çözünmüş oksijen 1. aerobik bölümde 1.7 mg/L, 2. Aerobik bölümde ise 0.7 mg/L olarak set edilmiştir. Hava üfleyicileri sabit hava basıncı ile çalışmaktadır.

Test amaçlı ikinci hatta yeni bir havalandırma ekipmanı ve kontrol sistemi kurulmuştur. Bu hatta düşük basınçlı difüzörler ve burgulu hava üfleyiciler yerleştirilmiştir. Test hattını kontrol etmek amacı ile gelişmiş proses kontrol sistemi kullanılmıştır. Bu sistem her bir bölümde ÇO değerine göre kelebek vanaların pozisyonunu ayarlayan, iki PI kontrolörü ile kademeli olarak kontrol edilmiştir. Havalandırma kontrol sistemi amonyum geribildirim probları vasıtasıyla bir kademe daha iyileştirilmiştir. Ayrıca ÇO profili tesisin mevcut yüküne göre ayarlanmıştır. Test hattında kullanılan havalandırma kontrol sistemi ve test ve referans hatta uygulanan on-line ölçüm sistemleri Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'da şematik olarak gösterilmiştir.

Test ve referans hatları Eylül 2011-Haziran 2012 arasında işletilmiş ve arıtma verimi ve enerji tüketimi laboratuvar ölçümleri ve on-line problarla gözlenmiştir. On aylık çalışma sonucunda enerji tüketimi açısından revize edilen test hattında mevcut hatta göre %66'lık bir azalma sağlanmıştır. Ayrıca hava debisi %35 oranında azaltılmıştır. Bu küçük tasarruflarla tesis havalandırma verimi (kg O2/kWh cinsinden) mevcut duruma göre 3 kat artmıştır. Sağlanan enerji tasarrufu, yüksek oksijen transfer verimine sahip difüzörler, hava üfleyiciler ve yeni havalandırma sistemindeki düşük basınç kaybının toplu bir sonucudur. Hassas bir ÇO kontrolü ile basınç kayıpları azaltılmış ve havalandırma hacmi daha verimli bir şekilde kullanılmıştır. Diğer taraftan referans arıtma hattına göre test hattında amonyum giderim veriminde %9'luk bir artış elde edilmiştir.



Şekil 3.28 Test hattında kullanılan havalandırma kontrol sistemi



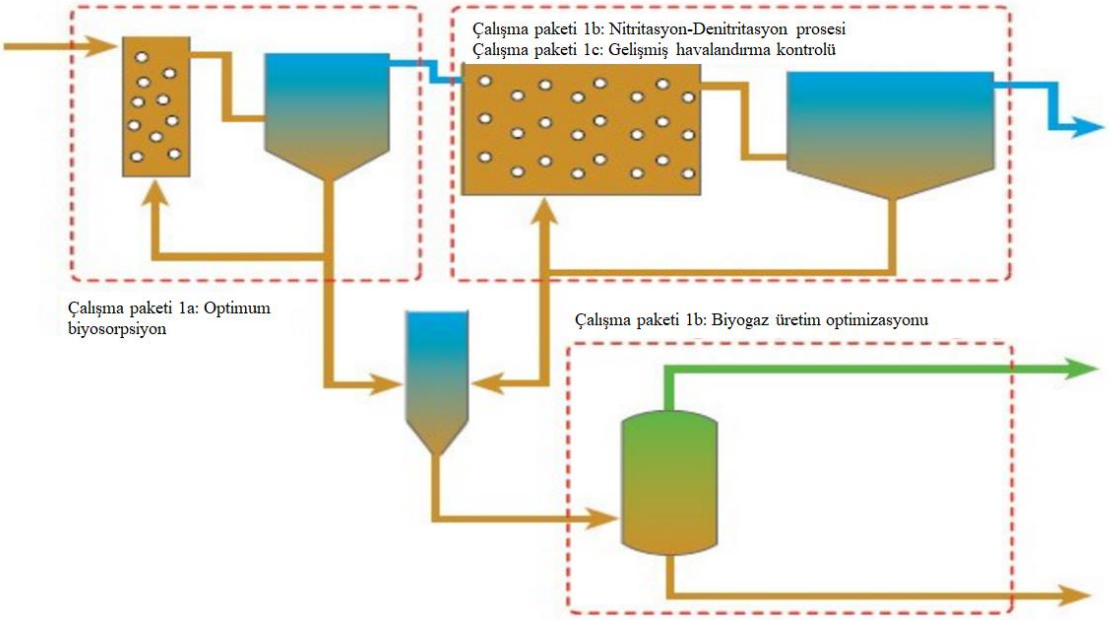
Şekil 3.29 Süreç kurulumu ve on-line ölçümler (Line 1: Test hattı ve Line 2: Referans hat)

Tam Ölçekli Uygulama-Singapur'da AB Prosesi ile Enerji Pozitif Atıksu Arıtımı

Singapur'da gerçek kentsel atıksu ile gerçekleştirilen çalışmada, AB proses konseptiyle işletilen 50 m^3'lük pilot ölçekli bir reaktör kullanılmıştır. Uygulanan proses, şematik olarak Şekil 3.30'da gösterilmiştir (DHI, 2015).

Enerji pozitif bir AAT için A kademesinde biyosorpsiyon işlemi sırasında organik maddelerin atıksudan uzaklaştırılması büyük önem arz etmektedir. Bu aşamada, biyokütle geri devredilip çok kısa hidrolik bekletme süresinde organik madde giderimi için kullanılır.

Kullanılan A kademe arıtma teknolojisiyle biyolojik besi gideriminden (BNR) önce kullanılan ön çöktürmeye kıyasla daha iyi organik madde giderimi sağlanmıştır. Ön çöktürme işlemi ile ortalama %37 mertebesinde olan Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) giderimi, %55'e yükselmiştir. Toplam azot gidermi ise %8'den %20'ye ulaşmış, ön çöktürme tankı çıkışında 100 mg/L'den fazla olan AKM (askıda katı madde) konsantrasyonu test edilen A kademe arıtma işleminin çıkışında ortalama 40-60 mg/l'ye gerilemiştir. A-kademe arıtımda elde edilen yüksek KOİ giderim verimleri, biyogaz üretimi için anaerobik çürütücüye beslenecek çamur miktarını ciddi miktarda artırır. Daha az enerji sarfiyatı ile elde edilen yüksek KOİ giderim verimi CO2'e kadar oksitlenen organik madde miktarının azaltılması ile mümkündür. Kullanılan özel yazılım ile proses kontrolü gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Düşük ÇO set değerlerine göre havalandırma ve sabit AKM kontrolü ile optimum giderim verimleri elde edilebilmiştir. Bu ve benzer gerçek zamanlı kontrol yaklaşımları düşük ilk yatırım maliyetleriyle tam ölçekli tesislere de uygulanabilir.



Şekil 3.30 Singapur'da iki kademeli (AB prosesi) biyolojik arıtma prensibi ile kurulan pilot ölçekli tesisin akış diyagramı

Biyolojik besin giderimi proseslerinin enerji ihtiyacını belirleyen ana faktör nitrifikasyon işlemi için gerekli hava miktarıdır. Havalandırma için sarf edilen enerji, AAT'lerde tüketilen toplam elektrik enerjisinin %45'ine kadar ulaşabilir. Çoğu zaman havalandırma ihtiyacını

azaltmak için optimizasyon yapılmamaktadır. Bu husus dikkate alarak, bu çalışmada havalandırma ihtiyacını azaltmak için iki farklı uygulama test edilmiştir: i) B kademe arıtma işleminde nitrit üzerinden azot gidermi (nitritasyon-denitritasyon) ve ii) çeşitli gelişmiş havalandırma kontrol stratejileri. Nitrit üzerinden azot giderimi uygulamasında, amonyum nitrat yerine nitrite kadar oksitlenip denitrifiye edilmiştir. Konvansiyonel nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesiyle kıyaslandığında, A-kademe arıtım ile birlikte kullanılan bu işlemin avantajları şunlardır:

- %40 daha düşük karbon kaynağı ihtiyacı
- Nitrifikasyon için %25 daha düşük oksijen tüketimi
- Reaktör hacminde %30-40 oranında azalma
- Daha yüksek denitrifikasyon hızı

Singapur'daki yüksek atıksu sıcaklıkları biyokütle aktivitesi için oldukça elverişli olmuştur. Bu sayede, B-kademe arıtım düşük çamur yaşı ile ve düşük çözünmüş oksijen seviyesinde gerçekleştirilerek enerji tasarrufu sağlanabilmiştir.

AB prosesinde havalandırma tasarrufu sağlamak için farklı havalandırma kontrol stratejileri test edilmiştir. Havalandırma, öncelikli olarak amonyum veya azot oranının sabit tutulması prensibiyle çalışan PID (Oransal İntegral Türevsel Kontrol) sistemler ile kontrol edilmiştir. Bununla birlikte, sabit düşük çözünmüş oksijen seviyesi ve kesikli havalandırma temelli PID kontrolü gibi gelişmiş sistemler ile eş zamanlı nitritasyon ve denitritasyon prosesini destekleyerek havalandırma ihtiyacını daha da düşürmek mümkündür. Benzer kontrol sistemleri ile besi maddesi giderime yönelik havalandırma ihtiyacı, çıkış suyu kalitesinde herhangi bir olumsuzluğa sebep olmadan konvansiyonel arıtım proseslerine kıyasla %40-80 oranında azaltılabilir.

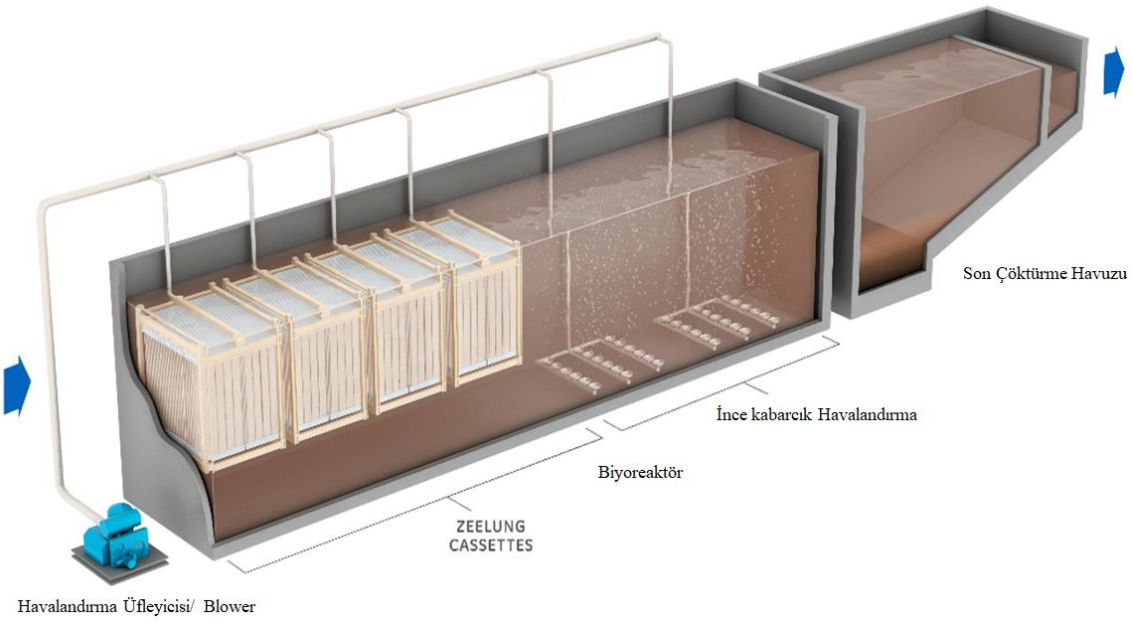
Pilot Ölçekli Uygulama - İtalya Borghetto Santo Spirito'de Enerji Nötr Kentsel Atıksu Arıtımı, İtalya

İtalya'da Akdeniz kıyısında turistik bir kasaba olan Borghetto Santo Spirito'da gerçek kentsel atıksu ile gerçekleştirilen ve 10 ay süren çalışmada, gelişmiş ön çöktürme ünitesini (LEAPprimary, GE Water & Process Technologies) ve membran havalandırmalı biyofilm reaktörden (ZeeLung MABR, GE Water & Process Technologies) oluşan AB prosesi

esaslı pilot ölçekli bir sistem kullanılmıştır. Pilot ölçekli proses şeması Şekil 3.31 ve Şekil 3.32'de sunulmuştur (GE, 2017).

Çalışmanın ilk altı ayı sonunda membran havalandırmalı biyofilm reaktör (B-kademe arıtma) ile elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenmiştir.

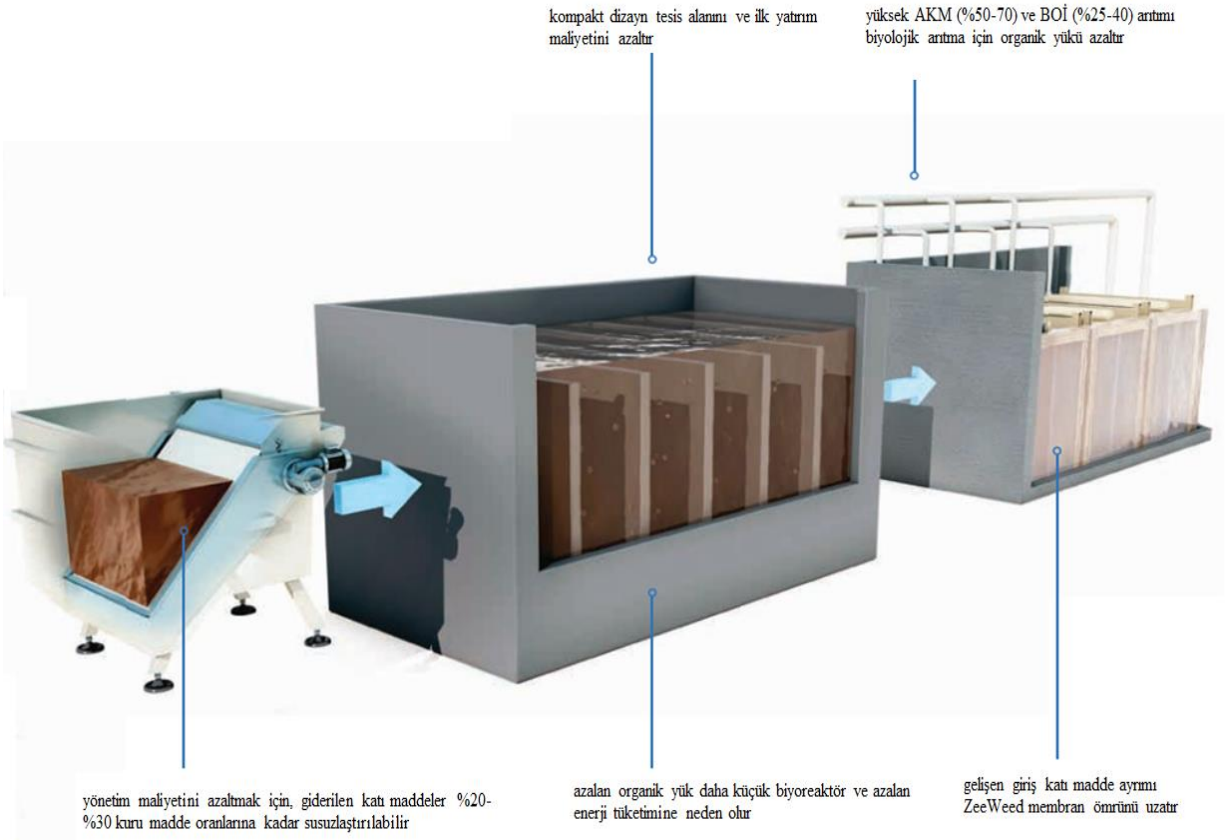
- İnce kabarcıklı havalandırmaya kıyasla membran havalandırma ile 4-5 kat daha az enerji sarf edilmiştir.
- Aynı çıkış suyu kalitesi, konvansiyonel BNR sistemi için gerekli hacmin %50'si ile elde edilmiştir.
- İç nitrat geri devri yapmadan %80'e varan azot giderimi sağlanmıştır.



Şekil 3.31 Membran havalandırmalı biyofilm reaktörü
(ZeeLung MABR, GE Water & Process Technologies)

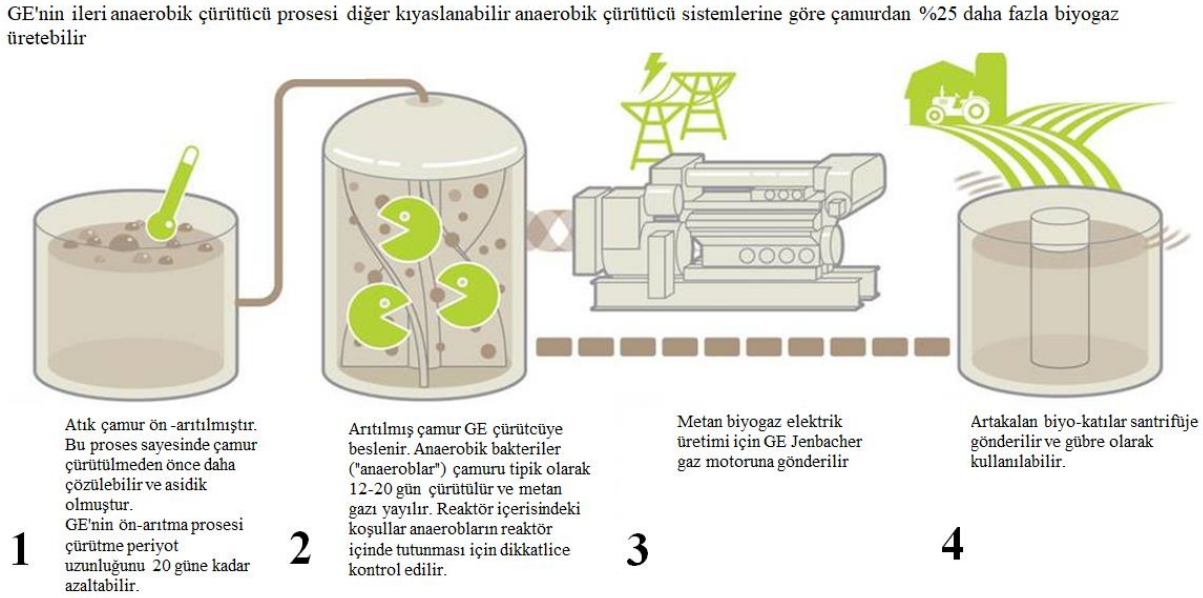
Borghetto Santo Spirito'daki 30.000 m^3/gün kapasiteli AAT'yi işleten firma, mevcut alanı kullanarak daha yüksek arıtma kapasitesine sahip bir arıtma için Aralık 2016'da yukarıda bahsi geçen pilot çalışmayı başlatmıştır. Çalışmanın öncelikli amacı arıtma kapasitesinin arıtılması olmakla birlikte membran havalandırmalı biyofilm reaktör (B-kademe arıtma) ile ne kadar enerji tasarruf edebileceği ve enerji nötr bir arıtmanın mümkün olup olmayacağının araştırılmasıdır. Bu maksatla gelecekte inşa edilecek tesise gelişmiş bir çamur çürütücünün (Monsal Advanced AD, SUEZ) dahil edilmesi ön görülmektedir

(şematik olarak Şekil 3.33'de gösterilmiştir). Pilot ölçekli çalışma 2017 sonuna kadar devam edecektir.



Şekil 3.32 Gelişmiş ön çöktürme ünitesini (LEAPprimary, GE Water & Process Technologies) ve membran havalandırmalı biyofilm reaktörden (ZeeLung MABR, GE Water & Process Technologies) oluşan AB prosesi esaslı pilot ölçekli AAT

Kullanılan membran havalandırma ile (ZeeLung Membran, GE Water & Process Technologies) %40'a varan enerji tasarrufu sağlanmıştır. Bu tasarruf sadece 2 m su yüksekliği ile elde edilmiştir. İnce kabarcıklı difüzör kullanıldığında elde edilebilecek tasarruf yaklaşık %6-8'dır. Buna ilave olarak, kullanılan membran havalandırmalı biyofilm reaktör ile gerçekleştirilen eşzamanlı nitrifikasyon denitrifikasyon sayesinde tesis çıkışında istenilen azot değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 3.33 Gelişmiş anaerobik çamur çürütücü
(Monsal Advanced AD, SUEZ)

AB projesi: IWAMA – Enerji Verimli Atıksu Arıtımı Projesi

IWAMA, pilot-ölçekli çalışmalar ile atıksu arıtma tesislerinde enerji verimliliğini artırıp çamur yönetimini iyileştirerek Baltık Denizi'ne kıyısı olan bölgelerde atıksu yönetimini geliştirmeyi hedefleyen bir AB projesidir. Konsorsiyum, üniversiteler, su idareleri ve atıksu arıtma tesislerinin yer aldığı toplam 17 ortaktan oluşmaktadır. Proje Toplam Bütçesi: 4,6 milyon €, Süresi: 3 yıldır (Mart 2016 – Şubat 2019). Gerçekleştirilen bazı pilot ölçekli çalışmalar hakkında aşağıda bilgiler sunulmaktadır. Projede yer alan ortaklar Şekil 3.34'te sunulmuştur.

(IWAMA,

Şekil 3.34 IWAMA projesi konsorsiyumu

1. Polanya'da Gdansk AAT'deki Birleşik Anammox-Yapay Sulak Alan Pilot Tesisi

Polonya, Gdansk'daki Wschód AAT'de enerji verimli ve uygun maliyetli bir atıksu arıtma konsepti geliştirmek için atıksudaki organik maddeyi mümkün mertebe ayırıp biyogaz üretiminde değerlendirmeyi amaçlayan pilot ölçekli bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen konsept 3 kademeden oluşmaktadır (IWAMA, 2017).

- İleri seviyede karbon ve fosfor giderimi için koagülasyon-flokülasyon ve çöktürme işlemlerinden oluşan birincil arıtma ve akabinde filtrasyon.
- Hem biyofilm hem de askıda büyüyen aktif çamur prosesinin özelliklerini taşıyan entegre biyofilm ve aktif çamur (IFAS) sistemiyle kısmi nitritasyon-anammox temelli ototrofik amonyak giderimi yapan ikincil arıtma.
- Bakiye karbon ve besi maddelerinin giderimi için iki kademeli yapay sulak alandan oluşan düşük maliyetli nihai arıtma

Atıksu arıtma performansı, katı madde, pH, oksijen, iletkenlik, amonyak, nitrit ve nitrat değerlerini on-line ölçen problarla izlenmektedir. IFAS biyo-reaktöründeki sıcaklık ve çözünmüş oksijen değeri Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (PLC) sistemi tarafından otomatik olarak kontrol edilmektedir.

Pilot konsept, organik karbonun büyük bir kısmının ham atıksudan ayrılıp enerji olarak geri kazanılması ve nitritasyon-anammox prosesiyle azotun giderilmesi esasına dayanır. Atıksudan ayrılıp çamur çürütücüye beslenen organik karbon daha fazla biyogaz üretilmesine ve kojenerasyon ile daha fazla enerji elde edilmesine olanak sağlar. Anammox temelli proses ile atıksudaki amonyum azotu nitrit üzerinden azot gazına dönüştürülür. Bu sayede azot gideriminin, konvansiyonel nitrifikasyon-denitrifikasyon sistemlerine kıyasla %60 daha az oksijen sarfederek gerçekleştirileceği tahmin edilmektedir.

Yenilikçi ve karma bir teknoloji sunan pilot konseptin enerji dengesini önemli ölçüde geliştirerek AAT'lerin uygun maliyetli ve enerji pozitif olarak işletilmesine imkan sağlayacağı öngörülmektedir. Pilot çalışma, Eylül 2017'de faaliyete geçen birincil arıtma (A kademe) kademesi ve Ekim 2017'de işletilmeye başlanan ikincil arıtma kademesi (B kademe) ile devam etmektedir.

2. Letonya'da Daugavpils AAT'de Azot Bileşenlerinin Kontrolü

Daugavpils AAT'de gerçek ölçekte yürütülen çalışmada, nitrifikasyon işlemi sırasında üfleyicilerin hızlı ve otomatik şekilde ayarlanmasına ve bu sayede en uygun şekilde işletilmesine olanak sağlayan azot bileşenlerinin takibine dayalı bir kontrol sistemi test edilmektedir. Bu kontrol sistemi, gerçek ölçekli bir AAT'de ilk defa test edilmekte olup elde edilecek sonuçlar azot bileşenlerine bağlı kontrol sisteminin arıtma verimi ve enerji sarfiyatını nasıl etkileyeceği belirlenecektir. Daugavpils AAT'de kullanılan bu basit kontrol

sistemi sayesinde kararlı besi maddesi gideriminin daha az enerji sarfiyatı ile elde edilebileceği öngörülmektedir.

3. Litvanya'da Kaunas AAT'de Enerji Optimizasyonu için Kontrol Sistemi

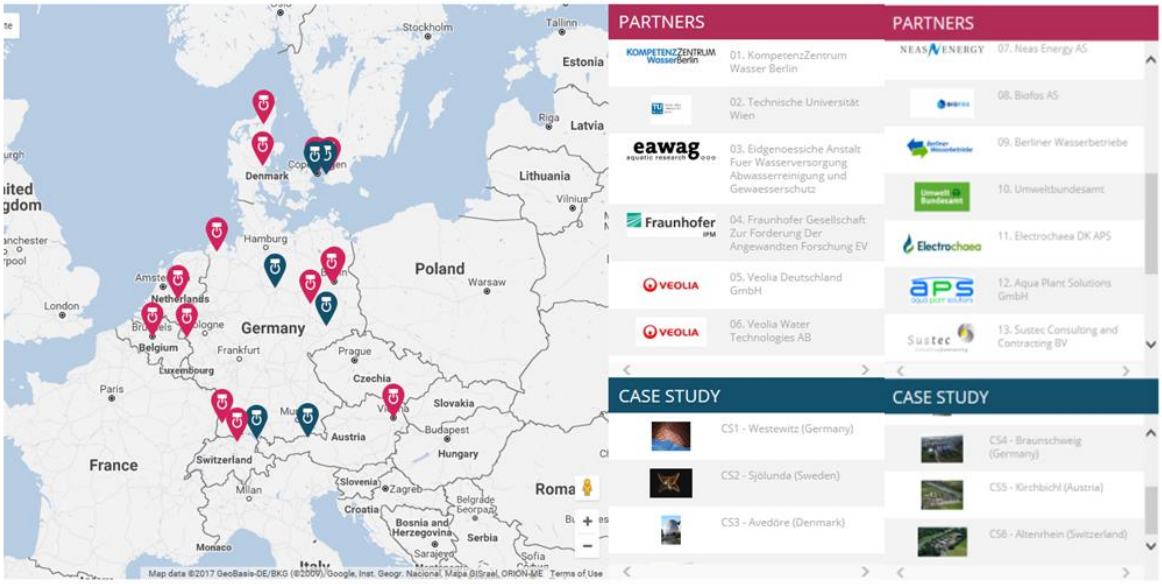
Kaunas AAT'de yeni başlayan pilot ölçekli bu çalışmada azot konsantrasyonlarını on-line takip etmek için havalandırma tanklarına azot probları yerleştirilmiştir. Toplanan veriler ilerleyen dönemlerde proses optimizasyonu için kullanılacaktır. Azot problarına ilave olarak havalandırma tanklarına verilen hava miktarını ölçmek için akış hızı sensörleri kullanılacaktır. Üfleyicilerin çalışması hava akış hızı verilerine göre optimize edilecektir. Üfleyicilerin enerji sarfiyatını optimize etmek için ise ileri proses otomasyonu ve programlamasından faydalanılacaktır. Ayrıca, azot giderim verimini artırmak için havalandırma tankının denitrifikasyon bölgesine ilave metanol dozlanacaktır.

4. Almanya'da Grevesmühlen AAT'de Tam Ölçekli İleri Kontrol Sistemi

Grevesmühlen AAT'de gerçek ölçekte yürütülen çalışmada, çamur çürütme, ortak fermantasyon, termal hidroliz, karbon ve besi maddesi gideriminden oluşan karmaşık arıtma sisteminin en uygun şekilde işletilmesi ve kütle akışı yönetiminin belirlenmesi için bir karar verme aracı kullanılmaktadır. Kullanılan sistem, yapısal ve teknik ekipmanları, genişletilmiş ölçümleri ve verilerin toplanması, değerlendirilmesi ve istatistiki analizlerini ve genel proses kontrol ve otomasyon sisteminin iyileştirilmesini içermektedir. Yeni operasyonel stratejiyi uygulamak için genel proses kontrolü ve otomasyon sistemi ile ilgili iyileştirmeler gerekli görülmektedir.

POWERSTEP – Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesisi Kavramının Tam Ölçekte İncelenmesi projesi

AB Ufuk 2020 kapsamında desteklenen POWERSTEP projesi, atıksu arıtma tesislerini enerji üretim tesisleri haline getirmek ve halen yüksek kaliteli su arıtımı yapmak için çalışan araştırma ve öncü atıksu arıtma firmalarının yer aldığı bir projedir. Konsorsiyum, 7 Avrupa ülkesinden 15 ortaktan oluşmaktadır. Proje Toplam Bütçesi: 5,203,818 €, Süresi: 3 yıldır (1 Temmuz 2015 - 30 Haziran 2018). Projede yer alan ortaklar Şekil 3.35'te gösterilmiştir.



Şekil 3.35 Powerstep projesi konsorsiyumu

1. Westewitz AAT (Almanya)

Westewitz AAT, Almanya'da Dresden ve Leipzig şehirleri arasında bulunan ve küçük atıksu arıtma tesisleri (Alman tesis büyüklükleri sınıfı 1-2) için rol model kabul edilen bir tesistir. Kapasitesinin aksine, tesis enerji pozitif olarak işletilmekte ve fazla enerji tesis dışında değerlendirilmektedir. Proje ortakları, Westewitz AAT'de mevcut teknolojileri ve prosesleri kullanarak ham atıksudaki karbonu ayırıp enerji olarak geri kazanmayı ve azot giderimini geliştirmeyi planlamaktadır. Bu çalışma ile enerji pozitif bir AAT'ye ulaşmak için gerekli temel adımlar belirlenecektir.

Amaçlar

- Ham atıksudan ayrılıp enerji olarak geri kazanılan karbon miktarını arttırmak
  - Biyogaz verimi ölçülerek (biyo-metan testleri)
- Arıtma hedeflerinin sağlanması (özellikle azot arıtımı)
  - Değişiklik öncesi ve sonrası arıtma verimlerinin kimyasal test kitleri ile ölçülüp karşılaştırılacaktır
- Kontrol sisteminin test edilmesi (uzaktan ve çevrimiçi takip)
- Enerji dengesinin belirlenmesi
  - Enerji tüketimleri ölçülecek ve önceki sonuçlar ile karşılaştırılacaktır
- Bilgilerin tesisi işleten personele aktarılması (işletme maliyetinin azaltılması, havalandırma ve harici karbon kaynağında tasarruf)

- Maliyet hesapları ile ölçülerek
- Pilot ölçekli doğal arıtma (su mercimeği) (tam akım azot ve fosfor giderimi)
  - Kimyasal test kitleri ile ölçülecektir

Zorluklar, Engeller

Mevcut teknoloji ile ön çöktürmede en fazla %30 Karbon giderimi gerçekleştirilebilmektedir. Enerji pozitif AAT amacına ulaşmak için ön çöktürme ile ham atıksudan ayrılan karbon miktarının artırılması mühimdir. Karbon kaynağı, atıksudan biyogaz eldesi için oldukça önemlidir ve daha fazla karbon daha fazla biyogaz eldesi demektir. Ayrıca, artan biyogaz üretimi atıksu arıtımı için sarf edilen enerjinin azalması anlamına gelmektedir. Ancak ön çöktürme ile daha fazla karbon giderimi, denitrifikasyon bakterilerinin ihtiyacı olan karbonu azaltacağı için azot giderimini zorlaştırabilir. Azot arıtımı için kullanılan mevcut yöntem aktif çamur prosesidir. POWERSTEP projesi kapsamında, azot arıtımı aktif çamur sisteminin gelişmiş kontrolü ve küçük doğal arıtma (su mercimeği) sistemleri ile gerçekleştirilecektir. Önerilen arıtma konsepti, kentsel atıksu arıtımında daha önce kullanılmadığı için projenin yenilikçi ve aynı zamanda zorlayıcı özelliği olacaktır.

2. Sjölunda AAT (İsveç)

İsveç'te Malmö şehrinde bulunan Sjölunda AAT, biyogaz üretimini arttırmak ve yüksek yüklemeli aktif çamur sistemlerindeki hava ihtiyacını azaltmak amacıyla gelişmiş karbon tutma mekanizmaları ile ilgi çekmektedir. Bununla birlikte, proje ortakları ana akımdan kısmi nitritasyon ve anammox ile azot giderimine yönelik çalışmalar gerçekleştirecektir.

Amaçlar

- Minimum kimyasal kullanarak mikroeleklerle ön-filtrasyon vasıtasıyla mümkün mertebe en yüksek miktarda KOİ'yi tutup kalan KOİ'nin PN/A prosesinde giderimini sağlamak.
  - Konvansiyonel test kitleri ve kütle dengesi ile ölçülecektir
- KOİ giderimi için, 2 farklı ön-arıtma prosesi ile 3 aşamalı ve geniş ölçekli bir prototipin kurulması 1. Aşama: ön çöktürme ve yüksek-yüklemeli aktif çamur sistemi; 2. Aşama: disk biyo-filtre ve ana akımda kararlı azot giderimi için yüksek yüklemeli ve ardından nitritasyon-anammox prosesi olan MBBR (hareketli yataklı biyofilm reaktörü) sistemi
  - Konvansiyonel test kitleri ve kütle dengesi ile ölçülecektir
- Kontrol sisteminin test edilmesi (uzaktan ve çevrimiçi takip)

- Ana akımdaki nitritasyon+anammox prosesinin azot artıma kapasitesinin optimizasyonu
- MBBR'daki biyofilmin mikrobiyal karakterizasyonu
  - Aktivitenin ölçümü için taşıyıcı üzerinde kesikli denemeler
  - Biyofilm yapısının karakterizasyonu
  - Mikrobiyal karakterizasyon
- Enerji dengesinin belirlenmesi
  - Enerji tüketimleri ölçülecek ve önceki sonuçlar ile karşılaştırılacaktır
- Bilgilerin tesisi işleten personele aktarılması (işletme maliyetinin azaltılması, havalandırma ve harici karbon kaynağında tasarruf)
  - Maliyet hesapları ile ölçülerek

Zorluklar, Engeller

Mevcut teknoloji ile ön çöktürmede en fazla %30 Karbon giderimi gerçekleştirilebilmektedir. Enerji pozitif AAT amacına ulaşmak için ön çöktürme ile ham atıksudan ayrılan karbon miktarının arttırılması mühimdir. Karbon kaynağı, atıksudan biyogaz eldesi için oldukça önemlidir ve daha fazla karbon daha fazla biyogaz eldesi demektir. Ayrıca, artan biyogaz üretimi atıksu arıtımı için sarf edilen enerjinin azalması anlamına gelmektedir. Ancak ön çöktürme ile daha fazla karbon giderimi, denitrifikasyon bakterilerinin ihtiyacı olan karbonu azaltacağı için azot giderimini zorlaştırabilir.

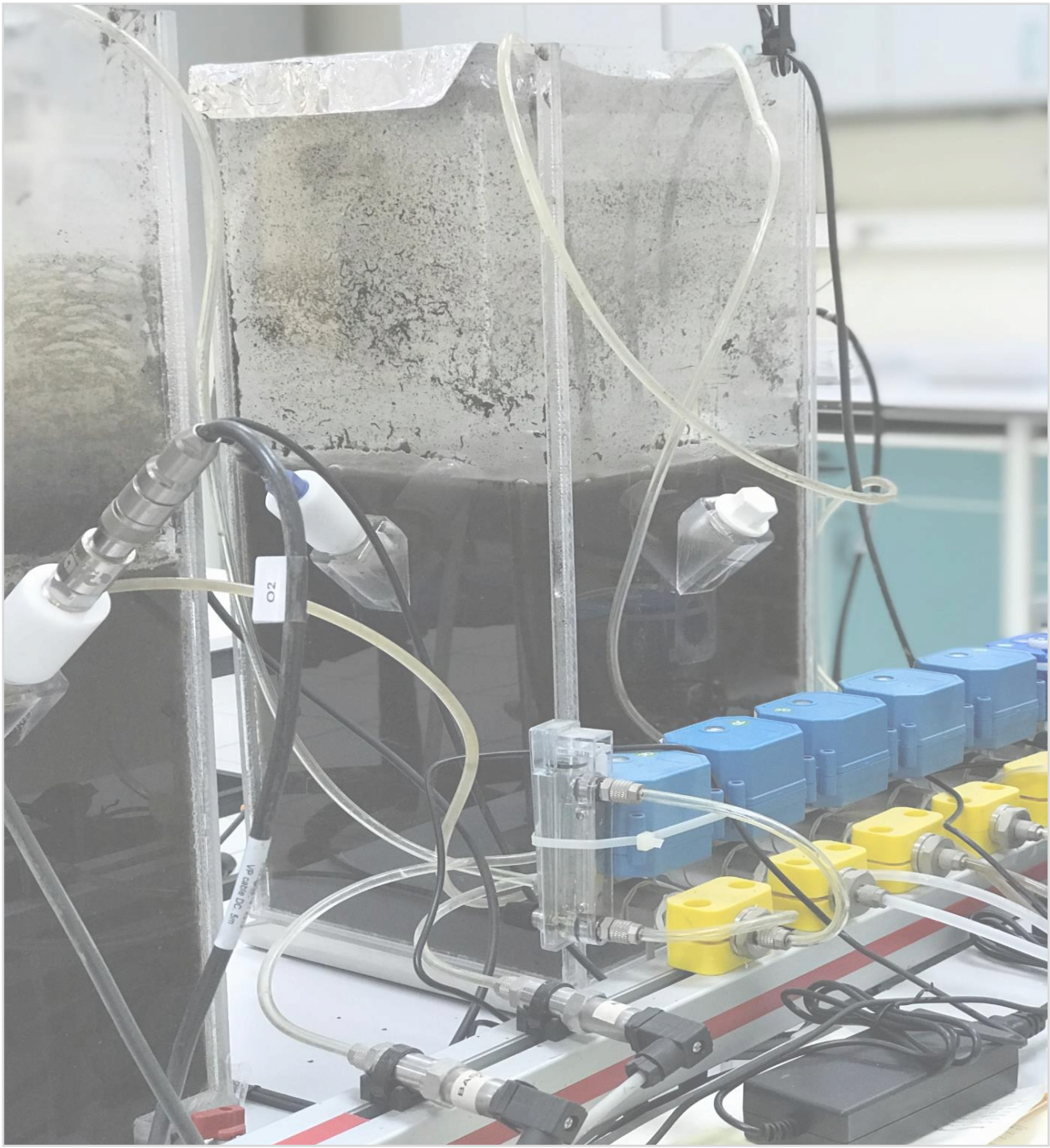
Sjölunda da kurulan pilot AAT'de karbon, yüksek yüklemeli aktif çamur sistemlerinde, azot ise temel olarak iki aşamalı prosesle arıtılır. Bu iki aşamalı proses, nitrifikasyon yapan damlatmalı filtre ve harici karbon kaynağı olarak metanol kullanarak son-denitrifikasyon yapan MBBR sistemlerini içerir. POWERSTEP projesinde azot, nitritasyon-anammox prosesi ile iki aşamalı MBBR sistemi ile giderilecektir. Bu proses, biyogaz üretimi için ham atıksudaki karbonun ayrılmasına, düşük enerji ihtiyacı ile azot giderimine, küçük alan ihtiyacına ve harici karbon ihtiyacının tamamen veya kısmen azaltılmasına imkan sağlayan yenilikçi bir prosestir.

4 LABORATUVAR ÖLÇEKLİ DÜŞÜK OKSİJEN KONSANTRASYONUNDA BESİ MADDESİ GİDERİMİ ÇALIŞMALARI

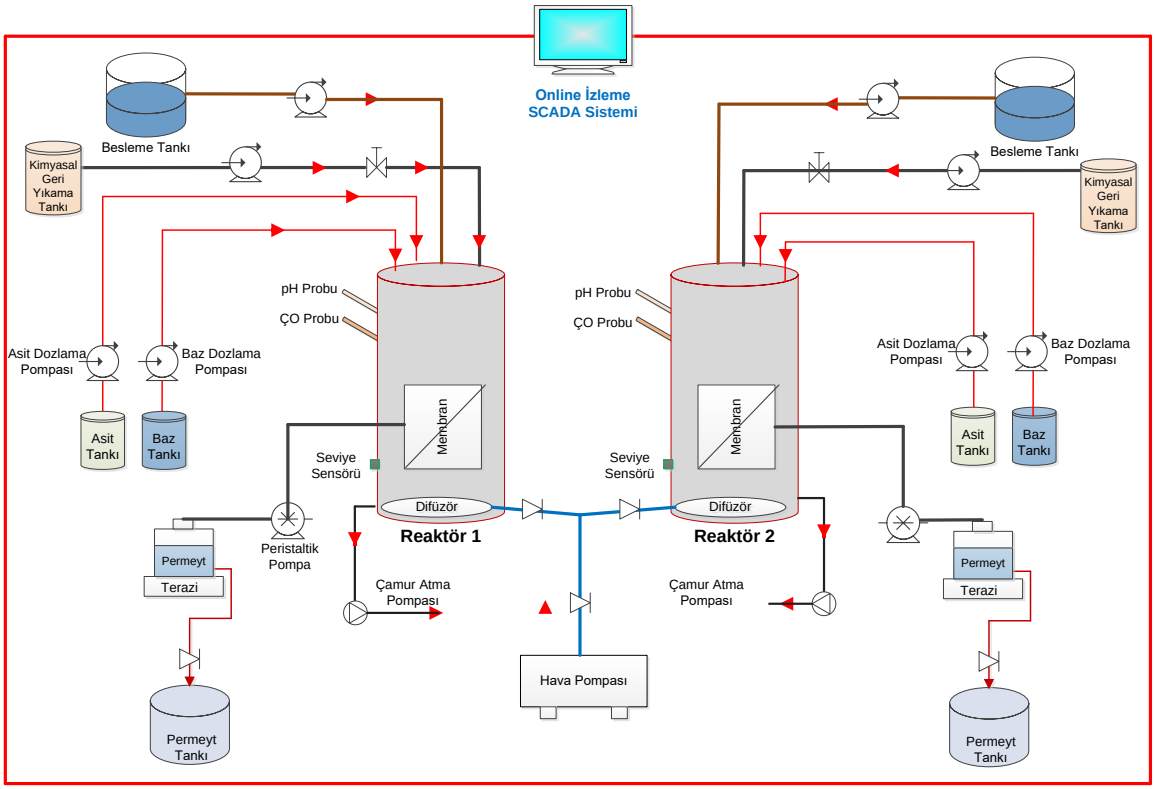
Dünyada ve ülkemizde özellikle konvansiyonel aktif çamur sistemlerinin yaygın olarak kullanılması, atıksu arıtma tesislerinde enerji maliyetlerinin büyük bir kısmını aktif çamur sistemlerindeki havalandırma maliyetlerinin oluşturması ve deşarj edilen sularda besin maddesi konsantrasyonlarının daha alt limitlere çekilme istekleri, enerji maliyetlerinin artmasına ve aktif çamur sistemlerinde optimizasyon çalışmalarına ihtiyaç duyulmasına yol açmıştır. Bunun yanı sıra, atıksu arıtma tesislerinde, konvansiyonel biyolojik arıtma sistemlerine alternatif olacak, enerji verimli ve besin gideriminde etkili yenilikçi teknolojiler üzerine de çalışmalar yürütülmektedir. Son yıllarda, mevcut uygulamalar arasında yer alan, aktif çamur sistemleri ve Membran Biyoreaktör (MBR)'ların optimizasyonu, öne çıkan araştırmalar arasındadır.

Proje kapsamında, biyolojik arıtma sistemlerinin hem düşük oksijen konsantrasyonlarında işletilebilme olanakları, hem de Eş Zamanlı Nütrient Giderimi (SND) performanslarının değerlendirilmesi için günümüzde yaygın olarak kullanılan konvansiyonel aktif çamur prosesi ve yaygınlaşmakta olan MBR teknolojisi ile laboratuvar ölçekte çalışmalar yürütülmesi planlanmıştır. Birinci aşamada TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü laboratuvarında mevcut bulunan ve aynı anda paralel iki MBR reaktörünün işletilmesine olanak sağlayan otomasyon kontrollü MBR sistemi ile düşük oksijen konsantrasyonlarında çalışmalar yürütülmüş, burada işletme esnasında karşılaşılan sorunlar, güçlükler vb. doğrultusunda (oksijen kontrol sistemi, oransal vana tipleri, pompa tipleri vb.) laboratuvar ölçekli aktif çamur sisteminde tasarımının yapılması planlanmıştır. Bu sayede, laboratuvar ölçekli aktif çamur sisteminde karşılaşılabilecek sorunlar tasarım aşamasında ön görülerek minimize edilmiş ve işletmede karşılaşılabilecek olası sorunlar bertaraf edilmeye çalışılmıştır. Hâlihazırda, işletilmekte olan iki adet otomasyon kontrollü paralel MBR reaktörü, evsel nitelikli atıksuyla beslenmeye başlanmış ve düşük oksijen konsantrasyonlarında yaklaşık 3-4 haftalık aklimasyon süresinin ardından, reaktörler yaklaşık 3 hafta süreyle daha işletilmiş ve veri toplanmıştır. Elde edilen ön sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

4.1 Membran Biyoreaktör (MBR) İle Düşük Oksijen Konsantrasyonlarında Eş Zamanlı Nütrient Giderimi



Çalışma kapsamında kullanılan laboratuvar ölçek MBR sistemi, paralel olarak işletilebilen, iki farklı MBR reaktöründen oluşmaktadır. Her bir reaktör 50 L ham atıksu depolama/besleme tankı, 50 L arıtılmış süzüntü suyu, her reaktör için peristaltik besleme pompalar ve 2 adet 30'ar L pleksiglas reaktöre sahiptir. Sistemin şematik gösterimi Şekil 4.1'de, resimleri ise Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

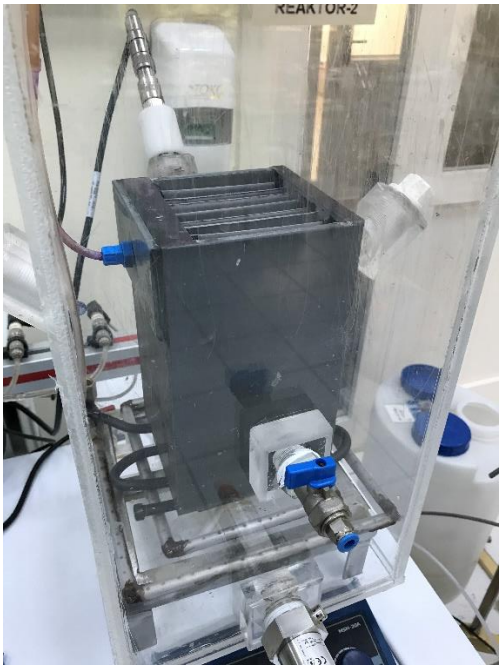


Şekil 4.1 Laboratuvar ölçekli MBR sisteminin şematik gösterimi

Şekil 4.2 Lab Ölçek MBR sistemi fotoğrafları (solda su, sağda ise aktif çamurla dolu olarak görülmektedir)

Lab ölçek MBR sisteminde kullanılan membran modülü Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Her iki reaktörde de birer adet aynı tip ve özellikte düz tabaka membran modülü

bulunmaktadır. Modüller, membran alanı 0,1 m^2 olan, 0,14 mikron gözenek çapına sahip, polivinilidin florür (PVDF) malzemeden üretilmiş membranlardan oluşmuştur.



Şekil 4.3 Düz tabaka Mikrofiltrasyon (MF) membran modülü

Her bir MBR sistemi, bir birinden bağımsız olarak işletilebilen tam otomasyon kontrolüne sahiptir. Sistemde havalandırma ve membran yüzey temizliği sağlayacak havalandırma pompaları, membrana ve/veya difüzöre verilen havanın debisini ölçmek için debimetreler bulunmaktadır. Süzüntünün alınması için, hem düz tabaka hem de hollow fiber membran türleri için reaktör içerisinden vakum ile süzüntü suyu çekmeye elverişli iki yönlü çalışan peristaltik süzüntü suyu pompaları kullanılmıştır. Reaktörlere atıksu beslemesi için de peristaltik pompalar bulunmaktadır. Gerektiği durumlarda reaktördeki pH ayarlamalarını sağlamak için asit ve baz dozlayan ayrı ayrı asit ve baz dozaj pompaları, 3 L HDPE kimyasal tankı (olası kimyasal geri yıkama senaryoları için), 3 L HDPE asit tankı, 3 L HDPE baz tankı, süzüntü suyunun geçici olarak depolandığı ve kütle ölçümü yapılarak akının belirlenmesi amacıyla kullanılan 5'er L pileksiglas süzüntü suyu tankı, 20 L süzüntü suyu depolama tankı, peristaltik çamur atma pompaları bulunmaktadır. Lab-ölçek MBR sistemi ayrıca dijital terazi, vanalar (valfler), sistemin elektrik kontrol panosu, polipropilen ve silikon bağlantı borularından oluşmaktadır. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemine otomatik kontrol amacıyla bağlı olan, reaktör içerisindeki pH probu ve ÇO probu, reaktör su yüksekliğini (seviyesini) ölçen sensör, trans membran basıncını

(TMP) ölçen sensör sisteme ilgili tüm bilgileri bilgisayar üzerinden online olarak aktarmakta ve tam otomasyon ile kontrol imkanı sunmaktadır. Tüm pompaların çalışması ve havalandırma SCADA yazılımı vasıtasıyla otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.

Reaktörün ilk işletmeye alınması aşamasında kullanılan aşı çamuru, evsel ve endüstriyel atıksu görmüş bir arıtma tesisinin son çökeltim havuzu geri devir hattından alınmıştır. Alınan aşı çamurları laboratuvar ortamında çöktürme işlemine tabi tutulmuş ve daha konsantre hale getirilmiş ve görece olarak daha kısa sürede aklimasyonun sağlanabilmesi için reaktöre, seçilen çamur yaşında ulaşılması beklenen MLSS seviyelerinde çamur ilave edilerek işletilmeye başlanmıştır. Ardından aklimasyonun sağlanabilmesi için TÜBİTAK MAM Yerleşkesinde bulunan lojmanlardan kaynaklı evsel atıksular ile reaktörler beslenmiştir.

Çalışma kapsamında, paralel olarak 2 farklı MBR reaktöründe, 2 farklı çözünmüş oksijen seviyelerinde çalışılması ve performansın karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu sebeple SCADA sistemi üzerinden iki reaktör, literatürde yüksek verimlerin elde edildiği iki farklı çözünmüş oksijen seviyesine ayarlanmıştır. Oksijen seviyesi set değerinin altına düştüğünde difüzör vanası açılmakta, üzerine çıktığında ise kapanmaktadır. Fakat vanaların aç-kapa tipinde olması, hassasiyetin düşük olması, piyasada mevcut olan en küçük hava pompalarının dahi sisteme beslenen hava miktarları açısından değerlendirildiğinde oldukça büyük kalması sebebiyle, oksijen seviyelerinde salınımlar görülmüştür. Ayrıca atıksu karakteristiğinin değişmesi ile birlikte, reaktörlerdeki oksijen ihtiyaçları değişerek set edilen oksijen seviyelerinde dönem dönem sapmalar meydana gelmiş, manüel kontrollere ihtiyaç duyulmuştur. MBR'larla yürütülen bu çalışmada elde edilen tecrübeler sayesinde, laboratuvar ölçekli aktif çamur sistemi geliştirilmiş, hava pompaları yerine, mevcut hava hattının kullanımı tercih edilmiş, iki kademede hava debisi düşürülmüş ve reaktörün 3 farklı noktasına düşük hava debisinin verilebileceği, MFC (massflowcontroller) sistemlerinin kullanımı tercih edilmiştir. Yine, düşük ÇO konsantrasyonlarında karşılaşılan hassasiyet probleminin önüne geçilebilmesi için, dijital haberleşme özelliğine sahip ve 0.01-1 mg/L aralığında hassas ölçüm kapasitesine sahip ÇO sensörleri tercih edilmiştir.

4.1.1 Materyal ve Yöntem

4.1.1.1 Analiz Parametreleri

Çalışma kapsamında giriş, çıkış numuneleri ve reaktörde ölçümleri yapılmış konvansiyonel analiz parametreleri ve ölçüm metotları aşağıda özetlenmiştir.

pH: HACH HQ40d marka pH metre ile ölçülmüştür.

İletkenlik: HACH HQ40d marka iletkenlik metre ile ölçülmüştür.

Reaktör Çözünmüş Oksijen: Reaktöre bağlı olan Hamilton çözünmüş oksijen sensörü ile ölçüm sonuçları alınmıştır.

Numunelerde Çözünmüş Oksijen: HACH HQ40d marka oksijen metre ile ölçülmüştür.

Askıda Katı Madde (AKM): Standart Metot 2540'a göre tayin edilmiştir (APHA, 1998). Tam karışımı sağlanan numune 103-105 ^{o}C-1 saat etüv ve desikatörde sabit tartıma getirilmiş 0,45 mikron cam elyaf filtreden süzülmüştür. Filtre kâğıdı 103-105 ^{o}C etüvde kurtulup, desikatörde soğutulduktan sonra AKM konsantrasyonu belirlenmiştir.

Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM): Hem AKM hem de UAKM ölçümü aynı filtre kâğıdında birlikte gerçekleştirildiği için ilk olarak 0,45 mikron cam elyaf filtre kâğıdı kül fırınında 550 ^{o}C'de yakılmış, desikatörde soğutulduktan sonra sabit tartıma getirilmiştir. Filtre kâğıdında ilk olarak standart metoda göre AKM ölçümü yapılmış, ardından aynı filtre kâğıdının 550 ^{o}C'de yakma sonrası desikatör ve tartım işlemleri sonucu UAKM konsantrasyonu ölçülmüştür.

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ): KOİ analizi Merck Prove 600 spektrofotometresinde COD Cell Test 114540 (ölçüm aralığı 10-150 mg/L) ve 114541 (ölçüm aralığı 25-1500 mg/L) kiti ve metodu kullanılarak yapılmıştır.

Toplam fosfor: HACH DR2000 spektrofotometresinde LCK349 nolu kit ile Phosphormolybdenum Blue metoduna göre yapılmıştır.

Nitrit Azotu (NO2-N): Merck Prove 600 spektrofotometresinde Nitrite Cell Test 114547 kiti ve metodu kullanılarak yapılmıştır.

Nitrat Azotu (NO3-N): Merck Prove 600 spektrofotometresinde Nitrate Cell Test 114563 kiti ve metodu kullanılarak yapılmıştır.

Amonyum Azotu (NH4-N): HACH DR2000 spektrofotometresinde LCK304 nolu kit ile Indophenol Blue metoduna göre yapılmıştır.

Toplam Kjeldahl Azotu (TKN): Kjeldahl metodu asidik koşullar altında, 350–400 ^{0}C'de ve 45–60 dakika süreyle kaynatılan numunenin distilasyonu ile titrimetrik yöntemle NH3-N cinsinden ölçülmüştür (APHA, 1998).

4.1.1.2 Numune alma ve deney planı

Atıksular TÜBİTAK MAM lojmanlarının atıksularının toplandığı rögar hattının toplandığı atıksu deposundan alınmıştır. Alınan numunelerin depoda beklememiş olmasına ve atıksuyun sürekli akış halinde olmasına dikkat edilmiştir. MBR sisteminin her iki reaktörüne de, aynı atıksu beslenmiştir.

4.1.1.3 MBR Sistemi İşletim şartları

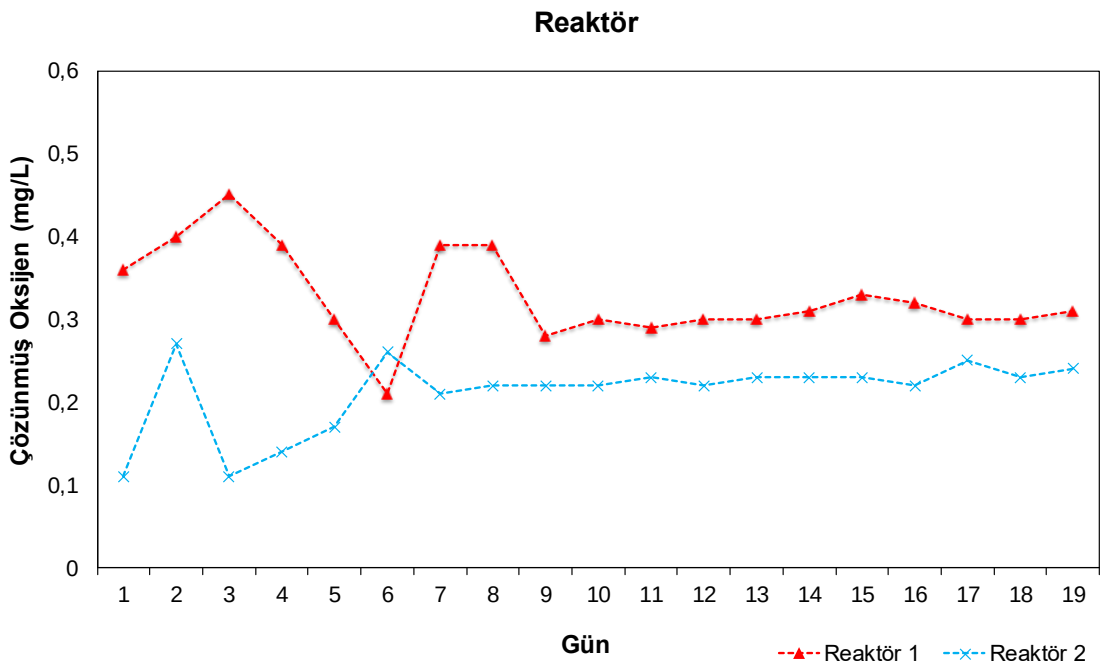
Çalışmanın amacı dikkate alınarak, MBR reaktörlerinde tipik işletim koşulları ve hedeflenen ÇO konsantrasyonları dikkate alınarak işletim şartları seçilmiştir (Tablo 4.1). Atıksu karakterizasyonu sonucu KOİ seviyelerinin düşük olması sebebiyle yüksek miktarda su besleme ihtiyacı doğmuştur. Bu sebeple, her bir reaktöre günlük 20 Litre atıksu beslenmiştir. Çamur yaşı 40 gün olarak seçilmiş, reaktörlerden günlük 400 ml çamur (karışık biyokütle) atılmıştır. Stokiometrik tasarım hesaplamaları dikkate alındığında reaktörde katı madde konsantrasyonunun 5-6 g/L seviyelerinde olacağı ön görülmüştür. Reaktörler, düşük oksijen konsantrasyonlarında yaklaşık 3-4 haftalık aklimasyon süresinin ardından, yaklaşık 3 hafta süreyle daha işletilmiş ve veri toplanmıştır.

Tablo 4.1 MBR reaktörleri için işletim şartları

	Reaktör-1	**Reaktör-2**
Hedeflenen ÇO Konsantrasyonu (mg/L)	0,3	0,2
Reaktör Hacmi (L)	14	14
HRT (saat)	16,8	16,8
SRT (gün)	40	40
Membran Alanı (m^2)	0,1	0,1
Anlık Akı (L/m^2-sa)	20	20
Uygulanan işletim modu	9 dakika filtrasyon 1 dakika dinlenme	9 dakika filtrasyon 1 dakika dinlenme

4.1.2 Arıtılabilirlik Çalışması Sonuçları

İşletim süresince Reaktör-1 ve Reaktör-2'deki ÇO değişimi Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Reaktör-1'de 0,3 mg/L ÇO değeri, Reaktör-2'de ise 0,2 mg/L hedef oksijen değerleri set edilmiştir. İşletimin ilk 9 günü oksijen seviyesi stabil hale gelememiş ve dalgalanmalar gözlenmiştir. Bu durum ilk olarak MBR sisteminde bulunan hava hattı vanalarının aç-kapat tipinde olması sebebiyle, vananın açılması durumunda reaktörlere ani hava girişi olması sebebiyle olmuştur. Atıksu karakterizasyonundaki değişim durumunda karşılaşılan, değişen hava ihtiyacı hava debimetresinin aynı zamanda manuel kaba ayarı ile takip edilmiş ve 9-19. Günler arası nispeten daha stabil oksijen seviyeleri gözlenmiştir. Atıksu karakterizasyonundaki salınımdan kaynaklı olarak, ÇO konsantrasyonundaki değişimin azaltılabilmesi ve daha kararlı bir işletme sağlanması amacıyla, evsel atıksu 2-3 günlük beslemeye yetecek kadar alınmış ve +4°C soğuk odada saklanmıştır.



Şekil 4.4 İşletim süresince MBR reaktörlerindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonları

9-19. günler arasındaki stabil ÇO seviyelerine rağmen, ÇO değerlerinde gün bazında salınımlar da gözlenmiştir. İşletim süresince Reaktör-1'de ortalama, maksimum ve minimum ÇO konsantrasyonları sırasıyla **0,33** mg/L, 0,45 mg/L ve 0,21 mg/L şeklinde gerçekleşmiştir. Reaktör-2'de ise ortalama, maksimum ve minimum ÇO konsantrasyonları

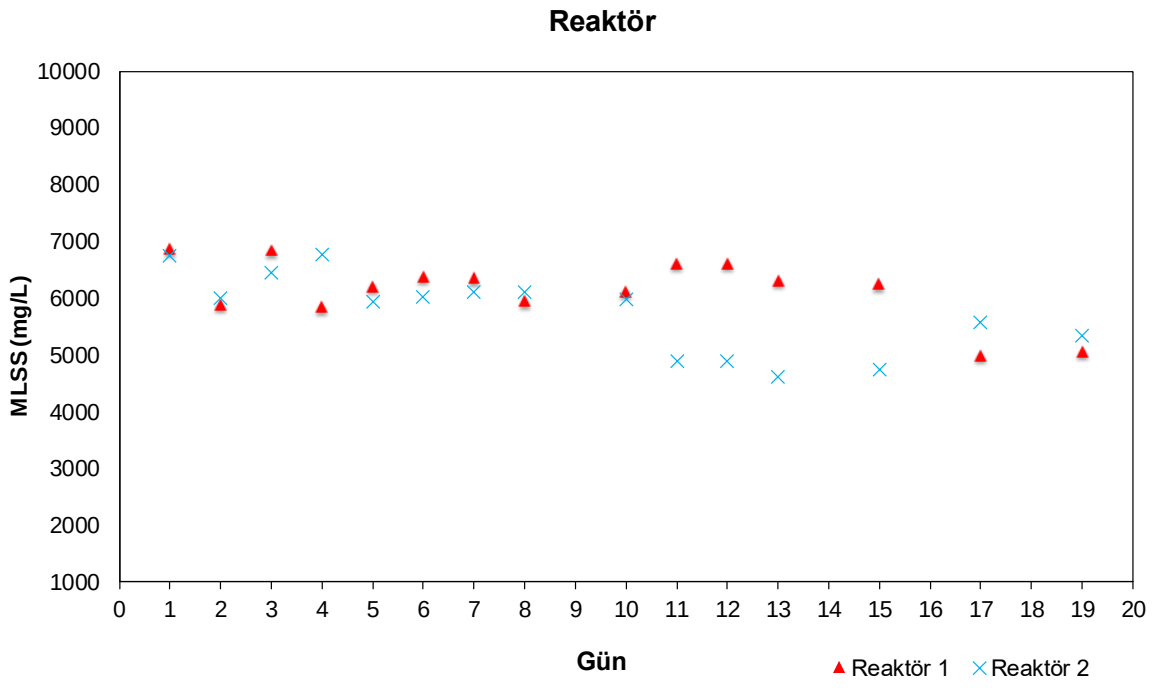
sırasıyla **0,21** mg/L, 0,27 mg/L ve 0,11 mg/L şeklinde gerçekleşmiştir. Günler bazında ise ÇO konsantrasyonlarının değişimi Tablo 4.2'de verilmiştir. Nihai olarak ÇO seviyeleri ortalama olarak set edilen değerlere yakın seviyelerde seyretmiştir.

Tablo 4.2 İşletim süresince MBR'da günler bazında ortalama ÇO konsantrasyonları

Gün	Reaktör-1 ÇO (mg/L)	Reaktör-2 ÇO (mg/L)
1	0,36	0,11
2	0,40	0,27
3	0,45	0,11
4	0,39	0,14
5	0,30	0,17
6	0,21	0,26
7	0,39	0,21
8	0,39	0,22
9	0,28	0,22
10	0,30	0,22
11	0,29	0,23
12	0,30	0,22
13	0,30	0,23
14	0,31	0,23
15	0,33	0,23
16	0,32	0,22
17	0,30	0,25
18	0,30	0,23
19	0,31	0,24
Ortalama	**0,33**	**0,21**
Maksimum	**0,45**	**0,27**
Minimum	**0,21**	**0,11**

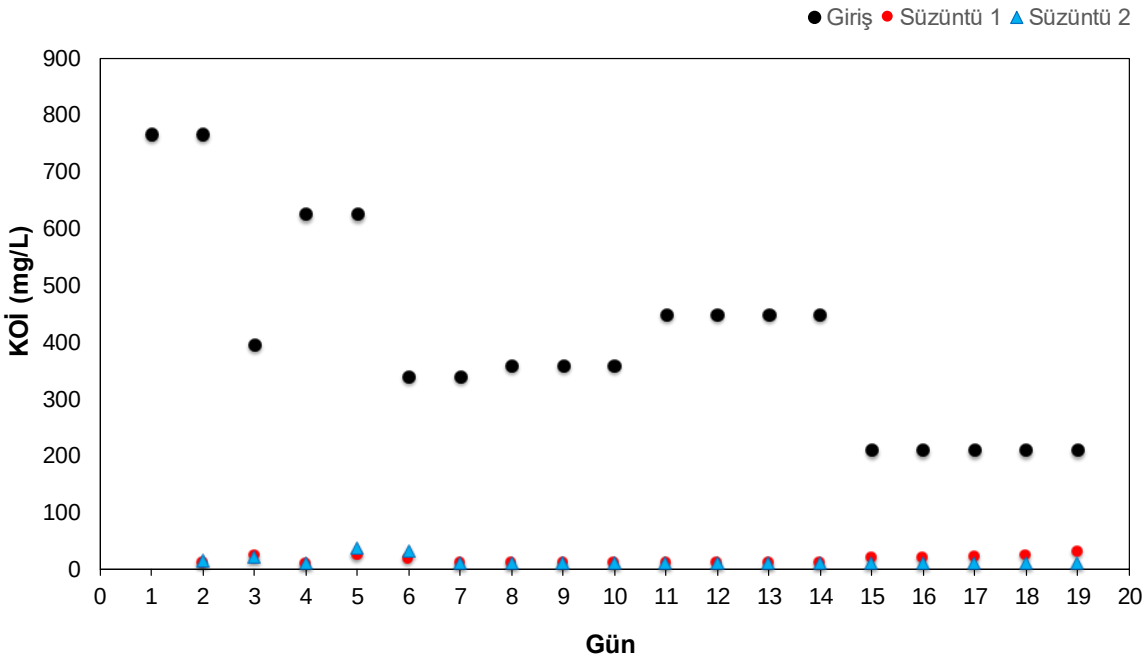
MBR reaktörlerinin işletimine başlarken, seçilen çamur yaşı ve atıksu karakterizasyonunda, reaktörlerde ortalama 6-7 g/L MLSS konsantrasyonlarının olacağı tahmin edilmiştir. İşletim süresince, Reaktör-1'de ortalama MLSS konsantrasyonu 6150 mg/L, Reaktör-2'deki ortalama MLSS konsantrasyonu ise 5740 mg/L civarında olmuştur (Şekil 4.5). Reaktör-2'de 11 ve 15. Günler arasında, besleme pompası rölesinin takılı

kalması sebebiyle, reaktörden bir miktar taşma olmuş ve MLSS konsantrasyonunda %10 kadar düşüş olmuştur. Ancak sonrasındaki 4 gün çamur atılmamış ve reaktörde kısa sürede beklenen konsantrasyon seviyesine ulaşılmıştır. MLSS konsantrasyonundaki bu değişimin, oksijen konsantrasyonunu etkilememesi için, hava debimetreleri manuel olarak da yakından takip edilmiş ve hedeflenen ÇO set değerleri korunmuştur.



Şekil 4.5 İşletim süresince MBR reaktörlerindeki MLSS konsantrasyonları

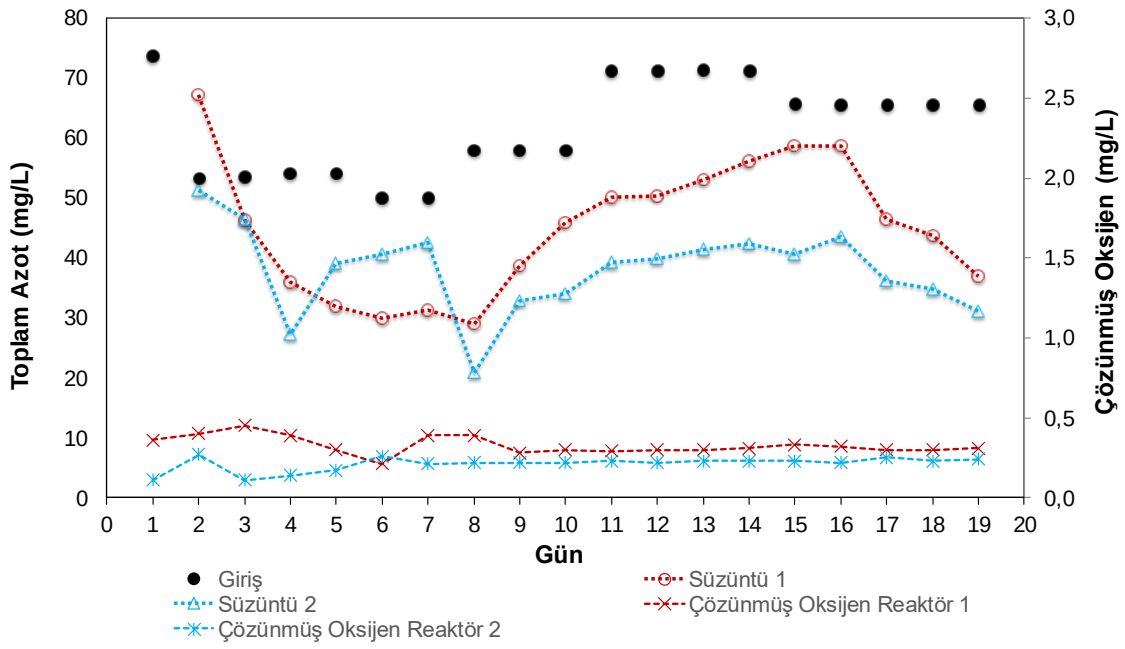
İşletim süresince reaktörlerdeki KOİ konsantrasyonları Şekil 4.6'da verilmiştir. MBR sistemlerinde beklendiği üzere, KOİ giderim verimi atıksu karakterinden bağımsız olarak her iki reaktörde de yüksek seviyelerde tespit edilmiştir. Reaktör-1 ve Reaktör-2 için ortalama KOİ giderim verimleri sırasıyla %96 ve %97'dir.



Şekil 4.6 İşletim süresince MBR reaktörlerindeki KOİ konsantrasyonları

Düşük oksijen konsantrasyonlarında işletmenin amacı, (i) havalandırma azaltılarak enerji tasarrufu, (ii) SND: eş zamanlı nütrient giderimi (düşük C/N oranlarında konvansiyonel BNR sistemlerine kıyasla daha yüksek verimlere ulaşmak mümkün olabilmektedir). SND prosesinin avantajları ve konvansiyonel BNR sistemlerine kıyasla üstünlükleri Bölüm 3.2'de detaylı olarak anlatılmıştır. Aklimasyon süresinden sonraki, yaklaşık 3 haftalık işletim süresince, MBR reaktörlerinde Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) giriş ve çıkış konsantrasyonları Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Giriş atıksu TKN konsantrasyonu işletim süresince ortalama 62 mg/L olarak tespit edilmiştir. MBR arıtılmış sularında ise, ilk 8 gün TN konsantrasyonlarında dalgalanmalar olsa da, 8. Günden sonra Reaktör-2'deki çıkış TN konsantrasyonu Reaktör-1 çıkık TN konsantrasyonuna göre daha düşük seviyelerde kalmıştır. 16-19.günler arası çıkış TN konsantrasyonlarında bir miktar azalma gözlenmiştir. Bu durumun atıksu karakterizasyonundaki değişimlerden olabileceği düşünülmektedir. Reaktörlerdeki TN giderim verimleri ve ÇO konsantrasyonları irdelendiğinde, 0,2 mg/L ÇO konsantrasyonuna sahip Reaktör-2'de ortalama TN giderim verimi %38 iken, Reaktör-1'de %28 olarak gerçekleşmiştir. Ortalama olarak, 0,2 mg/L ÇO seviyesinde TN giderim verimi daha yüksek olmuştur. İşletme süresince maksimum

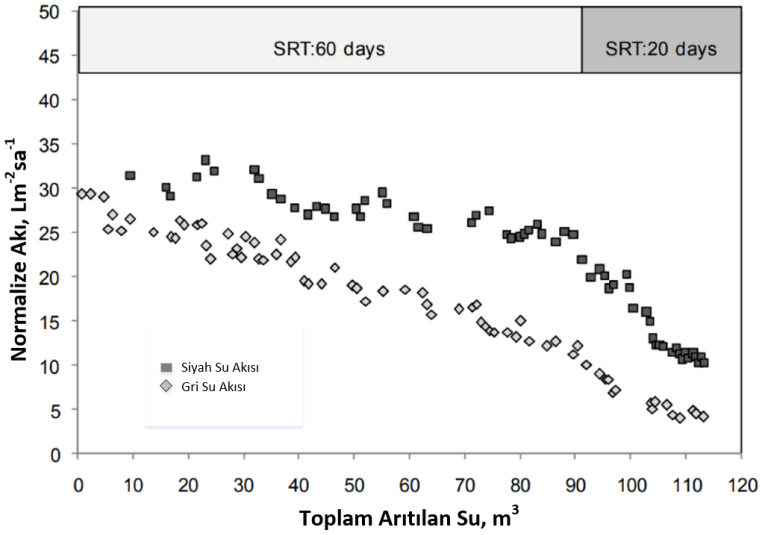
giderim verimleri Reaktör-1'de % 45 seviyesinde olurken, Reaktör 2'de % 58 seviyesinde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.7 İşletim süresince MBR reaktörlerindeki toplam azot-çözünmüş oksijen konsantrasyonları

Literatürde aktif çamur sistemlerinde düşük ÇO konsantrasyonlarında birçok çalışma mevcut iken, MBR ile bu konuda yapılan çalışma sayısı kısıtlı düzeydedir. Bu durumun sebebi, düşük hava debilerinde membran sıyırma etkisinin azalmasından dolayı, membran tıkanma problemlerinin artması endişesi olarak görülebilir. Fakat farklı difüzör tipleri ve farklı boyutta kabarcıklar ile yapılan havalandırma şartları altında tıkanma performanslarının izlenmesi önemli katkılar da sağlayabilir. MBR sistemlerinde havalandırma işlemi iki ana amaçla kullanılmaktadır a) tıkanma kontrolü için membran yüzeyini sıyırma b) biyolojik aktivitenin devamlılığı. Uygulanacak düşük oksijen konsantrasyonlarında MBR işletiminde, eğer beslenen atıksuyun KOİ seviyeleri düşük ise, biyolojik reaksiyon için gerekli hava, sıyırma için gerekli havadan daha az olacaktır. Bu durumda, membran tıkanma süreci daha hızlı olabilir. Buna örnek olarak, Hocaoğlu (2010) yaptığı çalışmada, siyah suyun oksijen konsantrasyonlarında MBR ile arıtılabilirliğini araştırmıştır. 60 gün ve 20 gün çamur yaşlarında gerçekleştirilen işletme süresince membranların tıkanma performansları izlenmiştir. 60 gün çamur yaşında, 0,15 mg/L ÇO konsantrasyonundan, 0,3 mg/L ÇO oksijen konsantrasyonuna geçişte havalandırma hızı

arttırılmış, ancak bu durumun akı üstünde belirgin bir etkisi olmamıştır. Siyah su ile beslenen MBR'da, 20 gün çamur yaşında işletime başlandığında ÇO konsantrasyonu 0,15 mg/L seviyelerinde tutulmuş ve bu noktadan itibaren, akıdaki düşüş hızının arttığı raporlanmıştır. Akıdaki bu düşüş, reaktöre verilen hava miktarındaki azalmaya bağlı olarak, membran yüzeyindeki sıyırma etkisinin düşmesi ile açıklanmıştır. Ayrıca, başlangıç akıları aynı olmasına karşın, siyah ve gri suda işletilen iki MBR sisteminde membran tıkanması, yani akının azalması farklı trendler izlemiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 MBR'da siyah ve gri suda akının zamanla değişimi (tıkanma trendleri) (Hocaoğlu, 2010)

Proje kapsamında, MBR reaktörlerinde farklı ÇO konsantrasyonlarında gerçekleştirilen bu ön çalışma, fikir vermesi açısından önemli sayılabilir. Ancak literatürde, düşük seviyelerde ÇO konsantrasyonlarında besin maddesi giderim veriminin başlangıçta oldukça düşük seviyelerde olduğu, en az 6 ay kadar uzun süreli işletme sonunda, özellikle nitrifikasyon veriminin ciddi şekilde arttığı çeşitli çalışmalarda raporlanmıştır. Uzun dönemli düşük ÇO şartlarında, konvansiyonel nitrifikasyon prosesi sürecinin haricinde, nitrit oksitleyen bakteriler amonyum oksitleyen bakterilere göre daha fazla rekabet üstünlüğü kazanmakta ve bunun sonucu olarak da, hem amonyum oksitleyen bakterilerin, hem de nitrit oksitleyen bakterilerin aktif çamurda zenginleştiği ifade edilmektedir (Liu ve Wang, 2013). Zaman içinde artan nitrifikasyon verimi; düşük ÇO konsantrasyonlarında yaşayabilen ve yüksek verimde nitrifikasyon yapabilen ototrof türlerinin ve/veya çeşitli kısa metabolik yolları kullanabilen farklı ototrof türlerinin gelişerek, reaktörde zenginleşmesi ve buna bağlı olarak, gözlenen net nitrifikasyon veriminin artması ile açıklanabilir. Nitekim, düşük ÇO

konsantrasyonlarında ilaç gideriminin araştırıldığı ve 2016 yılında yapılan bir doktora çalışmasında, düşük ÇO konsantrasyonlarında işletilen sistemdeki mikroorganizma çeşitliliğinin, tipik konsantrasyonlarda işletilen konvansiyonel bir aktif çamur sistemine kıyasla arttığı gösterilmiş ve bu çeşitlilik sayesinde incelenen ilaç kalıntılarının net giderim veriminde, beklenenin aksine bir düşüş olmadığı gösterilmiştir (Stadler vd., 2016). Bu nedenle, bu tip bir uygulamanın uzun dönemli olarak pilot veya gerçek ölçekli bir aktif çamur sisteminde izlenmesi uygun bir yöntem olarak ön plana çıkmaktadır.

Sistemin performansını etkileyen bir diğer unsur ise Çamur Yaşı (SRT) parametresidir. Literatürde aktif çamur sistemlerinde farklı SRT'lerde düşük ÇO şartlarında çalışmalara sıkça rastlanmaktadır. Fakat MBR ile ilgili bu konuda daha az çalışma yapılmıştır. Hocaoğlu ve arkadaşlarının (2011) siyah suların arıtılması üzerinde MBR'da SND ile yaptıkları çalışmada, 0,1-0,2 mg/L ÇO konsantrasyonlarında 20 gün çamur yaşında ayrı bir anoksik tank olmaksızın azot giderim performansları değerlendirilmiştir. Çamur yaşı 60 gün olan işletimle karşılaştırıldığında, flok boyutu dağılımı, görünür viskozite ve azot giderim verimleri önemli ölçüde farklı çıkmıştır. 20 gün çamur yaşında KOİ, toplam azot, amonyum oksidasyonu ve denitrifikasyon verimleri sırasıyla %96, %49,%40 ve %99, 60 gün çamur yaşında %97, %73, %68, %97 olarak gerçekleşmiştir (Hocaoğlu vd., 2011b). Dolayısıyla toplam azot giderim verimi ve amonyum oksidasyonu 60 gün çamur yaşında daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir. Proje kapsamında gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli MBR çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar, literatürde MBR ile yapılan çalışma sonuçları ile Tablo 4.3'te karşılaştırılmıştır. Diğer çalışmalarla kıyaslandığında KOİ giderim verimleri tüm oksijen konsantrasyonlarında yakın seviyelerde gerçekleşmiştir. Bu çalışma kapsamında 0,33-0,4 mg/L ÇO seviyelerinde TN giderim verimi %28 civarında iken, 0,21-0,25 mg/L ÇO seviyelerinde %38 olarak gerçekleşmiştir. Literatür ve bu çalışma sonuçları göz önüne alındığında ÇO konsantrasyonu yükseldikçe, TN giderim verimleri düşüş göstermiştir. En yüksek TN giderim verimleri ise 0,15-0,2 mg/L ÇO konsantrasyonlarında elde edilmiştir. Elde edilen diğer bir sonuç ise oksijen konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak amonyum oksidasyonunun da artış göstermesi ve çıkış suyunda konsantrasyonlarının azalmasıdır. Bu çalışma kapsamında 0,3-0,4 mg/L ÇO seviyelerinde %94 amonyum oksidasyonu elde edilmiştir. Literatürde ise bu değere ulaşan en yakın ÇO konsantrasyonları 0,3-0,5 mg/L olarak tespit edilmiştir. Denitrifikasyon

verimlerinde ise düşük oksijen konsantrasyonlarında, denitrifikasyon veriminin artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.3 Sonuçların literatür çerçevesinde karşılaştırılması

Parametre								
Reaktör		Bu Çalışmada		Hocaoğlu vd., 2011a			Hocaoğlu vd., 2011b	
	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	0,33-0,40	0,21-0,25	0,15-0,2	0,3-0,35	0,5-0,55	0,1-0,2	0,15-0,2
	MLSS (mg/L)	6150	5724	11150	12000	11840	6260	6260
	Sıcaklık (ºC)	25±1	26±1	20-24	20-23	18-22	18-20	20-24
	SRT (gün)	40		60	60	60	20	60
Giriş Suyu (mg/L)								
	KOİ	409		865	750	770	930	865
	TKN	60		168	158	154	169	168
	AKM	142		-	-	-	-	-
	Toplam Fosfor (TP)	7,9		-	-	-	-	-
Çıkış Suyu (mg/L)								
	KOİ	15	13	29	22	20	33	29
	TN	45	38	45,1	46,6	98,1	86,4	45
	NH_4-N	2,5	21	40	26	24,4	84	40
	NO_3-N	42	17	3,3	19	72	0,5	3,3
	NO_2-N	0,3	0,6	0,6	0,3	0,1	0,2	0,6
	AKM	<1	<1	-	-	-	-	-
	Toplam Fosfor (TP)	5,9	5,2	-	-	-	-	-
Giderim Verimi (%)								
	KOİ	96	97	96,7	97,1	97,4	96	97
	Toplam Azot (TN)	28	38	73	70	36	49	73
	Amonyum Oksidasyonu	94	53	68	76	77	40	68
	Denitrifikasyon	26	58	97	84	37	99	97

Hem bu çalışma kapsamında yapılan MBR ile arıtılabilirlik çalışmaları sonucunda hem de literatür değerlendirmeleri sonucunda aşağıdaki çıktılar elde edilmiştir.

- MBR sistemleri düşük oksijen konsantrasyonlarında işletildiğinde dahi yüksek KOİ giderim verimleri sağlamaktadır.
- MBR'da ÇO konsantrasyonu arttıkça TN giderim verimi düşüş göstermektedir. Ortalama 0,1-0,2 mg/L ÇO seviyelerinde TN giderim verimi %70'lere ulaşmaktadır.
- ÇO konsantrasyonuna bakmaksızın, her iki reaktörde de AKM giderim verimi %99 seviyelerindedir.
- 0,33-0,4 mg/L ÇO seviyelerinde TP giderimi %26, 0,21-0,25 mg/L ÇO seviyelerinde ise TP giderimi %34 seviyelerinde gerçekleşmiştir. Literatürde yapılan bir çalışmada ise bu çalışmaya benzer olarak 0,33 mg/L ÇO seviyesinde %15 TP giderimi sağlanmıştır. En yüksek fosfor giderimleri 0,4-0,6 mg/L ÇO seviyelerinde tespit edilmiştir (Ju vd., 2007). Düşük ÇO seviyelerinde TP giderimi üzerinde çalışılmaya devam edilen konulardan bir tanesidir.
- MBR'da ÇO konsantrasyonu arttıkça amonyum oksidasyonu verimi de artmaktadır. Fakat denitrifikasyon verimi azalmaktadır. Düşük ÇO şartlarında denitrifikasyon verimleri artış göstermektedir.
- Düşük ÇO şartlarında, havalandırmanın azalması ve havanın membran yüzeyini sıyırmada yetersiz kalması, akı azalması yani tıkanma trendlerini ortaya çıkarmaktadır. Bu durum membran sistemlerin en büyük dezavantajlarından biri olan tıkanma problemine yol açmaktadır.
- Düşük ÇO şartlarında çalıştırılacak MBR sistemleri için tıkanmayı azaltacak farklı arıtma konfigürasyonları araştırılmalıdır.
- Reaktörlerde düşük ve stabil ÇO şartlarını sağlayabilmek için, havalandırma ve ÇO kontrol ekipmanlarının (sensörler, vanalar vb.) düşük ÇO şartlarında çalışmaya uygun olması gerekmektedir.

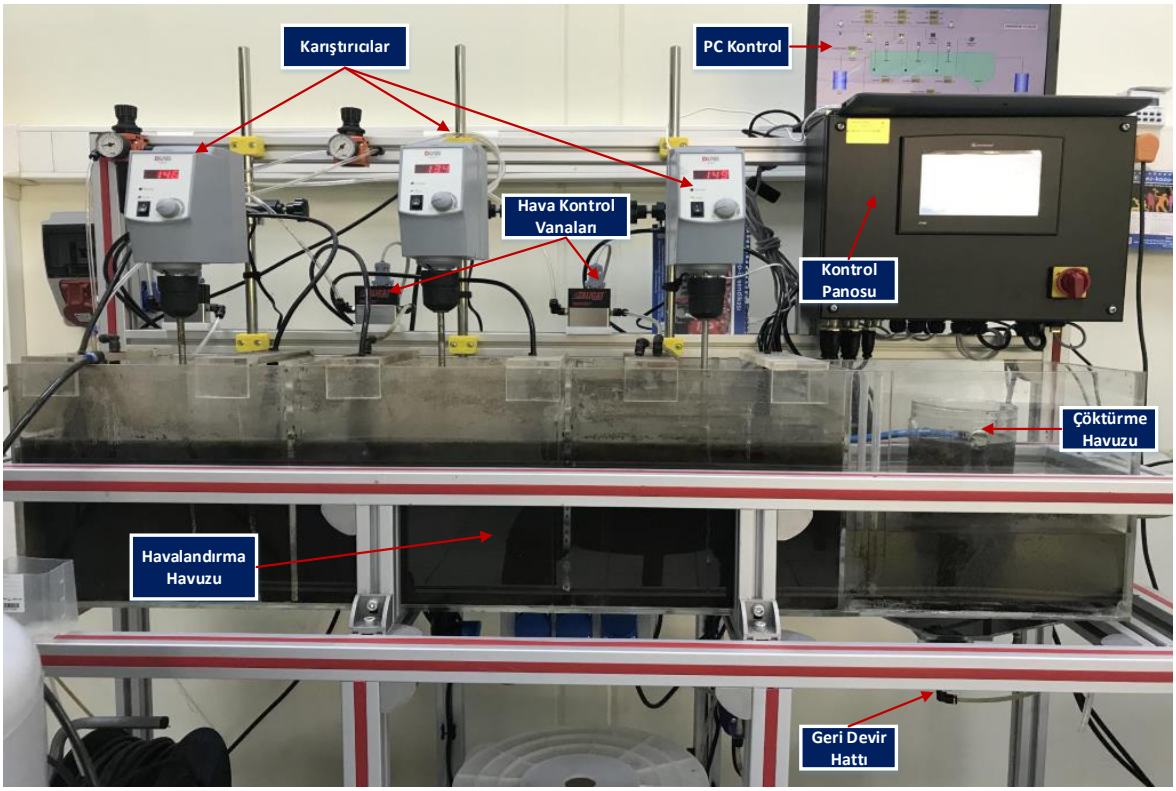
4.2 Aktif Çamur Sistemi İle Düşük Oksijen Konsantrasyonlarında Eş Zamanlı Nütrient Giderimi

Proje kapsamında gerçekleştirilecek uygulamalardan birisi de aktif çamur sisteminde düşük ÇO şartlarında eş zamanlı nütrient giderim performansının değerlendirilmesidir. Bu kapsamda, sistemin dizaynı ve ekipman seçimi aşamasında MBR uygulamasında elde edilen tecrübe ve karşılaşılan işletme sorunları dikkate alınmıştır. Tasarlanan aktif çamur sistemi, üç bölmeli bir havalandırma ve bir son çöktürme tankından oluşmaktadır. Havalandırma havuzu, reaktör içinde farklı ÇO konsantrasyonlarında çalışabilmeye esneklik sağlaması açısından perdelerle geçişin sağlandığı, 3 bölmeli bir tank olarak tasarlanmıştır, bölmeler modülerdir ve çıkartılarak reaktör tek parça piston akım reaktör gibi de kullanılabilmektedir. Her bir bölmede ÇO probu, pH probu ve sıcaklık sensörü bulunmaktadır. Oksijen probları Hava Debisi Kontrol Cihazlarına (Mass Flow Controller, MFC) bağlıdır. Bu sayede bölmelerde ayarlanmak istenen oksijen seviyelerine göre, MFC sistemleri havayı azaltacak veya yükseltecektir. MBR çalışmalarında elde edilen tecrübe ile hava pompası yerine, hava debisinin birkaç kademede düşürülerek ayarlanabildiği bir sistem dizayn edilmiştir. Aşı çamuru Gebze Atıksu arıtma tesisinden temin edilmiş, reaktör aklimasyon için yaklaşık 1.5 ay düşük oksijen konsantrasyonlarında işletilmiş, daha sonra üç farklı oksijen konsantrasyonu seviyesinde nütrient giderim performansları değerlendirilmiştir. Aktif çamur sisteminin işletme koşulları Tablo 4.4'te verilmiştir. Ayrıca sistemin devreye alınmasından sonraki durumunu gösteren resim ve sistem elemanları Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

Tablo 4.4 Aktif çamur reaktörü için işletim şartları

	Reaktör-1
Hedeflenen ÇO Konsantrasyonu (mg/L)	0,3-0,5 aralığı
Reaktör Hacmi (L)	36
HRT (saat)	18
SRT (gün)	15
Günlük Beslenecek Su Miktarı (L)	50
Ön görülen MLSS seviyesi (g/L)*	~3
Uygulanan işletim modu	Sürekli akışlı işletme

***** seçilen işletme koşulu ve ortalama 500 mg/L atıksu KOİ'si için reaktörde ön görülen MLSS konsantrasyonu



Şekil 4.9 Laboratuvar ölçekli aktif çamur sisteminin işletmeye alındıktan sonraki görünümü ve sistem elemanları

4.2.1 Materyal ve Yöntem

4.2.1.1 Analiz Parametreleri

Çalışma kapsamında giriş, çıkış numuneleri ve reaktörde ölçümleri yapılmış konvansiyonel analiz parametreleri ve ölçüm metotları Bölüm 4.1.1.1'de detaylı olarak verilmiştir.

4.2.1.2 Numune alma ve deney planı

Sistemin besleme atıksuları, haftanın her çalışma günü, TÜBİTAK MAM lojmanlarının atıksularının toplandığı rögar hattının toplandığı atıksu deposundan alınmıştır. Alınan numunelerin depoda beklememiş olmasına ve atıksuyun sürekli akış halinde olmasına dikkat edilmiştir.

4.2.1.3 Aktif Çamur (AÇ) Sistemi İşletim şartları

Çalışmanın amacı dikkate alınarak, AÇ reaktörlerinde tipik işletim koşulları ve hedeflenen ÇO konsantrasyonları dikkate alınarak işletim şartları seçilmiştir (Tablo 4.5). 18 saat hidrolik kalış süresi için reaktöre günlük yaklaşık 50 Litre atıksu beslenmiştir. Çamur yaşı laboratuvardaki ortam sıcaklığı da dikkate alınarak 15 gün olarak seçilmiş, reaktörden günlük 2,4 L çamur (karışık biyokütle) atılmıştır. Stokiometrik tasarım hesaplamaları dikkate alındığında reaktörde katı madde konsantrasyonunun 3 g/L seviyelerinde olacağı ön görülmüştür. Reaktörler, ÇO konsantrasyonuna göre 3 farklı fazda işletilmiştir. Aklimasyon sürecinin tamamlanmasının ardından Faz-1'de 0,5 mg/L ÇO değeri ayarlanmıştır. Faz-2'de 0,4 mg/L ve Faz-3'te 0,3 mg/L ÇO seviyesinde sistem performansı ile ilgili veriler toplanmıştır. Her 3 fazda da, reaktör hacmi ve çamur yaşı aynı kalmıştır. Reaktörde ÇO konsantrasyonlarının ayarlanan değerlerde sabit tutulabilmesi için kullanılan yazılım geliştirilmiş ve performansları test edilmiştir.

Tablo 4.5 Aktif çamur reaktörü için işletim şartları

	Faz-1	**Faz-2**	**Faz-3**
Hedeflenen ÇO Konsantrasyonu (mg/L)	0,5	0,4	0,3
İşletim Süresi (gün)	42	30	25
Reaktör Hacmi (L)	36		
HRT (saat)	18		
SRT (gün)	15		

İşletim süresince, Faz-1, Faz-2 ve Faz-3'te reaktörde ayarlanan çözünmüş oksijen seviyeleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Faz-1'in başlangıcında 0,5 mg/L olarak ayarlanan ÇO değeri ilk 25 gün süresince salınımlar gösterse de, 42 gün süresince ortalama 0,48 mg/L seviyelerinde kalmıştır. Faz-1'in başlangıç döneminde karşılaşılan salınımların sebeplerini;

- Okunan ÇO değerine karşılık hava debisini ayarlanmasındaki güçlük, hava debisindeki artışın ÇO oksijen konsantrasyonuna etki süresinin değişken oluşu,
- MFC'nin havayı oransal verirken, artış ve azalmaların çok hızlı olması,
- KOİ seviyelerindeki salınımlardan dolayı oluşturulan yazılımın ÇO-MFC arasındaki adaptasyonunu geç sağlaması,

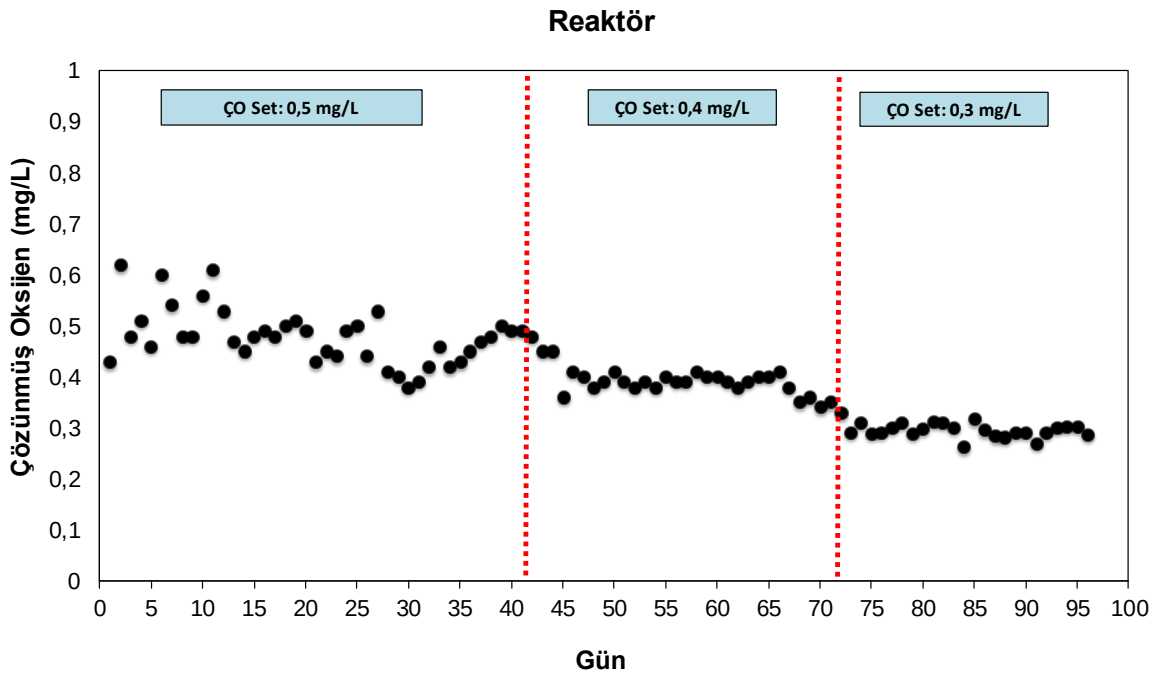
- Kontrolü sağlayan 3 farklı ÇO probunun ve 3 farklı difüzör hattının reaktör içerisinde birbirini etkilemesi,

gibi sorunlar oluşturmuştur. Bu sürede, bu salınımların azaltılması ve düzeltilmesi için yazılımın geliştirilmesi konusunda çalışmalar devam etmiştir. Faz-1'in sonuna doğru yazılımda yeni bir değişiklik yapılarak Proportional Integral Derivative Controller (PID controller), yani Oransal-İntegral-Türevsel denetleyici kontrol döngüsü yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, reaktör içerisinde okunan ÇO değerinin hassas bir şekilde ayarlanması ve vananın ilk açılması anında gerçekleşen ani yükselmelerin önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Özetle, PLC içerisindeki denklem ve kontrol dizisi ile oransal vananın açılıp kontrol edilmesi işlemine PID denilmektedir. Son yıllarda aktif çamur sistemlerinde PID yazılım ve farklı kombinasyonları, ÇO konsantrasyonu kontrolünde kullanılmıştır. Du ve arkadaşları (2017) yaptıkları çalışmada PID'yi farklı algoritmalarla entegre ederek ÇO konsantrasyonlarını daha stabil tutabilmişlerdir. Bu sayede AAT'lerde havalandırma kaynaklı enerji maliyetlerinin azaltılabileceği ifade edilmiştir (Du vd., 2018). Yine PID yazılım kullanılan farklı bir çalışmada, AAT'lerde enerji tasarrufu ve azot gideriminde önemli gelişmeler sağlanabileceği ifade edilmiştir (Wahab vd., 2009).

4.2.2 Arıtılabilirlik Çalışması Sonuçları

Faz-1'in son dönemlerinden itibaren PID yazılımın kullanılması ile ayarlanan ÇO değerleri daha stabil olarak sağlanabilmiştir. Fakat PID yazılımda reaktör içerisindeki değişkenlerin belli ölçülerde salınması (dışarıdan getirilen atıksuyun sıcaklığının reaktördeki su sıcaklığından farklı olması ve sıcaklığın salınması, KOİ konsantrasyonundaki değişimler gibi), kontrol dizisini etkileyebilmekte ve MFC'lerin verdiği hava oranının kontrolünü bozabilmektedir. Bu tür durumlarda yine ani salınımlar gözlenmektedir. Ani salınımların azaltılması için ise PID üstünde tekrar otomatik ayar işlemi (auto-tune) yapılması gerekmiştir.

İşletme süresince, Faz-1, Faz-2 ve Faz-3'te reaktör 'deki ortalama ÇO konsantrasyonları sırası ile 0,48 mg/L, 0,39 mg/L ve 0,29 mg/L olarak gerçekleşmiştir.

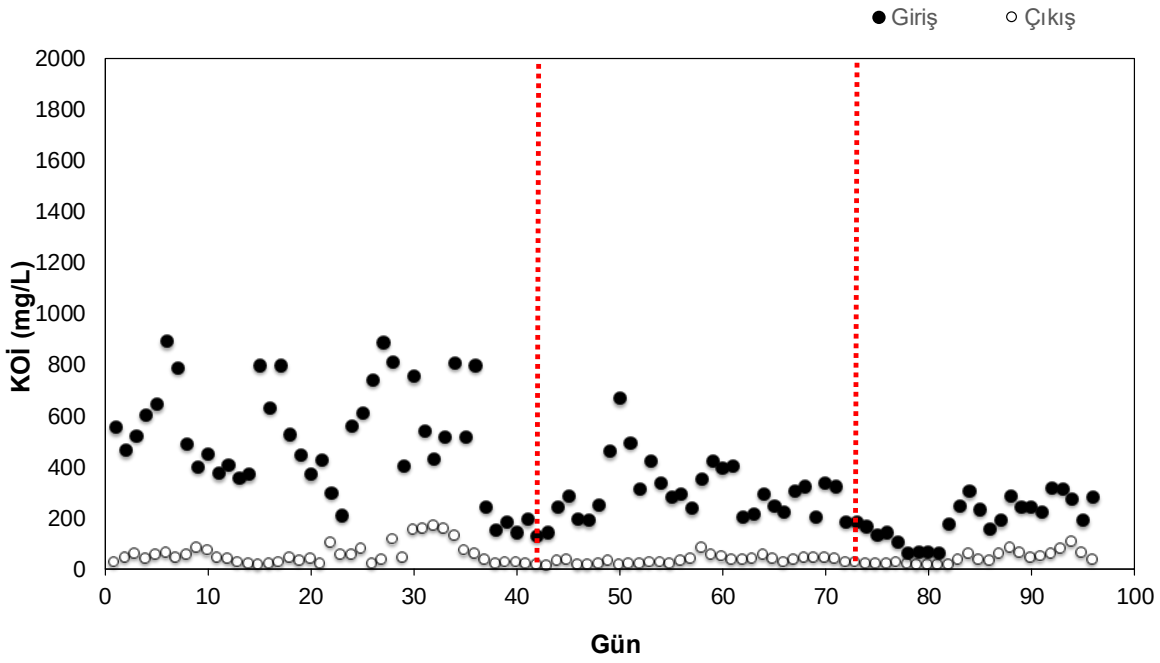


Şekil 4.10 İşletim süresince AÇ reaktöründeki çözünmüş oksijen konsantrasyonları

AÇ reaktörünün işletimine başlanırken, kentsel atıksuların tipik karakterizasyonları dikkate alınarak reaktörlerde ortalama 3 g/L MLSS konsantrasyonlarının olacağı tahmin edilmiştir. Reaktörün işletilmesi süresince, yağışlara da bağlı olarak atıksu KOİ değeri ortalama 380 mg/L seviyesinde kalmış, bu nedenle reaktördeki MLSS konsantrasyonu ortalama 2,8 g/L civarında seyretmiştir (Şekil 4.10).

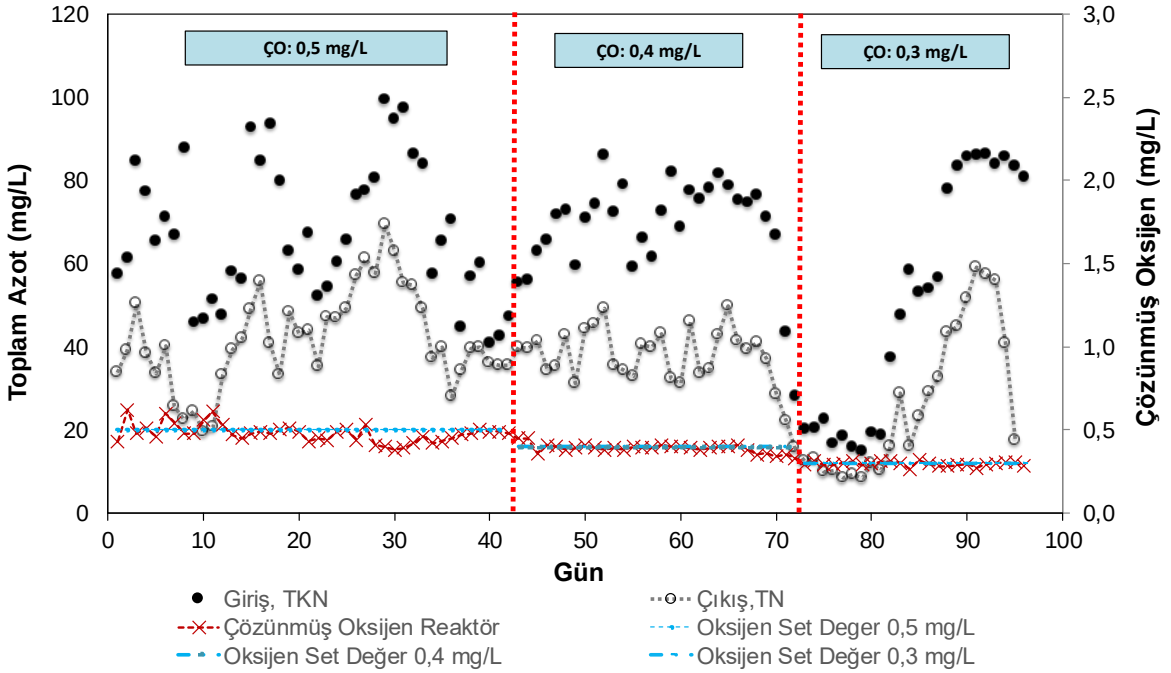
Reaktördeki düşük MLSS konsantrasyonları, reaktör içinde daha az viskoz ortam oluşturmuş, bu sebeple de oksijen transferi hızlı gerçekleşmiştir. Böylece ortamda anoksik bölgelerin oluşması güçleşmiş ve tüm işletim sürecini etkilemiştir.

İşletme süresince reaktördeki KOİ konsantrasyonlarının değişimi Şekil 4.11'de verilmiştir. 3 farklı fazda İşletim süresince, KOİ giderim verimi, atıksu karakterinden bağımsız olarak her iki reaktörde de yüksek seviyelerde olmuştur. Faz-1, Faz-2 ve Faz-3 için ortalama KOİ giderim verimleri sırasıyla %89, %89 ve %81'dir. Özellikle Faz-3'ün başlangıcından sonra yoğun yağışlar dolayısıyla giriş suyunda seyrelme olmuş ve atıksuyun KOİ konsantrasyonu oldukça düşük seviyelere inmiştir.



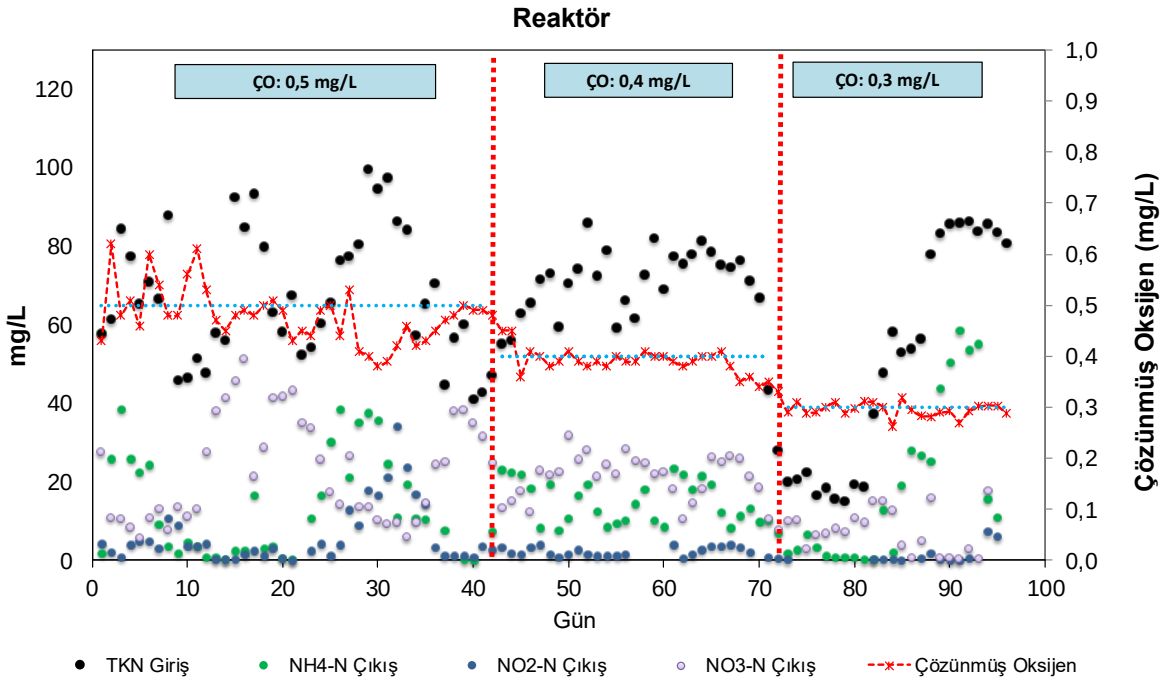
Şekil 4.11 İşletim süresince AÇ reaktöründeki KOİ konsantrasyonları

Faz-1, Faz-2 ve Faz-3 süresince, AÇ reaktöründeki Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) giriş, TN çıkış ve ÇO konsantrasyonları Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Giriş atıksu TKN konsantrasyonu Faz-1, Faz-2 ve Faz-3'de sırasıyla ortalama 67 mg/L, 69 mg/L ve 37 mg/L olarak tespit edilmiştir. Faz-3'de gerçekleşen azalma, giriş atıksuyunun yağmur suları ile seyrelmesinden kaynaklanmaktadır. Faz-1'in başlangıcında ÇO oksijen konsantrasyonundaki küçük salınımlara ve genelinde atıksu karakterizasyonundaki dalgalanmalara bağlı olarak, çıkış TN değerinde de salınım gözlemlenmiştir. Faz-2'de bu salınımlar daha az olmuştur. Faz-3'te ise giriş atıksuyundaki seyrelemelere bağlı olarak çıkış TN konsantrasyonları düşüş göstermiştir. Faz-3'ün ortasından itibaren giriş TKN değerlerinin yükselmesi ile çıkış TN değeri de artış göstermiş ve bu dönemde aktif çamurun çökelme özelliğinde de bir miktar bozulma olmuş, flok kaçakları gözlenmiş ve atıksu karakterizasyonundaki ani ve yüksek değişikliklere karşı sistem performansı etkilenmiş, flok kaçaklarının da etkisiyle TN çıkış konsantrasyonları ortalama 40 mg/L seviyelerinde seyretmiştir.

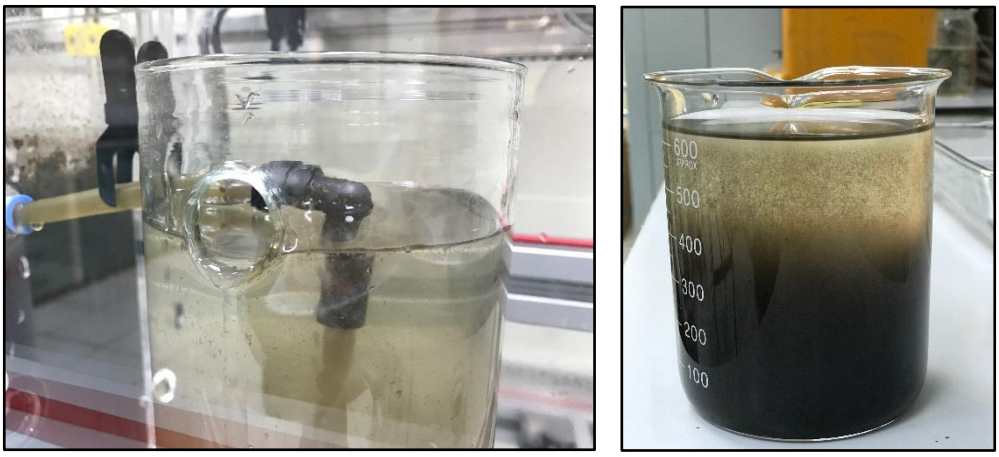


Şekil 4.12 İşletim süresince AÇ reaktöründeki toplam azot-çözünmüş oksijen konsantrasyonları

Şekil 4.12'ye ek olarak, Faz-1, Faz-2 ve Faz-3 süresince, AÇ reaktöründeki TKN giriş, NH_4-N çıkış, NO_2-N çıkış ve NO_3-N çıkış konsantrasyonları ile ÇO konsantrasyonları Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Faz-1'in ortalarında NH_4-N konsantrasyonları düşük seviyelere inerken, NO_3-N konsantrasyonlarının yükseldiği dikkat çekmektedir. Bu durum sistemde nitrifikasyonun yüksek verimlerde gerçekleştiğini ve denitrifikasyonun ise tam gerçekleşmediğini göstermektedir. Faz-2'de ise NH_4-N ve NO_3-N çıkış konsantrasyonları birbirine daha yakın seviyelere gelmiştir. Bu aşamada nitrifikasyon ve denitrifikasyon verimlerinin birbirine yakın olduğunu söylemek mümkündür. Faz-3'te, ilk dönemlerde karşılaşılan besleme suyunun yağmur suları ile seyrelmesi sonucu giriş ve çıkış suyundaki azotlu bileşiklerin konsantrasyonları da düşüş göstermiştir. 90. Gün civarında yoğun yağışlarla birlikte atıksu karakterizasyonundaki ani ve büyük değişim sonrasında sistemin performansı olumsuz etkilenmiş ve son çöktürme tankında çökelme problemleri gözlenmiştir. Sistemin normal koşullarda çöktürme tankından savaklanan su ile çamur çökelme sorunu yaşanan suyun durumu Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Sistem performansının toparlanması ve çökelme özelliklerinin daha önceki seviyelere ulaşması 1 hafta kadar sürmüştür.



Şekil 4.13 İşletim süresince AÇ reaktöründeki azotlu bileşikler ve çözünmüş oksijen konsantrasyonları



Şekil 4.14 Aktif çamur son çöktürme tankından normal koşullarda savaklanan su (solda). Çöktürme problemi yaşanan ve son çöktürme havuzundan savaklanan su örneği (sağda)

Proje kapsamında laboratuvar ölçekli AÇ sisteminde; düşük oksijen konsantrasyonlarında eş zamanlı nitrifikasyon ve denitrifikasyon gerçekleştirilmesi ve toplam azot giderim verimini arttırılması hedeflenmiştir. Faz-1, Faz-2 ve Faz-3 süresince nitrifikasyon ve denitrifikasyon verimlerinin hesaplanmasında kütle denkliği esasına dayanan aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır.

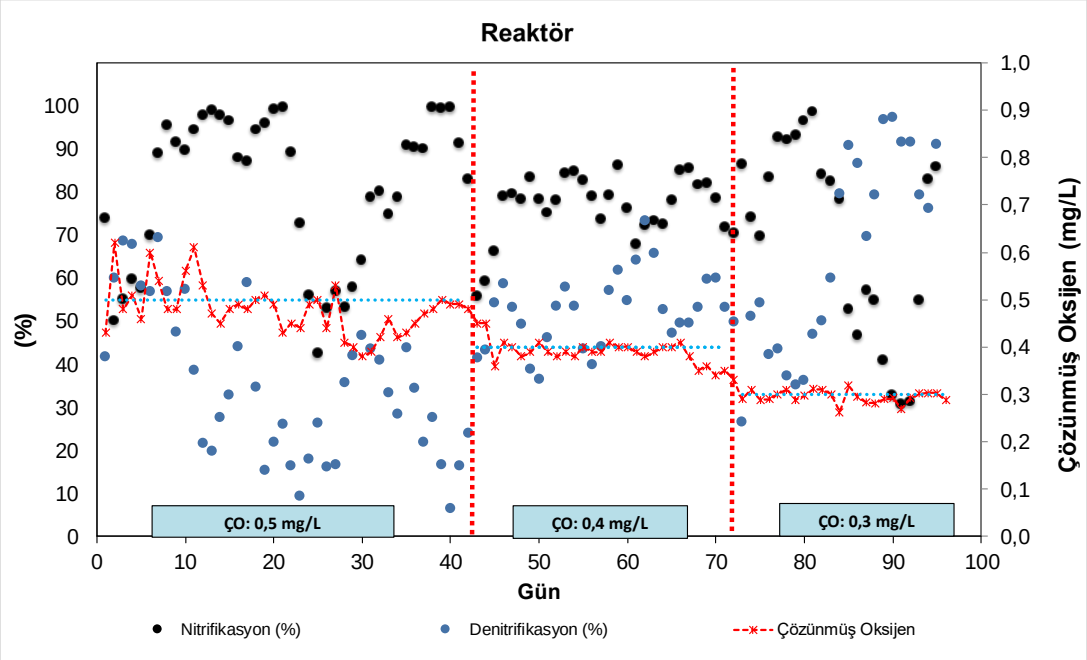
$$\text{Nitrifikasyon Verimi } (\%) = 1 - \frac{(NH_4 - N)_{çıkış}}{TKN_{giriş} - Organik\ Azot_{çıkış} - Biyokütlenin\ tükettiği\ azot} x100$$

$$\text{Denitrifikasyon Verimi } (\%) = 1 - \frac{(NO_3 - N)_{çıkış}}{TKN_{giriş} - (NH_4 - N)_{çıkış} - Organik\ Azot_{çıkış} - Biyokütlenin\ tükettiği\ azot} x100$$

Biyokütlenin kullandığı azot miktarı giriş KOİ değerine, dönüşüm oranına ve çamur yaşına bağlı olarak hesaplanmıştır. Faz-1, Faz-2 ve Faz-3 te biyokütlenin çoğalması için tüketilecek azot miktarları yaklaşık olarak sırasıyla 8, 5 ve 3 mg/L olarak hesaplanmıştır. Buna göre, 3 farklı işletme dönemine ait ulaşılan nitrifikasyon ve denitrifikasyon verimleri Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Faz-1 aşamasında, ayarlanan ÇO konsantrasyonunun nispeten daha yüksek konsantrasyonlarında olmasından dolayı, amonyum oksidasyonu yüksek oranda gerçekleşmiş ve nitrifikasyon verimleri yüksek düzeylerde seyretmiştir. Anoksik koşulların tam oluşmamasından dolayı ise denitrifikasyon verimleri daha düşük seviyelerde kalmıştır. Faz-1'de ortalama nitrifikasyon verimi %78, ortalama denitrifikasyon verimi ise %36 olarak gerçekleşmiştir.

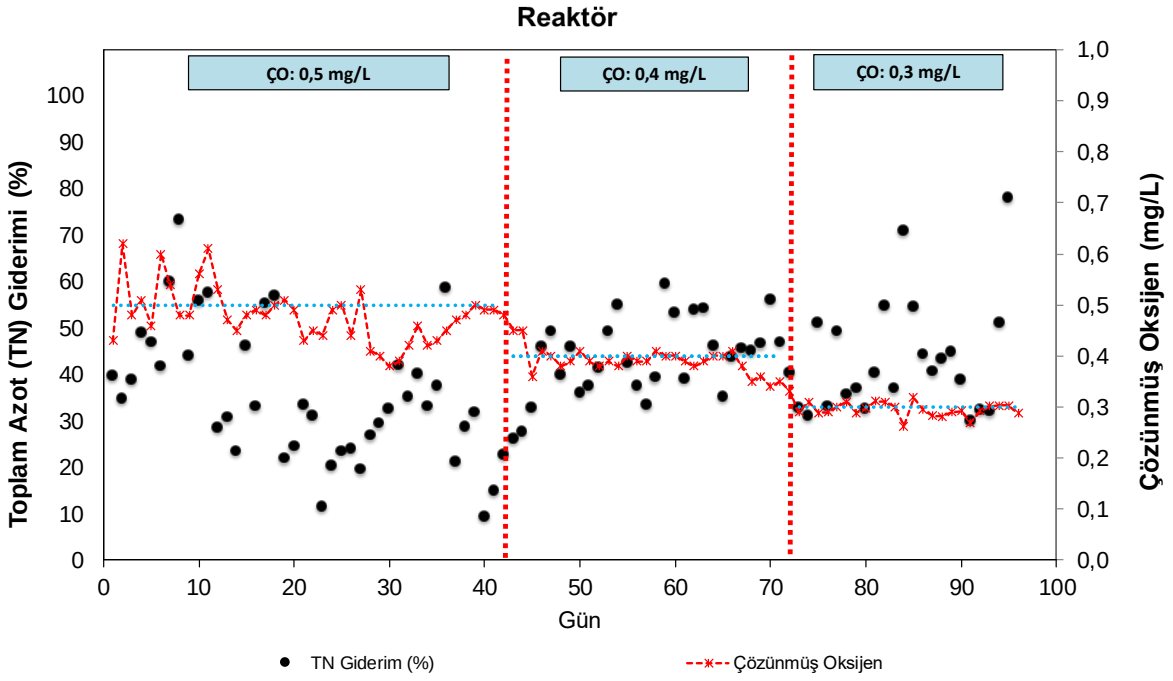
Faz-2 aşamasında, ayarlanan 0,4 mg/L ÇO konsantrasyonunda, Şekil 4.15'te görüldüğü gibi nitrifikasyon veriminde azalma, denitrifikasyon veriminde ise artış görülmektedir. Buradan, ÇO konsantrasyonunun azalması ile reaktörde anoksik koşulların oluşmaya başladığı anlaşılmaktadır. Faz-2'de ortalama nitrifikasyon verimi %78, ortalama denitrifikasyon verimi ise %55 olarak gerçekleşmiştir.

Faz-2 aşamasında ise ayarlanan 0,3 mg/L ÇO konsantrasyonunda, Şekil 4.15'te görüldüğü gibi denitrifikasyon verimi artamaya devam ederken, nitrifikasyon veriminde azalma görülmektedir. Faz-3'te ortalama nitrifikasyon verimi %59, ortalama denitrifikasyon verimi ise %70 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.15 İşletim süresince nitrifikasyon ve denitrifikasyon verimleri

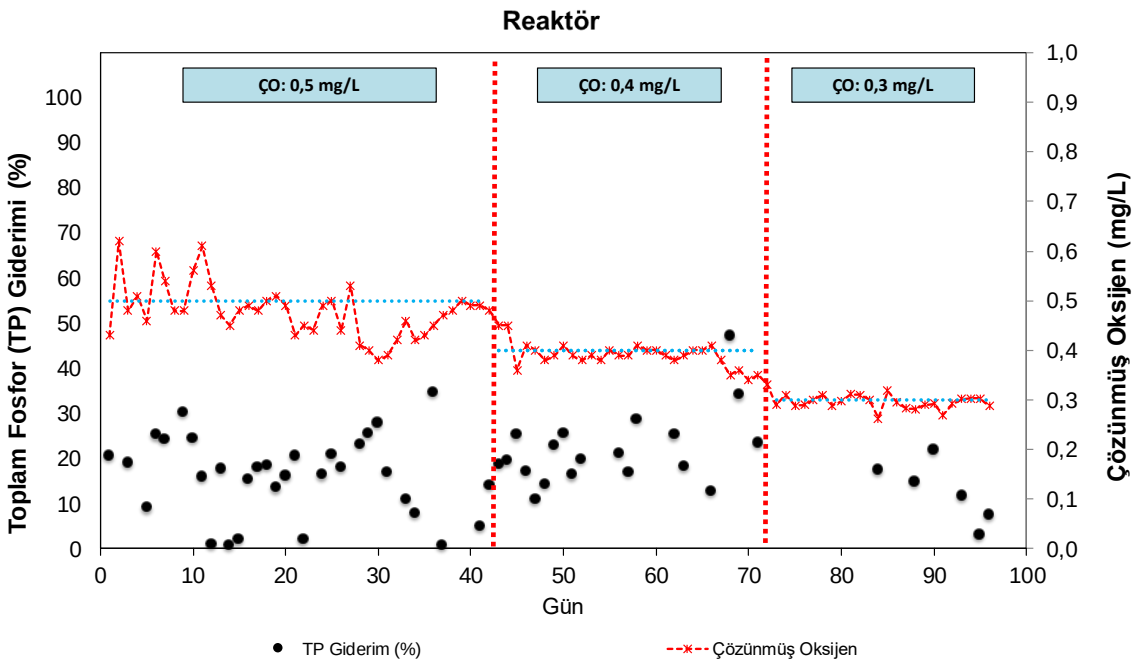
Farklı düşük ÇO konsantrasyonlarında, eş zamanlı nitrifikasyon ve denitrifikasyon ile birlikte elde edilen toplam azot giderimleri Şekil 4.16'da verilmiştir. Tüm işletme dönemi süresince, ulaşılan en yüksek TN giderim verimi %70-75 seviyelerinde olmuş ancak performanstaki salınımlar sebebiyle, işletme dönemlerine ait ortalama giderim verimleri daha düşük seviyelerde kalmıştır. Faz-1'de ÇO konsantrasyonun nispeten yüksek olmasından dolayı, amonyum oksitlenmiş fakat çıkış suyunda nitrat konsantrasyonu yüksek seviyelerde kalmıştır. Yani, nitrifikasyon verimi yüksek seviyelerde iken, denitrifikasyon verimi düşük kalmış, bu sebeple de toplam azot giderimi Faz-1 süresince ortalama %35 olarak gerçekleşmiştir. Faz-2 de ise, anoksik şartların oluşmaya başlaması ile denitrifikasyon verimi artmış ve toplam azot giderimi bu süreçte ortalama %46 olarak gerçekleşmiştir. Faz-3'te ise nitrifikasyon ve denitrifikasyon verimleri birbirine oldukça yaklaşmasına rağmen, ara dönemde yaşanan çamur çökme sorunları ve besleme suyunda yağmurdan dolayı yaşanan seyrelmelerden dolayı, sistemin dengesinde bozulma yaşanmış ve toplam azot giderimi Faz-2'ye benzer şekilde %44 seviyesinde olmuştur.



Şekil 4.16 İşletim süresince toplam azot giderim verimleri

Faz-1, Faz-2 ve Faz-3'te, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve toplam azot giderimlerinin takip edilmesinin yanı sıra toplam fosfor giderim verimleri de takip edilmiştir. Faz-1, Faz-2 ve Faz-3'te toplam fosfor giderim verimleri sırasıyla %20, %22 ve %15 olarak gerçekleşmiştir. Literatür çalışmalarında düşük ÇO konsantrasyonlarında fosfor giderim verimleri %3 ile %65 arasında değişim göstermiştir (Ju vd., 2007). Fakat Keen ve arkadaşlarının (2017) çalışmalarında 16 aylık işletme sonucunda, 0,33 mg/L ÇO konsantrasyonlarında %90'a yakın fosfor giderim performansı raporlanmıştır. Yüksek giderim verimleri atıksudaki substrat konsantrasyonu ile de çok ilintilidir. Atıksuyun substrat konsantrasyonu düştükçe denitrifikasyon ve PAO mikroorganizmalar arasındaki rekabet yüksek olmakta ve verim düşmektedir. Bu çalışmada, evsel atıksu substrat konsantrasyonu, yağış suları sebebiyle zamanın çoğunda ortalamanın biraz altında ve zayıf karakterdeki evsel atıksu karakterizasyonu daha yakın bulunmuştur. Konvansiyonel BNR sistemlerinde denitrifikasyon verimini etkileyen en önemli parametreler arasında, KOI/TKN parametresi yer almaktadır. Bu nedenle, ülkemiz atıksu arıtma tesislerinde genellikle ön çöktürme uygulamasından kaçınılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan besleme atıksuyunun KOİ/TKN oranı, kentsel atıksulara göre daha düşük seviyelerdedir. Faz-1,

Faz-2 ve Faz-3'te KOİ/TKN oranı sırasıyla ortalama 7, 5 ve 4 olarak gerçekleşmiştir. Denitrifikasyonun veriminin %70 seviyelerinde kalmasında atıksu karakterizasyonunun da etkisinin olduğu düşünülmektedir..



Şekil 4.17 İşletim süresince toplam fosfor giderim verimleri

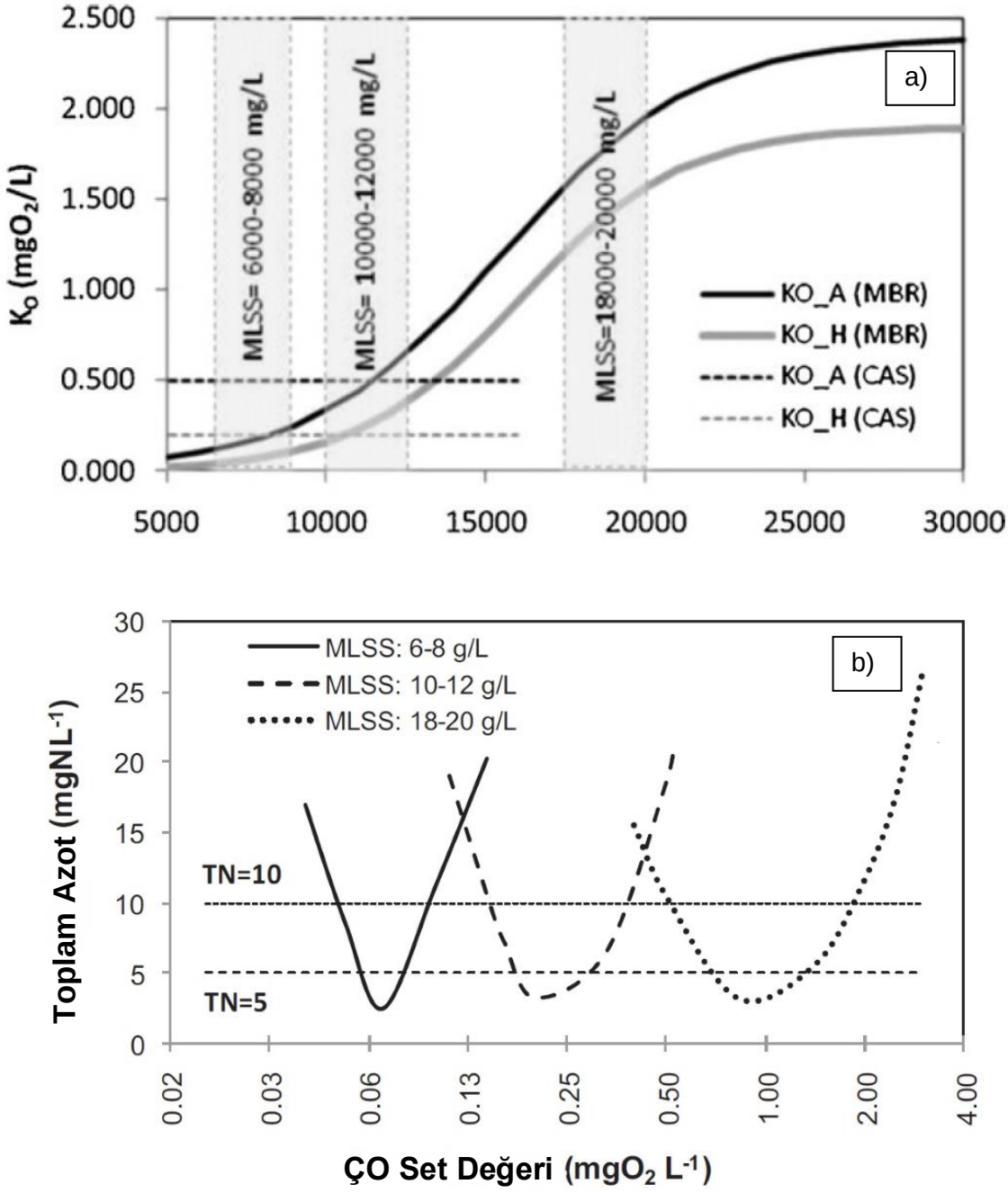
Stabil ve uzun dönemli işletim koşulları ile düşük ÇO konsantrasyonlarında fosfor giderim veriminin artabileceği ön görülebilir. Bununla birlikte, çamur yaşı arttırılarak, hem nitrifikasyon bakterilerinin zenginleşmesi, hem de denitrifikasyon için içsel solunumla açığa çıkan KOİ'nin de kullanılması sayesinde, daha yüksek seviyelerde giderim verimlerine ulaşılabilir. Çalışma süresince reaktörde, giriş-çıkış suyu suyunda analiz edilen parametre değerleri ve giderim verimleri Tablo 4.6'da özetlenmiştir.

Tablo 4.6 Laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlar- özet tablo

Reaktör				
	Çözünmüş Oksijen Set değeri (mg/L)	**0,5**	**0,4**	**0,3**
	MLSS (mg/L)	2833	2892	2631
	Sıcaklık (ºC)	20,1	21,6	24,1
	SRT (gün)	15	15	15
Giriş Suyu (mg/L)				
	KOİ	505	307	194
	TKN	68	69	51
	AKM	469	262	234
	Toplam Fosfor (TP)	6,3	7,3	4,7
Çıkış Suyu (mg/L)				
	KOİ	53	30	38
	TN	42	38	25
	NH_4-N	12	15	18
	NO_3-N	23	21	8
	NO_2-N	6,2	2,3	0,9
	AKM	63	33	132
	Toplam Fosfor (TP)	5,6	5,7	3,6
Giderim Verimi (%)				
	KOİ	89	89	81
	Toplam Azot (TN)	35	46	44
	Amonyum Oksidasyonu	78	78	59
	Denitrifikasyon	36	55	70

Bu çalışmada, mevcut atıksu arıtma tesislerinin kapasite kullanımlarına, mevcut atıksu karakterizasyonlarına, çöktürme sistemlerinin uygunluğuna vb. ait detaylı bilgi olmadığı için, işletmede daha kolay ulaşılabilecek ancak proses verimi açısından nispeten daha zorlayıcı olan, daha düşük çamur yaşı değerinde işletme gerçekleştirilmiştir. Emniyetli tarafta kalmak için 5.1'de, Metcal&Eddy 2014'te yer alan kinetik ve stokiometrik katsayılar göz önüne alınarak, karşılaştırma için çamur yaşı 25 gün olarak seçilmiştir.

Aktif çamur sistemlerinde eş zamanlı nitrifikasyon ve denitrifikasyon kinetiğini etkileyen diğer önemli bir parametre de reaktördeki MLSS konsantrasyonudur. MLSS konsantrasyonu arttıkça, viskozite artmakta ve flok içe ÇO transferi yavaşlamaktadır. Bu durum, en net şekilde yüksek konsantrasyonlarda işletilen MBR sistemlerinde görülmektedir. MLSS konsantrasyonu arttıkça, ototrof ve hetetroflar için oksijen yarı doygunluk sabiti olan KOA ve KOH parametrelerinin değerlerinin arası açılmaktadır. Bir başka ifadeyle, nitrifikasyon hızını etkileyen ÇO değeri ile denitrifikasyon hızını etkileyen ÇO değeri birbirinden uzaklaşmaktadır. Bu da SND prosesinin uygulanabileceği ÇO aralığının nispeten açılmasına ve işletmede esneklik ve stabiliteye katkı sağlamaktadır. Bunun tam tersi durumda da, yani MLSS konsantrasyonu düştükçe, flok içine ÇO transferi daha kolay gerçekleşebildiği için, KOA ve KOH değerleri birbirine yaklaşmakta ve SND için optimum aralığın daralmasına sebep olmaktadır. Bu durum, işletme esnasında performansın dalgalanmasına ve işletme esnasında karşılaşılabilecek çeşitli dalgalanmalara (örn. atıksu karakterizasyonu, sıcaklık vb.) direncin düşük olmasına ve stabilitenin güçlükle sağlanmasına neden olmaktadır. MLSS konsantrasyonuna bağlı olarak oksijen yarı doygunluk sabitlerinin ve arıtılmış sudaki TN konsantrasyonun değişimi literatürde de yer almaktadır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 ÇO oksijen değerinin a) yarı doygunluk sabiti ve b) arıtılmış toplam azot konsantrasyonuna etkisi
(Insel vd. 2011)

5 ENERJİ VERİMLİ ATIKSU ARITMA ALTERNATİFLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde enerji nötr veya enerji pozitif atıksu arıtımı için mevcut ve yeni kurulacak tesislerde uygulanabilecek alternatiflerin, enerji tüketim miktarları karşılaştırılmıştır. Bunun için, hem mevcut atıksu arıtma tesisleri, hem de yeni kurulacak sistemler için proses alternatifleri değerlendirilmiştir.

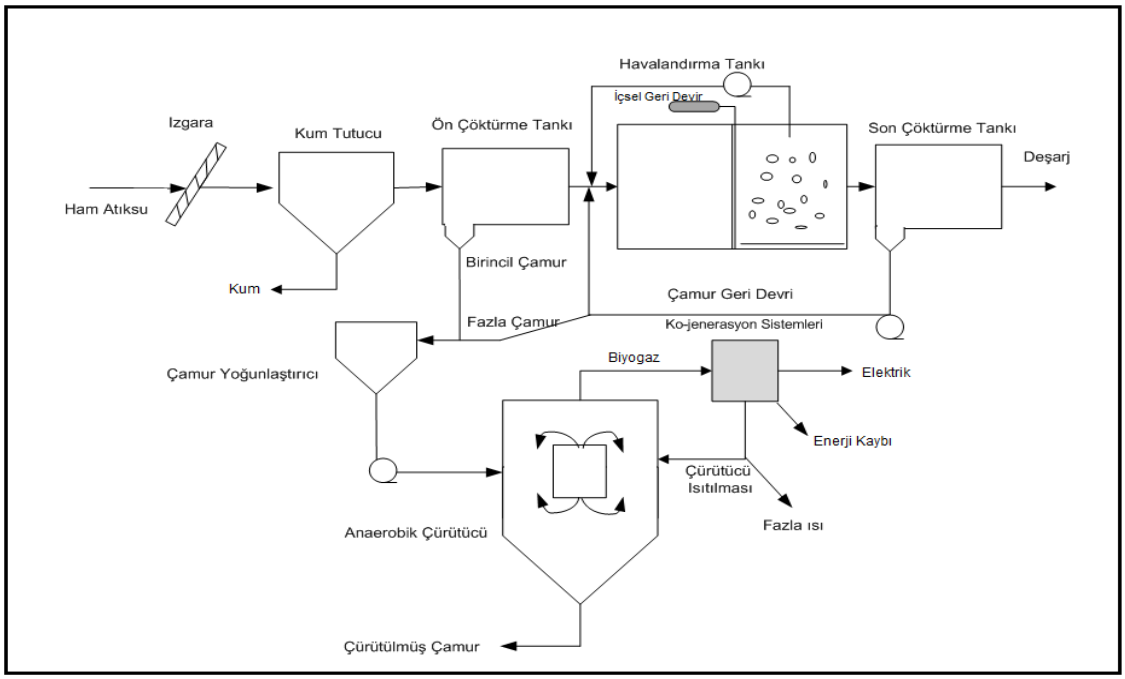
Karşılaştırma için referans seviye olarak, konvansiyonel biyolojik azot giderimi prosesi seçilmiştir (BNR). Mevcut durumda BNR olarak işletilen tesislerin enerji tüketiminin azaltılabilmesi için SND olarak işletilmesi durumu enerji tüketimi açısından incelenmiştir.
Yeni kurulacak tesisler için ise, temel olarak organik maddenin partiküler ve kolloidal kısmının biyolojik ayrışmaya girmeden ayrılması ve anaerobik olarak değerlendirilmesi esas alınmış ve besi gideriminin konvansiyonel nitrifikasyon/denitrifikasyon yerine SND olarak gerçekleştirilmesi ve kısmi nitritasyon/Anammox prosesleri besin maddesi giderilmesi durumu karşılaştırılmıştır. Buna göre, yeni kurulacak tesisler için karşılaştırılan alternatifler; (i) ön çöktürme ve peşinden SND, (ii) kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden SND, (iii) kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden kısmi nitritasyon ve Anammox prosesleri olmuştur. Bu bölümde, SND alternatifleri ve karşılaştırılan prosesler aşağıda sunulmuş ve şematik olarak Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Ayrıca Bölüm 5.2'de azot giderimi öncesinde organik karbonun atıksudan uzaklaştırılması için kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme (KZÖÇ) ve yüksek hızlı aktif çamur (YHAÇ) prosesleri uygulanması durumu karşılaştırılmıştır.

Referans seviye	1.Mevcut bir konvansiyonel BNR tesisindeki enerji üretimi ve tüketimi,
Mevcut arıtma tesislerinde enerji verimliliği – SND uygulamasının değerlendirilmesi	2.SND olarak işletilen mevcut BNR tesisindeki enerji üretimi ve tüketimi
Yeni kurulacak sistemler için enerji verimli atıksu arıtma proses alternatifleri	3. Ön çöktürme ve peşinden eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT'deki enerji üretimi ve tüketimi
	4. Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme (KZÖÇ) ve peşinden eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT'deki enerji üretimi ve tüketimi
	5. Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden kısmi nitritasyon ve Anammox prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT'deki enerji üretimi ve tüketimi

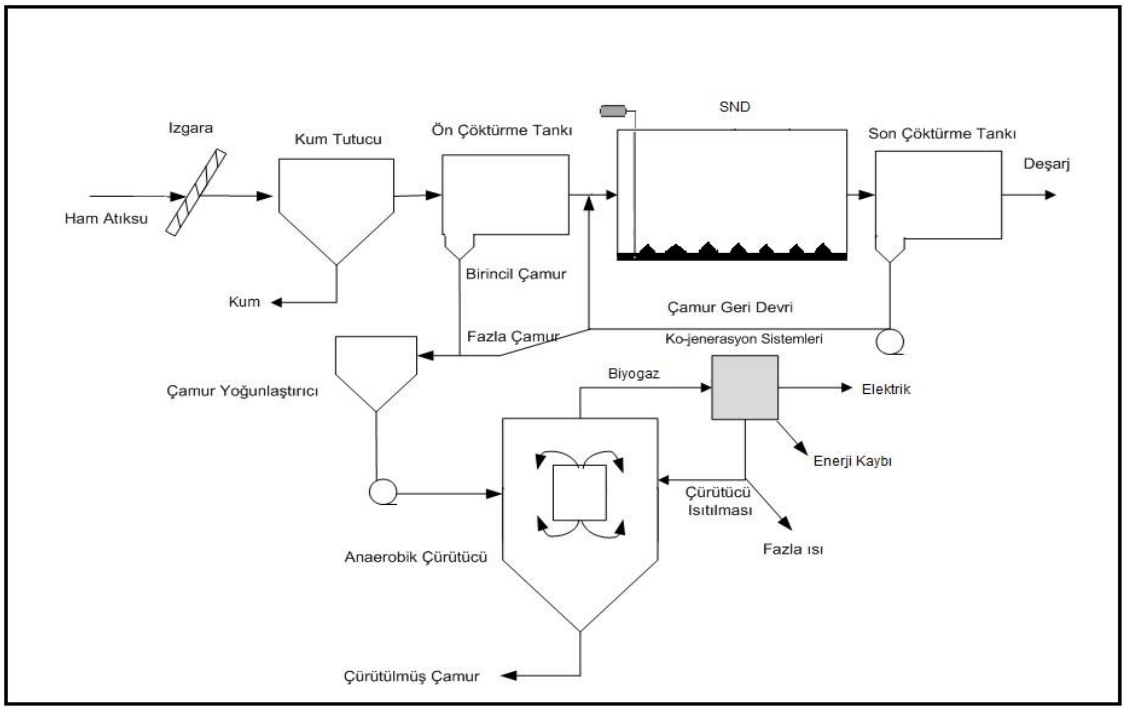
Atıksu arıtma tesislerinde işletme maliyetlerinin büyük bölümünü, havalandırma ve pompalama işlemlerindeki enerji sarfiyatı oluşturmaktadır. Bu nedenle, enerji tüketimi açısından karşılaştırma havalandırma ve iç geri devir için pompalama maliyetleri esas alınarak yapılmıştır.

Biyolojik besi giderim sistemlerinde oksijen karbon oksidasyonu ve nitrifikasyon prosesleri için gereklidir. Azot gideriminin dahil edildiği sistemlerde organik karbonun bir kısmı denitrifikasyon prosesinde harcandığı için denitrifikasyon kullanılan organik karbonun oksijen eşdeğeri (denitrifikasyon kredisi) toplam oksijen ihtiyacından çıkartılır.

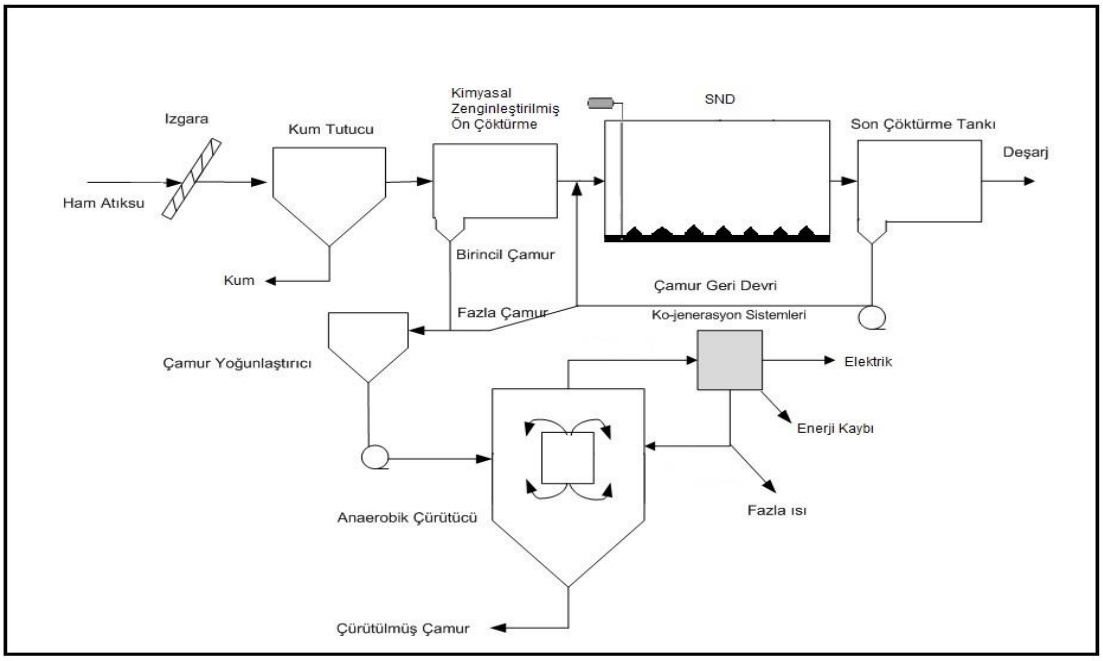
Raporda verilen hesaplamalar 100.000 m^3/gün' lük debiye sahip bir atıksu arıtma tesisi ve düşük konsantrasyonlu atıksu karakterizasyonuna göre yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan değerler ve kinetik katsayılar Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de verilmektedir.



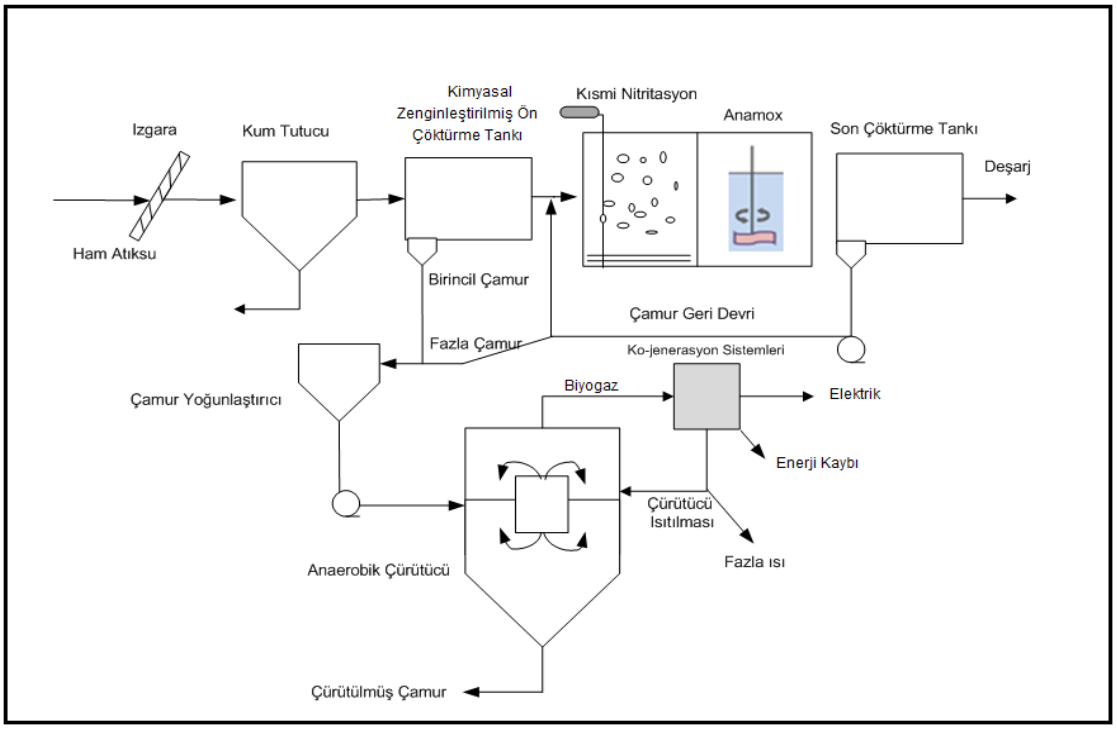
a) Ön çöktürmeli BNR prosesi



b) Ön çöktürme ve peşinden eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi



c) Kimyasal zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi



d) Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden kısmi nitritasyon ve Anammox prosesi

Şekil 5.1 Karşılaştırılan alternatif yenilikçi enerji verimli arıtma şemaları (a,b,c, d)

Tablo 5.1 Enerji sarfiyatı hesaplamalarında kullanılan tesis giriş ve çıkış değerleri

Parametreler	Giriş	Çıkış
$BOİ_5$, mg/L	200	20
AKM, mg/L	232	30
TKN, mg/L	45	3
Nitrat azotu, mg/L	0	7
Toplam fosfor, mg/L	6	1

Tablo 5.2 BOİ arıtımı ve nitrifikasyon için aktif çamur tasarımı kinetik katsayıları (20°C 'de)

Katsayı	Birim	KOİ oksidasyonu	NH_4 oksidasyonu	NO_2 oksidasyonu
μ_{max}	g UAKM/g UAKM.gün	6,0	0,9	1,0
Ks, K_{NH4}, K_{NO2}	mg/L	8,0	0,5	0,20
Y	g UAKM/g okside substrat	0,45	0,15	0,05
kd	g UAKM/g UAKM.gün	0,12	0,17	0,17
f_d	-	0,15	0,15	0,15
K_{O2}	mg/L	0,2	0,50	0,90
θ değeri				
μ_{max}	-	1,07	1,072	1,063
kd	-	1,04	1,029	1,029
Ks, K_{NH4}, K_{NO2}	-	1,0	1,0	1,0

5.1 Mevcut ve Yeni Kurulacak AAT'lerde Biyolojik Besin Giderimi Kaynaklı Enerji Tüketiminin Hesaplanması (BNR ve SND Karşılaştırılması)

Bu bölümde mevcut atıksu arıtma tesislerinde uygulanan konvansiyonel biyolojik besin giderimi (örn. A_2O prosesi) veya uygulanması muhtemel eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon proseslerine ait enerji tüketimi hesaplanmıştır. Arıtma çamurlarından biyogaz ve enerji elde etme potansiyelini yükseltmek amacıyla her iki alternatif için ön çöktürme tankı sisteme dahil edilmiştir. Konvansiyonel BNR prosesinden farklı olarak eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesinin uygulandığı durumda ön arıtma olarak klasik ön çöktürme ve kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme alternatifleri değerlendirilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, ön çöktürme tankında giderilen organik karbonun denitrifikasyon proses verimini olumsuz yönde etkilememesidir. Bu nedenle, hesaplamalarda ön çöktürme tankının bekletme süresi denitrifikasyon için gerekli

karbon ihtiyacı (denitrifikasyon potansiyeli) dikkate alınarak seçilmiştir. Denitrifikasyon potansiyeli ATV 131 standartlarına göre hesaplanmıştır. Klasik ön çöktürme seçeneğinde, ön çöktürme tankında $BOİ_5$ ve AKM giderim verimleri 50 dakikalık bekletme süresi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerler şu şekildedir:

$BOİ_5$ = 24 %
AKM = 43 %
TN = 9 %
TP = 11 %

Bu giderim değerlerine göre klasik ön çöktürme sonrası (biyolojik arıtma girişi) $BOİ_5$, AKM, TN ve TP konsantrasyonları şu şekilde hesaplanmıştır.

$BOİ_5$ = 152 mg/L
AKM = 132 mg/L
TN = 41 mg/L
TP = 5 mg/L

KZÖÇ seçeneği için, ön çöktürme tankında $BOİ_5$ ve AKM giderim verimleri 120 dakikalık bekletme süresi dikkate alınarak hesaplanmıştır. KZÖÇ prosesinde $BOİ_5$ ve AKM verimlerinin klasik ön çöktürme prosesine kıyasla arttığı ancak TN ve TP giderim verimlerinin değişmediği kabul edilmiştir. Elde edilen değerler şu şekildedir:

$BOİ_5$ = 50 %
AKM = 70 %
TN = 9 %
TP = 11 %

Bu giderim değerlerine göre KZÖÇ sonrası (biyolojik arıtma girişi) $BOİ_5$, AKM, TN ve TP konsantrasyonları şu şekilde hesaplanmıştır.

$BOİ_5$ = 100 mg/L
AKM = 92,8 mg/L
TN = 41 mg/L
TP = 5 mg/L

Havalandırma ihtiyacını belirlemek için öncelikli olarak biyolojik arıtma ünitelerinden çıkan fazla çamur miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda, fazla çamurun heterotrofik, ototrofik ve hücre yıkıntısı kaynaklı biyokütleden oluştuğu kabul edilmiştir. Kullanılan denklem (5) aşağıda verilmiştir (Metcalf &Eddy, 2003). Sonuçlar Tablo 5.3'de listelenmiştir.

$$P_{X,\,bio} = \underbrace{\frac{QY\left(BOI_{5giriş} - BOI_{5çıkış}\right)}{1+kd(SRT)}}_{Heterotrofik\ Biyokütle} + \underbrace{\frac{(fd)(kd)YQ\left(BOI_{5giriş} - BOI_{5çıkış}\right)SRT}{1+kd(SRT)}}_{Hücre\ Yıkıntısı} \quad (5)$$

Burada;

$BOİ_{5giriş}$: Biyolojik arıtma giriş $BOİ_5$, mg/L

$BOİ_{5çıkış}$: Biyolojik arıtma çıkış $BOİ_5$, mg/L

SRT : Çamur yaşı, gün

kd : Bozunma katsayısı, gün^{-1}

fd : Hücre yıkıntısı olarak kalan hücre kütle fraksiyonu, g/g

Tablo 5.3 Konvansiyonel BNR ve SND Proseslerinde Oluşan Fazla Çamur Miktarı

	Konvansiyonel BNR	**Klasik ÖÇ +SND**	**KZÖÇ +SND**
Çamur Yaşı, gün	15	25	25
$BOİ_5$ giriş, mg/L	152	152	100
TKNgiriş, mg/L	41	41	41
Yobs, kg UAKM/g BOI giderim	0,21	0,15	0,15
Karbon oksidasyonu kaynaklı fazla çamur, kg/gün	2829	1980	1200
Yobs, kg UAKM/g NH_4-N giderim	0,042	0,029	0,029
Nitrifikasyon prosesinden kaynaklanan fazla çamur, kg/gün	160	108	109
Hücre yıkıntısı kaynaklı çamur, kg/gün	691	835	540
*Toplam Çamur, kg/gün	3680	2924	1849

* Kabuller doğrultusunda teorik olarak hesaplanmış değerleri göstermektedir

Konvansiyonel BNR prosesi için gerekli gerçek oksijen ihtiyacı (AOR) hesaplamalarında aşağıda verilen denklem (6) kullanılmıştır.

$$\boldsymbol{AOR = \frac{Q(BOI_{5giriş} - BOI_{5çıkış})}{1000} - 1.42Px,bio + 4.54xNN - 2.86NDN} \qquad (6)$$

Burada;

AOR : Gerçek oksijen ihtiyacı, kg/gün

Q : Debi, m^3/gün

$BOİ_{giriş}$: Biyolojik arıtma giriş $BOİ_5$, mg/L

$BOİ_{çıkış}$: Biyolojik arıtma çıkış $BOİ_5$, mg/L

Px,bio : Fazla Çamur, kg/gün

NN : Nitrifiye olacak amonyum azotu, kg/gün

NDN : Denitrifiye olacak nitrat azotu, kg/gün

SND prosesi için gerekli gerçek oksijen ihtiyacı (AOR) belirlenirken amonyumun nitrite kadar oksitlendiği ve denitrifikasyonun nitrit üzerinden gerçekleştiği kabul edilmiş, hesaplamalarda denklem 7 kullanılmıştır.

$$\mathbf{AOR = \frac{Q(BOI_{5giriş} - BOI_{5çıkış})}{1000} - 1.42Px,bio + 3.43xNN - 1.7NDN} \qquad (7)$$

AOR : Gerçek oksijen ihtiyacı, kg/gün

Q : Debi, m^3/gün

$BOİ_{giriş}$: Biyolojik arıtma giriş $BOİ_5$, mg/L

$BOİ_{çıkış}$: Biyolojik arıtma çıkış $BOİ_5$, mg/L

Px,bio : Fazla Çamur, kg/gün

NN : Nitrifiye olacak amonyum azotu, kg/gün

NDN : Denitrifiye olacak nitrat azotu, kg/gün

Standart oksijen ihtiyacı (SOR) değerleri, gerçek oksijen ihtiyacı (AOR), tuzluluk-yüzey gerilimi (beta faktörü), sıcaklık, rakım, difüzör derinliği, istenilen oksijen işletme seviyesi, karıştırma derecesi ve tank konfigürasyonu değerleri dikkate alınarak Denklem 8'e göre hesaplanmıştır.

$$\frac{AOR}{SOR} = \left(\frac{\beta \overline{C}_{S,T,H} - C_L}{C_{s,20}}\right)\left(1.024^{(T-20)}\right)(\alpha)(F) \qquad (8)$$

AOR : saha koşullarındaki gerçek oksijen transfer hızı, kgO_2/gün

SOR = 20°C sıcaklıkta içerisinde sıfır çözünmüş oksijen konsantrasyonu bulunan temiz suda standart oksijen transfer hızı, kgO_2/gün

β = Tuzluluk – yüzey gerilimi düzeltme faktörü, genellikle 0,95

$\overline{C}_{S,T,H}$ = T sıcaklıkta ve H rakımında havalandırma tankında temiz sudaki çözünmüş oksijen ortalama doygunluk konsantrasyonu, mg/L

$$\overline{C}_{S,T,H} = (C_{S,T,H})\frac{1}{2}\left(\frac{P_d}{P_{atm,H}} + \frac{O_t}{21}\right) \qquad (9)$$

$C_{S,T,H}$ = T sıcaklıkta ve H rakımında temiz sudaki çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu, mg/L

P_d = Hava çıkış derinliğindeki basınç, atm

$P_{atm,H}$ = H rakımında atmosfer basıncı, atm

$$P_{atm,H} = e^{\left(\frac{-g \cdot M \cdot Alt.}{R \cdot (273.15 + T_{Max}}\right)} \qquad (10)$$

O_t = Tank çıkışında yüzde oksijen konsantrasyonu, genellikle % 18 - 20

C_L = İşletmede kullanılan oksijen konsantrasyonu. Bu değer konvansiyonel BNR ve yüksek hızlı aktif çamur prosesi için 2 mg/L, SND ve PN prosesi için ise 0.5 mg/L alınmıştır.

$C_{s,20}$ = 20^0C ve 1 atm'de temiz suda çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu, 9.07 mg/L

T = İşletme sıcaklığı, 20^0C kabul edilmiştir.

α = Atıksu için oksijen transferi düzeltme faktörü

F = Tıkanma faktörü, tipik değeri 0.65 - 0,9

Oksijen transferi düzeltme faktörü (α), havalandırma tankındaki bakteri konsantrasyonuna göre aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

α = 1-0.16(UAKM/1000)$^{(2/3)}$ (11)

Standard Oksijen Transfer Verimi (SOTE/difüzör derinliği) havalandırma tankında kabul edilen UAKM konsantrasyonuna göre aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

SOTE/difüzör derinliği = 9.00-8.63x10-4xUAKM+2.56x10^{-8}xUAKM^2 (12)

SOTE değerini hesaplarken, havalandırma tanklarında su derinliğinin 5.50 metre olduğu ve difüzörlerin tank tabanından 25 cm yukarıya yerleştirdiği, buna göre batma derinliğinin 5.25 m olduğu kabul edilmiştir. Hava debisi, SOTE ve SOR değerleri kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 13).

$$Hava\ Debisi = \frac{SOR}{SOTE * 0.274 kg / Nm^3} \quad (13)$$

Havalandırma için kullanılacak hava körüklerinin gücü Denklem 14'e göre hesaplanmıştır.

$$Pw = \frac{wRT1}{28{,}97\ ne}\left(\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^n - 1\right) \quad \text{(SI birim)} \quad (14)$$

Burada;

Pw= Her bir üfleyici (blower) için gerkli olan güç, kW (hp)

w= Hava debisinin ağırlığı, kg/sn (lb/sn)

R= Hava için evrensel gaz sabiti, 8,314 J/mol.K (S.I birim)

T_1= Mutlak giriş sıcaklık, K (°R)

p_1= Mutlak giriş basınç, atm (lb_f/in.^{2})

p_2= Mutlak çıkış basınç, atm (lb_f/in.^{2})

n= (1-k)/k bu açıklamada *k* spesifik ısı oranıdır.

28,97= Kuru havanın molekül ağırluğı

550= ft.lb/s'den hp'ye dönüşüm faktörü

e= Verim (Kompresörler için olağan aralık 0,70-0,90'dır.)

Enerji tüketimi açısından SND prosesinin, konvansiyonel BNR prosesine göre önemli bir avantajı, içsel çamur geri devri ve dolayısıyla bu maksatla enerji tüketimine gerek olmamasıdır. Konvansiyonel BNR prosesinde içsel çamur geri devri için tüketilen enerji aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

Konvansiyonel BNR, klasik ön çöktürme sonrası SND ve KZÖÇ sonrası SND'de havalandırma için enerji sarfiyatı Tablo 5.4'te verilmiştir.

$$\boldsymbol{P = \rho \, x \, g \, x \, Q \, x \, H} \qquad (15)$$

P: güç, kW

ρ: yoğunluk, kg/m^3

g: yerçekimi sabiti, m/s^2

Q: iç geri devir debisi, m^3/s

H: pompa basma yüksekliği, m

Tablo 5.4 Konvansiyonel BNR ve SND'de havalandırma ve içsel geri devir için enerji sarfiyatı

	Konvansiyonel BNR	**Klasik ÖÇ +SND**	**KZÖÇ +SND**
Çamur Yaşı, gün	15	25	25
Karbon Oksidasyonu için oksijen ihtiyacı	7871	8969	5375
Nitrifikasyon için oksijen ihtiyacı	17366	13034	13034
Denitrifikasyondan oksijen kredisi,	8866	5270	5270
Gerçek oksijen ihtiyacı, kg/gün	16371	16733	13139
Havalandırma tankı ÇO, mg/L	2	0.5	0,5
SOR/AOR	2,38	1,97	1,97
Standard Oksijen ihtiyacı, kg/gün	42859	36260	28472
SOTE, %	27,5	27,5	27,5
Hava İhtiyacı, m^3/sa	21791	18436	14476
Havalandırma için enerji sarfiyatı, kWh/gün	9866	8347	6554
İç geri devir için enerji sarfiyatı, kWh/gün	1363	-	-

5.2 Yeni Kurulacak AAT'lerde Biyolojik Besin Giderimi Kaynaklı Enerji Tüketiminin Hesaplanması (YHAÇ, PNA/A Sistemleri Karşılaştırılması)

Bu bölümde, yeni kurulacak AAT'lerin enerji tüketen değil, üreten tesisler olarak tasarlanması için öncelikli olarak ham atıksudaki organik maddenin ($BOİ_5$'nin) azot giderimi öncesinde atıksudan mümkün mertebe uzaklaştırılması hedeflenmektedir. Bu sayede, organik karbonun oksidasyonu için gerekli havalandırma kaynaklı enerji sarfiyatı azaltılıp anaerobik çürütücülerde parçalanması sonucu ilave enerji kazanımı sağlanacaktır. Azot giderimi öncesinde organik karbonun atıksudan uzaklaştırılması için kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme (KZÖÇ) ve yüksek hızlı aktif çamur (YHAÇ), alternatif prosesler olarak değerlendirilmiştir. Her iki alternatifi takiben azot ve kalan $BOİ_5$'in giderimi için karbon oksidasyonu, kısmi nitritasyon ve anammox (PN/A) proseslerinden oluşan 2. Kademe arıtım uygulanacağı kabul edilmiştir.

Literatürde, KZÖÇ ile ham atıksudan %50-70 KOİ giderilebileceğini gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Wan vd., 2016). Burada, bu değer %50 olarak kabul edilmiştir. Buna göre oluşacak primer çamur miktarı ve özellikleri aşağıda verilmektedir;

Primer Çamur = 16240 kg/gün
UAKM oranı = 50%
BOI= 10,000 kg/gün
TKN= 405 kg/gün
TP =66 kg/gün
Bu verilere göre KZÖÇ sonrası (biyolojik arıtma girişi) $BOİ_5$, AKM, TN ve TP konsantrasyonları şu şekilde hesaplanmıştır.

$BOİ_5$ = 100 mg/L
AKM = 132 mg/L
TN = 41 mg/L
TP = 5 mg/L

Diğer alternatif olarak belirlenen YHAÇ prosesinin çamur yaşı 0.5 gün seçilmiştir. Bu çamur yaşında, adsorpsiyon ile $BOİ_5$'nin %40'ı oksidasyon ile %10'u ve toplam %50'sinin

giderildiği kabul edilmiştir. Buna göre oluşan çamurun $BOİ_5$ cinsinden miktarı şu şekilde hesaplanmıştır.

Adsorpsiyon ile giderilen $BOİ_5$ = $BOİ_5$ yükü x 0,4 = 8000 kg/gün
Oksidasyon ile giderilen $BOİ_5$ = $BOİ_5$ yükü x 0,1 = 1200 kg/gün

YHAÇ prosesinin çamur yaşı 0.5 gün olduğu için nitrifikasyon prosesinin gerçekleşmediği ve hücre sentezinde kullanılan amonyak azotunun ihmal edilebilir olduğu varsayılmıştır. Diğer taraftan adsorpsiyon ile TKN' nin %9' nun YHAÇ' de giderildiği kabul edilmiştir. Buna göre KZÖÇ ve YHAÇ sisteminde fazla çamur miktarı Tablo 5.5'te verilmektedir.

Tablo 5.5 Enerji Verimli Yenilikçi Atıksu Arıtma Tesislerinde oluşan fazla çamur miktarı

	1. kademe (YHAÇ)	**2. kademe (PN/A)**	**1. kademe (KZÖÇ)**	**2. kademe (PN/A)**
Çamur Yaşı, gün	0,5	2	-	2
BOI giriş, mg/L	200	108	200	100
TKN giriş, mg/L	45	41	45	41
Yobs, kg UAKM/g BOI giderim	0,57	0,48	-	0,48
Karbon oksidasyonundan çamur, kg/gün	679	4258	-	3871
Yobs, kg UAKM/g NH_4-N giderim	-	0.11	-	0.11
Nitrifikasyon prosesi ile oluşan çamur, kg/gün	-	229	-	229
Bakteri atıklarında oluşan çamur, kg/gün	6	153	-	139
* Toplam Çamur, kg/gün	5326		-	4240

* Kabuller doğrultusunda teorik olarak hesaplanmış değerleri göstermektedir

YHAÇ prosesi için gerekli gerçek oksijen ihtiyacı (AOR) hesaplamalarında aşağıda verilen denklem (16) kullanılmıştır.

$$\boldsymbol{AOR} = \frac{\boldsymbol{Q(BOI_{5giriş} - BOI_{5çıkış})}}{\boldsymbol{1000}} - \boldsymbol{1.42Px,bio} \qquad (16)$$

AOR = Gerçek oksijen İhtiyacı, kg/gün

Q = Debi, m^3/gün

$BOI_{giriş}$ = Biyolojik Arıtma Giriş BOI_5, mg/L

$BOI_{çıkış}$ = Biyolojik Arıtma Çıkış BOI_5, mg/L

Px,bio = Fazla Çamur, kg/gün

YHAÇ prosesini takiben kullanılan 2. Kademe (BOİ5 ve N giderimi) arıtım için gerekli gerçek oksijen ihtiyacı (AOR) hesaplamalarında aşağıda verilen denklem (17) kullanılmıştır. Kısmi nitrifikasyon prosesi ile girişteki amonyum azotunun %50 oranında nitrit azotuna dönüştüğü kabul edilmiştir.

$$\boldsymbol{AOR} = \frac{\boldsymbol{Q(BOI_{5giriş} - BOI_{5çıkış})}}{\boldsymbol{1000}} - \boldsymbol{1.42Px,bio + 3.43xNN_{kısmi}} \qquad (17)$$

AOR = Gerçek oksijen İhtiyacı, kg/gün

Q = Debi, m^3/gün

$BOI_{giriş}$ = Biyolojik Arıtma Giriş BOI_5, mg/L

$BOI_{çıkış}$ = Biyolojik Arıtma Giriş BOI_5, mg/L

Px,bio = Fazla Çamur, kg/gün

$NN_{kısmi}$ = Nitrifiye olacak amonyum azotu, kg/gün,

Enerji verimli yeni atıksu arıtma tesislerinde havalandırma için tüketilen enerji Tablo 5.6'da verilmektedir.

Tablo 5.6 Enerji Verimli Yeni Atıksu Arıtma Tesislerinde havalandırma için tüketilen enerji

	1. kademe (YHAÇ)	**2. kademe (PN/A)**	**1. kademe (KZÖÇ)**	**2. kademe (PN/A)**
Çamur Yaşı, gün	0,5	2	-	2
Karbon Oksidasyonu için oksijen ihtiyacı	227	2210	-	1979
Nitrifikasyon için oksijen ihtiyacı	-	7032	-	7032
Denitrifikasyondan oksijen kredisi,	-	-	--	-
Gerçek oksijen ihtiyacı, kg/gün	227	9242	-	9011
Havalandırma tankı ÇO, mg/L	2	1,5-2	-	1,5-2
SOR/AOR	2,38	2,38	-	2,38
Standard Oksijen ihtiyacı, kg/gün	594	19620	-	19130
SOTE, %	27,5	27,5	-	27,5
Hava İhtiyacı,	20213		9727	
Enerji Sarfiyatı	9152		4404	

5.3 Ön Çöktürme Çamuru ve Fazla Aktif Çamurdan Elde Edilen Biyogaz İle Üretilen Enerjinin Hesaplanması

Bu bölümde, mevcut veya enerji verimli olarak kurulacak yeni AAT'lerde ön çöktürme çamuru ve fazla çamurun anaerobik çürütülmesiyle elde edilecek biyogaz miktarı ve biyogazdan kojenerasyon ile üretilebilecek elektrik enerjisi hesaplanmıştır. Elde edilen ısı enerjisinin anaerobik çürütücünün ısıtılmasında, arta kalanının ise muhtelif yerlerde kullanılacağı varsayılarak ilave bir enerji elde edilmeyeceği kabul edilmiştir. Biyogaz üretimi ve enerji eldesi hesaplarında Tablo 5.7'de verilen kabuller kullanılmıştır (Erdoğan vd., 2006).

Anaerobik çürütücüde üretilen fazla mikrobiyal kütle (P_x) miktarı denklem 18'e, standart şartlar altında (1 atm ve 0 ^oC) üretilen metan gazının hacmi (V_{CH4}) denklem 19'a göre belirlenmiştir (Qasım, 1998).

$$P_X = e.Y.\frac{MS_{KOİ}}{1+k_d.\theta_C} \tag{18}$$

$MS_{KOİ}$: Karışık çamur (ön çöktürme + fazla aktif çamur), kg/gün

$$V_{CH4} = e.F_{CH4}.\left[MS_{KOİ} - 1.42.P_X\right] \tag{19}$$

F_{CH4} : Birim KOİ başına üretilen metan miktarı (0.35 m^3/kgKOİ, 1 atm ve 0 ^oC)

Üretilen biyogaz miktarı ise biyogazdaki metan oranı %60 kabul edilerek hesaplanmıştır. Üretilen biyogazdan kojenerasyon ile elde edilen elektrik enerjisi için şu kabuller yapılmıştır (Rutz, 2015).

Biyogazın enerji değeri : 6 kWh/Nm^3

Kojenerasyon sisteminin elektrik üretim verimi : %35

Tablo 5.7 Biyogaz üretimi ve enerji eldesi hesaplarında kullanılan değerler

Fazla çamurun kaynağı	**Konvansiyonel BNR** Karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon	**Klasik ÖÇ + SND** Karbon oksidasyonu, nitritasyon ve denitritasyon	**KZÖÇ +SND** Karbon oksidasyonu, nitritasyon ve denitritasyon	**KZÖÇ +PN/A** Karbon oksidasyonu, kısmi nitritasyon ve anammox[1]	**YHAÇ +PN/A** Karbon oksidasyonu, kısmi nitritasyon ve anammox[1]
UAKM/AKM oranı			0,83		
Biyobozunur-UAKM/AKM oranı	0,7	0,65	0,65	0,75	0,8
UAKM/KOİ oranı			1,42		
Çamur bekletme süresi, θ_C (gün)			20		
Biyokütle dönüşüm katsayısı, Y (kg/kg)			0,08		
Bozunma katsayısı, k_d (gün^{-1})			0,02		
Çürütme verimi, e (% KOİ)			65		

[1] Miktarı çok az olacağı için Anammox prosesinden çıkan fazla çamur ihmal edilmiştir.

Debisi 100.000 m3/gün ve giriş $BOİ_5$ konsantrasyonu 200 mg/l olan bir AAT için yukarıda Tablo 5.6 ve Tablo 5.7'de verilen toplam çamur miktarlarına göre elde edilecek biyogaz miktarı ve biyogazdan kojenerasyon ile üretilebilecek elektrik enerjisi hesaplanmış sonuçlar Tablo 5.8'de sunulmuştur.

Tablo 5.8 Biyogazdan kojenerasyon ile üretilen elektrik enerjisi

	Konvansiyonel BNR	Klasik ÖÇ + SND	KZÖÇ +SND	KZÖÇ +PN/A	YHAÇ +PN/A
Toplam çamur, kgKOİ/gün	10789	9809	16412	19221	17815
Üretilen biyogaz, m^3/gün	3974	3613	6046	7081	6563
Elde edilen elektrik enerjisi, kWh/gün	8346	7588	12696	14869	13782

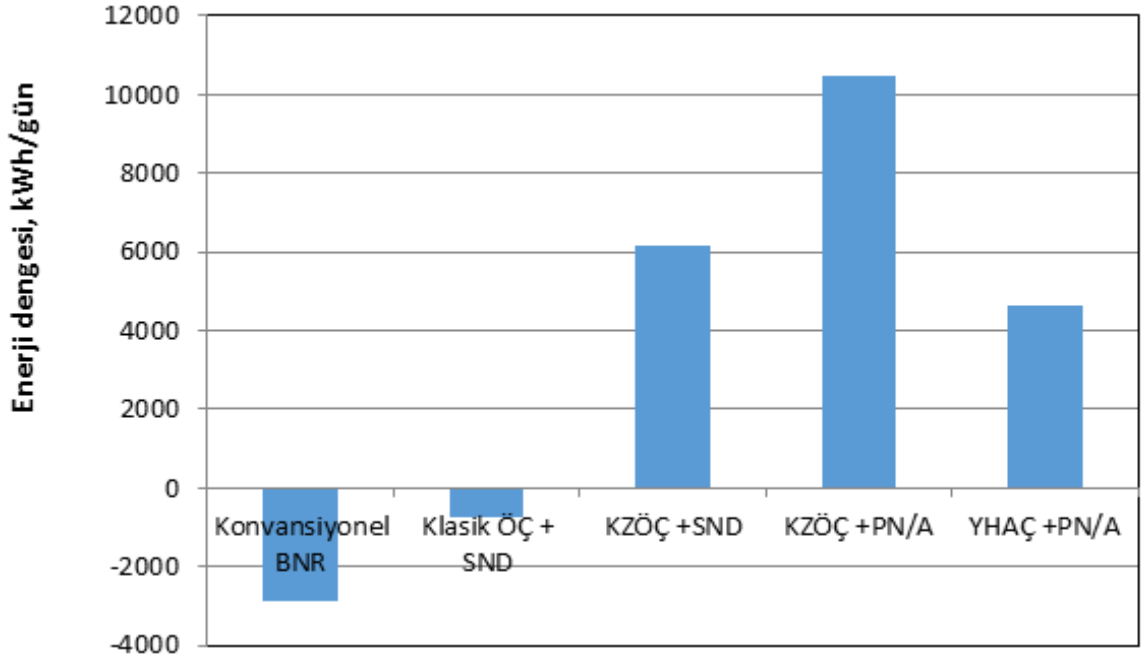
5.4 Farklı Atıksu Arıtma Konfigürasyolarına Ait Enerji Dengeleri ve Arıtma Hacimlerinin Karşılaştırılması

Mevcut ve enerji verimli olarak tasarlanıp inşa edilecek yeni AAT'lerdeki (Bölüm 5.2) havalandırma ve içsel geri devir kaynaklı enerji sarfiyatı ve ön çöktürme çamuru ve fazla aktif çamurun anaerobik çürütülmesiyle üretilen biyogazdan elde edilen elektrik enerjisi değerleri kullanılarak 5 farklı AAT için enerji dengesi hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 5.9 ve bu sonuçların karşılaştırıldığı grafik Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da ise proje kapsamında 5 farklı AAT konfigürasyonu giriş $BOİ_5$ 100 kg/gün olan bir evsel atıksu arıtma tesisi için hesaplanan enerji sarfiyatı veya üretimi değerleri, AAT'lere ait akış diyagramlarında ilgili ünitelerin üzerinde gösterilmiştir.

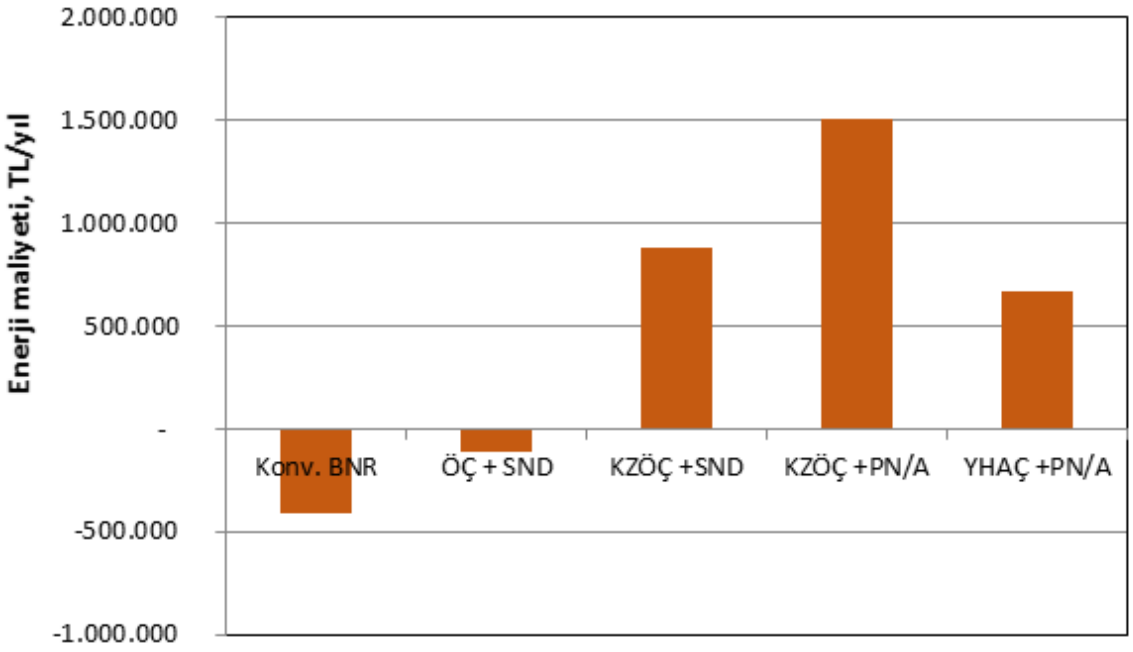
Şekil 5.2'de verilen enerji dengesi grafiğinden ve yıllık enerji maliyetlerinden açıkça görüldüğü üzere mevcut BNR tesisleri SND olarak işletildiği ve çamur çürütücüler verimli şekilde çalıştırıldığı takdirde AAT'lerin enerji tüketimi önemli şekilde azalacaktır. Ancak enerji pozitif atıksu arıtımı için ileride yeni kurulacak AAT'lerde klasik ön çöktürme prosesleri yerine kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve yüksek hızlı aktif çamur, konvansiyonel biyolojik azot giderimi prosesi yerine de kısmi nitritasyon ve Anammox gibi yenilikçi teknolojiler tercih edilmelidir.

Tablo 5.9: Mevcut ve yeni 5 farklı AAT konfigürasyonu için hesaplanan enerji dengesi

	Konvansiyonel BNR	**Klasik ÖÇ + SND**	**KZÖÇ +SND**	**KZÖÇ +PN/A**	**YHAÇ +PN/A**
Havalandırma ve içsel geri devir kaynaklı enerji sarfiyatı, kWh/gün	-11229	-8347	-6554	-4404	-9152
Çamur çürütücü kaynaklı elektrik enerjisi üretimi, kWh/gün	8346	7588	12696	14869	13782
Enerji dengesi, kWh/gün	-2882	-759	6142	10466	4630
Arıtma hacmi (ön çöktürme ve biyolojik arıtma), m^3	14675	18315	17576	15154	7096

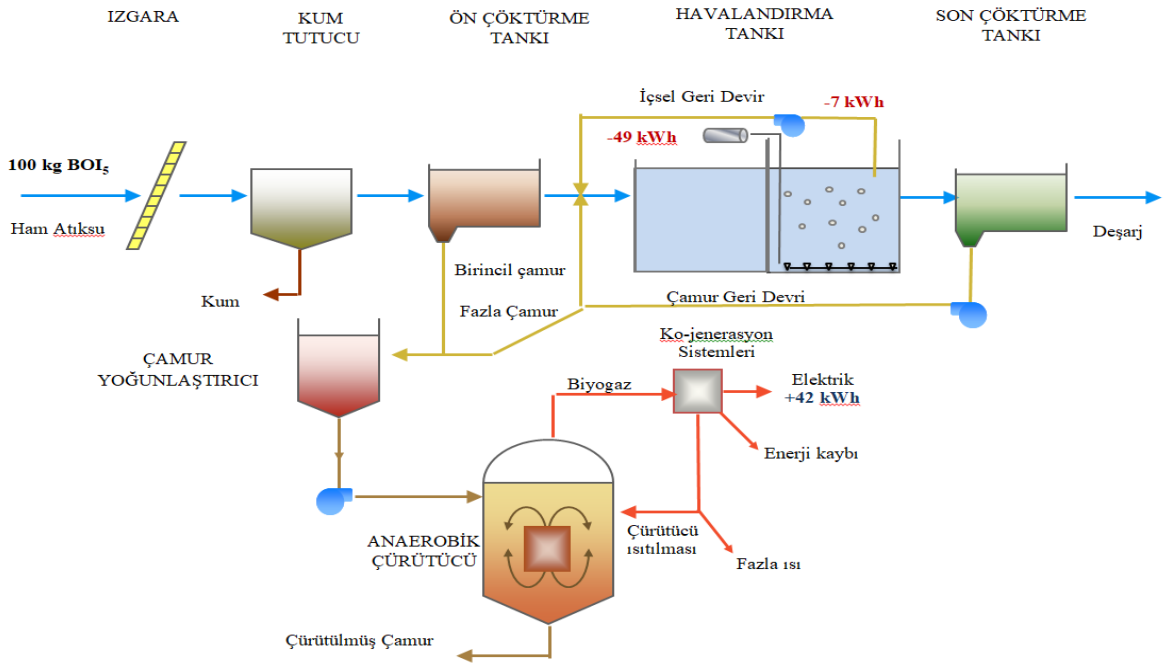


a)

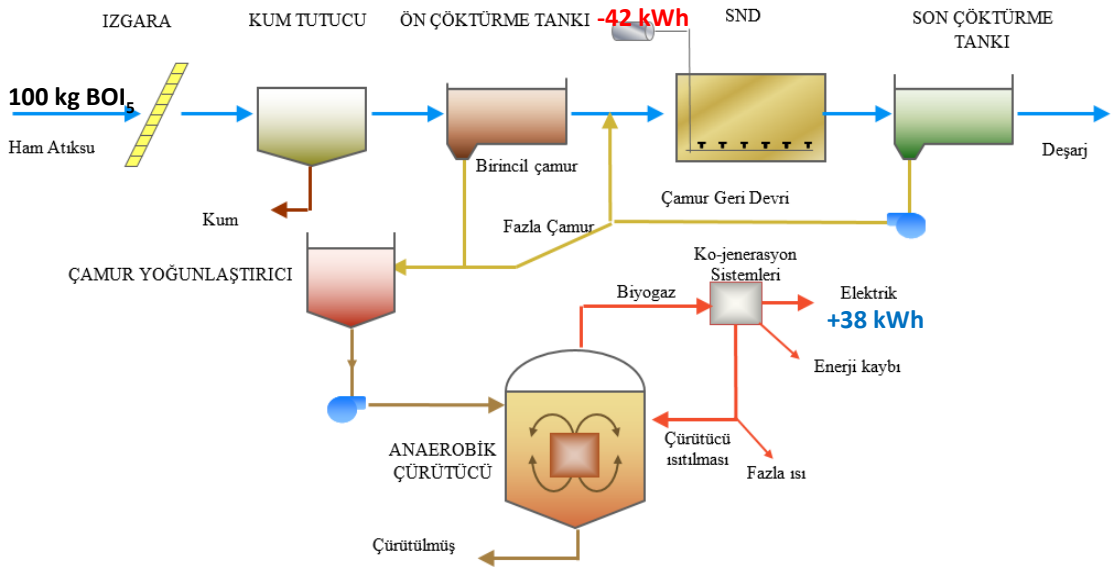


b)

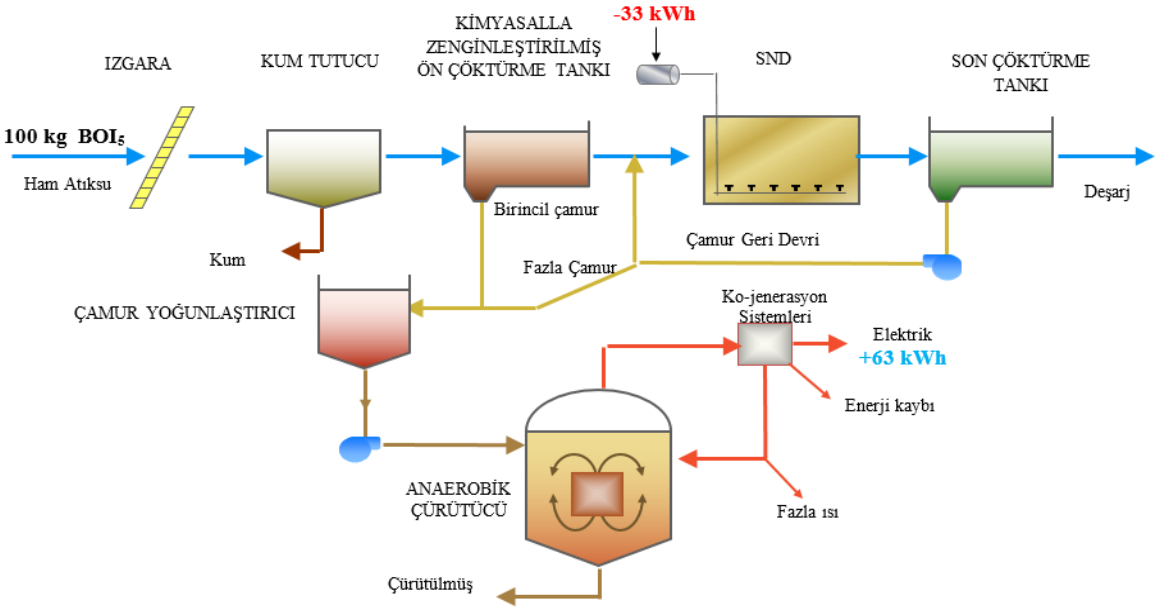
Şekil 5.2: Farklı atıksu arıtma konfigürasyonlarının a) enerji dengesi ve b) yıllık enerji maliyeti açısından karşılaştırılması



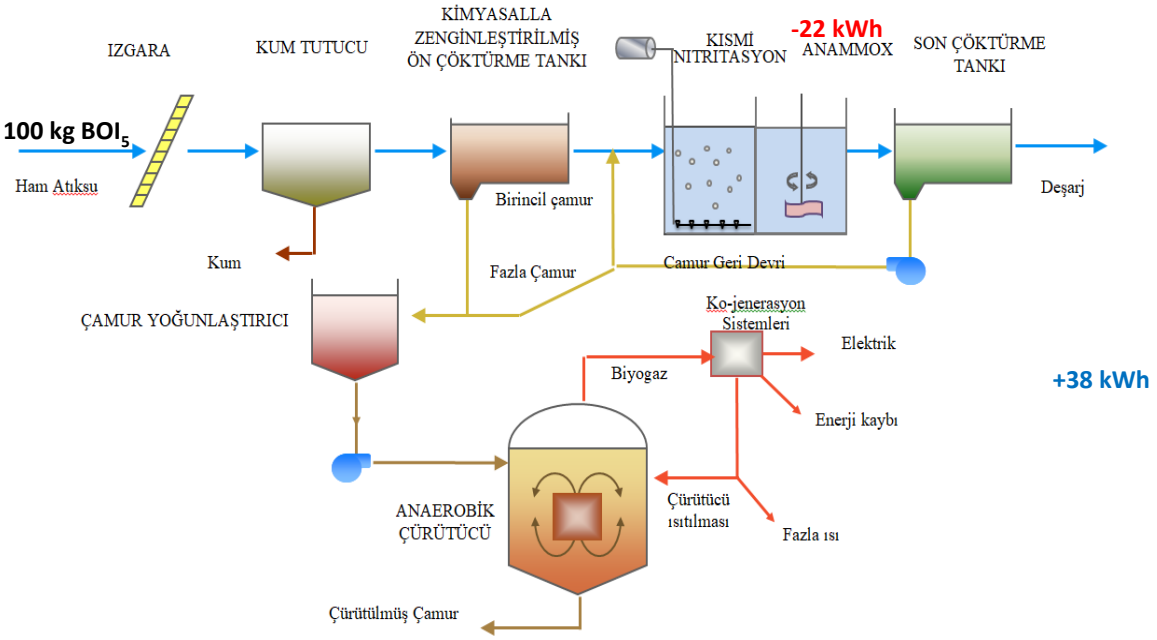
Şekil 5.3 Mevcut bir konvansiyonel BNR tesisindeki enerji üretimi ve tüketimi



Şekil 5.4 SND olarak işletilen mevcut BNR tesisindeki enerji üretimi ve tüketimi



Şekil 5.5: KZÖÇ ve peşinden eş zamanlı nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT'deki enerji üretimi ve tüketimi



Şekil 5.6 Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden kısmi nitritasyon ve Anammox prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT'deki enerji üretimi ve tüketimi

5.5 Pilot Tesis Kavramsal Tasarımı

Bu raporda kimyasal ile zenginleştirilmiş bir ön çöktürme tankı, eş zamanlı nitrifikasyon denitrifikasyon ve son çöktürme tankı içeren bir plot tesisin kavramsal tasarım hesapları verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan değerler Tablo 5.10'da verilmektedir.

Pilot tesis debisi**: 5 m^3/gün = 0.21 m^3/saat**

Tablo 5.10 Pilot tesis hesaplamalarında kullanılan tesis giriş ve çıkış değerleri

Parametreler	Giriş	Çıkış
$BOİ_5$, mg/L	200	20
AKM, mg/L	232	30
TKN, mg/L	45	3
Nitrat azotu, mg/L	0	7
Toplam fosfor, mg/L	6	1

5.5.1 Kimyasal ile zenginleştirilmiş ön çöktürme tankı

Ön çöktürme tankında bekletme süresi 2 saat seçilmiştir. Kimyasal ile zenginleştirilmiş ön çöktürme tankları için gerekli yüzey alanı konvansiyonel ön çöktürme tankarının yarısı kadar olabilmektedir. Bu nedenle ön çöktürme tankı yüzey yükleme hızı 50 m^3/gün olarak seçilmiştir.

Hacim = 0.21 m^3 =210 L
Yüzey alanı = 0.10 m^2 olmaktadır.
Ön çöktürme tank çapı = 0.36 m = 36 cm
Derinlik = 2.1 m

Flok oluşumunu desteklemek ve çöktürme verimlerini arttırmak amacı ile ön çöktürme öncesinde ham atıksuya kimyasal eklemesi yapılması uygun olacaktır. Bunun için ön çöktürme öncesinde hızlı karıştırma ve yavaş karıştırmanın yapılacağı bir ünite gerekmektedir. Hızlı ve yavaş karıştırma tek bir tankta kesikli veya sürekli akış altında olarak çalıştırılabilir. Kesikli çalıştırılması durumunda ise karıştırma öncesi ham atıksuyun bir tankta depolanması uygun olacaktır. ,

Ön çöktürme tank tabanında biriken çamurun belirli aralıklarla çekilip yoğunlaştırma sonrasında anaerobik çürütme ünitesine gönderilmelidir. Çamur yoğunlaştırma için burgu pres kullanılabilir.

5.5.2 Eş Zamanlı Nitrifikasyon denitrifikasyon

Ön çöktürme sonrası kirlilik konsantrasyonları Tablo 5.11' de verilmektedir

Tablo 5.11 Ön çöktürme tankı çıkış değerleri

Parametreler	Çıkış
BOİ$_5$, mg/L	100
AKM, mg/L	46.4
TKN, mg/L	41
Nitrat azotu, mg/L	0
Toplam fosfor, mg/L	6

Eş zamanlı nitrifikasyon denitrifikasyon prosesi için çamur yaşı 25 gün olarak belirlenmiştir. Çamur miktarının hesaplanması için aşağıdaki denklem (1) kullanılmıştır.

$$P_{X,\,bio} = \underbrace{\frac{QY_c(BOI_{5giriş} - BOI_{5çıkış})}{1+kd(SRT)}}_{Heterotrofik\ Biyokütle} + \underbrace{\frac{QY_N(TKN_{giriş} - TKN_{çıkış})}{1+kd(SRT)}}_{Otorotrofik\ Biyokütle} + \underbrace{\frac{(fd)(kd)YQ(BOI_{5giriş} - BOI_{5çıkış})SRT}{1+kd(SRT)}}_{Hücre\ Yıkıntısı}$$

(1)

Buna göre sistemde oluşması öngörülen fazla çamur 0.09 kg/gün olarak hesaplanmıştır.

Sistemde toplam çamur yaşının istenilen değerde sabit tutulabilmesi için fazla çamur havalandırma tankının içinden çekilecek ve UAKM konsantrasyonunun 3000 mg/L seviyesinde tutulacaktır.

Buna göre;

Havalandırma tankının hacmi : 0.77 m^3 = 770 L

Derinlik : 1 m

Genişlik : 0.39 m = 39 cm

Uzunluk : 1.96 m = 196 cm

Çamur Debisi = 30,8 L/gün (fazla çamur tankın içinden çekilecektir)

Çamur Katı Madde yüzdesi = 0.3 %

Eş zamanlı nitrifikasyon denitrifikasyon prosesinde nitrifikasyon, denitrifikasyon prosesi aynı tankta eş zamanlı gerçekleşeceği için iç geri devir pompasına ihtiyaç olmayacaktır.

İşletme esnasında çözünmüş oksijen konsantrasyonunu 0.5 mg/L' nin altında tutulması gereklidir. Bunun için havalandırma tankında çözünmüş oksijenin sürekli ölçümü ve kullanılacak havalandırma ekipmanını kontrol etmesi gerekmektedir. Bunun için bir otomasyon sisteminin kurulması gereklidir. Çözünmüş oksijenin yanı sıra giriş ve çıkış amonyum azotu konsantrasyonları ölçülerek enerji sarfiyatları azaltılabilir.

SND prosesi için gerekli gerçek oksijen ihtiyacı (AOR) belirlenirken amonyumun nitrite kadar oksitlendiği ve denitrifikasyonun nitrit üzerinden gerçekleştiği kabul edilmiş, hesaplamalarda aşağıdaki denklem (2) kullanılmıştır.

$$\mathbf{AOR} = \frac{\mathbf{Q}(\mathbf{BOI_{5giriş}} - \mathbf{BOI_{5çıkış}})}{\mathbf{1000}} - \mathbf{1.42Px,bio} + \mathbf{3.43xNN} - \mathbf{1.7NDN} \qquad (2)$$

AOR : Gerçek oksijen ihtiyacı, kg/gün

Q : Debi, m^3/gün

$BOİ_{giriş}$: Biyolojik arıtma giriş $BOİ_5$, mg/L

$BOİ_{çıkış}$: Biyolojik arıtma çıkış $BOİ_5$, mg/L

Px,bio : Fazla Çamur, kg/gün

NN : Nitrifiye olacak amonyum azotu, kg/gün

NDN : Denitrifiye olacak nitrat azotu, kg/gün

Buna göre

AOR : 0.66 kg/gün

Standart oksijen ihtiyacı (SOR) değerleri, gerçek oksijen ihtiyacı (AOR), tuzluluk-yüzey gerilimi (beta faktörü), sıcaklık, rakım, difüzör derinliği, istenilen oksijen işletme seviyesi,

karıştırma derecesi ve tank konfigürasyonu değerleri dikkate alınarak aşağıdaki Denklem (3)'e göre hesaplanmıştır.

$$\frac{AOR}{SOR} = \left(\frac{\beta \overline{C}_{S,T,H} - C_L}{C_{s,20}} \right) \left(1.024^{(T-20)}\right)(\alpha)(F) \tag{3}$$

AOR : saha koşullarındaki gerçek oksijen transfer hızı, kgO_2/gün

SOR = 20°C sıcaklıkta içerisinde sıfır çözünmüş oksijen konsantrasyonu bulunan temiz suda standart oksijen transfer hızı, kgO_2/gün

β = Tuzluluk – yüzey gerilimi düzeltme faktörü, genellikle 0,95

$\overline{C}_{S,T,H}$ = T sıcaklıkta ve H rakımında havalandırma tankında temiz sudaki çözünmüş oksijen ortalama doygunluk konsantrasyonu, mg/L

$$\overline{C}_{S,T,H} = (C_{S,T,H})\frac{1}{2}\left(\frac{P_d}{P_{atm,H}} + \frac{O_t}{21}\right) \tag{4}$$

$C_{S,T,H}$ = T sıcaklıkta ve H rakımında temiz sudaki çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu, mg/L

P_d = Hava çıkış derinliğindeki basınç, atm

$P_{atm,H}$ = H rakımında atmosfer basıncı, atm

$$P_{atm,H} = e^{\left(\frac{-g \cdot M \cdot Alt.}{R \cdot (273.15 + T_{Max}}\right)} \tag{5}$$

O_t = Tank çıkışında yüzde oksijen konsantrasyonu, genellikle % 18 - 20

C_L = İşletmede kullanılan oksijen konsantrasyonu. Hesaplamalarda bu değer SND 0.5 mg/L alınmıştır.

$C_{s,20}$ = 20^0C ve 1 atm'de temiz suda çözünmüş oksijen doygunluk konsantrasyonu, 9.07 mg/L

T = İşletme sıcaklığı, 20^0C kabul edilmiştir.

α = Atıksu için oksijen transferi düzeltme faktörü

F = Tıkanma faktörü, tipik değeri 0.65 - 0,9

Oksijen transferi düzeltme faktörü (α), havalandırma tankındaki bakteri konsantrasyonuna göre aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\alpha = 1-0.16(UAKM/1000)^{(2/3)} \quad (6)$$

SOR = 1.42 kg/gün

Havalandırma tankının derinliği 1 m seçildiği için Standart Oksijen Transfer Verimi %10 olarak belirlenmiştir.

Hava debisi, SOTE ve SOR değerleri kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 7).

$$Hava\ Debisi = \frac{SOR}{SOTE * 0.274 kg / Nm^3} \quad (7)$$

Havalandırma için gerekli hava debisi = **1.99 m³/saat = 47.7 m³/gün**

5.5.3 Son Çöktürme Tankı

Son çöktürme tankı yüzey yükü 1 m/saat olarak alınmıştır. Çöktürme tankı boyutları aşağıda verilmektedir;

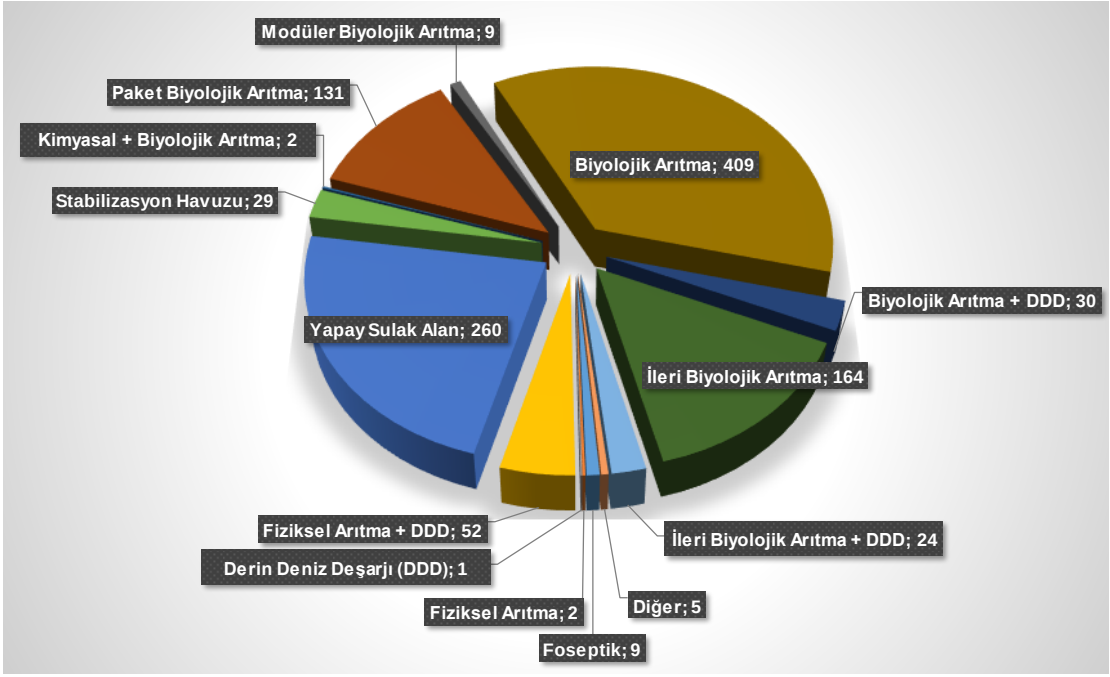
Yüzey alanı = 0.21 m^2
Çap = 0.5 m = 50 cm
Derinlik = 2 m
Hacim = 0.41 m^3
Bekletme süresi = 2 saat

Geri devir oranı 100% olacak şekilde belirlenmiş olup buna göre gerekli geri devir debisi 5 m^3/gün' dür.

6 AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİNİN DÜŞÜK OKSİJEN KONSANTRASYONLARINDA İŞLETİLMESİNİN ÜLKEMİZ KOŞULLARINDA UYGULANABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

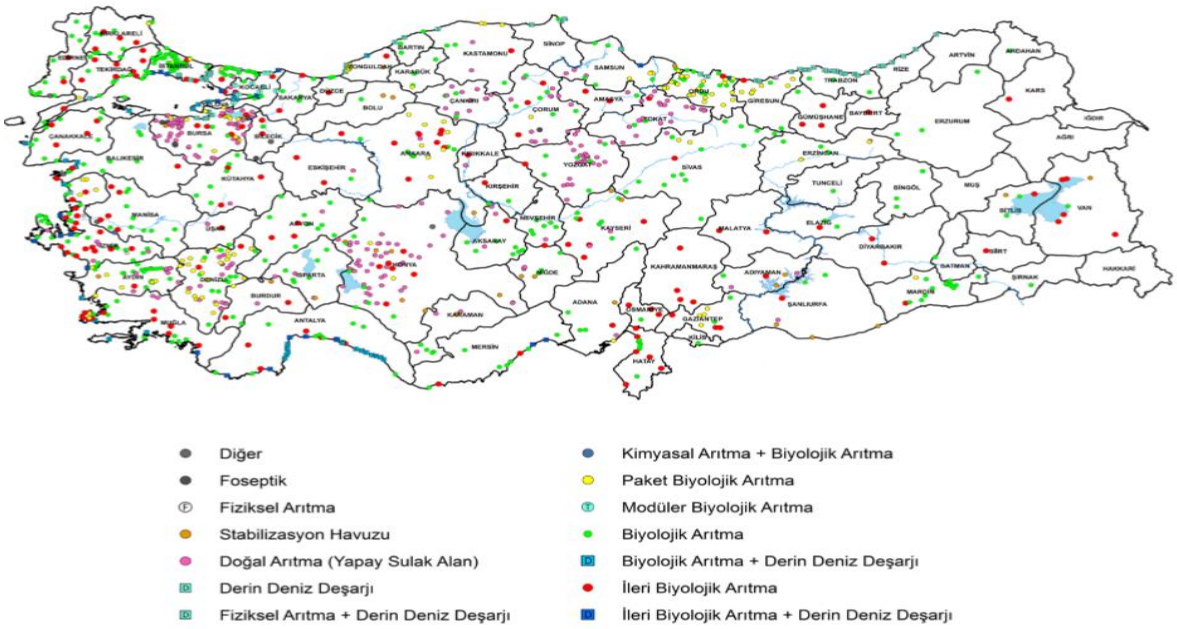
6.1 Evsel Atıksu Arıtımının Türkiye'deki Durumu

TÜİK verilerine göre kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye sayısı 2014 yılı için 1338 olup, kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye nüfusu 67.227.191'dir. Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye nüfusunun toplam nüfusa oranı %84'dür (TÜİK, 2016). Ülke Genelindeki Evsel/Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Mevcut Durumunun Tespiti, Revizyon İhtiyacının Belirlenmesi Projesi (TÜRAAT), kapsamında ülkemizdeki tüm evsel/kentsel AAT'lerin mevcut durumları incelenmiş ve herhangi bir sebepten dolayı işletimine ara verilmiş, inşaatı tamamlanmamış tesislerin işletilebilmesi için gerekli olan yatırımların ve maliyetlerinin fizibilitesi hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bilgilere göre, iller bazında Bursa, İstanbul, Konya ve İzmir en fazla AAT'ye sahip olup işletmede, atıl ve inşaatı devam eden olmak üzere ülkemizde toplam 1127 adet evsel kaynaklı AAT bulunmaktadır (Nas, 2017). TÜRAAT projesine göre ülkemizdeki 1127 AAT'nin kullanılan arıtma teknolojisine göre dağılımı Şekil 6.1'de verilmektedir. Şekil 6.2'de ise ülkemizdeki AAT'lerin bulunduğu yerler harita üzerinde işaretlenmiştir (Nas, 2017).



DDD: Derin Deniz Deşarjı

Şekil 6.1. Teknolojiler arasındaki dağılım
(Nas, 2017)



Şekil 6.2 Ülke genelinde AAT dağılımı
(Nas, 2017)

6.1.1 Mevcut Biyolojik Arıtma Sistemlerimizde Kapasite Kullanımı

Ülkemizde, enerji verimliliği açısından bir diğer olumsuz faktör AAT'lerin kapasitelerinin altında işletiliyor olmalarıdır. TÜRAAT Projesi kapsamında elde edilen veriler üzerinden Türkiye'de kurulu 369 AAT için bir değerlendirme yapılmıştır. Aktif Çamur Prosesinin mevcut olduğu, tesis işletme debisi ve tesis kapasitesi verilerine ulaşılabilmiş olan 369 AAT üzerinden yapılan değerlendirme, bu tesislerin %25'inin kapasitesinin %50'sinden daha az kısmını kullandığını göstermiştir. Tüm bu tesisler arasında kapasite kullanımı %25'in de altında olan tesislerin oranı %4, %25 ila %50 arasında kapasite kullanımı olan tesislerin oranı ise %21 olarak belirlenmiştir.

Arıtma tasarımında kullanılan atıksu karakterizasyonu, genellikle son derece korumacı bir yaklaşım gözetilerek seçilmektedir. Sadece atıksu debileri üstünden yapılan bu değerlendirmeye, atıksu karakterizasyonu ile ilgili bilgiler de eklenebilse, yani bir başka ifade ile tasarım yükü ve mevcut durumdaki atıksu yükü açısından bir değerlendirme yapılabilse, aradaki farkın açılarak, gereğinden büyük tasarlanmış ve/veya verimsiz işletilen tesislerimizin oranının daha da artacağı görülecektir. Bu durum sonucunda da, arıtma tesislerimizin önemli bir kısmının tasarım kriterlerinin dışında, örneğin çok daha yüksek çamur yaşlarında işletildiği tahmin edilmektedir. Bu durum, enerji verimliliğinin arttırılması ve alternatif biyolojik arıtma sistemlerinin, mevcut tesislerimizde uygulanabilirliği değerlendirildiğinde, bu uygulama bir fırsata dönüştürülebilir. Kapasite kullanımının gerek debi, gerekse de tasarım yükü açısından düşük olduğu mevut atıksu arıtma tesislerinden, blower sisteminin ayarlanabilir olduğu, havalandırma hatlarında vanaların bulunduğu mevcut atıksu arıtma tesisleri, düşük oksijen konsantrasyonlarında işletme açısından değerlendirilebilirler.

6.2 Kentsel Atıksu Karakterizasyonu Açısından Ülkemizdeki Durum

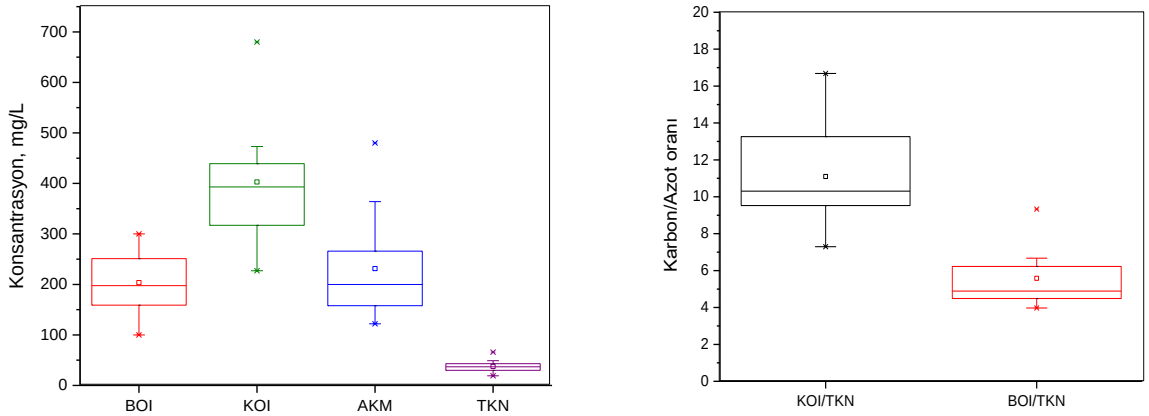
Evsel kaynaklı ham atıksuda çeşitli kirleticilere ait literatürde yer alan tipik konsantrasyon değerleri Tablo 6.1'de verilmiştir (Erdoğan vd., 2006). Parametrelerin, ülkemizdeki konsantrasyon aralıkları ise Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Atıksular arasındaki kirlilik yüklerini karşılaştırabilmek, farklılıkları açığa çıkarmak ve evsel kaynaklı atıksuyun karakterizasyonuna dair değerlendirme yapabilmek için literatürde evsel atıksular kuvvetli, orta ve zayıf olarak sınıflandırılmıştır. Tablo 6.2 ve Tablo 6.3'te ise farklı ülke ve şehirler için atıksu karakterizasyon değeri sunulmuştur (Gu vd., 2016). Buna göre, atıksu

özellikleri incelendiğinde, farklı ülke ve şehirlere ait evsel atıksular arasında önemli farklılıklar olabileceği görülmektedir.

Tablo 6.3'te ülkemizden Adana ve Konya şehirleri için verilen evsel atıksu karakterizasyonlarında da belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Tablo 6.4'te farklı zaman dilimilerinde, ülkemiz atıksularında gerçekleştirilmiş karakterizasyon çalışmaları sonuçları derlenmiştir. Buna göre, atıksu KOİ değerinin ortalamasının 227-680 aralığında değiştiği, görülmektedir. Konvansiyonel BNR sistemlerinde denitrifikasyon verimini etkileyen en önemli parametreler arasında, KOI/TKN parametresi yer almaktadır. Bu nedenle, atıksu arıtma tesislerimizde genellikle ön çöktürme uygulamasından kaçınılmaktadır. Atıksularımızın KOI/TKN oranı çeşitli ülkelerdeki seviyelerle karşılaştırıldığında, orta ve/veya ortanın biraz altında bir seviyede yer aldığı görülmektedir. Minimum orana bakıldığında ise, sağlıklı bir denitrifikasyonun sağlanmasının oldukça güç olacağı düşünülmektedir. Çeşitli çalışmalarda, düşük ÇO konsantrasyonlarında SND prosesi, düşük KOI/TKN içeren atıksularda alternatif olarak önerilmekte, içsel solunum ile oluşan mikrobiyal ürünlerinin (SMP) denitrifikasyonda kullanımı sonucunda denitrifiksyon veriminin yüksek olduğu belirtilmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, kentsel atıksu arıtma tesislerimizde, KOI/TKN oranın düşük olduğu atıksu karakterizasyonunda, konvansiyonel BNR sistemleri yerine SND bir alternatif olabilir. Benzer şekilde, havalandırmanın, biyolojik havuzda kesikli sağlanması ile de SMP denitrifikasyonda kullanım verimi arttırılabilir ve TN giderim performansında iyileşmeye paralel olarak ve/veya kötüleşme olmadan enerji tasarrufu sağlamak mümkün olabilir.

Tablo 6.1 Evsel atıksuya ait tipik değerler
(Erdoğan vd., 2006)

	Konsantrasyon (mg/L)		
	Zayıf	**Orta**	**Kuvvetli**
Toplam Katı Madde (TKM)	350	720	1200
Çözünmüş Madde (ÇM)	250	500	850
Askıda Katı Madde (AKM)	100	200	350
Çökebilen Madde	5	10	20
$BOİ_5$	110	220	400
Toplam Organik Karbon (TOK)	80	160	290
KOİ	250	500	1000
Toplam Azot (TN)	20	40	85
Organik Azot	8	14	35
Amonyum Azotu	12	25	50
Nitrit+nitrat Azotu	0	0	0
Toplam Fosfor (TP)	4	8	15
Organik Fosfor	1	3	5
İnorganik Fosfor	3	5	10
Klorür	30	50	100
Sülfat	20	30	50
Toplam Alkalinite ($CaCO_3$)	50	100	200
Yağ ve Gres	50	100	150
Toplam Koliform (no/100 mL)	10^6-10^7	10^7-10^8	10^7-10^9



a) b)

Şekil 6.3 Ülkemizde kentsel atıksu karakterizasyonu, a) farklı tesislerde ortalama karakterizasyonun dağılımı b) ortalama karbon azot oranı dağılımı

Tablo 6.2 Çeşitli ülkelere ait evsel atıksu karakterizasyon değerleri (Nas, 2017)

	Toplam KOİ, mg/l	Süzülmüş KOİ, mg/l	$BOİ_5$, mg/l	TKN, mg/l	NH_3-N, mg/l	TP, mg/l	UAKM, mg/l	AKM, mg/l	Toplam Alkalinite, mg/l$CaCO_3$
Brezilya	627	157	357	54	30	9.9	297	376	198
Yunanistan			259		39.3	5.9			
Fransa	500	350	200	55			75	150	
İsrail	635	205	201	43	40				
Meksika	416	270	149	57.4	44	9.3	67	155	709
G.Afrika	705		300	37.5					
Danimarka			172	44					
Almanya			200	50					

Tablo 6.3 Farklı ülkelerden çeşitli şehirlere ait evsel atıksu karakterizasyonu

	Sıcaklık (°C)		mg/L							
Konum	**Min**	**Mak.**	**KOİ**	**BOİ$_5$**	**Toplam Katı Madde**	**Toplam Azot (TN)**	**NH_4-N**	**Fosfor**	**KOİ/ BOİ$_5$**	**BOİ$_5$/N**
Oslo, Norveç	6	16	380	120		30		3	3.2	4
Prilep, Makedonya	8	16	500	250	290	45	32	9	2	5.6
Klodzko, Polonya	9	20	400	170	170	37	24	4	2.4	4.6
Batum, Gürcistan	11	22	240		150	26		5		
Invercargill, Y. Zelenda	3	24	330	230	290	39	26	8	1.4	5.9
Konya, Türkiye	8	24	820	430	430	87		13	1.9	4.9
Adana, Türkiye	14	25	475	240	265	44	31	9	2	5.5
Nabeul, Tunus		25	1170	470	610	57		13	2.5	8.2
Santa Cruz, Bolivya	12	26	680	290	370	67	44	12	2.3	4.3
Sevilla, İspanya	8	28	590	350		57	43	9	1.7	6.1
Adama, Etiyopya	13	28	930	360	420	67	43	11	2.6	5.4
Haikou, Çin	21	28	260	100	250	26	19	5	2.6	3.8
Tahran, İran	17	29	460	260	180	48	37	7	1.8	5.4
Nashik, Hindistan	23	30	280	250			30		1.1	
Aguas Blancas, Meksika	23	33	340	150	120	45			2.3	3.3
Dubai, BAE	30	33	580	250	250	48	34		2.3	5.2
Managua, Nikaragua	30	34	770	380	400	39	18	7	2	9.7
Sanhur al M, Mısır	20	35	1300	650	760	120	83	19	2	5.4
Fujairah, BAE	23	35	580	350	260	50	29	7	1.6	7
Almanya	8	20	400-800	200-400	250-500	40-80	25-50	6-12	2	5

Kaynak: Gu vd., 2016

Tablo 6.4 Ülkemizde kentsel atıksu karakterizasyonu

Şehir	Tesis	KOİ (mg/l)		BOI5 (mg/L)		AKM (mg/L)		TKN (mg/L)		TP (mg/l)		KOI/TKN		BOI/TKN		Kaynak
		Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	
İzmir	**İzmir AAT**	79-1154	424	80-540	202	54-1188	250	16-97	41	2.52-27.6	7,68	4,9-11,9	10,34	5-5,6	4,93	(Erdoğan, 2010)
Mersin	**Tarsus AAT**	100-1198	439	140-400	225	19-923	190	21-71	46	15-37	24	4,7-16,8	9,54	6,67-5,6	4,89	
Antalya	**Antalya AAT**	35-704	386	30-475	252	18-840	266	18-840	27	1-14	6	1,9-0,8	14,30	1,7-0,6	9,33	
Ankara	**Ankara AAT**	109-528	305	50-245	159	65-380	147	8-87	40	3.3-12.2	8,2	13,6-6,1	7,63	6,3-2,8	3,98	
Isparta	**Isparta AAT**	184-976	423	150-450	251	75-836	158	-	-	-	-	-	-	-	-	
Muğla	**Fethiye AAT**	190-245	227	-	-	100-270	150	20-37	27	3.3-9	5.4	9,5-6,6	8,47	-	-	
	Marmaris AAT	215-480	370	-	-	170-265	194	31-42	37	5.6-9	7.7	6,9-11,4	10,00	-	-	
	Bodrum AAT	335-530	473	-	-	140-310	227	32-57	45	7-11	8.8	10,5-9,3	10,51	-	-	
İstanbul	**Kadıköy AAT**	220-775	450	150-410	220	140-930	310	22-73	49	5-15	8.1	10-10,6	9,18	6,8-5,6	4,49	(Orhon ve diğ., 1997)
	Küçükçekmece AAT	345-480	400	160-210	185	165-270	200	38.6-46.7	42	6.1-9.6	7.4	8,9-10,3	9,52	4,1-4,5	4,40	
	Baltalimanı AAT	265-645	340	73-200	150	85-318	140	23,9-57	35	5.8-63	6.8	11,1-11,3	9,71	3,1-3,5	4,29	
	Ataköy AAT	160-350	270	-	-	-	-	22-63	37	3-12	7	7,3-5,6	7,30	-	-	
	Yenikapı AAT	270-1480	680	110-425	300	110-820	480	27-92	66	3.6-13	7	10-16,1	10,30	4,1-4,6	4,55	
Kocaeli	**Kullar AAT**	293-576	411	133-278	193	144-297	214	18,36-38	31	3,43-7,72	6	15,9-15,2	13,26	7,2-7,3	6,23	(Aynur, 2015).
	Yeniköy AAT	221-380	317	147-208	177	145-503	364	16-23	19	1-4,4	2	13,8-16,5	16,68	9,2-9	9,32	
	Plajyolu AAT	255-448	377	93-201	148	149-239	193	20-34,47	30	3,31-5,33	4	12,7-13	12,57	4,7-5,8	4,93	
	Karamürsel AAT	93-713	316	40-160	100	52-251	122	2,4-56	22	2,32-8,59	5	38,7-12,7	14,36	16,7-2,9	4,55	
	Gebze AAT	563-733	643	236-360	287	282-382	326	6,99-57	43	2,58-3,51	3	80,5-12,9	14,95	33,8-6,3	6,67	
	Genel Ortalama	-	403	-	203,5	-	231,2	-	37	-	7,21	-	11,10	-	5,58	

6.3 Proje Kapsamında Düzenlenen Atıksu Arıtma Tesislerinde Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimli Yenilikçi Prosesler Çalıştayı Değerlendirmeleri

Türkiye'de enerji pozitif atıksu arıtma sistemlerinin mevcudiyeti ve uygulanabilirliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının atıksu arıtma tesislerinde kullanım potansiyelinin araştırılması için proje kapsamında, 21-22 Kasım 2017 tarihinde TÜBİTAK MAM Gebze/Kocaeli'nde, "Atıksu Arıtma Tesislerinde Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimli Yenilikçi Prosesler Çalıştayı", düzenlenmiştir. Çalıştaya, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Türkiye Kalkınma Bankası, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, İller Bankası, Su ve Kanalizasyon idareleri, çeşitli üniversitelerden akademisyenler, arıtma sistemleri ve yenilenebilir enerji üzerine faaliyet gösteren özel sektör temsilcileri katılım sağlamıştır.

Çalıştay kapsamında, mevcut AAT'ler ile ve yeni kurulacak tesisler açısından, AAT'lerde enerji tüketiminin azaltılmasının önündeki engeller/sorunlar belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra, atıksu arıtma tesislerinde yenilenebilir enerji kullanımının arttırılmasına yönelik SWOT analizi ile olumlu/olumsuz hususlar tartışılmıştır. Bununla birlikte çalıştayda, atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılmasının esas alındığı yenilikçi atıksu arıtma prosesleri konularında önceliklendirme ve öneri geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Son olarak, U.S EPA Atıksu Ofisi tarafından, AAT'lerin enerji yönetimi açısından durumunun değerlendirilmesi ve ihtiyacın ortaya konabilmesi amacıyla geliştirmiş formun uyarlanmış hali, katılımcıların doldurulması sağlanmış, çalıştay hakkında genel değerlendirmeler yapılarak çalıştay sona ermiştir.

Şekil 6.4 Grup çalışmaları

AAT'lerde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik yapılan, fikir üretme ve konsolidasyon çalışması kapsamında, "Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Tüketiminin Azaltılmasının önündeki engeller/sorunlar" başlık çalışmada, sorusu kapsamında, Toplam 8 masada 219 ifade oluşturulmuş ve bunlardan 107 tanesi öncelikli bulunmuştur. Buna göre; ön plana çıkan ifadeler, tasarım (15 ifade), personel (teknik bilgi, uzmanlık vb.) (14 ifade), ölçüm (12) ve yönetim (12) ile ilgili olmuştur. Bu ifadeleri, 8'er sorun ifadesi ile finansman, mevzuat, teknoloji konuları izlemiştir. Yatırım ve teknik altyapı ile ilgili sorun tanımları ise üstünde en az durulan konular olmuştur.

Bu engellerin aşılabilmesine yönelik ihtiyaç belirlenmesi çalışması ve öneriler arasında ise tasarıma ve bilgi eksikliğinin giderilmesine yönelik ihtiyaçlar tanımlanmış, örnek tesislerin kurulmasının yaygınlaşmanın önündeki engelleri kaldıracağı ifade edilmiştir. Öne çıkan bazı ihtiyaç ve öneriler;

- Tasarıma yönelik iyileştirme öneriler, örneğin; enerji optimizasyonu ve enerji açısından en uygun tasarımın seçilmesi enerji verimli ekipmanlar kullanılarak otomasyon ve yenilenebilir enerji için altyapı oluşturulması,
- Personel eğitimleri gibi genel ifadelerin yanında yönlendirici kılavuzların eksikliğine işaret edilmiştir (örneğin; enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik rehber ve/veya web tabanlı uygulamaların geliştirilmesi, TÜBİTAK/Bakanlık vb. fonlarla kurulacak enerji verimli AAT olarak işletilen örnek tesislerin kurulması/işletilmesi vb.).

Bununla birlikte, tesislerin enerji tüketim hedefleri koyması, bu hedeflerin izlenmesi ve raporlanması ile farkındalık oluşmasına katkı sağlanacağı ifade edilmiştir. Atıksu arıtma tesislerinde yenilenebilir enerji kullanımına yönelik öne çıkan olumsuz ifadeler arasında;

- Uygun teknoloji için fizibilite çalışmasının yapılmaması.
- AAT'lerin de yenilenebilir enerji kaynağı kullanımında hem özel sektörde hem de kamuda yetersiz AR-GE çalışmaları.
- İşletme şartnamelerinin enerji hariç ihale edilmesi. Yapım şartnamelerinde enerji verimli teknoloji kullanımını destekleyen şartların olmaması.
- Yerli ürün ve AR-GE merkezlerinin olmaması, dışa bağımlılık.
- Kalifiyeli personel/mühendis, ara eleman eksikliği/yetiştirilmemesi.
- AAT özelinde, şehir şehir, ilçe ilçe, hangi tesis için hangi yenilenebilir enerji kaynağının uygun olduğuna yönelik master plan/ fizibilite eksikliği.

konuları yer almıştır.

Atıksu arıtma tesislerinde yenilenebilir enerji kullanımına yönelik öne çıkan olumlu ifadeler arasında ise;

- Yenilenebilir enerji konusunda çalışmalar yapılarak yeni proses çözümlerinin ortaya çıkartılabilmesi fırsatı.
- Temiz kaynak kullanımın yaygınlaşması, toplumsal bilincin yükselmesi, süreçlerin doğaya verdiği zararı minimuma indirmek.
- AR-GE çalışmaları üniversiteler-özel şirketleri ve kamu firmaların ortak çalışması. Bilginin üretiliyor olması.
- Tesisin kurulu olduğu yer göz önünde bulundurularak rüzgâr, güneşlenme süresi, hidroelektrik için kot farkı; bertarafında sıkıntı yaşanan çamurun yakılması ciddi enerji kaynağı olarak değerlendirilir.
- Yenilenebilir enerji ile yurtdışına bağımlılığın azalması (Petrol doğalgaz).
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının arttırılması ile AAT'lerin çevre yönetimi sistemlerine uygun hale gelmesi.
- İç ve dış finansal kaynakların teşvik için başvurulara açık olması.
- Devletin yenilenebilir enerji kullanımına verdiği teşvik/destek itici güç olabilir.
- Yenilenebilir enerji kullanımı nedeniyle sera gazı emisyonlarının azaltımı.

Son olarak, alternatif yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilikçi AAT alternatifleri/mevcut tesislerde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik proses alternatifleri ve şemalar matris yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Şekil 6.5 Grup çalışmaları sonuçlarının paylaşılması

Birinci gün gerçekleştirilen yenilenebilir enerji kaynakları alternatiflerinin karşılaştırılmasına kullanılan kriterler arasında; Geri Ödeme Süresi, Maliyet, Uygulama Kolaylığı, Mevcut

Teknoloji Seviyesi, Çevresel Etki, Yerli Üretim İmkânı, Finansman Kaynakları, Sera Gazlarına Olumlu Etkisi, Entegrasyon, Mevcut Mevzuatın Uygulaması, Fiziki Altyapı, Verim Artışı, İnsan Kaynağı İhtiyacı ve Mevcut Politikalar yer almıştır. Ağırlıkları ile ön plana çıkan kriterler; Geri Ödeme Süresi, Maliyet, Çevresel Etki, Finansman Kaynakları olmuştur.

Atıksu arıtma tesislerinde yenilenebilir enerji kullanımına yönelik Alternatiflerin kriterler karşısından skorlanması ve ağırlıkları ile çarpılması sonucunda, en yüksek puanı sırasıyla, Enerji Verimliliği, Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma, Biyogaz ile Elektrik Üretimi ve Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi alternatifleri alarak, ön plana çıkmıştır.

İkinci gün gerçekleştirilen yenilikçi AAT alternatifleri/mevcut tesislerde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik proses alternatifleri karşılaştırılmasında yer alan kriterler arasında; Uygulamaya aktarılabilirliği (teknolojinin hazır bulunurluğu ve gerçek ölçekte uygulanabilirliği), Arıtma performansının kararlılığı-stabilitesi (değişken debi ve atıksu karakterizasyonuna adaptasyonu), İşletme/ bakım kolaylığı, İşletme için uzmanlık gereksinimi, Çevresel etki (su kalitesi, hava vb.), Yatırım maliyeti, İşletme maliyeti ve enerji gereksinimi, alan ihtiyacı parametreleri yer almıştır. Ağırlıkları ile ön plana çıkan kriterler; Uygulamaya aktarılabilirliği (teknolojinin hazır bulunurluğu ve gerçek ölçekte uygulanabilirliği), Arıtma performansının kararlılığı-stabilitesi (değişken debi ve atıksu karakterizasyonuna adaptasyonu), Yatırım maliyeti, İşletme maliyeti ve enerji gereksinimi olmuştur.

Alternatiflerin kriterler karşısından skorlanması ve ağırlıkları ile çarpılması sonucunda, mevcut prosesler kapsamında BNR için Proses Kontrolü (örn. otomasyonla DO kontrolü) ve SND ön olana çıkıştır. Her iki alternatifin puan sonuçları birbirine çok yakın çıkmıştır. Diğer taraftan, yenilikçi proseslerden ise en yüksek puanı sırasıyla, Ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi ile Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi alarak ön plana çıkmıştır. Bununla birlikte, Yüksek hızlı aktif çamur sitemi ve hibrit yan akım prosesleri (kimyasalla nütrient geri kazanımı örn. MAP çöktürme, amonyak sıyırma vb.) bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT ise puan sıralamasında ilk üç sıraya girmiştir.

Son olarak, U.S EPA Atıksu Ofisi tarafından, AAT'lerin enerji yönetimi açısından durumunun değerlendirilmesi ve ihtiyacın ortaya konabilmesi amacıyla geliştirmiş formun uyarlanmış hali, katılımcılardan 12 kişi tarafından doldurulmuş (5'li puanlama skalası ile) ve bu kişilerin verdikleri puanların ortalamaları alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlara göre "enerji tüketiminin takibi" ve "işletme talimatları ve kontrolleri" yüksek puan alarak takip ve kontrollerin iyi ve düzenli yapıldığı, "eğitim ve farkındalık" ise düşük puan alarak AAT personelinin enerji yönetimi konularında duyarlılığının düşük ve eğitim programları ve farkındalığı artırma etkinliklerinin bilinmediği ortaya çıkmıştır. Çalıştay kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar, detaylı bir şekilde EK-1'de verilmiştir.

7 SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Organik maddelerin karbondioksit ve biyokütleye dönüştürüldüğü konvansiyonel aktif çamur sistemleri 100 yıldan daha uzun süredir atıksuların arıtımında kullanılmaktadır. Son dönemlerde Konvansiyonel Aktif Çamur prosesleri yüksek enerji tüketimleri sebebi ile dikkat çekmekte ve daha düşük enerji tüketen proseslere, yenilikçi arıtma şemalarının geliştirilmesine ve optimizasyona yönelim artmaktadır. Bunun için, temelde atıksudaki organik maddenin aerobik olarak arıtılması yerine, mümkün olduğunca fazla miktarda enerji üretimi (anaerobik arıtma ve/veya yakma) sağlanması üstüne kurulmuş yenilikçi arıtma şemaları geliştirilmekte ve gerek pilot, gerekse de gerçek ölçekli tesislerde denenmektedir. Atıksudaki organik maddenin biyolojik arıtmaya girmeden enerji üretimi amacıyla ayrılması durumunda, , atıksuda kalan organik madde miktarı nütrientlerin konvansiyonel yöntemlerle giderimi için uygunsuz duruma gelmektedir. Bu nedenle, enerji tüketimin azaltılmasının ve enerji üretiminin arttırılmasının hedeflendiği yenilikçi arıtma yaklaşımları, nütrient gideriminin de mevcut atıksu karakterizasyonuna uygun yenilikçi yöntemlerle yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu rapor kapsamında, literatürde yer alan çalışmalar incelenmiş, pilot ve gerçek ölçekli çalışma sonuçları dikkate alınarak, seçilen beş farklı arıtma şeması için enerji dengesi, oluşacak çamur miktarı ve hacim ihtiyaçları tahmin edilmiştir. Arıtma prosesleri içinde yer alan SND prosesi, gerek mevcut arıtma tesislerine uygulanabilme potansiyeli, gerekse de teknolojinin hazır bulunurluğu açısından, incelenen diğer alternatiflere kıyasla daha avantajlı görünmektedir.

Ülkemizde, gerek mevcut atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılması amacıyla, gerekse de, atıksuyun organik madde içeriğinin artan oranda anaerobik prosese ve/veya yakmaya aktarıldığı yenilikçi bir proseste, biyolojik besin maddesi gideriminin SND ile entegre edilebileceği bir atıksu arıtma sistemi için potansiyel vaat ettiği değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, mikroalg kullanılarak nütrient giderimi yapılması da, mikroalgin ayrılmasındaki sorunların çözülmesine bağlı olarak, uzun vadeli önemli bir alternatif olarak görülmektedir. Bundan sonraki aşamada, mevcut atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılması amacıyla gerçek ölçekli bir AAT'de çalışmalar yapılması, ayrıca yeni kurulacak tesislerde uygulanabilecek kimyasal çöktürme ile zenginleştirilmiş SND prosesinin, pilot ölçekte uygulanmasının değerlendirilmesi önerilmektedir. Her ne kadar, çalışılan prosesler büyük oranda mevcut teknolojileri içeriyor

olsa da, geliştirilen konfigürasyonlar yenidir ve biyolojik sistemin uzun süreli tepkisi ve sonuçları açısından incelenmelidir. Bu nedenle, yürütülecek çalışmaların, gerek sonuca ulaşma, gerekse de verim açısından, en azında birkaç yıllık çalışmalar olarak planlanması önerilmektedir.

Konvansiyonel aktif çamur tesislerinde, enerjinin yarıdan fazlasının havalandırma amacıyla tüketildiği, sürdürülebilir enerji tasarrufu sağlamak ve nütrient deşarj kriterlerine uyum amacıyla AAT'lerin düşük ÇO seviyelerinde havalandırma kontrolü uygulamaya yöneldiği belirtilmiştir. Bu noktada, AAT'ler, teknoloji değişiminden ziyade, öncelikli olarak mevcut proseslerde iyileştirme yönünde uygulamalara yönelmişlerdir. Bu çalışmalardan en yaygın olanı ise düşük oksijen konsantrasyonlarında Eş Zamanlı Nütrient Giderimi (SND) çalışmalarıdır. Başlangıçta eş zamanlı nütrient giderim prosesi tek bir tankta hem nitrifikasyon hem de denitrifikasyonun gerçekleşmesi olarak tanımlansa da (Metcalf and Eddy, 2002), sonraki çalışmalarda SND prosesinde düşük oksijen konsantrasyonlarının nütrient giderim performanslarını etkilediği ortaya koyulmuştur. SND prosesinin avantaj ve dezavantajları Bölüm 3.2, Tablo 3.6'da detaylı olarak verilmiştir. SND proseslerinin düşük oksijen konsatrasyonlarında işletilmesinin öne çıkan avantajları şu şekilde özetlenebilir:

- Mevcut tesislerde uygulanabilirliği daha kolaydır. Eş zamanlı gerçekleştirilen prosesler sayesinde, sadece nitrifikasyon gerçekleşen sistemlerde karşılaşılan pH düşmesi, son çöktürmede denitrifikasyona bağlı çamur kabarması problemleri ortadan kaldırılabilir (azot giderimi bulunmayan ve denitrifikasyon gerçekleşmeyen atıksu arıtma tesislerinde yaz aylarında bu tip problemlerle sıklıkla karşılaşılabilmektedir).
- Ayrı tanklar inşa etme ihtiyacını ve iç geri devir ihtiyacını ortadan kaldırmakta ve proses tasarımını kolaylaştırmaktadır.
- Literatürde, uzun dönemli işletimlerde bazı toksik kimyasalların gideriminde etkili olabildikleri ve ileri biyolojik fosfor giderim performansını olumlu etkilediği belirtilmektedir.

SND proseslerinin düşük oksijen konsatrasyonlarında işletilmesinin dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Yönetimsel güçlükler; kontrol ve işletmede zorluklar ortaya çıkabilir, hassas ÇO kontrolü gerektirir, aklimasyon için uzun dönemli işletme gerekmektedir, atıksu karakterizasyonuna bağlı olarak düşük konsantrasyonlarda, havalandırma yeterli

karışımı sağlayamayabilir ve karıştırıcı gerekebilir (özellikle seyreltik ve düşük kuvvetli atıksular için sorun olabilir). Sistemin performansını etkileyen faktörler arasındaki bağlantılar net olarak bilinmemektedir. Bu durum, ani değişimler karşısında yönetimsel önlemler alınmasını güçleştirebilir.

- Performans; Kısmi azot giderimi gerçekleştirilmektedir. KAS'a kıyasla tam nitrifikasyon için gereken çamur yaşı ihtiyacı daha yüksektir. Düzensiz ve dağınık floklar oluşabilmektedir (flok kaçaklarına ve performansta bozulmaya sebep olabilir).
- Diğer; Literatürde, düşük oksijen konsantrasyonlarında N_2O oluşumu vurgulanmaktadır. Ayrıca filamentli bakterilerin aşırı büyümesine sebep olabileceği belirtilmektedir (literatürde tam tersi etkiden bahseden yayınlar da mevcuttur).

Kapasite kullanımının gerek debi, gerekse de kirlilik olarak, tasarım kriterlerinin altında olduğu mevcut atıksu arıtma tesislerinde uygulanabilirliği yüksek görünmektedir. KOI/TKN oranın düşük olduğu atıksu karakterizasyonunda, konvansiyonel BNR sistemleri yerine SND bir alternatif olarak seçilebilir. Mevcut gerçek ölçekli ve yeni kurulacak tesisler için uygulama öncesinde aşağıdaki unsurlar göz önüne alınmalıdır.

Mekanik, inşaat ve otomasyon açısından dikkat edilmesi gereken hususlar;

- ✓ Düşük oksijen konsantrasyonlarında işletmede, her ne kadar aynı tank içinde nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonları eş zamanlı olarak gerçekleşse ve anoksik tanka olan ihtiyaç ortadan kalksa da, ÇO konsantrasyonuna bağlı olarak reaksiyon hızı limitlendiği için, biyolojik reaktör hacmi, konvansiyonel BNR sistemlerine kıyasla bir miktar daha büyük olmaktadır. Bu durum, sistemin kurulacağı alan gereksinimi açısından dikkate alınmalıdır.
- ✓ Havalandırma havuzunun büyüklüğüne göre, farklı noktalara oksijen probları yerleştirilmeli ve ÇO konsantrasyonunun kontrolü birkaç noktada yapılmalıdır.
- ✓ Düşük oksijen konsantrasyonlarında işletim için, havalandırma difüzörlerini besleyen vanaların oransal olarak çalışabilmesi ve hedeflenen oksijen değerine göre hava debisini kısıp-açacak türden olması gerekmektedir. Kademeli ÇO kontrol yaklaşımı, kontrolü kolaylaştıracaktır.
- ✓ Ayarlanan ÇO konsatrasyonu ve oransal vanaların birbiri ile iletişimini sağlayacak, artan veya azalan ÇO değerine göre vanayı açıp kapatacak yazılımlarla kontroller

sağlanmalıdır. Buna uygun olarak PID (Oransal İntegral Türevsel Kontrol) sistemleri tercih edilebilir. Fakat atıksu içerisindeki değişkenlerden dolayı PID yazılımın farklı formulasyonlarla geliştirilmesi önerilmektedir.

- ✓ Oransal vanalar, ÇO probları ve otomasyon sistemleri kurulurken, enerji tüketimini izleyebilecek sistemler seçilmelidir.
- ✓ Düşük ÇO konsantrasyonlarında çalışmanın, karıştırma ekipmanı gerektirebileceği dikkate alınmalıdır.
- ✓ Ayrıca çıkış suyunda amonyum sensörü kullanılarak, hem performans, hem de ÇO konsantrasyonu bu sensöre bağlı olarak optimize edilebilir.

İşletme parametreleri açısından dikkat edilmesi gereken hususlar;

- ✓ Atıksu karakterizasyonundaki ve debisindeki ani salınımlar, oksijen konsantrasyonunun ayarlanmasını güçleştirmektedir. Düşük oksijen konsatrasyonlarına adapte olmuş mikroorganizma türlerinin aktivitesinin sürekliliği için AAT giriş atıksuyu karakterizasyonu izlenmeli, salınımlar, dengeleme sistemi ve/veya ön çöktürme ile dengelenmeye çalışılmalıdır.
- ✓ Değişen atıksu karakterizasyonuna bağlı olarak, düzensiz ve dağınık flok sorunları gözlendiği için, işletim sırasında flok yapısı sürekli olarak takip edilmelidir. İşletme esnasında mümkünse flok yapısını bozmayan optimum koşulların tespit edilmesi/sürüdürülmesi önerilmektedir.
- ✓ Atıksu yükündeki değişimlere ve/veya sıcaklık değişimi gibi faktörlere bağlı olarak çökelme özelliklerinin bozulması durumunda, son çöktürme öncesinde alum, PAC (polialüminyum klorür) ve/veya demirklorür ($FeCl_3$) kullanımı değerlendirilmelidir.
- ✓ Düşük ÇO konsatrasyonlarındaki çalışmaların uzun dönemli işletimler ile sonuç verdiği farklı birçok çalışmada ifade edilmiştir. Bu sebeple, gerçek ölçekli işletmelerin öncelikle işletmeyi aksatmayacak şekilde uygulama yapmaları, bunun için imkan varsa pilot ölçekte, imkanı yoksa gerçek ölçekte varsa yedek havalandırma havuzunun düşük ÇO konsantrasyonlarında SND olarak işletilmesi düşünülebilir.

Diğer hususlar;

- ✓ Düşük oksijen konsantrasyonlarında N_2O oluşumu izlenmeli ve konvansiyonel işletilen sistemlerle karşılaştırılmalıdır.

- ✓ MBR ile işletilen tesisler için de düşük ÇO konsantrasyonlarında çalışmak mümkündür. Yapılan çalışmalarda, düşük ÇO'da işletilen MBR tesislerinde, toplam azot giderimlerinde, normal şartlara göre artış olduğu ifade edilmiştir. Fakat, normal işletme şartlarına göre düşük ÇO'da tıkanma performanslarının uzun dönemli izlenmesi, işletme problemleri açısından önemli bir bilgi kaynağı sağlayabilir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, kuvvetli evsel atıksuların (biyolojik arıtma için oksijen ihtiyacı yüksek olduğu için membran sıyırma için minimum havalandırmanın sağlanması mümkün olabilir) ve/veya evsel atıksuya kıyasla kirliliği daha yüksek olan endüstriyel atıksular için daha uygun olabilir.

Ülkemizde enerji-nötr veya pozitif AAT'lere geçiş için AAT'lerde enerji tüketiminin en aza indirilmelmesi ve enerji üretiminin artırılması ve bu konuda gerçekleştirilen çalışmaların yaygınlaşması önem arz etmektedir. Bunun için, enerji verimliliği göz önünde bulundurularak, arıtma tesislerine olan bakışın yeniden düzenlendiği yenilikçi atıksu arıtma proseslerine yönelik çalışmalar, atıksu arıtma tesislerinde tüketilen enerji miktarının azaltılması açısından son derece önemlidir. Gerçekleştirilen çalışmalar, deneysel aşamaları içermesi ve biyolojik sistemlerin temel mekanizmasının, mikroorganizmaların gerçekleştirdiği biyokimyasal süreçler olması nedeniyle uzun soluklu çalışmalardır. Nitekim düşük ÇO konsantrasyonlarında SND prosesinin uygulandığı pilot çalışmalarda, sistemde mikroorganizma çeşitliliğinin artması ve değişmesi ile uzun işletme sonunda çok yüksek giderim verimlerine ulaşıldığı raporlanmıştır.

Sonuç olarak, AAT'lerde önemli bir enerji tasarrufu potansiyeli mevcut görünmekte olup, bu potansiyelin harekete geçirilmesinde üstünde durulması önerilen çalışma konuları özet olarak aşağıda sunulmuştur;

- Mevcut AAT'lerde SND prosesinin ve/veya kesikli havalandırma uygulamasının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla, seçilecek mevut bir pilot AAT'de uygulama yapılması önerilmektedir.
- Gerek SND uygulamasında, gerekse de konvansiyonel sistemlerde karşılaşılan çökelme problemlerinin önlenmesine yönelik kontrol sistemlerinin geliştirilmesi, ayrıca ekonomik ve basit filtrelerin geliştirilmesi çalışmalarının desteklenmesi faydalı olacaktır.

- Yenilikçi yaklaşımlarla atıksu arıtımını bütüncül bir yaklaşımla değerlendirildiği çalışmaların artması ve bu konuda yürütülecek projeler, kurulacak pilot sistemler desteklenmesi önerilmektedir. Örneğin, organik maddenin olabildiğince enerji üretimi amacıyla kullanılabileceği yenilikçi arıtma ve nütrient giderimi çalışmaları, yakma ile birlikte değerlendirilmeli ve yakma sonrasında kalan külden fosfor ve değerli madde geri kazanımı ayrıca incelenmelidir. Bu çerçevede, bütüncül bir yaklaşımla geliştirilecek sistemlerde, geleceğin potansiyel yakıtları olarak görülen mikroalglerin, atıksulardan nütrient giderimi için kullanılmasının araştırılması da önerilmektedir.
- Arıtma çamuru ve diğer atıklar ile birlikte kurutma ve yakma ile yardımcı yakıt olmadan elektrik üretimi, arıtma çamurundan doğalgaz ve sıvı yakıt üretimi çalışmaların desteklenmesi önerilmektedir. Bunun için, öncelikli olarak farklı tip ve özellikteki AAT'lerde oluşan çamur özelliklerinin ve detaylı karakterizasyonunun belirlenmesi faydalı olacaktır.
- Arıtma tesislerinde giriş kısmında Arşimet vidası ile elektrik üretimine yönelik pilot uygulama ve çalışmaların desteklenmesi ve pilot uygulamalar faydalı olacaktır.
- Arıtma tesislerinde enerji etiketleme ve benchmarking aracı geliştirilmesine yönelik çalışma ve projelerin desteklenmesi ile AAT'lerde öz değerlendirme ve farkındalık oluşturmasına ve enerji tüketiminin azaltılmasına katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

Yenilenebilir enerji uygulamalarının yanı sıra, yukarıda belirtilen uygulamalar ile ülkemizde bulunan arıtma tesislerinde sağlanacak enerji verimliliği sayesinde, pozitif enerji konseptine uygun tesislerin olabileceği ve mevcut duruma göre önemli oranlarda kaynak kullanımında azalma sağlanabileceği öngörülmektedir.

8 KAYNAKLAR

Adonadaga, M., (2015). Effect of Dissolved Oxygen Concentration on Morphology and Settleability of Activated Sludge Flocs, 3(2), 31–37.

Aitken, D., Antizar-Ladislao, B., (2012). Achieving a green solution: Limitations and focus points for sustainable algal fuels. Energies 5 (5), 1613-1647.

Al-Omari, A., Wett, B., Nopens, I., De Clippeleir, H., Han, M., Regmi, P., Bott, C., Murthy, S., (2015). Model-based evaluation of mechanisms and benefits of mainstream shortcut nitrogen removal processes.). Water Sci Technol, 71 (6), 840-847.Cao

Aynur, Z., (2015). Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Bhatnagar, A., Bhatnagar, M., Chinnasamy, S., Das, K.C., (2010). Chlorella minutissima—a promising fuel alga for cultivation in municipal wastewaters. Applied Biochemistry and Biotechnology 161:523–36.

Bohutskyi, P., Chow, S., Ketter, B., Shek, C., F., Yacar, D., Tang, Y., Bouwer, E., J., (2016). Phytoremediation of agriculture runoff by filamentous algae poly-culture for biomethane production, and nutrient recovery for secondary cultivation of lipid generating microalgae. Bioresour. Technol. 222, 294–308.

Brennan, L., Owende, P., (2010). Biofuels from microalgae-A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2), 557-577.

Cabanelas, I., T., D., Ruiz, J., Arbib, Z., Chinalia, F., A., Garrido-Pérez, C., Rogalla, F., Nascimento, I., A., Perales, J., A., (2013). Comparing the use of different domestic wastewaters for coupling microalgal production and nutrient removal. Bioresource technology, 131, 429-436.

Cai, T., Park, S.Y., Li, Y., (2013). Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews 19:360–369.

Cao, Y., S., Kwok, B., H.,Yong, W., H., Chua, S., C., Wah, Y., L., Ghani Y., A., (2013) The main stream autotrophic nitrogen removal in the largest full scale activated sludge process.

Crawford, G., (2011). The Strass im Zillertal Wastewater Treatment Plant, A Case Study-Net Energy Positive WWTP near Innsbruck, Austria.

Carvalheira, M., Oehmen, A., Carvalho, G., Eusébio, M., Reis, M. A., (2014). The Impact of Aeration on the Competition Between Polyphosphate Accumulating Organisms and Glycogen Accumulating Organisms. Water Res., 66, 296-307.

Chi, Z., Zheng, Y., Jiang, A., Chen, S., (2011). Lipid production by cultur ingoleaginousyeast and algae with food waste and municipal wastewater in an integrated process. Applied Biochemistry and Biotechnology 165:442–53.
Chinnasamy, S., Bhatnagar, A., Hunt, R., W., Das, K., C., (2010). Microalgae cultivation in a wastewater dominated by carpet mill effluents for biofuel applications. Bioresource Technology 101 (9):3097-3105.

Cong, Y.L., Gao, D., Huang, X., Tao, Y., Wang, X., (2015). Sewage treatment by an UAFB-EGSB biosystem with energy recovery and autotrophic nitrogen removal under different temperatures. Bioresource technology, 181, 26-31.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), (2010). Atıksu Arıtımında Enerji Verimliliği Rehberi. Türkiye-Hollanda ikili işbirliği, G2G projesi. Ekim 2010. Ankara.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2013). Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi final raporu . Mevcut Tesislerin İncelenmesi iş paketi (İP 1), Sayfa No: 85.. **http://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru-33959** . [Online]

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2015). Atıksu Arıtımı Eylem Planı 2015-2023, Ankara.

Daigger, G. T., & Littleton, H. X., (2014). Simultaneous biological nutrient removal: A state-of-the-art review. Water Environment Research, 86(3), 245-257.

De Clippeleir, H., Vlaeminck, S.E,, de Wilde, F., Daeninck, K., Mosquera, M., Boeckx, P., Verstraete, W., Boon, N., (2013). One-stage partial nitritation/anammox at 15 C on pretreated sewage: Feasibility demonstration at lab-scale, 10199-10210.

De Clippeleir, H., Yan, X., G., Verstraete, W., Vlaeminck, S., E,. (2011). OLAND is feasible to treat sewage-like nitrogen concentrations at low hydraulic residence times. Appl Microbiol Biotechnol., 90: 1537. 1537-1545.

DHI, (2015). ENERGY+: AB Process Pilot Plant. A novel integrated concept for retrofitting and optimising existing wastewater treatment plants to make them energy self-sufficient.

EPA, (2008), Ensuring a sustainable future: An Energy Management Guidebook for Wastewater and Water Utilities.

Erdoğan, A. O., Zengin, G. E., Orhon, D., (2010). Türkiye'de evsel atıksu oluşum miktarları ve karakterizasyonu. İTÜ Dergisi, 15(1, 3), 57-69.

Erdoğan, A.O., Orhon, D., Sözen, S., Görgün, E., (2006). Türkiye'de optimum maliyete dayalı atıksu arıtma tesisi tasarımı, İTÜ Dergisi, 5 (2), 13-24.

Ergas, S., J., Aponte-Morales, V., (2013) Biological Nitrogen Removal, in Comprehensive Water Quality and Purification: Vol. 3 Remediation of Polluted Waters, S. Sengupta Editor, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.

Erşahin, M., E., Dereli, R., K., Özgün, H., Akmirza, Z., A., Öztürk, İ., (2017). Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 21, Sayı 2, 380-387.

Fan, H., Qi, L., Liu, G., Zhang, Y., Fan, Q., & Wang, H., (2017a). Aeration optimization through operation at low dissolved oxygen concentrations: Evaluation of oxygen mass transfer dynamics in different activated sludge systems. Journal of Environmental Sciences (China), 55, 224–235.

Fan, H., Liu, X., Wang, H., Han, Y., Qi, L., Wang, H., (2017b). Oxygen transfer dynamics and activated sludge floc structure under different sludge retention times at low dissolved oxygen concentrations. Chemosphere, 169, 586–595.

Fuerhacker, M., Bauer, H., Sree, U., Schmid, H., Zibuschka, D., Puxbaum, H., (2000). Approach for a novel control strategy for simultaneous nitrification denitrification in activated sludge reactors. Water Res. 34, 2499- 2506.

Fujimoto, N., Sudo, R., Sugiura, N., Inamori, Y., (1997). Nutrient-limited growth ofmicrocystis aeruginosa and phormidium tenue and competition under various N:P supply ratios and temperatures, Limnol. Oceanogr. 42:250–256.

Fukuzaki, Y., Nakamura, Y., Kawakubo, Y., Watanabe, T., (2015) Energy self-suffcient wastewater treatment technologies by anaerobic ammonium oxidation, 164(2), 21–29.

Gao, F., Li, C., Yang, Z. H., Zeng, G. M., Feng, L. J., Liu, J. Z., Liu, M., Cai, H. W., (2016). Continuous microalgae cultivation in aquaculture wastewater by a membrane photobioreactor for biomass production and nutrients removal. Ecological engineering, 92, 55-61.

GE, (2017). Pilot Results Show the Potential for a Municipal Wastewater Treatment Plant in Italy to Achieve Energy Neutrality. (http://www.genewsroom.com/press-releases/pilot-results-show-potential-municipal-wastewater-treatment-plant-italy-achieve).

Geilvoet, S., P., Van Erp Taalman Kip, C., S., Hendrickx, T., L., G., Hekstra, M., (2015). Mainstream deammonification at WWTP Rotterdam-Dokhaven, 18-21.

Gikas, P., (2017). Towards energy positive wastewater treatment plants. Journal of Environmental Management, 203, 621-629.

Gilbert, E., M., Agrawal, S., Karst, S., M., Horn, H., Nielsen, P., H., Lackner, S., (2014). Low temperature partial nitritation/anammox in a moving bed biofilm reactor treating low strength wastewater. Environ. Sci. Technol., 48 (15), pp 8784–8792.

Gonzales, L., (1997). Efficiency of ammonia and phosphorus removal from a colombian agroindustrial wastewater by the microalgae Chlorella vulgaris and Scenedesmus dimorphus. Bioresource Technology 60 (3):259-262.

Grady, C. O, L.J. Daigger and Lim H.C., (1999) Biological Wastewater Treatment, New York, NY.

Gu, Y., Li, Y., Li, X., Luo, P., Wang, H., Wang, X., Wu, J., Li, F., (2017). Energy self-sufficient wastewater treatment plants: feasibilities and chalenges. Energy Procedia 105: 3741 – 3751.

Gu, Y., Li, Y., Li, X., Luo, P., Wang, H., Wang, X., Wu, J., Li, F., (2016). Energy self-sufficient wastewater treatment plants: feasibilities and challenges.
Gustavsson, D., J., I., Persson, F., Jansen, J., L., C., (2014). Manammox-mainstream anammox at Sjölunda WWTP.

Gülsoy, İ., (2017). Kentsel Atiksu Aritma Tesisinin Online İzlenmesi İle Enerji Etüt ve Optimizasyonu, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Gürol, M., D., (2013). Mikroalglerden Biyodizel Üretiminde Yenilikçi (Innovative) Yaklaşımlar. Proje No: ÇAYDAG–109Y296, (2010-2013 dönemi), Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, Türkiye.

Haas, D., Dancey, M., (2015). Wastewater treatment energy efficiency. Technical Paper, Water, p. 54.

Han, M., De, Clippeleir H., Al-Omari A, Wett B., Vlaeminck, S., E., Bott, C., Murthy, S., (2016). Impact of carbon to nitrogen ratio and aeration regime on mainstream deammonification, Water Science & Technology 74 (2).

Harun, R., Singh, M., Forde, G., M., Danquah, M., K., (2010). Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (3), 1037-1047.

Hellinga, C., Loosdrecht, M., V., Heijnen, S., J., (1979). The Sharon process for nitrogen removal in ammonium rich waste water. Water Science and Technology, 37, 9, 135-142.

Hendrickx, T., L., G., Wang, Y., Kampman, C., Zeeman, G., Temmink, H., Buisman, C., J., N., (2012). Autotrophic nitrogen removal from low strength waste water at low temperature, Water Research, 46 (7), 2187-2193.

Hocaoglu, S., M., Insel, G., Ubay Cokgor, E., Orhon, D., (2011b). Effect of sludge age on simultaneous nitrification and denitrification in membrane bioreactor. Bioresource Technology, 102(12), 6665–6672.

Hocaoglu, S., M., Insel, G., Cokgor, E.U., Orhon, D., (2011a). Effect of low dissolved oxygen on simultaneous nitrification and denitrification in a membrane bioreactor treating black water. Bioresource Technol 102, 4333-4340.

Hocaoğlu, S., (2010). Mechanisms and modelling of segregated household wastewater treatment by membrane bioreactor.

Hong, X., Chen, Z., Zhao, C., & Yang, S., (2017). Nitrogen transformation under different dissolved oxygen levels by the anoxygenic phototrophic bacterium Marichromatium gracile. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 33(6), 1–10.

Hu, Z., Lotti, T., Kreuk, M., D., Kleerebezem, R., van Loosdrecht, M., S., M., Kruit, J., Jetten, M., S., M., Kartala, B. (2013). Nitrogen removal by a nitritation anammox bioreactor at low temperature, Applied and Environmental Microbiology, 79 (8), (2013), 2807-2812.

Insel, G., Erol, S., Ovez, E., (2014). Effect of simultaneous nitrification and denitrification on nitrogen removal performance and filamentous microorganism diversity of a full-scale MBR plant. Bioprocess Biosyst Eng 37:2163–2173.

Insel, H., G., Çokgör, E., Güneş, G., Okutman, D., (2016). Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul. (Proje kapsamında gerçekleştirilen patent: Biofilm nitrification - contact denitrification system and method (patent no: WO2016122426A1)).

IWAMA, 2016-2017. Energy-efficient and cost-effective wastewater treatment concept.

Jia, H., Yuan, Q., (2016). Removal of nitrogen from wastewater using microalgae and microalgae–bacteria consortia. Cogent Environmental Science 2: 1275089.

Jimenez, J., Bott, C., Regmi, P., Rieger, L., (2013). Process Control Strategies for Simultaneous Nitrogen Removal Systems, Conference Paper, WEF.

Jimenez, J., Dursun, D., Dold, P., Bratby, J., Keller, J., Parker, D., (2010). “Simultaneous nitrification-denitrification to meet low effluent nitrogen limits: Modeling, Performance, and Reliability.” Proceedings of the 83th Annual Water Environment Federation Technical Exposition and Conference, New Orleans, LA, Oct 2-6, 2010, 2404-2421.

Ju, L.-K., Huang, L., & Trivedi, H., (2006). Simultaneous Nitrification and Denitrification Through Low-Do Operation. WEFTEC, 1583–1597.

Ju, L.-K., Huang, L., Trivedi, H., (2007). Simultaneous nitrification, denitrification, and phosphorus removal in single-tank low-dissolved-oxygen systems under cyclic aeration. Water Environment Research: A Research Publication of the Water Environment Federation, 79 (8), 912–920.

Kaempfer, H., Daigger, g., Adams, c., (2000). Characterization of the floc micro-environment in dispersed growth systems. Proceedings of the 73rd Annual Water Environment Federation Technical Exposition and Conference, Anaheim, California, Oct. 14-18; Water Environment Federation: Alexandria, Virginia.

Keene, N., A., Reusser, S., R., Scarborough, M., J., Grooms, A., L., Seib, M., Domingo, J., S., Noguera, D., R., (2017). Pilot plant demonstration of stable and efficient high rate biological nutrient removal with low dissolved oxygen conditions. Water Research 121:72-85.

Kim, B., H., Kang, Z., Ramanan, R., Choi, J., E., Cho, D., H., Oh., H., M., Kim, H., S., (2014). Nutrient Removal and Biofuel Production in High Rate Algal Pond Using Real Municipal Wastewater. J. Microbiol. Biotechnol. 24 (8),1123–1132.

Kim, J., Liu, Z., Lee, J., Y., Lu, T., (2013). Removal of nitrogen and phosphorus from municipal wastewater effluent using Chlorella vulgaris and its growth kinetics. Desalination and Water Treatment, 51, 7800–7806.

Kong, Q., Li, L., Martinez, B., Chen, P., Ruan, R., (2010). Culture of Microalgae Chlamydomonas reinhardtii in Wastewater for Biomass Feedstock Production. Applied Biochemistry and Biotechnology, 160 (1), 9-18.

Kumar, M., S., Miao, Z., H., Wyatt, S., K., (2010). Influence of nutrient loads, feeding frequency and inoculum source on growth of Chlorella vulgaris in digested piggery effluent culture medium. Bioresource technology, 101(15), 6012-6018.

Larsdotter, K., (2006). Wastewater treatment with microalgae-a literature review. Vatten, 62 (1), 31-38.

Larsson, V., (2011). Energy savings with a new aeration and control system in a mid-size Swedish wastewater treatment plant. Uppsala University.

Laureni, M., Flas, P., Robin, O., Wick, A., Weissbrodt, D., G., Nielsen, J., L., Ternes, T., A., Morgenroth, E., Joss, A., (2016). Mainstream partial nitritation and anammox: long term process stability and effluent quality at low temperatures, Water Research 101, 628-639.

Li, X., Sun, S., Badgley, B., D., Sung, S., Zhang, H., Zhen H., (2016). Nitrogen removal by granular nitritation–anammox in an upflow membrane-aerated biofilm reactor, In Water Research 94, 23-31.

Li, Y.,Chen, Y., Chen, P., Min, M., Zhou, W.,Martinez, B., (2011). Characterization of a microalga Chlorella sp. well adapted to highly concentrated municipal wastewater for nutrient removal and biodiesel production. BioresourceTechnology, 102 (8), , Pages 5138-5144.

Liu, G., & Wang, J., (2013). Long-term low DO enriches and shifts nitrifier community in activated sludge. Environmental Science and Technology, 47(10), 5109–5117.

Liu, G., (2012). Nitrification Performance of Activated Sludge Under Low Dissolved Oxygen Conditions, Missouri University of Science and Technology.

Liu, J., Wang, J., Zhao, C., Liu, J., Xie, H., Wang, S., Hu, Z., (2017). Performance and mechanism of triclosan removal in simultaneous nitrification and denitrification (SND) process under low-oxygen condition. Applied Microbiology and Biotechnology, 101 (4), 1653–1660.

Lotti, T., Kleerebezem, R., Hu, Z., Kartal, B., Jetten, M., S., M., van Loosdrecht, M., C., M., (2014a). Simultaneous partial nitritation and anammox at low temperature with granular sludge. Water Research, 66, 111-121.

Lotti, T., Kleerebezem, R., Hub, Z., Kartal, B., de Kreuk, M., K, van Erp Taalman Kip, C., Kruit, J., Hendrickx, T., L., G., van Loosdrecht, M., C., M., (2014b). Pilot scale evaluation of anammox based main-stream repression during partial nitritation with granular sludge. Journal Environmental Technology, 36 (9), 518-530.

Luo, Y., Pierre Le-Clech, P., Henderson, R., K., (2017). Simultaneous microalgae cultivation and wastewater treatment in submerged membrane photobioreactors: A review. Algal Research 24:425–437.

Ma, B., Zhang, S., Zhang, L., Yi, P., Wang, J., Wang, S., Peng, Y., (2011). The feasibility of using a two-stage autotrophic nitrogen removal process to treat sewage, Bioresource Technology, 102 (17), 8331-8334.

Magdum, S., Kalyanraman, V., (2017). Existing Biological Nitrogen Removal Processes and Current Scope of Advancement. Research Journal of Chemistry and Environment, 21 (7), 43-53.

Martins, A., M., P., Heihen, J., J., Van Loosdrecht, M., C., M., (2004). Bulking Sludge in Biological Nutrient Removal Systems. Biotechnol. Bioeng., 86, 125-135.

Mata T., M., Martins A. A., Caetano, N. S., (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (1), 217-232.

McCarty, PL., Bae, J., Kim, J., 2011. “Domestic wastewater treatment as a net energy producerâ€“can this be achieved?.” *Environmental Science & Technology*, 45 (17), 7100-7106.

McGinn, P., J., Dickinson, K., E., Park, K., C., Whitney, C., G., MacQuarrie, S., P., Black, F., J., Frigon, J., C., Guiot, S., R., OLeary, S., J., B., (2012). Assessment of the bioenergy and bioremediation potentials of the microalga Scenedesmus sp. AMDD cultivated in municipal wastewater effluent in batch and continuous mode. Algal Res. 1:155–165.

MetCalf and Eddy, (2003). “Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse,” 3rd edition, McGraw-Hill Publishing Company, Ltd., New York.

Mines, R., O., Callier, M., C., Drabek, B., J., Butler, A., J., (2017). Comparison of oxygen transfer parameters and oxygen demands in bioreactors operated at low and high dissolved oxygen levels. Journal of Environmental Science and Health-Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, 52(4), 341–349.

Mizuta, K., Shimada, M., (2010). Benchmarking energy consumption in municipal wastewater treatment plants in Japan. Water Science and Technology, 62 2256-2562.

Munoz, R., Guisyssea, B., (2006). Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review. Water Research 40:2799–2815.

Nam, K., Lee, H., Heo, S., W., Chang, Y., K., Han, J., I., (2017). Cultivation of Chlorella vulgaris with swine wastewater and potential for algal biodiesel production. Journal of Applied Phycology 29 (3),1171-1178.

Nas, B., (2017). Atıksu Arıtma Tesislerinde İşletme Sorunları ve Çözümleri, Ankara.

Nuhoğlu, A., (2012). System design for organic carbon and nutrient removal from sewage based on energy recovery, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Orhon, D., Ateş, E., Sözen, S., Çokgör, E. U., (1997). Characterisation and COD fractionation of domestic wastewater, Environmental Pollution, 95 (2), 191-204.

Oswald, W., J., (1998). Micro-algae and waste-water treatment. Ed. Borowitzka, M., Borowitzka, L., Microalgal Biorechnology. Cambridge, Cambridge University Press, 288-328.

Oswald, W., J., Golueke, C., G., (1960). Biological transformation of solar energy. Adv. Appl. Microbiol. 2, 223-262.

Park, H., D., Noguera, D., R., (2004). Evaluating the effect of dissolved oxygen on ammonia-oxidizing bacterial communities in activated sludge. Water Research, 38 (14–15), 3275–3286.

Peng, Z., Peng, Y., Yu, Z., Liu, X., Li, X., Wang, R., (2012). Control of sludge settleability and nitrogen removal under low dissolved oxygen condition. Frontiers of Environmental Science and Engineering in China, 6(6), 884–891.

Pragya N., Pandey K. K., Sahoo P. K., (2013). A review on harvesting, oil extraction and biofuels production technologies from microalgae. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 24, 159-171.

Quijanoa, G., Arcilaa, J., S., Buitron, G., (2017). Microalgal-bacterial aggregates: Applications and perspectives for wastewater treatment. Biotechnology Advances 35, 772–781.

Rawat I., Ranjith Kumar R., Mutanda T., Bux F., (2011). Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. Applied Energy, 88 (10), 3411-3424.

Regmi, P., Miller M., W., Holgate, B., Bunce, R., Park, H., Chandran, K., Wett, B., Murthy, S., Bott, C. (2014a). Control of aeration, aerobic SRT and COD input for mainstream nitritation/denitritation, Water Research, 57, 162-171.

Regmi, P., Holgate, B., Fredericks, D., Miller, M., W., Wett, B., Murthy, S., Bott, C., (2014b). A pilot-scale mainstream nitritation-denitritation process followed by an anammox MBBR operated within wide range of operating conditions, Proceedings of IWA World Water Congress, Lizbon.

Ren., H., Tuo, J., Addy, M.M., Zhang, R., Lu, Q., Anderson, E., Chen, P., Ruan, R., (2017). Cultivation of Chlorella vulgaris in a pilot-scale photobioreactor using real centrate wastewater with waste glycerol for improving microalgae biomass production and wastewater nutrients removal. Bioresource Technology 245, 1130–1138.

Ruiz-Marin, A., Mendoza-Espinosa, L.G., Stephenson, T., (2010). Growth and nutrient removal in free and immobilized green algae in batch and semi-continuous cultures treating real wastewater. BioresourceTechnology 101, 58–64.

Ruscalleda Beylier, M., Balaguer, M. D., Colprim, J., Pellicer-Nàcher, C., Ni, B., J., Smets, B. F., Wang, R., C., (2011). Biological nitrogen removal from domestic wastewater. Comprehensive Biotechnology, 329–340.

Sager, A., E., (2016). Experimental studies of simultaneous nitrification denitrification and phosphorus removal at falkenburg advanced wastewater treatment plant. University of South Florida.

Salmistraro, M., (2015). Mainstream deammonification reac-tor at low DO values and employing granular biomass. KTH, School of Architecture and the Built Environment (ABE), Sustainable development, Environmental science and Engineering, Land and Water Resources Engineering, TRITA-LWR Degree Project, İsveç.

Sanchez E., Ojeda K., El-Halwagi M., Kafarov V., (2011). Biodiesel from microalgae oil production in two sequential esterification/transesterification reactors: Pinch analysis of heat integration. Chemical Engineering Journal, 176, 211-216.

Sandip, M., Kalyanraman, V., (2017). Existing biological nitrogen removal processes and current scope of advancement, Research Journal of Chemistry and Environment, 21(7), 43-53.

Seuntjens, D., Bundervoet, B., L., M., Mollen, H., De Mulder, C., Wypkema, E., Verliefde, A., Nopens, I., Colsen, J., G., M., Vlaeminck ,S., E., (2016). Energy efficient treatment of A-stage effluent: pilot-scale experiences with shortcut nitrogen removal. Water Science Technol., 73(9), 2150-2158.

Shen, Y., Gao, J., Li, L., (2017). Municipal wastewater treatment via co-immobilized microalgalbacterial symbiosis: Microorganism growth and nutrients removal. Bioresource Technology 243, 905–913.

Shi, C., Y., (2011). Mass Flow and Energy Efficiency of Municipal Wastewater Treatment Plants. IWA Publishing. ISBN13: 9781843393825.

Si-qing, X., Ting-yao, G., Zeng-yuan, Z., (2001). Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal Under Low Dissolved Oxygen Conditions. Journal of Environmental Science, 13, 46–50.

Sniffen, K., D., Sales, C. M., Olson, M., S., (2016). Nitrogen removal from raw landfill leachate by an algae-bacteria consortium. Water Science and Technology, 73, 479–485.

Soydemir, G., Keris-Sen, U., D., Sen, U., Gurol, M., D., (2016). Biodiesel production potential of mixed microalgal culture grown in domestic wastewater. Bioprocess and Biosystems Engineering 39 (1), 45–51.

Sözen, S., Teksoy-Başaran, S., Ergal, İ., Karaca, C., Allı, B., Razbonyalı, C., Ubay-Çokgör, E., Orhon, D. (2018). A novel process maximizing energy conservation potential of biological treatment: Super fast membrane bioreactor. Journal of Membrane Science 545, 337–347.

Stadler, L., B., Love, N., G., Aga, D., S., (2016). Elucidating the impact of low dissolved oxygen wastewater treatment on pharmaceutical fate, Microbial Biotechnology, 1-13.

Stensel, H., D., (2001). Biological nutrient removal: Merging engineering innovation and science. proceedings of the 74th annual water environment federation technical exposition and confrence, Atlanta, Georiga, Oct. 13-17; Water Environment Federation: Alexandria, VA.

Su, Y., Mennerich, A., Urban, B., (2012). Synergistic cooperation between wastewater-born algae and activated sludge for wastewater treatment: Influence of algae and sludge inoculation ratios. Bioresource Technology, 105, 67–73.

Suali E., Sarbatly R., (2012). Conversion of microalgae to biofuel. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (6), 4316-4342.

Trajanowicz, K., Plaza, E., Trela, J., (2016). Pilot scale studies on nitritation-anammox process for mainstream wastewater at low temperature Journal Environmental Technology, 36 (9), 761-768.

Travieso, L., Benitez, F., Sanchez, E., (2008). Performance of a laboratory-scale microalgae pond for secondary treatment of distillery wastewaters. Chemical and Biochemical Engineering Quarterly 22 (4), 467–473.

Trivedi, H., K., (2009). Simultaneous Nitrification and Denitrification (SymBio Process). In: Wang L.K., Shammas N.K., Hung YT. (eds) Advanced Biological Treatment Processes. Handbook of Environmental Engineering, vol 9. Humana Press

TÜİK, (2016). Belediye Atıksu İstatistikleri. Çevre istatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. [Online].

TÜBİTAK MAM, 2018. Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Çamur Çürütücü Çıkış Sularında Anaerobik Amonyum Oksidasyonu Prosesi ile Azot Giderimi Ön Etüt Projesi, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Kocaeli.

Url-1: https://www.freese.com/sites/default/files/219.pdf (Erişim tarihi:15.03.2018).

Van Kempen, R., Mulder, J., W., Uijterlinde, C., A., Loosdrecht, M., C., (2001). Full-scale application of the SHARON process for treatment of rejection water of digested sludge

dewatering. Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research. 43. 127-34.

Velasquez-Orta, S., B., Garcia-Estrada, R., Monje-Ramirez, I., Harvey, A., Orta Ledesma, M., T., (2014). Microalgae harvesting using ozoflotation: Effect on lipid and YAME recoveries. Biomass and Bioenergy, 70, 356-363.

Veuillet, F., Zozor, P., Stefansdottir, D., Christensson, M., Skonieczny, T., Ochoa, J., Lemaire, R., (2015). Mainstream deammonification using ANITA™Mox process. Water Environment Federation, Session 600 through Session 609, 2183-2197(15).

Wan, J., Gu, J., Zhao, Q., Liu, Y., (2016). COD capture: a feasible option towards energy self-sufficient domestic wastewater treatment. Scientific Reports, 6(1), 25054.

Wang, C., Zeng, Y., Lou, J., Wu, P., (2007). Dynamic simulation of a WWTP operated at low dissolved oxygen condition by integrating activated sludge model and a floc model. Biochemical Engineering Journal, 33(3), 217–227.

Wang, J., H., Zhang, T., Y., Dao, G., H., Xu, X., Q., Wang, X., X., Hu, H., Y., (2017). Microalgae-based advanced municipal wastewater treatment for reuse in water bodies. Appl Microbiol Biotechnol. 101:2659–2675.

Wang, X., Wang, S., Zhao, J., Dai, X., Peng, Y., (2016). Combining simultaneous nitrification-endogenous denitrification and phosphorus removal with post-denitrification for low carbon/nitrogen wastewater treatment. Bioresource Technology, 220, 17–25.

WERF, (2010). Sustainable Treatment: Best Practices from the Strass Im Zillertal Wastewater Treatment Plant. Water Environment Research Foundation.

Wett, B., Omari, A., Podmirseg, S., M., Han., M., Akintayo, O., Brandon, M., G., Murthy, S., Bott, C., Hell, M., Takacs, I., Nyhuis, G., OShaughnessy, M., (2013). Going for mainstream deammonification from bench-to full-scale for maximized resource efficiency, Water Sci Technol, 68 (2), 1155-1171.

Winkler, M., K., H., Kleerebezem, R., van Loosdrecht, M., C., M., (2012). Integration of anammox into the aerobic granular sludge process for main stream wastewater treatment at ambient temperatures, In Water Research, 46(1), 136-144.

Wood, P., E, Jeremy, N., Nakashima, P., E., (2017). Full-scale implementation of simultaneous nitrification/denitrification in an AO process configuration with simple aeration control, Conference Paper, WEF.

WREF, (2015). Shortcut nitrogen removal-nitrite shunt and deammonification, Water Environment Federation.

WREF., (2011). Energy management (exploratory team report executive summary). Water Environment Research Foundation.

Wu, L., F., Chen, P., C., Huang, A., P., Lee, C., M., (2012). The feasibility of biodiesel production by microalgae using industrial wastewater. Bioresource Technology, 113, 14-18.

Xylem, (2012). Energy improved aeration at Sternö wastewater treatment plant.

Yang, L., Zeng., S., Chen, J., He, M., Yang, W., (2010). Operational energy performance assessment system of municipal wastewater treatment plants. Water Science and Technology, 62, 1361-1370.

Yoo, H., A., H., N., K., H., Lee, H., J., Lee., K., H., KWAK, (1997). “Nitrogen removal from synthetic wastewater by simultaneous nitrification and denitrification (SND) via nitrite in an ıntermittently- aerated reactor”, Water Resources 33(1), 145-154.

Yuan, H., He, Z., (2015). Integrating membrane filtration into bioelectrochemical systems as next generation energy-efficient wastewater treatment technologies for water reclamation: A review. Bioresource Technology 195, 202–209.

Zeng, R. J., Yuan, Z. and Keller, J., (2003). Model-based analysis of anaerobic acetate uptake by a mixed culture of polyphosphate-accumulating and glycogen-accumulating organisms. Biotechnology and Bioengineering 83(3), 293–302.

Zhang S.J, Zhang L, Shao H, Gan YP, Peng Y.Z., (2014). Nitrogen removal from mainstream by one-stage hybrid anammox system.

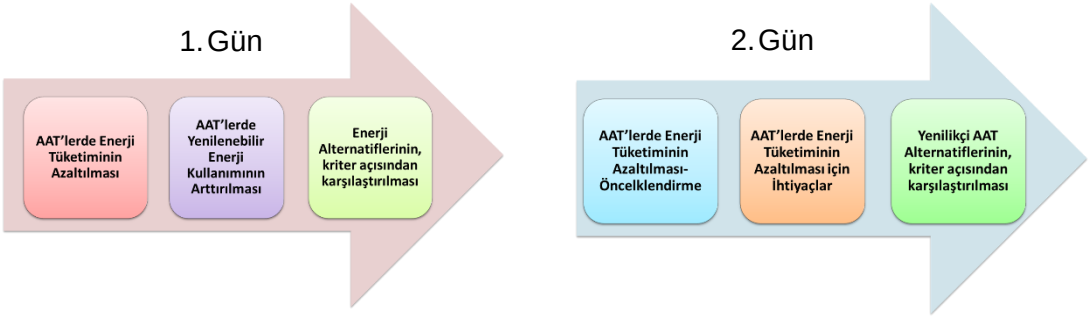
Zhen-Feng, S., Xin, L., Hong-Ying, H., Yin-Hu, W., Tsutomu, N., (2011). Culture of Scenedesmus sp. LX1 in the modified effluent of a wastewater treatment plant of an electric factory by photo-membrane bioreactor. Bioresource technology, 102(17), 7627-7632.

EK-1: ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ VE ENERJİ VERİMLİ YENİLİKÇİ PROSESLER ÇALIŞTAYI

GİRİŞ

TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü tarafından “Enerji Verimli ve Enerji Pozitif Atıksu Arıtma Tesislerinin Geliştirilmesi Projesi” projesi kapsamında 21-22 Kasım 2017 tarihlerinde “Atıksu Arıtma Tesislerinde Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimli Yenilikçi Prosesler” çalıştayı gerçekleştirilmiştir.

Çalıştay başlangıcında, çalışma yöntemi hakkında bilgi aktarılmış ve grup çalışmalarına geçilmiştir. Grup çalışmalarının ilk günü, atıksu arıtma tesislerinde enerji kullanımı, enerji tüketimini azaltmaya yönelik önlemler ve yenilenebilir enerji potansiyeli ve uygulamaları konularında fikir üretme çalışmaları ile başlamıştır. Ardından, atıksu arıtma tesislerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliğinin değerlendirildiği, önceliklendirme ve öneri geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalıştayın ikinci gününde ise, mevcut durumda atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılmasının önündeki engeller ve karşılaşılan sorunlar açısından mevcut durum değerlendirmesi yapılmış, ihtiyaçlar konusunda tartışmalar gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketiminin azaltılmasının esas alındığı yenilikçi atıksu arıtma prosesleri konularında önceliklendirme ve öneri geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Son olarak, U.S EPA Atıksu Ofisi tarafından, AAT’lerin enerji yönetimi açısından durumunun değerlendirilmesi ve ihtiyacın ortaya konabilmesi amacıyla geliştirmiş formun uyarlanmış hali, katılımcıların doldurulması sağlanmıştır (Şekil E1. 1).



Şekil E1. 1 Çalıştay kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar

1. FİKİR ÜRETME- AAT'LERDE ENERJİ TÜKETİMİNİN AZALTILMASI

AAT'lerde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik yapılan, Fikir Üretme ve Konsolidasyon çalışmasında; Mevcuttaki Tesisler ve Yeni Kurulacak Tesisler Açısından ve aşağıdaki konular da dikkate alınarak;

- Yönetimsel (Personel, bütçe, idari vb.)
- Teknik Altyapı yetersizlikleri, ölçümleme eksikliği
- Arıtma Performansı
- Enerjinin verimsiz kullanıldığı, fazla tüketildiği proses ve ekipmanlar
- Personel Bilgi tecrübe eksikliği

Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Tüketiminin Azaltılmasının önündeki engelller/sorunlar nelerdir? Sorusu katılımcılara yönlendirilmiştir.

Toplam 8 masada yer alan çalışma grupları tarafından, fikir üretme çalışması yaparak sonrasında grupların oluşturdukları ifadeler kendi içinde konsolide edilmiştir. Konsolidasyon sonrası yapılan puanlama ile önceliklendirme çalışması yapılmıştır.

Şekil E1. 2 Grup çalışmaları

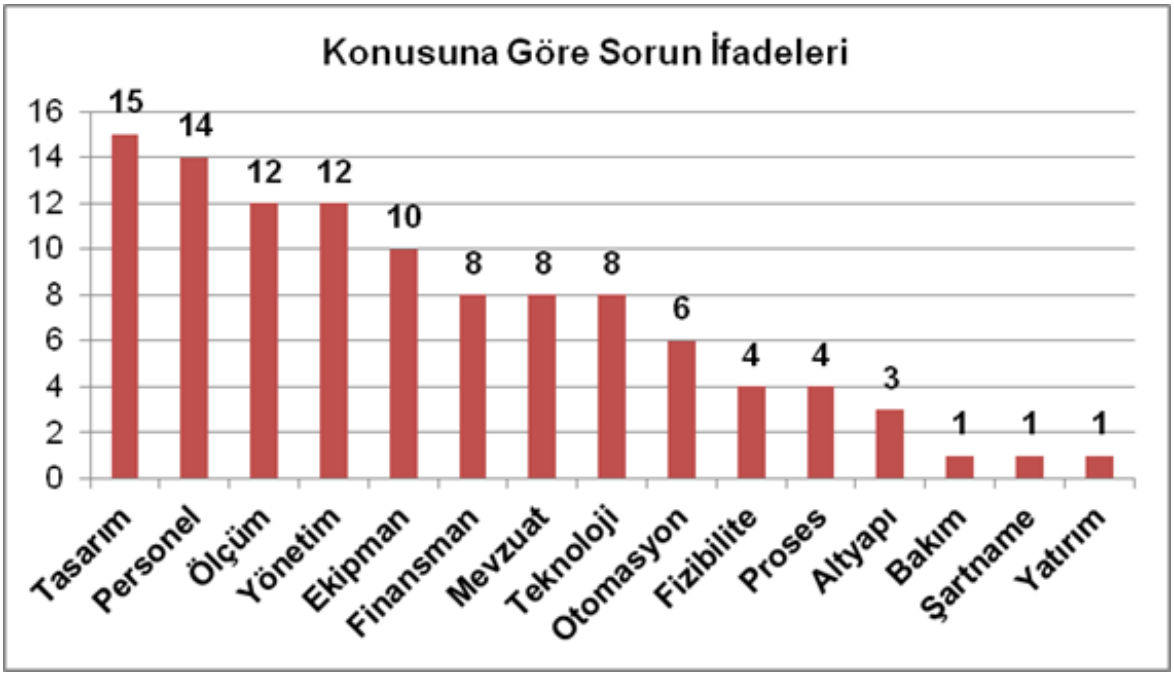
Konsolidasyon sonrası grup bazında üretilen ifadelerin adetleri Tablo E1. 1'de yer almaktadır. (G: Genel ifadeler, M: Mevcut Tesise yönelik ifadeler, Y: Yeni tesise yönelik ifadeler, M/Y: Mevcut ve Yeni tesise yönelik ifadeler). 219 adet üretilen ifadelerin 107 tanesi önceliklendirilmiş ve bu ifadelerin belirlenen konu başlıklarına göre dağılımları Şekil E1. 3'de verilmiştir. Buna göre; ön plana çıkan ifadeler, tasarım (15 ifade), personel (teknik bilgi, uzmanlık vb) (14 ifade), Ölçüm (12) ve Yönetim (12) ile ilgili olmuştur. Bu

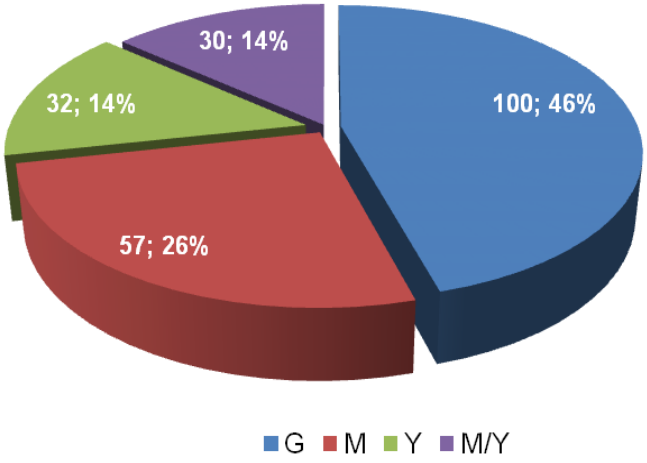
ifadeleri, 8'er sorun ifadesi ile finansman, mevzuat, teknoloji konuları izlemiştir. Yatırım ve teknik altyapı ile ilgili sorun tanımları ise üstünde en az durulan konular olmuştur. Bununla birlikte, Tablo E1. 2'de, önceliklendirilen engel/sorun ifadeleri bulunmaktadır.

Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Tüketiminin Azaltılmasının önündeki engelller/sorunlara ait tüm ifadeler ile grupların önceliklendirdiği ifadeler, Tablo E1. 13 ve Tablo E1. 14'te yer almaktadır.

Tablo E1. 1 Engelller/Sorunlar-konsolide edilen ifade adetleri

Gruplar	G	M	Y	M/Y	Genel Toplam
Grup 1	14	8	2	15	39
Grup 2	33	1	1	1	36
Grup 3	3	11	3	1	18
Grup 4	9	13	10		32
Grup 5	9	9	4	2	24
Grup 6	1	9	6	7	23
Grup 7	12	1			13
Grup 8	19	5	6	4	34
Genel Toplam	**100**	**57**	**32**	**30**	**219**





G: Genel ifadeler, **M:** Mevcut Tesise yönelik ifadeler, **Y:** Yeni tesise yönelik ifadeler, **M/Y:** Mevcut ve Yeni tesise yönelik ifadeler

Şekil E1. 3 Engeller/sorunlar-önceliklendirilen konu bazlı sorun ifade adetler

Tablo E1. 2 Engeller/sorunlar-önceliklendirilen ifadeler

Y/M/G	Engel/Sorun İfadesi	Puan	Konu
G	Ekipman seçimi yeni nesil motorlar ve sistemler	6	Ekipman
G	AAT tasarımında yeterli fizibilite çalışmasının yapılmaması, yanlış proses seçimi	6	Fizibilite
G	Ekipmanlarda ölçüm ve analizlerin düzenli ve doğru yapılmaması, hatalı tespitler oluşması	6	Ölçüm
G	AAT personeli ve yönetimi kapsamında; eğitim, farkındalık, AR-GE ve teknoloji takibi konularında eksiklik olması	6	Personel
G	Teknik olarak altyapının yetersiz olması ya da eski alt yapının olması	5	Altyapı
G	Bakımların periyodik olarak yapılmaması	5	Bakım
G	Devlet teşviği eksikliği. İşletme giderlerinin fazla olması. Yatırım maliyetlerinin fazla olması	5	Finansman
M	Yenilenebilir enerji projelerinin veya enerji verimli ekipmanlarının tasarım ve proje aşamasında düşünülmemesi ve adaptasyon zorluğu	5	Fizibilite
M/Y	Mevzuatta enerji kazanımı ve azaltılması yönünde yönergeler olmaması, zorlayıcı etmenlerin azlığı/yokluğu	5	Mevzuat
M	AAT'lerde ünite ve ekipman seviyesinde enerji tüketimlerinin ölçüm ve takibinin yapılmaması	5	Ölçüm
G	Proseste enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik otomasyon vb. bulunmaması	5	Otomasyon
M	Mevcut tesislerdeki otomasyon sistemlerinin enerji tüketiminin kontrolü için yetersiz olması	5	Otomasyon
M/Y	İşletme şartnamelerinin çok kısa işletme sürelerinde çıkması ve enerji verimliliği konusunda işletmeciyi teşvik etmemesi	5	Şartname
G	AAT'nin yanlış tasarımı	5	Tasarım
G	Teknik altyapı eksiklikleri, ön fizibilite ölçümleme eksikliği ile çıkan hatalı projeler	4	Altyapı
Y	Fizibilite eksikliği, yanlış tasarım	4	Fizibilite
G	Mevzuat önceliğinin arıtma verimi olup, enerjinin etkin ve verimli kullanımı olmaması. Mevzuat sınır değerlerini sağlayamama riskinin var olması	4	Mevzuat
M/Y	AAT'lerde enerji verimliliği / yenilenebilir enerji uygulama kriterlerine yönelik mevzuat ve rehber dokümanlar eksikliği	4	Mevzuat
M	Genellikle tüketilen enerjinin üniteler/ ekipmanlar düzeyinde sağlıklı takip edilememesi, ölçüm sistemi altyapı yetersizliği	4	Ölçüm
M	Kontrol sistemlerinin eksikliği	4	Ölçüm
M/Y	Atıksu karakterizasyonundaki belirsizlik. Atıksu miktarındaki belirsizlik (günlük salınım/değişimlerin AAT işletmesini zorlaştırması)	4	Ölçüm
Y	Enerji verimliliğini sağlayabilecek proseslerin (anammaxus) yeterli bilgi düzeyine ulaşmaması	4	Otomasyon
M/Y	Proseste enerji ihtiyacı çıkarılarak enerji pozitif tesis hale getirebilmek amacıyla optimizasyon çalışmasının yetkin personel tarafından (Danışman/mühendislik firması) yapılmaması	4	Personel
G	Teknik personelin idari vizyon ile idari personelin teknik vizyon ile entegrasyonu sağlanmalıdır. Teknik personel etkin kullanılmamaktadır	4	Personel
Y	Yeni kurulacak olan tesisleri projelendiren birimlerin ayrı, işletecek birimlerin ayrı olması ve yeterli koordinasyonun sağlanamaması	4	Tasarım
Y	AAT tasarımında enerji verimliliği açısından uzmanlaşmış mühendis/tasarımcı eksikliği, uzmanlaşmış firma eksikliği	4	Tasarım
G	Yatırımlar için master-plan ölçeğinde değerlendirme ve maliyet optimizasyon alternatifleri yapılmaması	4	Yatırım

2. ATIKSU ARTIMA TESİSLERİNDE ENERJİ TÜKETİMİNİN AZALTILMASI İÇİN İHTİYAÇLAR

AAT'lerde enerji tüketiminin azaltılması kapsamında belirlenen ihtiyaçlar çalışmasında;

- Tespit edilen engeller/sorunları aşmak için ihtiyaçlar ve yapılması gerekenler nelerdir?
- Arıtma tesisinizi enerji tüketiminin azaltılması açısından yeniden tasarlamanız mümkün olsa neleri, ne şekilde değiştirirdiniz?

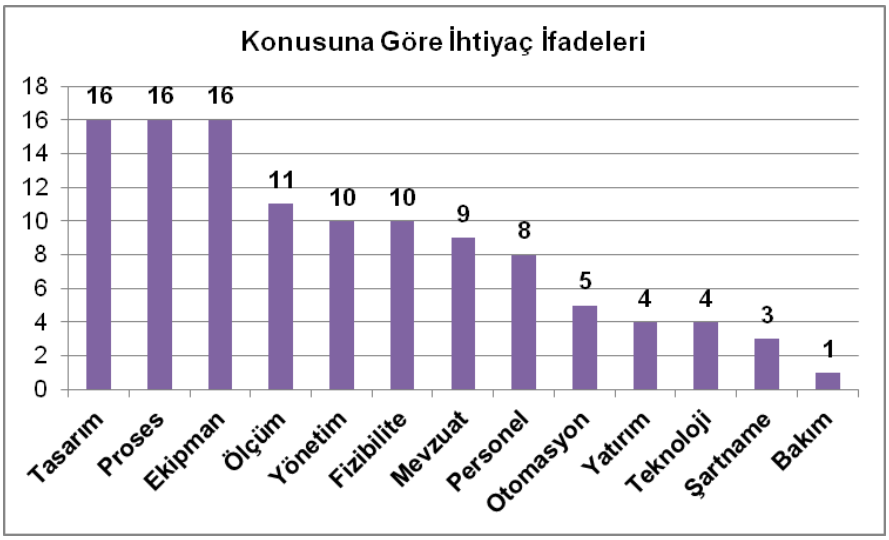
  Soruları katılımcılara yönlendirilmiştir.

Toplam 8 masada yer alan çalışma grupları tarafından, beyin fırtınası yöntemi ile ihtiyaç ifadeleri oluşturulmuş ve sonrasında grupların oluşturdukları ifadeler kendi içinde konsolide edilmiştir. Konsolidasyon sonrası yapılan puanlama ile önceliklendirme çalışması yapılmıştır.

Toplam 113 adet ihtiyaç ifadesi üretilmiş olup, sorunlara ilişkin konu başlıkları ile eş konulara göre dağılımları yapılmıştır. Bununla birlikte, ihtiyaç belirlenmesi çalışması ve öneriler arasında tasarıma ve bilgi eksikliğinin giderilmesine yönelik ihtiyaçlar tanımlanmış, örnek tesislerin kurulmasının yaygınlaşmanın önündeki engelleri kaldıracağı ifade edilmiştir. Öne çıkan bazı ihtiyaç ve öneriler;

-Tasarıma yönelik iyileştirme öneriler, örn. enerji optimizasyonu ve enerji açısından en uygun tasarımın seçilmesi enerji verimli ekipmanlar kullanılarak otomasyon ve yenilenebilir enerji için altyapı oluşturulması,

-Personel eğitimleri gibi genel ifadelerin yanında yönlendirici kılavuzların eksikliğine işaret edilmiştir (örn. enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik rehber ve/veya web tabanlı uygulamaların geliştirilmesi, TÜBİTAK/Bakanlık vb. fonlarla kurulacak enerji verimli AAT olarak işletilen örnek tesislerin kurulması/işletilmesi vb). Ayrıca, tesislerin enerji tüketim hedefleri koyması, bu hedeflerin izlenmesi ve raporlanması ile farkındalık oluşmasına katkı sağlanacağı ifade edilmiştir. İhtiyaç ifadelerinin belirlenen konu başlıklarına göre adetleri Şekil E1. 4'te, Tablo E1. 3'de ise öncelikli ihtiyaç ifadeleri bulunmaktadır. Tüm ifadeler ile dağılım ve öncelikli ifadeler, Tablo E1. 15 ve Tablo E1. 16'da sunulmuştur.



Şekil E1. 4 Konu bazlı ihtiyaç ifade adetleri

Tablo E1. 3 Öncelikli ihtiyaç ifadeleri

İhtiyaç İfadesi	Puan	Konu
Gerçek ihtiyaca cevap verecek enerji optimizasyonu ve enerji açısından en uygun tasarımın seçilmesi enerji verimli ekipmanlar kullanılarak otomasyon ve yenilenebilir enerji için altyapı oluşturulması.	14	Tasarım
Mevcut-Yeni; Tesislerin en çok elektrik tüketen ekipmanları (eğer yapılabiliyorsa ve sistem buna izin veriyorsa) frekans konvektörlü olarak seçilebilir	12	Ekipman
Tesis yeniden kurulacak olsa; havuzun incelenmesinin detaylı yapılarak güneş/ rüzgâr /HES kurulumu vb. için projelendirmelerin ve fizibilitelerin yapılması, sonuçlarına göre belirlenen kapasiteye göre kurulumlarının gerçekleştirilmesi	12	Fizibilite
2.soru cevabı; Atıksu arıtma tesislerinde projelendirme ve yapım aşamasında bir yandan da enerji eylem planı hazırlanması ve bir personelin bu konuda görevlendirilip raporlama yaptırılması	12	Fizibilite
Mevzuatta belirlenen deşarj değerlenme ek olarak enerji verimliliği kriterleri eklenmelidir	12	Mevzuat
AAT'lerde ünite bazında enerji tüketiminin izlenmesi ve raporlanması	12	Ölçüm
Mevcut atıksu arıtma tesislerinin optimizasyonuna ve enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik otomasyon sistemleri kurulması/iyileştirilmesi. Örneğin DO sensörlerine bağlı olarak işletme yapılması	12	Otomasyon
Enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik rehber ve/veya web tabanlı uygulamaların geliştirilmesi	12	Otomasyon
Yeni bir tesis; modüler ve esnek işletmeye olanak sağlayan otomasyon kontrollü sistemler kurulması. Yerli teknolojilerin tercih edilmesi.	12	Otomasyon
AAT'leri çalıştırılacak tüm personelin konu ile ilgili eğitim verilmesi ve bu eğitimlerin aktüel tutulması	12	Personel
AAT tasarımı eğitiminde enerji verimliliğinin göz önünde bulundurulması. İşletme personelinin eğitimi	12	Personel
Arge çalışmalarına önem verilmesi	12	Proses

İhtiyaç İfadesi	Puan	Konu
Mevcut; İleri biyolojik arıtma tesislerinde havalandırma havuzlarında CO sensörleri ile oksijen kontrolü yerine NO3 sensörleri ile proses kontrolü yapıp, nitrifikasyon basamağına göre oksijen kullanımını ayarlayarak enerji tüketimini azaltmak	12	Proses
Atıksu arıtma tesisi işletme şartnamelerine enerji teşviklerinin eklenmesi. Kwh/m3, üretim Biogaz/m3	12	Şartname
2. soru cevabı; Ekipman alımı teknik şartnamelerinde enerji analizi yapılarak, enerji performans testlerinin teknik şartnamelerde yer alması	12	Şartname
Yeni; Arıtma tesisinin lokasyonun doğru belirlenmesi Giriş terfi, ara terfi, deşarj noktasında terfi, istasyonlarının mümkün mertebe kullanılmaması	12	Tasarım
Kentsel AAT tasarım kriterlerinin ülkemiz koşullarına uygun olarak belirlenmesi AAT giriş verilerinin toplanması ve değerlendirilmesi *Hizmet verilen nüfus *Bağlı olan end. atık su miktarı, end. Tipi *Atıksu karakterizasyonu (seçilerek parametrelerin izlenmesi ve raporlanması) * Tasarım kriterlerinin periyodik olarak güncellenmesi	12	Tasarım
Tübitak/Bakanlık vb. fonlarla kurulacak enerji verimli AAT olarak işletilen örnek tesislerin kurulması/işletilmesi	12	Yatırım
1.Soru Cevabı; Bürokrasinin aşılması için karşılaşılmış olan zorluklar tekrar tekrar anlatılmalı ve işlemlerin hızlandırılması için farkındalık yaratılmalı	12	Yönetim
AAT'lerinde ISO50001 (enerji yönetim sistemi) ve ISO 14001 (ÇYS) standartlarının uygulanması ve enerji nötr tesis hedeflerinin oluşturulması.	12	Yönetim

3. YENİLİKÇİ ATIKSU ARITMA TESİSLERİ ALTERNATİFLERİNİN, KRİTER AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu aşamada; Tespit edilen kriterlere göre hazırlanan önceliklendirme matrisi kullanılarak etkinlik analiz çalışması yapılmıştır.

Etkinlik analizi, üzerinde çalışılan konunun etkinliğinin değerlendirilmesi ve uygulamadaki öncelik sıralarına karar verilebilmesi için etkinlik analizi yapılır. Böylece hangi konunun/ konuların hayata geçirileceğine karar verilir. Etkinlik analizinde belirlenen kriterler dikkate alınır ve her biri bir ölçek üzerinde değerlendirilir.

Çalışmada uygulanan adımlar aşağıdaki şekilde olmuştur;

- Alternatif ve değerlendirme kriterlerine göre önceliklendirme matrisi çalışma öncesinde hazırlanmıştır.
- Tespit edilen kriterler baz alınarak, mevcut ve yeni enerji verimliliğinin esas alındığı yenilikçi arıtma prosesleri açısından, uygun olan veya öne çıkan yenilikçi AAT proses alternatifi hangisidir? sorusunun cevabına ulaşmak üzere, grup bazında değerlendirme yapılması katılımcılardan istenmiştir. Bu değerlendirme için hazırlanan önceliklendirme matrisi ile etkinlik analiz çalışması yapılmıştır.
- Öncelikle her grup tarafından her bir kriter için ağırlık çarpanı tespit edilmiştir (toplamı 100 olacak şekilde)
- Her grup tarafından her bir kriterin alternatiflere etkisi uzlaşılarak değerlendirilmiş ve etkileri puanlanarak tespit edilmiştir. Puanlama tablosu Tablo E1. 4'te bulunmaktadır.
- Kriter puanları gruplar bazında toplanmış ve ortalamaları alınmıştır. Belirlenen ağırlıklar ile her bir üretim alternatifi için değerlendirme sonuçlarında belirlenen toplam ortalama puanlar çarpılarak son değer elde edilmiştir.

Gerçekleştirilen yenilikçi AAT alternatifleri/mevcut tesislerde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik proses alternatifleri karşılaştırılmasında yer alan kriterler arasında; Uygulamaya aktarılabilirliği (teknolojinin hazır bulunuşluğu ve gerçek ölçekte uygulanabilirliği), Arıtma performansının kararlılığı-stabilitesi (değişken debi ve atıksu karakterizasyonuna adapdasyonu), İşletme/ bakım kolaylığı, İşletme için uzmanlık

gereksinimi, Çevresel etki (su kalitesi, hava vb.), Yatırım maliyeti, İşletme maliyeti ve enerji gereksinimi, alan ihtiyacı parametreleri yer almıştır. Ağırlıkları ile ön plana çıkan kriterler; Uygulamaya aktarılabilirliği (teknolojinin hazır bulunuşluğu ve gerçek ölçekte uygulanabilirliği), Arıtma performansının kararlılığı-stabilitesi (değişken debi ve atıksu karakterizasyonuna adapdasyonu), Yatırım maliyeti, İşletme maliyeti ve enerji gereksinimi olmuştur.

Çalışma sonuçları Tablo E1. 5 ve Tablo E1. 6'da verilmiştir. Alternatiflerin kriterler karşısından skorlanması ve ağırlıkları ile çarpılması sonucunda, mevcut prosesler kapsamında BNR için Proses Kontrolü (örn: otomosyonla DO kontrolü) ve SND ön plana çıkmıştır. Her iki alternatifin puan sonuçları birbirine çok yakın çıkmıştır. Diğer taraftan, yenilikçi proseslerden ise en yüksek puanı sırasıyla, Ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi ile Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi alarak ön plana çıkmıştır. Bununla birlikte, Yüksek hızlı aktif çamur sitemi ve hibrit yan akım prosesleri (kimyasalla nutrient geri kazanımı örn. MAP çöktürme, amonyak sıyırma vb.) bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT ise puan sıralamasında ilk üç sıraya girmiştir. Ayrıca her bir grubun alternatifler için verdiği skorlar, Tablo E1. 17, Tablo E1. 18, Tablo E1. 19, Tablo E1. 20, Tablo E1. 21, Tablo E1. 22, Tablo E1. 23 ve Tablo E1. 24'te sunulmuştur.

Tablo E1. 4 Yenilikçi AAT puanlama tablosu

ETKENLER		PUANLAR				
		1	3	5	7	10
1	Uygulamaya aktarılabilirliği	Zor		Orta		Kolay
2	Arıtma performansının kararlılığı-stabilitesi	Düşük		Orta		Yüksek
3	İşletme/ bakım kolaylığı	Zor		Orta		Kolay
4	İşletme için uzmanlık gereksinimi	Fazla		Orta		Az
5	Çevresel etki (su kalitesi, hava vb.)	Düşük		Orta		Yüksek
6	Yatırım maliyeti	Yüksek		Orta		Düşük
7	İşletme maliyeti ve Enerji gereksinimi	Yüksek		Orta		Düşük
8	Alan İhtiyacı	Fazla		Orta		Az

Tablo E1. 5 Yenilikçi AAT kriter ağırlıklandırma

Gruplar	1	2	3	4	5	6	7	8
	Uygulamaya aktarılabilirliği	**Arıtma performansının kararlılığı-stabilitesi**	**İşletme/ bakım kolaylığı**	**İşletme için uzmanlık gereksinimi**	**Çevresel etki** (su kalitesi, hava vb.)	**Yatırım maliyeti**	**İşletme maliyeti ve Enerji gereksinimi**	**Alan İhtiyacı**
1	15	18	10	7	15	10	15	10
2	17	17	12	10	4	18	18	4
3	20	10	10	5	20	10	20	5
4	15	8	5	7	10	20	20	15
5	15	13	12	11	11	13	14	11
6	15	15	12	10	8	15	15	10
7	15	15	10	10	10	15	15	10
8	15	15	10	10	15	10	15	10
Toplam	**15,88**	**13,88**	**10,13**	**8,75**	**11,63**	**13,88**	**16,50**	**9,38**

Tablo E1. 6 Yenilikçi AAT önceliklendirme matrisi

Enerji Verimliliği Açısından Yenilikçi Atıksu Arıtma Tesisi Alternatifleri		Etki Analizi								Toplam
		1	2	3	4	5	6	7	8	
		Uygulamaya aktarılabilirliği (teknolojinin hazır bulunuşluğu ve gerçek ölçekte uygulanabilirliği)	**Arıtma performansının kararlılığı-stabilitesi** (değişken debi ve atıksu karakterizasyonuna adapdasyonu)	**İşletme/ bakım kolaylığı**	**İşletme için uzmanlık gereksinimi**	**Çevresel etki** (su kalitesi, hava vb.)	**Yatırım maliyeti**	**İşletme maliyeti ve Enerji gereksinimi**	**Alan İhtiyacı**	
Ağırlık Çarpanı		**15,88**	**13,88**	**10,13**	**8,75**	**11,63**	**13,88**	**16,50**	**9,38**	
Mevcut Prosesler	Mevcut AAT'ler (BNR) için Proses Kontrolü (örn: otomosyonla DO kontrolü)	1,59	0,87	0,68	0,66	0,95	1,01	0,83	0,36	**6,95**
	Mevcut aktif çamur tesislerinin düşük oksijen konsantrasyonlarında işletilmesi (SND)	1,11	0,95	0,62	0,40	0,70	1,03	1,51	0,56	**6,88**
Yenilikçi Prosesler	Ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	1,29	0,89	0,65	0,46	0,70	0,83	1,27	0,51	**6,61**
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	1,13	0,91	0,74	0,45	0,78	0,83	0,99	0,62	**6,45**
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden kısmi nitritasyon ve Anammox prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	0,64	0,61	0,55	0,24	0,75	0,57	0,90	0,72	**4,98**
	Anaerobik arıtma/ Ön çöktürme/ kimyasal çöktürmeve peşinden mikroalglerle besin maddesi giderim prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	0,77	0,61	0,49	0,19	0,86	0,50	0,92	0,52	**4,87**
	Yüksek hızlı aktif çamur sitemi ve hibrit yan akım prosesleri (kimyasalla nutrient geri kazanımı örn. MAP çöktürme, amonyak sıyırma vb.) prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	0,93	0,71	0,42	0,24	0,95	0,71	1,04	0,68	**5,68**

Enerji Verimliliği Açısından Yenilikçi Atıksu Arıtma Tesisi Alternatifleri		Etki Analizi								Toplam
		1	2	3	4	5	6	7	8	
		Uygulamaya aktarılabilirliği (teknolojinin hazır bulunuşluğu ve gerçek ölçekte uygulanabilirliği)	**Arıtma performansının kararlılığı-stabilitesi** (değişken debi ve atıksu karakterizasyonuna adapdasyonu)	**İşletme/ bakım kolaylığı**	**İşletme için uzmanlık gereksinimi**	**Çevresel etki** (su kalitesi, hava vb.)	**Yatırım maliyeti**	**İşletme maliyeti ve Enerji gereksinimi**	**Alan İhtiyacı**	
Ağırlık Çarpanı		**15,88**	**13,88**	**10,13**	**8,75**	**11,63**	**13,88**	**16,50**	**9,38**	
	Atıksuların membranla (primary filtrasyon) ön arıtılması, konsantrenin anaerobik arıtılması,süzüntünün hızlı aktif çamur, SND ya da hibrit sistemlerle nutrient giderimi prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	0,52	0,61	0,36	0,19	0,98	0,46	0,64	0,80	**4,56**

4. FİKİR ÜRETME- AAT'LERDE YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMININ ARTTIRILMASI

Atıksu Arıtma Tesislerinde Yenilenebilir Enerji Kullanımının Arttırılmasına Yönelik güçlü alanlar ve fırsatlar(olumlu) ile zayıf alanlar ya da iyileştirmeye açık alanlar ile tehditler, riskler (olumsuz) gruplar bazında çalışılmıştır. Atıksu Arıtma Tesislerinde Yenilenebilir Enerji Kullanımının Arttırılmasına Yönelik olumlu / olumsuz hususlar nelerdir? Sorusu katılımcılara yönlendirilmiştir.

GZFT (SWOT) analizi, güçlü olduğumuz ve büyük fırsatların yattığı alanlara odaklanmamızı sağlar. SWOT analizinde amaç, iç ve dış etkenleri dikkate alarak, varolan güçlü alanlar ve fırsatlardan en üst düzeyde yararlanacak, tehditlerin ve iyileştirmeye açık alanların etkisini en aza indirecek plan ve stratejiler geliştirmektir.

Toplam 8 masada yer alan çalışma gruplarından 4 masa olumlu, 4 masa olumsuz hususlara yönelik fikir üretme çalışması yaparak sonrasında grupların oluşturdukları ifadeler kendi içinde konsolide edilmiştir. Olumlu ifade sayısı 126, olumsuz ifade sayısı 132 olup toplam 258 ifade elde edilmiştir. Daha sonra diğer gruplara katkı ve eklemeler yapılarak her grup kendi ifadelerini ve katkı sağladığı grup ifadelerini oylayarak önceliklendirme yapmıştır. Önceliklendirme çalışması ardından, öncelikli ifadeler grup sözcüleri tarafından diğer gruplarla paylaşılarak sunum yapılmıştır.

Grupların önceliklendirdiği olumsuz ifadeler Tablo E1. 7'de ve olumlu ifadeler Tablo E1. 8'de yer almaktadır. Tablodaki puan sütunu kaç kişinin ifadeyi seçtiğini göstermektedir. Buna göre, atıksu arıtma tesislerinde yenilenebilir enerji kullanımına yönelik öne çıkan olumsuz ifadeler arasında;

- Uygun teknoloji için fizibilite çalışmasının yapılmaması
- AAT'lerin de yenilenebilir enerji kaynağı kullanımında hem özel sektörde hem de kamuda yetersiz AR-GE çalışmaları
- İşletme şartnamelerinin enerji hariç ihale edilmesi. Yapım şartnamelerinde enerji verimli teknoloji kullanımını destekleyen şartların olmaması
- Yerli ürün ve AR-GE merkezlerinin olmaması, dışa bağımlılık
- Kalifiyeli personel/mühendis, ara eleman eksikliği/yetiştirilmemesi.

- AAT özelinde, şehir şehir, ilçe ilçe, hangi tesis için hangi yenilenebilir enerji kaynağının uygun olduğuna yönelik master plan/ fizibilite eksikliği

Konuları yer almıştır.

Atıksu arıtma tesislerinde yenilenebilir enerji kullanımına yönelik öne çıkan olumlu ifadeler arasında ise;

- Yenilenebilir enerji konusunda çalışmalar yapılarak yeni proses çözümlerinin ortaya çıkartılabilmesi fırsatı
- Temiz kaynak kullanımın yaygınlaşması, toplumsal bilincin yükselmesi, süreçlerin doğaya verdiği zararı minimuma indirmek
- AR-GE çalışmaları üniversiteler-özel şirketleri ve kamu firmaların ortak çalışması. Bilginin üretiliyor olması
- Tesisin kurulu olduğu yer göz önünde bulundurularak rüzgar, güneşlenme süresi, hidroelektrik için kot farkı; bertarafında sıkıntı yaşanan çamurun yakılması ciddi enerji kaynağı olarak değerlendirilir
- Yenilenebilir enerji ile yurtdışına bağımlılığın azalması (Petrol doğalgaz)
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının arttırılması ile AAT'lerin çevre yönetimi sistemlerine uygun hale gelmesi
- İç ve dış finansal kaynakların teşvik için başvurulara açık olması
- Devletin yenilenebilir enerji kullanımına verdiği teşvik/destek itici güç olabilir
- Yenilenebilir enerji kullanımı nedeniyle sera gazı emisyonlarının azaltımı,

Konuları yer almıştır. Çalışma ile ilgili tüm ifadeler ve önceliklendirme listesi, Tablo E1. 25 ve Tablo E1. 26’da sunulmuştur.

Tablo E1. 7 Önceliklendirilen olumsuz ifadeler

Olumsuz İfadeler	Puan
Uygun teknoloji için fizibilite çalışmasının yapılmaması	8
AAT'lerin de yenilenebilir enerji kaynağı kullanımında hem özel sektörde hem de kamuda yetersiz AR-GE çalışmaları	6
İşletme şartnamelerinin enerji hariç ihale edilmesi. Yapım şartnamelerinde enerji verimli teknoloji kullanımını destekleyen şartların olmaması	6
Yerli ürün ve AR-GE merkezlerinin olmaması, dışa bağımlılık	6
Kalifiyeli personel/mühendis, ara eleman eksikliği/yetiştirilmemesi.	5
AAT özelinde, şehir şehir, ilçe ilçe, hangi tesis için hangi yenilenebilir enerji kaynağının uygun olduğuna yönelik master plan/ fizibilite eksikliği	5
Kurumlar arası iletişimin zayıf olması, kurumlar arasında yetki karmaşası yaşanması.(Z) Destekleyici politikaların ve mevzuatların yeterince açık olmaması/ bilinmemesi(Z) Mevzuatın yetersiz olması herhangi bir cezai işlem uygulanmaması (T)	4
Üniversitelerdeki mesleki eğitimlerde bu yönde projelerin öğrencilere teşvik edici olmaması, öğrencilere bu yönde yönlendirmede eksiklik	4
Tesiste kullanılan ekipmanların bakım ve arıza durumlarında yurtdışı firmalara bağımlılık.	4
Mevzuatların kurulum aşamasında yenilenebilir enerji üretimini destekleyici zorunluluk içermemesi	4
Ülkemizde yeteri kadar ucuz/ maliyeti düşük yenilenebilir enerji ekipmanlarının üretilmemesi (güneş ve rüzgar enerjisi	4
Yatırımın geri dönüş süresinin genellikle uzun oluşu (güneş ve rüzgar)	4
Teknolojide dışa bağımlılık	4
Devlet eliyle uygulama örneklerinin geliştirilmemiş olması, rehberlerin olmaması	4
Tesis işletmelerinde doğru işletmenin kontrol mekanizması olarak modelleme/simülasyon gibi ileri düzeydeki bilgisayar teknolojilerinin kullanılmaması	4
Ön fizibilite çalışmalarına Y. Enerji kaynaklarının değerlendirilmenin yapılmaması.	4
Mevcut tesislerdeki iyileştirme ve revizyon kısımlarında yenilenebilir enerjiye uygun düzenlemeler yapılmasının eksikliği	4

Tablo E1. 8 Önceliklendirilen olumlu ifadeler

Olumlu İfadeler	Puan
Yenilenebilir enerji konusunda çalışmalar yapılarak yeni proses çözümlerinin ortaya çıkartılabilmesi fırsatı	6
Temiz kaynak kullanımın yaygınlaşması, toplumsal bilincin yükselmesi, süreçlerin doğaya verdiği zararı minimuma indirmek	6
AR-GE çalışmaları üniversiteler-özel şirketleri ve kamu firmaların ortak çalışması. Bilginin üretiliyor olması	6
Tesisin kurulu olduğu yer göz önünde bulundurularak rüzgar, güneşlenme süresi, hidroelektrik için kot farkı; bertarafında sıkıntı yaşanan çamurun yakılması ciddi enerji kaynağı olarak değerlendirilir	5
Yenilenebilir enerji ile yurtdışına bağımlılığın azalması (Petrol doğalgaz)	5
Yenilenebilir enerji kaynaklarının arttırılması ile AAT'lerin çevre yönetimi sistemlerine uygun hale gelmesi	5
İç ve dış finansal kaynakların teşvik için başvurulara açık olması	5
Devletin yenilenebilir enerji kullanımına verdiği teşvik/destek itici güç olabilir	5
Yenilenebilir enerji kullanımı nedeniyle sera gazı emisyonlarının azaltımı	5
İçerdiği kimyasal içerik nedeni ile ziraatta kullanılması zor olan çamurun bertaraf ve enerji istifadesi için yakma tesislerinin AAT'lerin vazgeçilmez unsuru haline getirilmesi	4
Mevzuatta teşvik edici değişiklikler yapmak büyük bir fırsat olabilir	4
Yenilenebilir enerji kullanımı konusunda idarelerin koyduğu hedefler ve idarelerin bu hedefleri takip ediyor olması. Benzer hedefleri olan kurum ve kuruluşlara teşvikler	4
Yenilenebilir olması nedeni ile sürekliliğinin hep olması. Kaynak ihtiyacının olmaması (hep var)	4
Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin yüksek olması	4
Yenilenebilir enerjiye ihtiyaç duyulduğunun halk tarafından bilinmesi ile toplumsal enerji tüketimi bilincinde mesafe katedilmiş olur	4
1. boş alanlar için GES 2. hakim yerler için RES 3. DN potansiyeli sağlanan yerler için CHP 4. Çürütülen çamurun toprak ıslahı olarak kullanımı 5. Bölgesel yatırım	4

5. ENERJİ ALTERNATİFLERİNİN, KRİTER AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu aşamada da; Tespit edilen kriterlere göre hazırlanan önceliklendirme matrisi kullanılarak etkinlik analiz çalışması yapılmıştır.

Çalışmada uygulanan adımlar aşağıdaki şekilde olmuştur;

- Alternatif ve değerlendirme kriterlerine göre önceliklendirme matrisi çalışma öncesinde hazırlanmıştır.
- Tespit edilen kriterler baz alınarak, uygun olan veya öne çıkan **Enerji alternatifi** hangisidir? sorusunun cevabına ulaşmak üzere, grup bazında değerlendirme yapılması katılımcılardan istenmiştir. Bu değerlendirme için hazırlanan önceliklendirme matrisi ile etkinlik analiz çalışması yapılmıştır.
- Öncelikle her grup tarafından her bir kriter için ağırlık çarpanı tespit edilmiştir (toplamı 100 olacak şekilde)
- Her grup tarafından her bir kriterin alternatiflere etkisi uzlaşılarak değerlendirilmiş ve etkileri puanlanarak tespit edilmiştir. Puanlama tablosu Tablo E1. 9'da bulunmaktadır.
- Kriter puanları gruplar bazında toplanmış ve ortalamaları alınmıştır. Belirlenen ağırlıklar ile her bir üretim alternatifi için değerlendirme sonuçlarında belirlenen toplam ortalama puanlar çarpılarak son değer elde edilmiştir.

Gerçekleştirilen yenilenebilir enerji kaynakları alternatiflerinin karşılaştırılmasına kullanılan kriterler arasında; Geri Ödeme Süresi, Maliyet, Uygulama Kolaylığı, Mevcut Teknoloji Seviyesi, Çevresel Etki, Yerli Üretim İmkanı, Finansman Kaynakları, Sera Gazlarına Olumlu Etkisi, Entegrasyon, Mevcut Mevzuatın Uygulaması, Fiziki Altyapı, Verim Artışı, İnsan Kaynağı İhtiyacı ve Mevcut Politikalar yer almıştır. Ağırlıkları ile ön plana çıkan kriterler; Geri Ödeme Süresi, Maliyet, Çevresel Etki, Finansman Kaynakları olmuştur. Çalışma sonuçları Tablo E1. 10 ve Tablo E1. 11'de verilmiştir.

Atıksu arıtma tesislerinde yenilenebilir enerji kullanımına yönelik alternatiflerin kriterler karşısından skorlanması ve ağırlıkları ile çarpılması sonucunda, en yüksek puanı

sırasıyla, Enerji Verimliliği, Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma, Biyogaz ile Elektrik Üretimi ve Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi alternatifleri alarak, ön plana çıkmıştır. Ayrıca her bir grubun alternatifler için verdiği skorlar, Tablo E1. 27, Tablo E1. 28, Tablo E1. 29, Tablo E1. 30, Tablo E1. 31, Tablo E1. 32, Tablo E1. 33, Tablo E1. 34, Tablo E1. 35, Tablo E1. 36, Tablo E1. 37, Tablo E1. 38, Tablo E1. 39, Tablo E1. 40'da sunulmuştur.

Tablo E1. 9 Enerji puanlama tablosu

ETKENLER		PUANLAR		
		1	3	10
1	Geri Ödeme Süresi	Uzun	Orta	Kısa
2	Maliyet	Yüksek	Orta	Az
3	Uygulama Kolaylığı	Zor	Orta	Kolay
4	Mevcut Teknoloji Seviyesi	Düşük	Orta	Yüksek
5	Çevresel Etki	Yüksek	Orta	Düşük
6	Yerli Üretim İmkanı	Az	Orta	Yüksek
7	Finansman Kaynakları	Az	Orta	Fazla
8	Sera Gazlarına Olumlu Etkisi	Düşük	Orta	Yüksek
9	Entegrasyon	Zor	Orta	Kolay
10	Mevcut Mevzuatın Uygulaması	Zor	Orta	Kolay
11	Fiziki Altyapı	Yok	Geliştirilmeli	Yeterli
12	Verim Artışı	Az	Orta	Yüksek
13	İnsan Kaynağı ihtiyacı	Fazla	Orta	Az
14	Mevcut Politikalar	Uygun Değil	Geliştirilebilir	Uygun

Tablo E1. 10 Enerji kriter ağırlıklandırma

Gruplar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Geri Ödeme Süresi	**Maliyet**	**Uygulama Kolaylığı**	**Teknoloji Seviyesi**	**Çevresel Etki**	**Yerli Üretim**	**Finansman**	**Sera Gazı Etkisi**	**Entegrasyon**	**Mevzuat**	**Fiziki Altyapı**	**Verim Artışı**	**İnsan Kaynağı**	**Politikalar**
1	10	10	4	4	9	7	10	9	4	8	4	10	4	7
2	14	14	10	6	3	14	10	3	4	6	4	3	3	6
3	10	15	7	4	15	10	10	5	5	3	7	3	3	3
4	10	10	6	7	5	4	20	5	8	8	4	3	2	8
5	9	10	7	9	9	5	7	9	5	7	6	5	5	7
6	12	12	10	5	10	5	5	2	10	7	5	10	2	5
7	15	10	7	5	10	6	7	5	5	7	6	5	2	10
8	8	9	6	4	11	6	7	5	6	10	10	4	5	9
Toplam	**11,00**	**11,25**	**7,13**	**5,50**	**9,00**	**7,13**	**9,50**	**5,38**	**5,88**	**7,00**	**5,75**	**5,38**	**3,25**	**6,88**

Tablo E1. 11 Enerji önceliklendirme matrisi

Enerji Alternatifleri	Etki Analizi														Toplam
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	Geri Ödeme Süresi	Maliyet	Uygulama Kolaylığı	Mevcut Teknoloji Seviyesi	Çevresel Etki	Yerli Üretim İmkanı	Finansman Kaynakları	Sera Gazlarına Olumlu Etkisi	Entegrasyon	Mevcut Mevzuatın Uygulaması	Fiziki Altyapı	Verim Artışı	İnsan Kaynağı ihtiyacı	Mevcut Politikalar	
	11,00	**11,25**	**7,13**	**5,50**	**9,00**	**7,13**	**9,50**	**5,38**	**5,88**	**7,00**	**5,75**	**5,38**	**3,25**	**6,88**	
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	0,56	0,30	0,22	0,39	0,34	0,35	0,43	0,28	0,28	0,18	0,32	0,35	0,09	0,31	**4,40**
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	0,59	0,51	0,46	0,50	0,54	0,35	0,53	0,40	0,40	0,40	0,47	0,44	0,14	0,39	**6,12**
Güneş İle Elektrik Üretimi	0,19	0,17	0,71	0,45	0,90	0,24	0,59	0,54	0,54	0,40	0,32	0,16	0,33	0,33	**5,88**
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	0,29	0,14	0,24	0,50	0,51	0,20	0,59	0,54	0,54	0,34	0,18	0,21	0,33	0,33	**4,92**
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	0,59	0,58	0,33	0,45	0,60	0,35	0,62	0,49	0,49	0,48	0,17	0,35	0,22	0,31	**6,02**
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	0,59	0,93	0,65	0,33	0,74	0,53	0,45	0,49	0,49	0,48	0,37	0,24	0,18	0,45	**6,93**
Enerji Verimliliği	1,10	0,68	0,71	0,39	0,69	0,34	0,67	0,48	0,48	0,47	0,52	0,43	0,29	0,41	**7,66**
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	0,34	0,41	0,18	0,30	0,30	0,26	0,34	0,34	0,34	0,20	0,27	0,35	0,10	0,27	**4,00**
Öneri 1: Jeotermal	0,33	0,11	0,07	0,17	0,27	0,21	0,29	0,54	0,54	0,70	0,17	0,16	0,03	0,21	**3,80**
Öneri 2: Termal Çevirim (Piroliz, Gazlaştırma)	0,33	0,34	0,07	0,17	0,27	0,21	0,29	0,54	0,54	0,07	0,06	0,16	0,10	0,07	**3,20**

* Güneş ile Kurutma + Yakma ile Birlikte veya RDF ile Birlikte

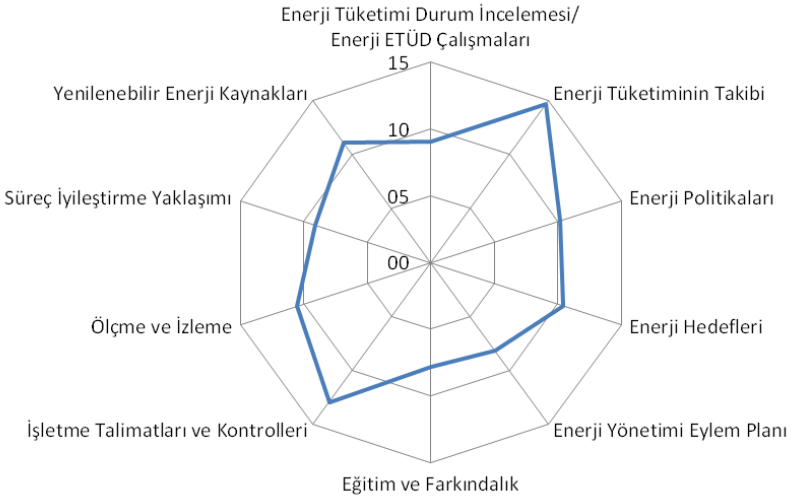
6. AAT'LERDE ENERJİ YÖNETİMİ AÇISINDAN DURUM DEĞERLENDİRMESİ

U.S EPA Atıksu Ofisi tarafından, AAT'lerin enerji yönetimi açısından durumunun değerlendirilmesi ve ihtiyacın ortaya konabilmesi amacıyla geliştirmiş formun uyarlanmış hali, katılımcılardan 12 kişi tarafından doldurulmuş (5'li puanlama skalası ile) ve bu kişilerin verdikleri puanların ortalamaları alınarak Tablo E1. 12'de bulunan tablo ortaya çıkmıştır. Çalıştayda doldurulan formların her birine ait sonuçlar ve bu sonuçlara göre oluşturulmuş iletmelerdeki ortalama durum değerlendirmesi, Tablo E1. 41'de ve Şekil E1. 6, Şekil E1. 7, Şekil E1. 8, Şekil E1. 9, Şekil E1. 10, Şekil E1. 11, Şekil E1. 12, Şekil E1. 13, Şekil E1. 14, Şekil E1. 15, Şekil E1. 16 ve Şekil E1. 17'de, sunulmuştur.

Çıkan sonuçlara göre "enerji tüketiminin takibi" ve "işletme talimatları ve kontrolleri" yüksek puan alarak takip ve kontrollerin iyi ve düzenli yapıldığı, "eğitim ve farkındalık" ise düşük puan alarak AAT personelinin enerji yönetimi konularında duyarlılığının düşük ve eğitim programları ve farkındalığı artırma etkinliklerinin bilinmediği ortaya çıkmıştır.

Tablo E1. 12 AAT'lerde enerji yönetimi açısından durum değerlendirmesi

No	Başlık	Skor
1	Enerji Tüketimi Durum İncelemesi/ Enerji ETÜD Çalışmaları	9,1
2	Enerji Tüketiminin Takibi	14,7
3	Enerji Politikaları	10,2
4	Enerji Hedefleri	10,4
5	Enerji Yönetimi Eylem Planı	8,2
6	Eğitim ve Farkındalık	7,8
7	İşletme Talimatları ve Kontrolleri	12,9
8	Ölçme ve İzleme	10,5
9	Süreç İyileştirme Yaklaşımı	9,1
10	Yenilenebilir Enerji Kaynakları	11,1



Şekil E1. 5 İşletmelerdeki ortalama durum değerlendirmesi

AAT'LERDE ENERJİ TÜKETİMİNİN AZALTILMASININ ÖNÜNDEKİ ENGELLER/SORUNLAR/ÖNCELİKLENDİRME

Tablo E1. 13 AAT'lerde enerji tüketiminin azaltılmasının önündeki engeller/sorunlar (1. gün_engeller)

Grup Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama
1	Grup 1	M/Y	Mevzuat	Mevzuatta enerji kazanımı ve azaltılması yönünde yönergeler olmaması, zorlayıcı etmenlerin azlığı/yokluğu	5
2	Grup 1	G	Mevzuat	Belediyelerin atıksu arıtma tesislerinden üretilen enerjinin satışının mevzuatta düzenlenmemiş olması nedeniyle yatırımların gerekçelendirilememesi	0
3	Grup 1	G	Mevzuat	Başta elektrik piyasası lisans yönetmeliği vs. olmak üzere mevzuatta bütüncül ve terminolojik olarak eksiklikler olması (sözgelim Syngaz tesisleri Biyogaz olarak ifade ediliyor)	2
4	Grup 1	M/Y	Mevzuat	Arıtmaların performanslarının merkezi yönetimlerce enerji tüketimi esnasında uzaktan izleme sisteminin olmaması (atıksu deşarj limitleri izlenmesi gibi) uzaktan enerji tüketimi izleme sistemi + yaptırımlar	0
5	Grup 1	M	Proses ve Teknik	Susuzlaştırma adımının yetersizliği fazla enerji tüketimi yaratması	0
6	Grup 1	M	Proses ve Teknik	Tesis giriş ve çıkışlarına elektrik üretimine yönelik ekipmanların yerleştirilmesi (arşimet vidası gibi)	0
7	Grup 1	G	Proses ve Teknik	Atıksuya ihtiyaç fazlası oksijen verilmesi	0
8	Grup 1	M	Proses ve Teknik	Havalandırmada ölçümler yeterli ve konrollü yapılmalı, ihtiyaç fazlası havalandırma yapılmamalı	0
9	Grup 1	M/Y	Proses ve Teknik	Biyogaz yakma sistemlerinin (turbin vb.) kullanılması	0
10	Grup 1	M/Y	Proses ve Teknik	Enerji verimliliği konusunda geliştirilen teknolojilerin saha ölçekli çalıştırılamaması, bu bakımdan inandırıcı veya verimli bilgi edinilememesi	3
11	Grup 1	G	Proses ve Teknik	AAT'lerde kullanılan havalandırıcıların verimlerinin yüksek olması sağlanmalı, ölü bölgeler olmamalı, ekipmanların etkinliği arttırılmalı	0
12	Grup 1	G	Proses ve Teknik	Atıksu karakterinin öngörülenden daha az enerji içeriğine sahip olması. Teorik enerji eldesinin gerçekleşmemesi	1
13	Grup 1	G	Proses ve Teknik	Atıksu Havzası Kontrolü; Atıksu arıtma tesislerine gelen atıksuların tasarımın gerçekleştirildiği Almanya vb. atıksu karakterinden farklı olması. Endüstriyel kirlilik	0
14	Grup 1	G	Proses ve Teknik	Pompa yüklerinin azaltılması. Güneş enerjisinin kullanılması. Kanalizasyon çamuru değerlendirilmesi	0
15	Grup 1	M	Proses ve Teknik	Atıksu arıtma tesis tasarımında özellikle çamur ekipmanlarının en az %50 yedekli seçilmemiş olmasından kaynaklanan sistem duruşları	0
16	Grup 1	M/Y	Proses ve Teknik	Daha ilk proje ve tasarımda enerji tüketimi dikkate alınmadan tasarımla projenin başlaması	2
17	Grup 1	M/Y	Proses ve Teknik	Hangi teknolojinin hangi prosese uygun olduğunun bilinmemesi, eksik saha tecrübesi (müteahhit ve işletmecilerin)	0
18	Grup 1	M	Proses ve Teknik	Mevcut arıtma tesislerinin enerji verimliliği için düzenlenmemesi	0
19	Grup 1	G	Proses ve Teknik	Atıksu arıtma tesislerinde enerji optimizasyonunun gerçekleştirilmemiş olması	1
20	Grup 1	M/Y	Personel	İdari personelin ve/veya işletmecinin enerji verimliliği konusunda tecrübesiz olması	0
21	Grup 1	M/Y	Personel	Personel eğitimlerinde işletmelerde enerji geri kazanımı ve azaltılması eğitimlerinin verilmemesi. Eğitim eksikliği	1
22	Grup 1	G	Personel	Personelin bilgi ve tecrübe eksikliği. Arıtma konusunda tecrübeli elemanın istihdam edilmemesi	1
23	Grup 1	G	Personel	Tesislerde çalışan personellerin yeterli bilgi birikimiyle su karakterindeki değişime göre müdahele ederek enerji tüketiminin azaltılması	0

Grup Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama
24	Grup 1	M	Personel	Mevcut arıtma tesislerinin perforansının arttırılması için tüketilen fazla enerji. Personelin yetersizliği	0
25	Grup 1	M/Y	Personel	Proseste enerji ihtiyacı çıkarılarak enerji pozitif tesis hale getirebilmek amacıyla optimizasyon çalışmasının yetkin personel tarafından (Danışman/mühendislik firması) yapılması	4
26	Grup 1	G	Planlama, Finansman, İşletme	Firma ve sektörün arıtma için gerekli yatırımları enerji verimliliği açısından yapmamaları	0
27	Grup 1	G	Planlama, Finansman, İşletme	Yönetimlerin bütçelerinde yatırım kısmında enerji geri kazanımı ile planlama yapılmaması (arıtma tesisleri)	0
28	Grup 1	M	Planlama, Finansman, İşletme	Ömrünü tamamlamış eski teknolojili arıtma tesislerinin rehabilitasyonunda geç kalınması, enerji tasarruflu tesisler haline dönüştürülmede gecikme	1
29	Grup 1	Y	Planlama, Finansman, İşletme	Özellikle yeni yatırım projelerinin finansmanına ilişkin teknik dosyanın yeterince özenli hazırlanmaması	0
30	Grup 1	G	Planlama, Finansman, İşletme	Yönetimlerin arıtmaya ve elde edilebilecek enerji üretimine (çamur, biyokütlenin yakılması gibi) gereken önemi vermemesi	0
31	Grup 1	M/Y	Planlama, Finansman, İşletme	Yönetimsel problemler. Sözleşme yönetiminin engellenmesi	0
32	Grup 1	M/Y	Planlama, Finansman, İşletme	Paydaş kurumlar arasındaki bilgi ve iletişim eksikliği	1
33	Grup 1	G	Planlama, Finansman, İşletme	Güncel gelişmelerin yeni teknolojilerin takip edilmesi, uygulanması	1
34	Grup 1	M/Y	Planlama, Finansman, İşletme	İşletme şartnamelerinin eksik ve az bütçeyle düzenlenmesi. İşletme sürelerinin az olması	0
35	Grup 1	M/Y	Planlama, Finansman, İşletme	İşletme şartnamelerinin çok kısa işletme sürelerinde çıkması ve enerji verimliliği konusunda işletmeciyi teşvik etmemesi	5
36	Grup 1	M/Y	Planlama, Finansman, İşletme	Şartnamelerin enerji verimliliği konusunda işletmeciye belirlenmiş bir bütçe öngörmemesi, yatırımların kısıtlı kalmasına neden oluyor	0
37	Grup 1	Y	Planlama, Finansman, İşletme	Yeni teknoloji finansmanına ilişkin riskler & önyargılar	2
38	Grup 1	M/Y	Planlama, Finansman, İşletme	Finansör kuruluşların uluslararası finans kuruluşlarından sağladıkları kredileri en risksiz (çevre-sosyal-finansman) alanlarda kullanma eğilimi	2
39	Grup 1	M	Planlama, Finansman, İşletme	Mevcut AAT: Ekipmanların çok eski ve yüksek yenileme maliyetine sahip olması / Yeni AAT: Seçilen ekipmanların enerji verimliliği özelliğine bakılmadan ucuz olması nedeniyle sahaya montajı	3
1	Grup 2	G	Mevzuat	Arıtma tesislerinde enerji etütleri (Audit) yapılmaması. Enerji yöneticisi bulunmaması	1
2	Grup 2	M	Mevzuat	Mevcut AAT'lerin enerji verimliliğini arttırmaya yönelik itici mevzuatların eksikliği	3
3	Grup 2	G	Mevzuat	Özellikle Büyükşehirler haricinde yer alan Belediye AAT'leri için teşvik mekanizmalarının eksikliği	0
4	Grup 2	G	Mevzuat	Arıtma performansı ülkemiz AAT'lerde enerji tüketiminin yüksek olması nedeniyle AAT'ler uygun performansta çalıştırılmıyor/ hiç çalıştırılmıyor mevzuat zorlamaz ise çalıştırılmayacak	2

Grup Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama
5	Grup 2	G	Mevzuat	Mevzuat yetersizliği; Arıtma tesisleri kurulduktan sonra proje onayı için Bakanlığa sunulması ve tesis tasarımına müdahale edilmemesi	1
6	Grup 2	M/Y	Mevzuat	Yeni/Mevcut AAT'lerin enerji verimliliği uygulaması için gerekli finansal mekanizmaların eksikliği	0
7	Grup 2	G	Mevzuat	Enerji Yönetim Sistemi uygulanmıyor. ISO50001 Enerji Yönetim Sistemi belgelendirme çalışması yok	0
8	Grup 2	G	İdari	AAT'de enerji tüketiminin idarece kontrol edilmemesi	2
9	Grup 2	G	İdari	Arıtma performansları konusunda geliştirici bir hedef (ulusal ölçekte) konmaması	1
10	Grup 2	G	İdari	Enerji tüketiminin azaltılması için araştırma ve yenilikçi proseslerin geliştirilmemesi	0
11	Grup 2	G	İdari	Atıksudaki enerji geri kazanım potansiyeli değerlendirilmiyor	0
12	Grup 2	G	İdari	Tüketilen enerjinin TL eşdeğerinin önemsenmemesi	1
13	Grup 2	G	Personel	Arıtma tesislerinde yeterince tecrübeli personel bulunmaması (bakım, arıza, tekniker ve teknisyenler)	0
14	Grup 2	G	Personel	Yönetimsel AAT'lerde personel sayısı yetersiz/hiç yok genellikle bu konuda hiç ilgisi olmayan kişilerin çalıştırılması (güvenli görevlisi dahil)	0
15	Grup 2	G	Personel	Enerji optimizasyonu için gerekli ARGE çalışması yapacak saha personeli eksikliği	3
16	Grup 2	G	Personel	Personelin eğitilmemesi	0
17	Grup 2	G	Personel	Personel bilgi tecrübe eksikliği… genellikle yeni mezun kişilerin görevlendirilmesi, bu kişilerin çoğunluğununun da çevre mühendisi olmaması. Çevre mühendisi haricinde ilgisizi alanlardan mezun kişilerin görevlendirilmesi	2
18	Grup 2	Y	Ekipman	Uygun blower ve pompa seçimlerinin yapılmaması	2
19	Grup 2	G	Ekipman	Enerji verimliliği yüksek ekipman kullanılmaması	0
20	Grup 2	G	Ekipman	Oksijen kaynağı olarak sadece hava kullanılması. Oksijen veya Oksijen zengin karışım kullanılmaması	0
21	Grup 2	G	Ekipman	Enerjinin verimsiz kullanıldığı fazla tüketildiği proses ve ekipmanlar. Genellikle yüksek kapasiteli pompaların kullanımı çok yaygın. Bu da yüksek enerji tüketimine neden oluyor	1
22	Grup 2	G	Otomasyon	Proseste enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik otomasyon vb. bulunmaması	5
23	Grup 2	G	Otomasyon	Proses parametreleri hassas ölçümü ve bunlara göre prosesin otomasyon ile hassas kontrolü yeterli değil	0
24	Grup 2	G	Otomasyon	Arıtma tesislerinde gerekli sensör ve ekipmanların kullanılmaması	0
25	Grup 2	G	Otomasyon	Teknik altyapı yetersizliği. AAT'lerde olması gereken ölçümlerin yeterli sıklıkta yapılmadığı (CO, çamur hacmi vs)	0
26	Grup 2	G	Otomasyon	Enerji tüketiminin ölçülmemesi	0
27	Grup 2	G	Otomasyon	Proses şartlarının olması gerektiği gibi tutulamaması. Üretim yapılmadan başka enerji harcanmasına neden oluyor	0
28	Grup 2	G	Otomasyon	Yeterli çamur çekimi yapılamaması durumunda oksijen tüketiminin artması	1
29	Grup 2	G	İşletme	Tesisleri işleten firmaların arızaları zamanında çözüme kavuşturmamaları. Bakımların zamanında yapılmaması	0
30	Grup 2	G	İşletme	Tesis kapasitesinin/yapısının geçici aşırı yüklenmelere uygun olmaması. Tesisin yağmur suyu gibi aşırı yüklenmelere maruz kalması	1
31	Grup 2	G	İşletme	Havuzlara zamanında bakım yapılmaması	0
32	Grup 2	G	Proje	AAT tasarımında yeterli fizibilite çalışmasının yapılmaması, yanlış proses seçimi	6
33	Grup 2	G	Proje	Arıtma tesisi yerleşiminin uygun yapılmaması (hidrolik açıdan)	0
34	Grup 2	G	Proje	Biyogaz, kuru ürün gibi kalorifik değeri yüksek nihayi ürünleri çıkarmak ve geri çevrim için yeterli alt yapının oluşturulmaması	0

Grup Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama
35	Grup 2	G	Proje	Arıtma tesislerinde uygun cebri boru hattı yapılmaması nedeniyle enerji üretimi yapılamaması	0
36	Grup 2	G	Proje	Yatırımlar için master-plan ölçeğinde değerlendirme ve maliyet optimizasyon alternatifleri yapılmaması	4
1	Grup 3	M		Genellikle tüketilen enerjinin üniteler/ ekipmanlar düzeyinde sağlıklı takip edilememesi, ölçüm sistemi altyapı yetersizliği	4
2	Grup 3	M		Öncelikle tesisisin doğru işletilmesi. Doğru işletilen tesislerde ölçüm cihazlarının kalibrasyonu	2
3	Grup 3	M		Ekipmanların takibi ve değişimlerinin yapılmaması (havalandırma sistemleri)	2
4	Grup 3	M		Azot ve fosfor giderim proseslerinin oksijen tüketimine dayalı olması	2
5	Grup 3	M		ORP ve anlık ölçüm cihazları ile optimum oksijen seviyesini yakalamak mevsimsel 1,5-2 mg oksijen seviye ayarlarından vazgeçmek	1
6	Grup 3	G		Proje denetim birimlerinin yetersizliği. Projelendirmede uzmanlık? Bilgi aktarımındaki karmaşa	0
7	Grup 3	Y		Fizibilite eksikliği, yanlış tasarım	4
8	Grup 3	Y		Verimsiz havalandırma ekipmanları	0
9	Grup 3	M/Y		Düşük verimli ekipman kullanılması	3
10	Grup 3	M		Çamur yaşını düşük tutarak ekipmanların enerji tüketimini azaltmak. Alternatif çamur bertaraf sistemleri üzerinde çalışmak	0
11	Grup 3	M		Kontrol sistemlerinin eksikliği	4
12	Grup 3	M		Enerji yönetim sistemi bilinç-farkındalık eksikliği	2
13	Grup 3	M		İşletmede ar-ge (enerji üzerine) çalışmalarına yönelme olmaması (bütçe kısıtı)	0
14	Grup 3	M		Donanımlı, yeterli personel eksikliği	0
15	Grup 3	G		Kullanılan teknik şartnamelerin yetersizliği	0
16	Grup 3	M		Yurt çapında AAT için enerji envanterin detaylı olarak takip edebileceğimiz, ulaşılabilir bilgi havuzunun olmaması	1
17	Grup 3	Y		Enerji verimliliğini sağlayabilecek proseslerin (anammaxus) yeterli bilgi düzeyine ulaşmaması	4
18	Grup 3	G		Mevzuat ve yasal engeller	0
1	Grup 4	G	Proje Hazırlama + İhale	Lifecycle değerlendirmesi; İhlelerde neden enerji tüketimi bilgisi eksik? Anahtar teslimi projelerde enerji gözardı ediliyor? YAP-İŞLET-DEVRET (işletme uzun süre olmalı)	0
2	Grup 4	Y	Proje Hazırlama + İhale	Yeni tesislerin kurulumu aşamasında ülkemizdeki ihale koşulları düşünüldüğünde sade fiyat bazlı seçim yapılması	0
3	Grup 4	Y	Proje Hazırlama + İhale	Yeni tesislerin yapımı ve işletmesinin beraber sorumluluğunun verilerek, enerji tüketim taahhütlerinin istenmesi. Buna uygun ekipman seçiminin yapılması	0
4	Grup 4	Y	Proje Hazırlama + İhale	Yeni tesislerin dizaynı aşamasında enerji tüketimini azaltacak proses, ekipman seçilmemesi veya bunun öncelikli olduğu yaptırımların olmaması	3
5	Grup 4	M	Proje Hazırlama + İhale	Projelendirme aşamasında yapılan kabullerin ve seçilen formülasyonların 'over design' olması. İhtiyaç üzerinde bir sistem tasarımı yapılması	0
6	Grup 4	M	Proje Hazırlama + İhale	Özellikle ülkemiz çevresinde yaşanan siyasi sorunlardan dolayı oluşan göçler neticesinde bazı bilgelerde oluşan nüfus artışı, nüfus projeksiyonunun ani bir şekilde değişmesi	0
7	Grup 4	G	Proje Hazırlama +	Projelendirmeyi yapacak mühendisler yenilikçi proseslerin uygulanmasına ne kadar yetkin/bilgili	0

Grup Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama
			İhale		
8	Grup 4	Y	Proje Hazırlama + İhale	Proje mühendislerinin tek tip proje kullanması güncel prosesleri kullanmaması, takip etmemesi	1
9	Grup 4	G	Proje Hazırlama + İhale	Tasarımda kullanılan kriterler (şartname) ne kadar başarılı?	0
10	Grup 4	Y	Proje Hazırlama + İhale	yenilenebilir enerji kaynaklarının projelere entegre edilerek ilk yapım aşamasından itibaren uygun sistemlerin değerlendirilmesi (HES, RESGES, Byogen vb.)	3
11	Grup 4	G	Proje Hazırlama + İhale	Sadece çamur prosesi değil, arıtma prosesinin tamamı düşünülmeli, atıksuya göre (yerel koşullar) çözüm üretilmeli	0
12	Grup 4	Y	Proje Hazırlama + İhale	AAT projelerini kontrol edip onaylayan makamlarca konunun önemsenmemesi	0
13	Grup 4	Y	Proje Hazırlama + İhale	Otomasyon sisteminin doğru projelendirilmemesi ve doğru kullanılmaması	2
14	Grup 4	M	Proje Hazırlama + İhale	Personelin eğitiminin yetersiz olması ve güncel yaklaşımları takip imkanının verilmemesinden dolayı bu alandaki yeni gelişmelerden uzak kalması	0
15	Grup 4	M	Proje Hazırlama + İhale	Bürokrasinin yoğunluğu, idarecilerin sorumluluk almaması (kanun veya yönetmeliklerde sorumluluk almamaya yanaştırıyor olablir)	0
16	Grup 4	G	Proje Hazırlama + İhale	Teknik altyapı eksiklikleri, ön fizibilite ölçümleme eksikliği ile çıkan hatalı projeler	4
17	Grup 4	G	Yapım + Uygulama	Profesyonel ekip kullanılmaması. İhale ile işletmeci firmaya devredilmesi	0
18	Grup 4	G	Yapım + Uygulama	Doğru verilerin olmaması sebebi ile fazla kapasiteli ekipmanların kullanılması	1
19	Grup 4	M	Yapım + Uygulama	Mevcut tesislerin enerji verimliliği açısından etüdünü yapacak yeterli teknik bilgiye sahip firma olmaması (müşavirlik hizmeti eksikliği)	0
20	Grup 4	M	Yapım + Uygulama	Mevcut tesislerin revizyonu için teşviklerin olmaması	0
21	Grup 4	M	Yapım + Uygulama	Enerji üretmek için yeterli alanın tesis içerisinde bulunmaması	0
22	Grup 4	M	İşletme	Tesislerin işletilmesi aşamasında personelin eğitilmesi, işletme ile ilgili bilgilerin günümüz koşullarına göre yenilenerek iyileştirmelerin yapılmasının eksikliği. İdarelerin işletme personeli için zorunlu eğitimler yapması	0
23	Grup 4	G	İşletme	Ekipman bakım ve kullanım talimatlarının doğru şekilde uygulanmaması	0
24	Grup 4	M	İşletme	Gelişen teknolojiyle üretlen yeni ekipmanların eskileriyle değiştirilmemesi	0
25	Grup 4	M	İşletme	Mevcut tesislerde iyileştirmelerin enerji tüketimini gözeterek yapılmaması	0
26	Grup 4	M	İşletme	Ekipmanların bakımlarının ve onarımlarının periyodik olarak uzman kişilerce yapılmaması	0
27	Grup 4	G	İşletme	Arıtma teknolojisinin gelişmekte olması sebebiyle kalifiye elemanların henüz yetişmemiş olması	0
28	Grup 4	M	İşletme	Mevcut tesislerin işletilmesi aşamasında; geçerli olan, enerji tüketimini azaltacak iyileştirmelerin ne kadar doğru yapıldığı	1
29	Grup 4	M	İşletme	Yanlış ekipman ve uygunsuz projeler ile mevcut tesisi çalıştırmak	0
30	Grup 4	Y	İşletme	Mevzuatta enerji tüketiminin azaltılması ile ilgili zorlayıcı bir hüküm bulunmamaktadır	0

Grup Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama
31	Grup 4	Y	Inovasyon	Yeni kurulacak tesis eski tesislerin prensip ve proseslerinin kopyalanması dolayısıyla eskiyen teknoloji ve proseslerin de yeni tesise uygulanması	3
32	Grup 4	Y	Inovasyon	Yeni tesislerin dizaynı ve yapımı aşamasında yeni proseslerin uygulanmasının eksikliği ve alışılmış değişmesi gereken bazı proseslerde ısrarcı davranarak uygun olmayan yanlış tesislerin yapılması	0
1	Grup 5	Y		Hidrolik dizaynın doğru yapılarak tesislerde kullanılacak ekipmanların güçlerinin doğru tespit edilmesi, enerji kayıplarının önlenmesi	3
2	Grup 5	M		Enerji verimliliğinin arttırılması konusunda yeterli fon bulunmaması	3
3	Grup 5	G		AAT tesisinin işletmesinde yer alan personelin verimli bir şekilde proses ekipmanlarının çalıştıramaması	2
4	Grup 5	G		Her arıtım tesisine özel kendi bünyesinde Ar-Ge biriminin oluşturulması, o sistemlerdeki problemlerin çözümüne hizmet edecektir	1
5	Grup 5	Y		Projelendireme aşamalarında dizayn parametrelerinin doğru tespitinin yapılmaması ile yanlış dizayn, ekipman seçimi	0
6	Grup 5	M		Enerji verimliliği etüdünün yaptırılması ya da yaptırılmış olsa bile tavsiyelerin uygulanmaması	1
7	Grup 5	M/Y		Atıksu parametreleri bazında sensörler kullanılarak yapılan optimizasyon (enerji minimizasyonu optimizasyonu) otomasyon çalışmaları, uygun teknik altyapı ile sunulamıyor (yetersiz akademik bilgi)	0
8	Grup 5	M		Çamur çürütme ve biyogaz üretme tesislerinin (ünitelerinin) çamur + atıksu entegrasyonu ile projelendirilmeyip sedece çamur bertarafı amaçlı projelendirilmesi	1
9	Grup 5	M		Mevcut tesislerdeki proseslerde yapılacak olası değişikliklerde süreç ve enerji tüketen (izin- lisans- ÇED süreci vb) prosedürlerin, işin başında demotivasyon yaratması	3
10	Grup 5	G		Arıtma tesislerinin sadece arıtım değil katma değeri olan üretimleri de içerecek şekilde tasarlamak gerekir	1
11	Grup 5	G		Teknik personelin idari vizyon ile idari personelin teknik vizyon ile entegrasyonu sağanmalıdır. Teknik personel etkin kullanılmamaktadır	4
12	Grup 5	G		AAT'lerde bertarafı problem olan arıtma çamuru tesisin enerji ihtiyacının giderilmesi için uygun yakma sistemi tasarımı	1
13	Grup 5	G		Mevzuat önceliğinin arıtma verimi olup, enerjinin etkin ve verimli kullanımı olmaması. Mevzuat sınır değerlerini sağlayamama riskinin var olması	4
14	Grup 5	M		Mevcut arıtma tesislerindeki retention (arıtım süresini) azaltacak yeni teknolojiler devreye sokulmalı	3
15	Grup 5	M/Y		Tesislerde problem olan koku ünitelerinin (özellikle ozon jeneratörü kullanılarak enerji sarfiyatı yapan tesisler için) dizaynının iyi yapılması	0
16	Grup 5	G		Enerji tüketimini verimli ekipmanlarla azalttıktan sonra, tüketimin tamamını yenilenebilir enerji projelerinden karşılamak için belediyelere ayrılmış yeterli trafo kapasitesi olmaması	1
17	Grup 5	M		Analiz, ölçüm vb. cihazların kalibrasyon sorunları	2
18	Grup 5	G		Devletin bu tarz enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji projeleri için yönlendirme/ bilgilendirme ve teşviklerinin yetersizliği	0
19	Grup 5	G		Enerji verimliliğine hizmet edecek gerekli otomasyonun kurulması gerekir	0
20	Grup 5	M		Teknik altyapı yetersizliğinin giderilmesi için mevcut tesislerin iyileştirilmesi yoluyla enerji tüketiminin azaltılması	3
21	Grup 5	Y		Deşarj suyunun kullanılması gereken yere göre projesinin yapılmaması (örneğin yeşil alan sulamasında kullanılacak	1

Grup Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama
				su için nütrient gideriminin yapılması)	
22	Grup 5	M		Otomasyon ve scada sistemlerin olmadığı eski tesislerde personel işletimine dayalı enerji tüketiminin fazla olması	3
23	Grup 5	M		Otomasyon sistemlerinde yapılacak değişiklikler ile enerji verimliliği sağlanabilir (örneğin PID ayarları). Otomasyon sistemlerine geçiş yapılabilir.	0
24	Grup 5	Y		Yeni kurulacak olan tesisleri projelendiren birimlerin ayrı, işletecek birimlerin ayrı olması ve yeterli koordinasyonun sağlanamaması	4
1	Grup 6	Y		Konvansiyonel sistem ve yaklaşımların sürdürülmesi (çeşitli kaygılarla performans, bilgi eksikliği vb.)	0
2	Grup 6	Y		Uzun vadeli yatırım programının yapılmaması (projeksiyonun doğru yapılamaması)	0
3	Grup 6	Y		AAT'lerde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve ekipmanların daha pahalı olması	1
4	Grup 6	Y		Yeni kurulacak AAT'lerde enerji verimli teknolojlerin seçimi konusunda farkındalığın azlığı	0
5	Grup 6	Y		AAT tasarımında enerji verimliliği açısından uzmanlaşmış mühendis/tasarımcı eksikliği, uzmanlaşmış firma eksikliği	4
6	Grup 6	Y		Enerji tüketiminin esas alındığı yenilikçi proses/sistemlerin eksikliği/yetersizliği	2
7	Grup 6	M/Y		AAT'lerde yenilenebilir enerji ve atıktan enerji üretimi ile ilgili teşvik mekanizmalarının yetersizliği	2
8	Grup 6	M/Y		AAT kullanılan ekipmanların yerli ve yeni teknoloji olarak sağlanması. Yerli teknoloji yetersizliği, eksikliği	0
9	Grup 6	M/Y		AAT'lerde enerji verimliliği / yenilenebilir enerji uygulama kriterlerine yönelik mevzuat ve rehber dökümanlar eksikliği	4
10	Grup 6	M/Y		AAT'lerde kullanılan enerji ve potansiyel uygulamalar için kıyaslama araçlarının (web, rehber) eksikliği	0
11	Grup 6	M/Y		Arıtma tesislerinde yeni enerji teknolojileri kullanımının azlığı (demonstrasyon olmaması)	1
12	Grup 6	M/Y		Atıksu karakterizasyonundaki belirsizlik. Atıksu miktarındaki belirsizlik (günlük salınım/değişimlerin AAT işletmesini zorlaştırması)	4
13	Grup 6	M/Y		Otomasyon sistemlerinin kurulması ve yaygınlaştırılmasının önündeki mali engeller, maliyetin yüksek oluşu	0
14	Grup 6	M		AAT'lerde unite ve ekipman seviyesinde enerji tüketimlerinin ölçüm ve takibinin yapılmaması	5
15	Grup 6	M		AAT'lerde çalışan personelin enerjiyi işletme konusunda bilgi eksikliği	1
16	Grup 6	M		Tasarım kriterleri ve gerçekleşme (debi ve atıksu karakterizasyonu) arasında büyük farklar olması (çok küçük yada çok büyük tesisler)	1
17	Grup 6	M		Mevcut sistemlerde ilerki yıllar için yeterli ve doğru öngörüler yapılmadığından performanslı çalışmamaları	0
18	Grup 6	M		Eski teknolojilerin ve ekipmanların kullanılması (verimsiz ekipman)	3
19	Grup 6	M		Enerjiyi fazla tüketen ekipmanların kullanımı	1
20	Grup 6	G		AAT'lerde enerji verimli proseslerin AAT'yi bir fabrika modeline dönüştürebileceğine yönelik uygulamalardaki sayının azlığı	0
21	Grup 6	M		AAT'lerde mevcut ekipmanların yenileri ile değişimi sırasında fayda analizi yapılmaması	2
22	Grup 6	M		Mevcut AAT'lerede enerji etütlerini yapılmaması	0
23	Grup 6	M		Mevcut tesislerdeki otomasyon sistemlerinin enerji tüketiminin kontrolü için yetersiz olması	5
1	Grup 7	G	Tasarım (ilk)	Gelen atık suyun karakterizasyonu ve deşarj standartları yöresel durum göz önünde bulundurularak durum-spesifik çalışmalar yapılmalı	3
2	Grup 7	G	Tasarım (ilk)	Ön arıtmanın iyi işletilememesi / tasarlanamaması, sonra preslerdeki ekipmanların zarar görmesi	3

Grup Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama
3	Grup 7	G	Tasarım (ilk)	Yeni teknolojilerin değerlendirilmemesi	3
4	Grup 7	G	Tasarım (ilk)	Know-how eksikliği	0
5	Grup 7	M	Tasarım (ilk)	yenilenebilir enerji projelerinin veya enerji verimli ekipmanlarının tasarım ve proje aşamasında düşünülmemesi ve adaptasyon zorluğu	5
6	Grup 7	G	Tasarım (ilk)	Tesiste pompa iletiminin tükettiği enerjiyi düşürebilmek için tesisin hidrolik profil inşaatında kat farklılıklarının dikkate alınmaması	1
7	Grup 7	G	Bütçe	Devlet teşviği eksikliği. İşletme giderlerinin fazla olması. Yatırım maliyetlerinin fazla olması	5
8	Grup 7	G	Bütçe	Bütçe sıkıntılarından dolayı uygun ve yeni teknolojilere yatırım yapılamaması	3
9	Grup 7	G	Eğitim-Farkındalık-Sürdürebilirlik	AAT personeli ve yönetimi kapsamında; eğitim, farkındalık, AR-GE ve teknoloji takibi konularında eksiklik olması	6
10	Grup 7	G	Eğitim-Farkındalık-Sürdürebilirlik	AAT'lerde kalifiye eleman ve yönetici eksikliği	1
11	Grup 7	G	Verimlilik (Ekipman - İşletme)	Data veri toplama ve analizlerinin eksikliği	3
12	Grup 7	G	Verimlilik (Ekipman - İşletme)	Bakımların periyodik olarak yapılmaması	5
13	Grup 7	G	Verimlilik (Ekipman - İşletme)	Ekipmanlarda ölçüm ve analizlerin düzenli ve doğru yapılmaması, hatalı tespitler oluşması	6
1	Grup 8	G	Tasarım	Ekipman seçimi yeni nesil motorlar ve sistemler	6
2	Grup 8	M/Y	Tasarım	Tasarımların uzmanlar tarafından yapılmaması	0
3	Grup 8	M	Tasarım	Teknik altyapı eksikliklerinin giderilmesi için doğru fizibilite çalışmasının yapılması	0
4	Grup 8	G	Tasarım	AAT'nin yanlış tasarımı	5
5	Grup 8	G	Tasarım	Enstrümanlara uygun kestirimci bakım tekniği uygulanmalı	0
6	Grup 8	G	Tasarım	Tesis dizaynında yapılan hatalar küçük büyük AAT	0
7	Grup 8	G	Tasarım	Çalıştırılan tüm teknik aksamın atık suyun niteliğine göre seçimi yapılmalı ve uygun montajı yapılmalı	1
8	Grup 8	G	Tasarım	Teknik olarak altyapının yetersiz olması ya da eski alt yapının olması	5
9	Grup 8	G	Tasarım	Çıkış suyunun geri kazanılarak tesis enerjisini arttırmak	0
10	Grup 8	G	Tasarım	atıksu gelen debinin niteliğine göre uygun çökertmeler yapılmalı	0
11	Grup 8	Y	Tasarım	Arıtma performansının artırılması	0
12	Grup 8	M/Y	Tasarım	Mevcut sistemlerin ve/veya yeni tasarlanacak sistemlerde konvansiyonel sistem tutkusundan kurtulamaması	3
13	Grup 8	M	Renovasyon	AAT'lerin gelişimi veya yenilenmesi için gerekli bütçelerin kısıtlı olması	0
14	Grup 8	M	Renovasyon	Tesis renovasyonu için fikir üretilememesi	0
15	Grup 8	M	Renovasyon	Kullanılan ekipmanların yeni teknolojiye uygun olmayan, eskinin devamlı tamir edilmeye çalışması	0
16	Grup 8	Y	Renovasyon	Konvansiyonel tekniklerin kimyasal proseslerle hızlandırılması ve az enerji tüketimi sağlanması	0
17	Grup 8	G	İşletme	Blower seçimine dikkat edilmeli, uygun seçimi ve çalıştırma (Çamur çekme) süreleri atanmalı	1
18	Grup 8	G	İşletme	AAT enerji tüketim sistem ve prosesin belirsizliği	0

Grup Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama
19	Grup 8	G	İşletme	Dolaşım sistemlerinde basınç kaybının azaltılması	0
20	Grup 8	M/Y	İşletme	Personel eğitimine ve iş sağlığı güvenliğine dikkat edilerek, belirli aralıklarla eğitilmesi sağlanmalı	0
21	Grup 8	Y	İşletme	Atıksu havalandırma sistemleri üzerine arge yapılması	0
22	Grup 8	Y	İşletme	Kurulacak yeni tesisin yerinin doğru analiz edilerek kolay ulaşım sağlanmalı. bürokratik engeller kalkmalı	1
23	Grup 8	M/Y	İşletme	Atıksu karakter karakterizasyonunun düzgün belirlenmemesi	0
24	Grup 8	Y	Y. Enerji	Havuzların üzerinin güneş paneli ile kaplanması	0
25	Grup 8	Y	Y. Enerji	Enerji verimliliği için daha fazla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması personelin bilinçlenmesi	1
26	Grup 8	G	Y. Enerji	Yenilenebilir enerjinin yaygın olmaması nedeniyle AAT de uygulamanın mümkün olup olmayacağının belirsizliği	0
27	Grup 8	G	Y. Enerji	Çürütücü ve biyogaz üretimi	0
28	Grup 8	G	Eğitim - Kamuoyu	AAT tesislerinin çok fazla yaygın olmaması nedeniyle kamuoyunun bilgilendirmesinin yetersizligi halkın atıksu oluşumu konusunda bilinçlendirilmesi	1
29	Grup 8	G	Eğitim - Kamuoyu	Personel bilgi tecrübe eksikliği	0
30	Grup 8	M	Eğitim - Kamuoyu	Personelin eğitim eksikliği (teknik)	0
31	Grup 8	G	Eğitim - Kamuoyu	Yaygın olmayan bir sistem olduğu için tecrübeli eleman eksikliği	0
32	Grup 8	G	Eğitim - Kamuoyu	Teknolojik bilgi yetersizliği	1
33	Grup 8	G	Eğitim - Kamuoyu	Ülke genelinde arıtma tesisi bilgi paylaşımı ve uygun imalatın yapılması	2
34	Grup 8	G	Eğitim - Kamuoyu	Kalifiye personel	3

Tablo E1. 14 AAT'lerde enerji tüketiminin azaltılmasının önündeki engeller/sorunlar-önceliklendirme (1. gün_önceliklendirme)

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama	Konu
8	1	Grup 8	G	Tasarım	Teknik olarak altyapının yetersiz olması ya da eski alt yapının olması	5	Altyapı
16	2	Grup 4	G	Proje Hazırlama + İhale	Teknik altyapı eksiklikleri, ön fizibilite ölçümleme eksikliği ile çıkan hatalı projeler	4	Altyapı
20	3	Grup 5	M		Teknik altyapı yetersizliğinin giderilmesi için mevcut tesislerin iyileştirilmesi yoluyla enerji tüketiminin azaltılması	3	Altyapı
12	4	Grup 7	G	Verimlilik (Ekipman - İşletme)	Bakımların periyodik olarak yapılmaması	5	Bakım
1	5	Grup 8	G	Tasarım	Ekipman seçimi yeni nesil motorlar ve sistemler	6	Ekipman
9	6	Grup 3	M/Y		Düşük verimli ekipman kullanılması	3	Ekipman
1	7	Grup 5	Y		Hidrolik dizaynın doğru yapılarak tesislerde kullanılacak ekipmanların güçlerinin doğru tespit edilmesi, enerji kayıplarının önlenmesi	3	Ekipman
18	8	Grup 6	M		Eski teknolojilerin ve ekipmanların kullanılması (verimsiz ekipman)	3	Ekipman
18	9	Grup 2	Y	Ekipman	Uygun blower ve pompa seçimlerinin yapılmaması	2	Ekipman
3	10	Grup 3	M		Ekipmanların takibi ve değişimlerinin yapılmaması (havalandırma sistemleri)	2	Ekipman
21	11	Grup 6	M		AAT'lerde mevcut ekipmanların yenileri ile değişimi sırasında fayda analizi yapılmaması	2	Ekipman
18	12	Grup 4	G	Yapım + Uygulama	Doğru verilerin olmaması sebebi ile fazla kapasiteli ekipmanların kullanılması	1	Ekipman
21	13	Grup 2	G	Ekipman	Enerjinin verimsiz kullanıldığı fazla tüketildiği proses ve ekipmanlar. Genellikle yüksek kapasiteli pompaların kullanımı çok yaygın. Bu da yüksek enerji tüketimine neden oluyor	1	Ekipman
19	14	Grup 6	M		Enerjiyi fazla tüketen ekipmanların kullanımı	1	Ekipman
7	15	Grup 7	G	Bütçe	Devlet teşviği eksikliği. İşletme giderlerinin fazla olması. Yatırım maliyetlerinin fazla olması	5	Finansman
39	16	Grup 1	M	Planlama, Finansman, İşletme	Mevcut AAT: Ekipmanların çok eski ve yüksek yenileme maliyetine sahip olması / Yeni AAT: Seçilen ekipmanların enerji verimliliği özelliğine bakılmadan ucuz olması nedeniyle sahaya montajı	3	Finansman
8	17	Grup 7	G	Bütçe	Bütçe sıkıntılarından dolayı uygun ve yeni teknolojilere yatırım yapılamaması	3	Finansman
2	18	Grup 5	M		Enerji verimliliğinin arttırılması konusunda yeterli fon bulunmaması	3	Finansman
37	19	Grup 1	Y	Planlama, Finansman, İşletme	Yeni teknoloji finansmanına ilişkin riskler & önyargılar	2	Finansman
38	20	Grup 1	M/Y	Planlama, Finansman, İşletme	Finansör kuruluşların uluslararası finans kuruluşlarından sağladıkları kredileri en risksiz (çevre-sosyal-finansman) alanlarda kullanma eğilimi	2	Finansman
7	21	Grup 6	M/Y		AAT'lerde yenilenebilir enerji ve atıktan enerji üretimi ile ilgili teşvik mekanizmalarının yetersizliği	2	Finansman

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama	Konu
3	22	Grup 6	Y		AAT'lerde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve ekipmanların daha pahalı olması	1	Finansman
32	23	Grup 2	G	Proje	AAT tasarımında yeterli fizibilite çalışmasının yapılmaması, yanlış proses seçimi	6	Fizibilite
5	24	Grup 7	M	Tasarım (ilk)	Yenilenebilir enerji projelerinin veya enerji verimli ekipmanlarının tasarım ve proje aşamasında düşünülmemesi ve adaptasyon zorluğu	5	Fizibilite
7	25	Grup 3	Y		Fizibilite eksikliği, yanlış tasarım	4	Fizibilite
22	26	Grup 8	Y	İşletme	Kurulacak yeni tesisin yerinin doğru analiz edilerek kolay ulaşım sağlanmalı. bürokratik engeller kalkmalı	1	Fizibilite
1	27	Grup 1	M/Y	Mevzuat	Mevzuatta enerji kazanımı ve azaltılması yönünde yönergeler olmaması, zorlayıcı etmenlerin azlığı/yokluğu	5	Mevzuat
13	28	Grup 5	G		Mevzuat önceliğinin arıtma verimi olup, enerjinin etkin ve verimli kullanımı olmaması. Mevzuat sınır değerlerini sağlayamama riskinin var olması	4	Mevzuat
9	29	Grup 6	M/Y		AAT'lerde enerji verimliliği / yenilenebilir enerji uygulama kriterlerine yönelik mevzuat ve rehber dökümanlar eksikliği	4	Mevzuat
2	30	Grup 2	M	Mevzuat	Mevcut AAT'lerin enerji verimliliğini arttırmaya yönelik itici mevzuatların eksikliği	3	Mevzuat
3	31	Grup 1	G	Mevzuat	Başta elektrik piyasası lisans yönetmeliği vs. olmak üzere mevzuatta bütüncül ve terminolojik olarak eksiklikler olması (sözgelim Syngaz tesisleri Biyogaz olarak ifade ediliyor)	2	Mevzuat
4	32	Grup 2	G	Mevzuat	Arıtma performansı ülkemiz AAT'lerde enerji tüketiminin yüksek olması nedeniyle AAT'ler uygun performansta çalıştırılmıyor/ hiç çalıştırılmıyor mevzuat zorlamaz ise çalıştırılmayacak	2	Mevzuat
1	33	Grup 2	G	Mevzuat	Arıtma tesislerinde enerji etütleri (Audit) yapılmaması. Enerji yöneticisi bulunmaması	1	Mevzuat
5	34	Grup 2	G	Mevzuat	Mevzuat yetersizliği; Arıtma tesisleri kurulduktan sonra proje onayı için Bakanlığa sunulması ve tesis tasarımına müdahale edilmemesi	1	Mevzuat
13	35	Grup 7	G	Verimlilik (Ekipman - İşletme)	Ekipmanlarda ölçüm ve analizlerin düzenli ve doğru yapılmaması, hatalı tespitler oluşması	6	Ölçüm
14	36	Grup 6	M		AAT'lerde unite ve ekipman seviyesinde enerji tüketimlerinin ölçüm ve takibinin yapılmaması	5	Ölçüm
1	37	Grup 3	M		Genellikle tüketilen enerjinin üniteler/ ekipmanlar düzeyinde sağlıklı takip edilememesi, ölçüm sistemi altyapı yetersizliği	4	Ölçüm
11	38	Grup 3	M		Kontrol sistemlerinin eksikliği	4	Ölçüm
12	39	Grup 6	M/Y		Atıksu karakterizasyonundaki belirsizlik. Atıksu miktarındaki belirsizlik (günlük salınım/değişimlerin AAT işletmesini zorlaştırması)	4	Ölçüm
11	40	Grup 7	G	Verimlilik (Ekipman - İşletme)	Data veri toplama ve analizlerinin eksikliği	3	Ölçüm

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama	Konu
1	41	Grup 7	G	Tasarım (ilk)	Gelen atık suyun karakterizasyonu ve deşarj standartları yöresel durum göz önünde bulundurularak durum-spesifik çalışmalar yapılmalı	3	Ölçüm
2	42	Grup 3	M		Öncelikle tesisisin doğru işletilmesi. Doğru işletilen tesislerde ölçüm cihazlarının kalibrasyonu	2	Ölçüm
4	43	Grup 3	M		Azot ve fosfor giderim proseslerinin oksijen tüketimine dayalı olması	2	Ölçüm
17	44	Grup 5	M		Analiz, ölçüm vb. cihazların kalibrasyon sorunları	2	Ölçüm
17	45	Grup 8	G	İşletme	Blower seçimine dikkat edilmeli, uygun seçimi ve çalıştırma (Çamur çekme) süreleri atanmalı	1	Ölçüm
5	46	Grup 3	M		ORP ve anlık ölçüm cihazları ile optimum oksijen seviyesini yakalamak mevsimsel 1,5-2 mg oksijen seviye ayarlarından vazgeçmek	1	Ölçüm
22	47	Grup 2	G	Otomasyon	Proseste enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik otomasyon vb. bulunmaması	5	Otomasyon
23	48	Grup 6	M		Mevcut tesislerdeki otomasyon sistemlerinin enerji tüketiminin kontrolü için yetersiz olması	5	Otomasyon
17	49	Grup 3	Y		Enerji verimliliğini sağlayabilecek proseslerin (anammaxus) yeterli bilgi düzeyine ulaşmaması	4	Otomasyon
22	50	Grup 5	M		Otomasyon ve scada sistemlerin olmadığı eski tesislerde personel işletimine dayalı enerji tüketiminin fazla olması	3	Otomasyon
13	51	Grup 4	Y	Proje Hazırlama + İhale	Otomasyon sisteminin doğru projelendirilmemesi ve doğru kullanılmaması	2	Otomasyon
28	52	Grup 2	G	Otomasyon	Yeterli çamur çekimi yapılamaması durumunda oksijen tüketiminin artması	1	Otomasyon
9	53	Grup 7	G	Eğitim-Farkındalık-Sürdürebilirlik	AAT personeli ve yönetimi kapsamında; eğitim, farkındalık, AR-GE ve teknoloji takibi konularında eksiklik olması	6	Personel
25	54	Grup 1	M/Y	Personel	Proseste enerji ihtiyacı çıkarılarak enerji pozitif tesis hale getirebilmek amacıyla optimizasyon çalışmasının yetkin personel tarafından (Danışman/mühendislik firması) yapılmaması	4	Personel
11	55	Grup 5	G		Teknik personelin idari vizyon ile idari personelin teknik vizyon ile entegrasyonu sağanmalıdır. Teknik personel etkin kullanılmamaktadır	4	Personel
15	56	Grup 2	G	Personel	Enerji optimizasyonu için gerekli ARGE çalışması yapacak saha personeli eksikliği	3	Personel
34	57	Grup 8	G	Eğitim - Kamuoyu	Kalifiye personel	3	Personel
9	58	Grup 5	M		Mevcut tesislerdeki proseslerde yapılacak olası değişikliklerde süreç ve enerji tüketen (izin- lisans- ÇED süreci vb) prosedürlerin, işin başında demotivasyon yaratması	3	Personel
17	59	Grup 2	G	Personel	Personel bilgi tecrübe eksikliği… genellikle yeni mezun kişilerin görevlendirilmesi, bu kişilerin çoğunluğununun da çevre mühendisi olmaması. Çevre mühendisi haricinde ilgisizi alanlardan mezun kişilerin görevlendirilmesi	2	Personel
3	60	Grup 5	G		AAT tesisinin işletmesinde yer alan personelin verimli bir şekilde proses ekipmanlarının	2	Personel

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama	Konu
					çalıştıramaması		
25	61	Grup 8	Y	Y. Enerji	Enerji verimliliği için daha fazla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması personelin bilinçlenmesi	1	Personel
7	62	Grup 8	G	Tasarım	Çalıştırılan tüm teknik aksamın atık suyun niteliğine göre seçimi yapılmalı ve uygun montajı yapılmalı	1	Personel
21	63	Grup 1	M/Y	Personel	Personel eğitimlerinde işletmelerde enerji geri kazanımı ve azaltılması eğitimlerinin verilmemesi. Eğitim eksikliği	1	Personel
22	64	Grup 1	G	Personel	Personelin bilgi ve tecrübe eksikliği. Arıtma konusunda tecrübeli elemanın istihdam edilmemesi	1	Personel
10	65	Grup 7	G	Eğitim-Farkındalık-Sürdürebilirlik	AAT'lerde kalifiye eleman ve yönetici eksikliği	1	Personel
15	66	Grup 6	M		AAT'lerde çalışan personelin enerjiyi işletme konusunda bilgi eksikliği	1	Personel
12	67	Grup 1	G	Proses ve Teknik	Atıksu karakterinin öngörülenden daha az enerji içeriğine sahip olması. Teorik enerji eldesinin gerçekleşmemesi	1	Proses
19	68	Grup 1	G	Proses ve Teknik	Atıksu arıtma tesislerinde enerji optimizasyonunun gerçekleştirilmemiş olması	1	Proses
8	69	Grup 4	Y	Proje Hazırlama + İhale	Proje mühendislerinin tek tip proje kullanması güncel prosesleri kullanmaması, takip etmemesi	1	Proses
28	70	Grup 4	M	İşletme	Mevcut tesislerin işletilmesi aşamasında; geçerli olan, enerji tüketimini azaltacak iyileştirmelerin ne kadar doğru yapıldığı	1	Proses
35	71	Grup 1	M/Y	Planlama, Finansman, İşletme	İşletme şartnamelerinin çok kısa işletme sürelerinde çıkması ve enerji verimliliği konusunda işletmeciyi teşvik etmemesi	5	Şartname
4	72	Grup 8	G	Tasarım	AAT'nin yanlış tasarımı	5	Tasarım
24	73	Grup 5	Y		Yeni kurulacak olan tesisleri projelendiren birimlerin ayrı, işletecek birimlerin ayrı olması ve yeterli koordinasyonun sağlanamaması	4	Tasarım
5	74	Grup 6	Y		AAT tasarımında enerji verimliliği açısından uzmanlaşmış mühendis/tasarımcı eksikliği, uzmanlaşmış firma eksikliği	4	Tasarım
2	75	Grup 7	G	Tasarım (ilk)	Ön arıtmanın iyi işletilememesi / tasarlanamaması, sonra preslerdeki ekipmanların zarar görmesi	3	Tasarım
12	76	Grup 8	M/Y	Tasarım	Mevcut sistemlerin ve/veya yeni tasarlanacak sistemlerde konvansiyonel sistem tutkusundan kurtulamaması	3	Tasarım
10	77	Grup 1	M/Y	Proses ve Teknik	Enerji verimliliği konusunda geliştirilen teknolojilerin saha ölçekli çalıştırılamaması, bu bakımdan inandırıcı veya verimli bilgi edinilememesi	3	Tasarım
4	78	Grup 4	Y	Proje Hazırlama + İhale	Yeni tesislerin dizaynı aşamasında enerji tüketimini azaltacak proses, ekipman seçilmemesi veya bunun öncelikli olduğu yaptırımların olmaması	3	Tasarım
10	79	Grup 4	Y	Proje Hazırlama +	yenilenebilir enerji kaynaklarının projelere entegre edilerek ilk yapım aşamasından	3	Tasarım

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama	Konu
				İhale	itibaren uygun sistemlerin değerlendirilmesi (HES, RESGES, Byogen vb.)		
16	80	Grup 1	M/Y	Proses ve Teknik	Daha ilk proje ve tasarımda enerji tüketimi dikkate alınmadan tasarımla projenin başlaması	2	Tasarım
6	81	Grup 7	G	Tasarım (ilk)	Tesiste pompa iletiminin tükettiği enerjiyi düşürebilmek için tesisin hidrolik profil inşaatında kat farklılıklarının dikkate alınmaması	1	Tasarım
8	82	Grup 5	M		Çamur çürütme ve biyogaz üretme tesislerinin (ünitelerinin) çamur + atıksu entegrasyonu ile projelendirilmeyip sedece çamur bertarafı amaçlı projelendirilmesi	1	Tasarım
10	83	Grup 5	G		Arıtma tesislerinin sadece arıtım değil katma değeri olan üretimleri de içerecek şekilde tasarlamak gerekir	1	Tasarım
12	84	Grup 5	G		AAT'lerde bertarafı problem olan arıtma çamuru tesisin enerji ihtiyacının giderilmesi için uygun yakma sistemi tasarımı	1	Tasarım
21	85	Grup 5	Y		Deşarj suyunun kullanılması gereken yere göre projesinin yapılmaması (örneğin yeşil alan sulamasında kullanılacak su için nütrient gideriminin yapılması)	1	Tasarım
16	86	Grup 6	M		Tasarım kriterleri ve gerçekleşme (debi ve atıksu karakterizasyonu) arasında büyük farklar olması (çok küçük yada çok büyük tesisler)	1	Tasarım
3	87	Grup 7	G	Tasarım (ilk)	Yeni teknolojilerin değerlendirilmemesi	3	Teknoloji
31	88	Grup 4	Y	Inovasyon	Yeni kurulacak tesis eski tesislerin prensip ve proseslerinin kopyalanması dolayısıyla eskiyen teknoloji ve proseslerin de yeni tesise uygulanması	3	Teknoloji
14	89	Grup 5	M		Mevcut arıtma tesislerindeki retention (arıtım süresini) azaltacak yeni teknolojiler devreye sokulmalı	3	Teknoloji
6	90	Grup 6	Y		Enerji tüketiminin esas alındığı yenilikçi proses/sistemlerin eksikliği/yetersizliği	2	Teknoloji
28	91	Grup 1	M	Planlama, Finansman, İşletme	Ömrünü tamamlamış eski teknolojili arıtma tesislerinin rehabilitasyonunda geç kalınması, enerji tasarruflu tesisler haline dönüştürülmede gecikme	1	Teknoloji
33	92	Grup 1	G	Planlama, Finansman, İşletme	Güncel gelişmelerin yeni teknolojilerin takip edilmesi, uygulanması	1	Teknoloji
30	93	Grup 2	G	İşletme	Tesis kapasitesinin/yapısının geçici aşırı yüklenmelere uygun olmaması. Tesisin yağmur suyu gibi aşırı yüklenmelere maruz kalması	1	Teknoloji
11	94	Grup 6	M/Y		Arıtma tesislerinde yeni enerji teknolojileri kullanımının azlığı (demonstrasyon olmaması)	1	Teknoloji
36	95	Grup 2	G	Proje	Yatırımlar için master-plan ölçeğinde değerlendirme ve maliyet optimizasyon alternatifleri yapılmaması	4	Yatırım
8	96	Grup 2	G	İdari	AAT'de enerji tüketiminin idarece kontrol edilmemesi	2	Yönetim
33	97	Grup 8	G	Eğitim - Kamuoyu	Ülke genelinde arıtma tesisi bilgi paylaşımı ve uygun imalatın yapılması	2	Yönetim
12	98	Grup 3	M		Enerji yönetim sistemi bilinç-farkındalık eksikliği	2	Yönetim
32	99	Grup 1	Y/M	Planlama,	Paydaş kurumlar arasındaki bilgi ve iletişim eksikliği	1	Yönetim

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	Yeni /Mevcut /Genel	Grup Konu	Engel/Sorun İfadesi	Puanlama	Konu
				Finansman, İşletme			
9	100	Grup 2	G	İdari	Arıtma performansları konusunda geliştirici bir hedef (ulusal ölçekte) konmaması	1	Yönetim
12	101	Grup 2	G	İdari	Tüketilen enerjinin TL eşdeğerinin önemsenmemesi	1	Yönetim
28	102	Grup 8	G	Eğitim - Kamuoyu	AAT tesislerinin çok fazla yaygın olmaması nedeniyle kamuoyunun bilgilendirmesinin yetersizligi halkın atıksu oluşumu konusunda bilinçlendirilmesi	1	Yönetim
32	103	Grup 8	G	Eğitim - Kamuoyu	Teknolojik bilgi yetersizliği	1	Yönetim
16	104	Grup 3	M		Yurt çapında AAT için enerji envanterin detaylı olarak takip edebileceğimiz, ulaşılabilir bilgi havuzunun olmaması	1	Yönetim
4	105	Grup 5	G		Her arıtım tesisine özel kendi bünyesinde Ar-Ge biriminin oluşturulması, o sistemlerdeki problemlerin çözümüne hizmet edecektir	1	Yönetim
6	106	Grup 5	M		Enerji verimliliği etüdünün yaptırılması ya da yaptırılmış olsa bile tavsiyelerin uygulanmaması	1	Yönetim
16	107	Grup 5	G		Enerji tüketimini verimli ekipmanlarla azalttıktan sonra, tüketimin tamamını yenilenebilir enerji projelerinden karşılamak için belediyelere ayrılmış yeterli trafo kapasitesi olmaması	1	Yönetim

ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE İHTİYAÇLAR VE ÖNCELİKLENDİRME

Tablo E1. 15 AAT'lerde ihtiyaçlar

Grup Sıra No	Grup Adı	İhtiyaç İfadesi	Puanlama
1	Grup 1	Atıksu arıtma tesisi işletme şartnamelerine enerji teşviklerinin eklenmesi. Kwh/m^3, üretim Biogaz/m3	12
2	Grup 1	Tesis yeniden kurulacak olsa; havuzun incelenmesinin detaylı yapılarak güneş/ rüzgâr /HES kurulumu vb. için projelendirmelerin ve fizibilitelerin yapılması, sonuçlarına göre belirlenen kapasiteye göre kurulumlarının gerçekleştirilmesi	12
3	Grup 1	Üniversite (Kamu)sanayi-endüstri işbirliği sağlanması. Uygulanacak yöntemlerin optimizasyonunun uygulanabilirliğinin değerlendirmesi için Ar-GE (lab- pilot ölçekli çalışmalar yapılmalı)	11
4	Grup 1	AAT'leri enerji verimliliği konusunda yönlendirecek/ zorlayacak / teşvik edecek yasal mevzuatın/ yönergelerin yürürlüğe girmesi. Ekipman seçiminde enerji verimliliğinin maliyette beraber ele alınmasını zorlayan yönergelerin olması	10
5	Grup 1	Çamurların anaerobik çürütülmesi prosesini içeren AAT'lerde biyogaz verimini artıracak ön işletmelerin prosese dahil edilmesi. Dezentegrasyon yöntemleri (hidrodinamik/ ultras. kavitasyon gibi)	10
6	Grup 1	Havalandırmadan kaynaklanan enerjinin azaltılması amacıyla nütrient gideriminin yenilebilir biyokütle kaynağı olan mikroalglerle sağlanması. Suyun yanında hava kalitesinin de korunması amacıyla (küresel ısınmanın etkisini azaltmak için) tesis baca gazlarından salınan CO2'in mikroalgler için gerekli karbon kaynağı olarak kullanımının sağlanması	10
7	Grup 1	AAT'lerin yeniden tasarlanması aşamasında atıksu- debi- karakterizasyon- projeksiyonların daha etkin yapılmasını sağlamak için ön çalışmalar yapmak. Olabilecek değişikliklere karşı B planları geliştirmek	8
8	Grup 1	Tesis enerji ünitesinden çıkan atık ısıyı minimize edecek bir kojenerasyon ünitesi tasarlayarak, atık ısının tesis kullanım alternatiflerini artırmak	8
9	Grup 1	Oluşturulan işletme şartnamelerinin bir sistem dahilinde kontrol edilmesi/ onaylanması için kontrol mekanizması oluşturulması. Enerji verimliliği açısından incelenip, onay verilecek bir mekanizma	6
10	Grup 1	Mevzuatların yeniden düzenlenerek kurumların görev dağılımlarının, kullanılacak terminoloji ve tanımların, enerji verimliliğine yönelik maddelerin, uyulması gereken kriterlerin yeniden yazılması. Mevzuatın oluşturulması sürecinin daha metodolojik hale getirilmesi	5
11	Grup 1	AAT'lerde kullanılacak ekipmanların etkinliğinin, verimliliğinin tespit edilmesi için çalışmalar yapmak ve ekipmanları bu çalışma sonucuna göre seçmek	0
12	Grup 1	Yeni kurulacak tesiste enerji tüketimlerini sürekli takibini ve kaydını alabilmek amacıyla alınacak ekipmanların ve kurulacak kontrol sisteminin bunu sağlayacak şekilde temin edilmesi ve kurulması	0
1	Grup 2	AAT tasarım aşamasında enerji verimliliği sağlayacak yeni proseslere yönelik atıksu ve mevcut altyapı yönetimlerini yönlendirebilecek mevzuat/uygulamalar/kılavuz geliştirilmesi	10
2	Grup 2	Proje aşamasında enerji tüketiminin gözünle alınması ve uygun proses seçimi (Master Plan)	10
3	Grup 2	Çevre bakanlığı tarafından AAT'lerin ülke bazında enerji tüketimleri yıllık olarak izlemeli, istatistik tutulmalı, analiz edilmeli	9
4	Grup 2	E.V kanunu ile endüstriyel işletmelere getirilen etüt yapma E.V bulundurma gibi yükümlülüklerin AAT'lere de uygulanması	9
5	Grup 2	Tesislerde kullanılan ekipmanların takipleri (akım,hız vs.) scada oparatörleri tarafından yapılarak gerekli durumlarda müdahalede bulunmak	8
6	Grup 2	Enerjiyi verimli kullanmak için atıksu arıtma tesislerinde mevcut durum tespit çalışması yapılması (ETÜT)	8
7	Grup 2	Master plan için Çevre ve enerji bakanlığı iş birliği oluşturulmalı ve çalışma grupları kurulmalı	8
8	Grup 2	AAT'lerde yenilebilir enerji kaynakları araştırılmalıdır	7

Grup Sıra No	Grup Adı	İhtiyaç İfadesi	Puanlama
9	Grup 2	Personelin arıtma tesissinin işletilmesi ve enerji yönetimi konularında sertifikalandırılması	7
10	Grup 2	AAT'rinde biyogaz oluşum prosesleri seçilmeli ve enerji üretilmelidir	6
11	Grup 2	Atıksu arıtma tesislerinde enerji verimliliği için ekipman revizyonu/yenilenmesi	5
12	Grup 2	Proje onay prosedürü değiştirilmeli (ve yapı)T	4
13	Grup 2	Tasarım -Kojenerasyon sistemlerinden tesislerde atık ısının tamamının kullanılması sağlanmalı	4
1	Grup 3	Proje adımları 1)Arazi yapısı değerlendirme 2) Yeterli ve iyi planlanmış ön arıtma(fiziksel) sistemi 3) Verimli Dıfuzör 4) Doğru pompa seçimi 5) Uygun hava dağıtımı 6) Belt filtre ile susuzlaştırma 7) Solar kurutma	10
2	Grup 3	Enerji Yönetim Sistemi; Tesiste enerji tüketiminin ekipmanlar/üniteler bazında sürekli ölçülmesi, giriş suyu değerleri dikkate alınarak bu enerji tüketimlerinin analiz edilmesi, tüketim hedefi konulması, takip edilmesi, sürekli iyileştirilmesi için eylem planı yapılması. Üst yönetimin desteğinin sağlanması: *Enerji verimli tasarım *Enerji verimli satınalma *Enerji verimli bakım yaptırılması Kritik operasyon parametrelerinin tespit edilmesi Her seviyede düzenli eğitim verilmesi Yeterli kaynağın sağlanması (insan gücü,para, zaman vs.) Üst yönetimin tarafından düzenli aralıklarla enerji performanslarının takip edilmesi	10
3	Grup 3	Enerji verimliliği sağlayan yeni prosesler teşvik edilmeli, izlenmeli, faydaları ortaya konmalı ve ödüllendirilmelidir	10
4	Grup 3	Enerji tüketimini azaltacak veya enerji kazanımını sağlayabileceğimiz proses seçimi ve buna uygun tasarım yapılması	10
5	Grup 3	Atıksu kirlilik yüklerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılmalıdır	7
6	Grup 3	Ülke çapında arıtma tesislerinin performansları, tüketimlerinin takip edilebileceği, kolay anlaşılabilir bilgi havuzunun oluşturulması. Sektöre, kapasiteye göre tasnif edilmiş net bilgiler olması	6
7	Grup 3	Gereksiz havalandırmayı engelleyecek kontrol sistemlerinin kullanılması. Çözünmüş oksijen ve amonyak ölçümlerinin yapılıp birlikte değerlendirilmesi	6
8	Grup 3	Pompaların basma yüksekliklerini minimuma düşürmek	6
9	Grup 3	Evsel atıksu arıtma tesislerinde bulunan anaerobik çürütücülere organik karbon yükü fazla atık alınarak üretilen biyogaz miktarı arttırılabilir	2
10	Grup 3	Çürütücülerin verimini artıracak ön arıtma (dezentegrasyon) uygulamaları	1
1	Grup4	Ön fizibilite çalışmaları; Ön etüt (detaylı) çalışmalar yapılması Y.Enerji kaynaklarının araştırılması	8

Grup Sıra No	Grup Adı	İhtiyaç İfadesi	Puanlama
		Kapasite çalışmaları	
2	Grup4	Proje aşaması; Enerji verimli ekipman ve tasarımın yapılması Uygun Y.E kaynağı kullanılarak. AAT elektrik tüketiminin desteklenmesi	8
3	Grup4	Tesis İşletmesi; İşletme senaryosuna uygun olarak proses bazlı otomasyon kullanılması	8
4		Enerji verimliliği için kapsamlı enerji analizi yapılarak raporlanması	8
5		Periyodik bakım ve onarımı yapılması	8
6		Personel periyodik eğitiminin yapılması	8
7	Grup4	Öneri 1; AAT Aydınlatma sistemine güneş paneli aydınlatma kullanılarak değiştirilmesi Mevcut tesislerin havalandırma havuzlarının üstüne GESkurulması Kat farkı olan yerlers de HES kurulması	8
8	Grup4	Öneri 2; Yakın bölgelerdeki AAT tesislerinin birleştirilmesi Türkiye'de özellikle su, kanalizasyon birliği kurularak bilgi ve teknoloji paylaşımının belirli uygulamaların her tesiste uygulanması	8
1	Grup5	2. soru cevabı; Ekipman alımı teknik şartnamelerinde enerji analizi yapılarak, enerji performans testlerinin teknik şartnamelerde yer alması	12
2	Grup5	AAT'leri çalıştırılacak tüm personelin konu ile ilgili eğitim verilmesi ve bu eğitimlerin aktüel tutulması	12
3	Grup5	1.Soru Cevabı; Bürokrasinin aşılması için karşılaşılmış olan zorluklar tekrar tekrar anlatılmalı ve işlemlerin hızlandırılması için farkındalık yaratılmalı	12
4	Grup5	Mevzuatta belirlenen deşarj değerlenme ek olarak enerji verimliliği kriterleri eklenmelidir	12
5	Grup5	Yeni; Arıtma tesisinin lokasyonun doğru belirlenmesi Giriş terfi, ara terfi, deşarj noktasında terfi, istasyonlarının mümkün mertebe kullanılmaması	12
6	Grup5	Arge çalışmalarına önem verilmesi	12
7	Grup5	2.soru cevabı; Atıksu arıtma tesislerinde projelendirme ve yapım aşamasında bir yandan da enerji eylem planı hazırlanması ve bir personelin bu konuda görevlendirilip raporlama yaptırılması	12
8	Grup5	Mevcut; İleri biyolojik arıtma tesislerinde havalandırma havuzlarında CO sensörleri ile oksijen kontrolü yerine NO3 sensörleri ile proses kontrolü yapıp, nitrifikasyon basamağına göre oksijen kullanımını ayarlayarak enerji tüketimini azaltmak	12
9	Grup5	Mevcut-Yeni; Tesislerin en çok elektrik tüketen ekipmanları (eğer yapılabiliyorsa ve sistem buna izin veriyorsa) frekans konvektörlü olarak seçilebilir	12
10	Grup5	Yeniden tasarlamak mümkün olsa; kendi enerjisini kendi üreten (rüzgâr,güneş, hidroelektrik yakma, gazlaştırma) bir tesis tasarımın öne çıkarılması	11

Grup Sıra No	Grup Adı	İhtiyaç İfadesi	Puanlama
11	Grup5	Arıtma tesislerinde enerji verimliliğini etütleri akredite bir kanun tarafından beş yılda bir gerçekleştirilmesi zorunlu hale getirilmelidir	11
12	Grup5	1. soru cevaı; Enerji tüketimini azaltıcı çalışmaların AAT çıkış suyuna etkisi süreklilik açısından önemlidir. Bu yüzden tesis denetimleri anlık numuneler üzerinden değil, tesisin ortalama uzun vadeli değerler üzerinden değerlendirilmelidir	11
13	Grup5	Mevcut-Yeni; Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan pompa, blower vs.gibi ekipmanların güç tüketimlerinin azaltılması yani yük kayıplarının az olması için projelendirme aşamasında, doğru borulama projelerinin yapılması	10
14	Grup5	2. soru cevabı; Kapasitesi küçük olan tesisler için her bir tesisin alanı içerisinde solar kurutma ünitesi kurulması. Çamur bertarafı için fosil yakıt kullanılmamalı. Çamur nakliyesinden de kaçınılmalıdır	10
15	Grup5	Fizibilite aşamasında çalışacak personelin daha önce AAT işletmesinde çalışmış olması ve ekipmanları tanıyor olması, enerji yönünden daha verimli bir tesis ortaya çıkmasına sebep olabilir	10
16	Grup5	1.soru cevabı; Enerji teşvikleri için bakanlıkça yapılacak çalışmalar için istenen görüş ve önerilerin ihmal edilmeden ekip çalışmaları ile oluşturularak, bakanlıklara ulaştırılması ve takibi gereklidir	10
17	Grup5	Yeni; Tesis tasarım aşamasındayken sıkı bir atık su kapasitesi ve karakterizasyon belirleme çalışması yapılması. En az bir yıllık mevsimsel olarak debi ölçüm ve kirlilik parametrelerin belirlenmesi	9
18	Grup5	2. soru cevabı; Tüm atıksu arıtma tesislerinde personel ihtiyaçlarının (duş, ısınma vs.) güneş panelleriyle sağlanması	9
19	Grup5	Enerji pozitif tesisler tasarlayabilmek için gerekli ve yeterli fon bulabilme imkanlarının sunulması	7
20	Grup5	Yeni; Arıtma tesisi otomasyon senaryolarının doğru yapılması, seneryo işletme modellerinin işletme personeline anlatılması	7
21	Grup5	Mevcut sistemlerdeki ekipmanların kalibrasyon, bakım onarım vb. benzeri işlemlerinin güncelliğini sağlanarak enerji kayıplarını minimize edilmesi	6
22	Grup5	Yeni; Arıtma tesisi mekanik arıtma ünitelerinin dizaynının ve seçilen ekipmanların çalışılabilir olması. Mekanik arıtma ünitelerindeki problemlerden dolayı sisteme kaçan çöp kum vs. gibi maddelerin proses yükünü artırması ile ekipman güç sarfiyatları artmakta	6
23	Grup5	Mevcut; Tesislerde kullanılan ekipmanların güç tüketimlerini kontrol etmek için ekipman ön-arkasına manometre veya ekipmana uygun sıcaklık ölçer enstrümanları techiz etmek. Bu konuda personele eğitim vermek	6
24	Grup5	Organik yük olarak yüksek kapasiteli AAT'lerde biyogaz üretecek anaerobik sistemleri tercih edilebilir	6
1	Grup6	Tübitak/Bakanlık vb. fonlarla kurulacak enerji verimli AAT olarak işletilen örnek tesislerin kurulması/işletilmesi	12
2	Grup6	Mevcut atıksu arıtma tesislerinin optimizasyonuna ve enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik otomasyon sistemleri kurulması/iyileştirilmesi. Örneğin DO sensörlerine bağlı olarak işletme yapılması	12
3	Grup6	AAT tasarımı eğitiminde enerji verimliliğinin göz önünde bulundurulması. İşletme personelinin eğitimi	12
4	Grup6	Enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik rehber ve/veya web tabanlı uygulamaların geliştirilmesi	12
5	Grup6	Kentsel AAT tasarım kriterlerinin ülkemiz koşullarına uygun olarak belirlenmesi AAT giriş verilerinin toplanması ve değerlendirilmesi * Hizmet verilen nüfus * Bağlı olan end. atık su miktarı, end. Tipi	12

Grup Sıra No	Grup Adı	İhtiyaç İfadesi	Puanlama
		* Atıksu karakterizasyonu (seçilerek parametrelerin izlenmesi ve raporlanması) * Tasarım kriterlerinin periyodik olarak güncellenmesi	
6	Grup6	Yeni bir tesis; modüler ve esnek işletmeye olanak sağlayan otomasyon kontrollü sistemler kurulması. Yerli teknolojilerin tercih edilmesi.	12
7	Grup6	AAT'lerde ünite bazında enerji tüketiminin izlenmesi ve raporlanması	12
8	Grup6	Enerji teşviğinde enerji verimliliğinin dikkate alınması (enerji verimliliği uygulayan tesise öncelik verilmesi.) skala uygulanabilir	1
9	Grup6	AAT'lerde ünite ve ekipman seviyesinde enerji tüketimleri yapılması. Benchmarking - Sayaç ve personel - Bilgi eksikliğinin giderilmesi	0
10	Grup6	Örnek/Plot tesisler kurulması	0
11	Grup6	AAT'lerde enerji tüketimine yönelik idari/mevzuat yaptırımları/takibi.	0
12	Grup6	AAT'lerde çalışan personelin/ işletme sorumlularının eğitimi, enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik hedefler konması ve takibi.	0
13	Grup6	AAT tasarımında enerji verimliliği konusunun üniversite eğitiminde yer alması/arttırılması	0
14	Grup6	AAT'lerde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımına yönelik web tabanlı program ve rehberlerin hazırlanmasına yönelik projelerin gerçekleştirilmesi.	0
1	Grup7	Gerçek ihtiyaca cevap verecek enerji optimizasyonu ve enerji açısından en uygun tasarımın seçilmesi enerji verimli ekipmanlar kullanılarak otomasyon ve yenilenebilir enerji için altyapı oluşturulması.	14
2	Grup7	Arge ve eğitim; - Kalifiye personel - Yeni teknolojilerin kullanımı - Bilinçlendirme/farkındalık eğitimleri	12
3	Grup7	AAT'lerinde ISO50001 (enerji yönetim sistemi) ve ISO 14001 (ÇYS) standartlarının uygulanması ve enerji nötr tesis hedeflerinin oluşturulması.	12
4	Grup7	Tasarım aşamasında adaptasyonu yüksek uygulamaların geliştirilmesi için finansal teşvik ve yasal yaptırımların bir arada yürütülmesi (ihtiyaç)	11
5	Grup7	Yağmur suyunun atıksudan ayrılması ve devre dışı bırakılması (değiştirilmesi gereken)	11
6	Grup7	Tesis bazı veya bölgeye göre teşvik ve mevzuatların geliştirilmesi uygulanması	10
7	Grup7	Suyun cazibe ile iletiminin sağlanması tesis kurulumu, borulama ve yük kayıplarının dikkate alınarak pompa kullanımının azaltılması	10
8	Grup7	- Ekipmanların enerji tüketim takiplerinin yapılması - Düzenli ölçüm ve analizler -Kalibrasyonların düzgün yapılması ve takibi	9
9	Grup7	Çamur arıtımında önce kumul sistemden ayrılması (değiştirilmesi gereken)	8
10	Grup7	Arıtma tesisi projelerine onay aşamalarında tesis giderim veriminin yanında ünitelerin ortalama enerji tüketim miktarlarının da dikkate alınması gerekmektedir.	7
11	Grup7	Havalandırmanın azaltılması için Hidroksil radikallerinin oluşumunu sağlayan ileri teknolojilerin kullanılması	6
12	Grup7	Havalandırma sistemlerinin enerji verimliliğinin ön planda tutulması ve projeye uygun olarak seçilmesi. Oksijen optimizasyonunun yapılması	6
13	Grup7	MISS miktarının arttırılarak çamur üretiminin azaltılması	6
14	Grup7	Geri devir çamur miktarının optimizasyonu (ihtiyaç)	5
15	Grup7	Mevcut ve yeni yapılacak tesislerde yüzey alanını arttıracak sistemler kullanılarak tank hacimlerinin azaltılması	4

Grup Sıra No	Grup Adı	İhtiyaç İfadesi	Puanlama
1	Grup8	Kanalizasyon hattının ayrık bir sistem olması	10
2	Grup8	Kalifiye personel eğitiminin yapılması	10
3	Grup8	Çıkış değerlerinin tartışılması (eğer çıkış değerlerini bölgesel bazlı olarak incelenmeli; Konya, Malatya, Urfa gibi tarım ovası olan yerlerde su tarımsal sulamada kullanılmalı)	10
4	Grup8	SCADA sistemi üzerinden ekipman bazlı takip ve kontrol (pompalar, blowerlar ve enstrümanlar…)	10
5	Grup8	Mevcut bütün tesislerin enerji etüdlerinin yapılması	10
6	Grup8	Uygun yenilenebilir enerjinin kurulması (RES, GES…)	10
7	Grup8	Pompalarda eş yaşlandırma ve soft starter (invertör) yapılması ya da pompa ömrünün tamamlanmasından sonra yeni nesil ile yenilenmesi	9
8	Grup8	Blower - Diffuser sisteminin optimizasyonu: Diffuser yerleşiminde max. Oksijen min. yük kaybı olan diffuser seçimi ile yeni nesil teknoloji ile blower seçimi. DNT zone diffuser.	9
9	Grup8	Tesislerin konumlandırılmasının doğru yapılması ve terfi merkezlerinin azaltılması	9
10	Grup8	Tesislerde seçilecek pompaların HM uygunluğu ve yeni nesil (SE3) olmalı ve ikinci kademe pompaların alımının yapılmaması. Gerekli pompa temini	9
11	Grup8	10000 m^3/gün ve altı tesislerde yaz ve kış debisinin çok değişken olduğu yerlerde SBR tip arıtma tesislerinin yapılması	8
12	Grup8	AAT'nin projelendirilmesinde design building ya da işletme maliyeti en uygun sistemin seçilmesi	8
13	Grup8	Tesis içinde hidrolik kayıpların min. Seviyeye göre hesaplanması. Ona göre tasarım yapılması	7
14	Grup8	Arıtmadan çıkan suyun microalg üretiminde kullanılması için araştırma yapılması	7
15	Grup8	Kurutma ünitesi kurulması (nakliye personel masrafından kurtuluş ayrıca şartlandırma/ ve stabilizasyon sonucu evsel çamurların ıslah edici olarak kullanılması)	7
16	Grup8	Gaz motoru (biogaz)/çürütücü+Kojen ile sistemin enerji üretmesini sağlayabilmek	7
17	Grup8	Tesiste bulunan sistemin / process farklı çözümlere cevap verebilmesi (kaskad sistemi, bardenfo/Acereo dönüşümü olabilir) Q dolayı BO/P'nin bölünebilmesi.	6

Tablo E1. 16 AAT'lerde ihtiyaçlar-önceliklendirmeler

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	İhtiyaç İfadesi	Puanlama	Konu
5	1	Grup4	Periyodik bakım ve onarımı yapılması	8	Bakım
9	2	Grup5	Mevcut-Yeni; Tesislerin en çok elektrik tüketen ekipmanları (eğer yapılabiliyorsa ve sistem buna izin veriyorsa) frekans konvektörlü olarak seçilebilir	12	Ekipman
13	3	Grup5	Mevcut-Yeni; Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan pompa, blower vs.gibi ekipmanların güç tüketimlerinin azaltılması yani yük kayıplarının az olması için projelendirme aşamasında, doğru borulama projelerinin yapılması	10	Ekipman
7	4	Grup7	Suyun cazibe ile iletiminin sağlanması tesis kurulumu, borulama ve yük kayıplarının dikkate alınarak pompa kullanımının azaltılması	10	Ekipman
4	5	Grup8	SCADA sistemi üzerinden ekipman bazlı takip ve kontrol (pompalar, blowerlar ve enstrümanlar…)	10	Ekipman
7	6	Grup8	Pompalarda eş yaşlandırma ve soft starter (invertör) yapılması ya da pompa ömrünün tamamlanmasından sonra yeni nesil ile yenilenmesi	9	Ekipman
8	7	Grup8	Blower - Diffuser sisteminin optimizasyonu: Diffuser yerleşiminde max. Oksijen min. yük kaybı olan diffuser seçimi ile yeni nesil teknoloji ile blower seçimi. DNT zone diffuser.	9	Ekipman
10	8	Grup8	Tesislerde seçilecek pompaların HM uygunluğu ve yeni nesil (SE3) olmalı ve ikinci kademe pompaların alımının yapılmaması. Gerekli pompa temini	9	Ekipman
5	9	Grup 2	Tesislerde kullanılan ekipmanların takipleri (akım,hız vs.) scada oparatörleri tarafından yapılarak gerekli durumlarda müdahalede bulunmak	8	Ekipman
8	10	Grup 3	Pompaların basma yüksekliklerini minimuma düşürmek	6	Ekipman
21	11	Grup5	Mevcut sistemlerdeki ekipmanların kalibrasyon, bakım onarım vb. benzeri işlemlerinin güncelliğini sağlanarak enerji kayıplarını minimize edilmesi	6	Ekipman
22	12	Grup5	Yeni; Arıtma tesisi mekanik arıtma ünitelerinin dizaynının ve seçilen ekipmanların çalışılabilir olması. Mekanik arıtma ünitelerindeki problemlerden dolayı sisteme kaçan çöp kum vs. gibi maddelerin proses yükünü artırması ile ekipman güç sarfiyatları artmakta	6	Ekipman
23	13	Grup5	Mevcut; Tesislerde kullanılan ekipmanların güç tüketimlerini kontrol etmek için ekipman ön-arkasına manometre veya ekipmana uygun sıcaklık ölçer enstrümanları techiz etmek. Bu konuda personele eğitim vermek	6	Ekipman
11	14	Grup 2	Atıksu arıtma tesislerinde enerji verimliliği için ekipman revizyonu/yenilenmesi	5	Ekipman
11	15	Grup 1	AAT'lerde kullanılacak ekipmanların etkinliğinin, verimliliğinin tespit edilmesi için çalışmalar yapmak ve ekipmanları bu çalışma sonucuna göre seçmek	0	Ekipman
12	16	Grup 1	Yeni kurulacak tesiste enerji tüketimlerini sürekli takibini ve kaydını alabilmek amacıyla alınacak ekipmanların ve kurulacak kontrol sisteminin bunu sağlayacak şekilde temin edilmesi ve kurulması	0	Ekipman
9	17	Grup6	AAT'lerde ünite ve ekipman seviyesinde enerji tüketimleri yapılması. Benchmarking - Sayaç ve personel - Bilgi eksikliğinin giderilmesi	0	Ekipman
2	18	Grup 1	Tesis yeniden kurulacak olsa; havuzun incelenmesinin detaylı yapılarak güneş/ rüzgâr /HES kurulumu vb. için projelendirmelerin ve fizibilitelerin yapılması, sonuçlarına göre belirlenen kapasiteye göre kurulumlarının gerçekleştirilmesi	12	Fizibilite

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	İhtiyaç İfadesi	Puanlama	Konu
7	19	Grup5	2.soru cevabı; Atıksu arıtma tesislerinde projelendirme ve yapım aşamasında bir yandan da enerji eylem planı hazırlanması ve bir personelin bu konuda görevlendirilip raporlama yaptırılması	12	Fizibilite
3	20	Grup 1	Üniversite (Kamu)sanayi-endüstri işbirliği sağlanması. Uygulanacak yöntemlerin optimizasyonunun uygulanabilirliğinin değerlendirmesi için Ar-GE (lab- pilot ölçekli çalışmalar yapılmalı)	11	Fizibilite
9	21	Grup8	Tesislerin konumlandırılmasının doğru yapılması ve terfi merkezlerinin azaltılması	9	Fizibilite
6	22	Grup 2	Enerjiyi verimli kullanmak için atıksu arıtma tesislerinde mevcut durum tespit çalışması yapılması (ETÜT)	8	Fizibilite
1	23	Grup4	Ön fizibilite çalışmaları; Ön etüt (detaylı) çalışmalar yapılması Y.Enerji kaynaklarının araştırılması Kapasite çalışmaları	8	Fizibilite
12	24	Grup8	AAT'nin projelendirilmesinde design building ya da işletme maliyeti en uygun sistemin seçilmesi	8	Fizibilite
8	25	Grup 2	AAT'lerde yenilebilir enerji kaynakları araştırılmalıdır	7	Fizibilite
14	26	Grup8	Arıtmadan çıkan suyun microalg üretiminde kullanılması için araştırma yapılması	7	Fizibilite
10	27	Grup6	Örnek/Plot tesisler kurulması	0	Fizibilite
4	28	Grup5	Mevzuatta belirlenen deşarj değerlenme ek olarak enerji verimliliği kriterleri eklenmelidir	12	Mevzuat
11	29	Grup5	Arıtma tesislerinde enerji verimliliğini etütleri akredite bir kanun tarafından beş yılda bir gerçekleştirilmesi zorunlu hale getirilmelidir	11	Mevzuat
4	30	Grup 1	AAT'leri enerji verimliliği konusunda yönlendirecek/ zorlayacak / teşvik edecek yasal mevzuatın/ yönergelerin yürürlüğe girmesi. Ekipman seçiminde enerji verimliliğinin maliyette beraber ele alınmasını zorlayan yönergelerin olması	10	Mevzuat
1	31	Grup 2	AAT tasarım aşamasında enerji verimliliği sağlayacak yeni proseslere yönelik atıksu ve mevcut altyapı yönetimlerini yönlendirebilecek mevzuat/uygulamalar/kılavuz geliştirilmesi	10	Mevzuat
6	32	Grup7	Tesis bazı veya bölgeye göre teşvik ve mevzuatların geliştirilmesi uygulanması	10	Mevzuat
4	33	Grup 2	E.V kanunu ile endüstriyel işletmelere getirilen etüt yapma E.V bulundurma gibi yükümlülüklerin AAT'lere de uygulanması	9	Mevzuat
10	34	Grup 1	Mevzuatların yeniden düzenlenerek kurumların görev dağılımlarının, kullanılacak terminoloji ve tanımların, enerji verimliliğine yönelik maddelerin, uyulması gereken kriterlerin yeniden yazılması. Mevzuatın oluşturulması sürecinin daha metodolojik hale getirilmesi	5	Mevzuat
12	35	Grup 2	Proje onay prosedürü değiştirilmeli (ve yapı)	4	Mevzuat
11	36	Grup6	AAT'lerde enerji tüketimine yönelik idari/mevzuat yaptırımları/takibi.	0	Mevzuat
7	37	Grup6	AAT'lerde ünite bazında enerji tüketiminin izlenmesi ve raporlanması	12	Ölçüm
12	38	Grup5	1. soru cevaı; Enerji tüketimini azaltıcı çalışmaların AAT çıkış suyuna etkisi süreklilik açısından önemlidir. Bu yüzden tesis denetimleri anlık numuneler üzerinden değil, tesisin ortalama uzun vadeli değerler üzerinden değerlendirilmelidir	11	Ölçüm
3	39	Grup8	Çıkış değerlerinin tartışılması (eğer çıkış değerlerini bölgesel bazlı olarak incelenmeli; Konya, Malatya, Urfa gibi tarım ovası olan yerlerde su tarımsal sulamada kullanılmalı)	10	Ölçüm
5	40	Grup8	Mevcut bütün tesislerin enerji etüdlerinin yapılması	10	Ölçüm

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	İhtiyaç İfadesi	Puanlama	Konu
17	41	Grup5	Yeni; Tesis tasarım aşamasındayken sıkı bir atık su kapasitesi ve karakterizasyon belirleme çalışması yapılması. En az bir yıllık mevsimsel olarak debi ölçüm ve kirlilik parametrelerin belirlenmesi	9	Ölçüm
8	42	Grup7	- Ekipmanların enerji tüketim takiplerinin yapılması - Düzenli ölçüm ve analizler -Kalibrasyonların düzgün yapılması ve takibi	9	Ölçüm
4	43	Grup4	Enerji verimliliği için kapsamlı enerji analizi yapılarak raporlanması	8	Ölçüm
5	44	Grup 3	Atıksu kirlilik yüklerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılmalıdır	7	Ölçüm
10	45	Grup7	Arıtma tesisi projelerine onay aşamalarında tesis giderim veriminin yanında ünitelerin ortalama enerji tüketim miktarlarının da dikkate alınması gerekmektedir.	7	Ölçüm
7	46	Grup 3	Gereksiz havalandırmayı engelleyecek kontrol sistemlerinin kullanılması. Çözünmüş oksijen ve amonyak ölçümlerinin yapılıp birlikte değerlendirilmesi	6	Ölçüm
14	47	Grup7	Geri devir çamur miktarının optimizasyonu (ihtiyaç)	5	Ölçüm
2	48	Grup6	Mevcut atıksu arıtma tesislerinin optimizasyonuna ve enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik otomasyon sistemleri kurulması/iyileştirilmesi. Örneğin DO sensörlerine bağlı olarak işletme yapılması	12	Otomasyon
4	49	Grup6	Enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik rehber ve/veya web tabanlı uygulamaların geliştirilmesi	12	Otomasyon
6	50	Grup6	Yeni bir tesis; modüler ve esnek işletmeye olanak sağlayan otomasyon kontrollü sistemler kurulması. Yerli teknolojilerin tercih edilmesi.	12	Otomasyon
3	51	Grup4	Tesis İşletmesi; İşletme senaryosuna uygun olarak proses bazlı otomasyon kullanılması	8	Otomasyon
20	52	Grup5	Yeni; Arıtma tesisi otomasyon senaryolarının doğru yapılması, seneryo işletme modellerinin işletme personeline anlatılması	7	Otomasyon
2	53	Grup5	AAT'leri çalıştırılacak tüm personelin konu ile ilgili eğitim verilmesi ve bu eğitimlerin aktüel tutulması	12	Personel
3	54	Grup6	AAT tasarımı eğitiminde enerji verimliliğinin göz önünde bulundurulması. İşletme personelinin eğitimi	12	Personel
2	55	Grup7	Arge ve eğitim; - Kalifiye personel - Yeni teknolojilerin kullanımı - Bilinçlendirme/farkındalık eğitimleri	12	Personel
15	56	Grup5	Fizibilite aşamasında çalışacak personelin daha önce AAT işletmesinde çalışmış olması ve ekipmanları tanıyor olması, enerji yönünden daha verimli bir tesis ortaya çıkmasına sebep olabilir	10	Personel
2	57	Grup8	Kalifiye personel eğitiminin yapılması	10	Personel
6	58	Grup4	Personel periyodik eğitiminin yapılması	8	Personel
9	59	Grup 2	Personelin arıtma tesissinin işletilmesi ve enerji yönetimi konularında sertifikalandırılması	7	Personel
12	60	Grup6	AAT'lerde çalışan personelin/ işletme sorumlularının eğitimi, enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik hedefler konması ve takibi.	0	Personel
6	61	Grup5	Arge çalışmalarına önem verilmesi	12	Proses

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	İhtiyaç İfadesi	Puanlama	Konu
8	62	Grup5	Mevcut; İleri biyolojik arıtma tesislerinde havalandırma havuzlarında CO sensörleri ile oksijen kontrolü yerine NO3 sensörleri ile proses kontrolü yapıp, nitrifikasyon basamağına göre oksijen kullanımını ayarlayarak enerji tüketimini azaltmak	12	Proses
5	63	Grup7	Yağmur suyunun atıksudan ayrılması ve devre dışı bırakılması (değiştirilmesi gereken)	11	Proses
5	64	Grup 1	Çamurların anaerobik çürütülmesi prosesini içeren AAT'lerde biyogaz verimini artıracak ön işletmelerin prosese dahil edilmesi. Dezentegrasyon yöntemleri (hidrodinamik/ ultras. kavitasyon gibi)	10	Proses
6	65	Grup 1	Havalandırmadan kaynaklanan enerjinin azaltılması amacıyla nütrient gideriminin yenilebilir biyokütle kaynağı olan mikroalglerle sağlanması. Suyun yanında hava kalitesinin de korunması amacıyla (küresel ısınmanın etkisini azaltmak için) tesis baca gazlarından salınan CO2'in mikroalgler için gerekli karbon kaynağı olarak kullanımının sağlanması	10	Proses
2	66	Grup 2	Proje aşamasında enerji tüketiminin gözünle alınması ve uygun proses seçimi (Master Plan)	10	Proses
1	67	Grup 3	Proje adımları 1)Arazi yapısı değerlendirme 2) Yeterli ve iyi planlanmış ön arıtma(fiziksel) sistemi 3) Verimli Dıfuzör 4) Doğru pompa seçimi 5) Uygun hava dağıtımı 6) Belt filtre ile susuzlaştırma 7) Solar kurutma	10	Proses
3	68	Grup 3	Enerji verimliliği sağlayan yeni prosesler teşvik edilmeli, izlenmeli, faydaları ortaya konmalı ve ödüllendirilmelidir	10	Proses
4	69	Grup 3	Enerji tüketimini azaltacak veya enerji kazanımını sağlayabileceğimiz proses seçimi ve buna uygun tasarım yapılması	10	Proses
14	70	Grup5	2. soru cevabı; Kapasitesi küçük olan tesisler için her bir tesisin alanı içerisinde solar kurutma ünitesi kurulması. Çamur bertarafı için fosil yakıt kullanılmamalı. Çamur nakliyesinden de kaçınılmalıdır	10	Proses
1	71	Grup8	Kanalizasyon hattının ayrık bir sistem olması	10	Proses
9	72	Grup7	Çamur arıtımında önce kumul sistemden ayrılması (değiştirilmesi gereken)	8	Proses
10	73	Grup 2	AAT'rinde biyogaz oluşum prosesleri seçilmeli ve enerji üretilmelidir	6	Proses
13	74	Grup7	MISS miktarının arttırılarak çamur üretiminin azaltılması	6	Proses
17	75	Grup8	Tesiste bulunan sistemin / process farklı çözümlere cevap verebilmesi (kaskad sistemi, bardenfo/Acereo dönüşümü olabilir) Q dolayı BO/P'nin bölünebilmesi.	6	Proses
9	76	Grup 3	Evsel atıksu arıtma tesislerinde bulunan anaerobik çürütücülere organik karbon yükü fazla atık alınarak üretilen biyogaz miktarı arttırılabilir	2	Proses
1	77	Grup 1	Atıksu arıtma tesisi işletme şartnamelerine enerji teşviklerinin eklenmesi. Kwh/m3, üretim Biogaz/m3	12	Şartname
1	78	Grup5	2. soru cevabı; Ekipman alımı teknik şartnamelerinde enerji analizi yapılarak, enerji performans testlerinin teknik şartnamelerde yer alması	12	Şartname
9	79	Grup 1	Oluşturulan işletme şartnamelerinin bir sistem dahilinde kontrol edilmesi/ onaylanması için kontrol mekanizması oluşturulması. Enerji verimliliği açısından incelenip, onay verilecek bir mekanizma	6	Şartname
1	80	Grup7	Gerçek ihtiyaca cevap verecek enerji optimizasyonu ve enerji açısından en uygun tasarımın seçilmesi enerji verimli	14	Tasarım

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	İhtiyaç İfadesi	Puanlama	Konu
			ekipmanlar kullanılarak otomasyon ve yenilenebilir enerji için altyapı oluşturulması.		
5	81	Grup5	Yeni; Arıtma tesisinin lokasyonun doğru belirlenmesi Giriş terfi, ara terfi, deşarj noktasında terfi, istasyonlarının mümkün mertebe kullanılmaması	12	Tasarım
5	82	Grup6	Kentsel AAT tasarım kriterlerinin ülkemiz koşullarına uygun olarak belirlenmesi AAT giriş verilerinin toplanması ve değerlendirilmesi * Hizmet verilen nüfus * Bağlı olan end. atık su miktarı, end. Tipi * Atıksu karakterizasyonu (seçilerek parametrelerin izlenmesi ve raporlanması) * Tasarım kriterlerinin periyodik olarak güncellenmesi	12	Tasarım
10	83	Grup5	Yeniden tasarlamak mümkün olsa; kendi enerjisini kendi üreten (rüzgâr,güneş, hidroelektrik yakma, gazlaştırma) bir tesis tasarımın öne çıkarılması	11	Tasarım
6	84	Grup8	Uygun yenilenebilir enerjinin kurulması (RES, GES…)	10	Tasarım
18	85	Grup5	2. soru cevabı; Tüm atıksu arıtma tesislerinde personel ihtiyaçlarının (duş, ısınma vs.) güneş panelleriyle sağlanması	9	Tasarım
7	86	Grup 1	AAT'lerin yeniden tasarlanması aşamasında atıksu- debi- karakterizasyon- projeksiyonların daha etkin yapılmasını sağlamak için ön çalışmalar yapmak. Olabilecek değişikliklere karşı B planları geliştirmek	8	Tasarım
8	87	Grup 1	Tesis enerji ünitesinden çıkan atık ısıyı minimize edecek bir kojenerasyon ünitesi tasarlayarak, atık ısının tesis kullanım alternatiflerini artırmak	8	Tasarım
2	88	Grup4	Proje aşaması; Enerji verimli ekipman ve tasarımın yapılması Uygun Y.E kaynağı kullanılarak. AAT elektrik tüketiminin desteklenmesi	8	Tasarım
7	89	Grup4	Öneri 1; AAT Aydınlatma sistemine güneş paneli aydınlatma kullanılarak değiştirilmesi Mevcut tesislerin havalandırma havuzlarının üstüne GESkurulması Kat farkı olan yerlers de HES kurulması	8	Tasarım
11	90	Grup8	10000 m^3/gün ve altı tesislerde yaz ve kış debisinin çok değişken olduğu yerlerde SBR tip arıtma tesislerinin yapılması	8	Tasarım
13	91	Grup8	Tesis içinde hidrolik kayıpların min. Seviyeye göre hesaplanması. Ona göre tasarım yapılması	7	Tasarım
15	92	Grup8	Kurutma ünitesi kurulması (nakliye personel masrafından kurtuluş ayrıca şartlandırma/ ve stabilizasyon sonucu evsel çamurların ıslah edici olarak kullanılması)	7	Tasarım
12	93	Grup7	Havalandırma sistemlerinin enerji verimliliğinin ön planda tutulması ve projeye uygun olarak seçilmesi. Oksijen optimizasyonunun yapılması	6	Tasarım
13	94	Grup 2	Tasarım -Kojenerasyon sistemlerinden tesislerde atık ısının tamamının kullanılması sağlanmalı	4	Tasarım
15	95	Grup7	Mevcut ve yeni yapılacak tesislerde yüzey alanını arttıracak sistemler kullanılarak tank hacimlerinin azaltılması	4	Tasarım
16	96	Grup8	Gaz motoru (biogaz)/çürütücü+Kojen ile sistemin enerji üretmesini sağlayabilmek	7	Teknoloji
24	97	Grup5	Organik yük olarak yüksek kapasiteli AAT'lerde biyogaz üretecek anaerobik sistemleri tercih edilebilir	6	Teknoloji

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	İhtiyaç İfadesi	Puanlama	Konu
11	98	Grup7	Havalandırmanın azaltılması için Hidroksil radikallerinin oluşumunu sağlayan ileri teknolojilerin kullanılması	6	Teknoloji
10	99	Grup 3	Çürütücülerin verimini artıracak ön arıtma (dezentegrasyon) uygulamaları	1	Teknoloji
1	100	Grup6	Tübitak/Bakanlık vb. fonlarla kurulacak enerji verimli AAT olarak işletilen örnek tesislerin kurulması/işletilmesi	12	Yatırım
4	101	Grup7	Tasarım aşamasında adaptasyonu yüksek uygulamaların geliştirilmesi için finansal teşvik ve yasal yaptırımların bir arada yürütülmesi (ihtiyaç)	11	Yatırım
19	102	Grup5	Enerji pozitif tesisler tasarlayabilmek için gerekli ve yeterli fon bulabilme imkanlarının sunulması	7	Yatırım
8	103	Grup6	Enerji teşviğinde enerji verimliliğinin dikkate alınması (enerji verimliliği uygulayan tesise öncelik verilmesi.) skala uygulanabilir	1	Yatırım
3	104	Grup5	1.Soru Cevabı; Bürokrasinin aşılması için karşılaşılmış olan zorluklar tekrar tekrar anlatılmalı ve işlemlerin hızlandırılması için farkındalık yaratılmalı	12	Yönetim
3	105	Grup7	AAT'lerinde ISO50001 (enerji yönetim sistemi) ve ISO 14001 (ÇYS) standartlarının uygulanması ve enerji nötr tesis hedeflerinin oluşturulması.	12	Yönetim
2	106	Grup 3	Enerji Yönetim Sistemi; Tesiste enerji tüketiminin ekipmanlar/üniteler bazında sürekli ölçülmesi, giriş suyu değerleri dikkate alınarak bu enerji tüketimlerinin analiz edilmesi, tüketim hedefi konulması, takip edilmesi, sürekli iyileştirilmesi için eylem planı yapılması. Üst yönetimin desteğinin sağlanması: *Enerji verimli tasarım *Enerji verimli satınalma *Enerji verimli bakım yaptırılması Kritik operasyon parametrelerinin tespit edilmesi Her seviyede düzenli eğitim verilmesi Yeterli kaynağın sağlanması (insan gücü,para, zaman vs.) Üst yönetimin tarafından düzenli aralıklarla enerji performanslarının takip edilmesi	10	Yönetim
16	107	Grup5	1.soru cevabı; Enerji teşvikleri için bakanlıkça yapılacak çalışmalar için istenen görüş ve önerilerin ihmal edilmeden ekip çalışmaları ile oluşturularak, bakanlıklara ulaştırılması ve takibi gereklidir	10	Yönetim
3	108	Grup 2	Çevre bakanlığı tarafından AAT'lerin ülke bazında enerji tüketimleri yıllık olarak izlemeli, istatistik tutulmalı, analiz edilmeli	9	Yönetim
7	109	Grup 2	Master plan için Çevre ve enerji bakanlığı iş birliği oluşturulmalı ve çalışma grupları kurulmalı	8	Yönetim
8	110	Grup4	Öneri 2; Yakın bölgelerdeki AAT tesislerinin birleştirilmesi Türkiye'de özellikle su, kanalizasyon birliği kurularak bilgi ve teknoloji paylaşımının belirli uygulamaların her tesiste uygulanması	8	Yönetim
6	111	Grup 3	Ülke çapında arıtma tesislerinin performansları, tüketimlerinin takip edilebileceği, kolay anlaşılabilir bilgi havuzunun oluşturulması. Sektöre, kapasiteye göre tasnif edilmiş net bilgiler olması	6	Yönetim
13	112	Grup6	AAT tasarımında enerji verimliliği konusunun üniversite eğitiminde yer alması/arttırılması	0	Yönetim
14	113	Grup6	AAT'lerde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımına yönelik web tabanlı program ve rehberlerin hazırlanmasına	0	Yönetim

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	İhtiyaç İfadesi	Puanlama	Konu
			yönelik projelerin gerçekleştirilmesi.		

YENİLİKÇİ AAT ALTERNATİFLERİNİN, KRİTER AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo E1. 17 Yenilikçi AAT alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (uygulamaya aktarılabilirliği)

Enerji Verimliliği Açısından Yenilikçi Atıksu Arıtma Tesisi Alternatifleri		**Uygulamaya aktarılabilirliği** (teknolojinin hazır bulunuşluğu ve gerçek ölçekte uygulanabilirliği)										
		Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
		1	2	3	4	5	6	7	8			
Mevcut Prosesler	Mevcut AAT'ler (BNR) için Proses Kontrolü (örn: otomosyonla DO kontrolü)	10	10		10	10	10	10	10	**10,00**	**15,88**	**1,59**
	Mevcut aktif çamur tesislerinin düşük oksijen konsantrasyonlarında işletilmesi (SND)	10	10		1	7	10	1	10	**7,00**	**15,88**	**1,11**
Yenilikçi Prosesler	Ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	10		10	7	10	3	10	**8,14**	**15,88**	**1,29**
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	10		1	7	10	5	10	**7,14**	**15,88**	**1,13**
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden kısmi nitritasyon ve Anammox prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	5	1		3	5	1	3	10	**4,00**	**15,88**	**0,64**
	Anaerobik arıtma/ Ön çöktürme/ kimyasal çöktürmeve peşinden mikroalglerle besin maddesi giderim prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	1		10	5	3	1	7	**4,86**	**15,88**	**0,77**
	Yüksek hızlı aktif çamur sitemi ve hibrit yan akım prosesleri (kimyasalla nutrient geri kazanımı örn. MAP çöktürme, amonyak sıyırma vb.) prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	10	5		1	5	5	5	10	**5,86**	**15,88**	**0,93**
	Atıksuların membranla (primary filtrasyon) ön arıtılması, konsantrenin anaerobik arıtılması,süzüntünün hızlı aktif çamur, SND ya da hibrit sistemlerle nutrient giderimi prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	1		1	5	5	3	1	**3,29**	**15,88**	**0,52**

Tablo E1. 18 Yenilikçi AAT alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (arıtma performansının kararlılığı-stabilitesi (değişken debi ve atıksu karakterizasyonuna adapdasyonu))

Enerji Verimliliği Açısından Yenilikçi Atıksu Arıtma Tesisi Alternatifleri		**Arıtma performansının kararlılığı-stabilitesi (değişken debi ve atıksu karakterizasyonuna adapdasyonu)**										
		Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
		1	2	3	4	5	6	7	8			
Mevcut Prosesler	Mevcut AAT'ler (BNR) için Proses Kontrolü (örn: otomosyonla DO kontrolü)	7	10		1	10	10	1	5	6,29	13,88	0,87
	Mevcut aktif çamur tesislerinin düşük oksijen konsantrasyonlarında işletilmesi (SND)	3	10		10	7	7	1	10	6,86	13,88	0,95
Yenilikçi Prosesler	Ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	3	10		5	7	7	3	10	6,43	13,88	0,89
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	5	10		5	7	7	5	7	6,57	13,88	0,91
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden kısmi nitritasyon ve Anammox prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	1		5	5	1	5	7	4,43	13,88	0,61
	Anaerobik arıtma/ Ön çöktürme/ kimyasal çöktürmeve peşinden mikroalglerle besin maddesi giderim prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	5	1		5	7	3	3	7	4,43	13,88	0,61
	Yüksek hızlı aktif çamur sitemi ve hibrit yan akım prosesleri (kimyasalla nutrient geri kazanımı örn. MAP çöktürme, amonyak sıyırma vb.) prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	10	3		5	5	3	3	7	5,14	13,88	0,71
	Atıksuların membranla (primary filtrasyon) ön arıtılması, konsantrenin anaerobik arıtılması,süzüntünün hızlı aktif çamur, SND ya da hibrit sistemlerle nutrient giderimi prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	5	1		5	7	5	5	3	4,43	13,88	0,61

Tablo E1. 19 Yenilikçi AAT alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (işletme/ bakım kolaylığı)

Enerji Verimliliği Açısından Yenilikçi Atıksu Arıtma Tesisi Alternatifleri		İşletme/ bakım kolaylığı										
		Grup No								Ortalama	Ağırlıklı Ort.	Etki
		1	2	3	4	5	6	7	8			
Mevcut Prosesler	Mevcut AAT'ler (BNR) için Proses Kontrolü (örn: otomosyonla DO kontrolü)	3	7		10	10	5	7	5	6,71	10,13	0,68
	Mevcut aktif çamur tesislerinin düşük oksijen konsantrasyonlarında işletilmesi (SND)	10	7		5	10	5	1	5	6,14	10,13	0,62
Yenilikçi Prosesler	Ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	7		5	10	10	1	5	6,43	10,13	0,65
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	7		10	10	7	5	5	7,29	10,13	0,74
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden kısmi nitritasyon ve Anammox prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	1		10	7	3	5	5	5,43	10,13	0,55
	Anaerobik arıtma/ Ön çöktürme/ kimyasal çöktürmeve peşinden mikroalglerle besin maddesi giderim prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	1		10	5	3	3	5	4,86	10,13	0,49
	Yüksek hızlı aktif çamur sitemi ve hibrit yan akım prosesleri (kimyasalla nutrient geri kazanımı örn. MAP çöktürme, amonyak sıyırma vb.) prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	5	5		5	5	3	1	5	4,14	10,13	0,42
	Atıksuların membranla (primary filtrasyon) ön arıtılması, konsantrenin anaerobik arıtılması,süzüntünün hızlı aktif çamur, SND ya da hibrit sistemlerle nutrient giderimi prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	3	1		5	5	3	5	3	3,57	10,13	0,36

Tablo E1. 20 Yenilikçi AAT alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (işletme için uzmanlık gereksinimi)

Enerji Verimliliği Açısından Yenilikçi Atıksu Arıtma Tesisi Alternatifleri		İşletme için uzmanlık gereksinimi										
		Grup No								Ortalama	Ağırlıklı Ort.	Etki
		1	2	3	4	5	6	7	8			
Mevcut Prosesler	Mevcut AAT'ler (BNR) için Proses Kontrolü (örn: otomosyonla DO kontrolü)	5	7		10	10	10	10	1	7,57	8,75	0,66
	Mevcut aktif çamur tesislerinin düşük oksijen konsantrasyonlarında işletilmesi (SND)	5	10		1	5	7	3	1	4,57	8,75	0,40
Yenilikçi Prosesler	Ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	10		5	3	10	1	1	5,29	8,75	0,46
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	10		5	3	7	3	1	5,14	8,75	0,45
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden kısmi nitritasyon ve Anammox prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	3	1		5	3	3	3	1	2,71	8,75	0,24
	Anaerobik arıtma/ Ön çöktürme/ kimyasal çöktürmeve peşinden mikroalglerle besin maddesi giderim prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	3	1		5	1	3	1	1	2,14	8,75	0,19
	Yüksek hızlı aktif çamur sitemi ve hibrit yan akım prosesleri (kimyasalla nutrient geri kazanımı örn. MAP çöktürme, amonyak sıyırma vb.) prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	3	5		5	1	3	1	1	2,71	8,75	0,24
	Atıksuların membranla (primary filtrasyon) ön arıtılması, konsantrenin anaerobik arıtılması,süzüntünün hızlı aktif çamur, SND ya da hibrit sistemlerle nutrient giderimi prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	1	1		5	1	3	1	3	2,14	8,75	0,19

Tablo E1. 21 Yenilikçi AAT alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (çevresel etki)

Enerji Verimliliği Açısından Yenilikçi Atıksu Arıtma Tesisi Alternatifleri		Çevresel etki										
		Grup No								Ortalama	Ağırlıklı Ort.	Etki
		1	2	3	4	5	6	7	8			
Mevcut Prosesler	Mevcut AAT'ler (BNR) için Proses Kontrolü (örn: otomosyonla DO kontrolü)	5	10		10	7	10	5	10	**8,14**	**11,63**	**0,95**
	Mevcut aktif çamur tesislerinin düşük oksijen konsantrasyonlarında işletilmesi (SND)	5	10		1	7	7	5	7	**6,00**	**11,63**	**0,70**
Yenilikçi Prosesler	Ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	5	10		1	7	7	5	7	**6,00**	**11,63**	**0,70**
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	10		5	7	5	3	10	**6,71**	**11,63**	**0,78**
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden kısmi nitritasyon ve Anammox prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	10	10		5	7	3	3	7	**6,43**	**11,63**	**0,75**
	Anaerobik arıtma/ Ön çöktürme/ kimyasal çöktürmeve peşinden mikroalglerle besin maddesi giderim prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	10	10		5	7	10	3	7	**7,43**	**11,63**	**0,86**
	Yüksek hızlı aktif çamur sitemi ve hibrit yan akım prosesleri (kimyasalla nutrient geri kazanımı örn. MAP çöktürme, amonyak sıyırma vb.) prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	10	10		10	7	7	3	10	**8,14**	**11,63**	**0,95**
	Atıksuların membranla (primary filtrasyon) ön arıtılması, konsantrenin anaerobik arıtılması,süzüntünün hızlı aktif çamur, SND ya da hibrit sistemlerle nutrient giderimi prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	10	10		10	7	7	5	10	**8,43**	**11,63**	**0,98**

Tablo E1. 22 Yenilikçi AAT alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (yatırım maliyeti)

Enerji Verimliliği Açısından Yenilikçi Atıksu Arıtma Tesisi Alternatifleri		Yatırım maliyeti										
		Grup No								Ortalama	Ağırlıklı Ort.	Etki
		1	2	3	4	5	6	7	8			
Mevcut Prosesler	Mevcut AAT'ler (BNR) için Proses Kontrolü (örn: otomosyonla DO kontrolü)	3	10		10	7	10	10	1	**7,29**	**13,88**	**1,01**
	Mevcut aktif çamur tesislerinin düşük oksijen konsantrasyonlarında işletilmesi (SND)	7	7		10	7	10	10	1	**7,43**	**13,88**	**1,03**
Yenilikçi Prosesler	Ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	5	7		5	7	10	7	1	**6,00**	**13,88**	**0,83**
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	5	7		5	7	10	3	5	**6,00**	**13,88**	**0,83**
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden kısmi nitritasyon ve Anammox prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	5	1		5	7	3	3	5	**4,14**	**13,88**	**0,57**
	Anaerobik arıtma/ Ön çöktürme/ kimyasal çöktürmeve peşinden mikroalglerle besin maddesi giderim prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	5	1		5	5	5	3	1	**3,57**	**13,88**	**0,50**
	Yüksek hızlı aktif çamur sitemi ve hibrit yan akım prosesleri (kimyasalla nutrient geri kazanımı örn. MAP çöktürme, amonyak sıyırma vb.) prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	5	7		5	3	3	3	10	**5,14**	**13,88**	**0,71**
	Atıksuların membranla (primary filtrasyon) ön arıtılması, konsantrenin anaerobik arıtılması,süzüntünün hızlı aktif çamur, SND ya da hibrit sistemlerle nutrient giderimi prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	3	1		5	5	7	1	1	**3,29**	**13,88**	**0,46**

Tablo E1. 23 Yenilikçi AAT alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (işletme maliyeti ve enerji gereksinimi)

Enerji Verimliliği Açısından Yenilikçi Atıksu Arıtma Tesisi Alternatifleri		İşletme maliyeti ve Enerji gereksinimi										
		Grup No								Ortalama	Ağırlıklı Ort.	Etki
		1	2	3	4	5	6	7	8			
Mevcut Prosesler	Mevcut AAT'ler (BNR) için Proses Kontrolü (örn: otomosyonla DO kontrolü)	1	1		10	5	10	7	1	5,00	16,50	0,83
	Mevcut aktif çamur tesislerinin düşük oksijen konsantrasyonlarında işletilmesi (SND)	10	7		10	7	10	10	10	9,14	16,50	1,51
Yenilikçi Prosesler	Ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	7		5	10	10	10	5	7,71	16,50	1,27
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	5	7		5	3	7	5	10	6,00	16,50	0,99
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden kısmi nitritasyon ve Anammox prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	5		5	3	3	5	10	5,43	16,50	0,90
	Anaerobik arıtma/ Ön çöktürme/ kimyasal çöktürmeve peşinden mikroalglerle besin maddesi giderim prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	7		5	3	7	5	5	5,57	16,50	0,92
	Yüksek hızlı aktif çamur sitemi ve hibrit yan akım prosesleri (kimyasalla nutrient geri kazanımı örn. MAP çöktürme, amonyak sıyırma vb.) prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	7		5	3	7	5	10	6,29	16,50	1,04
	Atıksuların membranla (primary filtrasyon) ön arıtılması, konsantrenin anaerobik arıtılması,süzüntünün hızlı aktif çamur, SND ya da hibrit sistemlerle nutrient giderimi prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	3	3		5	3	5	1	7	3,86	16,50	0,64

Tablo E1. 24 Yenilikçi AAT alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (alan ihtiyacı)

Enerji Verimliliği Açısından Yenilikçi Atıksu Arıtma Tesisi Alternatifleri		Alan İhtiyacı										
		Grup No								Ortalama	Ağırlıklı Ort.	Etki
		1	2	3	4	5	6	7	8			
Mevcut Prosesler	Mevcut AAT'ler (BNR) için Proses Kontrolü (örn: otomosyonla DO kontrolü)	3	1		10	1	10	1	1	**3,86**	**9,38**	**0,36**
	Mevcut aktif çamur tesislerinin düşük oksijen konsantrasyonlarında işletilmesi (SND)	10	5		10	5	10	1	1	**6,00**	**9,38**	**0,56**
Yenilikçi Prosesler	Ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	5		5	7	10	3	1	**5,43**	**9,38**	**0,51**
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden düşük oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	5		5	7	10	7	5	**6,57**	**9,38**	**0,62**
	Kimyasalla zenginleştirilmiş ön çöktürme ve peşinden kısmi nitritasyon ve Anammox prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	10	10		5	7	10	7	5	**7,71**	**9,38**	**0,72**
	Anaerobik arıtma/ Ön çöktürme/ kimyasal çöktürmeve peşinden mikroalglerle besin maddesi giderim prosesleri bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	7		5	5	5	7	3	**5,57**	**9,38**	**0,52**
	Yüksek hızlı aktif çamur sitemi ve hibrit yan akım prosesleri (kimyasalla nutrient geri kazanımı örn. MAP çöktürme, amonyak sıyırma vb.) prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	7	7		5	5	10	7	10	**7,29**	**9,38**	**0,68**
	Atıksuların membranla (primary filtrasyon) ön arıtılması, konsantrenin anaerobik arıtılması,süzüntünün hızlı aktif çamur, SND ya da hibrit sistemlerle nutrient giderimi prosesi bulunacak şekilde tasarlanan yeni bir AAT	10	10		5	5	10	10	10	**8,57**	**9,38**	**0,80**

AAT'LERDE YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMININ ARTTIRILMASI- SWOT İFADESİ

Tablo E1. 25 AAT'lerde yenilenebilir enerji kullanımının arttırılması- SWOT ifadesi grup çalışması

Grup Sıra No	Grup Adı	Olumlu/ Olumsuz	SWOT İfadesi	Aldığı Puan
1	Grup 1	Olumsuz	AAT'lerin de yenilenebilir enerji kaynağı kullanımında hem özel sektörde hem de kamuda yetersiz AR-GE çalışmaları	6
2	Grup 1	Olumsuz	İşletme şartnamelerinin enerji hariç ihale edilmesi. Yapım şartnamelerinde enerji verimli teknoloji kullanımını destekleyen şartların olmaması	6
3	Grup 1	Olumsuz	Kalifiyeli personel/mühendis, ara eleman eksikliği/yetiştirilmemesi.	5
4	Grup 1	Olumsuz	Kurumlar arası iletişimin zayıf olması, kurumlar arasında yetki karmaşası yaşanması. (Z) Destekleyici politikaların ve mevzuatların yeterince açık olmaması/bilinmemesi (Z) Mevzuatın yetersiz olması herhangi bir cezai işlem uygulanmaması (T)	4
5	Grup 1	Olumsuz	Üniversitelerdeki mesleki eğitimlerde bu yönde projelerin öğrencilere teşvik edici olmaması, öğrencilere bu yönde yönlendirmede eksiklik	4
6	Grup 1	Olumsuz	Tesiste kullanılan ekipmanların bakım ve arıza durumlarında yurtdışı firmalara bağımlılık.	4
7	Grup 1	Olumsuz	Türkiye'de yaşanabilecek ekonomik krizin yol açacağı belirsizlikler tehdit oluşturabilir	3
8	Grup 1	Olumsuz	Yenilenebilir enerji kullanımlı tesislerde ilk yatırımların yüksek bedeli, rekabet şartlarında eşitsizlik durumu olması	3
9	Grup 1	Olumsuz	Üniversite - Ar-Ge çalışmalarıyla oluşabilecek sorunların öngörülmesi ve problemin oluşmadan tedbirlerin alınmasına yönelik Lab-pilot ölçekli çalışmalar yapmak	3
10	Grup 1	Olumsuz	Enerjiye dönüşüm potansiyeli olan hammadde (veya kaynaklar) için kamu-üniversite işbirliğinin yetersizliği.	3
11	Grup 1	Olumsuz	Yenilenebilir enerji kullanımını destekleyen yeterli teşvik olmaması, kullanımın prestij kazandırmaması	2
12	Grup 1	Olumsuz	İşletmecinin enerji verimliliği için yatırımdan kaçınması (bütçesel sıkıntıya girmemek için)	2
13	Grup 1	Olumsuz	Tesiste üreyen çamurun tasarımında öngörülenden daha düşük enerji içeriğine sahip olması. Amortisman süresinin uzunluğu.	1
14	Grup 1	Olumsuz	Arıtma çamurlarının yakılması ile ilgili olarak kalorifik değerin düşük olması, ağır metal içeriğinin yüksek olması, yakma sonucu oluşan baca gazının arıtımı sorunu.	1
15	Grup 1	Olumsuz	Personel Tesiste bi fiil görev alacak şekilde mühendis ve yine ara eleman "operatör" yetiştrme eksikliği	1
16	Grup 1	Olumsuz	Fizibilite, analiz eksikliği. "Sistemle beraber bütüncül yaklaşım eksikliği"	0
17	Grup 1	Olumsuz	Lisansların tekellerde toplanması, rantın ön plana çıkması.	0
18	Grup 1	Olumsuz	Yenilenebilir enerji kaynaklarının desantralize ve bölgesel bazda ele alınması "YEK'in destek mekanizması olarak ele alınması"	0
19	Grup 1	Olumsuz	Yetkin insan kaynağı oluşturmada izlenecek yol için belirsizliklerin olması	0
20	Grup 1	Olumsuz	Bu tür enerji sistemlerini tasarlayacak proje firmalarının bu konuda yetersiz olmaları.	0
21	Grup 1	Olumsuz	Kalifiye eleman eksikliği veya kalifiye elemanı tutacak finansal desteğin sağlanmaması	0
22	Grup 1	Olumsuz	Yenilenebilir enerji kaynaklarının arıtma tesislerinde uygulanmasında bürokratik yönetimsel zorluklar	0
23	Grup 1	Olumsuz	Yenilenebilir enerji kullanımına yönelik yanlı akademisyen/bürokrat fikirleri	0
24	Grup 1	Olumsuz	Teknolojilerdeki yeniliklerin takip edilmemesi veya yeni uygulamalara açık olunmaması/risk olarak değerlendirilmesi	0
25	Grup 1	Olumsuz	İdari personel/bakanlık personelinin risk almada tüm sorumluluğu yatırımcı üzerine yıkması	0

Grup Sıra No	Grup Adı	Olumlu/ Olumsuz	SWOT İfadesi	Aldığı Puan
26	Grup 1	Olumsuz	Biyogaz tesislerinin işletilmesinde atıksu karakterinden kaynaklanan verimsizlikler (tasarım aşamasında yetersiz ve yanlış veri kullanımı)	0
27	Grup 1	Olumsuz	YEK çözümlerin bölge Hinterland kaynak bazında ele alınma gerekliliğini dikkate almama.	0
28	Grup 1	Olumsuz	Tesislerde işletme kolaylığına yönelik (otomasyon, yeni ekipman temini) çalışmaların yapılmaması/açık olunmaması	0
29	Grup 1	Olumsuz	Arıtma tesislerine yenilikçi ve yenilenebilir proseslerin entegre edilmesi konusunda eksikler olması.	0
1	Grup 2	Olumsuz	AAT özelinde, şehir şehir, ilçe ilçe, hangi tesis için hangi yenilenebilir enerji kanağının uygun olduğuna yönelik master plan/ fizibilite eksikliği	5
2	Grup 2	Olumsuz	Mevzuatların kurulum aşamasında yenilenebilir enerji üretimini destekleyici zorunluluk içermemesi	4
3	Grup 2	Olumsuz	Ülkemizde yeteri kadar ucuz/ maliyeti düşük yenilenebilir enerji ekipmanlarının üretilmemesi (güneş ve rüzgar enerjisi	4
4	Grup 2	Olumsuz	Ekonomik açıdan yüksek yatırım maliyeti içermesi	3
5	Grup 2	Olumsuz	AAT'lerde YE kullanımının projelendirmede planlanmıyor oluşu	3
6	Grup 2	Olumsuz	Atıksu karakterine uygun proses seçilememesi	2
7	Grup 2	Olumsuz	Yenilenebilir enerji kounusundaki ülke genelinde uygulama eksikliği	2
8	Grup 2	Olumsuz	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığının bu konu özelinde işbirliği yapmaması	2
9	Grup 2	Olumsuz	Yenilenebilir enerjide yerli üretimin verimsiz ve yeterli seviyede olmaması	2
10	Grup 2	Olumsuz	Alışkanlıklardan vazgeçmeme	1
11	Grup 2	Olumsuz	ÇYS vb kalite standartlarının kurulması gerekliliği	1
12	Grup 2	Olumsuz	Finansman konusunu sürdürülebilir yöntemlerinin eksiklikleri	1
13	Grup 2	Olumsuz	Kamu kuruluşları (belediyeler dahil) için (Devlet tarafından) hedef oluşturulmaması	1
14	Grup 2	Olumsuz	Enerjinin (elektrik) örneğin Avrupaya gçre oldukça ucuz olması	1
15	Grup 2	Olumsuz	2020'den sonra YEKDEM teşvik mekanizmasının yürürlükten kalkma ihtimali	1
16	Grup 2	Olumsuz	Enerji politikalarının yenilenebilir enerjiyi yeteri kadar desteklememesi	1
17	Grup 2	Olumsuz	AAT enerji teşviği uygulaması YE kullanımını kısıtlar	1
18	Grup 2	Olumsuz	Uygulamaya geçiş için izin vs. prosedürlerin/mevzuatın çok fazla/ caydırıcı olması	1
19	Grup 2	Olumsuz	AAT'lerden çıkan gazların enerji olarak kullanılmaması	0
20	Grup 2	Olumsuz	Hidrolik potansiyelinden enerji olarak faydanılamama	0
21	Grup 2	Olumsuz	Projelendirme aşamasında enerji üretimine uygun fizibilite yapılmaması	0
22	Grup 2	Olumsuz	Üst ölçekli bir enerji yönetim planı olmaması	0
23	Grup 2	Olumsuz	Konusunda uzman yeterince personel olmaması	0
24	Grup 2	Olumsuz	Tesisin sahibi/işleticisi olan yönetim kademesinin ilgi göstermemesi	0
25	Grup 2	Olumsuz	Motive edici mevzuat uygulamamak	0
26	Grup 2	Olumsuz	Yenilenebilir enerji konusunda eğitim eksikliği	0
27	Grup 2	Olumsuz	Belediyelerde yeterince farkındalık olmaması	0
28	Grup 2	Olumsuz	Mevzuatta bu konuda bir yaptırım bulunmaması	0
29	Grup 2	Olumsuz	Destek mekanizmaları yeteri kadar etkin değil	0
30	Grup 2	Olumsuz	Yeterli teşvik yapılmaması	0

Grup Sıra No	Grup Adı	Olumlu/ Olumsuz	SWOT İfadesi	Aldığı Puan
31	Grup 2	Olumsuz	Dünya'da da YE'nin AAT'de kullanım uygulaması azlığı	0
32	Grup 2	Olumsuz	Yatırım tutarları çok yüksek, ekipmanlar, sistemler çok pahalı	0
33	Grup 2	Olumsuz	Proje bazlı YEK kararı	0
34	Grup 2	Olumsuz	Uzun süreçlerde dahi yatırım maliyetini karşılayamaması	0
35	Grup 2	Olumsuz	Detaylı fizibiliye analizleri	0
36	Grup 2	Olumsuz	Yüksek kapasite seçilerek fazla enerji tüketimi yapmak	0
37	Grup 2	Olumsuz	Sürekli gelişen teknolojiye yön verememe	0
38	Grup 2	Olumsuz	YE kurulum maliyetlerinin ve yatırım geri dönüşüm sürelerinin belediyelerce bilinmemesi	0
39	Grup 2	Olumsuz	Yenilenebilir enerji teknolojilerinin üretilmesi noktasında, gelişmiş ülkelere kıyasla daha kısıtlı bir noktada olunması	0
40	Grup 2	Olumsuz	Yenilenebilir enerjiden kaynaklanan çevresel etkileri	0
41	Grup 2	Olumsuz	Yağmur sularının ayrık olmaması nedeniyle AAT'lere giden suyun seyrelmesi aynı zamanda hacmin artması nedeniyle enerji tüketiminin yüksek olması. Ayrık sistem olması halinde AAT'lerde konsantrasyon yüksekliği / gaz üretiminin yüksek olması	0
1	Grup 3	Olumsuz	Uygun teknoloji için fizibilite çalışmasının yapılmaması	8
2	Grup 3	Olumsuz	Yatırımın geri dönüş süresinin genellikle uzun oluşu (güneş ve rüzgar)	4
3	Grup 3	Olumsuz	Teknolojide dışa bağımlılık	4
4	Grup 3	Olumsuz	Devlet eliyle uygulama örneklerinin geliştirilmemiş olması, rehberlerin olmaması	4
5	Grup 3	Olumsuz	Teknolojileri değerendirecek uzmanın yetersiz olması	3
6	Grup 3	Olumsuz	Bu uygulamalar için proje yönetecek uzman kadro	3
7	Grup 3	Olumsuz	Risk analizinin yapılmamış olması	3
8	Grup 3	Olumsuz	Çereye duyarlı tesislerin geliştirilmesi için mevzuatlardaki eksiklikler	3
9	Grup 3	Olumsuz	Konu ile ilgili mevzuatın yeterince teşvik edici olmaması	2
10	Grup 3	Olumsuz	Yüksek yatırım maaliyetleri	1
11	Grup 3	Olumsuz	Yenilenebilir enerji kullanımına yönelik (yatırımda) teşvik mekanizmasının yetersiz olması	1
12	Grup 3	Olumsuz	Eski tesisler için daha zor yeni tesisler için daha kolay olması (proje, yer, fizibilite, yasal prosedür, vb.)	0
13	Grup 3	Olumsuz	Atıksu Arıtma Tesislerinin coğrafi konumunun yenilenebilir enerji kullanımına uygun yerde olmaması	0
14	Grup 3	Olumsuz	Yeterince gelişmiş teknolojilerin olmaması?	0
15	Grup 3	Olumsuz	Yanlış uygulamalar	0
16	Grup 3	Olumsuz	Atık yönetim planının olmaması	0
17	Grup 3	Olumsuz	Güneş panellerinde (hücre) dışa bağımlılık yerli üretime (sanayi) teşvik olmaması	0
18	Grup 3	Olumsuz	Birbirine yakın tesisler veya (organize sanayi bölgeleri gibi yerler) ortak sistem kurma organizasyonunu yapmaması/yapamaması	0
19	Grup 3	Olumsuz	Eğer yenilenebilir enerji sistemi ulusal şebekeye bağlanacaksa prosedürlerinin uzun ve sıkıcı olması	0
20	Grup 3	Olumsuz	Havalandırma havuzları üzeri güneş panelleri ile kapatılması sonucunda difizör gruplarının durumu mikserlerin durumu gözlenemez	0
21	Grup 3	Olumsuz	Bu konuda yeterli bilincin olmaması	0
22	Grup 3	Olumsuz	Yeni yatırımlarda eski teknolojilerin kullanılıyor olması	0
23	Grup 3	Olumsuz	Teknik bilgi yetersizliği	0
1	Grup 4	Olumsuz	Tesis işletmelerinde doğru işletmenin kontrol mekanizması olarak modelleme/simülasyon gibi ileri düzeydeki bilgisayar	4

Grup Sıra No	Grup Adı	Olumlu/ Olumsuz	SWOT İfadesi	Aldığı Puan
			teknolojilerinin kullanılmaması	
2	Grup 4	Olumsuz	Ön fizibilite çalışmalarına Y. Enerji kaynaklarının değerlendirilmenin yapılmaması.	4
3	Grup 4	Olumsuz	Mevcut tesislerdeki iyileştirme ve revizyon kısımlarında yenilenebilir enerjiye uygun düzenlemeler yapılmasının eksikliği	4
4	Grup 4	Olumsuz	Proje ve AR-GE çalışmaları için yeterli ödenek ayrılmaması.	3
5	Grup 4	Olumsuz	Ön fizibilite çalışmasında Y. Enerjisi üretiminin projeye dahil edilmemesi.	2
6	Grup 4	Olumsuz	Dünyadaki yeni teknolojilerin ve güncel gelişmelerin uygulamaların takip edilmemesi.	2
7	Grup 4	Olumsuz	Yenilenebilir enerji sistemlerinin yeterince tanınmıyor oluşu (yenilenebilir enerji konusunda bilgi ve tecrübe eksikliği). Bilgi ve uygulama eksikliği.	2
8	Grup 4	Olumsuz	Uygun proje için müşavirlik hizmetlerindeki eksiklikler (yeterlik)	1
9	Grup 4	Olumsuz	Atıksu arıtma tesislerinin kamulaştırma kapsamında alanların verimli kullanılmaması (güneş panelleri eklenmesi vb.)	1
10	Grup 4	Olumsuz	Mevcut tesislerin, tesis bazında değerlendirilmesi, detaylı inceleme ihtiyacı.	1
11	Grup 4	Olumsuz	Mühendislik hizmetlerine yeterli önem/değer verilmemesi.	1
12	Grup 4	Olumsuz	Yeterli teknik bilgisi olmayan personelin ve idarecilerin konuya yanlış yaklaşımı.	1
13	Grup 4	Olumsuz	İdareler ile işi yapan yüklenici firmaların beraberce hareket etmemesi. İşveren-yüklenici ilişkisinin eksikliği, kurum ve birimler arası iletişimsizlik.	0
14	Grup 4	Olumsuz	Mevcut sistem ve düzenden vazgeçişlerin getirdiği zorluk ve çekinceler.	0
15	Grup 4	Olumsuz	AAT'lerin yeterli ödenek bulamaması.	0
16	Grup 4	Olumsuz	YEK uygulamalarının yapılması halinde mevzuatlara bağlı olarak sınırlı yapım sürelerinin bulunması.	0
17	Grup 4	Olumsuz	Mevzuatlara ait yaptırımların şeffaf olmaması.	0
18	Grup 4	Olumsuz	Üniversite-sanayi işbirliğinin olmaması	0
19	Grup 4	Olumsuz	Bürokratik yavaşlık ve yeterli kanunların olmaması	0
20	Grup 4	Olumsuz	Dünyada uygulanan yeni teknolojilerin, ülkemizde entegrasyonu ve uygulamasının çekinceleri ve eksikliği.	0
21	Grup 4	Olumsuz	Yerli ürün ve AR-GE merkezlerinin olmaması, dışa bağımlılık	6
22	Grup 4	Olumsuz	İdarelerin işi yapan firmaları denetleme konusundaki eksikliği. Denetleme kriterlerinin uygun seçilmemesi.	2
23	Grup 4	Olumsuz	Teknolojinin dış kaynaklı olması ve buna bağlı olarak pahalı olması. Yeterli servis imkanının olmaması.	2
24	Grup 4	Olumsuz	Tesisin/projenin yerel/bölgesel koşullara göre seçilmemesi, optimizasyonun yapılmaması.	2
25	Grup 4	Olumsuz	Yeterli ve sürekli teşvik mekanizmasının oluşturulmaması.	2
26	Grup 4	Olumsuz	Uygulanan ihale kanunlarının zayıf olması.	1
27	Grup 4	Olumsuz	Yanlış fizibiliteler sonucu geri dönüş süresi çok uzun olan tesislerin varlığı.	1
28	Grup 4	Olumsuz	Solar sistemlere ait projelerin tarım arazisi olduğu için projelere onay verilmemesi.	0
29	Grup 4	Olumsuz	GES ve RES için yeterli etüdün yapılamaması sonucu verimsiz enerji üretimi olması.	0
30	Grup 4	Olumsuz	Strateji uygulamasındaki başarısızlıklar	0
31	Grup 4	Olumsuz	Enerji verimli ekipmanların ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması.	0
32	Grup 4	Olumsuz	Yerel yönetimlerin 5 yıl kalması. Projelerin tasarım + üretim yılının bu süreden kısa olması.	0
33	Grup 4	Olumsuz	Yenilenebilir enerji kullanımına yönelik teşviğin yetersiz oluşu.	0
34	Grup 4	Olumsuz	AAT kurulumu için uygulanan arazi seçim kriterleri ile YEK uygulaması için uygulanan arazi seçim kriterlerinin farklı olması.	0

Grup Sıra No	Grup Adı	Olumlu/ Olumsuz	SWOT İfadesi	Aldığı Puan
35	Grup 4	Olumsuz	Yetkin servis ağının ilgili sektörlerde üretici firmaların az olması.	0
36	Grup 4	Olumsuz	10 yıldan sonra devletin elektrik alım garantisi fiyatının belirsiz olması.	0
37	Grup 4	Olumsuz	Yenilenebilir enerjiye yönelik mevzuatların çok sık değişmesi.	0
38	Grup 4	Olumsuz	Mevcut elektrik fiyatlarının çok düşük olması.	0
39	Grup 4	Olumsuz	Belediyelere ayrılan 5 MW trafo kapasitesinin yetersiz olması.	0
1	Grup 5	Olumlu	Tesisin kurulu olduğu yer göz önünde bulundurularak rüzgar, güneşlenme süresi, hidroelektrik için kot farkı; bertarafında sıkıntı yaşanan çamurun yakılması ciddi enerji kaynağı olarak değerlendirilir.	5
2	Grup 5	Olumlu	İçerdiği kimyasal içerik nedeni ile ziraatte kullanılması zor olan çamurun bertarafı ve enerji istifadesi için yakma tesislerinin AAT'lerin vazgeçilmez unsuru haline getirilmesi.	4
3	Grup 5	Olumlu	Mevzuatta teşvik edici değişiklikler yapmak büyük bir fırsat olabilir.	4
4	Grup 5	Olumlu	Yenilenebilir enerji kullanımı konusunda idarelerin koyduğu hedefler ve idarelerin bu hedefleri takip ediyor olması. Benzer hedefleri olan kurum ve kuruluşlara teşvikler.	4
5	Grup 5	Olumlu	Devletin 10 yıl yenilenebilir enerji tesislerinin ürettiği elektriğe vermiş olduğu alım ve fiyat garantisi	3
6	Grup 5	Olumlu	Yenilenebilir kaynakların kullanımı ile karbondioksit salınımı da azaltılmış olur.	3
7	Grup 5	Olumlu	Enerjide dışa bağımlılığın azaltılması	3
8	Grup 5	Olumlu	Uluslararası projelere katılım potansiyelinin artması	3
9	Grup 5	Olumlu	Yenilenebilir enerji konusunda bilgi ve tecrübe aktarımının sağlandığı çevre dostu projelerin oluşması.	3
10	Grup 5	Olumlu	Atıksu Arıtma Tesislerinin yeraltı dizaynlar ile yeraltında yapılarak, yerüstü alanlarının güneş enerjisi vs. sistemler için kullanılması.	2
11	Grup 5	Olumlu	Yenilenebilir enerji tesislerinin anahtar teslim maliyetlerinin her geçen gün düşmesi.	2
12	Grup 5	Olumlu	AAT'lerde enerji gereksinimini karşılamak için katı atık değerlendirme fırsatları birlikte değerlendirilebilir.	1
13	Grup 5	Olumlu	Enerjinin verimli bir şekilde kullanılması için ekserji analizinin yapılması, Pitch teknolojisinin uygulanması.	1
14	Grup 5	Olumlu	Yenilenebilir enerji üretimine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi.	1
15	Grup 5	Olumlu	Jeotermal kaynakların bulunduğu yerlerde AAT'lerin oluşturulması.	1
16	Grup 5	Olumlu	Yenilenebilir enerji teknolojilerinin artması ile hem yeni iş sektörleri ortaya çıkmış olur hem de TR'de farklı alanlarda fabrikalar üretim yerleri kurulmuş olur.	1
17	Grup 5	Olumlu	Çeşitli teknolojilere yönelik kurumların vermiş olduğu hibeler. Örneğin kırsal kalkınma.	1
18	Grup 5	Olumlu	Yüksek elektrik faturalarından kurtulma fırsatı	0
19	Grup 5	Olumlu	Yenilenebilir enerji konusunda proje ve çalışma yürüten çok sayıda firmanın halihazırda kurulmuş olması.	0
20	Grup 5	Olumlu	GES sistemlerinde belli bir kurulu güce kadar mevzuat işlemlerinin kolay olması.	0
1	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir enerji konusunda çalışmalar yapılarak yeni proses çözümlerinin ortaya çıkartılabilmesi fırsatı	6
2	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir enerji ile yurtdışına bağımlılığın azalması (Petrol doğalgaz)	5
3	Grup 6	Olumlu	Fosil yakıtlara alternatif olarak tükenmeyen bir kaynak olması.	3
4	Grup 6	Olumlu	Maliyetlerin düşmesi	3
5	Grup 6	Olumlu	Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli açısından iyi bir konumdadır. AAT'lerde güneş, biyokütle HES potansiyeli bu kapsamda yüksektir.	3
6	Grup 6	Olumlu	Ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyelin büyük kısmının hala kullanılmaması.	3

Grup Sıra No	Grup Adı	Olumlu/ Olumsuz	SWOT İfadesi	Aldığı Puan
7	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili bakanlık ve kurumlar tarafından eğitim verilmesi.	3
8	Grup 6	Olumlu	Enerji maliyetlerinin yüksek olmasına bağlı olarak "yenilenebilir enerji kaynaklarına" olan ilginin artması son yıllarda AAT'lerde kullanımın başlaması	2
9	Grup 6	Olumlu	YEKDEM teşviğinin bulunuşu	2
10	Grup 6	Olumlu	Yeni yapılacak arıtma tesisi fazlalığı olması uygun teknolojinin seçilebilmesi	2
11	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi çevreye çok daha az zarar verir (karbon salınımı, hammadde kullanımı… vb.)	1
12	Grup 6	Olumlu	Biyokütleden enerji elde edilmesine yönelik tesis sayısının az olması arıtma çamurlarının bertarafı açısından fırsat olarak değerlendirilebilir.	1
13	Grup 6	Olumlu	Nüfus artışına bağlı olarak atık sürekliliği ve dönüşüm sistemleri hammadde sürekliliği	1
14	Grup 6	Olumlu	Son yıllarda özellikle bazı büyükşehir belediyeleri ve/veya özel sektörde çevre yatırımlara önem veriliyor olması. Uygulayıcı firmalara prestij kazandırması.	1
15	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir enerji konusunda yeterli sektörel tecrübe.	1
16	Grup 6	Olumlu	TÜBİTAK, Enerji Bakanlığı ve Çevre Bakanlığı'nın AR-GE ve proje destekleri	1
17	Grup 6	Olumlu	Güneş ve biyogazda kolay finansman imkanları.	1
18	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir enerji konusunda farkındalık güven. Ortak kabul.	1
19	Grup 6	Olumlu	Arıtma çamurlarının depolanması, arazide kullanımı vb. izin verilmemesi "biyokütle enerjisi"nin ön plana çıkarması	1
20	Grup 6	Olumlu	AAT'lerde yenilenebilir enerji için uygun alanların yer alması (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi)	1
21	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir enerji teknolojilerinin çeşitliliğinin fazla olması.	0
22	Grup 6	Olumlu	İklim değişikliği politikalarının desteklemesi	0
23	Grup 6	Olumlu	Eski teknolojinin değiştirilmesi için teşvik programlarının oluşumu	0
24	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir enerjilerin işletme masraflarının düşük olması.	0
25	Grup 6	Olumlu	Tesislere eklenen Y.E. Sistemlerinin bir çok disiplinden yetişmiş insan gücüne istihdam etkisi işsizliği azaltacak olması	0
26	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir enerji alanında yerli üretim alanında yaşanan gelişmeler (rüzgar türbünü, PV panel….)	0
27	Grup 6	Olumlu	Dünyada ve Türkiye'deki güzel uygulama örneklerinin incelenebiliyor olması, bu yatırımlara karar verecekler için fırsat olmaktadır.	0
28	Grup 6	Olumlu	Bakanlık düzeyinde konunun ele alınışı mevcut "projenin" başlatılması.	0
1	Grup 7	Olumlu	Temiz kaynak kullanımın yaygınlaşması, toplumsal bilincin yükselmesi, süreçlerin doğaya verdiği zararı minimuma indirmek.	6
2	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir enerji kaynaklarının arttırılması ile AAT'lerin çevre yönetimi sistemlerine uygun hale gelmesi.	5
3	Grup 7	Olumlu	İç ve dış finansal kaynakların teşvik için başvurulara açık olması.	5
4	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir olması nedeni ile sürekliliğinin hep olması. Kaynak ihtiyacının olmaması (hep var)	4
5	Grup 7	Olumlu	Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin yüksek olması.	4
6	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir enerji tesisi kurulabilmesi için yeterli alanın ve kaynağın kolay bulunabilir olması.	3
7	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir enerji kullanımı ile ATT'lerde enerji tasarrufu.	3
8	Grup 7	Olumlu	Temiz enerji olması açısından doğaya verilen zararın minimuma indirilmesi. Çevre (doğa) dostu olması.	3
9	Grup 7	Olumlu	Atıksu ve çamur potansiyel birer yenilenebilir enerji kaynağıdır	2
10	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir enerji anlamında ülkemizin kayda değer potansiyel taşıması ve bu alandaki teknolojilerin daha az maliyetli hale gelmesi	2
11	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir enerji ile ilgili teşviklerin mevcudiyeti	2

Grup Sıra No	Grup Adı	Olumlu/ Olumsuz	SWOT İfadesi	Aldığı Puan
12	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir enerji üretimi yatırımları, AAT'lerdeki teknik bgelişme ve ekonumik güçlenmelere, dolayısıyla performans artışına yol açacaktır	2
13	Grup 7	Olumlu	Suyun arıtma özelliği olan bitkilerle proses edilmesi de enerji kullanımını azaltabilir.	1
14	Grup 7	Olumlu	Atıksu tesislerinde know-how bilgileri yüksek insanların tesiste istihdam edilebilmesi	1
15	Grup 7	Olumlu	ATT'ler, ticari gelir kaygısı taşımadıkları ve kamu hizmeti yaptıkları için, yenilenebilir enerji üretimi konusunda yeterli vizyona ve uygunluğa sahip kuruluşlardır.	1
16	Grup 7	Olumlu	Çevre teknolojisi üreten firmaların yenilenebilir enerji AR-GE projelerine yönelmesi.	1
17	Grup 7	Olumlu	Günden güne gelişen bir sektör olduğu için iyileştirmelere yeniliklere açık olmasından dolayı gelişmin hep devam etmesi.	1
18	Grup 7	Olumlu	Enerji verimli ekipmanların yatırım maliyetlerinin çok olmasına karşın, geri döndürebilmesi kendini	1
19	Grup 7	Olumlu	AAT'ler, sayılaarı fazla olmaları sayesinde, enerji yatırımı yaparak ülke çapında yeni bir enerji sektörü geliştirebilirler	1
20	Grup 7	Olumlu	Gelişen teknolojinin bu alanlarda kullanılmasından dolayı verimliliğin artması.	0
21	Grup 7	Olumlu	ÇŞB'nin hazırlamış olduğu atıksu arıtma tesislerindeki enerji verimliliği elkitabı ve bilinçlendirme çalışmalarının varlığı.	0
22	Grup 7	Olumlu	Üniversite ve araştırma kuruluşlarıyla daha fazla etkinliğin gerçekleştirilmesi.	0
23	Grup 7	Olumlu	ÇŞB'nin çalıştığı atıksu arıtma tesislerinde çalışacak personele ilişkin Tebliğ ve MYK'nın hazırladığı mesleki kriterler (ikisi de taslak) (Eğitim fırsatı)	0
24	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir enerji ekipmanlarına daha kolay ve ucuz şekilde ulaşımın açılması.	0
25	Grup 7	Olumlu	AR-GE ve yeniliklere açık bir sektör olmasından dolayı sürekli gelişim	0
26	Grup 7	Olumlu	Uluşlararası çalışmaların varlığı ve erişime açık oluşu	0
27	Grup 7	Olumlu	Enerji depolama sistemleri ucuzluyor. Kullanımı değerlendirilebilir.	0
28	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir enerji konusunda dünyada olumlu bir eğilimin olması	0
29	Grup 7	Olumlu	Genelde şehirdışı tesisler güneş tarlası için ucuz arazi imkanı sağlıyor.	0
30	Grup 7	Olumlu	Büyükşehir belediyelerindeki bilgi birikimin il belediyeleri ölçeğindeki küçük yerlere aktarılabilmesinin imkanı.	0
31	Grup 7	Olumlu	Mevcut arıtma tesisi genişleme alanlarında yenilenebilir enerji tesisleri güneş vb. için mekanın varlığı	0
32	Grup 7	Olumlu	Farklı bertaraf metodları değerlendirilebilir. Farklı biyokütleler ile birlikte yakma (belediyeye ait)	0
33	Grup 7	Olumlu	AAT'lerde rüzgar ve güneş enerjisinin kullanılabilmesi (güçlü yön)	0
34	Grup 7	Olumlu	AAT'lerden üretilen arıtma çamurlarının biyogaz tesisleri ile yenilenebilir enerjiye dönüştürülmesi	0
35	Grup 7	Olumlu	Biyogaz tesisi yatırımı için hammadde ulaşımının daha rahat olması	0
36	Grup 7	Olumlu	Yöresel şartlar değerlendirilerek maddi açıdan belediyelere hizmet vermesi.	0
37	Grup 7	Olumlu	AAT'leri belediyeler işletiyor. Biyokütle farklı amaçla kullanılabilir. Farklı tesislerde (çimento vs. yakma)	0
38	Grup 7	Olumlu	Belli debide su çıkışı var. Hidrolik için kullanılmalı.	0
39	Grup 7	Olumlu	Arıtma tesislerinde üretilen arıtma çamurlarından yenilenebilir enerjiye dönüşüm ile ilgili AB, TÜBİTAK ve üniversite projelerinin varlığı.	0
40	Grup 7	Olumlu	Yatırımlarda ilave personel ihtiyacı az olacak.	0
41	Grup 7	Olumlu	Güneş kurutma için ve elektrik için aynı anda kullanılabilir.	0
42	Grup 7	Olumlu	AAT'lerde yenilenebilir enerji üretimi yatırımları belediyelere kurum prestiji sağlayacaktır.	0
43	Grup 7	Olumlu	YEKDEM teşviklerinin olması	0

Grup Sıra No	Grup Adı	Olumlu/ Olumsuz	SWOT İfadesi	Aldığı Puan
1	Grup 8	Olumlu	AR-GE çalışmaları üniversiteler-özel şirketleri ve kamu firmaların ortak çalışması. Bilginin üretiliyor olması	6
2	Grup 8	Olumlu	Devletin yenilenebilir enerji kullanımına verdiği teşvik/destek itici güç olabilir	5
3	Grup 8	Olumlu	Yenilenebilir enerji kullanımı nedeniyle sera gazı emisyonlarının azaltımı	5
4	Grup 8	Olumlu	Yenilenebilir enerjiye ihtiyaç duyulduğunun halk tarafından bilinmesi ile toplumsal enerji tüketimi bilincinde mesafe katedilmiş olur	4
5	Grup 8	Olumlu	1. boş alanlar için GES 2. hakim yerler için RES 3. DN potansiyeli sağlanan yerler için CHP 4. Çürütülen çamurun toprak ıslahı olarak kullanımı 5. Bölgesel yatırım	4
6	Grup 8	Olumlu	Tarım ve hayvancılık yapılan küçük yerleşim yerlerinde; her iki sektörün atığının çürütülerek biogaz elde edilmesi sonucu, hem yerleşim biriminin enerji ihtiyacının karşılanması hem de atıkların gübre olarak kullanılabilmesi	3
7	Grup 8	Olumlu	Enerji fakiri ülke olduğumuzdan yenilenebilir enerji ile cari açığı azaltmış oluyoruz. Dışa bağımlılığın engellenmesi	3
8	Grup 8	Olumlu	Yenilenebilir enerji tiplerine bağlı olarak; teknolojinin gelişmesi, daha fazla ve hızlı enerji verimli ekipman bulunması	3
9	Grup 8	Olumlu	Yenilenebilir enerjiye yatırım yapmak ülke içerisinde yenilenebilir ekipman üretimi ve yedek parça imalatı yaparak istihdama katkı sağlanmış olur	2
10	Grup 8	Olumlu	Kapasiteye göre planlama yapılabilir. YE kaynağına bağlı olarak tesis büyüklüğünün planlanmasındaki flexibilite	2
11	Grup 8	Olumlu	Yenilenebilir enerji ekipmanlarının yerli üretim yapılması şartıyla, sektör gelişebilir	2
12	Grup 8	Olumlu	Mikro HES	1
13	Grup 8	Olumlu	Tesislerin bulunduğu alanları kullanarak mevcut personel ile yeni yapılan tessislerinde işletilmesi sağlanarak personel sayısında kazanç sağlamış oluruz. Personel sayısı azaltma.	1
14	Grup 8	Olumlu	Önce halkın bilinçlendirilmesi şartıyla, ….	1
15	Grup 8	Olumlu	Bio kütleden enerji üretilmesi konusunda know-how artırılması. Yerli teknolojilerin geliştirilmesi.	0
16	Grup 8	Olumlu	Türkiye'nin konumundan faydalanarak güneş, rüzgar enerjisinden daha fazla yararlanma	0
17	Grup 8	Olumlu	Güneş enerjisi ve güneş panelleri kurulabilecek bölgelerin varlığı	0
18	Grup 8	Olumlu	Tüm AAT'lerde halihazırda Biogaz üretimi için gereken arıtma çamurlarının üretiliyor olması	0
19	Grup 8	Olumlu	Çamurun kaynak olarak kullanımı	0
20	Grup 8	Olumlu	Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, kısmen rüzgar ve su enerjisi açısından kısmen 'zengin' bir ülkede yer almak	0
21	Grup 8	Olumlu	Fosil kaynaklı enerji kaynaklarının farklı alanlarda kullanılabilmesi	0
22	Grup 8	Olumlu	Enerji verimi yüksek ekipman ve teknolojilere ulaşmanın kolay olması	0
23	Grup 8	Olumlu	Yenilenebilir enerjinin kullanımı ile, üniversitelerde konuyla ilgili uzman yetiştirme konusunda adımlar atılabilir: projeler, branşlaşma, seçimli ders paketleri gibi	0
24	Grup 8	Olumlu	Çevre kirliliğinin azaltılması	0
25	Grup 8	Olumlu	Daha az enerji kullanımı ve karbondioksit salınımı	0
26	Grup 8	Olumlu	Kamuoyunun temiz ve yenilenebilir enerjiye olan olumlu bakış açısı	0
27	Grup 8	Olumlu	Konu yeni olduğu için kolay kabul edilebilir	0
28	Grup 8	Olumlu	Kojenerasyon ile tesis ihtiyacının karşılanması	0
29	Grup 8	Olumlu	AAT'nin enerjisini tamamen üretmek	0
30	Grup 8	Olumlu	Halkın yenilenebilir enerji kullanımı yöndeki talebi. Hem de karşı çıkıyor	0
31	Grup 8	Olumlu	Mevcut bir çok yerel yönetimin ekonomik imkanlarını enerji verimliliği açısından kullanabilmesi. Bütçe ayrılıyor olması	0

Grup Sıra No	Grup Adı	Olumlu/ Olumsuz	SWOT İfadesi	Aldığı Puan
32	Grup 8	Olumlu	Yenilenebilir enerji kaynağı olarak mikroalglerin arıtma tesislerinde hem arıtım, hem de enerji verimliliği açısından sisteme entegre edilmesi. Üretilen biokütle ayrıca biyoyakıta dönüştürme potansiyeline sahip	0
33	Grup 8	Olumlu	Bu gibi yapılan çalıştaylar/ eğitimler / seminerler enerji verimliliğinin artırılmasında bilinçlendirilmesi adına olumlu olmaktadır (farkındalık yaratmalı)	0
34	Grup 8	Olumlu	AB uyum sürecinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile prestij kazanılması mümkün olabilir	0
35	Grup 8	Olumlu	Enerji tüketiminin artması ile enerji fiyatı ve arz güvenliği göz önünde bulundurulduğunda; tükettiğimiz enerjinin belirli bir yüzdesini kendimi üretmiş oluyoruz	0

Tablo E1. 26 AAT'lerde yenilenebilir enerji kullanımının arttırılması- swot ifadesi grup çalışması-önceliklendirme

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	Olumlu/ Olumsuz	SWOT İfadesi	Aldığı Puan
1	1	Grup 3	Olumsuz	Uygun teknoloji için fizibilite çalışmasının yapılmaması	8
1	2	Grup 1	Olumsuz	AAT'lerin de yenilenebilir enerji kaynağı kullanımında hem özel sektörde hem de kamuda yetersiz AR-GE çalışmaları	6
2	3	Grup 1	Olumsuz	İşletme şartnamelerinin enerji hariç ihale edilmesi. Yapım şartnamelerinde enerji verimli teknoloji kullanımını destekleyen şartların olmaması	6
21	4	Grup 4	Olumsuz	Yerli ürün ve AR-GE merkezlerinin olmaması, dışa bağımlılık	6
3	5	Grup 1	Olumsuz	Kalifiyeli personel/mühendis, ara eleman eksikliği/yetiştirilmemesi.	5
1	6	Grup 2	Olumsuz	AAT özelinde, şehir şehir, ilçe ilçe, hangi tesis için hangi yenilenebilir enerji kanağının uygun olduğuna yönelik master plan/ fizibilite eksikliği	5
4	7	Grup 1	Olumsuz	Kurumlar arası iletişimin zayıf olması, kurumlar arasında yetki karmaşası yaşanması. (Z) Destekleyici politikaların ve mevzuatların yeterince açık olmaması/bilinmemesi (Z) Mevzuatın yetersiz olması herhangi bir cezai işlem uygulanmaması (T)	4
5	8	Grup 1	Olumsuz	Üniversitelerdeki mesleki eğitimlerde bu yönde projelerin öğrencilere teşvik edici olmaması, öğrencilere bu yönde yönlendirmede eksiklik	4
6	9	Grup 1	Olumsuz	Tesiste kullanılan ekipmanların bakım ve arıza durumlarında yurtdışı firmalara bağımlılık.	4
2	10	Grup 2	Olumsuz	Mevzuatların kurulum aşamasında yenilenebilir enerji üretimini destekleyici zorunluluk içermemesi	4
3	11	Grup 2	Olumsuz	Ülkemizde yeteri kadar ucuz/ maliyeti düşük yenilenebilir enerji ekipmanlarının üretilmemesi (güneş ve rüzgar enerjisi	4
2	12	Grup 3	Olumsuz	Yatırımın geri dönüş süresinin genellikle uzun oluşu (güneş ve rüzgar)	4
3	13	Grup 3	Olumsuz	Teknolojide dışa bağımlılık	4
4	14	Grup 3	Olumsuz	Devlet eliyle uygulama örneklerinin geliştirilmemiş olması, rehberlerin olmaması	4
1	15	Grup 4	Olumsuz	Tesis işletmelerinde doğru işletmenin kontrol mekanizması olarak modelleme/simülasyon gibi ileri düzeydeki bilgisayar teknolojilerinin kullanılmaması	4
2	16	Grup 4	Olumsuz	Ön fizibilite çalışmalarına Y. Enerji kaynaklarının değerlendirilmenin yapılmaması.	4
3	17	Grup 4	Olumsuz	Mevcut tesislerdeki iyileştirme ve revizyon kısımlarında yenilenebilir enerjiye uygun düzenlemeler yapılmasının eksikliği	4
7	18	Grup 1	Olumsuz	Türkiye'de yaşanabilecek ekonomik krizin yol açacağı belirsizlikler tehdit oluşturabilir	3
8	19	Grup 1	Olumsuz	Yenilenebilir enerji kullanımlı tesislerde ilk yatırımların yüksek bedeli, rekabet şartlarında eşitsizlik durumu olması	3
9	20	Grup 1	Olumsuz	Üniversite - Ar-Ge çalışmalarıyla oluşabilecek sorunların öngörülmesi ve problemin oluşmadan tedbirlerin alınmasına yönelik Lab-pilot ölçekli çalışmalar yapmak	3
10	21	Grup 1	Olumsuz	Enerjiye dönüşüm potansiyeli olan hammadde (veya kaynaklar) için kamu-üniversite işbirliğinin yetersizliği.	3
4	22	Grup 2	Olumsuz	Ekonomik açıdan yüksek yatırım maliyeti içermesi	3
5	23	Grup 2	Olumsuz	AAT'lerde YE kullanımının projelendirmede planlanmıyor oluşu	3

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	Olumlu/ Olumsuz	SWOT İfadesi	Aldığı Puan
5	24	Grup 3	Olumsuz	Teknolojileri değerendirecek uzmanın yetersiz olması	3
6	25	Grup 3	Olumsuz	Bu uygulamalar için proje yönetecek uzman kadro	3
7	26	Grup 3	Olumsuz	Risk analizinin yapılmamış olması	3
8	27	Grup 3	Olumsuz	Çereye duyarlı tesislerin geliştirilmesi için mevzuatlardaki eksiklikler	3
4	28	Grup 4	Olumsuz	Proje ve AR-GE çalışmaları için yeterli ödenek ayrılmaması.	3
11	29	Grup 1	Olumsuz	Yenilenebilir enerji kullanımını destekleyen yeterli teşvik olmaması, kullanımın prestij kazandırmaması	2
12	30	Grup 1	Olumsuz	İşletmecinin enerji verimliliği için yatırımdan kaçınması (bütçesel sıkıntıya girmemek için)	2
6	31	Grup 2	Olumsuz	Atıksu karakterine uygun proses seçilememesi	2
7	32	Grup 2	Olumsuz	Yenilenebilir enerji kounusundaki ülke genelinde uygulama eksikliği	2
8	33	Grup 2	Olumsuz	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığının bu konu özelinde işbirliği yapmaması	2
9	34	Grup 2	Olumsuz	Yenilenebilir enerjide yerli üretimin verimsiz ve yeterli seviyede olmaması	2
9	35	Grup 3	Olumsuz	Konu ile ilgili mevzuatın yeterince teşvik edici olmaması	2
5	36	Grup 4	Olumsuz	Ön fizibilite çalışmasında Y. Enerjisi üretiminin projeye dahil edilmemesi.	2
6	37	Grup 4	Olumsuz	Dünyadaki yeni teknolojilerin ve güncel gelişmelerin uygulamaların takip edilmemesi.	2
7	38	Grup 4	Olumsuz	Yenilenebilir enerji sistemlerinin yeterince tanınmıyor oluşu (yenilenebilir enerji konusunda bilgi ve tecrübe eksikliği). Bilgi ve uygulama eksikliği.	2
22	39	Grup 4	Olumsuz	İdarelerin işi yapan firmaları denetleme konusundaki eksikliği. Denetleme kriterlerinin uygun seçilmemesi.	2
23	40	Grup 4	Olumsuz	Teknolojinin dış kaynaklı olması ve buna bağlı olarak pahalı olması. Yeterli servis imkanının olmaması.	2
24	41	Grup 4	Olumsuz	Tesisin/projenin yerel/bölgesel koşullara göre seçilmemesi, optimizasyonun yapılmaması.	2
25	42	Grup 4	Olumsuz	Yeterli ve sürekli teşvik mekanizmasının oluşturulmaması.	2
13	43	Grup 1	Olumsuz	Tesiste üreyen çamurun tasarımında öngörülenden daha düşük enerji içeriğine sahip olması. Amortisman süresinin uzunluğu.	1
14	44	Grup 1	Olumsuz	Arıtma çamurlarının yakılması ile ilgili olarak kalorifik değerin düşük olması, ağır metal içeriğinin yüksek olması, yakma sonucu oluşan baca gazının arıtımı sorunu.	1
15	45	Grup 1	Olumsuz	Personel Tesiste bi fiil görev alacak şekilde mühendis ve yine ara eleman "operatör" yetiştrme eksikliği	1
10	46	Grup 2	Olumsuz	Alışkanlıklardan vazgeçmeme	1
11	47	Grup 2	Olumsuz	ÇYS vb kalite standartlarının kurulması gerekliliği	1
12	48	Grup 2	Olumsuz	Finansman konusunu sürdürülebilir yöntemlerinin eksiklikleri	1
13	49	Grup 2	Olumsuz	Kamu kuruluşları (belediyeler dahil) için (Devlet tarafından) hedef oluşturulmaması	1
14	50	Grup 2	Olumsuz	Enerjinin (elektrik) örneğin Avrupaya gçre oldukça ucuz olması	1
15	51	Grup 2	Olumsuz	2020'den sonra YEKDEM teşvik mekanizmasının yürürlükten kalkma ihtimali	1
16	52	Grup 2	Olumsuz	Enerji politikalarının yenilenebilir enerjiyi yeteri kadar desteklememesi	1
17	53	Grup 2	Olumsuz	AAT enerji teşviği uygulaması YE kullanımını kısıtlar	1
18	54	Grup 2	Olumsuz	Uygulamaya geçiş için izin vs. prosedürlerin/mevzuatın çok fazla/ caydırıcı olması	1
10	55	Grup 3	Olumsuz	Yüksek yatırım maaliyetleri	1
11	56	Grup 3	Olumsuz	Yenilenebilir enerji kullanımına yönelik (yatırımda) teşvik mekanizmasının yetersiz olması	1

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	Olumlu/ Olumsuz	SWOT İfadesi	Aldığı Puan
8	57	Grup 4	Olumsuz	Uygun proje için müşavirlik hizmetlerindeki eksiklikler (yeterlik)	1
9	58	Grup 4	Olumsuz	Atıksu arıtma tesislerinin kamulaştırma kapsamında alanların verimli kullanılmaması (güneş panelleri eklenmesi vb.)	1
10	59	Grup 4	Olumsuz	Mevcut tesislerin, tesis bazında değerlendirilmesi, detaylı inceleme ihtiyacı.	1
11	60	Grup 4	Olumsuz	Mühendislik hizmetlerine yeterli önem/değer verilmemesi.	1
12	61	Grup 4	Olumsuz	Yeterli teknik bilgisi olmayan personelin ve idarecilerin konuya yanlış yaklaşımı.	1
26	62	Grup 4	Olumsuz	Uygulanan ihale kanunlarının zayıf olması.	1
27	63	Grup 4	Olumsuz	Yanlış fizibiliteler sonucu geri dönüş süresi çok uzun olan tesislerin varlığı.	1
1	64	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir enerji konusunda çalışmalar yapılarak yeni proses çözümlerinin ortaya çıkartılabilmesi fırsatı	6
1	65	Grup 7	Olumlu	Temiz kaynak kullanımın yaygınlaşması, toplumsal bilincin yükselmesi, süreçlerin doğaya verdiği zararı minimuma indirmek.	6
1	66	Grup 8	Olumlu	AR-GE çalışmaları üniversiteler-özel şirketleri ve kamu firmaların ortak çalışması. Bilginin üretiliyor olması	6
1	67	Grup 5	Olumlu	Tesisin kurulu olduğu yer göz önünde bulundurularak rüzgar, güneşlenme süresi, hidroelektrik için kot farkı; bertarafında sıkıntı yaşanan çamurun yakılması ciddi enerji kaynağı olarak değerlendirilir.	5
2	68	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir enerji ile yurtdışına bağımlılığın azalması (Petrol doğalgaz)	5
2	69	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir enerji kaynaklarının arttırılması ile AAT'lerin çevre yönetimi sistemlerine uygun hale gelmesi.	5
3	70	Grup 7	Olumlu	İç ve dış finansal kaynakların teşvik için başvurulara açık olması.	5
2	71	Grup 8	Olumlu	Devletin yenilenebilir enerji kullanımına verdiği teşvik/destek itici güç olabilir	5
3	72	Grup 8	Olumlu	Yenilenebilir enerji kullanımı nedeniyle sera gazı emisyonlarının azaltımı	5
2	73	Grup 5	Olumlu	İçerdiği kimyasal içerik nedeni ile ziraatte kullanılması zor olan çamurun bertarafı ve enerji istifadesi için yakma tesislerinin AAT'lerin vazgeçilmez unsuru haline getirilmesi.	4
3	74	Grup 5	Olumlu	Mevzuatta teşvik edici değişiklikler yapmak büyük bir fırsat olabilir.	4
4	75	Grup 5	Olumlu	Yenilenebilir enerji kullanımı konusunda idarelerin koyduğu hedefler ve idarelerin bu hedefleri takip ediyor olması. Benzer hedefleri olan kurum ve kuruluşlara teşvikler.	4
4	76	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir olması nedeni ile sürekliliğinin hep olması. Kaynak ihtiyacının olmaması (hep var)	4
5	77	Grup 7	Olumlu	Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin yüksek olması.	4
4	78	Grup 8	Olumlu	Yenilenebilir enerjiye ihtiyaç duyulduğunun halk tarafından bilinmesi ile toplumsal enerji tüketimi bilincinde mesafe katedilmiş olur	4
5	79	Grup 8	Olumlu	1. boş alanlar için GES 2. hakim yerler için RES 3. DN potansiyeli sağlanan yerler için CHP 4. Çürütülen çamurun toprak ıslahı olarak kullanımı 5. Bölgesel yatırım	4
5	80	Grup 5	Olumlu	Devletin 10 yıl yenilenebilir enerji tesislerinin ürettiği elektriğe vermiş olduğu alım ve fiyat garantisi	3
6	81	Grup 5	Olumlu	Yenilenebilir kaynakların kullanımı ile karbondioksit salınımı da azaltılmış olur.	3
7	82	Grup 5	Olumlu	Enerjide dışa bağımlılığın azaltılması	3
8	83	Grup 5	Olumlu	Uluslararası projelere katılım potansiyelinin artması	3
9	84	Grup 5	Olumlu	Yenilenebilir enerji konusunda bilgi ve tecrübe aktarımının sağlandığı çevre dostu projelerin oluşması.	3
3	85	Grup 6	Olumlu	Fosil yakıtlara alternatif olarak tükenmeyen bir kaynak olması.	3
4	86	Grup 6	Olumlu	Maliyetlerin düşmesi	3

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	Olumlu/ Olumsuz	SWOT İfadesi	Aldığı Puan
5	87	Grup 6	Olumlu	Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli açısından iyi bir konumdadır. AAT'lerde güneş, biyokütle HES potansiyeli bu kapsamda yüksektir.	3
6	88	Grup 6	Olumlu	Ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyelin büyük kısmının hala kullanılmaması.	3
7	89	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili bakanlık ve kurumlar tarafından eğitim verilmesi.	3
6	90	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir enerji tesisi kurulabilmesi için yeterli alanın ve kaynağın kolay bulunabilir olması.	3
7	91	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir enerji kullanımı ile ATT'lerde enerji tasarrufu.	3
8	92	Grup 7	Olumlu	Temiz enerji olması açısından doğaya verilen zararın minimuma indirilmesi. Çevre (doğa) dostu olması.	3
6	93	Grup 8	Olumlu	Tarım ve hayvancılık yapılan küçük yerleşim yerlerinde; her iki sektörün atığının çürütülerek biogaz elde edilmesi sonucu, hem yerleşim biriminin enerji ihtiyacının karşılanması hem de atıkların gübre olarak kullanılabilmesi	3
7	94	Grup 8	Olumlu	Enerji fakiri ülke olduğumuzdan yenilenebilir enerji ile cari açığı azaltmış oluyoruz. Dışa bağımlılığın engellenmesi	3
8	95	Grup 8	Olumlu	Yenilenebilir enerji tiplerine bağlı olarak; teknolojinin gelişmesi, daha fazla ve hızlı enerji verimli ekipman bulunması	3
10	96	Grup 5	Olumlu	Atıksu Arıtma Tesislerinin yeraltı dizaynlar ile yeraltında yapılarak, yerüstü alanlarının güneş enerjisi vs. sistemler için kullanılması.	2
11	97	Grup 5	Olumlu	Yenilenebilir enerji tesislerinin anahtar teslim maliyetlerinin her geçen gün düşmesi.	2
8	98	Grup 6	Olumlu	Enerji maliyetlerinin yüksek olmasına bağlı olarak "yenilenebilir enerji kaynaklarına" olan ilginin artması son yıllarda AAT'lerde kullanımın başlaması	2
9	99	Grup 6	Olumlu	YEKDEM teşviğinin bulunuşu	2
10	100	Grup 6	Olumlu	Yeni yapılacak arıtma tesisi fazlalığı olması uygun teknolojinin seçilebilmesi	2
9	101	Grup 7	Olumlu	Atıksu ve çamur potansiyel birer yenilenebilir enerji kaynağıdır	2
10	102	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir enerji anlamında ülkemizin kayda değer potansiyel taşıması ve bu alandaki teknolojilerin daha az maliyetli hale gelmesi	2
11	103	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir enerji ile ilgili teşviklerin mevcudiyeti	2
12	104	Grup 7	Olumlu	Yenilenebilir enerji üretimi yatırımları, AAT'lerdeki teknik bgelişme ve ekonumik güçlenmelere, dolayısıyla performans artışına yol açacaktır	2
9	105	Grup 8	Olumlu	Yenilenebilir enerjiye yatırım yapmak ülke içerisinde yenilenebilir ekipman üretimi ve yedek parça imalatı yaparak istihdama katkı sağlanmış olur	2
10	106	Grup 8	Olumlu	Kapasiteye göre planlama yapılabilir. YE kaynağına bağlı olarak tesis büyüklüğünün planlanmasındaki flexibilite	2
11	107	Grup 8	Olumlu	Yenilenebilir enerji ekipmanlarının yerli üretim yapılması şartıyla, sektör gelişebilir	2
12	108	Grup 5	Olumlu	AAT'lerde enerji gereksinimini karşılamak için katı atık değerlendirme fırsatları birlikte değerlendirilebilir.	1
13	109	Grup 5	Olumlu	Enerjinin verimli bir şekilde kullanılması için ekserji analizinin yapılması, Pitch teknolojisinin uygulanması.	1
14	110	Grup 5	Olumlu	Yenilenebilir enerji üretimine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi.	1
15	111	Grup 5	Olumlu	Jeotermal kaynakların bulunduğu yerlerde AAT'lerin oluşturulması.	1
16	112	Grup 5	Olumlu	Yenilenebilir enerji teknolojilerinin artması ile hem yeni iş sektörleri ortaya çıkmış olur hem de TR'de farklı alanlarda fabrikalar üretim yerleri kurulmuş olur.	1
17	113	Grup 5	Olumlu	Çeşitli teknolojilere yönelik kurumların vermiş olduğu hibeler. Örneğin kırsal kalkınma.	1
11	114	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi çevreye çok daha az zarar verir (karbon salınımı, hammadde kullanımı…	1

Grup Sıra No	Sıra No	Grup Adı	Olumlu/ Olumsuz	SWOT İfadesi	Aldığı Puan
				vb.)	
12	115	Grup 6	Olumlu	Biyokütleden enerji elde edilmesine yönelik tesis sayısının az olması arıtma çamurlarının bertarafı açısından fırsat olarak değerlendirilebilir.	1
13	116	Grup 6	Olumlu	Nüfus artışına bağlı olarak atık sürekliliği ve dönüşüm sistemleri hammadde sürekliliği	1
14	117	Grup 6	Olumlu	Son yıllarda özellikle bazı büyükşehir belediyeleri ve/veya özel sektörde çevre yatırımlara önem veriliyor olması. Uygulayıcı firmalara prestij kazandırması.	1
15	118	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir enerji konusunda yeterli sektörel tecrübe.	1
16	119	Grup 6	Olumlu	TÜBİTAK, Enerji Bakanlığı ve Çevre Bakanlığı'nın AR-GE ve proje destekleri	1
17	120	Grup 6	Olumlu	Güneş ve biyogazda kolay finansman imkanları.	1
18	121	Grup 6	Olumlu	Yenilenebilir enerji konusunda farkındalık güven. Ortak kabul.	1
19	122	Grup 6	Olumlu	Arıtma çamurlarının depolanması, arazide kullanımı vb. izin verilmemesi "biyokütle enerjisi"nin ön plana çıkarması	1
20	123	Grup 6	Olumlu	AAT'lerde yenilenebilir enerji için uygun alanların yer alması (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi)	1
13	124	Grup 7	Olumlu	Suyun arıtma özelliği olan bitkilerle proses edilmesi de enerji kullanımını azaltabilir.	1
14	125	Grup 7	Olumlu	Atıksu tesislerinde know-how bilgileri yüksek insanların tesiste istihdam edilebilmesi	1
15	126	Grup 7	Olumlu	ATT'ler, ticari gelir kaygısı taşımadıkları ve kamu hizmeti yaptıkları için, yenilenebilir enerji üretimi konusunda yeterli vizyona ve uygunluğa sahip kuruluşlardır.	1
16	127	Grup 7	Olumlu	Çevre teknolojisi üreten firmaların yenilenebilir enerji AR-GE projelerine yönelmesi.	1
17	128	Grup 7	Olumlu	Günden güne gelişen bir sektör olduğu için iyileştirmelere yeniliklere açık olmasından dolayı gelişmin hep devam etmesi.	1
18	129	Grup 7	Olumlu	Enerji verimli ekipmanların yatırım maliyetlerinin çok olmasına karşın, geri döndürebilmesi kendini	1
19	130	Grup 7	Olumlu	AAT'ler, sayılaarı fazla olmaları sayesinde, enerji yatırımı yaparak ülke çapında yeni bir enerji sektörü geliştirebilirler	1
12	131	Grup 8	Olumlu	Mikro HES	1
13	132	Grup 8	Olumlu	Tesislerin bulunduğu alanları kullanarak mevcut personel ile yeni yapılan tessislerinde işletilmesi sağlanarak personel sayısında kazanç sağlamış oluruz. Personel sayısı azaltma.	1
14	133	Grup 8	Olumlu	Önce halkın bilinçlendirilmesi şartıyla, ….	1

ENERJİ ALTERNATİFLERİNİN, KRİTER AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo E1. 27 Enerji alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (geri ödeme süresi)

Enerji Alternatifleri	Geri Ödeme Süresi										
	Grup No								Ortalama	Ağırlıklı Ort.	Etki
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	10	3	1	1	10	10	3	3	**5,13**	**11,00**	**0,56**
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	3	10	1	3	10	10	3	3	**5,38**	**11,00**	**0,59**
Güneş İle Elektrik Üretimi	3	1	1	1	3	1	3	1	**1,75**	**11,00**	**0,19**
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	1	1	1	1	10	3	3	1	**2,63**	**11,00**	**0,29**
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	10	3	3	10	3	10	1	3	**5,38**	**11,00**	**0,59**
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	3	3	10	3	10	10	1	3	**5,38**	**11,00**	**0,59**
Enerji Verimliliği	10	10	10	10		10	10	10	**10,00**	**11,00**	**1,10**
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	3	1	1	3	10	1	3	3	**3,13**	**11,00**	**0,34**
Öneri 1: Jeotermal							3		**3,00**	**11,00**	**0,33**
Öneri 2: Termal Çevirim(Piroliz&Gazlaştırma)							3		**3,00**	**11,00**	**0,33**

Tablo E1. 28 Enerji alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (maliyet)

Enerji Alternatifleri	**Maliyet**										
	Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	1	1	1	3	1	10	3	1	**2,63**	**11,25**	**0,30**
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	3	10	1	3	3	10	3	3	**4,50**	**11,25**	**0,51**
Güneş İle Elektrik Üretimi	1	1	1	1	1	3	3	1	**1,50**	**11,25**	**0,17**
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	1	1	1	1	1	3	1	1	**1,25**	**11,25**	**0,14**
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	10	3	3	3	1	10	10	1	**5,13**	**11,25**	**0,58**
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	10	3	10	10	10	10	10	3	**8,25**	**11,25**	**0,93**
Enerji Verimliliği	3	10	10	3		10	3	3	**6,00**	**11,25**	**0,68**
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	3	1	3	3	3	3	3	10	**3,63**	**11,25**	**0,41**
Öneri 1: Jeotermal							1		**1,00**	**11,25**	**0,11**
Öneri 2: Termal Çevirim(Piroliz&Gazlaştırma)							3		**3,00**	**11,25**	**0,34**

Tablo E1. 29 Enerji alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (uygulama kolaylığı)

Enerji Alternatifleri	**Uygulama Kolaylığı**										
	Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	3	3	1	10	1	3	3	1	3,13	7,13	0,22
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	3	10	3	10	10	10	3	3	6,50	7,13	0,46
Güneş İle Elektrik Üretimi	10	10	10	10	10	10	10	10	10,00	7,13	0,71
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	3	3	3	10	3	1	3	1	3,38	7,13	0,24
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	10	1	3	10	1	10	1	1	4,63	7,13	0,33
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	3	10	10	10	10	10	10	10	9,13	7,13	0,65
Enerji Verimliliği	10	10	10	10		10	10	10	10,00	7,13	0,71
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	3	1	3	3	3	3	3	1	2,50	7,13	0,18
Öneri 1: Jeotermal							1		1,00	7,13	0,07
Öneri 2: Termal Çevirim(Piroliz&Gazlaştırma)							1		1,00	7,13	0,07

Tablo E1. 30 Enerji alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (mevcut teknoloji seviyesi)

Enerji Alternatifleri	**Mevcut Teknoloji Seviyesi**										
	Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	3	10	10	10	1	3	10	10	**7,13**	**5,50**	**0,39**
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	10	10	10	10	10	10	10	3	**9,13**	**5,50**	**0,50**
Güneş İle Elektrik Üretimi	10	10	10	10	3	3	10	10	**8,25**	**5,50**	**0,45**
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	10	10	10	10	3	10	10	10	**9,13**	**5,50**	**0,50**
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	10	10	3	10	10	10	3	10	**8,25**	**5,50**	**0,45**
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	10	10	1	3	10	10	3	1	**6,00**	**5,50**	**0,33**
Enerji Verimliliği	3	10	3	10		10	3	10	**7,00**	**5,50**	**0,39**
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	3	10	10	10	3	3	3	1	**5,38**	**5,50**	**0,30**
Öneri 1: Jeotermal							3		**3,00**	**5,50**	**0,17**
Öneri 2: Termal Çevirim(Piroliz&Gazlaştırma)							3		**3,00**	**5,50**	**0,17**

Tablo E1. 31 Enerji alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (çevresel etki)

Enerji Alternatifleri	**Çevresel Etki**										
	Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	1	3	1	10	1	1	3	10	**3,75**	**9,00**	**0,34**
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	10	10	1	10	10	3	3	1	**6,00**	**9,00**	**0,54**
Güneş İle Elektrik Üretimi	10	10	10	10	10	10	10	10	**10,00**	**9,00**	**0,90**
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	10	3	3	10	3	3	3	10	**5,63**	**9,00**	**0,51**
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	10	10	10	10	1	10	1	1	**6,63**	**9,00**	**0,60**
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	10	3	10	10	10	3	10	10	**8,25**	**9,00**	**0,74**
Enerji Verimliliği	10	10	3	10		10	10	1	**7,71**	**9,00**	**0,69**
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	3	3	1	10	3	1	3	3	**3,38**	**9,00**	**0,30**
Öneri 1: Jeotermal							3		**3,00**	**9,00**	**0,27**
Öneri 2: Termal Çevirim(Piroliz&Gazlaştırma)							3		**3,00**	**9,00**	**0,27**

Tablo E1. 32 Enerji alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (yerli üretim imkanı)

Enerji Alternatifleri	**Yerli Üretim İmkanı**										
	Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	1	3	10	10	1	3	10	1	**4,88**	**7,13**	**0,35**
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	1	3	1	1	10	3	10	10	**4,88**	**7,13**	**0,35**
Güneş İle Elektrik Üretimi	3	3	1	3	1	3	10	3	**3,38**	**7,13**	**0,24**
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	3	3	3	3	1	3	3	3	**2,75**	**7,13**	**0,20**
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	10	1	3	3	10	10	1	1	**4,88**	**7,13**	**0,35**
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	10	3	10	3	10	10	3	10	**7,38**	**7,13**	**0,53**
Enerji Verimliliği	1	3	3	3		3	10	10	**4,71**	**7,13**	**0,34**
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	3	1	10	3	3	3	3	3	**3,63**	**7,13**	**0,26**
Öneri 1: Jeotermal							3		**3,00**	**7,13**	**0,21**
Öneri 2: Termal Çevirim(Piroliz&Gazlaştırma)							3		**3,00**	**7,13**	**0,21**

Tablo E1. 33 Enerji alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (finansman kaynakları)

Enerji Alternatifleri	**Finansman Kaynakları**										
	Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	3	1	3	3	3	10	10	3	**4,50**	**9,50**	**0,43**
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	3	3	3	3	3	10	10	10	**5,63**	**9,50**	**0,53**
Güneş İle Elektrik Üretimi	10	1	3	3	3	10	10	10	**6,25**	**9,50**	**0,59**
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	10	1	3	3	3	10	10	10	**6,25**	**9,50**	**0,59**
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	10	3	3	3	3	10	10	10	**6,50**	**9,50**	**0,62**
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	10	3	3	3	3	10	3	3	**4,75**	**9,50**	**0,45**
Enerji Verimliliği	10	10	3	3		10	3	10	**7,00**	**9,50**	**0,67**
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	3	1	3	3	3	3	3	10	**3,63**	**9,50**	**0,34**
Öneri 1: Jeotermal							3		**3,00**	**9,50**	**0,29**
Öneri 2: Termal Çevirim(Piroliz&Gazlaştırma)							3		**3,00**	**9,50**	**0,29**

Tablo E1. 34 Enerji alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (sera gazlarına olumlu etkisi)

Enerji Alternatifleri	**Sera Gazlarına Olumlu Etkisi**										
	Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	3	3	1	10	10	1	10	3	**5,13**	**5,38**	**0,28**
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	3	3	10	10	10	3	10	10	**7,38**	**5,38**	**0,40**
Güneş İle Elektrik Üretimi	10	10	10	10	10	10	10	10	**10,00**	**5,38**	**0,54**
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	10	10	10	10	10	10	10	10	**10,00**	**5,38**	**0,54**
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	10	10	10	10	10	10	10	3	**9,13**	**5,38**	**0,49**
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	10	10	10	10	10	10	3	10	**9,13**	**5,38**	**0,49**
Enerji Verimliliği	10	10	10	10		10	10	3	**9,00**	**5,38**	**0,48**
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	3	3	1	10	10	3	10	10	**6,25**	**5,38**	**0,34**
Öneri 1: Jeotermal							10		**10,00**	**5,38**	**0,54**
Öneri 2: Termal Çevirim(Piroliz&Gazlaştırma)							10		**10,00**	**5,38**	**0,54**

Tablo E1. 35 Enerji alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (entegrasyon)

Enerji Alternatifleri	**Entegrasyon**										
	Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	10	3	10	10	10	10	10	3	**8,25**	**5,88**	**0,48**
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	10	1	10	10	10	10	10	10	**8,88**	**5,88**	**0,52**
Güneş İle Elektrik Üretimi	10	10	3	10	10	3	10	10	**8,25**	**5,88**	**0,48**
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	3	1	3	10	3	1	10	10	**5,13**	**5,88**	**0,30**
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	10	1	10	10	1	10	1	1	**5,50**	**5,88**	**0,32**
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	3	10	10	10	10	3	10	10	**8,25**	**5,88**	**0,48**
Enerji Verimliliği	10	10	10	10		10	10	10	**10,00**	**5,88**	**0,59**
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	3	1	10	10	3	3	10	10	**6,25**	**5,88**	**0,37**
Öneri 1: Jeotermal							3		**3,00**	**5,88**	**0,18**
Öneri 2: Termal Çevirim(Piroliz&Gazlaştırma)							1		**1,00**	**5,88**	**0,06**

Tablo E1. 36 Enerji alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (mevcut mevzuatın uygulaması)

Enerji Alternatifleri	**Mevcut Mevzuatın Uygulaması**										
	Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	3	1	1	1	1	1	10	3	**2,63**	**7,00**	**0,18**
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	3	10	1	1	1	10	10	10	**5,75**	**7,00**	**0,40**
Güneş İle Elektrik Üretimi	10	10	1	1	3	10	10	1	**5,75**	**7,00**	**0,40**
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	10	10	1	1	3	3	10	1	**4,88**	**7,00**	**0,34**
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	10	10	10	1	3	10	10	1	**6,88**	**7,00**	**0,48**
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	10	10	10	1	3	10	1	10	**6,88**	**7,00**	**0,48**
Enerji Verimliliği	3	10	10	1		10	3	10	**6,71**	**7,00**	**0,47**
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	3	10	1	1	3	1	3	1	**2,88**	**7,00**	**0,20**
Öneri 1: Jeotermal							10		**10,00**	**7,00**	**0,70**
Öneri 2: Termal Çevirim (Piroliz, Gazlaştırma)							1		**1,00**	**7,00**	**0,07**

Tablo E1. 37 Enerji alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (fiziki altyapı)

Enerji Alternatifleri	**Fiziki Altyapı**										
	Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	10	3	10	3	3	10	3	3	**5,63**	**5,75**	**0,32**
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	10	10	10	3	10	10	3	10	**8,25**	**5,75**	**0,47**
Güneş İle Elektrik Üretimi	3	10	3	3	10	10	3	3	**5,63**	**5,75**	**0,32**
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	3	1	1	3	3	10	1	3	**3,13**	**5,75**	**0,18**
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	3	1	1	3	3	10	1	1	**2,88**	**5,75**	**0,17**
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	3	10	3	3	10	10	3	10	**6,50**	**5,75**	**0,37**
Enerji Verimliliği	10	10	10	3		10	10	10	**9,00**	**5,75**	**0,52**
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	3	3	10	3	3	10	3	3	**4,75**	**5,75**	**0,27**
Öneri 1: Jeotermal							3		**3,00**	**5,75**	**0,17**
Öneri 2: Termal Çevirim(Piroliz&Gazlaştırma)							1		**1,00**	**5,75**	**0,06**

Tablo E1. 38 Enerji alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (verim artışı)

Enerji Alternatifleri	**Verim Artışı**										
	Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	10	3	10	3	3	10	10	3	**6,50**	**5,38**	**0,35**
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	10	10	10	3	3	10	10	10	**8,25**	**5,38**	**0,44**
Güneş İle Elektrik Üretimi	3	3	3	3	3	3	3	3	**3,00**	**5,38**	**0,16**
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	3	3	3	3	3	3	10	3	**3,88**	**5,38**	**0,21**
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	10	10	3	3	3	10	3	10	**6,50**	**5,38**	**0,35**
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	3	3	3	3	10	10	1	3	**4,50**	**5,38**	**0,24**
Enerji Verimliliği	10	10	3	10		10	3	10	**8,00**	**5,38**	**0,43**
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	10	10	3	3	3	10	3	10	**6,50**	**5,38**	**0,35**
Öneri 1: Jeotermal							3		**3,00**	**5,38**	**0,16**
Öneri 2: Termal Çevirim(Piroliz&Gazlaştırma)							3		**3,00**	**5,38**	**0,16**

Tablo E1. 39 Enerji alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (insan kaynağı ihtiyacı)

Enerji Alternatifleri	**İnsan Kaynağı ihtiyacı**										
	Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	1	3	1	10	1	3	3	1	**2,88**	**3,25**	**0,09**
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	3	10	1	10	3	3	3	1	**4,25**	**3,25**	**0,14**
Güneş İle Elektrik Üretimi	10	10	10	10	10	10	10	10	**10,00**	**3,25**	**0,33**
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	10	10	10	10	10	10	10	10	**10,00**	**3,25**	**0,33**
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	10	3	10	10	10	10	1	1	**6,88**	**3,25**	**0,22**
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	3	3	3	10	10	10	3	3	**5,63**	**3,25**	**0,18**
Enerji Verimliliği	3	10	10	10		10	10	10	**9,00**	**3,25**	**0,29**
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	1	1	1	10	3	3	3	3	**3,13**	**3,25**	**0,10**
Öneri 1: Jeotermal							1		**1,00**	**3,25**	**0,03**
Öneri 2: Termal Çevirim(Piroliz&Gazlaştırma)							3		**3,00**	**3,25**	**0,10**

Tablo E1. 40 Enerji alternatiflerinin, kriter açısından karşılaştırılması (mevcut politikalar)

Enerji Alternatifleri	**Mevcut Politikalar**										
	Grup No								**Ortalama**	**Ağırlıklı Ort.**	**Etki**
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Biyokütle Yakma (Arıtma Çamuru Dahil) ile Elektrik Üretimi	3	10	3	3	1	10	3	3	**4,50**	**6,88**	**0,31**
Biyogaz ile Elektrik Üretimi	3	10	3	3	3	10	3	10	**5,63**	**6,88**	**0,39**
Güneş İle Elektrik Üretimi	10	10	3	3	3	3	3	3	**4,75**	**6,88**	**0,33**
Rüzgar İle Elektrik Üretimi	3	10	3	3	3	3	3	10	**4,75**	**6,88**	**0,33**
Hidroelektrik Sistemleri Kullanımı ile Elektrik Üretimi	10	10	3	3	3	3	1	3	**4,50**	**6,88**	**0,31**
Güneş ve Atık Isı ile Arıtma Çamuru Kurutma	10	10	3	3	3	10	3	10	**6,50**	**6,88**	**0,45**
Enerji Verimliliği	10	10	3	3		3	3	10	**6,00**	**6,88**	**0,41**
Hibrid* Sistemler ile Elektrik Üretimi	3	3	3	3	3	10	3	3	**3,88**	**6,88**	**0,27**
Öneri 1: Jeotermal							3		**3,00**	**6,88**	**0,21**
Öneri 2: Termal Çevirim(Piroliz&Gazlaştırma)							1		**1,00**	**6,88**	**0,07**

AAT'LERDE ENERJİ YÖNETİMİ AÇISINDAN DURUM DEĞERLENDİRMESİ

Tablo E1. 41 AAT'lerin enerji yönetimi açısından durum değerlendirilmesi

TARİH:		*AAT ADI:*		*Formu Dolduran:*					Dolduran Kişiler												
BAŞLIK	**Q. No.**	**SORULAR**			**ARALIK**			**SCORE**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	**Ortalama**
Enerji Tüketimi Durum İncelemesi/ Enerji ETÜD Çalışmaları	1	AAT işletmesi için herhangi bir zamanda bir *Enerji Etüdü* yapıldı mı?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 3 yıldan daha eski bir tarihte	4	5 1 yıldan daha kısa süre içinde		2	3	5	5	1	1	5	1	5	5	3	2	
	2	*Enerji Etüdünden* yola çıkılarak öncelikler belirlendi mi?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 Uygulamada veya N/A	4	5 Evet ve Dokümantasyon yapıldı		2	5	5	4	1	1	5	4	3	4	3	3	
	3	Enerji Etüdü Değerlendirmesi ile ortaya çıkan herhangi bir tavsiye hayata geçirildi mi? geçiriliyor mu?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 Biraz	4	5 Oldukça		2	5	5	4	1	1	4	3	1	4	5	5	
							Toplam	0	6	13	15	13	3	3	5	8	9	13	11	10	9,0833333
Enerji Tüketiminin Takibi	4	AAT işletmenizde enerji tüketim faturaları takip ediliyor mu?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 Yıllık	4	5 Aylık		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	5	Enerji tüketimi ve enerji maliyetleri analiz ediliyor/değerlendiriliyor mu?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 Kısmen veya Veri yok	4	5 Evet		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	6	Enerji tüketimini izlemek üzere herhangi bir kişi görevlendirildi mi?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 Evet	4	5 Evet ve ilgili kişi raporlama yapıyor		5	4	5	4	5	5	5	3	5	5	5	5	
							Toplam	0	15	14	15	14	15	15	15	13	15	15	15	15	14,666667

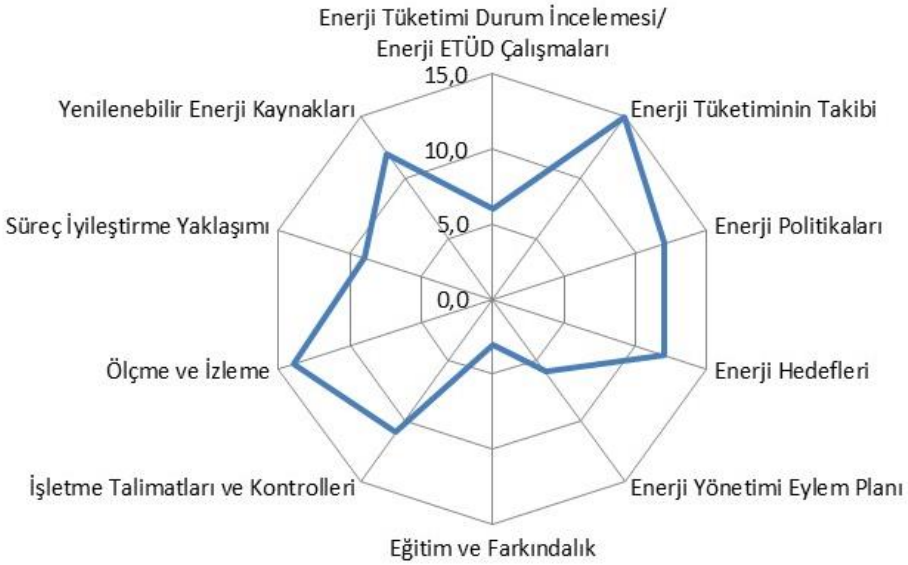
TARİH:		*AAT ADI:*		*Formu Dolduran:*					Dolduran Kişiler												
BAŞLIK	**Q. No.**	**SORULAR**			**ARALIK**			**SCORE**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	**Ortalama**
Enerji Politikaları	7	AAT işletmenizde Enerji Yönetim Politikası mevcut mudur?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 Hazırlanıyor	4	5 Evet		4	2	5	3	2	3	5	3	3	4	4	3	
	8	Personelin politikalara duyarlılığını nasıl tanımlarsınız?	1 Düşük veya Veri yok	2	3 Orta veya veri yok	4	5 Yüksek		3	3	4	3	3	3	4	2	3	4	3	1	
	9	Üst yönetimin enerji politikalarını yürütmek konusunda bağlılığını, sahiplenme durumunu nasıl tanımlarsınız?	1 Düşük veya Veri yok	2	3 Orta	4	5 Yüksek		5	4	2	3	3	5	5	3	5	4	3	3	
							Toplam	0	12	9	11	9	8	11	14	8	11	12	10	7	10,166667
Enerji Hedefleri	10	İşletmeniz enerji yönetimini geliştirmek için ölçülebilir hedeflere sahip midir?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 Evet, genellikle	4	5 Evet (__ tarihinde, % _ enerji tasarrufu hedefi mevcut)		4	5	4	3	2	3	4	3	3	5	2	4	
	11	Personelin enerji yönetimini geliştirme hedeflerine duyarlılığını nasıl tanımlarsınız?	1 Düşük veya Veri yok	2	3 Orta	4	5 Yüksek		3	3	3	3	3	3	4	2	3	4	2	3	
	12	Hedefleri sağlamak yönündeki gelişmeler üst yönetim tarafından gözden geçirliyor mu?	1 No or N/A	2	3 Bazen	4	5 Genellikle		5	4	2	4	3	5	5	4	5	4	2	4	
							Toplam	0	12	12	9	10	8	11	13	9	11	13	6	11	10,416667
Enerji Yönetimi Eylem Planı	13	AAT işletmenizde Enerji Yönetimi Eylem Planı mevcut mudur?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 Hazırlanıyor	4	5 Evet		2	3	4	5	1	3	4	3	3	4	2	4	

TARİH:		*AAT ADI:*		*Formu Dolduran:*					Dolduran Kişiler												
BAŞLIK	**Q. No.**	**SORULAR**			**ARALIK**			**SCORE**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	**Ortalama**
	14	Eylem Planları yürütülüyor mu?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 Evet	4	5 Evet ve dokümante edilmiş durumda		2	3	3	2	1	1	3	4	1	4	2	3	
	15	Eylem Planları, durum ve potansiyel ihtiyaçlar açısından hangi sıklıkta gözden geçiriliyor?	1 Hayır veya Veri yok	2	3 Bazen	4	5 Genellikle		2	3	3	4	1	1	4	3	1	3	2	4	
							Toplam	0	6	9	10	11	3	5	11	10	5	11	6	11	8,1666667
Eğitim ve Farkındalık	16	AAT personelinin enerji yönetimi konularında duyarlılığını nasıl tanımlarsınız?	1 Düşük	2	3 Orta	4	5 Yüksek		1	3	4	4	3	2	4	3	3	4	4	3	
	17	AAT işletmeniz tarafından enerji yönetimine dair eğitim programları ve farkındalığı artırma etkinlikleri düzenleniyor mu?	1 Hayır veya bilinmiyor	2	3 Uygulamada	4	5 Evet		1	3	4	4	2	1	4	2	1	4	2	3	
	18	AAT işletmenizin, personelden, müşterilerden ve halktan öneriler almak üzere bir süreci mevcut mudur?	1 Hayır veya bilinmiyor	2	3 Bazen	4	5 Evet		1	4	2	2	1	1	4	2	1	4	2	1	
							Toplam	0	3	10	10	10	6	4	12	7	5	12	8	7	7,8333333
İşletme Talimatları ve Kontrolleri	19	AAT işletmeniz yazılı işletme talimatlarına, kontrol prosedürlerine sahip midir?	1 Hayır veya bilinmiyor	2	3 Hazırlanıyor	4	5 Yes		4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	

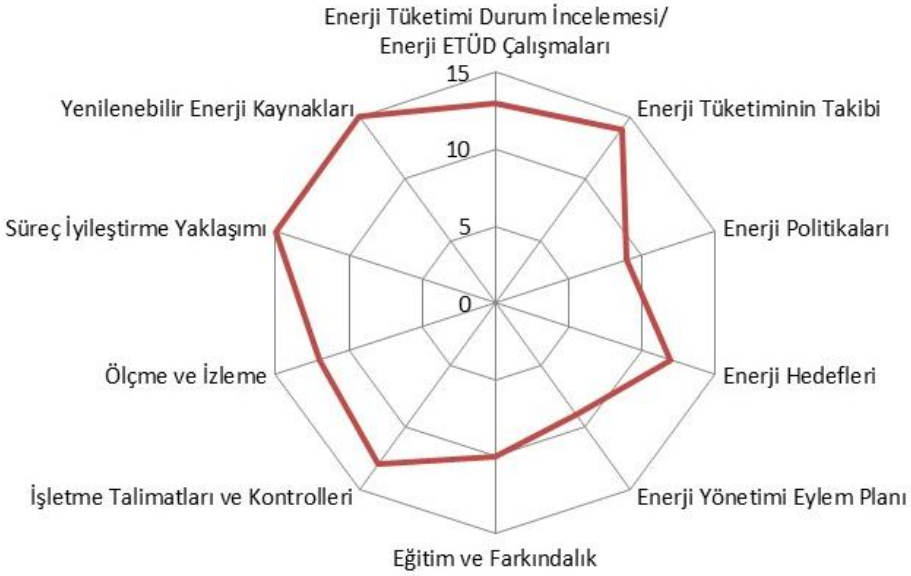
TARİH:		*AAT ADI:*		*Formu Dolduran:*					Dolduran Kişiler												
BAŞLIK	**Q. No.**	**SORULAR**			**ARALIK**			**SCORE**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	**Ortalama**
	20	İşletme talimatlarının güncel ve etkin olma durmunu kontrol etmek üzere herhangi bir kişi görevlendirildi mi?	1 Hayır veya bilinmiyor	2	3 Evet	4	5 Evet ve ilgili kişi raporlama yapıyor		4	4	3	3	2	5	5	3	5	5	3	5	
	21	İşletme talimatları durum ve potansiyel ihtiyaçlar açısından gözden geçiriliyor mu?	1 Hayır veya bilinmiyor	2	3 Bazen	4	5 Genellikle		3	4	5	5	3	4	5	3	5	4	4	5	
							Toplam	0	11	13	13	13	9	14	15	11	15	14	12	15	12,916667
Ölçme ve İzleme	22	İşletmenizde enerji tüketimi, ekipman tipine ve/veya proses bazında izleniyor ve ölçüyor mu?	1 Hayır veya Veri yok	2	3 Prosese bağlı	4	5 Ekipmana bağlı		5	3	5	5	1	3	4	2	3	5	5	2	
	23	İşletmenizde enerji kullanımını izlemek ve ölçmek için sorumlu bir kişi görevlendirilmiş durumda mı?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 Evet	4	5 Evet ve ilgili kişi raporlama yapıyor		5	4	5	5	5	2	5	2	3	5	3	1	
	24	İşletmenizde ölçümler sonrası iyileştirmeye yönelik bir aksiyon alınıyor mu?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 Evet	4	5 Yüksek		4	5	4	4	3	1	4	4	1	4	3	1	
							Toplam	0	14	12	14	14	9	6	13	8	7	14	11	4	10,5
Süreç İyileştirme Yaklaşımı	25	İşletmenizde süreç iyileştirme metodolojisi biliniyor mu? (Planla - Uygula-Kontrol et- Eyleme geç)	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 Evet	4	5 Yüksek		3	5	2	2	3	2	4	3	5	4	2	2	

TARİH:		***AAT ADI:***		***Formu Dolduran:***					**Dolduran Kişiler**												
BAŞLIK	**Q. No.**	**SORULAR**			**ARALIK**			**SCORE**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	**Ortalama**
	26	İşletmenizin enerji verimliliğine dair uluslararası uygulamaları takip konusunda ilgisini nasıl tanımlarsınız?	1 İlgili değil	2	3 Kısmen	4	5 Takip ediliyor		3	5	2	2	3	1	5	4	3	3	3	1	
	27	İşletmenizde süreç iyileştirme metodolojisi uygulanıyor mu? (Planla - Uygula-Kontrol et-Eyleme geç)	1 Düşük	2	3 Orta	4	5 Yüksek		3	5	2	2	3	1	4	4	5	3	2	3	
								Toplam	0	9	15	6	6	9	4	13	11	13	10	7	6	9,0833333
Yenilenebilir Enerji Kaynakları	28	İşletmenizde herhangi bir yenilenebilir enerji kaynağı halihazırda kullanılıyor mu?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2 10%	3 15%	4 25%	5 >25%		5	5	5	5	1	1	5	2	1	1	5	2	
	29	İşletmenizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda herhangi bir fizibilite çalışması yapıldı mı?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 Uygulamada	4	5 Evet		3	5	5	5	1	2	5	3	5	5	5	1	
	30	İşletmenizin önümüzdeki 3 yıl içinde yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak üzere planları mevcut mudur?	1 Hayır veya Bilinmiyor	2	3 Olabilir	4	5 Evet		4	5	5	5	2	2	5	4	5	5	5	3	
								Toplam	0	12	15	15	15	4	5	15	9	11	11	15	6	11,083333

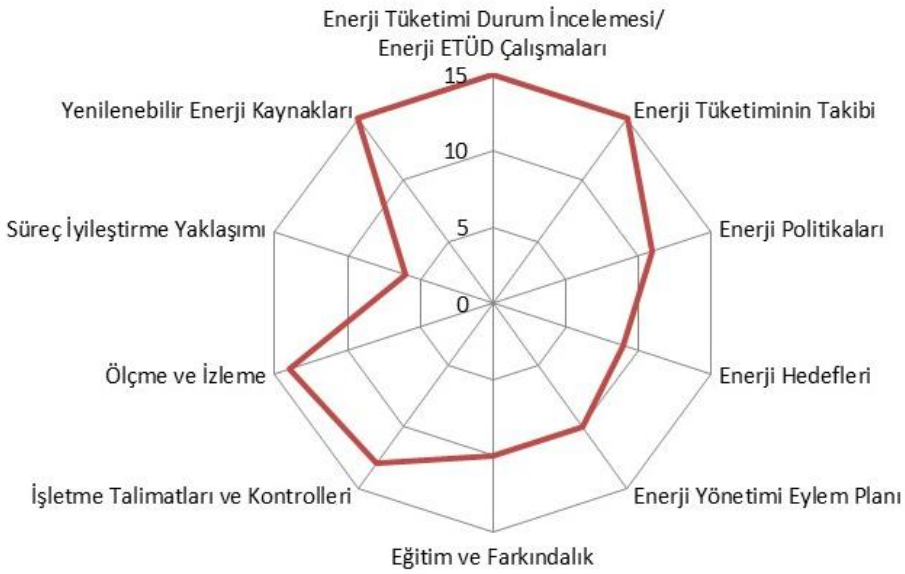
U.S EPA Atıksu Ofisi tarafından geliştirilmiş formdan uyarlanmıştır (Madeline Snow, UMass Lowell, EMS Service Program, in partnership with the Global Environment & Technology Foundation, 2011)



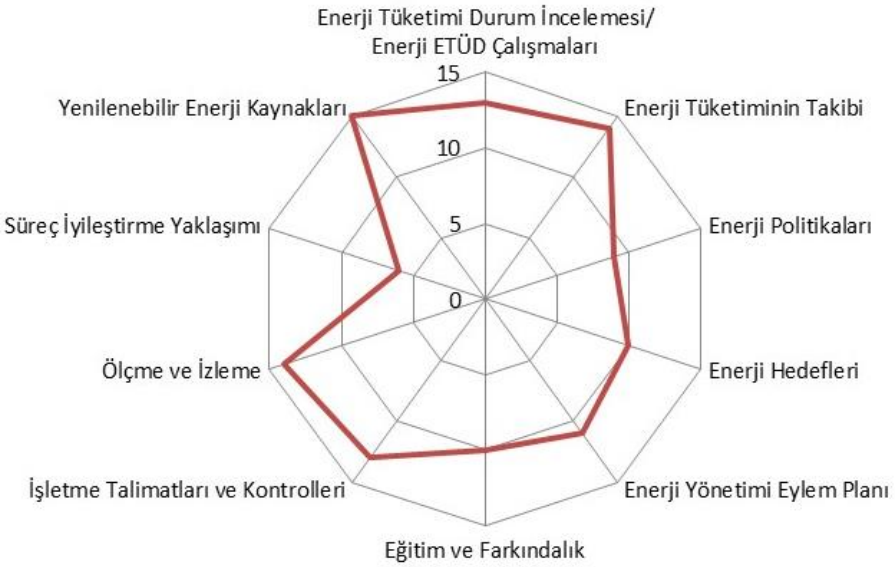
Şekil E1. 6 Birinci işletmenin durum değerlendirmesi



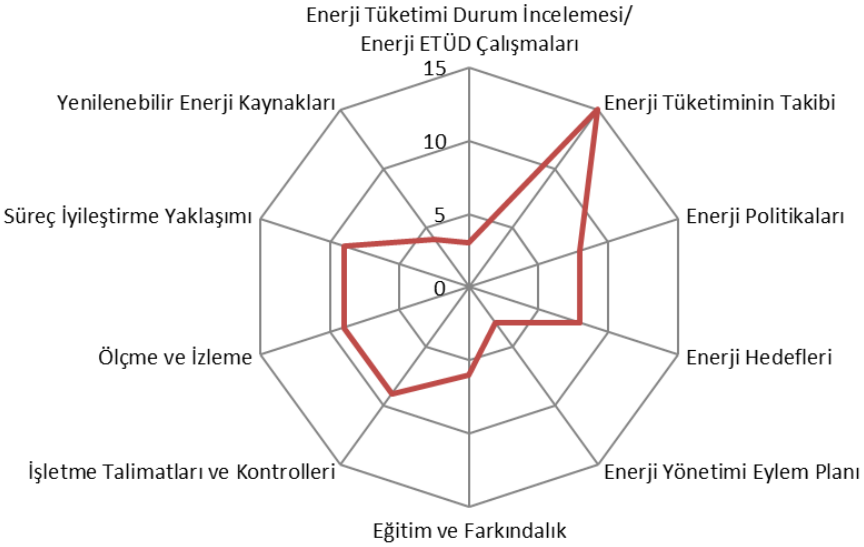
Şekil E1. 7 İkinci işletmenin durum değerlendirmesi



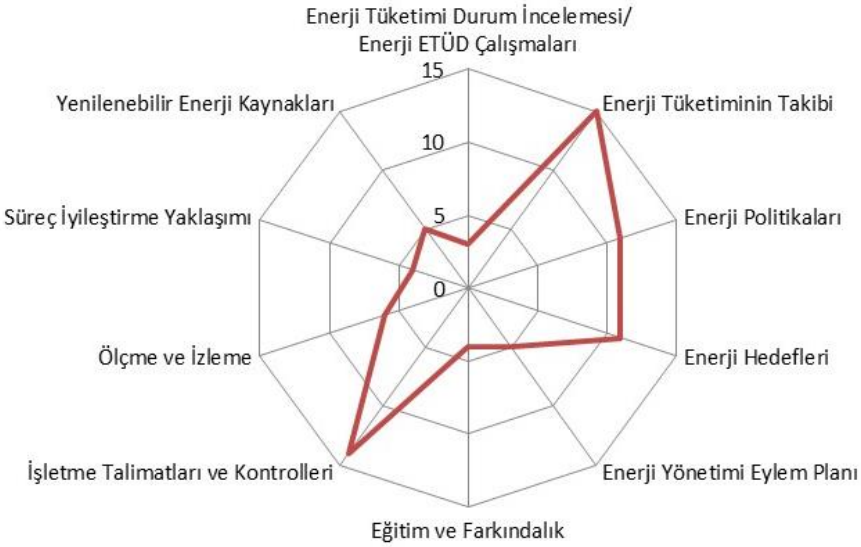
Şekil E1. 8 Üçüncü işletmenin durum değerlendirmesi



Şekil E1. 9 Dördüncü işletmenin durum değerlendirmesi

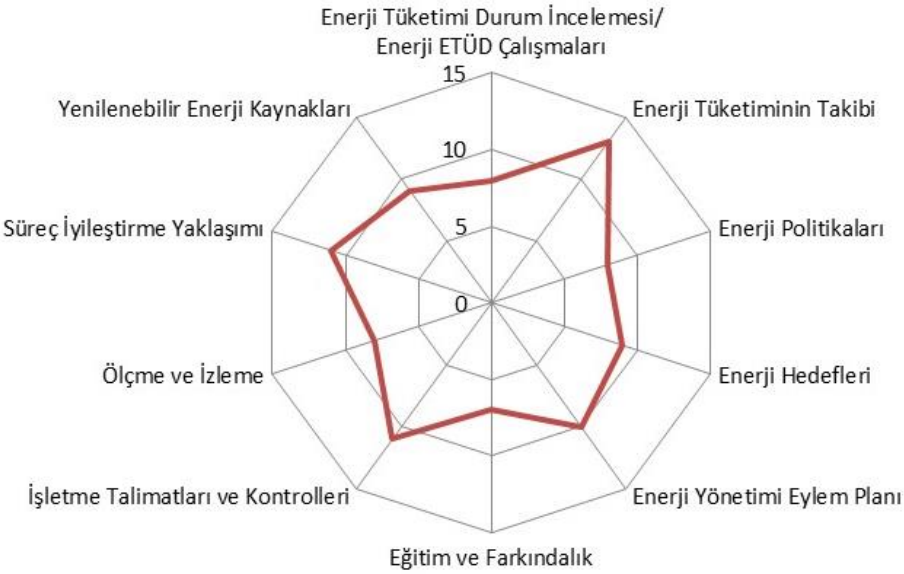


Şekil E1. 10 Beşinci işletmenin durum değerlendirmesi

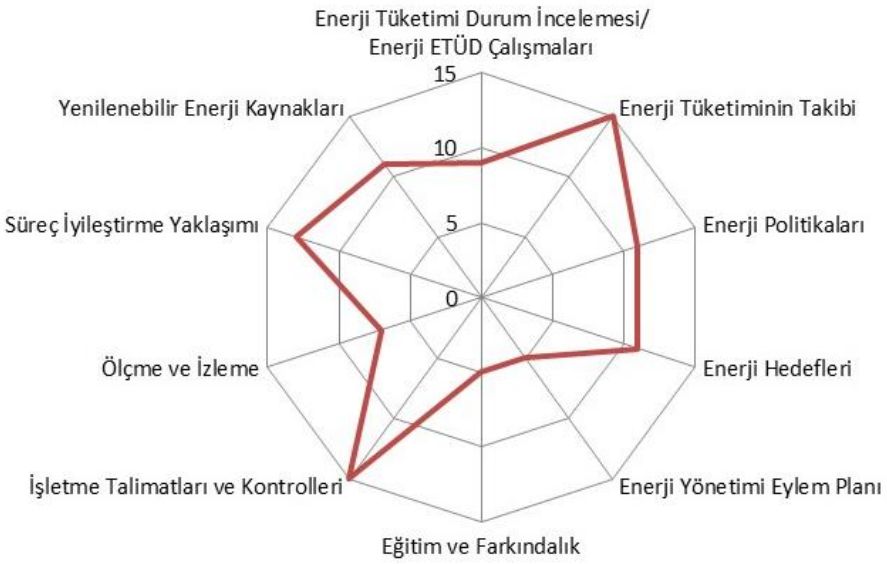


Şekil E1. 11 Altıncı işletmenin durum değerlendirmesi

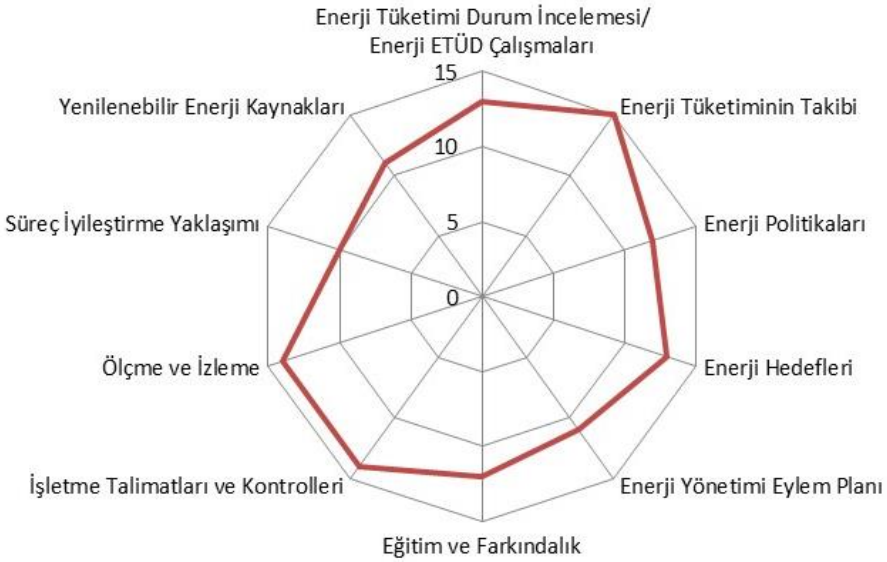
Şekil E1. 12 Yedinci işletmenin durum değerlendirmesi



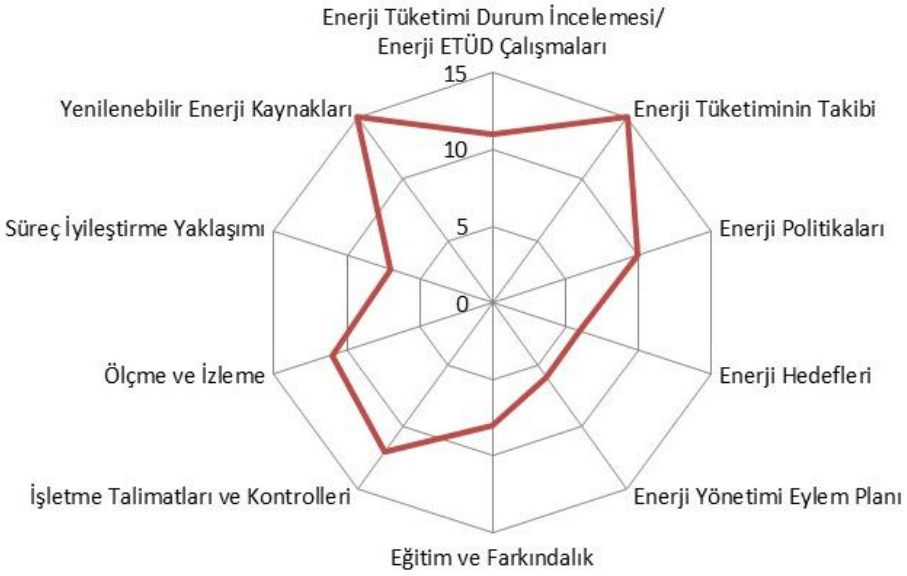
Şekil E1. 13 Sekizinci işletmenin durum değerlendirmesi



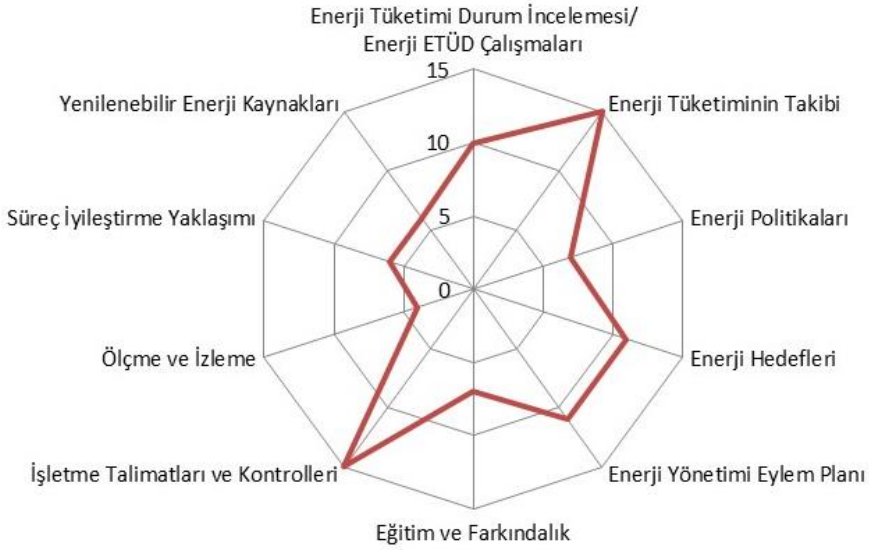
Şekil E1. 14 Dokuzuncu işletmenin durum değerlendirmesi



Şekil E1. 15 Onuncu işletmenin durum değerlendirmesi



Şekil E1. 16 Onbirinci işletmenin durum değerlendirmesi



Şekil E1. 17 Onikinci işletmenin durum değerlendir