

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zehra AYNUR

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İzzet Öztürk

EYLÜL 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Zehra AYNUR
(501121735)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK

EYLÜL 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121735 numaralı Yüksek Lisans / ~~Doktora~~ Öğrencisi **Zehra AYNUR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Cumali KINACI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Barış ÇALLI
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : **29 Ağustos 2014**

Savunma Tarihi : **15 Eylül 2014**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince bana yol gösterip çalışmamla ilgili her türlü bilgiye ulaşmama yardımcı olan ve fikirleriyle yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez aşaması boyunca verdiği destek, öneri ve yardımlarından ötürü Araş. Gör. R. Kaan DERELİ'ye, Araş. Gör. İlker AKMIRZA'ya ve Çevre Yük. Müh. Arda KARLUVALI'ya tüm yardımları ve sonsuz destekleri için çok teşekkür ederim.

Son olarak varlıklarıyla her zaman bana destek olan, ilgilerini benden eksik etmeyen, her zor anımda sabırla üstesinden gelmemi sağlayan sevgili kardeşim Elif AYNUR, annem Ayşin ABDÜSSELAMOĞLU ve kıymetli dedem Doğan ABDÜSSELAMOĞLU'na minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada gerekli verilerin temininde desteğini esirgemeyen Sayın İSU Genel Müdürü İlhan BAYRAM'a, Arıtma Tesisleri Daire Başkanı Ünal BOSTAN'a ve değerli İSU çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Eylül 2014

Zehra Aynur
Çevre Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	IX
KISALTMALAR.....	XI
ÇİZELGE LİSTESİ.....	XIII
ŞEKİL LİSTESİ.....	XIV
ÖZET.....	XVII
SUMMARY.....	XIX
1. GİRİŞ.....	25
1.1 Konunun Anlam ve Önemi	25
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	27
2. TÜRKİYE’DE EVSEL ATIKSU ARITIMININ DURUMU, ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE TEŞVİKİ İLE İLGİLİ YASAL ÇERÇEVE	29
2.1 Evsel Atıksu Arıtımının Durumu	29
2.2 Enerji Verimliliği ve Teşviki ile ilgili Yasal Çerçeve.....	31
3. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ENERJİ DENGESİ.....	35
3.1 Evsel Nitelikli Atıksuların Enerji İçeriği	36
3.2 Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Kullanımı	41
3.2.1 Farklı Atıksu Arıtma Proseslerinin Enerji Kullanımları Bakımından İncelenmesi.....	43
3.2.2 Dünyada ve Türkiye’de Bulunan AAT’ler ve Enerji Kullanımları	48
4. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ENERJİ OPTİMİZASYONUNA YÖNELİK UYGULAMALAR.....	63
4.1 Arıtma Çamurlarından Biyogaz Eldesi	63
4.1.1 Çamur Ön Arıtımı ile Biyogaz Üretim Veriminin Arttırılması	63
4.2 Evsel Organik Katı Atıklar ile Arıtma Çamurlarının Birlikte Yönetimi.....	69
4.3 Anaerobik Çürütücü Yan Akımlarının Arıtılması.....	71
4.3.1 SHARON prosesi.....	72
4.3.2 SHARON/Anammox prosesi.....	73
4.4 Tesis Ünitelerinin İzlenmesi.....	75
4.4.1 Mekanik Havalandırıcılar	75
4.4.2 Difüzörlü Havalandırıcılar	76
4.5 Enerji Yönetim Planı Oluşturulması	78
4.5.1 Envanter/Veri Derleme Çalışmaları.....	78
4.5.2 Enerji Kullanımı Denetimi.....	79
4.5.3 EYP Geliştirilmesi	79
4.5.4 EYP Uygulaması.....	79
5. MATERYAL VE METOD	81
5.1 Seçilen Örnek Tesisler	81
5.1.1 Plajyolu Evsel Atıksu Arıtma Tesis.....	81
5.1.2 Yeniköy Evsel Atıksu Arıtma Tesis	85
5.1.3 Karamürsel Evsel Atıksu Arıtma Tesis	87
5.1.4 Kullar Atıksu Arıtma Tesis.....	88
5.1.5 Gebze Atıksu Arıtma Tesis.....	91
5.2 Enerji Verimliliği Analiz Sistematiği.....	93
6. İNCELENEN TESİSLERLE İLGİLİ BULGULAR	97
6.1 Elde Edilen Bulgular	97
6.1.1 Plajyolu Atıksu Arıtma Tesis.....	97

6.1.2 Yeniköy Atıksu Arıtma Tesisi	103
6.1.3 Karamürsel AAT.....	108
6.1.4 Kullar AAT	113
6.1.5 Gebze AAT	118
6.2 Bulguların Mukayeseli Analizi	123
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	126
KAYNAKLAR.....	129
ÖZGEÇMİŞ	151

KISALTMALAR

θ_c	: Çamur Yaşı
AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AKM	: Askıda Katı Madde, (mg/L)
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
ÇO	: Çözünmüş Oksijen
EN	: Eşdeğer Nüfus
E _s	: Sentez Enerjisi
E _T	: Termal Enerji
EOKA	: Evsel Organik Katı Atık
EYP	: Enerji Yönetim Planı
İSU	: Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
KM	: Katı Madde, (mg/L)
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MBR	: Membran Biyoreaktör
TAKM	: Toplam Askıda Katı Madde, (mg/L)
TKM	: Toplam Katı Madde (mg/L)
TKN	: Toplam Kjeldahl Azotu
TP	: Toplam Fosfor (mg/L)
TTGV	: Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı
UAKM	: Uçucu Askıda Katı Madde, (mg/L)
UKM	: Uçucu Katı Madde, (mg/L)
US EPA	: ABD Çevre Koruma Ajansı
UV	: Ultraviyole
UYA	: Uçucu Yağ Asitleri
VAP	: Verimlilik Arttırıcı Proje

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Türkiye’de atıksu arıtma tesislerinin durumu (TÜİK, 2012).	30
Çizelge 2.2: Alıcı ortamlara göre belediye şebekesinden deşarj edilen atıksu miktarı, 2012 (TÜİK, 2012).	30
Çizelge 2.3: Yeni yenilenebilir enerji kanun taslağında alım garantisi.	33
Çizelge 3.1: Evsel atıksu bileşenlerinin enerji içerikleri (Svardal, 2011).	37
Çizelge 3.2: Atıksu bileşenlerinin tipik konsantrasyonları ve arıtılmamış atıksuyun enerji içeriği (Metcalf&Eddy, 2003).	38
Çizelge 3.3: Konvansiyonel aktif çamur sistemleri ve uzun havalandırmalı aktif çamur sistemlerinin enerji kullanımları (Plappally ve diğ., 2012; WEF, 2009; Yang ve diğ., 2010).	42
Çizelge 3.4: Atıksu arıtma proseslerinin elektrik tüketiminin tesis kapasitelerine bağlı değişimleri (EPRI, 2002).	45
Çizelge 3.5: Avusturalya’daki bir AAT’nde bulunan ünitelerin enerji gereksinimleri (Kenway v.d, 2008).	46
Çizelge 3.6: Farklı şehirlerde bulunan AAT’lerin yıllık ortalama enerji tüketimleri (Sistemyapı, 2009).	59
Çizelge 3.7: Ataköy, Ambarlı, Tuzla ve Paşaköy ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinin enerji tüketimleri (İSKİ, 2012).	60
Çizelge 3.8: Ataköy, Paşaköy, ve Tuzla ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde üretilen biyogaz, elektrik miktarı.	61
Çizelge 4.1: SHARON prosesi ile nitrifikasyon – denitrifikasyon prosesi stokiyometrik denklemleri.	73
Çizelge 4.2: Konvansiyonel azot giderimi ve SHARON/Anammox proseslerinin karşılaştırılması.	74
Çizelge 4.3: SHARON/Anammox prosesi ile nitrifikasyon – denitrifikasyon prosesi stokiyometrik denklemleri.	74
Çizelge 4.4: Hollanda’da evsel atıksuların konvansiyonel denitrifikasyon prosesi ve Anammox prosesi ile arıtımının karşılaştırılması (Nüfus Eşdeğeri: 25 milyon).	74
Çizelge 4.5: Yüzeysel havalandırıcıların güç-boyut ilişkisi (Toprak, 2000).	76
Çizelge 5.1: İSU Plajyolu AAT tasarım parametreleri.	82
Çizelge 5.2: Yeniköy AAT tasarım kriterleri.	86
Çizelge 5.3: Karamürsel AAT tasarım kriterleri.	87
Çizelge 5.4: Kullar Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Dizayn Parametreleri.	89
Çizelge 5.5: Gebze AAT tasarım kriterleri.	92
Çizelge 6.1: Kocaeli BB İSU Plajyolu AAT verileri (2013 yılı ortalaması)	97
Çizelge 6.2: Plajyolu AAT enerji tüketimi.	98
Çizelge 6.3: Plajyolu AAT’ine tasarlanan anaerobik çürütücü ve değerleri.	101
Çizelge 6.4: Yeniköy AAT verileri (2013 yılı ortalaması).	103
Çizelge 6.5: Yeniköy AAT enerji tüketimi.	104
Çizelge 6.6: Yeniköy AAT’ine tasarlanan anaerobik çürütücü ve değerleri.	106
Çizelge 6.7: Karamürsel AAT verileri (2013 yılı ortalaması).	108
Çizelge 6.8: Karamürsel AAT enerji tüketimi.	109
Çizelge 6.9: Karamürsel AAT’ine tasarlanan anaerobik çürütücü ve değerleri.	111
Çizelge 6.10: Kullar AAT verileri (2013 yılı ortalaması).	113
Çizelge 6.11: Kullar AAT enerji tüketimi.	114

Çizelge 6.12: Kullar AAT'ine tasarlanan anaerobik çürütücü ve değerleri.	116
Çizelge 6.13: Gebze AAT verileri (2013 yılı ortalaması).	118
Çizelge 6.14: Gebze AAT enerji tüketimi.	119
Çizelge 6.15: Gebze AAT'ine tasarlanan anaerobik çürütücü ve değerleri.	121
Çizelge 6.16: Tesis mevcut enerji kullanımları ve net enerjileri (kWh/gün).....	124

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: 2012 yılı atıksu arıtma tesislerine bağlı olan ve olmayan belediye nüfusları	29
Şekil 2.2: 2012 itibari ile Türkiye’de atıksu arıtma tesislerinin dağılımı.	30
Şekil 3.1: Birincil çamur ve aktif çamur bileşenleri (NACWA, 2010).	38
Şekil 3.2: 100 kg KOİ’nin aerobik ve anaerobik prosesle arıtımı.	39
Şekil 3.3: Enerji Reaksiyonları.	39
Şekil 3.4: Atıksuların kalorifik ve termal enerji akışı (Wett v.d, 2007).	40
Şekil 3.5: Atıksu arıtma tesisi akım diyagramı.....	41
Şekil 3.6: Aktif çamur sisteminde tesis büyüklüğüne göre enerji ihtiyacı (Metcalf&Eddy, 2003).....	43
Şekil 3.7: Evsel atıksu yükü ve debisinin gün içindeki değişimi (Metcalf&Eddy, 2003).	44
Şekil 3.8: AAT’lerde BOİ ₅ konsantrasyonu ile özgül enerji tüketimi ilişkisi (Bodik ve diğ., 2013).	44
Şekil 3.9: İleri atıksu arıtma tesisi şematik gösterimi (EPRI, 2002).	46
Şekil 3.10: UV ve ozon ile dezençfeksiyon üniteleri içeren bir atıksu arıtma tesisinin enerji tüketimi (Monteith v.d, 2008).	47
Şekil 3.11: Paşaköy AAT günlük giren konsantrasyon değişimi (Nuhoğlu, 2012)..	48
Şekil 3.12: Atıksu arıtma tesisi enerji dağılımı (Hawzen ve Sawyer, 2012).	49
Şekil 3.13: İkincil arıtma prosesinde tipik enerji kullanım profili (WEF, 2009).	50
Şekil 3.14: Aktif çamur prosesi uygulanan mevcut bir atıksu arıtma tesisinde ünite bazlı enerji dağılımı.	50
Şekil 3.15: ~ 38.000 m ³ /gün kapasiteli konvansiyonel bir AAT için enerji tüketimi	51
Şekil 3.16: ~ 38.000 m ³ /gün kapasiteli ileri arıtım yapan bir AAT için enerji tüketimi.....	52
Şekil 3.17: Strass AAT görünüşü, 1996 (http://www.aiz.at/klaeranlage.htm).	53
Şekil 3.18: Strass AAT’inde enerji üretim ve tüketiminin yıllara göre değişimi (Wett ve diğ., 2007).	54
Şekil 3.19: Strass AAT’ine deamonifikasyon uygulanmasıyla enerji dengesindeki değişim (Wett ve diğ., 2007).	55
Şekil 3.20: Ulu Pandan AAT için enerji tüketimi dağılımı (Yeshi, C. v.d., 2012)....	56
Şekil 3.21: Farklı şehirlerdeki AAT’lerin enerji tüketimi.	58
Şekil 3.22: İstanbul’da bulunan biyolojik arıtma tesislerinin enerji tüketimleri.	59
Şekil 3.23: İstanbul’da bulunan <5000 m ³ /gün kapasiteli biyolojik arıtma tesislerinin enerji tüketimi.	60
Şekil 3.24: Ataköy, Paşaköy, Ambarlı atıksu arıtma tesislerinin enerji tüketimi.	61
Şekil 4.1: Evsel atıksuyun, arıtma çamurlarının ve organik katı atığın arıtımını gösteren entegre biyometan tesisi akım şeması (TÜBİTAK, 2009).	71
Şekil 5.1: Plajyolu AAT’nin görünüşü (www.isu.gov.tr).....	82
Şekil 5.2: Plajyolu AAT Anaerobik, Anoksik ve Aerobik Havuzları.	83
Şekil 5.3: Plajyolu AAT mevsimsel debi değişimi grafiği.	84
Şekil 5.4: Yeniköy AAT’nin görünüşü.....	85
Şekil 5.5: Yeniköy AAT mevsimsel debi değişimi grafiği.....	85
Şekil 5.6: Havalandırma havuzu görünümü.	86
Şekil 5.7: Karamürsel AAT uydu görüntüsü	87
Şekil 5.8: Karamürsel Evsel AAT mevsimsel debi değişim grafiği.....	88

Şekil 5.9: Kullar Evsel AAT mevsimsel debi değişim grafiği	89
Şekil 5.10: Kullar AAT Uydu görüntüsü.....	90
Şekil 5.11: Kullar AAT biyomedya ünitesi	91
Şekil 5.12: Gebze AAT uydu görüntüsü.....	91
Şekil 5.13: Gebze AAT'nin mevsimsel debi değişimi.	92
Şekil 6.1: Plajyolu AAT'nin enerji kullanımı dağılımı	100
Şekil 6.2: Plajyolu AAT akım şeması.....	102
Şekil 6.3: Yeniköy AAT'nin enerji kullanım dağılımı	105
Şekil 6.4: Yeniköy AAT akım şeması	107
Şekil 6.5: Karamürsel AAT'nin enerji kullanım dağılımı.	110
Şekil 6.6: Karamürsel AAT akım şeması	112
Şekil 6.7: Kullar AAT'nin enerji kullanım dağılımı.....	115
Şekil 6.8: Kullar AAT akım şeması.....	117
Şekil 6.9: Gebze AAT'nin enerji kullanımı dağılımı.	120
Şekil 6.10: Gebze AAT akım şeması.....	122
Şekil 6.11: İSU AAT'lerinde debi-enerji kullanımı ilişkisi.....	123
Şekil 6.12: İSU AAT'lerinde eşdeğer nüfus-enerji ilişkisi.....	124
Şekil 6.13: Anaerobik çürütücü bulunması durumunda tesislerde net enerji dengesi.	125
Şekil 6.14: İSU AAT'lerinde debi ve enerji kullanımı ilişkisi.	125

ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Dünya genelinde hızla artan nüfus, gelişen teknoloji ve ekonomik göstergeler paralelinde artan enerji ihtiyacını da göz önüne koymaktadır. Enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanırken alternatif enerji kaynaklarının kullanımı da günümüzde yaygın hale gelmiştir. Doğal kaynakların kullanıma bağlı olarak azalması ve çevre kirliliğinin artmasıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile temiz ve sürdürülebilir enerji politikalarının geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olan biyokütleden enerji üretimi günümüzde artarak değer kazanan kaynaklardan birisidir. Biyokütleden enerji elde etme potansiyeli yüksek olan atıksu arıtma tesislerinde biyokütlenin anaerobik reaktörlerde çürütülmesi ile tesis kapasitesi ve atıksuyun kirlilik yüküne bağlı olarak önemli miktarda enerji üretimi söz konusudur. Bu durum, arıtma prosesi sonucu oluşan çamurun çürütülmesi ile tesiste tüketilen enerjinin bir kısmının geri kazanılacağı anlamı taşımaktadır.

Dünya genelinde enerjinin $\sim \% 0,1-0,4$ 'ünün atıksu arıtımında kullanılmaktadır ve nütrient giderimi gerçekleşen bir atıksu arıtma tesisinde yıllık enerji ihtiyacı $0,003-0,015$ kW/kişi olarak değişmektedir. Artan nüfus, deşarj standartlarındaki yeni düzenlemeler ve atıksu arıtımı için gerekli alt yapının (kanalizasyon ve iletim hatları, pompalar, arıtma üniteleri v.b) kullanıma bağlı olarak ömrünün azalması sonucu enerji kullanımının artacağı beklenmektedir. Bu nedenle evsel atıksu arıtma tesislerinde atıksuların enerji geri kazanım potansiyelleri ve tesisin kendi enerji ihtiyacını karşılayabilmesi konusu önemini arttırmaktadır.

Arıtılmamış (ham) evsel atıksuların enerji içeriklerinin, arıtma için gerekli enerjinin oldukça üzerinde olduğu bilinmektedir. Arıtma tesisine gelen atıksu bünyesindeki organik maddelerin enerji içeriği, ham atıksuyun KOİ cinsinden kirlilik yüküne göre değişir. Atıksuların aerobik arıtımında önemli miktarlarda enerji tüketimi söz konusudur ve yüksek oranda çamur üretimi gerçekleşmektedir. Anaerobik arıtma prosesinde ise çamur üretimi aerobik proseslere göre oldukça düşük olup, atıksuyun/çamurun enerji içeriğinin büyük kısmının metana dönüşümü sağlanır. Bu nedenle anaerobik arıtma prosesi iyi bir yenilenebilir enerji (biyometan) kaynağı olarak orta ve büyük ölçekli tesislerin çoğunda kullanılmaktadır. Son yıllarda, anaerobik çamur çürütmenin 10.000 EN ve üzerindeki biyolojik arıtma tesislerinde de etkin kullanımı söz konusudur.

Bu çalışmada Kocaeli Büyükşehir Belediyesine bağlı evsel nitelikli atıksu arıtma tesisleri incelenmiş olup bunların enerji potansiyelleri hesaplanmıştır. İncelenen atıksu arıtma tesislerinde çürütücü olması durumunda enerji üretme ve kendi enerjisini ne oranda karşılama potansiyeline sahip olduğu üzerinde bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu amaçla Kocaeli Büyükşehir Belediyesine ait 5 evsel atıksu arıtma tesisinden 2013 yılına ait giriş ve çıkış verileri alınarak ortalama olarak debi, KOİ, BOİ, AKM, TKN ve TP aralıkları belirlenmiştir.

Çalışmanın ilk bölümlerinde literatür araştırmasına yer verilmiş olup, 1.Bölümde Türkiye’de evsel atıksu arıtımının durumu ve bununla ilgili yasal çerçeve bulunmaktadır. Türkiye’de bulunan atıksu arıtma tesislerinin sayı ve proseslerine

göre dağılımları verilmiştir. Tezde incelenen tesisler Türkiye’de bulunan AAT’lerin % 53’ini oluşturan biyolojik arıtma yapan tesislerdir. Bu bölümde Türkiye’de enerji verimliliği ile ilgili teşvikler ve yasal mevzuatlar da yer almaktadır.

Çalışmanın ikinci kısmında atıksu arıtma tesisleri ve enerji kullanımlarına genel bakış, Dünya’da ve Türkiye’de bulunan atıksu arıtma tesislerinde enerji kullanımına ait mevcut durum, Türkiye’de bulunan atıksu arıtma tesisleri ile bunların kapasiteleri ve enerji dağılımlarından bahsedilmiştir. Yine bu bölümde atıksu arıtma tesislerinde enerji yoğun üniteler incelenerek proses bazlı enerji dağılımları verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümü dünya genelinde bulunan atıksu arıtma tesislerinde enerji optimizasyonuna yönelik yapılan uygulamaları içermektedir. Tesislerin biyogaz verimlerinin dolayısıyla enerji üretiminin artırılması için uygun çamur yönetiminin yapılması ile ilgili literatürde yer alan bazı bilgiler verilmiştir.

Atıksu arıtma tesislerinde uygulamaya alınan enerji yönetim planlarının temel amacı arıtma performansından ödün vermeksizin enerji giderlerinin azaltılmasıdır. Çalışmanın dördüncü bölümünde atıksu arıtma tesislerinde enerji optimizasyonuna yönelik çeşitli uygulamalar anlatılmaktadır. AAT’lerde enerji optimizasyonuna yönelik kullanılan en yaygın yöntem arıtma çamurlarının anaerobik çürütülmesidir. Anaerobik çürütme işleminde çamur stabilizasyonu söz konusudur. Aynı zamanda organik madde içeriğinin azaltılması ile biyokatiya dönüşümü ve son ürün olan biyogazın bünyesindeki metanın enerji elde edilmesi bu prosesin en önemli avantajlarından. Anaerobik çürütme prosesinin oldukça yavaş bir süreç olması ve çürütme sonrasında organik maddelerin tümüyle parçalanamaması nedeniyle tam stabilizasyonun sağlanamaması ve elde edilen biyogaz miktarının az olması araştırmacıları anaerobik çürümeyi hızlandıracak ve stabilizasyon derecesini artırmayı sağlayacak yeni yöntemler geliştirmeye yöneltmiştir. Biyogaz verimini arttırmaya yönelik çeşitli yöntemler de yine bu bölümde verilmiştir.

Enerji optimizasyonuna yönelik diğer bir uygulama olan evsel organik katı atıkların arıtma çamurları ile anaerobik arıtımı, yüksek miktarlarda üretilen katı atık ve arıtma çamurlarının entegre biçimde yönetimini sağlamaktadır. Tesislerde uygulanan bir diğer enerji optimizasyonu uygulaması da anaerobik çürütücü yan akımlarının arıtılmasıdır. Atıksu arıtma tesislerinde çamur işleme ünitelerinden çıkacak azot ve fosfor bakımından zengin suları tesise ilave yük getirmektedir. Bu akımlar ile tesis başına dönen toplam azot, tesisin günlük azot yükünün %10 – 30’unu oluşturmaktadır. Bu ilave azot yükünün tesis işletme maliyetini (havalandırma enerjisi) olumsuz yönde etkilemesi sonucu son yıllarda yan akımlardan gelen azot yükünün azaltmak amacıyla yeni biyolojik prosesler geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın uygulanan iki proses SHARON ve SHARON/Anammox sistemleri Bölüm 4’te kısaca anlatılmaktadır.

Tez kapsamında incelenen tesisler ve tesis bilgileri tezin materyal ve metod kısmında yer almaktadır. Tesislerden alınan dizayn parametreleri ve tesis işletim verileri bu bölümde verilmiştir. Yine bu bölümde tez kapsamında izlenen yol ve yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Bu çalışmada tesislerin dizayn standartı olan ATV 131 E modeli esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tezin Sonuç ve Bulgular bölümünde seçilen tesislere ait hesaplamalar verilmiş ve bunlarla ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Tesiste bulunan ünitelerin enerjileri hesaplanmış ve enerji dağılım oranları tesis bazında verilmiştir. Bu bölümde tesislerde anaerobik çamur çürütücü olması durumunda metan üretim potansiyeli ve tesisin enerji geri kazanma potansiyelleri incelenmiştir.

Tüm bu bilgiler ışığında, tesislerin enerji geri kazanım yaklaşımı tesis bazında değerlendirilmiş olup tesis enerji tüketimleri arıtılan atıksu miktarı ve eşdeğer nüfus bazında karşılaştırılmıştır. Diğer birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de biyokütle enerjisinin değerlendirilmesi sürdürülebilir enerji politikalarının oluşturulmasında önemli getiriler sağlayacaktır.

ENERGY EFFICIENCY IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS

SUMMARY

As in the world, also in our country, which is a developing country, increase in population and economical data show an increasing demand for energy. Although, alternative energy resources are getting common usage, the largest part of energy is provided by fossil fuels. Great part of energy demand is met by fossil fuels such as petroleum, brown coal etc and hydroelectric power plants. In times of growing concern about the future security of energy supply and growing awareness of the negative impact of fossil fuels to environment, the development of alternative energy sources is becoming even more important. Although alternative and renewable energy resources importance are identified, they haven't been developed to their maximum possible extent in our country yet.

Energy production from biomass, which has an important place in renewable energy sources, is one of the sources gradually becomes important. The main energy source in a municipal wastewater treatment plant is the biogas which is produced by anaerobic digester during the sludge stabilization process. When energy production from biomass is considered, one of the things that should be evaluated is to obtain energy (methane gas) from removal of biomass in anaerobic digester during wastewater treatment. Potential to generate energy from biomass in a wastewater treatment plants depends on plant capacity and daily biomass loading. In a high loading treatment plant has high potential to produce much more biogas and also much more energy by converting biomass. When the energy amount consumed by wastewater treatment plant is considered, such a situation means that some of the energy requirement of the plant is provided by the plant itself.

Wastewater treatment plants are today benchmarked not only with respect to their treatment efficiency and how well they are able to meet discharge limits, but also in terms of their energy efficiency. Besides the reasonable use of energy on-site, this also includes the evaluation of their potential for energy production. The annual primary power demand of conventional municipal waste water treatment with nutrient removal is in the range of 0,003-0,015 kW/inhabitant. Studies show that 2% of the energy consumed in general in our country is consumed by wastewater treatment plants. Depending on increasing population, new arrangements in discharge limits and lifetime of the infrastructure which is essential for moving , pumping the wastewater, it is expected that increasing energy consumption. Therefore, the subjects of the use of energy potential of wastewater treatment plants and the provision of the energy requirement of the plant by the plant itself, are gaining importance. The largest part of energy is used in secondary treatment in wastewater treatment plants and the most energy user units are pumps, aerators and sludge processes.

Untreated (raw) energy content of domestic sewage, is known to be quite on the energy required for treatment. Energy content of organic matter in the wastewater treatment plant varies according to the raw wastewater pollution load in terms of

COD. The organic matter content of waste water can be considered as an energy sources and has an energy value of 13-15 kJ/g COD. Significant amounts of energy consumption in aerobic wastewater treatment sludge production is concerned and takes place at a high rate. In the anaerobic digestion process is quite low sludge production compared to aerobic treatment processes. At the same time anaerobic process produce biogas as a final product and treat without oxygen requirement. If the biogas is compared with other energy sources, 1 m³ of biogas is equal to 1,1 liters of gasoline or 0,94 m³ of natural gas. Therefore anaerobic treatment process is a good renewable energy source in the majority of medium and large scale plants. some researches show that anaerobic treatment process is comparatively feasible in some plants with capacity PE>10.000.

In this study energy potential of municipal wastewater is calculated and an approach on how much of the energy demand, that is calculated depending on population, can be regained by anaerobic sludge digester is developed. This approach mainly consist of evaluating energy requirement and energy regain data. For this purpose the input and output datas for the year 2013 from 5 domestic waste water treatment plants of Kocaeli Municipality are taken to calculate an average for Flow Rate, COD, BOD, SS, TKN and TP.

The research literature is given in the first chapter. In this part, current status and legal legislation of waste water treatment in Turkey are discussed. According to the available number of wastewater treatment plants and distribution process in Turkey are given. The plants studied in this thesis are the biological treatment facility which constitutes 53% of the construction in Turkey. This section also includes incentives and legislation related to energy efficiency in Turkey.

Chapter 2 includes general overviews to waste water treatment plants and energy usage in these facilities in Turkey and all around the world and also waste water treatment plants in Turkey with their capacities and energy distributions are mentioned in this part of study. Furthermore in this part high energy consuming units in waste water treatment plants are analysed and the energy-intense units are determined based on treatment processes are also given. Applications which are made for the energy optimization of wastewater treatment plants located throughout the world take part into the third Chapter of this study. Besides that, increasing the efficiency of energy production of biogas plants in the literature related to the construction of some proper sludge management information is given in this part.

The main purpose of the Energy Management Plan in wastewater treatment plants is to reduce energy costs without compromising the performance of the treatment. In Chapter 4 the various applications in wastewater treatment plants for energy optimization is explained in detail. The most common method used for the energy optimization is anaerobic digestion in waste water treatment plants. While anaerobic digestion process sludge stabilization is also occurred. The most important advantage of this process is biosolids conversion to energy by reducing the content of organic matter and biogas formation as a final product. Because of the low rate of anaerobic process and due to little biogas production new researches are conducted to provide full stabilization and enhance biogas production with high rate process. Various new methods which provides increasing in biogas yield is given in this Chapter.

Another approach developed intended to energy optimisation is inegrated anaerobic digestion of sewage sludge with municipal organic solid waste. Side stream treatment of anaerobic digester is one of the new developed energy optimisation

application in waste water treatment plants. In waste water treatment plants, side stream of sludge treatment units cause increasing nutrient loading at the beginning of facilities. This also effects treatment standards and energy usage. The return of side stream enhance the nitrogen loading of facilities rate of 10-30%. This additional nitrogen resultn in high operation costs (due to aeration energy). To reduce the high load of side stream new biological processes has been developed in recent years. The most commonly applications are SHARON and SHARON / Anammox systems are briefly discussed in Chapter 4.

Selected plants and its details are covered in material and method section. The obtained design and operation parameters of plants are given in this section. Moreover, the research works and the plans for the study is explained. All the calculations are done based on plant design standart called ATV 131 E. All the calculations and interpretations are given in results and discussion section. The energy consumptions of each unit in plants is calculated and the distribution rates are given for each plants. Methane production from anaerobic digestion unit which doesn't exist in plants, are also calculated and the potential for energy recovery is analysed.

In the lights of these information, energy recovery approach are analysed based on plants in the same time energy consumption per unit of treated water and personal equivalent are compared. As in almost every country, obtaining benefit from biomass energy is getting more important positive effects for sustainable energy policies.

1. GİRİŞ

1.1 Konunun Anlam ve Önemi

Ülkemizdeki hızlı nüfus artışı ve gelişen sosyo-ekonomik durumdaki iyileşmeye bağlı olarak artan tüketim özellikle çevre üzerinde geri dönülemez sonuçlara yol açmaktadır. Nüfus ve tüketim artışına paralel olarak enerji ihtiyacı da artmakta olup fosil yakıt rezervlerinin hızla azalması enerji temini ile ilgili alternatif çözümlerin araştırılmasını gerektirmektedir. Günümüzde doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından, yapılacak olan faaliyetlerde çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik önlemler alınması gelecek için büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, dünya çapında çevre dostu teknolojilerin araştırılması ve fosil yakıtlara alternatif enerji kaynaklarının bulunması için büyük gayret sarf edilmektedir.

Enerji verimliliği, günümüzde hızla tükenen enerji kaynakları sebebiyle birçok alanda gündeme gelmektedir. Çevre mühendisliği alanında da özellikle atıksu arıtma tesislerinde, gerek arıtma proseslerinde gerekse atıksuyun toplanması ve taşınmasının sağlandığı ünitelerde önemli oranda enerji kullanımı söz konusudur. Günümüzde artan enerji fiyatları ve yeni yasal düzenlemelerle getirilen daha sıkı deşarj standartları, dünya genelinde atıksu arıtma tesislerinin işletme maliyetlerini arttırmaktadır. Enerji maliyetlerinin artışı ve sürdürülebilirlik çalışmalarının sıklıkla gündeme gelmesiyle enerji optimizasyonu, ekonomik ve çevresel açıdan daha da önemli hale gelmektedir. Bu kapsamda atıksu arıtma tesislerinde (AAT) işletme maliyetinin optimizasyonu için enerji tüketiminin ve arıtma kapasitelerinin tesis girişinden çıkışına kadar ünite bazında izlenmesi önem taşımaktadır.

Atıksuların arıtma prosesleri incelendiğinde, atıksuyun taşınımı, arıtımı, deşarjı ve oluşan çamurun bertarafı gibi proseslerde yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu prosesler arasında pompalama (terfi) ve havalandırma (biyolojik arıtmada) için gerekli enerji, tesiste kullanılan enerjinin en önemli kısmını oluşturur. Lingesten ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada İsveç'te bulunan arıtma tesislerinde terfi için gerekli enerji miktarı ~20 kWh/kişi.yıl olarak belirlenmiştir

(Lingsten ve diğ, 2008). ABD’de yapılan bir diğr çalışmada su ve atıksuların arıtımı ve taşınması için gerekli enerji, ÷lke bazında kullanılan enerjinin yaklaşık %3’ü ($\sim 21 \times 10^6$ kWh/yıl) olarak belirlenmiştir (Horne ve diğ, 2013).

Günümüzde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında atıksuların organik madde içeriğinin bir enerji kaynağı olarak kullanıldığı bilinmektedir. Atıksu arıtma tesislerine gelen ham atıksuyun, arıtma için gerekli olan (kimyasal, termal ve hidrolik) enerjinin yaklaşık 10 katı (13-15 kJ/g KOİ) enerji ihtiva ettiği belirlenmiştir (Olsson, 2012). Enerji nötr olarak işletilen bir tesisin, ihtiyacı olan enerjiyi karşılayabildiği gibi fazlasını da üretmesi mümkün olabilmektedir.

Dünyada enerji nötr olarak bilinen tesislere örnek olarak Avusturya’da bulunan Strass AAT ve Kaliforniya’da bulunan East Bay AAT’leri gösterilmektedir. Strass AAT’nde tüm tesis genelinde optimizasyon yaklaşımı uygulanmakta ve yenilikçi arıtma prosesleri ile hassas sulara deşarj standartları sağlanmaktadır. Strass ATT, düşük çamur yaşında işletilerek anaerobik çürütme prosesinin verimi yükseltilmekte ve bu sayede tesis için ihtiyaç duyulan enerjinin tamamı tüm karşılanabilmektedir. ABD’nin Kaliforniya eyaletinde bulunan East Bay AAT enerji tüketimini azaltmak konusunda farklı bir yaklaşım izlemektedir. Strass AAT’ndeki ünite bazında yapılan proses değişikliğinden farklı olarak, yüksek kapasiteli bu tesisin tüm ünitelerini kapsayacak şekilde yapılan optimizasyon sonucu, tesis için gerekli olan enerji ihtiyacı azaltılmıştır. Tesiste kullanılan enerjinin büyük bir kısmı, anaerobik çürütücüden elde edilen enerji tarafından sağlanmaktadır (Horne ve diğ, 2013).

Havasız (anaerobik) arıtmada, kolay ayrışabilen organikler oksijensiz ortamda bakteriyolojik olarak parçalanır ve CH_4 , CO_2 , NH_3 , H_2S son ürünleri elde edilir. Havasız arıtma yoluyla 1000 kg KOİ giderimi sonunda 2700 kWh eşdeğeri net enerji üretilmektedir (Öztürk, 2007). Atıksu arıtma tesislerinin metan üretim potansiyeli arıtılan atıksu karakterizasyonuna göre farklılık gösterebilmektedir. Tesiste üretilen enerjiyi arttırmak için çeşitli modelleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu modellerden Environmental Protection Agency (USEPA) Energy Star Portfolio Manager tarafından geliştirilen bir sistemde, atıksu arıtma tesislerinde kıyaslama yöntemi kullanılarak tesiste üretilen enerjinin artırılması hedeflenmektedir. Kapasite ve tesis organik yük değerleri benzer tesisler kıyaslanarak, tesis enerji kullanımı ve üretimi bakımından belirli bir dilime dahil edilerek gerekli iyileştirme önerileri

yapılmaktadır. Bunun dışında tesis veya ünite bazında da çeşitli modeller kullanılarak enerji verimliliğine yönelik alternatifler sunulabilmektedir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın temel amacı, atıksu arıtma tesislerinin enerji dengesinin incelenmesi ve enerji kullanımının yoğun olduğu ünitelerin tespitinin yapılarak tesis enerji kullanımını iyileştirme alternatiflerinin sunulmasıdır. Bu kapsamda, pilot olarak seçilmiş olan Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Su Kanalizasyon İdaresi (İSU) Atıksu Arıtma Tesisleri'nin enerji dengeleri incelenmiştir. Atıksu arıtma tesisleri giriş yüküne bağlı olarak net enerji kullanımının sıfır olma potansiyeline sahip tesislerdir. Bu çalışmada da, tesisler ünite bazında incelenerek enerji kullanımları tesis genelinde oluşturulan diyagram ile belirlenmiş ve daha sonra ilgili iyileştirme alternatifleri sunulmuştur. Tesislerde kütle ve enerji dengelerinin oluşturulabilmesi için gerekli parametreler saptanmış olup tesis giriş ve çıkışındaki kontrol noktalarına ait 2013 yılı verileri ile aylık ve yıllık matrisler oluşturulmuş ve AAT performansları ve enerji kullanımları ortaya konulmuştur. Bu sayede tesisin enerji kullanımı bakımından benzer tesisler ile kıyaslanması mümkün hale gelmiştir. Oluşturulan enerji diyagramları ile tesis için gerekli iyileştirme seçenekleri önerilmiştir. Bu çalışma ile atıksu arıtımında enerji kullanımı ve tesis birimleri arasında dağılımına ilişkin genel bir bakış açısı ortaya konmakta, tesisi içi enerji verimliliğini artırıcı ve enerji maliyetlerini düşürücü bazı pratik öneri ve yaklaşımlar sunulmaktadır.

2. TÜRKİYE’DE EVSEL ATIKSU ARITIMININ DURUMU, ENERJİVERİMLİLİĞİ VE TEŞVİKİ İLE İLGİLİ YASAL ÇERÇEVE

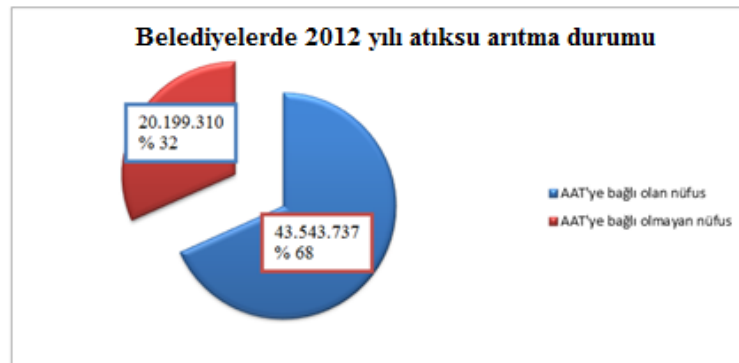
2.1 Evsel Atıksu Arıtımının Durumu

Arıtılmış atıksuların tarımsal sulama, sanayi, akifer besleme ve evlerde tuvalet sifon suyu, yeşil alan sulaması vb. amaçlı yeniden kullanımı dünya genelinde giderek yaygınlaşmaktadır. Bazı ülkelerde arıtılmış atıksuların yeniden kullanım oranı % 80’lere ulaşmış bulunmaktadır (TÜBİTAK MAM, 2010). Bu nedenle, atıksuların arıtılması ve arıtma performansı ülkemiz bakımından da büyük önem taşımaktadır.

TÜİK verilerine göre Türkiye’nin 2012 yılı sonu itibariyle atıksu arıtma tesisi ile hizmet verilen belediye nüfusu 43.543.737 kişi olup sızma dahil, kişi başına atıksu oluşumu ~200 L/N.gün’dür. Atıksu arıtma tesislerinde ~%5’lik su kaybı esas alınarak kentsel yerleşim AAT’lerinden geri kazanılabilecek atıksu potansiyeli, 2012 yılı itibarı ile Q_{GKAS} civarındadır (2.1).

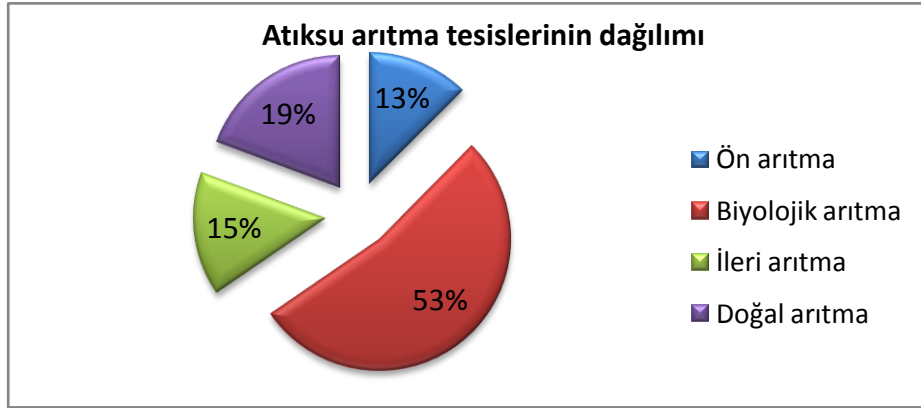
$$Q_{GKAS} \approx 43.543.737 \times 0,2 \times 365 \times 0,95 \approx 3,02 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{yıl} \quad (2.1)$$

2012 yılı sonu itibariyle, mevcut 2950 belediyeden arıtma tesisi ile bulunan belediye sayısı 536’dır. Atıksuları arıtılan nüfus 43.543.737 olup bu nüfus toplam belediye nüfusunun %68’ine karşılık gelmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: 2012 yılı atıksu arıtma tesislerine bağlı olan ve olmayan belediye nüfusları.

Türkiye genelinde bulunan atıksu arıtma tesisi sayısı 460'dır (TÜİK, 2012). Bu tesislerin 57'si ön arıtma (fiziksel), 244'ü ikincil (biyolojik), 70'i ileri (nütrient giderimli) ve 89'u doğal arıtma tesisidir ve yüzde dağılımları Şekil 2.2'de verilmiştir. Atıksu arıtma tesislerinde yılda arıtılan $3,2 \times 10^8 \text{ m}^3$ suyun yaklaşık %28,5'i fiziksel, %33'ü biyolojik ve %38'i de ileri arıtım ile arıtılmaktadır. Şekil 2.2'de Türkiye'de 2008-2012 döneminde atıksu arıtma tesislerinin durumu verilmektedir.



Şekil 2.2 : 2012 itibari ile Türkiye'de atıksu arıtma tesislerinin dağılımı.

Çizelge 2.1 : Türkiye'de atıksu arıtma tesislerinin durumu (TÜİK, 2012).

Yıl	2008	2010	2012
Atıksu arıtma tesislerinin sayısı	236	326	460
Toplam kapasite (bin $\text{m}^3/\text{yıl}$)	4.143.140	5.293.204	5.562.075
Arıtılan su miktarı (bin $\text{m}^3/\text{yıl}$)	2.251.581	2.719.151	3.256.980
Biyolojik arıtım yapan tesis kapasitesi (bin $\text{m}^3/\text{yıl}$)	861.428	931.356	1.072.873
İleri arıtım yapan tesis kapasitesi (bin $\text{m}^3/\text{yıl}$)	648.536	1.031.616	1.245.977

TÜİK verilerine göre 2012 yılında kanalizasyon şebekesi ile toplanan atık suyun $4.072.563 \text{ m}^3$ 'ü farklı alıcı ortamlara deşarj edilmiştir. Bunun yaklaşık %45'i denize, %1,8'i göllere, %44,6'sı akarsulara, %0,87'si araziye, %2,8'i baraja ve %4,6'lık kısmı ise diğer alıcı ortamlara verilmiştir. Çizelge 2.2'de 2012 yılında deşarj edilen atıksu miktarı ve alıcı ortamlar verilmiştir.

Çizelge 2.2: Alıcı ortamlara göre belediye şebekesinden deşarj edilen atıksu miktarı, 2012 (TÜİK, 2012).

Deşarj edilen atıksu miktarı (bin $\text{m}^3/\text{yıl}$)	Denize	Göl-gölete	Akarsuya	Araziye	Baraja	Diğer	Belediyelerde deşarj edilen kişi başı günlük atıksu miktarı (litre/kişi.gün)
4.072.563	1.843.115	75.116	1.817.352	35.770	114.199	180.011	190

2.2 Enerji Verimliliği ve Teşviki ile ilgili Yasal Çerçeve

Ülkemizdeki mevcut su temini ve atıksu arıtma/uzaklaştırma hizmetleri yönetimi (kısaca Su ve Atıksu Yönetimi) yapılanması AB Su Çerçeve Direktifi'nde öngörüldüğü gibi Su Havzalarını esas alan bir yapıda olmayıp İl ve Belediyeler ölçeğinde oluşturulmuştur. Türkiye'nin AB'ye üyelik süreci ve özellikle Çevre Faslı'nın da açılması dolayısıyla mevcut su yönetiminin AB Su Çerçeve Direktifi gereklerini karşılayacak biçimde yapılandırılması çalışmaları hız kazanmıştır (TÜBİTAK MAM, 2010).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan “Çevre Kanununun 29'uncu Maddesi Uyarınca Atıksu Arıtma Tesislerinin Teşvik Tedbirlerinden Faydalanmasında Uyulacak Usul ve Esaslara Dair Yönetmelik” 01.10.2010 tarih ve 27716 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yapılan bu yeni düzenlemeyle alıcı ortamın su kalitesinin yükseltilmesi için, atıksu altyapı tesisi yönetimlerinden, kimyasal, biyolojik ve ileri atıksu arıtma tesisini kuran, işleten ve ilgili mevzuatta belirtilen yükümlülükleri yerine getirdikten sonra arıtılmış atıksularını alıcı ortama deşarj edenler veya geri dönüşümlü olarak kullananların arıtma tesisi işletme maliyetleri hafifletilecek ve arıtma tesislerinin çalıştırılması teşvik edilecektir.

Avrupa Birliği (AB)'ne katılma sürecinde, enerjinin etkin verimli kullanılmasını sağlamak, enerji kullanım maliyetini ve bunun ekonomi üzerindeki yükünü azaltmak, çevre ve enerji kaynaklarını korumak amacıyla 2 Mayıs 2007 tarih ve 26510 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve 25 Kasım 2008 tarihli ve 27035 sayılı Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik yayınlanmıştır. Yapılan düzenlemeler ile atıksu arıtma tesisleri ve bunların işletilmesi ile ilgili önemli adımlar atılmıştır. Bu kapsamda, enerji tüketim noktalarında çevreyi ilgilendiren zararlı atık ve emisyonların gelişimini izlemek, değerlendirmek, projeksiyonlar üretmek ve önlem önerileri hazırlamak üzere çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yürürlüğe giren bu yönetmeliklerde, İşletmelerde Verimlilik Artırıcı Projelerin(VAP) uygulanmasına yönelik yapılan destekler yer almaktadır. VAP uygulamaları dışında Enerji Verimliliği Kanunu ve Enerji Verimliliği Yönetmeliği ile belirlenen amaç ve hedeflerin gerçekleştirilmesine katkı sağlanması açısından Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) ve T.C Küçük ve

Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB)'nin enerji verimliliği etüt ve danışmanlık destekleri; 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu kapsamında yetkilendirilmiş Enerji Verimliliği Danışmanlık Şirketleri (EVD) tarafından teşvikler verilmektedir. Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) Türkiye'nin dünyada artan enerji fiyatları karşısında, özellikle enerji yoğun sektörlerde rekabet gücünün koruması, dışa bağımlılığını azaltması ve sera gazı salımlarının azaltılmasına katkı sağlanması ve sanayicinin ilgili faaliyetlerinin teşvik edilmesi amacıyla 100.000 – 1.000.000 ABD Doları arasında destek verilmektedir. Destek kapsamında enerji verimliliği etütleri de dahil olmak üzere, enerji verimliliğine yönelik uygulama projelerinin uygun şartlarda desteklenmesi amaçlanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmek üzere birçok ülkede çeşitli mekanizmalar geliştirilmiştir. Bunlar üç ana başlık altında toplanabilir: *Fiyat belirleyici ve miktar yükümlülüğü getiren teşvikler, maliyet düşürücü yatırım politikaları ve kamu yatırımları ve yenilenebilir enerji pazarının gelişmesini sağlayacak teşvikler.* 10 Mayıs 2005 tarihli ve 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu Türkiye'de bu konuyla alakalı ilk yasal düzenlemedir. 2007 yılında çıkarılan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve 2008 yılında 5784 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nda değişiklik ile verilen teşvikler arttırılmıştır. Halihazırda yürürlükte olan Yenilenebilir Enerji Kanunu'nun amacı, Madde 1'de belirtildiği gibi “Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesidir.” Söz konusu kanun, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğe devlet desteği ve alım garantisi vermiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve TBMM Sanayi ve Enerji Komisyonu tarafından mevcut kanun metninden yola çıkılarak yeni kanun tasarıları hazırlanmıştır. Söz konusu taslak metnin en önemli özelliklerinden biri kaynaklara göre farklı alım garantileri öngörmesidir. Çizelge 2.3'de enerji üretim tesisi tipine göre uygulanacak fiyatlar görülmektedir.

Çizelge 2.3: Yeni yenilenebilir enerji kanun taslağında alım garantisi.

Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyat (€ cent/kWh)
Hidroelektrik üretim tesisi	5,5
Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	6,5
Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	8
Biyokütleye dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	14
Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13

Bunun yanı sıra yerli ekipman üretimini geliştirmeye yönelik ilave maddi teşvikler sunulması da öngörülmektedir. Böylelikle Türk firmalarında mevcut üretim potansiyelinin değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Ancak bu desteklerin Türkiye'nin de taraf olduğu ticaret anlaşmalarına aykırı olmamasına özen gösterilmesi gerekmektedir. Taslağın getirdiği bir diğer değişiklik ise bireysel kurulumlara sağlanan desteklerdir. Kamu uyarınca kendi kullanımları için elektrik üreten otoprodüktörlerin, elektrik fazlalarını şebekeye satmaları mümkün olabilmektedir.

3. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ENERJİ DENGESİ

Atıksu arıtma tesisleri, gün geçtikçe azalan fosil yakıt kaynaklarını kullanmalarının yanı sıra, karbon ayak izi oluşturmakta ve arıtma işlemleri esnasında atmosfere sera gazı (karbondioksit, metan ve azot oksit) salımı gerçekleştirmektedir. Önemli miktarda enerji tüketen bu tesislerde, dünya genelinde harcanan toplam enerjinin ~ % 0,1-0,4'ünün kullanıldığı bilinmektedir (WEF, 1997). Bu oran İsveç'te % 1 iken ABD ve İngiltere'de %3, yetersiz su kaynaklarına sahip bir ülke olan İsrailde ise, atıksuların yararlı kullanım amaçlı ileri arıtım oranının yüksek olması nedeniyle, %10'dur (Olsson, 2012). Artan nüfus, deşarj standartlarındaki yeni düzenlemeler ve kullanılan alt yapının kullanıma bağlı olarak faydalı ömrünün azalması sonucu enerji kullanımının giderek artacağı beklenmektedir. Buna karşın pek çok atıksu arıtma tesisinde enerji maliyetleri arıtma proseslerinde uygulanan modifikasyonlar ve enerji tasarruf tedbirleri ile ~%30 oranında düşürülebilmektedir. Örneğin, havalandırma ünitesi optimizasyonu ve pompa iyileştirmesi uygulanan bir atıksu arıtma tesisinde yıllık bazda 547~1.057 milyon kWh enerji tasarruf edildiği belirtilmektedir.

Atıksuların arıtılması için gerekli enerji, atıksuyun tesise girişinden deşarjına kadar kullanılan enerji miktarının toplamıdır ve maliyeti tesis işletme maliyetinin yaklaşık %2-6'sı kadardır (Carlson ve diğ, 2007, Elliott ve diğ, 2003).

Atıksu arıtma tesisleri incelendiğinde, bu tesislerin sürdürülebilirlik için gerekli kaynakları içinde barındırdığı görülmüştür. 1 m³ atıksu, yaklaşık 5-10 kişi/gün su ihtiyacını, 2 kWh enerji eşdeğerini ve 1 m² tarım arazisi için gerekli besin maddesini içermektedir (Keller, 2008). Çalışmalarda, ham atıksuyun içerdiği enerjinin yaklaşık % 18'inin bu atıksuyu arıtmak için yeterli olduğu saptanmıştır. Bazı çalışmalarda ise atıksu ve arıtma çamurlarındaki enerji değerinin arıtma için gerekli enerjinin yaklaşık 10 katı olduğu belirtilmektedir (GWRC, 2008). Atıksuların arıtma maliyeti içerisinde enerji maliyetinin baskın olması, tesis bünyesinde enerji optimizasyonunu gerekli kılmaktadır.

Su ve atıksu arıtımında, toplama ve arıtma üniteleri oldukça yüksek enerji ihtiyacına sahip birimlerdir. Öncelikle çevre ve insan sağlığı dikkate alınarak projelendirilip

işletilen atıksu toplama sistemleri atıksuların kirletici kaynağından arıtma ünitesine iletimini sağlamaktadır. Arıtma tesisine ulaşan atıksu, tesis içinde hedeflenen deşarj standartlarına ulaştırılarak alıcı ortama verilmektedir. Arıtma süreci de pompalama (terfi), karıştırma, havalandırma ve çamur bertarafı gibi yüksek enerji gereksinimi olan proseslerden oluşmaktadır. Atıksuda bulunan organik yük, aerobik biyokütle için gereken oksijenin sisteme verilmesiyle giderilmektedir.

Atıksu arıtma tesislerinde enerji kullanımları ve buna bağlı olarak da enerji maliyetleri gün geçtikçe önem kazanmaktadır. AB istatistiklerine göre 2005 yılında 0,0756 €/kWh olan enerji maliyeti 2011 yılında 0,110 €/kWh'e yükselmiştir (Eurostat, 2012; Hernández ve diğ., 2011).

Yoğun enerji tüketimi, enerji geri kazanım prosesleri, ekipman ve teknoloji alanında enerji verimliliğine yönelik uygulamalar ve enerji maliyeti yönetimi konularının sıklıkla gündeme gelmesi ve enerji optimizasyon çalışmalarının atıksu arıtma tesisleri dahil olmak üzere bir çok alanda uygulanmaya başlamasına neden olmuştur. Bir atıksu arıtma tesisinin enerji tüketimi hizmet ettiği nüfus, endüstriyel deşarjlar, nüfus artışı, deşarj standartları gibi farklı parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Enerji kullanımını azaltıcı çalışmalar da tesislerde enerji maliyetlerini düşürücü yönde önemli rol oynamaktadır.

3.1 Evsel Nitelikli Atıksuların Enerji İçeriği

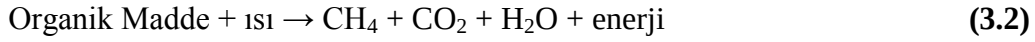
Konu ile ilgili çalışmalarda atıksuların potansiyel bir enerji kaynağı olduğu belirtilmektedir (Logan, 2005; Van Lier, 2007). Atıksu arıtma tesislerinde bu potansiyelin belirlenmesi ve tesisin toplam elektrik tüketimini hangi oranda karşılayabileceği önem taşımaktadır. Atıksuların sahip olduğu enerji potansiyelinin kaynağı organik madde muhtevasıdır. Organik maddenin enerji ile ilişkilendirildiği denklem (3.1) basitçe aşağıda verilmiştir:



Fotosentez reaksiyonunun tersi olan bu reaksiyonda, organik maddenin (CH_2O) oksijen ile reaksiyonu sonucu enerji açığa çıkmaktadır. Aerobik şartlarda gerçekleşen kimyasal (yakma) veya biyolojik (metabolizma) faaliyetlerde kullanılan oksijen ile organik madde-enerji dönüşümü gerçekleşmektedir. Yakma esnasında bu dönüşüm

ısı olarak açığa çıkarken, metabolik faaliyetlerde ise hücrenin büyüme ve yenilenmesi şeklinde gerçekleşir.

Enerjinin sadece aerobik koşullarda açığa çıkması söz konusu değildir. Organik madde dönüşümü havasız (anaerobik) ortamlarda da denklemde (3.2)'de gösterildiği gibi gerçekleşmektedir. Anaerobik ortamda gerçekleşen reaksiyon sonucu oluşan metan (CH₄) yakılarak enerji açığa çıkmaktadır.



Günümüzde atıksuların içerdiği yüksek organik madde muhtevası nedeniyle önemli bir enerji potansiyeline sahip olduğu yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde, enerji geri kazanımı sağlandığı takdirde tesis net enerji üreticisi olma potansiyeline sahiptir. Buna rağmen günümüzde uygulanan teknolojilerle kullanılan enerjinin tamamının geri kazanıldığı tesis (enerji nötr) sayısı sınırlıdır (WERF, 2011).

Atıksularda ölçülen KOİ değeri, organik maddelerin oksidasyonu için gerekli oksijen miktarıdır ve bir enerji parametresi (J, kWh) olarak yorumlanmaktadır. Atıksuda bulunan organik maddeler yaklaşık olarak 13-15 kJ/g KOİ ısıl değere sahiptir. Arıtma tesisi enerji potansiyelini belirlemek için Avusturya'daki bir AAT için yapılmış çalışma sonucu tesis giriş değerleri eşdeğer nüfus bazında 110 g KOİ/kişi/gün, 9 g N/kişi/gün (3,3 kg N/kişi/yıl) ve 1,45 g P/kişi/gün (0,5 kg P/kişi/yıl) olarak verilmiştir. Bunun yanında Çizelge 3.1'de atıksu bileşenlerinin tipik enerji içerikleri verilmektedir (Svardal, 2011).

Çizelge 3.1: Evsel atıksu bileşenlerinin enerji içerikleri (Svardal, 2011).

Parametreler	Yıllık yük (kg/kişi.yıl)	Enerji (kWh/kişi.yıl)	Güç (W/kişi)
KOİ	40	156	18
N	3,3	36	4
P	0,5	5	0,6
Toplam	-	197	22,5

Enerji içeriği atıksuların farklı fazlarında bulunmaktadır. Sıvı faz bileşenleri ve enerji içerikleri Çizelge 3.2'de verilmektedir (Metcalf&Eddy, 2003). Atıksu içeriğindeki çeşitli organikler kimyasal enerji potansiyelini, nütrientler ise mikrobiyolojik büyüme potansiyelini oluşturmaktadır.

Atıksuların katı fazı, toplam katı madde (TKM) ve uçucu katı madde (UKM) olarak ölçülmektedir. Atıksu arıtımı sonucu oluşan çamurlarda TKM ve UKM konsantrasyonu oldukça yüksektir. Birincil ve ikincil arıtma sonucu oluşan arıtma çamurları yüksek konsantrasyonda organik madde ve patojen içermektedir. Stabilize olmuş çamur (biyokatı) susuzlaştırma prosesi uygulanarak arazi uygulamalarında (gübre veya kompost olarak) ya da yakma ünitelerinde bertaraf edilmektedir.

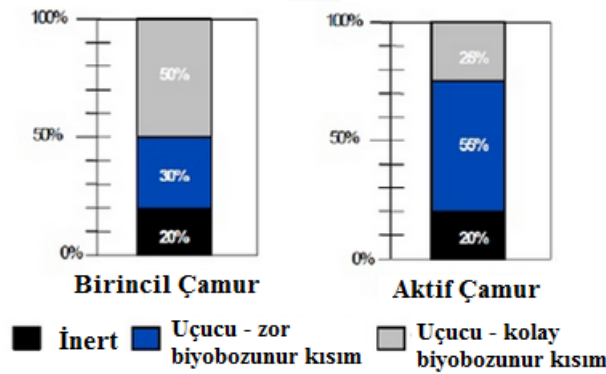
Çizelge 3.2: Atıksu bileşenlerinin tipik konsantrasyonları ve arıtılmamış atıksuyun enerji içeriği (Metcalf&Eddy, 2003).

Bileşenler	Birim Bileşenler ve Konsantrasyonları	Değer (Tipik) ^a
TKM	mg/L	390-1230 (720)
ÇKM	mg/L	270-860 (500)
AKM	mg/L	120-400 (210)
BOİ5	mg/L	110-350 (190)
TOK	mg/L	80-260 (140)
KOİ	mg/L	250-800 (430)
Yağ ve Gres	mg/L	30-90 (60)
Enerji İçerikleri^b		
Atıksuyun ısıt içeriği	MJ 10 ⁰ C.10 ³ m ³	41900
Atıksuyun KOİ içeriği	MJ/kg KOİ	12-15 (13)
Birincil çamur	MJ/kg TAKM	15-15,9 (15,5)
İkincil çamur	MJ/kg TAKM	12,4-13,5 (13)

a) Debi ~460 L/kışı.gün

b) MJ=0,278 kWh

Biyokatıların enerji içeriği uçucu katı madde miktarına bağlıdır ve bu oran (UAKM/AKM) genellikle toplam katı madde miktarının %80'idir. Şekil 3.1'de birincil çamur ve aktif çamur bileşenleri görülmektedir.

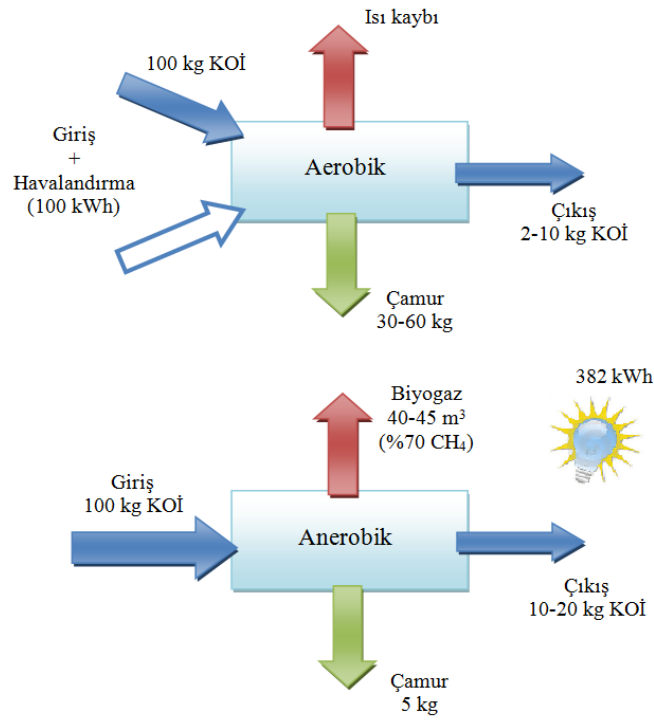


Şekil 3.1: Birincil çamur ve aktif çamur bileşenleri (NACWA, 2010).

İşlem görmemiş haldeki biyokatılar yaklaşık olarak 5,07 kWh/kg'lık enerjiye sahiptir, bu da düşük kaliteli kömürün sahip olduğu enerjiye eşdeğerdir (NACWA, 2010).

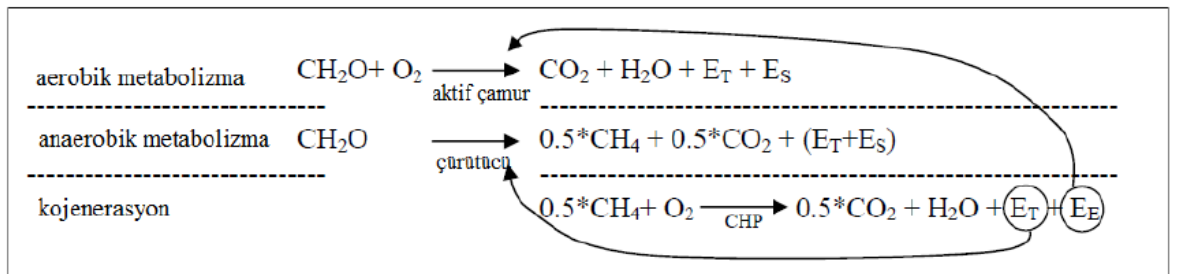
Ham atıksuların enerji içeriğinin arıtma için gerekli enerjinin oldukça üzerinde olduğu bilinmektedir. Tesis enerjisi tesise giren yük ile doğrudan ilişkilidir ve yapılan bir çalışmada arıtılmamış evsel atıksuyun enerji içeriğinin yaklaşık 1760 kJ/EN (1 EN~120 g KOİ) olduğu belirtilmiştir (Shizas ve Bagley, 2004).

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi biyolojik arıtma aerobik arıtma ve anaerobik arıtma olmak üzere iki temel proses şeklinde gerçekleşmektedir. Arıtmadaki esas amaç; organik maddelerin olabildiğince parçalanmasını (mineralizasyon) sağlamak ve enerjinin aerobik sıvı fazdan anaerobik çamur faza geçişini gerçekleştirmektir. Bunun yanında nütrient giderimi de önem taşımaktadır.



Şekil 3.2: 100 kg KOİ'nin aerobik ve anaerobik prosesle arıtımı.

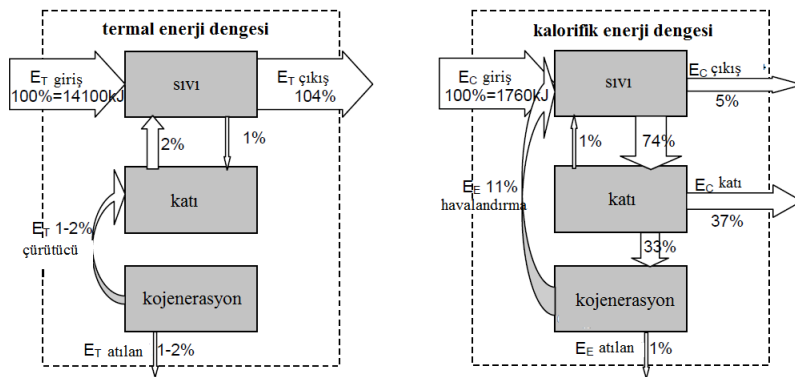
Atıksuların arıtımında 3 farklı enerji söz konusudur. Bunlar; E_T (termal enerji), E_S (sentez enerjisi) ve E_E (elektrik enerjisi)'dir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Enerji Reaksiyonları.

Aerobik proses sonucu önemli miktarda enerji üretimi söz konusudur. Sentez enerjisi, yüksek miktarda çamur üretimi ve mikrobiyal büyümedeki artışı gösterir ve bu da reaksiyon ısısı oluşturarak atıksu ısısının düşmesini engellemektedir. Anaerobik arıtmada oldukça az sentez enerjisi açığa çıkar. Anaerobik arıtmada biyokütle dönüşüm oranının düşüklüğü, fazla biyolojik çamur birikimini 500kg~1000 kg KM/KOİ_{gid} miktarında düşürebilir. Daha az nütrient ihtiyacı da aerobik arıtmaya göre 50\$/1000 kg KOİ_{gid} mertebesinde bir ekonomi sağlar. Aynı şekilde havalandırma enerjisine gerek olmayışı 1000 kWh/1000 kg KOİ_{gid} (50\$/1000 kg KOİ_{gid}) enerji tasarrufu anlamına gelir. Enerji içeriği üretilen metana bağlıdır ve birleşik ısı ve elektrik geri kazanımı (CHP) teknolojisi ile metanın elektrik ve ısı enerjisine dönüşümü gerçekleşmektedir. Üretilen bu enerji tesis ihtiyacını karşılamak üzere veya varsa çürütücü ünitesinin ısıtılmasında kullanılarak sisteme geri kazandırılabilir.

Şekil 3.4’de atıksuların termal ve kalorifik enerji akışı verilmektedir (Wett ve diğ., 2007). Bu diyagramlarda çamur ve biyogaz ilişkisi gösterilmiştir. Özgül kalorifik enerji girişi 1760 kJ/EN (120 g KOİ/EN) ve termal enerji akışı 14.100 kJ/EN (200 L/EN, 16,8 °C’de) olarak verilmiştir. Mezofilik çürütme uygulanan proseste özgül biyogaz verimi 26 L/EN (575 kJ/EN) ve kojenerasyon verimi %38’dir. Kabul edilen biyogaz verimi arıtılan atıksuyun giriş kalorifik değerinin %33’ü ve elektrik enerjisinin %12’sidir. Sıvı akımının arıtılmasında önemli miktarda ısı kaybı (%22) gerçekleşirken anaerobik arıtmadaki ısı kaybı %3 civarındadır.

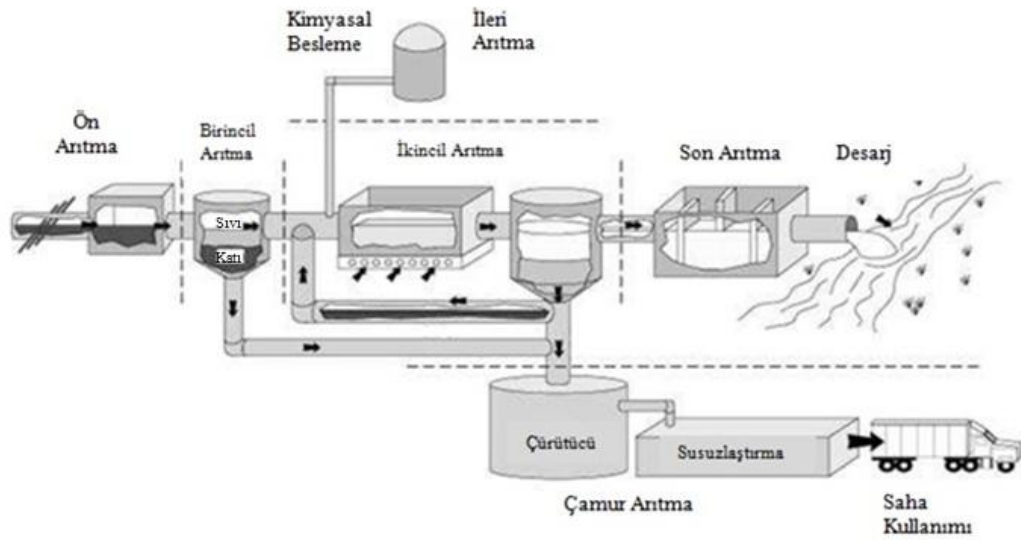


Şekil 3.4: Atıksuların kalorifik ve termal enerji akışı (Wett ve diğ., 2007).

3.2 Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Kullanımı

Atıksuların arıtılmasında önemli miktarlarda enerjiye ihtiyaç duyulur. Özellikle ileri teknolojinin kullanıldığı yüksek kapasiteli tesislerde, düşük kapasiteli tesislere ($EN < 50.000$) nazaran daha fazla enerji tüketimi gerçekleşmektedir.

Konvansiyonel bir atıksu arıtma tesisinde atıksu arıtımı 3 aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar; ön arıtma (askıda katı madde giderimi), ikincil arıtma (organik madde giderimi) ve ileri arıtma (N ve P giderimi)'dir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Atıksu arıtma tesisi akım diyagramı.

Arıtma tesislerinde ilk olarak gerçekleşen ön arıtma prosesi atıksudaki kağıt, tekstil atıkları, plastik, metal gibi iri katı maddeler ile kum ve yağ-gres gibi maddelerin ayrılması işlemimi içermektedir. Atıksuda bulunan askıda katıların giderilmesi için ince ızgaralar ve elekler kullanılır. Ön arıtma prosesinde atıksuları toplama ve pompalama üniteleri, ızgaralar, kum tutucu ve ön çökeltim tankı mevcuttur. Pompalama üniteleri dışında ön arıtma prosesinde yüksek enerji sarfıyatı görülmez. Ön arıtmadaki enerji tüketimi ile ilgili literatürde çeşitli değerler mevcuttur. Bu verilere göre ham atıksuyu toplama ve pompalama (terfi) ünitelerinin enerji sarfıyatı Kanada'da $0,02-0,1 \text{ kWh/m}^3$, Macaristan'da $0,045-0,14 \text{ kWh/m}^3$ ve Avusturalya'da $0,1-0,37 \text{ kWh/m}^3$ olarak verilmiştir (Olsson, 2012; Pitas ve diğ, 2010; Kneppers ve diğ, 2009).

İkincil arıtma prosesi olan biyolojik arıtma, atıksu arıtma tesislerinde en yüksek enerji tüketiminin gerçekleştiği prostestir. Biyolojik arıtma, tesiste kullanılan toplam enerjinin ~ % 50-80’lik kısmını oluşturmaktadır (Jonasson, 2007).

İkincil arıtma proseslerinin havalandırma ve karıştırma ünitelerinde önemli miktarlarda enerji tüketilmektedir. Yüksek enerji sarfiyatının olduğu atıksuyun havalandırılması prosesinde iki temel yöntem ile havalandırma işlemi gerçekleştirilir:

- Hava veya saf oksijenin atıksuya batmış difüzörlerle veya diğer havalandırma cihazları ile verilmesi veya
- Atıksuyun mekanik havalandırıcılarla karıştırılarak havanın suda çözünmesinin hızlandırılması

Günümüzde sıklıkla kullanılan çeşitli havalandırma sistemleri mevcuttur ve bunların farklı transfer verim ve transfer hız değerleri vardır. Yüksek transfer verimine (% 10-30) sahip olan ince kabarcıklı havalandırma sistemlerinin kullanıldığı atıksu arıtma tesislerinde, tesis için gerekli toplam enerjinin ~%60-65’i havalandırma ünitelerinde harcanır (Pitas ve diğ, 2010; Malcolm ve diğ, 2011).

Havalandırma ünitelerinin yanında karıştırma için de oldukça önemli miktarlarda enerji ihtiyacı söz konusudur. Atıksu arıtımının birçok kademesinde (sıvı süspansiyonlarını karıştırılması, flokülasyon, ısı transferi, aktif çamur prosesinde havalandırma tankı içeriğinin karıştırılması v.b) karıştırma gereklidir. Aktif çamur sistemlerinde havalandırma sistemi aynı zamanda karışımı da sağlar. İkincil arıtma için gerekli enerji miktarı için literatürde çeşitli değerler mevcuttur. Konvansiyonel aktif çamur sistemleri ve uzun havalandırmalı aktif çamur sistemlerinin enerji kullanımları Çizelge 3.3’de verilmektedir.

Çizelge 3.3: Konvansiyonel aktif çamur sistemleri ve uzun havalandırmalı aktif çamur sistemlerinin enerji kullanımları (Plappally ve diğ, 2012; WEF, 2009; Yang ve diğ, 2010).

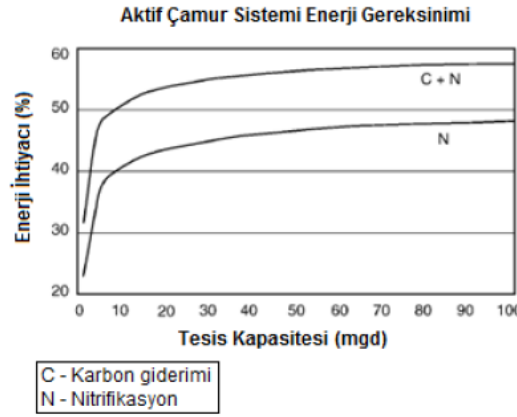
Tesisler	Enerji Kullanımları (kWh/m ³)	
	Konvansiyonel Aktif Çamur Sistemi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Sistemi
Avusturalya	0,46	0,5-1,0
Çin	0,269	0,302
Japonya	0,30-1,89	0,43-2,07

Konvansiyonel arıtma sistemleri çıkışında arıtılmış atıksuda kalan AKM, çözülmüş madde, organik maddeler vb. gibi kirleticilerin giderimi ileri arıtma sistemleri ile sağlanmaktadır. İleri arıtmada (üçüncül arıtma) yoğun enerji kullanımı söz

konusudur. Atıksuda bulunan besi maddesi giderim prosesine (nitrifikasyon, denitrifikasyon ve biyolojik fosfor giderimi) bağılı olarak enerji tüketimi gerçekleşir. Örneğin, Japonya’da ileri atıksu arıtma prosesi için verilen enerji sarfıyatı 0,39-3,74 kWh/m³ aralığındadır (Plappally ve diğ., 2012; WEF, 2009; Yang ve diğ., 2010).

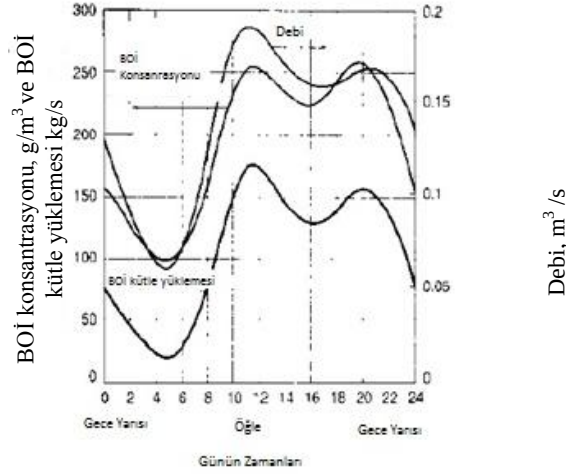
3.2.1 Farklı Atıksu Arıtma Proseslerinin Enerji Kullanımları Bakımından İncelenmesi

Atıksu arıtma tesislerinde enerji üretimi, tüketimi ve tesisin verimi kapasiteye ve atıksu karakteristiğine göre bağılı olarak değişiklik göstermektedir. Bir aktif çamur sisteminin enerji gereksiniminin tesis kapasitesiyle ilişkisini gösteren grafik Şekil 3.6’da verilmiştir. Şekil 3.6’da karbon giderimi olan tesisler ile karbon+azot giderimi olan tesisler ayrı eğriler ile gösterilmiştir.



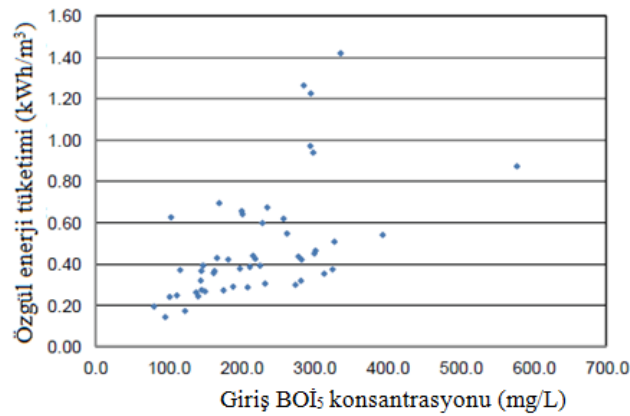
Şekil 3.6: Aktif çamur sisteminde tesis büyüklüğüne göre enerji ihtiyacı (Metcalf&Eddy, 2003).

Tesis kapasitesinin yanında tesise gün içinde giren debi ve BOİ konsantrasyonu da tesis enerji kullanımında etkilidir. Tesis debisi ve yükü (BOİ konsantrasyonu) günün farklı saatlerinde değişiklik göstermektedir ve bu değişimi gösteren eğri tipik bir Şekil 3.7: 3’de verilmiştir. Atıksu arıtma tesisleri için günlük elektrik kullanımı eğrisi çizilecek olursa bu eğrinin de Şekil 3.7’deki gibi gün ortası ile akşamüstü saatler arasında pik değere ulaşması beklenmektedir. Gün boyunca atıksu akımındaki yük değişikliklerine bağılı olarak tesiste pompalama, havalandırma ve katı madde işlenmesi için enerji gereksinimleri ortaya çıkmaktadır. Bazı tesisler değişken yük koşullarını karşılayabilmek için ekipman işletim programlarını değiştirirken; diğerleri sistem bileşenlerini (havalandırma pompaları gibi) sürekli olarak ve tam kapasite ile çalıştırmayı tercih etmektedirler (Metcalf&Eddy, 2003) .



Şekil 3.7: Eysel atıksu yükü ve debisinin gün içindeki değişimi (Metcalf&Eddy, 2003).

Özgül enerji tüketimi atıksu arıtma tesisine giriş yükünün (KOI , BOI_5 , TN) artışı ile artmaktadır. Şekil 3.8’de yüksek kapasiteli bir atıksu arıtma tesisinde atıksuda giriş BOI_5 yükü ile özgül enerji tüketimi arasındaki ilişki verilmiştir. Şekilde ham atıksuyun yüksek BOI_5 yüküne bağlı olarak yüksek enerji ihtiyacı olduğu görülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda BOI_5 yükü 92 mg/L olan Brezno AAT’nde özgül enerji, tüketimi 0,14 kWh/m³, 122 mg/l olan Martin AAT’nde 0,17 kWh/m³ olduğu belirlenmiş ve bu gibi tesis yükü ve enerji kullanımına ait benzer örnekler ile elde edilen sonuçlar desteklenmiştir. Ortalama olarak giderilen BOI_5 başına kullanılan enerji de literatürde farklılık göstermektedir. Bu değerler Bratislava AAT için 1,92 kWh/kg BOI_5 , Prague AAT içi 1.5 kWh/kg BOI_5 , İsveç’te bulunan AAT’leri için ise 1,5-40 kWh/kg BOI (medyan: 4,5 kWh/kg BOI) aralığında verilmiştir.



Şekil 3.8: AAT’lerde BOI_5 konsantrasyonu ile özgül enerji tüketimi ilişkisi (Bodik ve diğ, 2013).

Atıksu arıtma tesislerinin kapasitelerinin yanında proses seçimi de enerji kullanımını etkileyen önemli bir faktördür. Çizelge 3.4’de 3 farklı proses için enerji kullanım değerleri verilmiştir (EPRI, 2002). Atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılan damlatmalı filtre, konvansiyonel aktif çamur ve ileri arıtım (aktif çamur + hızlı kum filtresi) prosesleri ile ilgili kullanımlar Çizelge 3.4’de verilmiştir. Tabloda tesis kapasiteleri de yer almakta olup enerji değişimlerinin kapasiteye bağlı değişimleri de proses bazında gösterilmektedir.

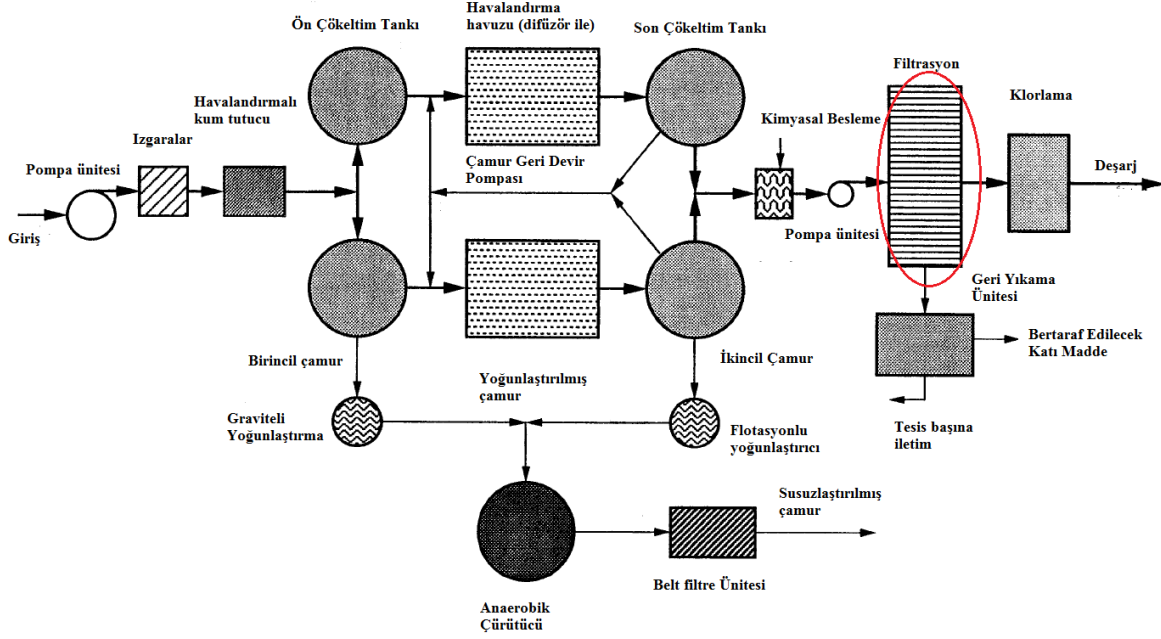
Çizelge 3.4: Atıksu arıtma proseslerinin elektrik tüketiminin tesis kapasitelerine bağlı değişimleri (EPRI, 2002).

Arıtma Tesisi Boyutu m ³ /gün	Birim Elektrik Tüketimi (kWh/m ³)		
	Damlatmalı Filtre	Konvansiyonel Aktif Çamur	İleri Atıksu Arıtma
3,785 m ³ /gün	0,479	0,591	0,686
18,925 m ³ /gün	0,258	0,362	0,416
37,850 m ³ /gün	0,225	0,318	0,372
75,700 m ³ /gün	0,198	0,294	0,344
189,250 m ³ /gün	0,182	0,278	0,321
378,500 m ³ /gün	0,177	0,272	0,314

Damlatmalı filtre prosesinde atıksu ızgara ve kum tutucu sonrası ön çökeltme havuzu ve biyolojik arıtmanın gerçekleştiği biyolojik filtrasyon sonrası son çökeltmeye alınmaktadır. Atıksu deşarj öncesi klorlama ile dezenfekte edilmektedir.

Konvansiyonel aktif çamur prosesinde atıksu ızgara ve kum tutucu sonrası ön çökeltme tankına alınarak katı madde bir miktar ayrılarak havalandırma havuzuna verilmektedir. Daha sonra son çökeltme tankına gelen atıksu klorlanarak deşarj edilmektedir.

Çizelgede verilen ileri atıksu arıtımı konvansiyonel aktif çamur prosesi ile oldukça benzerlik göstermektedir. Ancak ileri arıtma prosesinde deşarj öncesi filtrasyon ünitesi mevcuttur (Şekil 3.9). Bu proses azot, fosfor ve katı madde giderimi konvansiyonel aktif çamur sisteminin üzerindedir.



Şekil 3.9: İleri atıksu arıtma tesisi şematik gösterimi (EPRI, 2002).

İleri arıtma prosesini konvansiyonel aktif çamur prosesinden ayıran özellik biyolojik arıtmadan çıkan akımın deşarj öncesi filtrasyon ünitesi bulunmasıdır. Beklenildiği gibi tesis kapasitesinin artması ile ünitelerde kullanılan özgül elektrik miktarı azalmaktadır. Bunun yanında, ileri arıtma prosesinin damlatmalı filtre prosesine göre 3 kat kadar yoğun elektrik ihtiyacına sahip olabileceği de gözükmemektedir.

Besi maddesi (N, P) giderimli aktif çamur sistemi ile işletilen bir arıtma tesisinde yıllık kullanılan enerji miktarı yaklaşık olarak 0,003-0,015 kWh/kişi.yıl olarak verilmektedir (Svardal, 2011). Atıksu arıtma tesislerinde dış enerji alımını azaltmak ve hatta sıfıra indirmek mümkündür. Ancak enerji kullanımının azaltılmasının, deşarj kalitesini etkilememesi daha önemli bir husustur.

Avusturalya'daki bir atıksu arıtma tesisinde (AAT) yapılan çalışma sonucu ünitelerin enerji kullanımları aşağıdaki Çizelge 3.5'te özetlenmiştir (Olsson, 2012).

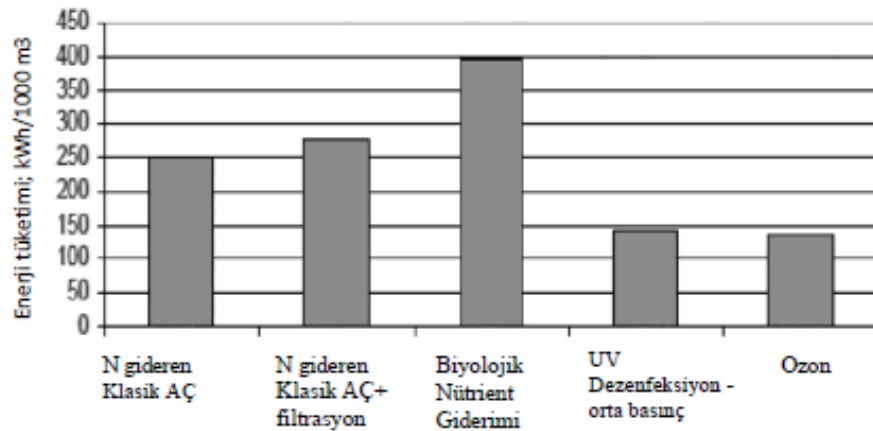
Çizelge 3.5: Avusturalya'daki bir AAT'nde bulunan ünitelerin enerji gereksinimleri (Kenway ve diğ, 2008).

Ünite	kWh/m ³ (min, max)	kWh/m ³ (ort.)
Birincil arıtma	0,1-0,37	0,22
Biyolojik arıtma (C giderimi)	0,26-0,82	0,46
İleri arıtma (C, N, P giderimi)	0,39-11	0,90

Aktif çamur prosesi için en önemli parametrelerden biri çamur yaşıdır (θ_c) . $\theta_c = 6-10$ gün aralığında işletilen aktif çamur sistemleri, 20°C sıcaklıkta % 90 üzerinde BOİ

giderimi sağlayabilmektedir (Öztürk ve diğ, 2005). Çamur yaşı 8~10 güne ulaştığında nitrifikasyon süreci başlamaktadır. Nitrifikasyon sıcak iklim koşullarında hızlanırken, soğuk ortamlarda yavaşlamaktadır. Çamur yaşının 20 gün olması durumunda, nitrifikasyon büyük oranda tamamlanır. Karbonlu madde giderimi ve nitrifikasyon için gerekli oksijen ihtiyacı, yalnız karbonlu madde oksidasyonu için gerekli oksijen ihtiyacına göre ~ %30-40 daha fazladır. Çamur yaşı 6-7 gün tutularak, ılıman iklimlerde en az güç ihtiyacı ile maksimum karbonlu madde giderimi sağlanabilir. Bunun yanında havalandırma tankı, çamur çökeltim ve susuzlaştırma prosesleri de enerji tüketimini etkileyen üniteler arasında yer almaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde enerji sarfıyatının yüksek olduğu pompaj noktalarında kullanılan enerji büyük oranda pompa kapasitesi ve sayısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Atıksu arıtma tesislerinde bulunan çok sayıda pompa tesiste tüketilen toplam enerjinin önemli kısmını oluşturmaktadır. Bu durum, pompa istasyonlarında sağlanacak enerji tasarrufunu önemli kılmaktadır. Tesiste bina ve aydınlatmada kullanılan enerji miktarı ise diğer ünitelere kıyasla oldukça düşüktür. Yeni binalarda kullanılan ekipmanların eski binalardakilere (> 20 yıl) oranla daha az enerji tükettikleri tespit edilmiştir (Menender ve diğ, 2010).

Atıksu arıtma tesislerinde ileri arıtma ünitelerinin varlığı, tesisin özgül enerji tüketimini arttırmaktadır. Şekil 3.10'de görüldüğü üzere, tesiste UV ve ozon ile dezenfeksiyon ünitelerinin bulunması, tesis enerji kullanımını 0,1-1,15 kWh/m³ artırmaktadır. Tesiste ters osmoz prosesi kullanılması ise özgül enerji tüketimini yaklaşık 3 katına çıkartmaktadır (Monteith ve diğ, 2007).

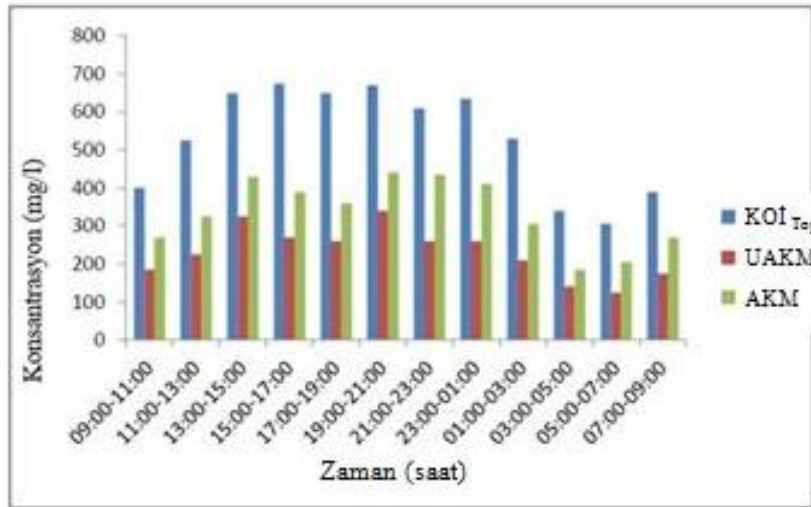


Şekil 3.10: UV ve ozon ile dezenfeksiyon üniteleri içeren bir atıksu arıtma tesisinin enerji tüketimi (Monteith ve diğ, 2008).

3.2.2 Dünyada ve Türkiye’de Bulunan AAT’ler ve Enerji Kullanımları

Dünya genelinde yapılan çalışmalar ve çalışma sonucu elde edilen enerji verilerinin tesisler arası kıyaslanması ile enerji tüketimine yönelik benzer yaklaşımlar ülkemizde henüz çok yetersizdir. Zira atıksu arıtma tesislerinin enerji kullanımları tesis yerleşimine, arıtma kademesine, seçilen arıtma prosesine, işletimine, atıksu karakteristiğine, hidrolik şartlara ve enerji geri kazanım önceliğinin gözetilmesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Benzer proses kriterlerine sahip tesislerin kıyaslanması yolu ile performans artırıcı uygun iyileştirmeler sağlanabilmektedir.

Atıksu arıtma tesisleri, enerji tüketimlerinin gün içerisinde minimum ve maksimum olduğu zaman dilimlerine uygun olarak tasarlanmalıdır. Bunun nedeni, günün pik saatlerine bağlı olarak tesise gelen kirlilik yükünün ve bunla birlikte enerji tüketiminin de artmasıdır. Şekil 3.11’de Paşaköy AAT için gün içinde tesise giren yük değişimi verilmektedir (Nuhoğlu, 2012). Tesise giren yükün artması tesis ünitelerinin çalışma kapasitelerini etkilemekte ve enerji kullanımlarını değiştirmektedir.

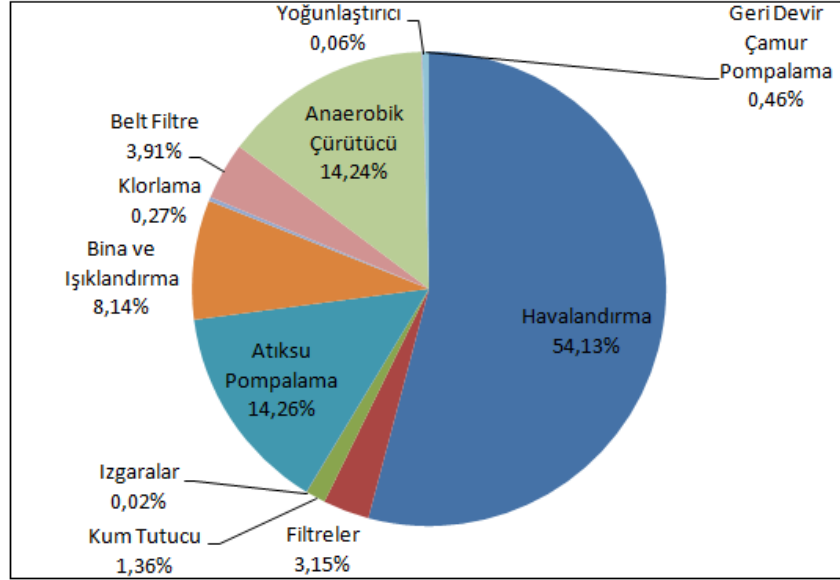


Şekil 3.11: Paşaköy AAT günlük giren konsantrasyon değişimi (Nuhoğlu, 2012).

3.2.2.1 Dünyada Bulunan AAT’ler ve Enerji Kullanımları

Dünya genelinde atıksu arıtma tesislerinde enerji kullanımını prosese bağlı olarak 1,073-4,630 kWh/Mgal aralığında değişmektedir (SBW Consulting, 2002). Biyolojik arıtma ve UV dezenfeksiyon üniteleri en yoğun enerji kullanımına sahip ünitelerdir. Yaklaşık 1MGD kapasiteli bir aktif çamur tesisinde arıtma için gerekli toplam enerji miktarı ortalama 1,690 kWh/MG olarak verilmiştir (Halim, 2012)

Şekil 3.12’de tipik bir atıksu arıtma tesisinin enerji dağılımı verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi enerji yoğun olarak havalandırma, pompalama ve anaerobik çürütmenin gerçekleştiği ünitelerde tüketilmektedir.

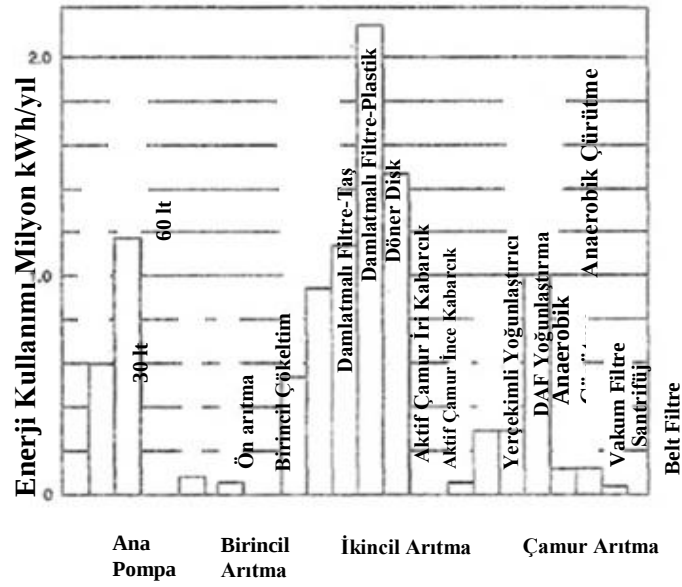


Şekil 3.12: Atıksu arıtma tesisi enerji dağılımı (Hawzen ve Sawyer, 2012).

Evsel atıksuların arıtılmasında yaygın kullanıma sahip olan konvansiyonel aktif çamur sisteminde enerji kullanımının dağılımına bakılırsa en yoğun elektrik tüketiminin ikincil (biyolojik) arıtmada olduğu görülmektedir (Şekil 3.13). Bunun yanında terfi için ve varsa anaerobik çürütme için kullanılan enerji miktarı da oldukça önemlidir.

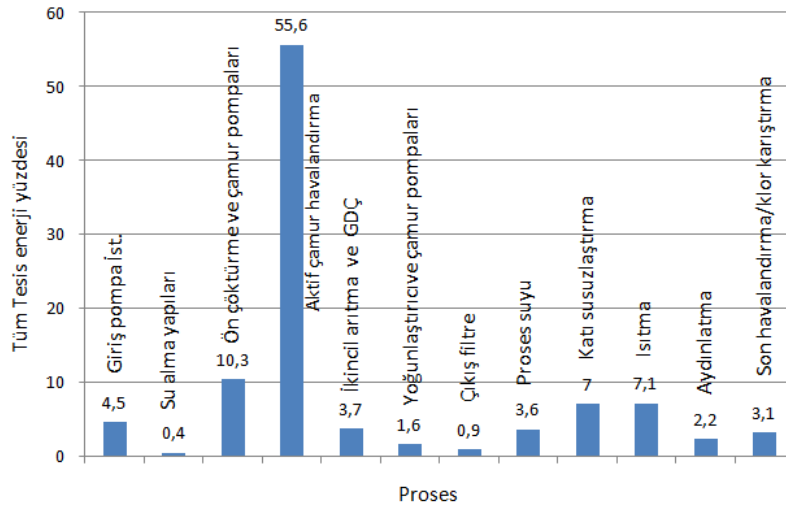
Konvansiyonel bir atıksu arıtma tesisinde elektrik tüketiminin en yoğun olduğu birimler;

- (1) Aktif çamur prosesinde havalandırma veya damlatmalı filtrelerde giriş akımının pompalaması ve çıkış akımının geri devri,
- (2) Atıksu, çamur, biyokatılar ve proses suyunun iletimi için pompalama sistemleri,
- (3) Arıtma çamurunun işlenmesi, susuzlaştırması ve kurutulması için kullanılan ünitelerdir.



Şekil 3.13: İkincil arıtma prosesinde tipik enerji kullanım profili (WEF, 2009).

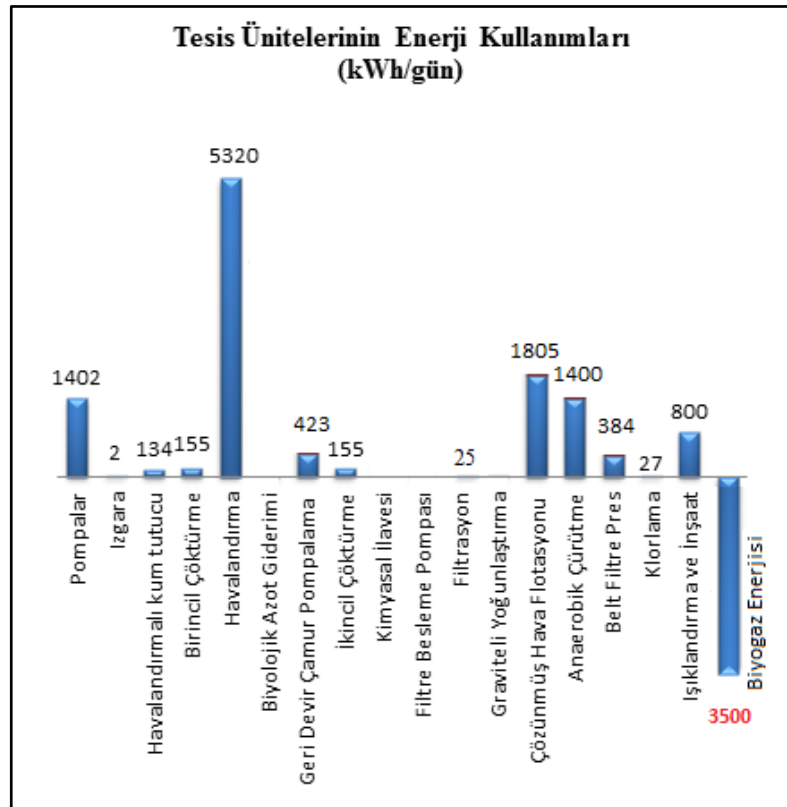
Aktif çamur sisteminde, her 1.000 m³'lük atıksu başına 1.100-2.400 MJ'lük elektrik enerjisi gerekmektedir (Metcalf&Eddy, 2003). Bu enerjinin tesis içindeki yüzdelik dağılımı Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



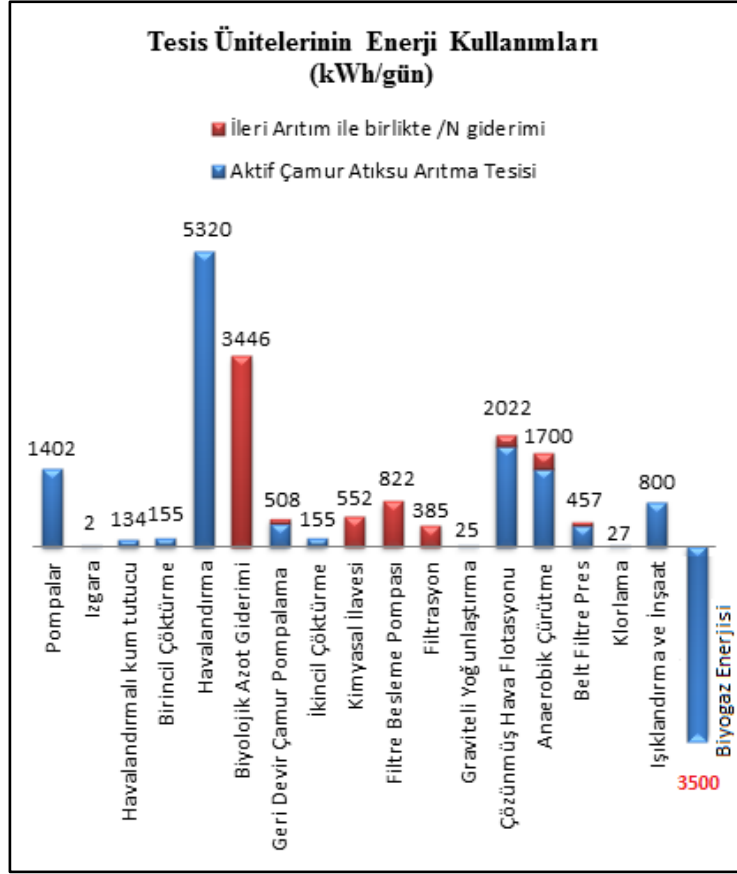
Şekil 3.14: Aktif çamur prosesi uygulanan mevcut bir atıksu arıtma tesisinde ünite bazlı enerji dağılımı.

Şekil 3.14'de görüldüğü gibi enerjinin büyük bir kısmı (~%60) havalandırma için kullanılmaktadır. Bunun yanında pompaların toplam kullanımı (~%20), katı susuzlaştırma (~%7), ısıtma ve aydınlatma (~%10) için gerekli enerji dağılımları da verilmiştir.

Şekil 3.15’de ve Şekil 3.16’da ~ 38.000 m³/gün kapasiteli bir arıtma tesisine ait ünitelerin elektrik tüketim değerleri verilmiştir. Şekil 3.15’te verilen tesisin üniteleri toplamda 8.532 kWh/gün elektrik tüketmekte olup, 3.500 kWh/gün elektrik biyogaz tesisi tarafından geri kazanılmaktadır. Sonuç olarak, bu tesisin günlük olarak net 5.032 kWh enerji ihtiyacı bulunmaktadır. Şekil 3.16’da aynı tesise nitrifikasyon, filtrasyon gibi ileri arıtma prosesleri eklendiğinde net enerji ihtiyacı 14.412 kWh/gün’e çıkmıştır. Sonuç olarak konvansiyonel sistem ile ileri arıtma prosesleri içeren sistem arasında %69 oranında enerji ihtiyacı artışı söz konusudur.



Şekil 3.15: ~ 38.000 m³/gün kapasiteli konvansiyonel bir AAT için enerji tüketimi.



Şekil 3.16: ~ 38.000 m³/gün kapasiteli ileri arıtım yapan bir AAT için enerji tüketimi.

Su ve atıksu arıtımı için gerekli enerji miktarı dünya genelinde farklılık göstermektedir. Bölüm 3.2.1’de dünya genelinde bulunan tesislerin literatürdeki enerji kullanım değerleri ünite ve nüfus bazlı olarak verilmiştir. Bu bölümde tesiste ihtiyaç duyulan enerjinin ham atıksudan karşılandığı örnek 2 tesis incelenmiştir. Ulu Pandan (Singapur) ve Strass (Avusturya) Atıksu Arıtma Tesisleri’nde tesis performans izlemesi ve enerji tüketimi optimizasyonu amacıyla tesis çapında kütle dengesi oluşturulmuştur. Anaerobik çürütücü ile biyogaz üretilen bu tesisler, enerji potansiyeli yüksek ham atıksuyun arıtımı ile tesis enerjisini karşılayabilir nitelik kazanmıştır.

- **Strass Atıksu Arıtma Tesisi**

Avusturya’nın batısında yer alan Strass Atıksu Arıtma Tesisi 1980’lerin sonunda inşa edilmiştir. Tesisin eşdeğer nüfusu mevsimsel olarak değişiklik göstermekte ve 90.000-200.000 arasında değişmektedir. Şekil 3.17’de tesis görünüşü verilmektedir.



Şekil 3.17: Strass AAT görünüşü, 1996 (<http://www.aiz.at/klaeranlage.htm>).

Tesiste Arıtma prosesi 2 basamaklı biyolojik arıtma (AB prosesi, adsorpsiyon-biyolojik oksidasyon, prosesi) ile gerçekleşmektedir. İki kademeli bir biyolojik arıtma sistemi olan AB prosesi, her iki kademesi de aerobik olan ve birinci kademesi yüksek, ikinci kademesi ise düşük organik yükleme ile çalışan sistemlerdir. İlk adım olan A kademesinde $\sim$ %55-65 organik giderim söz konusudur. B kademesinde ise ön denitrifikasyon ile azot giderimi yapılmaktadır. Prosesin temel amacı ikinci kademe olan B kademesinde %80 TKN giderimi sağlayarak çıkışta 5 mg/L amonyak konsantrasyonunu sağlamaktır. A kademesinde çamur bekletme süresi $\sim$ 12 saat, B basamağında ise 10 gündür (Wett ve diğ, 2007).

Tesisin aktif çamur tanklarında havalandırma çevrimiçi amonyak sensörleriyle kontrol edilmektedir. Bu sensörler ünite çıkışında NH_4 ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu denetimini yapmaktadır. Denklem (3.3), (3.4) ve (3.5) uyarınca denitrifikasyon ve nitrifikasyon tanlarında çözünmüş oksijen değerinin kontrolü sağlanmaktadır:

$$1 \leq \text{NH}_4 \leq 2 \Rightarrow \text{ÇO}_{\text{nitrifikasyon}} = 1,7 \text{ mg/L ve } \text{ÇO}_{\text{denitrifikasyon}} = 0 \text{ mg/L} \quad (3.3)$$

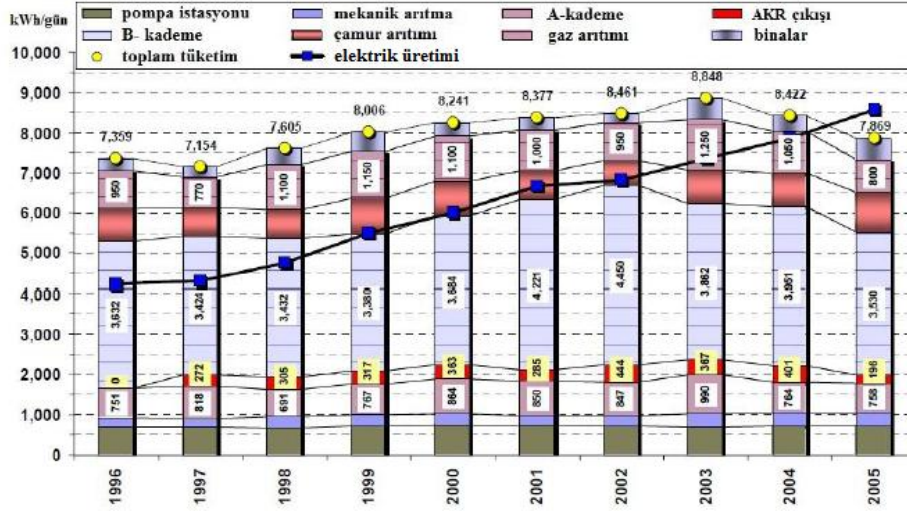
$$\text{NH}_4 < 1 \Rightarrow \text{ÇO} = 0 \text{ mg/L nitrifikasyon ve denitrifikasyon için} \quad (3.4)$$

$$\text{NH}_4 > 3 \Rightarrow \text{ÇO} = 1,7 \text{ mg/L nitrifikasyon ve denitrifikasyon için} \quad (3.5)$$

Strass AAT'de B kademesinde tüketilen enerji tesis enerji tüketiminin $\sim$ %50'sine karşılık gelmektedir. Pompalama ve koku ünitesi için kullanılan enerji miktarı oldukça yüksektir. Tesis merkezinde, ızgaralar, kum tutucu, biyolojik arıtma

havuzları bulunmaktadır. Ünitelerden toplanan gaz doğrudan kompost filtreye pompalanır ve bu sistem yüksek miktarda enerji gerektirmektedir.

Strass AAT’de biyolojik atıksu arıtma prosesleri ile ilgili 1996’dan bu yana enerji verimliliği çalışmaları yapılmaktadır. Tesisin enerji yeterli hale gelmesi i verimliliği 1996 yılında %49 iken 2005 yılında %108 değerine yükselmiştir. Şekil 3.18’de Strass AAT’nin 1996 yılından bu yana enerji tüketimi gösterilmektedir.

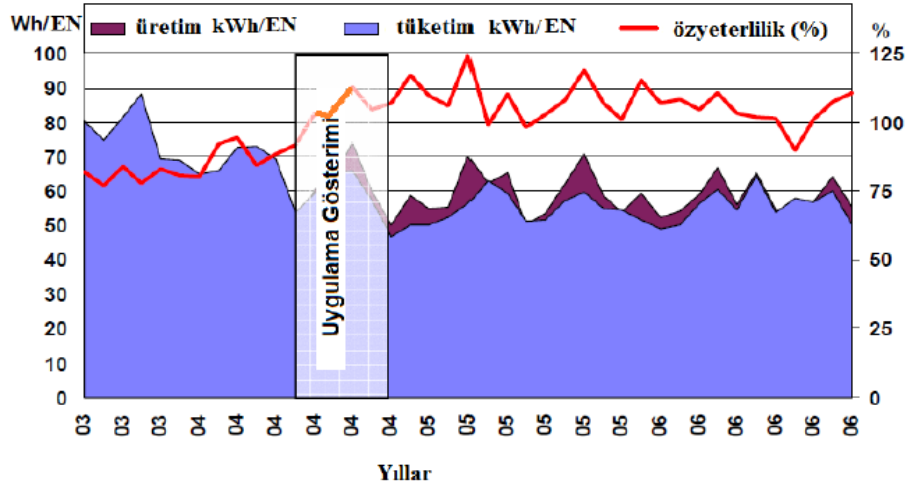


Şekil 3.18: Strass AAT’inde enerji üretim ve tüketiminin yıllara göre değişimi (Wett ve diğ, 2007).

Tesiste yapılan enerji tasarruf tedbirlerinden biri 2001 yılında kombine ısı ve güç ünitesi (CHP) kurulmasıdır. Şekilden de görüldüğü gibi tesis enerji üretim ve tüketimi 2001 yılına kadar paralel olarak artmıştır. Ancak 2001 yılı sonrası tesis net enerjisi oldukça azalmış ve 2004 sonrası tesis enerji ihtiyacının fazlasını karşılar niteliğe gelmiştir. Tesise yeni kurulan CHP ünitesinin biyogazı elektrik enerjisine 340 kWh güç verimi ile dönüştürmesi tesis enerji dengesi açısından önem taşımaktadır. Strass AAT’de 26 L/gün biyogaz üretimi ve üretilen biyogazın %38 verimle elektrik enerjisine çevrimi gerçekleşmektedir (Wett ve diğ, 2007). Üretilen elektrik tesiste aerobik proseslerde kullanılmaktadır.

Strass AAT’de, AKR sistemi nitrifikasyon ve denitrifikasyona imkan verecek tarzda kesikli havalandırılmalı özel bir proses olarak işletilmiş ve karbon kaynağı olarak A kademesi fazla çamuru kullanılmıştır. Tesiste Deamonifikasyon prosesinin (DEMON) uygulanmaya başlanmasıyla (2004) fazla karbona ihtiyaç duymadan yüksek hacimde çamurun metan içeriğini % 59’dan %62 ye yükseldiği gözlenmiştir.

Ayrı yan akım arıtımı sayesinde B kademesinde sağlanan havalandırma enerjisi azaltımı ve çamur çürütücülerde elde edilen ilave biyometan üretiminin sağladığı toplam enerji tasarrufu %12 olarak gerçekleşmiştir. Strass AAT genelindeki enerji yeterliliği ise ~%108 düzeylerine yükselmiştir (Wett ve Dengg, 2006), (Şekil 3.19). Tesiste üretilen ~19,9 kWh/N.yıl civarındaki enerjinin ~%45'i havalandırıcı ve karıştırıcılarda, ~%55'i ise diğer birimlerin ihtiyaçları için kullanılmaktadır.



Şekil 3.19: Strass AAT'ine deamonifikasyon uygulanmasıyla enerji dengesindeki değişim (Wett ve diğ, 2007).

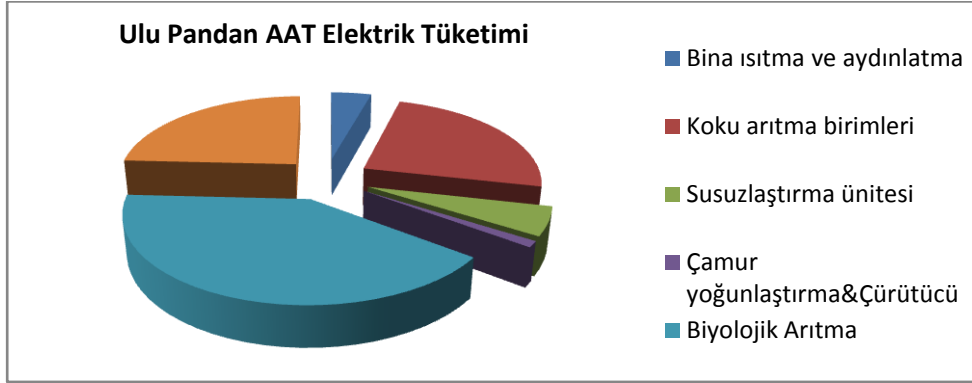
• Ulu Pandan Atıksu Arıtma Tesisi

Singapur'da bulunan evsel atıksu arıtma tesislerini arasında 2. büyük tesis olan Ulu Pandan AAT 1961 yılında işleme alınmış ve daha sonra ünite bazlı iyileştirmeler yapılmıştır. Tesis % 90 oranında evsel atıksu ile beslenmektedir ve dizayn kapasitesi 361.000 m³/gün'dür. Tesiste mezofilik şartlarda işletilen biyogaz ünitesi ile elektrik üretilmekte ve enerji geri kazanımı sağlanmaktadır. Şekil 3.20'de tesis ünitelerinin enerji tüketim dağılımı görülmektedir.

Ulu Pandan AAT için yapılan çalışmada 2010 yılı boyunca giriş-çıkış parametreleri, debi, gaz üretimi ve içeriği, çamur debisi aylık olarak raporlanmış ve kütle dengesi çıkartılmıştır. Çıkartılan karbon dengesine göre tesise giren KOİ yükünün % 30,2'si ve giriş azot yükünün %11,2'si ön çökeltme ile giderilmektedir. Tesiste biyolojik arıtma ile bu yükün % 52,8'i giderilmiştir. Ön çökeltmeden çıkan çamur ile susuzlaştırılmış biyolojik çamur (% 44,9) anaerobik çürütücüye beslenerek 22.424 m³/gün (36.944 kg KOİ/gün) net biyogaz üretimi gerçekleşmektedir. Bu değer tesise

giren KOİ yükünün ~%17,9'unu ifade etmektedir. Çürütücüye beslenen çamur akımı aynı zamanda giriş azot konsantrasyonunun % 22,6'sını da içermektedir.

Ulu Pandan AAT'nde özgül enerji tüketimi 0,52 kWh/m³ olup enerji üretimi 0,15 kWh/m³tür (Yeshe ve diğ, 2012). Tesisdeki toplam enerji tüketiminin % 42,4'ü biyolojik arıtmada havalandırma için kullanılmaktadır. Koku giderimi ve pompa için kullanılan enerji miktarı ise tesis kullanımının % 27,6'sıdır.



Şekil 3.20: Ulu Pandan AAT için enerji tüketimi dağılımı (Yeshe ve diğ, 2012).

Tesisin performans verileri Strass AAT ile kıyaslanarak iyileştirme alternatifleri sunulmuştur. AB prosesi kullanılan Strass AAT'nde A kademesine gelen yüksek organik yük nedeniyle çürütücüye beslenen KOİ yükü Ulu Pandan AAT'ye oranla oldukça yüksektir. Bu da Strass tesisindeki elektrik üretim potansiyelini arttırmıştır. Düşük organik yüklü B kademesinde ön denitrifikasyon uygulanarak yıllık ortalama TKN giderimi % 80, çıkış konsantrasyonu da ~ 5 mg/L olmaktadır.

Ulu Pandan tesisinin kıyaslama yoluyla enerji optimizasyonu sonucu performans geliştirme ve enerji verimli tesis düzeyine gelebilmesi için; i) ön çökelme çamurundaki KOİ konsantrasyonunu arttırarak çürütücüye giren yük ve elektrik üretimini yükseltmek; ii) havalandırma için online sensörler kullanılarak gerekli enerji ihtiyacını düşürmek, iii) çamur ön arıtımı ile çürütücü verimini arttırmak şeklinde iyileştirmeler yapılması gerektiği tespit edilmiştir. Bu alternatiflerin uygulanması durumunda tesisin ~%50 enerji verimli hale gelmesi beklenmektedir (Yeshe ve diğ, 2012).

3.2.2.2 Türkiye'de Bulunan AAT'ler ve Enerji Kullanımları

Atıksu arıtma tesislerinde pompa ve havalandırma ekipmanları en fazla enerji tüketiminin gerçekleştiği ünitelerdir. Bu ünite ve ekipmanların işletiminde yaşanan

aksaklıklar enerji tüketimlerini arttıracaktır. Bu nedenle tesis dizaynı sırasında karşılaşılabilecek sorunlar da göz önüne alınmalıdır.

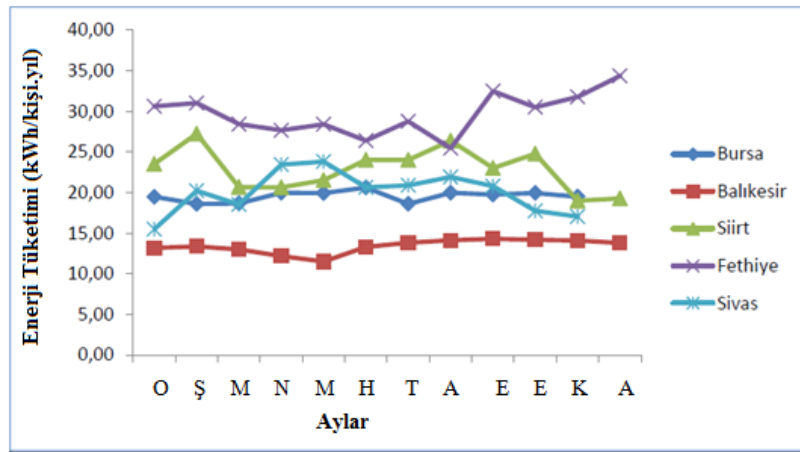
İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ), arıtma tesislerinde kullanılan enerjinin ~ %62'sinin pompa ekipmanlarında kullanıldığını belirtmektedir (Demir, 2010). Atıksuların tesis içinde graviteli veya cazibe ile taşınması durumunda pompa üniteleri ile ilgili önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Atıksu arıtma tesislerinde arıtma birim maliyeti genellikle tesis kapasitesinin artması ile artsa da bu değer pompa birimlerine bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle tesis performanslarının izlenebilmesi ve gerekli iyileştirmeler yapılabilmesi için tesislerdeki enerji tüketimlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Türkiye’de bulunan bazı atıksu arıtma tesisleri ile ilgili enerji kullanımına yönelik bilgiler bu bölümde verilmektedir. Aşağıda Balıkesir, Bursa, Fethiye, Siirt ve Sivas şehirlerindeki tesislerde bulunan arıtma prosesi bilgileri ve enerji kullanım verileri bulunmaktadır. Tesislerin ay bazında enerji kullanımlarını gösteren grafik Şekil 3.21’de verilmiştir (Nuhoğlu, 2012).

- Balıkesir atıksu arıtma tesisi (AAT), ön arıtma, biyolojik arıtma (damlatmalı filtre) ve çamur susuzlaştırma ünitesinden oluşmaktadır. Balıkesir AAT sırasıyla, kaba ızgara, ince ızgara, kum tutucu, ön çökeltim tankı, damlatmalı filtre pompaları, damlatmalı filtre, son çökeltim tankı, çamur dengeleme tankı, çamur stabilizasyon ve çamur susuzlaştırma ünitesi yer almaktadır. Tesisin yıllık ortalama enerji tüketim değerleri (2009 yılı için), KOİ yükü, debi ve eşdeğer nüfus bazında Çizelge 3.6’da verilmektedir.
- Bursa atıksu arıtma tesisi (AAT), ön arıtma, biyolojik arıtma (damlatmalı filtre) ve çamur susuzlaştırma ünitesinden oluşmaktadır. Pompa, ızgara, kum tutucu ve debi ölçüm cihazı bulunan ön arıtma ünitelerinden sonra biyolojik arıtma üniteleri gelmektedir. Dengeleme tankından biyolojik arıtma ünitesine verilen atıksu anaerobik, anoksik ve aerobik bölmelerden geçerek son çökeltim tankına alınır. Atıksu buradan çamur stabilizasyon tankına ve daha sonra bant filtre ünitesinin bulunduğu çamur susuzlaştırma birimine alınmaktadır. Tesisin yıllık ortalama enerji tüketim değerleri (2009 yılı için), KOİ yükü, debi ve eşdeğer nüfus bazında Çizelge 3.6’da verilmektedir.

- Fethiye atıksu arıtma tesisi ön arıtma, biyolojik arıtma ve çamur susuzlaştırma birimlerinden oluşmaktadır. Tesisin yıllık ortalama enerji tüketim değerleri (2009 yılı için), KOİ yükü, debi ve eşdeğer nüfus bazında Çizelge 3.6’da verilmektedir.
- Siirt ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi kaba, ince ızgara, giriş pompa istasyonu, havalandırmalı kum tutucu, biyolojik arıtma havuzu ve çamur susuzlaştırma ünitelerinden oluşmaktadır. Günlük arıtma kapasitesi 20.178 m3 olan tesisin yıllık ortalama enerji tüketim değerleri (2009 yılı için), KOİ yükü, debi ve eşdeğer nüfus bazında Çizelge 3.6’da verilmektedir.
- Sivas ileri atıksu arıtma tesisi ön arıtma, biyolojik arıtma (havalandırmalı aktif çamur) ve çamur susuzlaştırma birimlerinden oluşmaktadır. Tesisin yıllık ortalama enerji tüketim değerleri (2009 yılı için), KOİ yükü, debi ve eşdeğer nüfus bazında Çizelge 3.6’da verilmektedir.



Şekil 3.21: Farklı şehirlerdeki AAT’lerin enerji tüketimi.

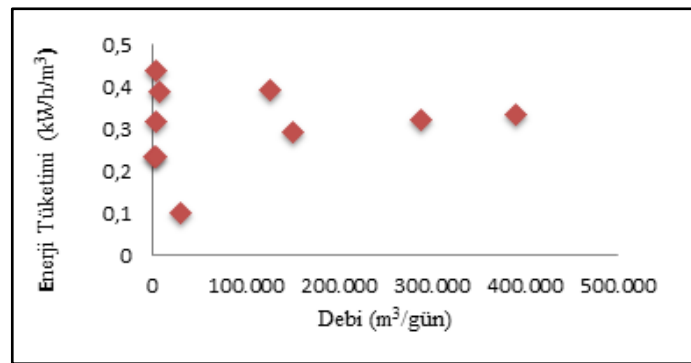
Şekil 3.21’de görüldüğü gibi Balıkesir, Bursa, Fethiye, Siirt ve Sivas’ta bulunan atıksu arıtma tesisleri arasında en yüksek enerji tüketimi Fethiye AAT’nde görülmektedir. Tesislerin aylık enerji dağılımlarına bakıldığında ise yaz ve kış dönemi değişen nüfus miktarının enerji tüketimine etkisinin düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.6: Farklı şehirlerde bulunan AAT'lerin yıllık ortalama enerji tüketimleri (Sistemyapı, 2009).

	Debi m ³ /gün	Eşdeğer Nüfus	Özgül enerji tük. kWh/m ³	Özgül enerji tüketimi kWh/EN.yıl
Balıkesir	49.582	240.000	0,18	13,39
Bursa	185.798	1.200.000	0,33	19,58
Fethiye	33.691	139.789	0,36	29,64
Siirt	12.146	82.550	0,36	22,83
Sivas	53.586	235.457	0,25	20,03

Ham atıksulardaki enerji ihtiyacı doğrudan N:KOİ oranı ile ilişkilidir. Bunun nedeni nitrifikasyon için gerekli oksijen miktarıdır. Dolayısıyla, N:KOİ oranının düşük olması azot giderimi ve enerji tüketimi için bir avantaj sayılmaktadır. Teorik olarak yapılan hesaplamalarda giriş atıksuyun N:KOİ oranı 0,10 bir tesiste arıtma için gerekli elektrik ihtiyacı 9 kWh/EN.yıl olarak verilirken; N:KOİ oranı 0,08 olan bir tesis için bu değer 5 kWh/EN.yıl olarak verilmiştir (Nowak, 2003).

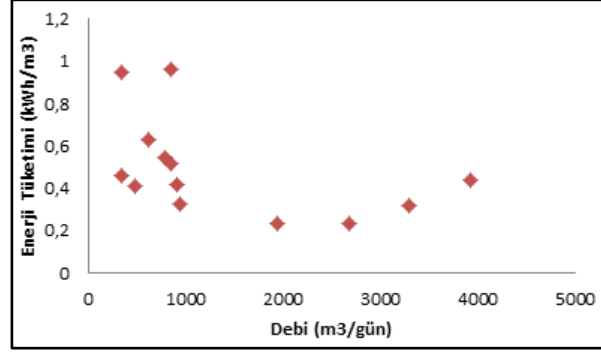
İstanbul'da Asya ve Avrupa Yakası'nda 2013 yılı itibari ile toplam 55 Atıksu Arıtma Tesisi mevcuttur. Bu sayıya Atıksu Ön Arıtma, Biyolojik Arıtma ve İleri Arıtma Tesisleri dahildir (İSKİ, 2013). Atıksu arıtma tesislerinde özgül enerji kullanımı, tesis enerji envanterinin oluşturulması bakımından önem taşımaktadır. İstanbul'da bulunan atıksu arıtma tesislerindeki enerji sarfiyatı 0,2910~1,4639 kWh/m³ aralığında değişmektedir (İSKİ, 2013). Şekil 3.22'de İstanbul'da bulunan biyolojik ve ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinin birim enerji dağılımları ve tesis debileri verilmiştir. Verilen grafikte EN>2000 olan tesisler dikkate alınmıştır.



Şekil 3.22: İstanbul'da bulunan biyolojik arıtma tesislerinin enerji tüketimleri.

Atıksu arıtma tesislerinde debinin ve tesise giren organik yükün artması ile tesisteki özgül enerji kullanımı azalmaktadır. Şekil 3.23'de İstanbul'da bulunan ve kapasitesi <5000 m³/gün olan tesislerin özgül enerji kullanımlarının dağılım grafiği bulunmaktadır. Bu tip küçük tesislerin ortalama özgül enerjisi 0,49 kWh'dir (0,2355-

0,9514 kWh aralığında). Yüksek enerji sarfıyatı, tesis kapasitesinin yanında tesis yaşı (15-25 yıl) ve tesislerin tasarlandıkları yük değerinin altında organik yük ile işletilmeleri gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Şekil 3.23’de aynı zamanda İstanbuldaki kırsal bölgelerde (Çatalca ve Şile köyleri v.b) bulunan arıtma tesislerinin de özgül enerji değerleri verilmektedir.



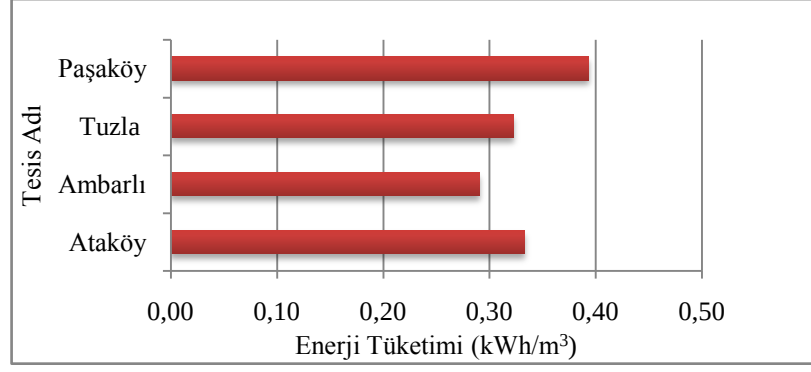
Şekil 3.23: İstanbul’da bulunan <5000 m³/gün kapasiteli biyolojik arıtma tesislerinin enerji tüketimi.

İstanbul’da bulunan ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri ön arıtma sonrası anaerobik, anoksik ve aerobik tankların bulunduğu biyolojik arıtma ünitesi, son çökeltim tankı, çamur arıtma ünitesi, koku kontrolü ve enerji üretim ünitesine sahiptir. Aşağıda verilen bu 4 tesiste (Ataköy, Ambarlı, Tuzla, Paşaköy) farklı kapasitede elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Tesislerin kapasiteleri, yıllık enerji tüketimleri Çizelge 3.7 ve Şekil 3.24’de; tesislerin arıtılan birim atıksu başına enerji üretimleri ise Çizelge 3.8’de verilmektedir.

Çizelge 3.7: Ataköy, Ambarlı, Tuzla ve Paşaköy ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinin enerji tüketimleri (İSKİ, 2012).

Tesis Adı	Bağlı Nüfus*	Eşdeğer	Debi m ³ /gün	Enerji Tüketimi kWh/ m ³	Enerji Tüketimi kWh/EN.yıl
Ataköy	1.650.000		329.648	0,33	24,2
Ambarlı	466.600		93.317	0,30	10,5
Tuzla	1.530.000		305.979	0,32	23,6
Paşaköy	680.000		136.000	0,40	28,8

*EN başına atıksu debisi ~200 L/kişi.gün alınmıştır.



Şekil 3.24: Ataköy, Paşaköy, Ambarlı atıksu arıtma tesislerinin enerji tüketimi.

Çizelge 3.8: Ataköy, Paşaköy, ve Tuzla ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde üretilen biyogaz, elektrik miktarı.

Tesis Adı	Debi m³/gün	Enerji Üretimi (kWh/m³)
Ataköy	329.648	0,20
Paşaköy	305.979	0,40
Tuzla	136.000	0,24

İleri biyolojik arıtma prosesinin diğer proseslere oranla daha yüksek enerji kullanımı söz konusudur. İleri arıtma da en yüksek enerji ihtiyacının havalandırma (~%38) ve giriş pompa istasyonunda (~%19) olduğu bilinmektedir. Bunun yanında çamur susuzlaştırma (%15), çamur kurutma (%13), son çökeltim (%12), koku kontrolü (%1) ve dezenfeksiyon ünitesinde (%1) enerji tüketimi söz konusudur (Demir,2010).

4. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ENERJİ OPTİMİZASYONUNA YÖNELİK UYGULAMALAR

Atıksu arıtma tesisleri ile ilgili enerji yönetim planlarının temel amacı arıtma performansından ödün vermeksizin enerji giderlerini azaltmaktır. Tesislerin ihtiyacı olan enerjinin bir kısmının tesis tarafından karşılanması (enerji ve karbon ayakizlerinin azaltımı) çevresel ve ekonomik boyutlarda önem taşımaktadır. Bu bölümde atıksu arıtma tesislerinde enerji optimizasyonuna yönelik uygulamalar anlatılmaktadır.

4.1 Arıtma Çamurlarından Biyogaz Eldesi

Atıksu arıtma tesislerinde arıtma sonrası oluşan çamurun arıtımı ve bertarafı toplam atıksu arıtma maliyetinin en az yarısını oluşturmaktadır (Egemen ve diğ., 2001; Yasui ve diğ., 1996). Anaerobik çürütme, çamur stabilizasyonu için kullanılan en eski proseslerden biridir. Bu proses moleküler oksijen yokluğunda organik ve inorganik maddelerin parçalanması olarak tanımlanmaktadır. Anaerobik çürütme işleminin en önemli avantajları çamurun stabilize edilerek organik madde içeriğinin azaltılması ve biyokatiya dönüşümü ile son ürün olan biyogazın bünyesindeki metanın enerji elde etmek amacıyla kullanılabilmesidir. Anaerobik çürütme prosesinin diğer üstünlükleri ise düşük enerji gereksinimi ve düşük çamur oluşumudur. Tipik bir anaerobik çürütme işleminde reaktörde alıkonma süresi 15 gün ya da daha fazla olmaktadır ve organik maddelerin parçalanma derecesi (UKM giderimi) %35 ile %50 arasında değişmektedir (Nickel ve diğ., 1999). Bu durum dikkate alındığında klasik anaerobik çürütme işleminin temel kısıtı; biyolojik çamurun hidrolizi için uzun bir süreç gerekmesi, dolayısıyla büyük çürütücü hacimlerine ihtiyaç duyulması ve organik maddenin >% 55 oranında parçalanmasının sağlanamamasıdır.

4.1.1 Çamur Ön Arıtımı ile Biyogaz Üretim Veriminin Arttırılması

Atıksu arıtma tesislerinde, arıtma işlemleri sonucunda oluşan arıtma çamurlarının anaerobik yöntemlerle stabilizasyonu; atık bünyesindeki organik madde içeriği ve

patojen mikroorganizma konsantrasyonunun azaltılması amacıyla günümüzde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Anaerobik çürüme prosesinin oldukça yavaş bir süreç olması ve çürüme sonrasında organik maddelerin tümüyle parçalanamaması nedeniyle tam stabilizasyonun sağlanamaması ve elde edilen biyogaz miktarının az olması araştırmacıları anaerobik çürümeyi hızlandıracak ve stabilizasyon derecesini artırmayı sağlayacak yeni yöntemler geliştirmeye yöneltmiştir. Arıtma çamuru disintegrasyonu, dış gerilmeler uygulanarak arıtma çamuru yapısının deforme edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Hücre duvarının parçalanması ile hücre duvarı tarafından korunan maddeler sıvı faza geçmekte, çözünür forma dönüşmektedir (Vranitzky ve diğ., 2005). Disintegrasyon sonrasında sıvı faz, hücre içi bileşenleri olan aminoasit, nükleik asit, yağ asitleri gibi çözülmüş organik bileşikler ve çözünebilir formdaki diğer organik bileşenleri içermektedir. Sıvı faz karbon, azot ve fosfor bileşikler açısından oldukça zengindir. Karbon bileşikler daha sonraki biyolojik proseslerde kolaylıkla parçalanabildiklerinden bu bileşikler atıksu arıtımında denitrifikasyon veya ileri biyolojik fosfor giderimi proseslerinde karbon kaynağı olarak kullanılabilir (Müller ve diğ., 2004; Vranitzky ve diğ., 2005). Disintegre edilen çamurların anaerobik çürümesi, organik maddenin ileri derecede parçalanması sebebiyle yüksek dereceli bir stabilizasyona imkan sağlamakta ve bu şekilde stabilize edilmiş atık anaerobik çamur miktarı klasik anaerobik çürüme işlemi ile karşılaştırıldığında % 30 - 40 oranında azaltılabilmektedir.

Disintegrasyon işlemi ile köpük problemi olan çamurlarda iplikli yapıyı parçalamak (bozmak) mümkün olmakta ve dolayısıyla çamurun çökeltme özellikleri de geliştirilmektedir.

Disintegrasyon işlemi ile çamur yapısında meydana gelen değişimlerden biri de çamurun viskozitesinin azalmasıdır. Çamurun viskozitesindeki azalma çamurun karıştırma ve pompalama işlemlerinin kolaylaştırılması açısından oldukça önemlidir (<http://www.jomuell.de/english/indexengl.html>, 2005).

Anaerobik çürüme öncesinde ön arıtma olarak özellikle fazla (atık) aktif çamuradisintegrasyon işlemi uygulandığında; hız sınırlayıcı aşama olarak ifade edilen hidroliz reaksiyonu hızlandırılmakta; dolayısıyla anaerobik çürüme tankındaki bekleme süresi ve çürütücü tank hacmi azalmaktadır.

Çamurun disintegrasyon işlemi sonrasında indirgenebilirlik özelliğini değerlendirmek amacıyla disintegrasyon derecesi (DD) parametresi

kullanılmaktadır. Bu parametre aşağıdaki bağıntı kullanılarak % olarak hesaplanmaktadır.

$$DD = [(KOİ_1 - KOİ_2) / (KOİ_3 - KOİ_2)]. 100 \quad (4.1)$$

Burada;

KOİ₁: disintegrasyon sonrasında çamur sıvısındaki KOİ konsantrasyonu,

KOİ₂: ham çamur sıvısındaki KOİ konsantrasyonu,

KOİ₃: kimyasal disintegrasyon sonrasında çamur sıvısındaki KOİ konsantrasyonu dur.

Hücre parçalanmasını kolaylaştırmaya yönelik olarak mekanik, kimyasal ve termal yöntemler uygulanmaktadır. Bu bölümde geliştirilen yöntemlerden bazıları açıklanmıştır:

4.1.1.1 Kimyasal Yöntemler

4.1.1.1.1 Ozonlama

Ozonlama ile deaktive olmuş biyokatılar biyolojik parçalanma için çok iyi bir besin kaynağı haline dönüşmektedir. Bu biyokatıların anaerobik çürütmede kullanılması çürüme verimini (daha fazla biyogaz eldesi, daha stabil çamur oluşumu) artırmaktadır (Vranitzky ve diğ, 2005).

Organik madde parçalanma oranı klasik anaerobik çürüme işleminde ortalama % 45 iken 0,06g O₃/g katı madde ozon dozu kullanılarak yapılan oksidasyon ile ortalama % 65 olmakta, aynı zamanda biyogaz oluşumu da klasik sisteme oranla %30-40 artış göstermektedir (Vranitzky ve diğ, 2005).

Weemaes ve diğerleri (2000) yaptıkları bir çalışmada anaerobik çürütme öncesinde ön arıtma prosesi olarak 0,1 g O₃/g KOİ ozon dozu kullanmış ve bu uygulama sonrasında çözünebilir KOİ değeri ham çamura oranla % 29 ± 6 oranında artmıştır. Ham çamurun anaerobik çürütülmesi ile elde edilen metan üretim verimi %33-41 iken ozonla ön arıtım sonrasında anaerobik çürütücüye verilen çamurlardan metan üretim verimi % 45–51 olarak belirlenmiştir.

4.1.1.2 Mekanik Yöntemler

Bütün mekanik disintegrasyon sistemleri için aşağıdaki genel ve ortak hususlar geçerlidir (Müller, 2000a):

- Düşük enerji seviyelerinde, partikül boyutunun küçültülmesi ile çamur floklarının hızlı biçimde disintegrasyonu sağlanır.
- Yüksek enerji seviyelerinde mikroorganizmaların da parçalanması ile hücre duvarının hasar görmesi sonucu hücre içi bileşiklerin açığa çıkması (ortama salınması) sağlanır.

Mekanik disintegrasyon yöntemleri aşağıda verilmiştir:

4.1.1.2.1 Karıştırıcı bilyeli değirmenler

Karıştırıcı bilyeli değirmenler, yaklaşık 1 m³ hacminde, içerisi tamamıyla öğütücü bilye (0,2–0,3 mm çapındaki taş malzeme) ile dolu olan düşey veya yatay monte edilen silindirik veya konik bir değirmenden ve bu değirmen içine monte edilen bir karıştırıcıdan oluşmaktadır. Karıştırıcı değirmen içerisinde rotasyon sağlamaktadır. Biyokütle disintegrasyonu rotasyon sırasında bilyeler birbirine çarparken oluşan kayma ve basınç gerilmelerinin etkisiyle olmaktadır (Müller, 2000b).

4.1.1.2.2 Yüksek basınçlı homojenizasyon ünitesi

Yüksek basınçlı homojenizasyon ünitesi, çok kademeli bir yüksek basınç pompası ve bir homojenizasyon valfinden oluşmaktadır. Yüksek basınç pompası, 300 m/s hızındaki valf ile çamura güç uygulamakta ve çamur partikülleri içerisinde kavitasyon baloncukları oluşmaktadır. Bu baloncuklar sıcaklık ve basınç artışına neden olmakta ve çamur disintegrasyonu için gerekli koşulları oluşturmaktadır. Yüksek basınçlı homojenizasyon ünitesinde mikroorganizma disintegrasyonu ani basınç salınımının yol açtığı kavitasyon nedeniyle olmaktadır (Müller, 2000b). Bu proses ile anaerobik çürüme işleminde oluşan metan gazı miktarının %30 oranında artırılabilceği ve mineralize çürümüş çamur miktarının % 23 oranında azaltılabileceği deneysel olarak belirlenmiştir (Onyeche, 2003).

4.1.1.2.3 Ultrasonik Homojenizasyon Ünitesi

Ultrasonik homojenizasyon ünitesi, 20 ile 40 kHz aralığında yüksek voltaj sağlayan bir jeneratör, piezoelektrik materyal olarak kullanılan ve elektriksel gücü mekanik

güce çeviren bir seramik kristal ve gücü sıvıya transfer eden bir probtan oluşmaktadır. Ultrasonik işlem ile çamur flok yapısı bozulmakta ve çözünebilir karbonhidratlar ve organik maddeler açığa çıkmaktadır (King ve diğ, 1990; Thiem ve diğ, 1997, Wang ve diğ, 1999). Anaerobik çürütme işlemi öncesinde çamura ultrasonik ön arıtma işlemi uygulandığında hem mezofilik (Chiu ve diğ, 1997) hem de termofilik koşullarda (Forster ve diğ, 2000) yapılan anaerobik çürütme işleminde biyogaz oluşumu artmaktadır.

Ultrasonik arıtma kullanılarak yapılan çamur disintegrasyonunda etkili olan dört faktör:

1. Hidromekanik kayma kuvvetleri,
 2. Ultrasonik radyasyon altında üretilen $\bullet\text{OH}$, $\bullet\text{H}$, $\bullet\text{N}$, $\bullet\text{O}$ radikallerinin oksitleyici etkisi,
 3. Çamur içinde yer alan hidrofobik maddelerin termal ayrışması,
 4. Ultrasonik çamur disintegrasyonu süresince meydana gelen sıcaklık artışı
- olarak verilmektedir (Wang ve diğ, 2005).

Disintegrasyonun gerçekleşmesinde ilk iki etki çok önemli rol oynamaktadır. Sisteme verilen enerji, ultrasonik frekans ve giriş çamurunun özellikleri (pH, katı madde içeriği vb) ultrasonik parçalama mekanizmasını etkileyen en önemli faktörlerdir.

Hücre disintegrasyonu, sisteme verilen enerji miktarı ile orantılıdır (Lehne ve diğ, 2001). Sisteme verilen enerji artırıldığında disintegrasyonun derecesi de artmaktadır. Yüksek frekans uygulaması radikallerce oksidasyon sağlarken, düşük frekanslar basınç dalgalarına benzer mekanik ve fiziksel bir etki oluşturmaktadır (Gonze ve diğ, 1999).

Zhang ve diğerlerinin (2006) yaptıkları çalışmada 30 dakika süreyle 0,5 W/mL güç ve 25 kHz frekansta uygulanan ultrasonik işlemin çamur floklarını % 30,1 oranında disintegre ettiği, katı madde kütlesinin %23,9 oranında azaltıldığını ve çamurdaki canlı aktivitesinin %95,5 oranında düştüğü bulunmuştur. Thiem ve diğ., (2001) çamur disintegrasyonu amacıyla 3,6 kW, 31 kHz şiddetindeki ultrasonik enerjiyi 64 saniye süreyle uygulamanın çamur içindeki organik maddeleri açığa çıkardığını ve anaerobik çürütme zamanını 22 günden 8 güne indirdiğini ifade etmişlerdir.

Ultrasonik disintegrasyon ünitesinin enerji kullanımı literatürde 3,7 kWh/m³ atıksu olarak yer almaktadır. İlk yatırım ve akustik ünitelerin maliyeti diğer çamur arıtma yöntemlerine göre daha düşük olmasına karşın arıtılan çamur kütlesi başına miktarı malitey diğerlerinden yüksektir (Kalogo ve diğ, 2008).

4.1.1.2.4 Lysate santrifüj yoğunlaştırıcı

Lysate santrifüj yoğunlaştırıcı, bir santrifüj yoğunlaştırıcı ve yoğun çamur deşarj noktasına yerleştirilen bir disintegrasyon ünitesinden oluşmaktadır. Santrifüj eksenine entegre edilen özel parçalayıcılar olan *lysate halkaları* ile hücre disintegrasyonu gerçekleşmektedir. Bu yolla çamurun öğütülmesinden ziyade, hücre yapısının parçalanması sağlanmaktadır. Disintegrasyon için ilave enerji gereksinimi az olmakta ancak buna bağlı olarak oldukça düşük disintegrasyon derecelerine ulaşılmaktadır (Winter, 2002). M. Dohányos (2004) tam ölçekli bir lysate santrifüj yoğunlaştırıcı ile yaptığı çalışmada, disintegrasyon düzeneği monte edilmiş olan santrifüj kullanımıyla özgül biyogaz üretiminin büyük ölçekli bir arıtma tesisinde % 7,5, orta ölçekli bir arıtma tesisinde ise % 26 oranında arttığını belirlemiştir. Lysate santrifüj yoğunlaştırıcı kullanımıyla, gerekli enerji maliyeti, bertaraf maliyeti ve santrifüjün çalışma periyodu göz önünde bulundurulduğunda 100.000 tasarım nüfusuna sahip bir arıtma tesisi için 40.000 Euro/yıl tasarruf sağlayabilmektedir (Otte-Witte ve diğ, 2000).

4.1.1.2.5 Yüksek performanslı elektrik voltajı tekniği

Yüksek performanslı elektrik voltaj tekniği, bir elektro-hidrolik teknik olup, bu işlemde çamura 10 milisaniyeden daha küçük periyotlarda megawatt aralığında elektrik akımı verilmekte ve bu akım katı ve sıvı ortamlarda şok dalgalar oluşturarak hücre disintegrasyonu gerçekleşmektedir (Müller, 2000b).

4.1.1.3 Termal disintegrasyon

Termal işlemde belirli bir katı madde içeriğine kadar kurutulmuş olan arıtma çamuru 130–175°C sıcaklıkta hidrolize edilmektedir. 170 °C’de yapılan tam ölçekli bir çalışma, hidrolize edilmiş çamurun anaerobik çürütücüye verilmesi ile çamur çürütme derecesinin klasik çürütme işlemine göre %80 oranında arttığını göstermiştir (Kepp ve diğ, 2001). Termal işlemde çamura verilen enerji genellikle bir ısı değiştirici tarafından veya çamura buhar uygulamasıyla temin edilmektedir. Arıtma

tesisinde üretilmiş olan ısı bu amaçla kullanıldığında enerji maliyeti önemli ölçüde düşmektedir (Müller, 2000b).

Cambi ve Krepro prosesleri çamurun termal disintegrasyonu amacıyla kullanılan patentli proseslerdir. Termal disintegrasyonun çamurun anaerobik çürütme ile stabilizasyon derecesinin artması yanı sıra su verme özelliklerinin geliştirilmesi ve köpük oluşturma eğiliminin azaltılması gibi faydaları bulunmaktadır (Barjenbruch ve diğ, 2003).

4.2 Evsel Organik Katı Atıklar ile Arıtma Çamurlarının Birlikte Yönetimi

Evsel katı atıkların organik kısmının farklı atıklarla birlikte anaerobik arıtımı Avrupa'daki son gelişmeler, net enerji kazanımları ve atığın stabilizasyonu nedeniyle, gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Yüksek miktarlarda üretilen katı atık ve arıtma çamurları özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için entegre yönetim sistemlerinin oluşturulmasını cazip hale getirmektedir.

Organik kentsel katı atıkların biyometan tesislerinde arıtma tesisi birincil çamurlarıyla arıtımı yoluyla yenilenebilir enerji üretimi, bu tür atıkların atık depolama alanı dışında değerlendirilmesi yolunda sürdürülebilir bir yönetim seçeneği sunmaktadır. Biyogaz üretimindeki ve kompost kalitesindeki yüksek verimler ayrı olarak toplanmış veya kaynağında ayrılmış evsel organik katı atık (EOKA) ile elde edilirken, mekanik olarak ayrılmış evsel katı atığın organik kısmı daha düşük biyogaz üretimlerine sebep olmakta ve kalan kısmının da yakma veya arazide depolama şeklinde nihai uzaklaştırılması gerekmektedir (TÜBİTAK, 2009).

Atıksu arıtma tesislerinde mevcut olan veya kurulması planlanan anaerobik çamur çürütücülerde, EOKA'nın çamurla birlikte arıtımı, bu iki büyük atık akımını birleştirerek ve büyük yatırımlara gerek kalmadan uygulanabilmektedir.

Düşük katı madde konsantrasyonları ve organik yüklemelerde çalışan çamur çürütücülere, oldukça fazla katı madde içeriğine sahip EOKA çamurla birlikte beslenebilir. Bu sayede, arıtma çamurundaki makro ve mikro nütrientler EOKA'daki nütrient eksikliğini kapatacaktır. Ayrıca hem EOKA'nın katı madde içeriği düşürülebilecek hem de tesisin biyogaz veriminde önemli bir artış sağlanabilecektir. %8-20 UKM bazında dozlanan arıtma çamuru, EOKA'nın stabilizasyon derecesini arttıracaktır (Kayhanian ve diğ, 1996).

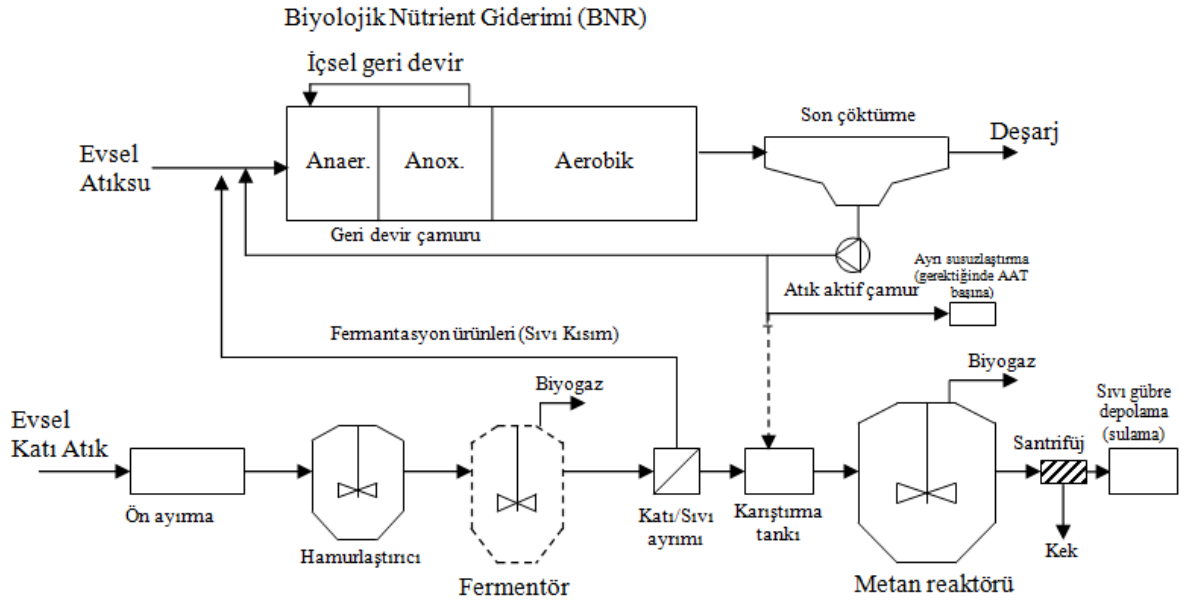
1990 öncesinde yapılan birlikte arıtma çalışmalarının birçoğu düşük katılı proseslerdir. Son dönemlerde, EOKA ve arıtma çamurları yüksek katılı sistemlerde de birlikte arıtılabilmektedir. Yüksek katılı sistemlerde çamur daha çok aşılama ve mikrobiyal büyüme için gerekli nütrientleri sağlamak amacıyla kullanılır (Kayhanian ve diğ, 1992; Kayhanian ve diğ, 1996).

Islak sistemlerde, UKM giderimi ve spesifik gaz üretimi bakımından en iyi verim EOKA/Arıtma Çamuru = 80/20 (KM bazında) elde edilebilmektedir (Demirekler ve diğ, 1998; Diaz ve diğ, 1981). Bu oran hacim bazında %25 EOKA, %75 arıtma çamuru olmaktadır (Hamzawi ve diğ, 1998).

Atıksu arıtımı konusunda çıkan standartlar her geçen gün daha sıkılaşmaktadır. Son dönemlerde atıksu arıtımında en çok üzerinde durulan konulardan biri de nütrientlerin (N ve P) giderimidir. Avrupa Birliği Kentsel Atıksuların Arıtılması Direktifi, Hassas Su Ortamlarına Atıksu Deşarjı standartları oldukça düşük azot ve fosfor limitleri getirmiştir. Bu nedenle yeni planlanan tesislerin azot fosfor giderimini içerecek şekilde kurulması ve eski tesislerin modifiye edilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Evsel atıksu arıtma tesislerinde azot giderimi nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri ile sağlanmaktadır. Fosfor ise kimyasal ya da biyolojik olarak giderilebilmektedir. Kimyasal fosfor giderimi oldukça yüksek debilere sahip olan tesislerde çamur miktarını arttırması ve kimyasal masrafları nedeniyle fazla tercih edilmemektedir. Biyolojik aşırı fosfor giderimi daha ekonomik bir proses olmasına rağmen, özellikle giriş atıksu bileşimine ($BOI/TP > 20$), tesisin tasarım ve işletme şartlarına bağımlı olduğundan kontrolü oldukça güç bir prosestir.

Denitrifikasyon ($5 \text{ mg KOI/mg NO}_3^-$) ve biyolojik aşırı fosfor ($10 \text{ mg KOI/mg PO}_4^{-2}$) giderimi proseslerinin her ikisi de atıksudaki kolay ayrışan karbona ihtiyaç duymaktadır. Evsel atıksulardaki kolay ayrışabilir karbon miktarı ise sınırlıdır. Kolay ayrışabilir karbon gereksinimi dışarıdan karbon (metanol, asetat) ilave edilerek giderilebilir, fakat bu her zaman ekonomik olarak mümkün olmayabilir. Kolay ayrışan karbon açığını kapatmak için en çok kullanılan uygulamalardan biri de artıma tesislerinde üretilen birincil çamurun fermente edilmesiyle üretilen uçucu yağ asitlerinin (UYA) kullanılmasıdır. Bu alanda son dönemlerde en çok incelenen konulardan biri de evsel organik katı atıkların fermente edilerek elde edilen UYA'nın denitrifikasyon ve fosfor gideriminde ilave karbon kaynağı olarak kullanılmasıdır. Evsel organik katı atıklardaki nütrient içeriğinin (özellikle sebze ve meyve

atıklarında) çamura göre daha az olduğu da düşünüldüğünde, azot ve fosfor giderimini sağlayan reaktörlere daha az miktarda ilave azot fosfor yükü getireceği söylenebilir. Bu yaklaşım içerisinde evsel organik katı atıklardan hem ilave karbon kaynağı üretilebilmekte hem de bir sonraki adımda anaerobik olarak çürütülerek biyogaz üretimi sağlanabilmektedir. Bu şekilde bir arıtma yaklaşımıyla kurulacak tesislerde evsel atıksuyun, arıtma çamurlarının ve evsel organik katı atığın arıtımının tam entegrasyonu sağlanabilecek (Şekil 4.1) ve daha etkin bir atık yönetimi mümkün olacaktır.



Şekil 4.1: Evsel atıksuyun, arıtma çamurlarının ve organik katı atığın arıtımını gösteren entegre biyometan tesisi akım şeması (TÜBİTAK, 2009).

4.3 Anaerobik Çürütücü Yan Akımlarının Arıtılması

Atıksu arıtma tesislerinde çamur işleme ünitelerinden çıkacak azot ve fosfor bakımından zengin suları tesise ilave yük getirmektedir. Bu bakımdan oluşacak yan akımların minimum maliyet ve maksimum verim ile arıtımı üzerinde durulması gerekmektedir (Dereli ve diğ, 2007).

Her geçen gün daha da sıkılaştıran atıksu arıtımı ile ilgili standartlar sonucu son dönemlerde atıksu arıtımında besi maddesi (azot ve fosfor) giderimi en çok üzerinde durulan konulardan biri haline gelmiştir (Dereli ve diğ, 2010). Evsel atıksu arıtma tesislerinde azot giderimi nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri ile sağlanmaktadır. Bu proseslerde ilk adım olan nitrifikasyon havalandırma ihtiyacına

bağlı olarak enerji gerektiren, nitrifikasyon bakterilerinin düşük çoğalma hızı sebebiyle daha büyük hacimler gerektiren bir prosestir. Nitrifikasyonu takip eden etkili bir denitrifikasyon prosesi için ortama organik karbon sağlanması gerekmektedir. Atıksudaki organik madde yeterli olmadığında özellikle sonra denitrifikasyon için tasarlanmış tesislerde dışarıdan karbon ilavesi gerekmekte ve bu da arıtma maliyetine ek yük getirmektedir. Yüksek amonyak azotu, düşük organik madde içeren atıksuların arıtımında konvansiyonel azot giderim prosesi yerine kısmi nitrifikasyon-denitrifikasyon sistemi yenilikçi bir teknoloji olarak uygulama alanı bulmuştur (Abeling ve diğ, 1992; Cuidad ve diğ,2005).

Arıtma tesislerinin çamur arıtımı ünitelerinden (çamur çürütme, yoğunlaştırma, susuzlaştırma, kurutma) tesis başına geri döndürülen atıksu akımları özellikle azot ve fosfor bakımından yoğun kirlilik içermektedir. Bu akımlar ile tesis başına dönen toplam azot, tesisin günlük azot yükünün %10 – 30'unu oluşturabilmektedir. Bu ilave azot yükü tesisin işletme maliyetini (havalandırma enerjisi) olumsuz yönde etkilemekte ve özellikle denitrifikasyon için gerekli karbonun kısıtlı olduğu durumlarda toplam azot deşarj limitinin sağlanamamasına neden olabilmektedir.

Son yıllarda yan akımlardan gelen azot yükünün azaltılması amacıyla birçok yeni biyolojik prosesler geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın uygulanan iki proses SHARON ve SHARON/Anammox sistemleridir.

4.3.1 SHARON prosesi

SHARON prosesi, oksijen kısıtlı ortamda amonyağın nitrite okside olması ve nitrit üzerinden denitrifikasyon prosesinin gerçekleşmesi esasına dayanmaktadır. Bu amaçla reaktörde oksijen konsantrasyonunun $<1,5 \text{ mg/L}$ 'de tutulması gerekmektedir. SHARON prosesi nispeten yüksek sıcaklıklarda ($>25 \text{ }^{\circ}\text{C}$) daha verimli çalıştığından, özellikle anaerobik çürütücü çıkışındaki yüksek azot konsantrasyonuna sahip ve yüksek sıcaklıktaki akımların arıtımı için oldukça uygundur. Azotun SHARON prosesi ile giderilmesi konvansiyonel azot giderimine göre %25 daha az oksijen ve %40 daha az organik karbon gerektirmektedir. Bu sayede tesisin oksijen ihtiyacı azaltılarak enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Azot giderimi için daha az organik karbon gerekeceğinden, daha verimli bir ön çöktürme uygulanarak anaerobik olarak çürütülecek birincil çamur miktarı arttırılabilir. Biyogazdan geri kazanılacak elektrik enerjisindeki artışa bağlı olarak tesis işletme maliyetleri azaltılabilir (Henze ve diğ,

2008). SHARON prosesi stokiyometrik denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1: SHARON prosesi ile nitrifikasyon – denitrifikasyon prosesi stokiyometrik denklemleri.

Konvansiyonel Nitrifikasyon – Denitrifikasyon prosesi
Nitrifikasyon
$\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$
Denitrifikasyon
$\text{NO}_3^- + 4 \text{ g KOİ} + \text{H}^+ \rightarrow 0,5\text{N}_2 + 1,5 \text{ g çamur}$
Toplam reaksiyon denklemi
$\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 + 4 \text{ g KOİ} \rightarrow 0,5\text{N}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ + 1,5 \text{ g çamur}$
SHARON prosesi
Nitrifikasyon 1. adım
$\text{NH}_4^+ + 1,5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$
Denitrifikasyon
$\text{NO}_2^- + 2,4 \text{ g KOİ} + \text{H}^+ \rightarrow 0,5\text{N}_2 + 0,9 \text{ g çamur}$
Toplam reaksiyon denklemi
$\text{NH}_4^+ + 1,5\text{O}_2 + 2,4 \text{ g KOİ} \rightarrow 0,5\text{N}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ + 0,9 \text{ g çamur}$

Bu denklemlerden de görüldüğü üzere nitrifikasyon ve denitrifikasyon için gerekli oksijen ihtiyacı konvansiyonel (klasik) nitrifikasyon ve denitrifikasyona göre 1,5/2,0 (~%25) daha az olmaktadır. Fazla biyolojik çamur oluşumu da 0,9/1,5 (~%40) daha az gerçekleşmektedir.

4.3.2 SHARON/Anammox prosesi

Anammox prosesi 1980’lerde keşfedilen ve anaerobik şartlarda ototrofik amonyak oksidasyonu yapan mikroorganizmaların (Anammox) gerçekleştirdiği bir prosestir. Bu proseste nitritin elektron alıcısı olarak kullanılması sonucu amonyak doğrudan azot gazına indirgenmektedir. Böylece denitrifikasyon prosesi için gerekli organik karbon kaynağına ihtiyaç kalmamaktadır. Anammox prosesi için nitrit gerekli olduğundan genellikle önündeki SHARON prosesi ile birlikte uygulanmaktadır. SHARON/Anammox prosesi enerji ihtiyacını düşürdüğünden dolayı atıksu arıtımının sürdürülebilirliğini artırmaktadır.

Azot gideriminin konvansiyonel yollarla yapıldığı arıtma tesislerinde giderilen ton azot başına üretilen CO₂ miktarı 4,7 ton olmasına karşın, SHARON/Anammox prosesinde bu miktar 0,7 ton olmaktadır. Bu durum SHARON/Anammox prosesinin küresel ısınmaya önemli ölçüde neden olan CO₂ emisyonlarının azaltılmasına katkısını göstermektedir. Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere SHARON/Anammox proseslerinin birlikte kullanımı ile atıksu arıtımında üretilen biyolojik fazla çamur

miktarı, tesisin enerji ihtiyacı ve işletme maliyeti azaltılabilmektedir (Henze ve diğ, 2008).

Çizelge 4.2: Konvansiyonel azot giderimi ve SHARON/Anammox proseslerinin karşılaştırılması.

	Birim	Konvansiyonel arıtma	SHARON/Anammox
Enerji ihtiyacı	kW-sa/kg N	2,8	1,0
Metanol ihtiyacı	kg/kg N	3,0	0
Çamur üretimi	kg UAKM/kg N	0,5 – 1,0	0,1
CO ₂ emisyonu	kg/kg N	>4,7	0,7
Toplam maliyet	€/kg N	3,0 – 5,0	1,0 – 2,0

SHARON/Anammox prosesi ile nitrifikasyon – denitrifikasyon prosesi stokiyometrik denklemleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3: SHARON/Anammox prosesi ile nitrifikasyon – denitrifikasyon prosesi stokiyometrik denklemleri.

Nitrifikasyon – Denitrifikasyon prosesi
Nitrifikasyon
$\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$
Denitrifikasyon
$\text{NO}_3^- + 4 \text{ g KOİ} + \text{H}^+ \rightarrow 0,5\text{N}_2 + 1,5 \text{ g çamur}$
Toplam reaksiyon denklemi
$\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 + 4 \text{ g KOİ} \rightarrow 0,5\text{N}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ + 1,5 \text{ g çamur}$
SHARON/Anammox prosesi
Nitrifikasyon 1. adım
$\text{NH}_4^+ + 1,5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$
Anaerobik amonyak oksidasyonu
$\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
Toplam reaksiyon denklemi
$\text{NH}_4^+ + 0,75\text{O}_2 \rightarrow 0,5\text{N}_2 + 1,5\text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$

Bu prosesler Avrupa’da, özellikle Hollanda’da birçok mevcut arıtma tesisine (Rotterdam AAT, Beverjiwk AAT, Dokhaven AAT) entegre edilmiş ve çok olumlu sonuçlar alınmıştır. Hollanda’da üretilen evsel atıksuların tamamında azot gideriminin Anammox prosesi ile yapılmasının getireceği faydalar Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4: Hollanda’da evsel atıksuların konvansiyonel denitrifikasyon prosesi ve Anammox prosesi ile arıtımının karşılaştırılması (Nüfus Eşdeğeri: 25 milyon).

	Birim	Konvansiyonel	Ön arıtma, Anaerobik arıtma, Anammox	Fark
Enerji üretimi (CH ₄)	MW	0	40	40
CO ₂ emisyonu	kton/yıl	400	6	394
Elektrik tüketimi	MW	80	41	39
Çamur üretimi	kton UAKM /yıl	370	270	100

4.4 Tesis Ünitelerinin İzlenmesi

Atıksu arıtma tesisleri büyüklük, tip ve proses konfigürasyonu açısından farklılıklar göstermektedir. Zaman ve proses açısından bilinçli işletilen sistemlerde, önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlama imkanı mevcuttur.

Enerji verimlilik önlemlerinin başarıyla uygulanabilmesi açısından işletim kademesinde bazı önemli hususlar bulunmaktadır. İlk olarak, alınacak önlemlerin arıtma işleminin farklı bileşenlerindeki enerji tüketiminin izlenmesini sağlamak esastır. Tesislerde enerjinin yoğun olarak kullanıldığı üniteler havalandırma ekipmanları ve pompalardır. Bir aktif çamur sisteminde havalandırmanın toplam enerji tüketimindeki payı % 40-70 civarındadır. Havalandırma prosesinde enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik konusunda sarf edilecek gayret ve yapılacak yatırımlar, tüm arıtma sisteminin enerji verimliliğinin de artmasını sağlayacaktır. Atıksu arıtma tesislerinde havalandırma mekanik havalandırıcı veya difüze havalandırıcılar tarafından sağlanmaktadır:

4.4.1 Mekanik Havalandırıcılar

Mekanik yüzeysel havalandırıcılar $\text{kg O}_2/\text{kWh}$ birimi ile tanımlanan oksijen transfer hızları ile kategorize edilmektedir. Günümüzde piyasada üretilen yüzeysel havalandırıcıların oksijen transfer verimleri genelde 1,20 ila 2,40 $\text{kg O}_2/\text{kWh}$ arasında değişir.

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

Difüze havalandırma sisteminde olduğu gibi, mekanik yüzeysel havalandırıcıların da etkin bir karışım sağlayabilmesi havalandırma havuzunun büyüklüğüne ve biçimine bağlıdır. Havalandırma havuzları kare veya dikdörtgen planlı olabilirler ve bir havuzda birden fazla sayıda yüzeysel mekanik havalandırıcı kullanılabilir. Yüzeysel havalandırıcılar için havuz derinliği ve genişliği Çizelge 4.5’de verilen havalandırıcı özelliklerine bağlıdır. Mekanik yüzeysel havalandırıcılar için karışım amacı ile gerekli birim güç, havuz, tank veya lagünün geometrisine ve yüzeysel havalandırıcı

tasarımına bağlı olarak, 20 ila 40 W/m³'tür. Evsel atıksuların arıtımında kullanılan mekanik havalandırmalı lagünlerin tasarımında dikkat edilmesi gereken husus karışım için gerekli gücün oksijen transferi için gerekli olan güçten çok daha fazla olduğudur.

Çizelge 4.5: Yüzeysel havalandırıcıların güç-boyut ilişkisi (Toprak, 2000).

Havalandırıcı Gücü (W)	Derinlik (m)	Genişlik (m)
7,5	3,0-3,6	10,0-12,0
15,0	3,6-4,2	10,5-15,0
22,5	3,9-4,5	12,0-18,0
30,0	3,6-5,1	13,5-19,5
37,5	4,5-5,4	13,5-22,5
56,0	4,5-6,0	15,0-25,5
75	4,5-6,0	18,0-27,0

4.4.2 Difüzörlü Havalandırıcılar

Difüzörlü havalandırma, evsel atıksu arıtma tesislerinin hava ihtiyacını karşılamada kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Difüzörlü hava sistemleri; atıksuya batmış difüzörler ve üfleyiciden (blower) ibarettir. Bu yöntemde enerji verimini etkileyen birçok faktör vardır:

4.4.2.1 Havuz Derinliği

Havuz derinliğinin artmasıyla uzun süreli ve yüksek hidrostatik basınç sağlanması dolayısıyla oksijen transfer verimi artar. Ancak derinliği fazla olan havuzlarda havalandırıcılar için gerekli enerji temininde büyük kompresörler gerekebilir.

4.4.2.2 Kabarcık Çapı

İnce gözenekli difüzörler kullanılarak OTE'den daha yüksek değerlere ulaşılabilir. Ancak gözenek boyutundaki küçülme her zaman enerji tasarrufu anlamına gelmeyebilir.

4.4.2.3 Hava Debisi

Difüzör başına düşen hava debisi tüm difüzör tipleri için önemli bir kriterdir. Yeterli debinin sağlanamadığı durumlarda, difüzörlerde tıkanma ve tank içinde katı madde çökmesi görülebilir.

4.4.2.4 Difüzör Yoğunluğu

Difüzör yoğunluğu, havalandırma havuzunun birim alanı başına düşen difüzör sayısı olarak ifade edilir (AD/AT faktörü). Tipik olarak, yüksek AD/AT değerleri yüksek oksijen transfer verimine tekabül eder. Bu da sık (birbirine yakın döşenen) ve düşük hava debisinde işletilen difüzörlerin büyük oranda enerji tasarrufu sağladığı anlamına gelmektedir.

4.4.2.5 Tıkanma

İnce gözenekli difüzörlerde tıkanma, biyofilm büyümesi ve inorganik çökelmeler sebebiyle oluşabilir. Gözeneklerdeki bu tıkanmalar, difüzörlerin işletim şartlarını değiştirmekte ve oksijen transfer verimini düşürmektedir.

Difüzörlü havalandırmalarda kullanılan hava üfleyicilerin bir kısmı kapatılarak, motor hızı değiştirilerek ya da santrifüj hava üfleyicilerin giriş vanaları kısılarak gerekli hava/güç miktarı düşürülebilir. Benzer olarak çözünmüş oksijen kontrol sistemiyle eş zamanlı çalışan değişken hızlı sürücüler kullanıldığında, proses verimini düşürmeksizin belirgin bir enerji tasarrufu sağlamak da mümkündür.

Difüzörlü havalandırıcılardan daha etkin karıştırma, bu amaca uygun olarak tasarlanmış özel ekipmanlar ile (dalgıç karıştırıcılar vb.) sağlanabilir. Böyle kombinasyonları olan tesislerde bir kısım havalandırma ekipmanlarının kapatılması veya vanasının kısılması yoluyla enerji ihtiyacında genel bir azalma sağlanılabilir. Difüzör veriminin artırılması, kayda değer enerji tasarrufu ile sonuçlanır. Öncelikle oksijen transfer verimine etki eden faktörlere odaklanılmalıdır. Oksijen transferi, difüzör miktarındaki artış ve havuz tabanındaki yerleşim durumuna bağlı olarak belirgin şekilde artar.

Atıksu arıtma tesislerinde enerji yoğun ünitelerden bir diğeri ise pompalardır. Atıksu arıtma tesislerinde giriş ve deşarj pompaları, aktif çamur geri devir pompaları, fazla çamur pompaları ve içsel geri devir pompaları mevcuttur. Tipik olarak pompa manometrik terfi yüksekliğinin 0,3 m azaltılması ile, yalnızca yıllık güç tüketim maliyetlerinde yaklaşık olarak 0,0304 \$/m³.gün düzeyinde bir tasarruf sağlanabileceği gösterilmiştir. Kanalizasyon sistemi veya AAT girişinde Q=1 m³/s debinin gereksiz yere 1m fazladan terfi edilmesinin yıllık enerji gideri ~130.000 kWh/yıl (~10.000 \$/yıl)dır.

Atıksu arıtma tesislerinde enerji tüketen bu temel ünitelerin otomatik olarak izlenmesi ve kontrolü önemli miktarda enerji tasarrufu sağlayabilir. Bu kapsamda çözünmüş oksijen kontrolü ve pompa kontrolü büyük önem taşımaktadır.

Biyolojik reaktörlerde ÇO miktarı, havalandırma borusu üzerinde bulunan hava kontrol valfları ayarlanarak kontrol edilebilir. Reaktörde ÇO ölçümleri farklı noktalardan yapılır ve ilgili hava kontrol vanası belirlenmiş ÇO seviyesini sağlamak için elle veya otomatik olarak ayarlanır. Elle ayarlama basit ve ucuzdur ancak aşırı ya da yetersiz havalandırmaya yol açabilir. Otomatik kontrol, talebi karşılayıcı şekilde sürekli hava akışını düzenlemektedir. Bu sayede aşırı ve yetersiz havalandırma önlenmiş olur.

4.5 Enerji Yönetim Planı Oluşturulması

Atıksu arıtma tesislerinin sağlıklı biçimde izlenerek uygun Enerji Yönetim Planı (EYP) oluşturulmasıyla tesislerde en yüksek maliyet unsurlarından biri olan enerji kullanımında önemli azalma gözlenir.

Sonuç olarak tesis izleme ve kontrol donanımları tesis enerji kullanımı ve proses verimi bakımından oldukça faydalıdır. Doğru kurulum, kalibrasyon ve etkin bakım v.b. hususlara özen gösterilirse tasarruf edilen enerji yatırım maliyetini makul sürede karşılayacaktır.

Tesis izleme ve kontrol sonuçları doğrultusunda tesis bazında oluşturulacak olan Enerji Yönetim Planı (EYP), atıksu arıtma tesislerinde enerji kullanımını ve buna bağlı olarak maliyet azaltmayı hedeflemektedir. Tesis işletimi bir bütün halinde ele alınarak etkin şekilde kontrolü sağlanmaktadır. EYP'nin esas bileşenleri aşağıda özetlenmiştir:

4.5.1 Envanter/Veri Derleme Çalışmaları

Tesisin çeşitli birimlerinde yapılan ölçümlere dayalı olarak, tesiste aşırı enerji kullanımının olup olmadığı ve varsa bunların yerlerinin tespiti yapılır. Bu safhada elde edilen verilere göre, birim debi ve eşdeğer nüfus başına enerji tüketimi değerlendirilerek, EYP hazırlanmasına gerek olup olmadığı kararlaştırılır.

4.5.2 Enerji Kullanımı Denetimi

Tesisteki enerji kullanımının denetimi EYP sürecinin en önemli adımı olup 2 aşama halinde uygulanır: Veri Toplama ve Veri Analizi. Bu kapsamda tesisin işletim durumu, enerji kullanım yerleri ve toplam enerji kullanımı içindeki dağılımı belirlenir. Enerji (kullanımı) denetimi ile etkin bir EYP oluşturulması için gerekli tesise özgü temel veri tabanının oluşturulması sağlanır.

4.5.3 EYP Geliştirilmesi

Bu aşamada EYP için gerekli detaylı planlamalar yapılır, ekipman yenilenmesi ve/veya profesyonel danışmanlık hizmeti alımına ilişkin yatırım ihtiyaçları ile geri dönüş süreleri ortaya konur.

4.5.4 EYP Uygulaması

Bu son aşamada atıksu arıtma tesisine özgü olarak geliştirilen EYP'nin belli bir iş programı (takvim) dahilinde uygulanması ve izlenmesi gerçekleştirilir.

5. MATERYAL VE METOD

Atıksu arıtma tesislerinde KOİ ve katı madde kütle dengesi, proses tasarımı, ünite performansları, katı ve sıvı akımlar ile enerji tüketim ve üretimi bakımından önem taşımaktadır. Mevcut atıksu arıtma prosesinin benzer tesisler ile kıyaslaması, proses optimizasyonu yapılmasına ve tesisin enerji verimli hale gelmesine imkan tanımaktadır. Çalışmanın bu bölümünde seçilen atıksu arıtma tesislerinden alınan izleme verileri ile oluşturulan kütle dengesi ve tesisin enerji verimliliğinin incelenmesinde izlenen yol anlatılmaktadır. Kullanılan model, karbon, azot ve fosfor gideren tesisler için ATV 131-E proses tasarım kriterlerini esas almaktadır. Tez kapsamında seçilen tesisler, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İSU Plajyolu Evsel AAT (Kocaeli), Yeniköy Evsel AAT (Kocaeli), Gebze Evsel AAT, Karamürsel Evsel AAT ve İzmit Doğu (Kullar) Evsel AAT'dir.

Bu çalışmada Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı İSU AAT'lerinden 2013 yılına ait giriş ve çıkış KOİ, BOİ, AKM ve TKN değerleri ile tesislerin senelik toplam enerji kullanımları (kWh) değerlendirilmiştir. Tez kapsamında oluşturulan tasarım modülünde giriş ve çıkış değerleri kullanılarak ünite bazlı giderimler, gerekli havalandırma ihtiyacı ve üretilen çamur miktarı hesaplanmış ve tesisin işletme verileri ile karşılaştırılmıştır. Ön çökeltimsiz besi maddesi giderimli aktif çamur sisteminin kullanıldığı bu tesislerde üretilen günlük çamur miktarlarından hareketle anaerobik çürütücü kullanılması durumunda muhtemel enerji geri kazanım potansiyelleri de incelenmiştir. Fiili enerji tüketimleri ile giderim verimleri ışığında tesisler kendi aralarında kıyaslanarak tesislerin KOİ giderim verimi-tesis performansı ile KOİ giderimi-enerji kullanım ilişkileri ortaya konmuştur.

5.1 Seçilen Örnek Tesisler

5.1.1 Plajyolu Evsel Atıksu Arıtma Tesisi

Kocaeli BB İSU Genel Müdürlüğü Plajyolu AAT inşaatı 1993 yılında tamamlanmış olup 1995 yılında devreye alınmıştır (Şekil 5.1). ATV 131-E tasarım standartları dikkate alınarak karbon, azot ve fosfor giderimi yapan ön çökeltimsiz besi maddesi

giderimli aktif çamur prosesinin uygulandığı bu tesiste zaman içerisinde bazı revizyonlar yapılmıştır (pompa tahrik sistemi değiştirilmesi, ince ızgara montajı, havalandırmada difüzör kullanımına geçilmesi v.b.).



Şekil 5.1: Plajyolu AAT'nin görünüşü (www.isu.gov.tr).

Tesisin tasarım kapasitesi $72.000 \text{ m}^3/\text{gün}$ olup 2013 yılı itibari ile işletme debisi ortalama $65.000 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür. Tesisin tasarım parametreleri Çizelge 5.1'de verilmektedir.

Çizelge 5.1: İSU Plajyolu AAT tasarım parametreleri.

$Q_{\min}$ (m ³ /gün)		Q_{ort} (m ³ /gün)			Q_{maks} (m ³ /gün)		
50.112		72.000			99.120		
Giriş Kirlilik Yükü Konsantrasyonları							
KOİ (mg/L)	Çözünmüş KOİ (mg/L)	BOİ ₅ (mg/L)	KOİ/BOİ ₅	Filtrelenebilir katılar (mg/L)	Toplam Kjeldahl Azotu (mg/L)	Amonyum Azotu (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)
427	193	200	2,13	230	40	26	9
Çıkış Suyu Konsantrasyonları							
BOİ ₅ (mg/L)	AKM(mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)		TP (mg/L)		
≤20	≤20	≤10	≤4		≤1		
		(NO ₃ -N _{deşarj} =8+TKN _{deşarj} =2)	(sadece biyolojik fosfor giderimi)		(biyolojik+kimyasal fosfor giderimi)		

Tesis girişinde P4 pompa istasyonu bulunmaktadır. Pompa istasyonuna (2+1 adet pompa) gelen atıksu, öncelikle kaba ızgaradan geçerek toplama odasından tesis ünitelerine dağıtılır. Tesiste bulunan mevcut üniteler aşağıda verilmiştir:

- Giriş Terfi Merkezi (P4 Pompa İstasyonu)
- İnce Izgara (2 adet)
- Havalandırılmalı Kum ve Yağ Tutucu (2 adet)
- Geri Devir Çamuru Bekletme Havuzu (RAS Havuzu) (1 adet)

- Biyofosfor Tankı (4 adet)
- Havalandırma Havuzu (4 adet)
- Son Çökeltme Havuzları (4 adet)
- Çamur Depolama Havuzları (2 adet)
- Çamur Susuzlaştırma Binası (3 adet dekantör)

Giriş terfi merkezi ile ince ızgaralara aktarılan atıksu, havalandırılmalı kum tutucu ünitesine alınarak Parshall savağından (debimetre kanalı) tesise girmektedir. Tesiste havalandırılmalı kum tutucu sonrasında biyolojik fosfor giderimi yapan anaerobik havuzlar bulunmaktadır. Azot giderimi için önde denitrifikasyon prosesi seçilmiştir. Anaerobik reaktörlerde tam karışımının sağlanması ve tabanda çökelmenin önlenmesi için dalgıç mikserler kullanılmaktadır. Azot (N) giderimi ise nitrifikasyon ve denitrifikasyon adımlarıyla gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.2’de verilen biyolojik havuzlarda oksik bölgeden anoksik bölgeye içsel atıksu döngüsü (resirkülasyon) yapılmaktadır.



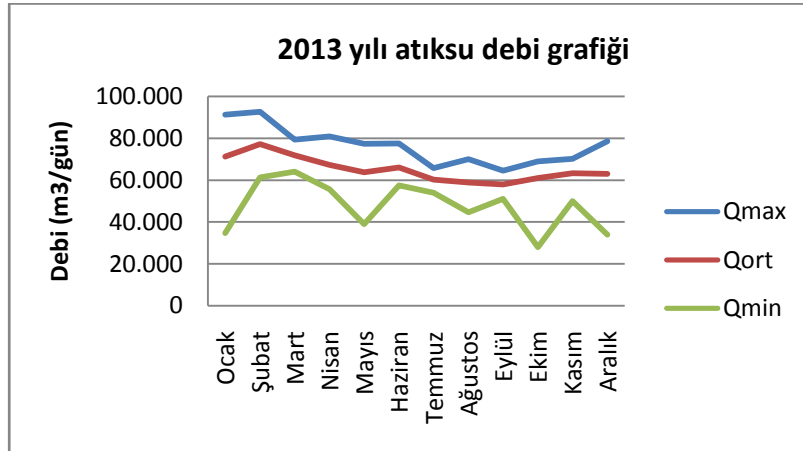
Şekil 5.2: Plajyolu AAT Anaerobik, Anoksik ve Aerobik Havuzları.

Havalandırma havuzundan çıkan atıksu dağıtım yapısı sonrası son çökeltim havuzlarına eşit olarak dağıtılmaktadır. Son çökeltim havuzları tabanındaki çamur alma boruları, çamuru geri devir pompa odasının giriş gözlerine oradan da kontrollü olarak pompa haznesine savaklanmakta ve buradan geri devir pompaları ile RAS havuzuna ve çamur depolama havuzlarına iletilmektedir.

Geri devir çamuru, bekletildiği RAS havuzundan savaklanarak ön arıtmadan gelen atıksuyla bu havuzun kenarında askıda duran bir kanalda karışmaktadır. Bu karışım 3 adet karıştırıcı ile sağlanmaktadır.

Biyolojik arıtma sonucu oluşan fazla çamur, çamur depolama havuzlarına alınmaktadır. Havuza alınan çamura, havuz tabanına yerleştirilen difüzörler ile hava verilerek çamurun septik hale gelmesi önlenmekte ve ilave stabilizasyon sağlanmaktadır. Stabil haldeki çamur susuzlaştırma ünitelerine pompalanarak hacmi azaltılmakta böylece sevkiyatı ve depolanması mümkün olmaktadır. Tesiste çamur susuzlaştırma ekipmanı olarak 3 adet dekantör (santrifüj) bulunmaktadır. Dekantörler % 0,8-1 kuru madde içeren çamuru minimum % 25 kuru maddeye çıkaracak şekilde işletilmektedir. Bir adet polielektrolit hazırlama ünitesinde hazırlanan su-polielektrolit karışımı, çamuru şartlandırmak üzere dekantörlere verilmektedir. Susuzlaştırılan çamur, dekantörlerin altında bulunan burgu konveyör vasıtasıyla kamyonlara yüklenecek bertaraf edilmek üzere çimento fabrikasına gönderilmektedir. Dekantörlerden çıkan süzüntü suyu ise tesisin başına iletilmektedir.

Plajyolu AAT 2013 yılı verilerine bakıldığında tesis ortalama debisi yaklaşık 65.000 m³/gündür. Tesisin mevsimsel debi değişimlerinin durumu grafik Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3: Plajyolu AAT mevsimsel debi değişimi grafiği.

Ön çökeltimsiz besi maddesi giderimli aktif çamur prosesinin uygulandığı tesisin 2013 yılı giriş ortalama KOİ konsantrasyonu 344 mg /L, AKM kons. 193 mg /L, TKN 30 mg /L ve TP 4 mg/L’dir. Tesis havalandırma havuzu 10 günlük çamur yaşı ile işletilmekte olup havuzda bulunan biyokütle konsantrasyonu ~3630 mg/L’dir. Tesiste ortalama 750 ton/ay çamur (~%25 KM) üretilmektedir.

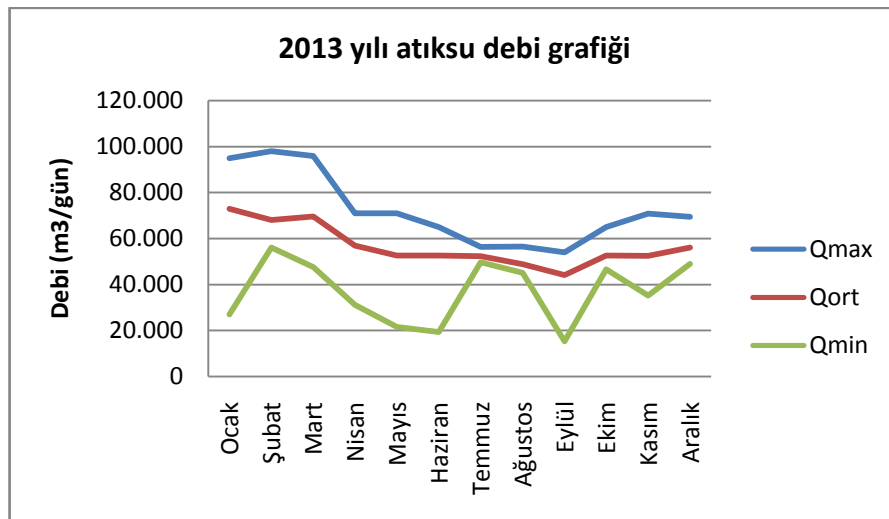
5.1.2 Yeniköy Evsel Atıksu Arıtma Tesisi

Yeniköy Atıksu Arıtma Tesisi Temmuz 2004 tarihi itibarıyla devreye alınmıştır. Tesisin uydu görüntüsü Şekil 5.4’de verilmiştir. Tese Gölcük ve Başiskele yerleşim alanlarından evsel nitelikli atıksular 6 adet terfi merkezinde toplanarak gelmektedir.



Şekil 5.4: Yeniköy AAT’nin görünüşü.

320.000 eşdeğer nüfusun (EN) atık suyunu arıtmak üzere inşa edilen tesisin 2013 yılı ortalama debisi $\sim 57.000 \text{ m}^3/\text{gün}$ ’dür. Tesisin 2013 yılı mevsimsel debi değişimi Şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.5: Yeniköy AAT mevsimsel debi değişimi grafiği.

Tesisin tasarım değerleri Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.2: Yeniköy AAT tasarım kriterleri.

Q_{min} (m ³ /gün)	Q_{ort} (m ³ /gün)	Q_{pro} (m ³ /gün)
36.288	54.600	80.616
Giriş Kirlilik Yükü Konsantrasyonları		
BOİ ₅	TKN	TP
286	≤48	≤19

Ön çökeltimsiz besi maddesi giderimli aktif çamur prosesine sahip bu tesiste çökeltim tankları ve havalandırma havuzu bulunmaktadır. Biyolojik fosfor giderim ünitesi ise inşaat aşamasındadır.

Tesiste bulunan mevcut üniteler aşağıda sıralanmaktadır:

- Izgaralar (3 adet)
- Kum Tutucu (1 adet)
- Denitrifikasyon Havuzu (3 adet)
- Havalandırma Havuzu (3 adet)
- Son Çökeltim Havuzları (4 adet)
- Çamur Yoğunlaştırma Havuzu (1 adet)
- Çamur Susuzlaştırma (Dekantör) (2 adet)

Atıksu, kollektör sistemi ve burgulu pompa ile tesise girmekte ızgaralardan geçerek tesise yükseltilmektedir. Havalandırılmalı kum tutucu öncesinde blowerler (hava körükleri) ile sisteme hava verilmektedir. Kaba katı maddeleri giderilen atıksu daha sonra biyolojik arıtma üniteleri olan denitrifikasyon ve nitrifikasyon tankına iletilmektedir. Oksijen, tesiste mevcut 3 havalandırma tankına 5'er adet yüzey havalandırıcı ile verilmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6: Havalandırma havuzu görünümü.

Havalandırma tanklarındaki mikroorganizma ve atıksu karışımı, 4 adet son çökeltim tankında birbirinden ayrılmaktadır. Ayrılan mikroorganizmanın bir kısmı havalandırmaya tekrar gönderilirken, diğer kısmı ise yoğunlaştırıcıya verilmektedir. Son çökeltim tanklarından savaklanan su, kolektör hattı ile İhsaniye deresine deşarj edilmektedir.

Son çökeltim tanklarından çekilen çamur, yoğunlaştırıcıya alınarak en az %3 katı madde yüzdesine getirilip dekantör ünitesinde susuzlaştırılmaktadır. İki adet dekantörden elde edilen %21-24 KM içeren çamur keki, kamyonlara aktararak çimento fabrikalarında bertaraf edilmek üzere gönderilmektedir.

5.1.3 Karamürsel Evsel Atıksu Arıtma Tesisi

İSU Karamürsel Evsel Atıksu Arıtma Tesisi, 01.10.2004 tarihinde Müteahhit Alarko Alsim–E.Mİ.T ortaklık girişimi tarafından işletmeye alınmıştır. Tesisin tasarım değerleri Çizelge 5.3’de verilmektedir.

Çizelge 5.3: Karamürsel AAT tasarım kriterleri.

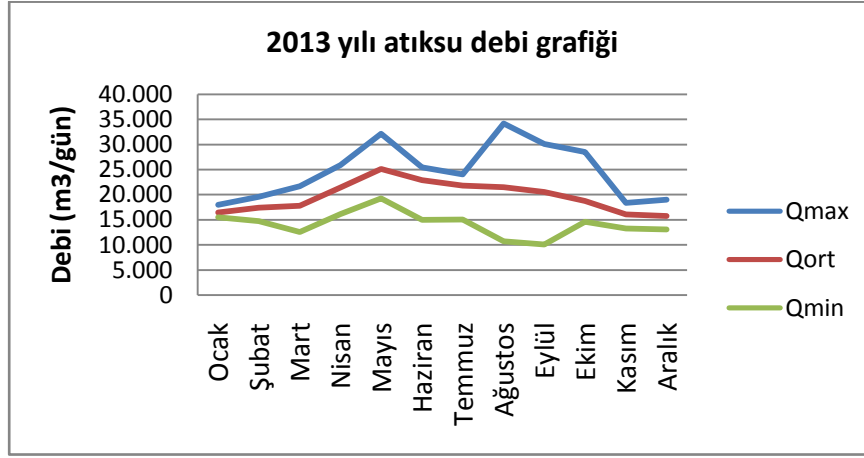
Q _{min} (m ³ /gün)		Q _{ort} (m ³ /gün)	Q _{maks} (m ³ /gün)	Q _{pro} (m ³ /gün)	
12.096		17.712	34.656	29.112	
Giriş Kirlilik Yüğü Konsantrasyonları			Çıkış Suyu Konsantrasyonları		
BOİ ₅ (mg/L)	TKN (mg/L)	TP (mg/L)	BOİ ₅ (mg/L)	AKM (mg/L)	Toplam Azot (mg/L)
271	45	18	≤20	≤20	≤13

Tesis Ön çökeltimsiz besi maddesi giderimli aktif çamur prosesi teknolojisi ile 12 günlük çamur yaşında işletilmektedir. Atıksular 4 ayrı terfi merkezinde toplanarak tesise verilmektedir. Tesisin uydu görüntüsü Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7: Karamürsel AAT uydu görüntüsü.

Karamürsel Evsel AAT'nin 2013 yılı için ortalama debisi $\sim 20.000 \text{ m}^3/\text{gün}$ olup mevsimsel değişiminin gösterildiği grafik Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8: Karamürsel Evsel AAT mevsimsel debi değişim grafiği.

Atıksu kollektör sistemi ile tesise girmekte ve aşağıdaki ünitelere dağıtılmaktadır.

- Kum Tutucu (1 adet)
- Denitrifikasyon Havuzu (2 adet)
- Havalandırma Havuzu (2 adet)
- Son Çökeltim Havuzları (2 adet)
- Çamur Yoğunlaştırma Havuzu (1 adet)
- Çamur Susuzlaştırma (Dekantör) (1 adet)

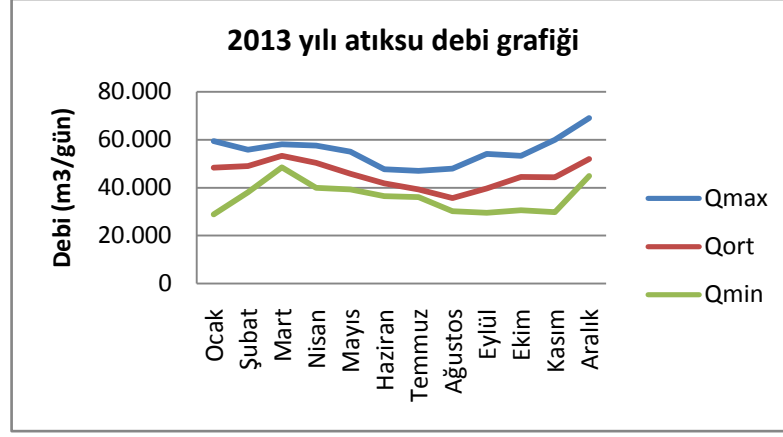
Izgaralardan geçen atıksuya havalandırılmalı kum tutucu sonrası diğer tesisler gibi biyolojik arıtmanın gerçekleştiği anoksik (denitrifikasyon) ve aerobik (nitrifikasyon) bölmeli seri bağlı havuzlara iletilmektedir.

Havalandırma 3 adet yüzey havalandırıcı ile sağlanmaktadır. Havalandırma tanklarındaki mikroorganizma ve atıksu karışımı son çökeltim havuzlarında ayrılarak, tekrar gönderilirken, fazla çamur yoğunlaştırıcıya verilmektedir. Son çökeltim tanklarında savaklanan su kendi cazibesiyle denize deşarj edilmektedir.

5.1.4 Kullar Atıksu Arıtma Tesisi

Kullar Atıksu Arıtma Tesisi'ne Kullar, Köseköy, Yuvacık, Arslanbey, Suadiye, Alikahya, Uzunçiftlik, Hikmetiye ve İzmit'in doğu yerleşim alanlarından evsel nitelikli atıksular Kavakçılık Terfi Merkezi'nde toplanarak tesise gelmektedir .

300.000 eşdeğer nüfusun atık suyunu arıtmak üzere inşa edilen tesis 62.544 m³/gün atıksuyu arıtacak şekilde tasarlanmıştır. Kullar Evsel AAT'nin 2013 yılı için ortalama debisi ~45.300 m³/gün olup mevsimsel değişiminin gösterildiği Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9: Kullar Evsel AAT mevsimsel debi değişim grafiği.

Tesisi tasarım parametreleri Çizelge 5.4'de verilmektedir.

Çizelge 5.4: Kullar Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Dizayn Parametreleri.

Q _{min} (m ³ /gün)			Q _{ort} (m ³ /gün)		Q _{pro} (m ³ /gün)	
41.472			62.544		92.616	
Giriş Kirlilik Yükü Konsantrasyonları			Çıkış Suyu Konsantrasyonları			
BOİ ₅ (mg/L)	TKN (mg/L)	TP (mg/L)	BOİ ₅ (mg/L)	AKM (mg/L)	Toplam Azot (mg/L)	
288	48	9	≤20	≤20	≤10	

Tesis ileri azot ve karbon gideren ön çökeltimsiz besi maddesi giderimli aktif çamur sistemi olarak projelendirilmiştir ve tesiste bulunan mevcut üniteler aşağıda verilmiştir.

- Kum Tutucu (1 adet)
- Denitrifikasyon Havuzu (3 adet)
- Havalandırma Havuzu (3 adet)
- Son Çökeltim Havuzları (5 adet)
- Çamur Yoğunlaştırma (1 adet)
- Çamur Susuzlaştırma (Beltpres/Dekantör) (1 adet/1 adet)
- Koku Giderim Ünitesi (1 adet)

Biyolojik fosfor giderim ünitesi de projelendirilmekte olup 2013 yılı itibarıyla inşaatına başlanacaktır. Tesisin uydu görüntüsü Şekil 5.10'da verilmektedir.



Şekil 5.10: Kullar AAT Uydu görüntüsü.

Atıksu kollektör sistemi ile tesise girmekte ve ızgaralardan geçerek burgulu pompalarla tesise yükseltilmektedir. Daha sonra atıksu havalandırmalı kum tutucudan geçerek denitrifikasyon ve nitrifikasyonun prosesinin gerçekleştiği anoksik ve aerobik havuzlara alınmaktadır. Aerobik havuzların her birine oksijen sağlayan 3 adet yüzey havalandırıcı bulunmaktadır.

Havalandırma havuzlarındaki mikroorganizma 5 adet son çökeltim tankında birbirinden ayrılarak, bir kısmı havalandırma havuzuna gönderilirken, fazla çamur ise yoğunlaştırıcıya verilmektedir. Burada çamur, en az %3 katı madde yüzdesine getirilerek bant filtre ve dekantör ünitelerinde susuzlaştırılmaktadır. 1 adet bant filtre ve 1 adet dekantörden elde edilen %18-25 KM'li çamur taşıma bantı yardımıyla kamyonlara aktarılmakta ve çimento fabrikasına gönderilerek bertaraf edilmektedir. Son çökeltim tanklarında savaklanan su, Sarı dereye deşarj edilmektedir.

Kullar AAT'inde diğer İSU tesislerinden farklı olarak, koku kontrolü amacıyla 1 adet bioabsorplama ünitesi işletilmektedir. Tesiste koku kontrolünün sağlanması için koku yapan ünitelerin (burgulu pompalar, ince ızgaralar kum tutucu, geri devir hattı, yoğunlaştırıcı, kum tutucu atıkları, ızgara atıklarının toplandığı alan, kamyon alanı) üzeri kapatılarak fanlar yardımı ile kokulu gazlar çekilmekte ve arıtımı sağlanmaktadır. Ünitelerden çekilen gazlar absorplayıcıda, kostik ve su ile yıkanmaktadır. Bir miktar H_2S gazı burada giderildikten sonra kısmen nemlendirilen gaz akımı daha sonra biyofiltre bölümüne (Şekil 5.11) verilerek H_2S arıtımı sağlanmaktadır.



Şekil 5.11: Kullar AAT biyomedy üitesi.

5.1.5 Gebze Atıksu Arıtma Tesisi

Gebze Atıksu Arıtma Tesisi, 2028 hedef yılında 670.000 kişiye hizmet verecek kapasitede projelendirilen evsel bir ileri biyolojik evsel atıksu arıtma tesisidir. Tesis uydu görüntüsü Şekil 5.12’de verilmiştir.



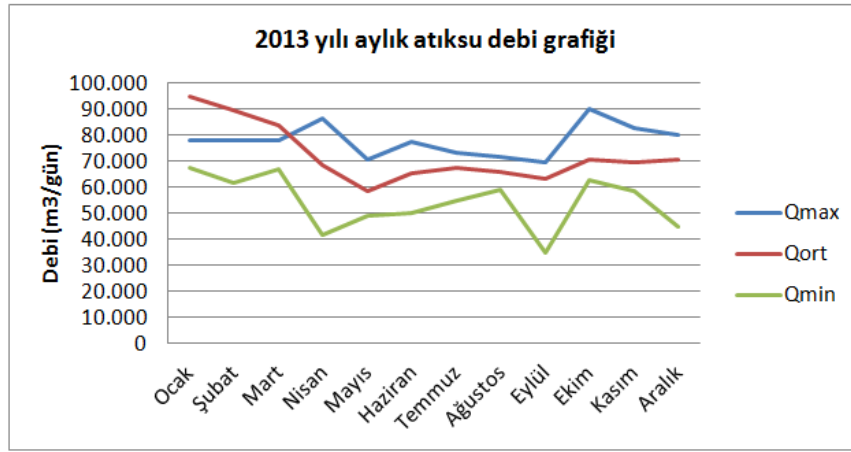
Şekil 5.12: Gebze AAT uydu görüntüsü.

Tesisin arıtma prosesi ön çökeltimsiz besi maddesi giderimli aktif çamur sistemi ile işletilmektedir. Toplam çamur yaşının ~20 gün tutulduğu tesisin dizayn parametreleri Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5: Gebze AAT tasarım kriterleri.

Q_{min} (m ³ /gün)			Q_{ort} (m ³ /gün)		Q_{pro} (m ³ /gün)
80.400			120.000		144.000
Giriş Kirlilik Yükü Konsantrasyonları			Çıkış Suyu Konsantrasyonları		
BOİ ₅ (mg/L)	TKN (mg/L)	TP (mg/L)	BOİ ₅ (mg/L)	AKM (mg/L)	Toplam Azot (mg/L)
250	50	10	≤35	≤25	≤10

Gebze Evsel AAT'nin 2013 yılı için ortalama debisi ~72.500 m³/gün olup mevsimsel değişiminin gösterildiği grafik Şekil 5.13'de verilmiştir.



Şekil 5.13: Gebze AAT'nin mevsimsel debi değişimi.

Izgaralardan geçerek terfi merkezinde 12-15 m yukarıya yükseltilen atıksu, aşağıda verilen tesis ünitelerine dağıtılmaktadır.

- Kum Tutucu (4 adet)
- Biyofosfor Havuzu (3 adet)
- Denitrifikasyon Havuzu (3 adet)
- Havalandırma Havuzu (3 adet)
- Son Çökeltim Havuzları (5 adet)
- Çamur Yoğunlaştırma (1 adet)
- Çamur Susuzlaştırma (Dekantör) (1 adet)

Izgaralardan tesise giren atıksu kum tutucu öncesi hava üfleyicilere bağlı iri kabarcıklı difüzörler ile havalandırılmaktadır. İnce ızgara ve kum tutucudan geçen ham atıksu, geri devir çamuruyla karışarak biyolojik fosfor ünitesine girmektedir. Bu üniteye karıştırma için 6 adet muz tipi dalgıç mikser kullanılmakta olup ölü noktaların olmaması ve proses verimi için havuzlar oksidasyon hendeği biçiminde tasarlanmıştır. Atıksu daha sora havalandırma havuzuna alınarak azot giderimi

sağlanmaktadır. Aktif çamur havuzu (Biyolojik reaktör), hem 3'lü hem de 5'li Bardenpho Prosesine imkan veren borulandırmaya sahip oksidasyon havuzları biçiminde tasarlanmıştır. Biyolojik reaktör içerisinde denitrifikasyon ve nitrifikasyon bölmeleri arasında içsel geri devri sağlamak için 2.500 m³/saat'lik bir resikülasyon pompası mevcuttur.

Atıksu havalandırma havuzu çıkışından 4 adet çökeltim havuzuna eşit olarak dağıtılmaktadır. Bu sistemde merkezden (deflektörden) beslenen çamur, graviteli çökeltim ile çöktürülür ve biriken çamur dip sıyrıcısının her bir dönüşünde havuzun merkezine doğru yönlendirilmektedir. Çökeltim havuzu üzerindeki sıyrıcı, hem havuz yüzeyinde kalan yüzücü maddeleri hem de dipte çökelen çamuru sıyırmaktadır. Çökeltim havuzlarının tabanından toplanan çamurun bir kısmı geri devir pompalarıyla biyofosfor havuzuna döndürülürken bir kısmı da fazla çamur pompaları ile çamur depolama havuzuna aktarılmaktadır.

Son çökeltim havuzlarının dibinden % 0,8-1 lik kuru madde içeriğiyle dekantörlere gelen çamur % 21-24 kuru maddeye kadar susuzlaştırılmaktadır.

5.2 Enerji Verimliliği Analiz Sistematiği

Bu bölümde, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İSU)'ya bağlı 5 tesisin enerji dağılımları, giderim verimleri, KOİ–Enerji kullanımı, BOİ₅–Enerji kullanımı ilişkilerinin incelenmesinde izlenen yol açıklanmaktadır.

İSU'ya ait bu tesisler ön çökeltimsiz besi maddesi giderimli aktif çamur prosesi olarak tasarlanıp işletilen tesislerdir. Bu çalışmada öncelikle tesislerin 2013 yılına ait proses izleme/performans tabloları incelenmiş ve yıllık ortalamaları alınarak özet bir tablo hazırlanmıştır (Ek-3). Tablodaki veriler ışığında ATV 131-E tasarım standardı ile hesapları yapılmış ve tesise ait kavramsal çamur üretimi (kg/gün) ve havalandırma havuzu için gerekli oksijen miktarları (kg/gün) tespit edilmiştir. Havalandırma için gerekli enerji ihtiyacı da gerekli oksijen miktarı ve kullanılan ünite dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Tesislerdeki enerji kullanımının hesaplanmasında, tesiste bulunan mevcut üniteler, bunların kurulu güçleri ve çalışma saatleri dikkate alınmıştır. Tesisin hesaplanan toplam enerjisi tesisin kurulu güçleri esas alınmıştır ve mevcut kullanımın

üzerindedir. Tesisin 2013 yılına ait toplam enerji kullanımı dikkate alınarak herbir tesisin ünite bazlı enerji kullanımlarının gösterildiği grafikler (pasta grafikler) oluşturulmuştur. Seçilen tesislerde nitrifikasyon için gerekli oksijen, hava üfleyici-difüzör sistemi veya mekanik havalandırıcılar ile sisteme verilmektedir. Gerekli oksijen miktarı dikkate alınarak hangi havalandırma ünitesinin tesis enerji tüketimi açısından daha fizibil olduğu tespit edilmiş ve tesis bazında bazı iyileştirme önerileri yapılmıştır.

Tesiste pratikte üretilen çamur miktarları ve dekantör sayısı göz önünde bulundurularak gerekli dekantör kapasitesi ve kurulu gücü GEA Firmasına ait kataloglardan alınmış olup susuzlaştırılacak olan çamur için 1,5 kWh/m³'lük tipik değer üzerinden dekantör kurulu gücü hesaplanmıştır.

Bölüm 6'da tesislere ait hesaplamalar tablo halinde verilmiş olup ünitelerin enerji kullanımları ile ilgili diyagramlar yer almaktadır. Diyagramda tesis üniteleri pompalar, ön arıtma, biyolojik arıtma, çamur birimleri ve şebeke olarak sınıflandırılmıştır. Tesis genelinde bulunan terfi için gerekli tüm pompalar, geri devir pompası, çamur pompası ve geri devir pompaları pompalar sınıfında ele alınmıştır. Ön arıtmada enerji kullanımının hesaplanmasında dikkate alınan üniteler, incelenen tüm tesislerde farkı sayı ve kapasitede bulunan ızgaralar, konveyör, kum sınıflandırıcı, gezer köprü ve blower ünitesidir. Diyagramda biyolojik arıtma olarak belirtilen kısım tesis özelinde farklılık göstermekte olup havalandırma ünitesi (hava üfleyici veya yüzey havalandırıcı), karıştırıcı sayı ve adedi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Çamur üniteleri, seçilen tesislerde genelde benzer olup (dekantör) kapasite ve ünite sayıları bakımından farklılık göstermektedir.

Tez kapsamında incelenen tesislerde üretilen arıtma çamurları (%18-25 KM'li kekler) İZAYDAŞ veya Nuh Çimento Fabrikası'na gönderilerek bertaraf edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında mevcut tesislere anaerobik çürütücü eklenmesi halindeki biyometan ve buna bağlı olarak üretilebilecek teorik enerji miktarları da hesaplanarak tesisin enerji potansiyelleri incelenmiştir. Tasarlanan çürütücüye tesiste pratikte üretilen çamur miktarı beslenmektedir. Anaerobik çürütücü mezofilik şartlarda (30°C) işletilmekte olup üretilen gaz hacminin % 65'i metandır. Oluşan metan birleşik ısı güç sistemlerinde (CHP) yakılarak ısı ve elektrik enerjisi üretilmektedir. Tesisler için CHP verimi %30 alınmıştır ve üretilen toplam enerjinin

% 30'u elektrik enerjisine karşılık gelmektedir. Ünitede oluşan ısı enerjisinin ünitenin ısıtılmasında kullanıldığı ve üretilen toplam enerjinin %15'inin de kayıp olduğu varsayılarak tesis bazında net enerji üretimleri bulunmuştur. Bu suretle tesis enerji ihtiyacının tesis içinde üretilebilecek enerjiden karşılanabilme potansiyeli tahmin edilmiştir.

Çalışma sonunda, tesisler için enerji kullanımları, tesis yükü (BOİ, KOİ), eşdeğer nüfus (EN), üretilen elektrik ilişkilerini gösteren grafikler sunulmuştur.

6. İNCELENEN TESİSLERLE İLGİLİ BULGULAR

6.1 Elde Edilen Bulgular

Bu çalışma kapsamında Kocaeli Büyükşehir Belediyesine ait 5 adet Evsel Atıksu Arıtma Tesisi incelenmiştir. 2013 yılına ait tesis verileri (Ek-1 ve Ek-2) kullanılarak tesis bazında yıllık ortalamalar aşağıdaki bölümlerde tablolar halinde sunulmuştur.

Seçilen tesisler için ATV 131-E modeli ve tesisten alınan veriler doğrultusunda bazı verileri doğrulamak üzere proses hesapları yapılmıştır. Belli parametreler enerji bakımından mevcut durum ile kıyaslanmış ve farklar ortaya konmuştur.

6.1.1 Plajyolu Atıksu Arıtma Tesisi

Önceki bölümde detaylı olarak tanıtılan Plajyolu AAT, $\theta_c=10$ gün olarak işletilen ön çökeltimsiz besi maddesi giderimli bir aktif çamur sistemidir. Tesisin 2013 yılı ortalama değerleri (standart sapma değerleri ile birlikte) Çizelge 6.1’de verilmiştir. Çizelgede aynı zamanda tesise giren kirlilik yükleri de (KOİ, BOİ, AKM, TKN ve TP) kg/gün cinsinden verilmiştir. Bu tesise ait 2013 işletme verileri Ek-1, 2’de ayrıca sunulmuştur.

Çizelge 6.1: Kocaeli BB İSU Plajyolu AAT verileri (2013 yılı ortalaması).

Parametre	Birim	Konsantrasyon	
		Giriş Değerleri (±Standart sapma)	Çıkış Değerleri(±Standart sapma)
Debi	m ³ /gün	65.143 ±5.850	
KOİ	mg/L	377±65	55 ±16
BOİ	mg/L	148 ±34	15 ±3
AKM	mg/L	193 ±27	75 ±33
TKN	mg/L	30 ±4	3 ±1
NH ₃ Azotu	mg/L	29 ±3	10 ±1
TP	mg/L	4 ±1	2
Sıcaklık	°C	17 ±5	16 ±6
Kirlilik Yükleri			
KOİ	kg/gün	24.318 ±3.110	3.507 ±910
BOİ	kg/gün	9.519 ±1.900	956 ±170
AKM	kg/gün	12.510 ±1.600	4.833±2.000
TKN	kg/gün	1.928 ±210	177 ±56
TP	kg/gün	288 ±31	100 ±21

Plajyolu AAT’ye ait 2013yılı fiili enerji kullanım verileri üzerinden hesaplanan yıllık ortalama enerji tüketimi 15.614 kWh/gün’dür. KOİ₁₂₀ (120 g KOİ/EN.gün) esas alınarak hesaplanan eşdeğer nüfus (EN) dikkate alındığında tesisteki ortalama özgül

enerji kullanımı 29,2 kWh/EN.yıl'dır. Plajyolu AAT'ye ait verilerde ünite bazında fiili enerji kullanım değerleri mevcut değildir. Bu nedenle tesiste bulunan üniteler incelenmiş, tesis sorumlularından ünitelerin kurulu güçleri ve günlük çalışma süreleri alınarak bir enerji dağılım diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 6.1). Çizelge 6.2'de tesisteki ünitelerin kurulu güç ve çalışma saatlerinden yola çıkarak toplam teorik elektrik kullanımları verilmiştir. Terfi merkezi, tesis içi atıksu ve çamur transferini sağlayan pompaların enerji kullanımları 4.828 kWh/gün'dür.

Çizelge 6.2: Plajyolu AAT enerji tüketimi.

Tesisteki Üniteler	Kurulu Güç(KW)	Çalışma süresi (sa/gün)	Adet	Enerji Kullanımı (kWh/gün)
Pompalar				4.828
P4 pompa istasyonu	45	24	1	1.080
Geri DevirPompası	75	24	2	3.600
Kum Tutucu Pompa	5,5	10	2	110
Dozlama pompası	0,37	3	2	2
Fazla Çamur pompa	5,5	3	2	33
Köpük Pompası	0,75	4	1	3
Ön Arıtma Ünitesi				899
Kaba Izgaralar	0,37	24	2	17,76
İnce Izgaralar	1,1	24	2	52,8
Konveyör	0,75	24	2	36
Kum tutucu köprü	1,5	24	2	72
Kum Tutucu Blower	15	24	2	720
Biyolojik Arıtma				12.101
Karıştırıcı (Biyofosfor)	5,5	24	2	264
Blower	160	24	3	11.520
RAS karıştırıcı	3,3	24	4	317
Çamur Birimleri				4.278
Dip sıyrıcı	0,55	24	4	53
Blower	18,8	24	2	902
Dekantör	100	16	2	3.200
Diğer (Isıtma, Aydınlatma v.b)				1.496
TOPLAM (BRÜT İTİBARIYLA) ENERJİ KULLANIMI				24.939

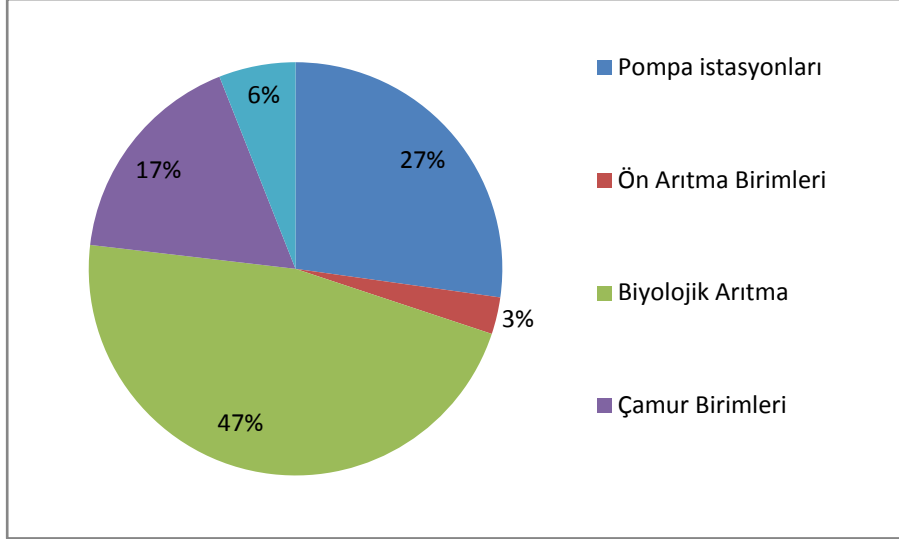
Atıksu P4 pompa istasyonu ile ön arıtma ünitesine giriş yapmaktadır (Şekil 6.2). Ön arıtma ünitesinde elektrik kullanımı 899 kWh/gün gibi tesis geneline oranla oldukça düşük bir değerdir. Bu üniteye en yüksek enerji tüketicisi kum tutucuya hava verilmesinde kullanılan hava üfleyicileridir. Ön arıtma ünitesinden sonra biyolojik fosfor gideriminin gerçekleştiği anaerobik tanka iletilen atıksu daha sonra ayrı bir havuzda denitrifikasyon ve nitrifikasyon bölmelerine iletilir. Biyofosfor havuzundaki karışım 5,5 kW kurulu güce sahip 2 adet dalgıç karıştırıcı ile sağlanmaktadır. Atıksu daha sonra anoksik ve aerobik bölmelere iletilmektedir. Biyolojik havuzda enerji yoğun olarak bilinen en önemli üniteler nitrifikasyonun gerçekleştiği havalandırma havuzlarıdır. Plajyolu AAT biyolojik arıtma ünitesinde gerekli oksijen, sisteme 160

kW kapasiteli 3 adet blower (hava üfleyici) ile verilmektedir. Biyolojik havuzdan alınan çamur RAS (geri devir) havuzlarında bekletilerek bir kısmı biyolojik arıtmanın başına fazlası ise çamur bekletme havuzlarına verilmektedir. Burada 3 adet 3,3 kW'lık karıştırıcı ile karışım sağlanmaktadır.

Plajyolu AAT'nde son çökeltim havuzundan çamur sıyrıcı ile alınan çamurlar aerobik depolama/stabilizasyonun sağlandığı havuzlarda bekletilerek 2 adet dekantöre iletilmekte ve burada susuzlaştırıldıktan sonra Nuh Çimento veya Kocaeli BB İzaydaş' a gönderilerek termal yolla bertaraf edilmektedir. Tesisteki 100 kW gücünde 2 adet dekantör girişinde, polielektrolit dozlama pompaları ile PE beslenip şartlandırma yapılarak çamur susuzlaştırma ünitesine alınmaktadır.

Çizelge 6.2'deki diğer enerji tüketimleri ısıtma ve aydınlatma için gerekli enerji dikka alınarak hesaplanmıştır. Tesiste bu tür kullanımlar için enerji tüketim kaydı tutulmamaktadır. Bu nedenle ısıtma ve aydınlatma için gerekli enerji kullanımı literatürden tesis tüketiminin %6'sı olarak alınmıştır.

Tesiste en yüksek enerji sarfıyatı Şekil 6.1'den de görüldüğü gibi biyolojik arıtma biriminde oluşmaktadır. Tesisten alınan veriler doğrultusunda ATV 131-E'ye göre yapılan hesaplamalar neticesinde havalandırma havuzu için gerekli O₂ ihtiyacı ~ 20.000 kg O₂/gün olarak bulunmuştur. Tesiste havalandırma için difüzörlü havalandırıcılar kullanılmaktadır. Sistemi besleyen 3 adet hava üfleyicinin her birinin kurulu gücü 160 kW ve çalışma süreleri de 24 saat olarak verilmiştir. Aşağıda verilen diyagram tesisin, gerçek enerji tüketim değeri olan 15.614 kWh/gün ile tesis ekipmanlarının kurulu güçleri ve çalışma sürelerinden hareketle hesaplanan toplam değer normalize edilerek hazırlanmıştır.



Şekil 6.1: Plajyolu AAT'nin enerji kullanımı dağılımı.

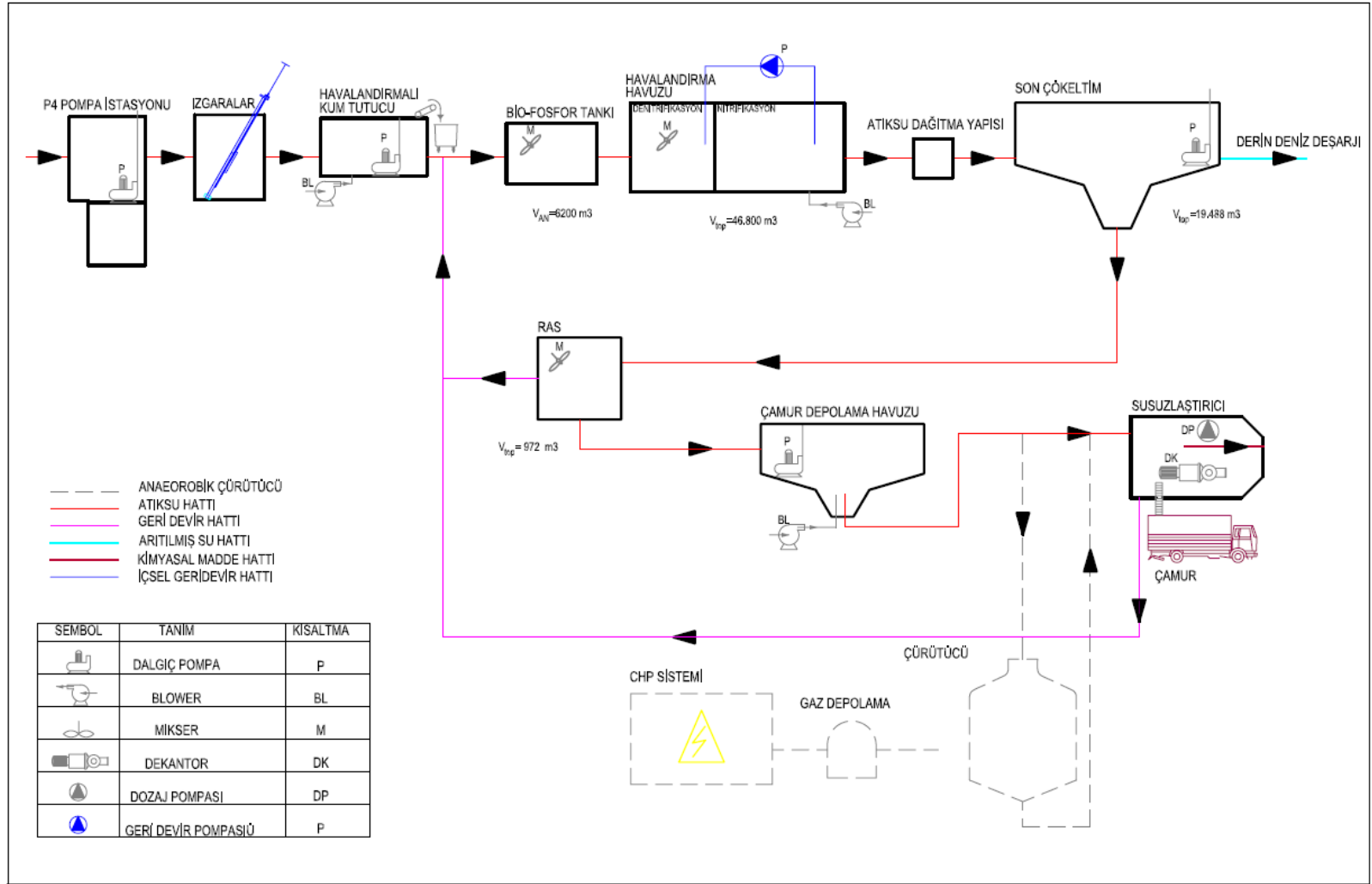
İSU'ya ait bu tesiste çamur aerobik stabilizasyon ile (büyük oranda biyolojik arıtma birimlerinde) çürütülmekte ve dekantör ünitesinde susuzlaştırılarak İZAYDAŞ'a gönderilmektedir.

Tesiste günde ~ 25 ton KM çamur üretilmektedir. Üretilen bu çamurun, kurulacak bir anaerobik çürütücü ile stabilizasyonu durumunda önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilecektir (Çizelge 6.3). Çürütücüye %70 UKM değerinde fazla biyolojik çamur beslemesi yapıldığı ve bunun %40'ının anaerobik çürütücüde giderildiği varsayılmıştır. Mezofilik çürütücüler için $1\text{m}^3/\text{kg}$ $\text{UKM}_{\text{giderilen}}$ miktarındaki tipik özgül biyogaz üretimi kabulü ile üretilebilecek toplam gaz hacmi $7.000\text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Oluşan metan yüzdesi % 65, metanın enerji potansiyeli de $10\text{ kWh/m}^3\text{ CH}_4$ alınmış ve çürütücünün toplam biyometan enerjisi üretim potansiyeli 45.500 kWh/gün olarak bulunmuştur. Toplam enerji potansiyelinin %25'i olan 11.375 kWh/gün çürütücünün içten yanmalı motor sistemi ile elektrik enerjisi üretim potansiyeli bu değerin ~1,3 katı olan 17.745 kWh/gün ise ısı enerjisi geri kazanım potansiyelini göstermektedir. Çürütücünün işletiminde % 10'luk bir ısı kaybı olduğu varsayılmış ve net ısı enerjisi potansiyeli 13.310 kWh/gün olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.3: Plajyolu AAT'ine tasarlanan anaerobik çürütücü ve değerleri.

Anaerobik Çürütücü		
Tesiste üretilen çamur miktarı	123,4	g/EN.gün
Giderilen UKM	40	%
Çürütücüye Giren UKM	17.500	kg/gün
Çürütücüye gelen KM	419	m ³ /gün
Q _{gaz}	7.000	m ³ /gün
Metan (CH ₄) Üretimi	4.550	m ³ /gün
Potansiyel Enerji Değeri	45.500	kWh/gün
Geri Kazanılabilir Elektrik Enerjisi	11.375	kWh _e /gün
Geri Kazanılabilir Net Isı Enerjisi	13.310	kWh _{ısı} /gün

Tesis toplam enerji kullanımı olan 15.614 kWh/gün değeri ile çürütücünün elektrik üretim potansiyeli kıyaslandığında tesis enerjisinin % 70'sinin çürütücüde üretilen biyometan tarafından karşılanabileceği görülmektedir. Tesis çamur yaşının düşürülmesi ile biyolojik havuzda gerçekleşen stabilizasyon azalırken fazla çamur miktarı ve UKM düzeyi de artacaktır. Aynı zamanda havalandırma enerjisi ihtiyacı da azalacağından tesisin toplam enerji tüketimi düşecektir. Daha az stabilize olmuş çamur ve artan çamur miktarı ile çürütücünün enerji potansiyelinin ~% 20'lere varan oranlarda artması beklenmektedir.



Şekil 6.2: Plajyolu AAT akım şeması.

6.1.2 Yeniköy Atıksu Arıtma Tesis

Önceki bölümde detaylı olarak tanıtılan Yeniköy AAT, $\theta_c=12$ gün olarak işletilen ön çökeltimsiz besi maddesi giderimli bir aktif çamur sistemidir. Tesisin 2013 yılı ortalama değerleri (standart sapma değerleri ile birlikte) Çizelge 6.4’de verilmiştir. Çizelgede aynı zamanda tesise giren kirlilik yükleri de (KOİ, BOİ, AKM, TKN ve TP) kg/gün cinsinden verilmiştir. Bu tesise ait 2013 işletme verileri Ek 1 ve 2’de ayrıca sunulmuştur.

Çizelge 6.4: Yeniköy AAT verileri (2013 yılı ortalaması).

Tesis Verileri (2013 yılı ortalaması)			
Parametre	Birim	Giriş Değerleri(±Standart sapma)	Çıkış Değerleri(±Standart sapma)
Debi	m ³ /gün	56.579 ±8.900	
Sıcaklık	°C	20±6	20±6
Konsantrasyon			
KOİ	mg/L	317±49	49±11
BOİ	mg/L	177±31	10±1
AKM	mg/L	364±133	75±33
TKN	mg/L	19±4	3
TP	mg/L	2±1	1±1
NH ₃ Azotu	mg/L	10±10	3±4
Tesisin Yük Dengesi			
KOİ	kg/gün	17.603±1.885	2.751±488
BOİ	kg/gün	9.256±3.276	551±92
AKM	kg/gün	19.679±5.647	4.222±1.881
TKN	kg/gün	1.056±196	178±30
TP	kg/gün	142±76	80±51

Yeniköy AAT’ye ait 2013yılı fiili enerji kullanım verileri üzerinden hesaplanan yıllık ortalama enerji tüketimi 18.680 kWh/gün’dür. KOİ₁₂₀ (120 g KOİ/EN.gün) esas alınarak hesaplanan eşdeğer nüfus (EN) dikkate alındığında tesisteki ortalama özgül enerji kullanımı 47,45 kWh/EN.yıl’dır. Yeniköy AAT’ye ait verilerde ünite bazında fiili enerji kullanım değerleri mevcut değildir. Bu nedenle tesiste bulunan üniteler incelenmiş, tesis sorumlulularından ünitelerin kurulu güçleri ve günlük çalışma süreleri alınarak bir enerji dağılım diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 6.3: 6). Çizelge 6.5: 6’de tesisteki ünitelerin kurulu güç ve çalışma saatlerinden yola çıkarak toplam teorik elektrik kullanımları verilmiştir. Terfi merkezi, tesis içi atıksu ve çamur transferini sağlayan pompaların enerji kullanımları 8.686 kWh/gün’dür.

Çizelge 6.5: Yeniköy AAT enerji tüketimi.

Tesisteki Üniteler	Kurulu Güç(watt)	Çalışma süresi (sa/gün)	Adet	Enerji Kullanımı (kWh/gün)
Pompalar				8.686
Hidrofor Ünitesi	15	24	2	720
Burgu Pompa	37	24	2	1.776
Dalgıç kum pompası	2,2	10	1	22
Geri Devir pompası	37	24	4	3.552
Fazla Çamur pompa	4	3	2	24
Resirkülasyon pompası	27	24	4	2.592
Ön Arıtma Ünitesi				828
Kaba ızgara	0,37	24	1	9
İnce Izgaralar	0,75	24	2	36
Konveyör	0,75	24	1	18
Kum sınıflandırıcı	1,5	24	1	36
Gezer Köprü	0,37	24	1	9
Kum Tutucu Blower	15	24	2	720
Biyolojik Arıtma				28.494
Denitr. Mikser	10	24	6	1.440
Savak	0,75	24	3	54
Aerator Havalandırıcı	75	24	15	27.000
Çamur Birimleri				3.213
Çamur sıyrıcı	0,55	24	1	13,2
Dekantör	100	16	2	3200
Diğer (ısıtma, aydınlatma)				2.631
TOPLAM BRÜT (İTİBARIYLA) ENERJİ KULLANIMI				43.852

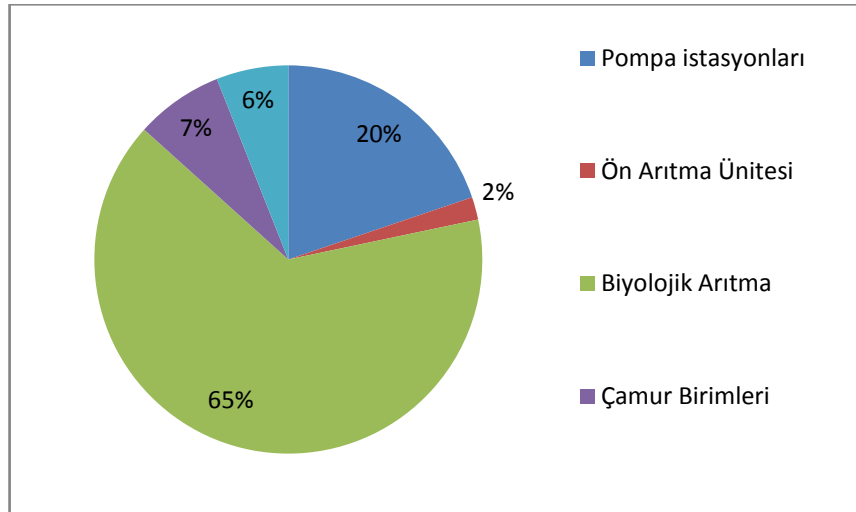
Tesise alınan atıksu ızgaralardan geçerek tesis ünitelerine alınmaktadır (Şekil 6.4). Ön arıtma ünitesinde elektrik kullanımı 828 kWh/gün gibi tesis geneline oranla oldukça düşük bir değerdir. Bu ünite en yüksek enerji tüketicisi kum tutucuya hava verilmesinde kullanılan hava üfleyicileridir. Ön arıtma ünitesinden sonra biyolojik arıtmanın gerçekleştiği havalandırma havuzunda anoksik ve aerobik bölmelere iletilmektedir. Biyolojik havuzda enerji yoğun olarak bilinen en önemli üniteler nitrifikasyonun gerçekleştiği havalandırma havuzlarıdır. Yeniköy AAT biyolojik arıtma ünitesinde gerekli oksijen, sisteme 75 kW kapasiteli toplamda 15 adet aerator (yüzeysel havalandırıcı) ile verilmektedir. Biyolojik havuzda içsel geri deviri sağlayan pompalar ve son çökeltim tankından alınan çamur ile biyolojik havuza besleme yapılmaktadır. Biyolojik havuz çıkışında bulunan dağıtım ünitesi ile atıksu kontrollü olarak son çökeltim tankına verilmektedir.

Yeniköy AAT’nde son çökeltim havuzundan çamur sıyrıcı ile alınan çamurlar çamur depolama havuzlarında bekletilerek 2 adet dekantöre iletilmekte ve burada susuzlaştırıldıktan sonra Nuh Çimento veya Kocaeli BB İzaydaş’ a gönderilerek termal yolla bertaraf edilmektedir. Tesisteki 100 kW gücünde 2 adet dekantör

girişinde, polielektrolit dozlama pompaları ile PE beslenip şartlandırma yapılarak çamur susuzlaştırma ünitesine alınmaktadır.

Çizelge 6.5’deki diğer enerji tüketimleri ısıtma ve aydınlatma için gerekli enerji dikkate alınarak hesaplanmıştır. Tesiste bu tür kullanımlar için enerji tüketim kaydı tutulmamaktadır. Bu nedenle ısıtma ve aydınlatma için gerekli enerji kullanımı literatürden tesis tüketiminin %6’sı olarak alınmıştır.

Tesiste en yüksek enerji sarfıyatı Şekil 6.3’den de görüldüğü gibi biyolojik arıtma biriminde oluşmaktadır. Tesisten alınan veriler doğrultusunda ATV 131-E’ye göre yapılan hesaplamalar neticesinde havalandırma havuzu için gerekli O₂ ihtiyacı ~ 16.500 kg O₂/gün olarak bulunmuştur. Tesiste havalandırma için aerator tipi havalandırıcılar kullanılmaktadır. Sistemi besleyen 15 adet hava üfleyicinin her birinin kurulu gücü 75 kW ve çalışma süreleri de 24 saat olarak verilmiştir. Aşağıda verilen diyagram tesisin, gerçek enerji tüketim değeri olan 18.680 kWh/gün ile tesis ekipmanlarının kurulu güçleri ve çalışma sürelerinden hareketle hesaplanan toplam değer normalize edilerek hazırlanmıştır.



Şekil 6.3: Yeniköy AAT’nin enerji kullanım dağılımı.

İSU’ya ait bu tesiste çamur, çamur bekletme havuzlarında bekletilerek graviteli biçimde yoğunlaştırılmakta ve dekantör ünitesinde susuzlaştırılarak İZAYDAŞ’a gönderilmektedir.

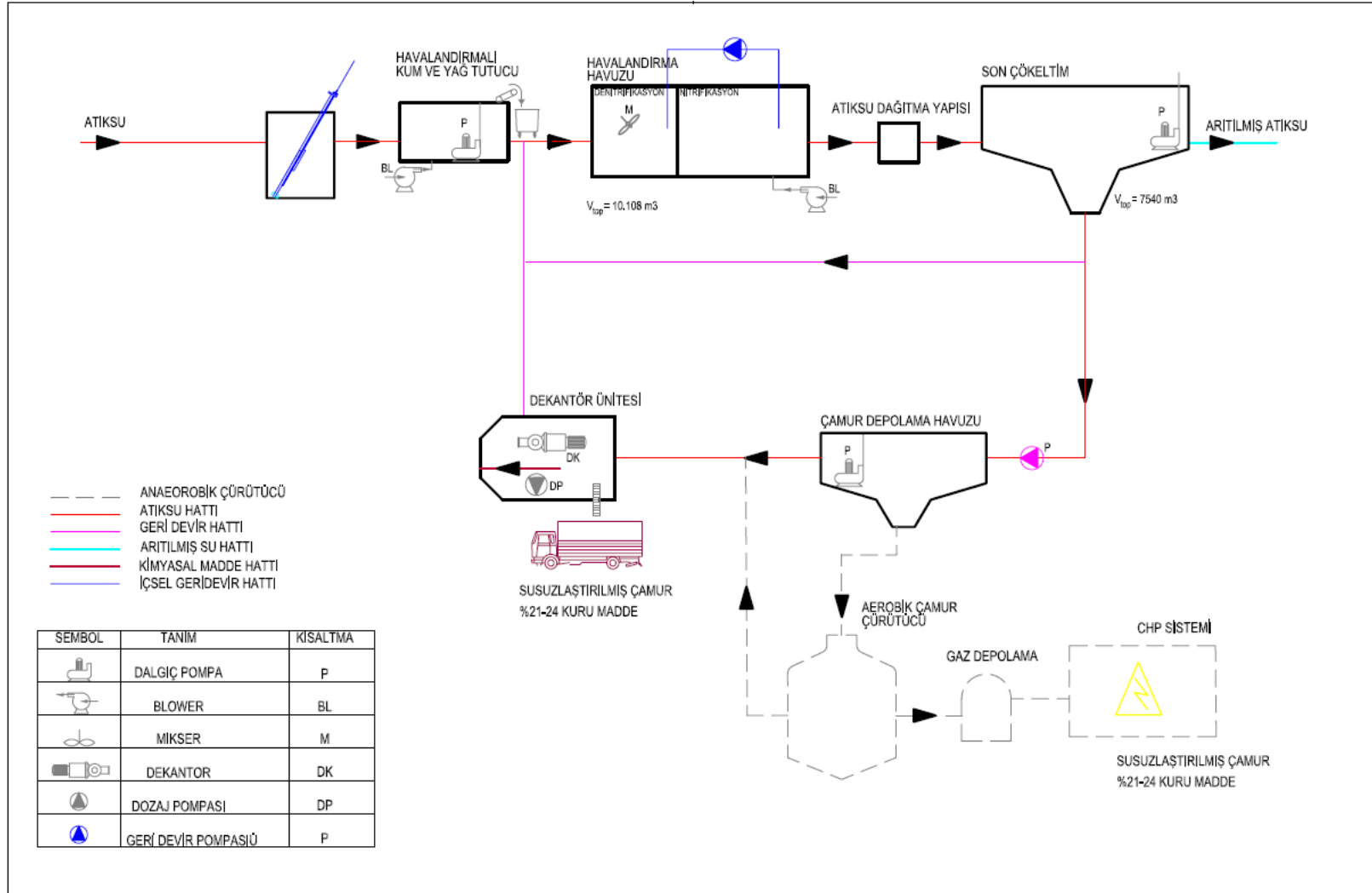
Tesiste günde ~ 12 ton KM çamur üretilmektedir. Üretilen bu çamurun, kurulacak bir anaerobik çürütücü ile stabilizasyonu durumunda önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilecektir (Çizelge 6.6). Çürütücüye %70 UKM değerinde fazla biyolojik

çamur beslemesi yapıldığı ve bunun %40'ının anaerobik çürütücüde giderildiği varsayılmıştır. Mezofilik çürütücüler için $1\text{m}^3/\text{kg}$ $\text{UKM}_{\text{giderilen}}$ miktarındaki tipik özgül biyogaz üretimi kabulü ile üretilebilecek toplam gaz hacmi $3.360\text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Oluşan metan yüzdesi % 65, metanın enerji potansiyeli de $10\text{ kWh}/\text{m}^3\text{ CH}_4$ alınmış ve çürütücünün toplam biyometan enerjisi üretim potansiyeli $21.840\text{ kWh}/\text{gün}$ olarak bulunmuştur. Toplam enerji potansiyelinin %25'i olan $5.460\text{ kWh}/\text{gün}$ çürütücünün içten yanmalı motor sistemi ile elektrik enerjisi üretim potansiyeli bu değerin ~1,3 katı olan $7.098\text{ kWh}/\text{gün}$ ise ısı enerjisi geri kazanım potansiyelini göstermektedir. Çürütücünün işletiminde % 10'luk bir ısı kaybı olduğu varsayılmış ve net ısı enerjisi potansiyeli $6.400\text{ kWh}/\text{gün}$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.6: Yeniköy AAT'ine tasarlanan anaerobik çürütücü ve değerleri.

Anaerobik Çürütücü		
Tesiste üretilen çamur miktarı	81,8	g/EN.gün
Giderilen UKM	40	%
Çürütücüye Giren UKM	8.400	kg/gün
Çürütücüye gelen KM	201	$\text{m}^3/\text{gün}$
Q_{gaz}	3.360	$\text{m}^3/\text{gün}$
Metan (CH_4) Üretimi	2.184	$\text{m}^3/\text{gün}$
Potansiyel Enerji Değeri	21.840	$\text{kWh}/\text{gün}$
Geri Kazanılabilecek Elektrik Enerjisi	5.460	$\text{kWh}_e/\text{gün}$
Geri Kazanılabilecek Net Isı Enerjisi	6400	$\text{kWh}_{\text{ısı}}/\text{gün}$

Tesis toplam enerji kullanımı olan $18.680\text{ kWh}/\text{gün}$ değeri ile çürütücünün elektrik üretim potansiyeli kıyaslandığında tesis enerjisinin ~% 30'unun çürütücüde üretilecek biyometan tarafından karşılanabileceği görülmektedir. Tesiste nitrifikasyon için gerekli oksijen yüzeysel havalandırma ile sağlanması tesis enerji kullanımını arttırmaktadır. Havalandırma havuzlarında yüzeysel havalandırma yerine difüzör kullanımı durumunda tesis enerji kullanımı ~%25 oranında azalacaktır. Aynı zamanda tesis çamur yaşının düşürülmesi ile biyolojik havuzda gerçekleşen stabilizasyon azalırken fazla çamur miktarı ve UKM düzeyi de artacaktır. Bu durumda havalandırma enerjisi ihtiyacı da azalacağından tesisin toplam enerji tüketimi düşecektir. Daha az stabilize olmuş çamur ve artan çamur miktarı ile çürütücünün enerji potansiyelinin ~% 20'lere varan oranlarda artması beklenmektedir.



Şekil 6.4: Yeniköy AAT akım şeması.

6.1.3 Karamürsel AAT

Önceki bölümde detaylı olarak tanıtılan Karamürsel AAT, $\theta_c=12$ gün olarak işletilen ön çökeltimsiz besi maddesi giderimli bir aktif çamur sistemidir. Tesisin 2013 yılı ortalama değerleri (standart sapma değerleri ile birlikte) Çizelge 6.7’de verilmiştir. Çizelgede aynı zamanda tesise giren kirlilik yükleri de (KOİ, BOİ, AKM, TKN ve TP) kg/gün cinsinden verilmiştir. Bu tesise ait 2013 işletme verileri Ek 1 ve 2’de ayrıca sunulmuştur.

Çizelge 6.7: Karamürsel AAT verileri (2013 yılı ortalaması).

Tesis Verileri (2013 yılı ortalaması)			
Parametre	Birim	Giriş Değerleri(±Standart sapma)	Çıkış Değerleri(±Standart sapma)
Debi	m ³ /gün		19.634±3.026
Sıcaklık	°C	15±1	15±1
Konsantrasyon			
KOİ	mg/L	316±201	45±1
BOİ	mg/L	72±39	7±2
AKM	mg/L	122±70	16±4
TKN	mg/L	22 ±16	8±4
TP	mg/L	5±2	1
NH ₃ Azotu	mg/L	18±5	5±2
Tesisin Yük Dengesi			
KOİ	kg/gün	6.296±3.978	888±323
BOİ	kg/gün	1.998±938	132±58
AKM	kg/gün	2.513±1.672	319±101
TKN	kg/gün	435±295	151±73
TP	kg/gün	100±47	26±15

Karamürsel AAT’ye ait 2013yılı fiili enerji kullanım verileri üzerinden hesaplanan yıllık ortalama enerji tüketimi 4.950 kWh/gün’dür. KOİ₁₂₀ (120 g KOİ/EN.gün) esas alınarak hesaplanan eşdeğer nüfus (EN) dikkate alındığında tesisteki ortalama özgül enerji kullanımı 34,4 kWh/EN.yıl’dır. Karamürsel AAT’ye ait verilerde ünite bazında fiili enerji kullanım değerleri mevcut değildir. Bu nedenle tesiste bulunan üniteler incelenmiş, tesis sorumlularından ünitelerin kurulu güçleri ve günlük çalışma süreleri alınarak bir enerji dağılım diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 6.5). Çizelge 6.8’de tesisteki ünitelerin kurulu güç ve çalışma saatlerinden yola çıkarak toplam teorik elektrik kullanımları verilmiştir. Terfi merkezi, tesis içi atıksu ve çamur transferini sağlayan pompaların enerji kullanımları 2.736 kWh/gün’dür.

Çizelge 6.8: Karamürsel AAT enerji tüketimi.

Tesisteki Üniteler	Kurulu Güç(watt)	Çalışma süresi (sa/gün)	Adet	Enerji Kullanımı (kWh/gün)
Pompalar				2.736
Hidrofor ünitesi	15	8	1	120
Karışım suyu geri devir pomp	15	24	3	1.080
Aktif çamur geri devir pom.	15	24	4	1.440
Fazla aktif çamur pom.	2	24	1	48
Dalgıç kum pompa	2	24	1	48
Ön Arıtma Ünitesi				299
İnce Izgaralar	0,75	4	2	6
Kum sınıflandırıcı	1,5	4	1	6
Gezer Köprü	0,55	4	1	2
Kum Ayırıcı	0,75	2	2	3
Konveyör	0,75	4	1	3
Kum Tutucu Blower	5,8	24	2	278
Biyolojik Arıtma				11.073
Dalgıç mikser	5,5	24	2	264
Aeratörler	75	24	6	10.800
Savaklar	0,18	24	2	9
Çamur Birimleri				529
Sıyırıcı	0,55	24	1	13,2
Dekantör	30	16	1	480
Döner Köprü	0,75	24	2	36
Diğer (Isıtma, Aydınlatma v.b.)				934
TOPLAM BRÜT (İTİBARIYLA) ENERJİ KULLANIMI				15.571

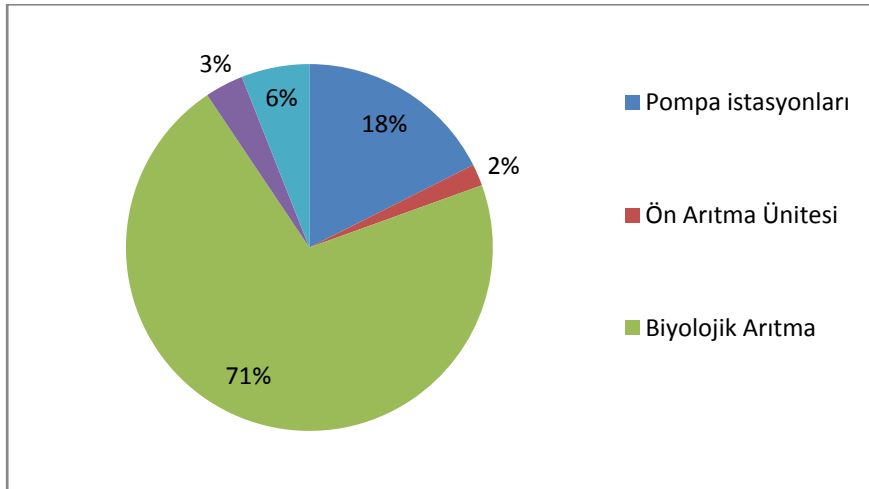
Tesise alınan atıksu ızgaralardan geçerek tesis ünitelerine alınmaktadır (Şekil 6.6). Ön arıtma ünitesinde elektrik kullanımı ~300 kWh/gün gibi tesis geneline oranla oldukça düşük bir değerdir. Bu ünite en yüksek enerji tüketicisi kum tutucuya hava verilmesinde kullanılan hava üfleyicileridir. Ön arıtma ünitesinden sonra biyolojik arıtmanın gerçekleştiği havalandırma havuzunda anoksik ve aerobik bölmelere iletilmektedir. Biyolojik havuzda enerji yoğun olarak bilinen en önemli üniteler nitrifikasyonun gerçekleştiği havalandırma havuzlarıdır. Karamürsel AAT biyolojik arıtma ünitesinde gerekli oksijen, sisteme 75 kW kapasiteli toplamda 6 adet aeratör (yüzeysel havalandırıcı) ile verilmektedir. Biyolojik havuzda içsel geri deviri sağlayan pompalar ve son çökeltim tankından alınan çamur ile biyolojik havuza besleme yapılmaktadır. Biyolojik havuz sonrası atıksu dağıtma yapısından kontrollü olarak son çökeltim havuzuna ve havalandırma havuzu girişine verilmektedir.

Karamürsel AAT’nde son çökeltim havuzundan çamur sıyırıcı ile alınan çamurlar çamur depolama havuzlarında bekletilerek 1 adet dekantöre iletilmekte ve burada susuzlaştırıldıktan sonra Nuh Çimento veya Kocaeli BB İzaydaş’ a gönderilerek termal yolla bertaraf edilmektedir. Tesisteki 30 kW gücünde 1 adet dekantör

girişinde, polielektrolit dozlama pompaları ile PE beslenip şartlandırma yapılarak çamur susuzlaştırma ünitesine alınmaktadır.

Çizelge 6.8'deki diğer enerji tüketimleri ısıtma ve aydınlatma için gerekli enerji dikkate alınarak hesaplanmıştır. Tesiste bu tür kullanımlar için enerji tüketim kaydı tutulmamaktadır. Bu nedenle ısıtma ve aydınlatma için gerekli enerji kullanımı literatürden tesis tüketiminin %6'sı olarak alınmıştır.

Tesiste en yüksek enerji sarfıyatı Şekil 6.5'den de görüldüğü gibi biyolojik arıtma biriminde oluşmaktadır. Tesisten alınan veriler doğrultusunda ATV 131-E'ye göre yapılan hesaplamalar neticesinde havalandırma havuzu için gerekli O_2 ihtiyacı ~ 5.800 kg O_2 /gün olarak bulunmuştur. Tesiste havalandırma için aeratör tipi havalandırıcılar kullanılmaktadır. Sistemi besleyen 6 adet hava üfleyicinin her birinin kurulu gücü 75 kW ve çalışma süreleri de 24 saat olarak verilmiştir. Aşağıda verilen diyagram tesisin, gerçek enerji tüketim değeri olan 4.950 kWh/gün ile tesis ekipmanlarının kurulu güçleri ve çalışma sürelerinden hareketle hesaplanan toplam değer normalize edilerek hazırlanmıştır.



Şekil 6.5: Karamürsel AAT'nin enerji kullanım dağılımı.

İSU'ya ait bu tesiste çamur, çamur bekletme havuzlarında bekletilerek graviteli biçimde yoğunlaştırılmakta ve dekantör ünitesinde susuzlaştırılarak İZAYDAŞ'a gönderilmektedir.

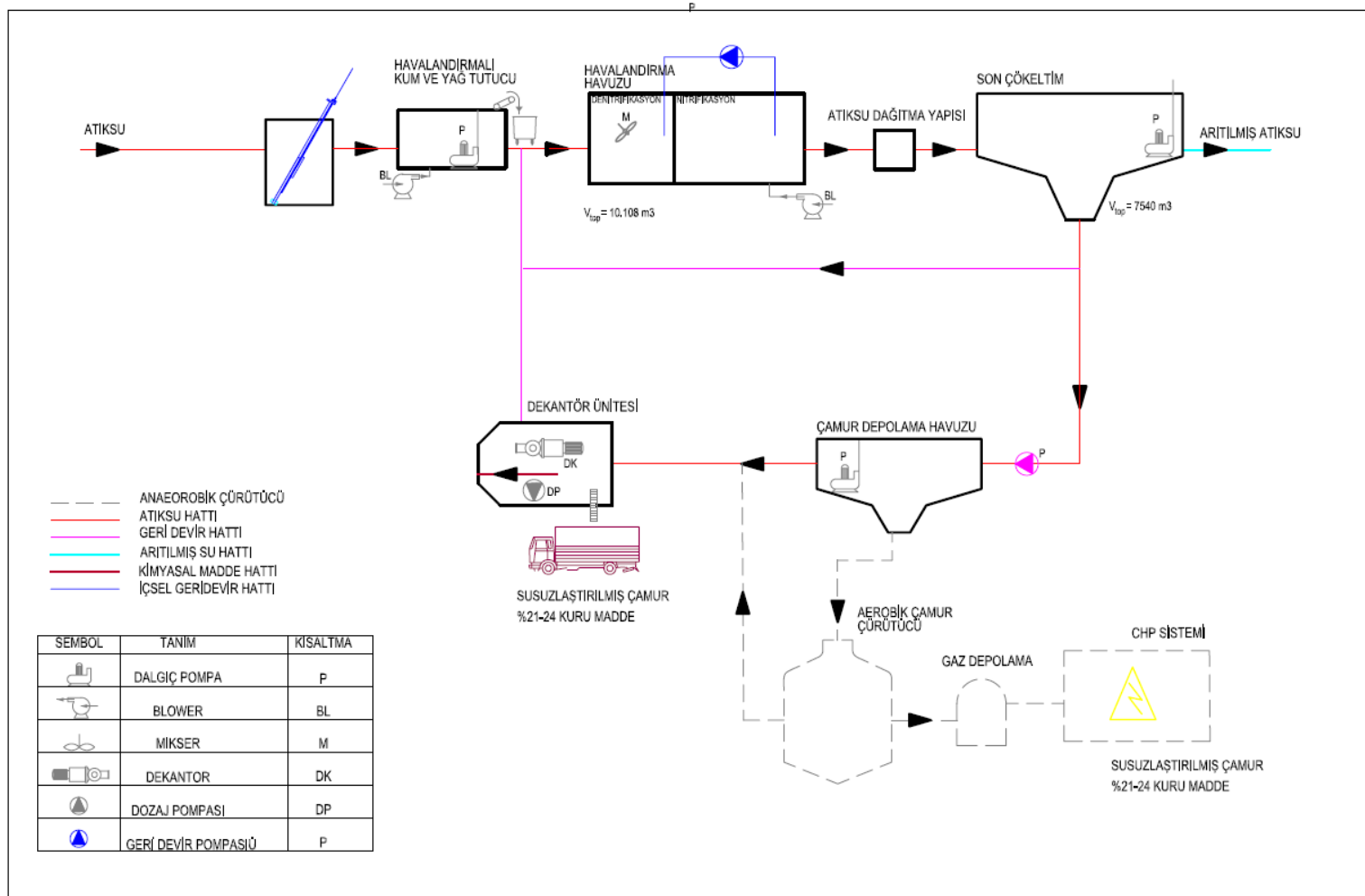
Tesiste günde ~ 6,3 ton KM çamur üretilmektedir. Üretilen bu çamurun, kurulacak bir anaerobik çürütücü ile stabilizasyonu durumunda önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilecektir (Çizelge 6.9). Çürütücüye %70 UKM değerinde fazla biyolojik çamur beslemesi yapıldığı ve bunun %40'ının anaerobik çürütücüde giderildiği

varsayılmıştır. Mezofilik çürütücüler için $1\text{m}^3/\text{kg}$ $\text{UKM}_{\text{giderilen}}$ miktarındaki tipik özgül biyogaz üretimi kabulü ile üretilebilecek toplam gaz hacmi $1767\text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Oluşan metan yüzdesi % 65, metanın enerji potansiyeli de $10\text{ kWh}/\text{m}^3\text{ CH}_4$ alınmış ve çürütücünün toplam biyometan enerjisi üretim potansiyeli $11.490\text{ kWh}/\text{gün}$ olarak bulunmuştur. Toplam enerji potansiyelinin %25'i olan $2.873\text{ kWh}/\text{gün}$ çürütücünün içten yanmalı motor sistemi ile elektrik enerjisi üretim potansiyeli bu değerin $\sim 1,3$ katı olan $3.734\text{ kWh}/\text{gün}$ ise ısı enerjisi geri kazanım potansiyelini göstermektedir. Çürütücünün işletiminde % 10'luk bir ısı kaybı olduğu varsayılmış ve net ısı enerjisi potansiyeli $3.361\text{ kWh}/\text{gün}$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.9: Karamürsel AAT'ine tasarlanan anaerobik çürütücü ve değerleri.

Anaerobik Çürütücü		
Tesiste üretilen çamur miktarı	120,1	$\text{g}/\text{EN.gün}$
Giderilen UKM	40	%
Çürütücüye Giren UKM	4.417	$\text{kg}/\text{gün}$
Çürütücüye gelen KM	106	$\text{m}^3/\text{gün}$
Q_{gaz}	1.767	$\text{m}^3/\text{gün}$
Metan (CH_4) Üretimi	1.149	$\text{m}^3/\text{gün}$
Potansiyel Enerji Değeri	11.490	$\text{kWh}/\text{gün}$
Geri Kazanılabilir Elektrik Enerjisi	2873	$\text{kWh}_e/\text{gün}$
Geri Kazanılabilir Net Isı Enerjisi	3.361	$\text{kWh}_{\text{ısı}}/\text{gün}$

Tesis toplam enerji kullanımı olan $4.950\text{ kWh}/\text{gün}$ değeri ile çürütücünün elektrik üretim potansiyeli kıyaslandığında tesis enerjisinin $\sim\%$ 60'ının çürütücüde üretilecek biyometan tarafından karşılanabileceği görülmektedir. Tesiste nitrifikasyon için gerekli oksijen yüzeysel havalandırma ile sağlanması tesis enerji kullanımını arttırmaktadır. Havalandırma havuzlarında yüzeysel havalandırma yerine difüzör kullanımı durumunda tesis enerji kullanımı $\sim\%$ 25 oranında azalacaktır. Aynı zamanda tesis çamur yaşının düşürülmesi ile biyolojik havuzda gerçekleşen stabilizasyon azalırken fazla çamur miktarı ve UKM düzeyi de artacaktır. Bu durumda havalandırma enerjisi ihtiyacı da azalacağından tesisin toplam enerji tüketimi düşecektir. Daha az stabilize olmuş çamur ve artan çamur miktarı ile çürütücünün enerji potansiyelinin $\sim\%$ 20'lere varan oranlarda artması beklenmektedir.



Şekil 6.6: Karamürsel AAT akım şeması.

6.1.4 Kullar AAT

Önceki bölümde detaylı olarak tanıtılan Kullar AAT, $\theta_c=12$ gün olarak işletilen ön çökeltimsiz besi maddesi giderimli bir aktif çamur sistemidir. Tesisin 2013 yılı ortalama değerleri (standart sapma değerleri ile birlikte) Çizelge 6.10'da verilmiştir. Çizelgede aynı zamanda tesise giren kirlilik yükleri de (KOİ, BOİ, AKM, TKN ve TP) kg/gün cinsinden verilmiştir. Bu tesise ait 2013 işletme verileri Ek 1 ve 2'de ayrıca sunulmuştur.

Çizelge 6.10: Kullar AAT verileri (2013 yılı ortalaması).

Tesis Verileri (2013 yılı ortalaması)			
Parametre	Birim	Giriş Değerleri(±Standart sapma)	Çıkış Değerleri(±Standart sapma)
Debi	m ³ /gün		45.304±5.476
Sıcaklık	°C	18 +6	17 +6
Konsantrasyon			
KOİ	mg/L	411±84	30±5
BOİ	mg/L	193±45	11±5
AKM	mg/L	214±41	10±5
TKN	mg/L	31±6	5±2
TP	mg/L	6±1	1±1
NH ₃ Azotu	mg/L	31±17	3±4
Tesisin Yük Dengesi			
KOİ	kg/gün	19.408±4.291	1.369±300
BOİ	kg/gün	9.057±3.128	541±308
AKM	kg/gün	10.182±2.311	471±266
TKN	kg/gün	1.369±346	214±90
TP	kg/gün	269±70	66±30

Kullar AAT'ye ait 2013yılı fiili enerji kullanım verileri üzerinden hesaplanan yıllık ortalama enerji tüketimi 19.173 kWh/gün'dür. KOİ₁₂₀ (120 g KOİ/EN.gün) esas alınarak hesaplanan eşdeğer nüfus (EN) dikkate alındığında tesisteki ortalama özgül enerji kullanımı 43,8 kWh/EN.yıl'dır. Kullar AAT'ye ait verilerde ünite bazında fiili enerji kullanım değerleri mevcut değildir. Bu nedenle tesiste bulunan üniteler incelenmiş, tesis sorumlularından ünitelerin kurulu güçleri ve günlük çalışma süreleri alınarak bir enerji dağılım diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 6.7). Çizelge 6.11'de tesisteki ünitelerin kurulu güç ve çalışma saatlerinden yola çıkarak toplam teorik elektrik kullanımları verilmiştir. Hidrofor ünitesi, tesis içi atıksu ve çamur transferini sağlayan pompaların enerji kullanımları 8.326 kWh/gün'dür.

Çizelge 6.11: Kullar AAT enerji tüketimi.

Tesisteki Üniteler	Kurulu Güç(watt)	Çalışma süresi (sa/gün)	Adet	Enerji Kullanımı (kWh/gün)
Pompalar				8.326
Hidrofor Ünitesi	15	24	1	360
Burgu Pompa	37	24	2	1.776
Dalgıç kum pompası	2,2	10	1	22
Geri Devir pompası	37	24	4	3.552
Fazla Çamur pompa	4	3	2	24
Resirkülasyon pompası	27	24	4	2.592
Ön Arıtma Ünitesi				828
Kaba ızgara	0,37	24	1	9
İnce Izgaralar	0,75	24	2	36
Konveyör	0,75	24	1	18
Kum sınıflandırıcı	1,5	24	1	36
Gezer Köprü	0,37	24	1	9
Kum Tutucu Blower	15	24	2	720
Biyolojik Arıtma				27.414
Denitr. Mikser	10	24	6	1.440
Savak	0,75	24	3	54
Aerator Havalandırıcı	75	24	18	32.400
Çamur Birimleri				2.413
Çamur sıyrıcı	0,55	24	1	13,2
Dekantör	75	16	2	2.400
Koku Kontrol Ünitesi	90	24	1	2.160
Diğer (Isıtma, aydınlatma v.b.)				3.040
TOPLAM (BRÜT İTİBARIYLA) ENERJİ KULLANIMI				50.661

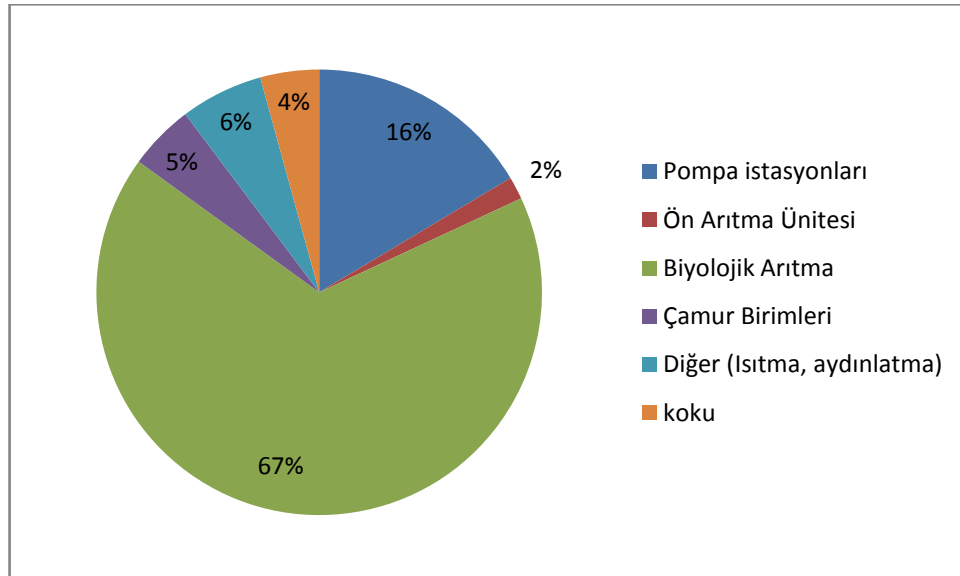
Tesise alınan atıksu ızgaralardan geçerek tesis ünitelerine alınmaktadır (Şekil 6.8). Ön arıtma ünitesinde elektrik kullanımı ~830 kWh/gün gibi tesis geneline oranla oldukça düşük bir değerdir. Bu üniteye en yüksek enerji tüketicisi kum tutucuya hava verilmesinde kullanılan hava üfleyicileridir. Ön arıtma ünitesinden sonra biyolojik arıtmanın gerçekleştiği havalandırma havuzunda anoksik ve aerobik bölmelere iletilmektedir. Biyolojik havuzda enerji yoğun olarak bilinen en önemli üniteler nitrifikasyonun gerçekleştiği havalandırma havuzlarıdır. Kullar AAT biyolojik arıtma ünitesinde gerekli oksijen, sisteme 75 kW kapasiteli toplamda 18 adet aeratör (yüzeysel havalandırıcı) ile verilmektedir. Biyolojik havuzda içsel geri deviri sağlayan pompalar ve son çökeltim tankından alınan çamur ile biyolojik havuza besleme yapılmaktadır. Biyolojik havuz sonrası atıksu dağıtma yapısından kontrollü olarak son çökeltim havuzuna ve havalandırma havuzu girişine verilmektedir.

Kullar AAT’nde son çökeltim havuzundan çamur sıyrıcı ile alınan çamurlar çamur depolama havuzlarında bekletilerek 2 adet dekantöre iletilmekte ve burada susuzlaştırıldıktan sonra Nuh Çimento veya Kocaeli BB İzaydaş’ a gönderilerek termal yolla bertaraf edilmektedir. Tesisteki 75 kW gücünde 2 adet dekantör

girişinde, polielektrolit dozlama pompaları ile PE beslenip şartlandırma yapılarak çamur susuzlaştırma ünitesine alınmaktadır.

Çizelge 6.11'deki diğer enerji tüketimleri ısıtma ve aydınlatma için gerekli enerji dikkat alınarak hesaplanmıştır. Tesiste bu tür kullanımlar için enerji tüketim kaydı tutulmamaktadır. Bu nedenle ısıtma ve aydınlatma için gerekli enerji kullanımı literatürden tesis tüketiminin %6'sı olarak alınmıştır.

Tesiste en yüksek enerji sarfıyatı Şekil 6.7'den de görüldüğü gibi biyolojik arıtma biriminde oluşmaktadır. Tesisten alınan veriler doğrultusunda ATV 131-E'ye göre yapılan hesaplamalar neticesinde havalandırma havuzu için gerekli O₂ ihtiyacı ~ 16.500 kg O₂/gün olarak bulunmuştur. Tesiste havalandırma için aeratör tipi havalandırıcılar kullanılmaktadır. Sistemi besleyen 18 adet hava üfleyicinin her birinin kurulu gücü 75 kW ve çalışma süreleri de 24 saat olarak verilmiştir. Aşağıda verilen diyagram tesisin, gerçek enerji tüketim değeri olan 19.173 kWh/gün ile tesis ekipmanlarının kurulu güçleri ve çalışma sürelerinden hareketle hesaplanan toplam değer normalize edilerek hazırlanmıştır.



Şekil 6.7: Kullar AAT'nin enerji kullanım dağılımı.

İSU'ya ait bu tesiste çamur, çamur bekletme havuzlarında bekletilerek graviteli biçimde yoğunlaştırılmakta ve dekantör ünitesinde susuzlaştırılarak İZAYDAŞ'a gönderilmektedir.

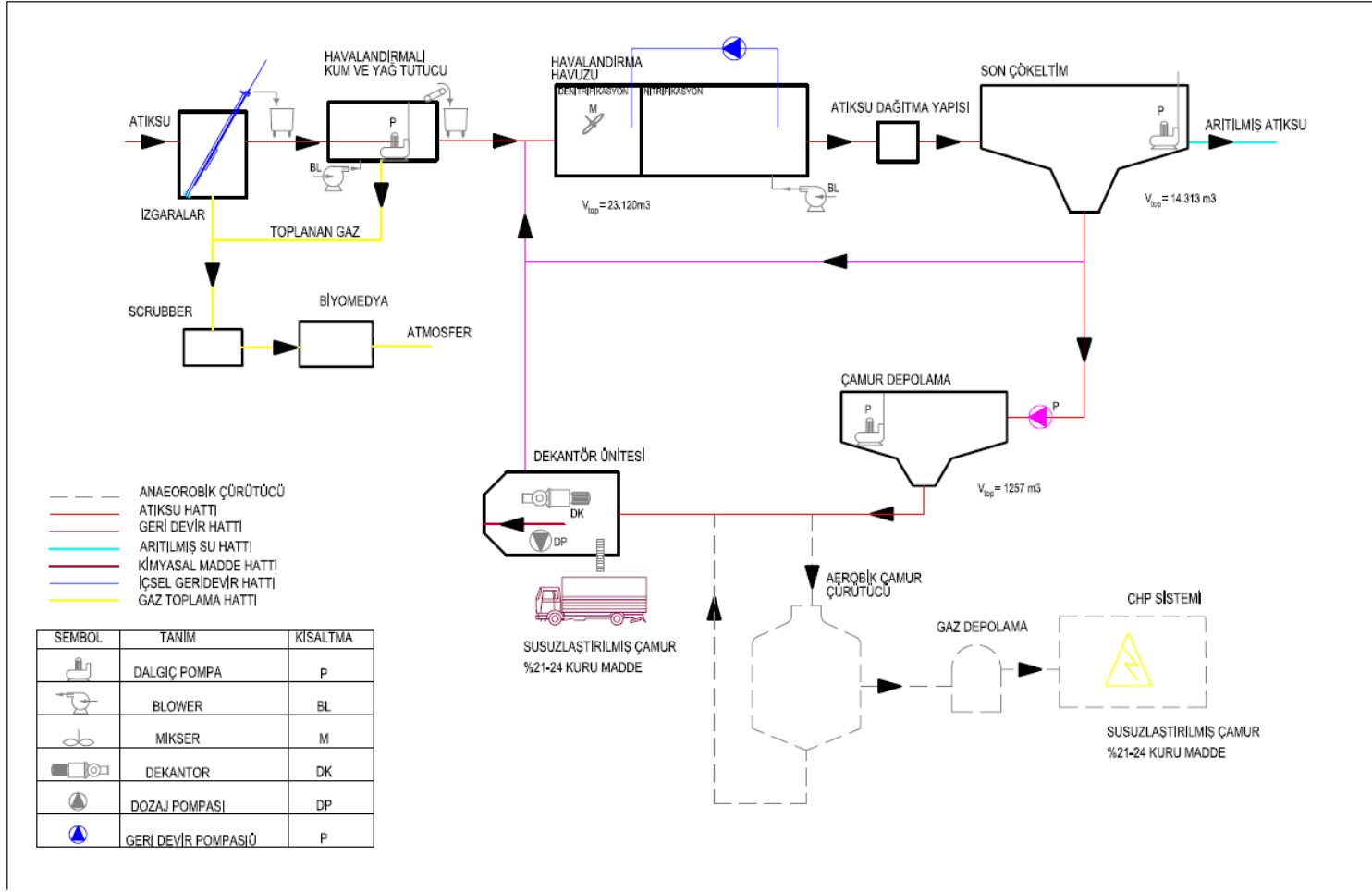
Tesiste günde ~ 6,8 ton KM çamur üretilmektedir. Üretilen bu çamurun, kurulacak bir anaerobik çürütücü ile stabilizasyonu durumunda önemli oranda enerji tasarrufu

sağlanabilecektir (Çizelge 6.12). Çürütücüye %70 UKM değerinde fazla biyolojik çamur beslemesi yapıldığı ve bunun %40'ının anaerobik çürütücüde giderildiği varsayılmıştır. Mezofilik çürütücüler için $1\text{m}^3/\text{kg}$ $\text{UKM}_{\text{giderilen}}$ miktarındaki tipik özgül biyogaz üretimi kabulü ile üretilebilecek toplam gaz hacmi $1.904\text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Oluşan metan yüzdesi % 65, metanın enerji potansiyeli de $10\text{ kWh}/\text{m}^3\text{ CH}_4$ alınmış ve çürütücünün toplam biyometan enerjisi üretim potansiyeli $12.380\text{ kWh}/\text{gün}$ olarak bulunmuştur. Toplam enerji potansiyelinin %25'i olan $3.095\text{ kWh}/\text{gün}$ çürütücünün içten yanmalı motor sistemi ile elektrik enerjisi üretim potansiyeli bu değer $\sim 1,3$ katı olan $4.024\text{ kWh}/\text{gün}$ ise ısı enerjisi geri kazanım potansiyelini göstermektedir. Çürütücünün işletiminde % 10'luk bir ısı kaybı olduğu varsayılmış ve net ısı enerjisi potansiyeli $3.622\text{ kWh}/\text{gün}$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.12: Kullar AAT'ine tasarlanan anaerobik çürütücü ve değerleri.

Anaerobik Çürütücü		
Tesiste üretilen çamur miktarı	42,0	g/EN.gün
Giderilen UKM	40	%
Çürütücüye Giren UKM	4.760	kg/gün
Çürütücüye gelen KM	114	$\text{m}^3/\text{gün}$
Q_{gaz}	1.904	$\text{m}^3/\text{gün}$
Metan (CH_4) Üretimi	1.238	$\text{m}^3/\text{gün}$
Potansiyel Enerji Değeri	12.380	$\text{kWh}/\text{gün}$
Geri Kazanılabilir Elektrik Enerjisi	3.095	$\text{kWh}_e/\text{gün}$
Geri Kazanılabilir Net Isı Enerjisi	3.622	$\text{kWh}_{\text{ısı}}/\text{gün}$

Tesis toplam enerji kullanımı olan $19.173\text{ kWh}/\text{gün}$ değeri ile çürütücünün elektrik üretim potansiyeli kıyaslandığında tesis enerjisinin $\sim\%$ 20'sinin çürütücüde üretilecek biyometan tarafından karşılanabileceği görülmektedir. Tesiste nitrifikasyon için gerekli oksijen yüzeysel havalandırma ile sağlanması tesis enerji kullanımını arttırmaktadır. Havalandırma havuzlarında yüzeysel havalandırma yerine difüzör kullanımı durumunda tesis enerji kullanımı $\sim\%$ 25 oranında azalacaktır. Aynı zamanda tesis çamur yaşının düşürülmesi ile biyolojik havuzda gerçekleşen stabilizasyon azalırken fazla çamur miktarı ve UKM düzeyi de artacaktır. Bu durumda havalandırma enerjisi ihtiyacı da azalacağından tesisin toplam enerji tüketimi düşecektir. Daha az stabilize olmuş çamur ve artan çamur miktarı ile çürütücünün enerji potansiyelinin $\sim\%$ 20'lere varan oranlarda artması beklenmektedir.



Şekil 6.8: Kullar AAT akım şeması.

6.1.5 Gebze AAT

Önceki bölümde detaylı olarak tanıtılan Gebze AAT, $\theta_c=20$ gün olarak işletilen ön çöktürsüz besi maddesi giderimli bir aktif çamur sistemidir. Tesisin 2013 yılı ortalama değerleri (standart sapma değerleri ile birlikte) Çizelge 6.13’de verilmiştir. Çizelgede aynı zamanda tesise giren kirlilik yükleri de (KOİ, BOİ, AKM, TKN ve TP) kg/gün cinsinden verilmiştir. Bu tesise ait 2013 işletme verileri Ek 1 ve 2’de ayrıca sunulmuştur.

Çizelge 6.13: Gebze AAT verileri (2013 yılı ortalaması).

Tesis Verileri (2013 yılı ortalaması)			
Parametre	Birim	Giriş Değerleri(±Standart sapma)	Çıkış Değerleri(±Standart sapma)
Debi	m ³ /gün	72.500 + 11.115	
Sıcaklık	°C	17 +6	16 +5
Konsantrasyon			
KOİ	mg/L	643 +55	70 +34
BOİ	mg/L	260 +35	15 +14
AKM	mg/L	326 +28	33 +15
TKN	mg/L	43 +17	4 +3
NH ₃ Azotu	mg/L		
TP	mg/L	3	0
Tesisin Yük Dengesi			
KOİ	kg/gün	42.213 +5.059	4957 +2042
BOİ	kg/gün	20.582 +2.595	1.050 +907
AKM	kg/gün	23.574 +3.723	2358 +914
TKN	kg/gün	3.057 +1.215	308 +156
TP	kg/gün	220 +15	56 +19

Gebze AAT’ye ait 2013yılı fiili enerji kullanım verileri üzerinden hesaplanan yıllık ortalama enerji tüketimi 26.878 kWh/gün’dür. KOİ₁₂₀ (120 g KOİ/EN.gün) esas alınarak hesaplanan eşdeğer nüfus (EN) dikkate alındığında tesisteki ortalama özgül enerji kullanımı 25,6 kWh/EN.yıl’dır. Gebze AAT’ye ait verilerde ünite bazında fiili enerji kullanım değerleri mevcut değildir. Bu nedenle tesiste bulunan üniteler incelenmiş, tesis sorumlularından ünitelerin kurulu güçleri ve günlük çalışma süreleri alınarak bir enerji dağılım diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 6.9). Çizelge 6.14’de tesisteki ünitelerin kurulu güç ve çalışma saatlerinden yola çıkarak toplam teorik elektrik kullanımları verilmiştir. Terfi merkezi, tesis içi atıksu ve çamur transferini sağlayan pompaların enerji kullanımları 9.548 kWh/gün’dür.

Çizelge 6.14: Gebze AAT enerji tüketimi.

Tesisteki Üniteler	Kurulu Güç(KW)	Çalışma süresi (sa/gün)	Adet	Enerji Kullanımı (kWh/gün)
Pompalar				9.548
Terfi Pompaları	90	24	2	4.320
Geri DevirPompası	30	24	4	2.880
Kum Tutucu Pompa	3	10	2	60
Köpük Pompası	2,2	4	8	70
Resirkülasyon pompası	11	24	8	2.112
Dozlama pompası	0,75	3	3	7
Dekantör besleme pompası	11	3	3	99
Ön Arıtma Ünitesi				1.641
Kaba ızgara	0,37	24	4	36
İnce ızgara	1,1	24	4	106
Konveyörler	0,75	24	2	36
Kum Tutucu Köprü	1,5	24	4	144
Kum Tutucu Blower	11	24	5	1.320
Biyolojik Arıtma				21.024
Karıştırıcı (Bio-fosfor) -1	5,5	24	12	1.584
Karıştırıcı (Havalandırma)-2	7,5	24	24	4.320
Blower	315	24	2	15.120
Çamur Birimleri				932
Çamur sıyrıcı	0,55	24	8	106
Blower	5,5	3	1	17
Dekantör	90	3	3	810
Diğer (Isıtma, aydınlatma v.b.)				2.116
TOPLAM (BRÜT İTİBARIYLA) ENERJİ KULLANIMI				35.261

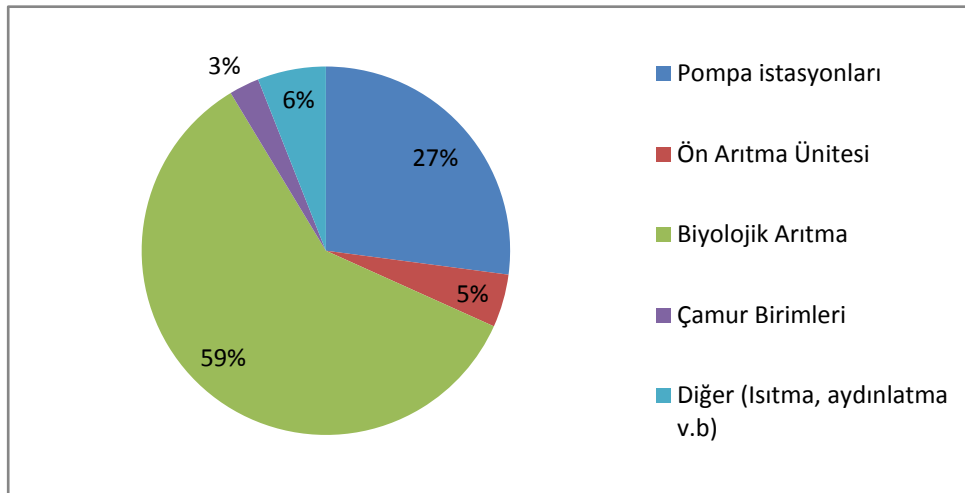
Terfi merkezi ile tesise yükseltilecek atıksu ön arıtma ünitesine giriş yapmaktadır (Şekil 6.10). Ön arıtma ünitesinde elektrik kullanımı 1.641 kWh/gün gibi tesis geneline oranla oldukça düşük bir değerdir. Bu ünite en yüksek enerji tüketicisi kum tutucuya hava verilmesinde kullanılan hava üfleyicileridir. Ön arıtma ünitesinden sonra biyolojik fosfor gideriminin gerçekleştiği anaerobik tanka iletilen atıksu daha sonra ayrı bir havuzda denitrifikasyon ve nitrifikasyon bölmelerine iletilir. Biyofosfor havuzundaki karışım 5,5 kW kurulu güce sahip 12 adet dalgıç karıştırıcı ile sağlanmaktadır. Atıksu daha sonra anoksik ve aerobik bölmelere iletilmektedir. Biyolojik havuzda enerji yoğun olarak bilinen en önemli üniteler nitrifikasyonun gerçekleştiği havalandırma havuzlarıdır. Gebze AAT biyolojik arıtma ünitesinde gerekli oksijen, sisteme 315 kW kapasiteli 2 adet blower (hava üfleyici) ile verilmektedir. Biyolojik havuzdan alınan çamurun bir kısmı biyolojik arıtmanın başına fazlası ise çamur bekletme havuzlarına verilmektedir. Tekrar denitrifikasyon havuzuna giren atıksu burada 7,5 kW gücündeki karıştırıcılarla karıştırılmaktadır.

Gebze AAT’nde son çökeltim havuzundan çamur sıyrıcı ile alınan çamurlar aerobik depolama/stabilizasyonun sağlandığı havuzlarda bekletilerek 3 adet dekantöre

iletilmekte ve burada susuzlaştırıldıktan sonra Nuh Çimento veya Kocaeli BB İzaydaş' a gönderilerek termal yolla bertaraf edilmektedir. Tesisteki 90 kW gücünde 3 adet dekantör girişinde, polielektrolit dozlama pompaları ile PE beslenip şartlandırma yapılarak çamur susuzlaştırma ünitesine alınmaktadır.

Çizelge 6.14'deki diğer enerji tüketimleri ısıtma ve aydınlatma için gerekli enerji dikkate alınarak hesaplanmıştır. Tesiste bu tür kullanımlar için enerji tüketim kaydı tutulmamaktadır. Bu nedenle ısıtma ve aydınlatma için gerekli enerji kullanımı literatürden tesis tüketiminin %6'sı olarak alınmıştır.

Tesiste en yüksek enerji sarfıyatı Şekil 6.9'dan da görüldüğü gibi biyolojik arıtma biriminde oluşmaktadır. Tesisten alınan veriler doğrultusunda ATV 131-E'ye göre yapılan hesaplamalar neticesinde havalandırma havuzu için gerekli O_2 ihtiyacı ~ 32.142 kg O_2 /gün olarak bulunmuştur. Tesiste havalandırma için difüzörlü havalandırıcılar kullanılmaktadır. Sistemi besleyen 2 adet hava üfleyicinin her birinin kurulu gücü 315 kW ve çalışma süreleri de 24 saat olarak verilmiştir. Aşağıda verilen diyagram tesisin, gerçek enerji tüketim değeri olan 26.878 kWh/gün ile tesis ekipmanlarının kurulu güçleri ve çalışma sürelerinden hareketle hesaplanan toplam değer normalize edilerek hazırlanmıştır.



Şekil 6.9: Gebze AAT'nin enerji kullanımı dağılımı.

İSU'ya ait bu tesiste çamur aerobik stabilizasyon ile (büyük oranda biyolojik arıtma birimlerinde) çürütülmekte ve dekantör ünitesinde susuzlaştırılarak İZAYDAŞ'a gönderilmektedir.

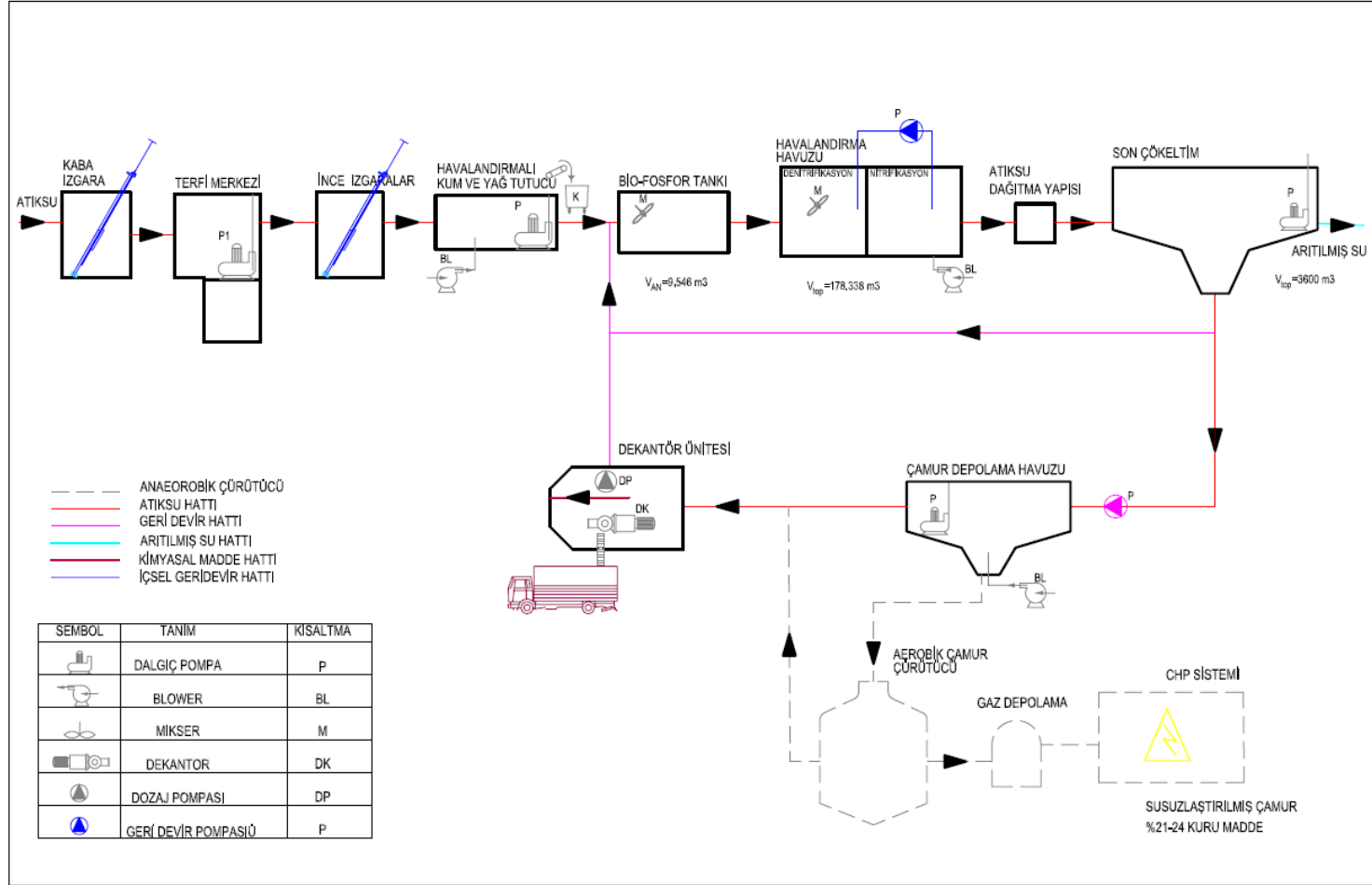
Tesiste günde ~ 32,8 ton KM çamur üretilmektedir. Üretilen bu çamurun, kurulacak bir anaerobik çürütücü ile stabilizasyonu durumunda önemli oranda enerji tasarrufu

sağlanabilecektir (Çizelge 6.15). Çürütücüye %70 UKM değerinde fazla biyolojik çamur beslemesi yapıldığı ve bunun %40'ının anaerobik çürütücüde giderildiği varsayılmıştır. Mezofilik çürütücüler için $1\text{m}^3/\text{kg}$ UKM_{giderilen} miktarındaki tipik özgül biyogaz üretimi kabulü ile üretilebilecek toplam gaz hacmi $9184\text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Oluşan metan yüzdesi % 65, metanın enerji potansiyeli de $10\text{ kWh}/\text{m}^3\text{ CH}_4$ alınmış ve çürütücünün toplam biyometan enerjisi üretim potansiyeli $59.700\text{ kWh}/\text{gün}$ olarak bulunmuştur. Toplam enerji potansiyelinin %25'i olan $14.925\text{ kWh}/\text{gün}$ çürütücünün içten yanmalı motor sistemi ile elektrik enerjisi üretim potansiyeli bu değer $\sim 1,3$ katı olan $19.403\text{ kWh}/\text{gün}$ ise ısı enerjisi geri kazanım potansiyelini göstermektedir. Çürütücünün işletiminde % 10'luk bir ısı kaybı olduğu varsayılmış ve net ısı enerjisi potansiyeli $17.463\text{ kWh}/\text{gün}$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.15: Gebze AAT'ine tasarlanan anaerobik çürütücü ve değerleri.

Anaerobik Çürütücü		
Tesiste üretilen çamur miktarı	85,2	g/EN.gün
Giderilen UKM	40	%
Çürütücüye Giren UKM	32.800	kg/gün
Çürütücüye gelen KM	549	$\text{m}^3/\text{gün}$
Q_{gaz}	9.184	$\text{m}^3/\text{gün}$
Metan (CH_4) Üretimi	5.970	$\text{m}^3/\text{gün}$
Potansiyel Enerji Değeri	59.700	$\text{kWh}/\text{gün}$
Geri Kazanılabilir Elektrik Enerjisi	14.925	$\text{kWh}_e/\text{gün}$
Geri Kazanılabilir Net Isı Enerjisi	17.463	$\text{kWh}_{\text{ısı}}/\text{gün}$

Tesis toplam enerji kullanımı olan $26.878\text{ kWh}/\text{gün}$ değeri ile çürütücünün elektrik üretim potansiyeli kıyaslandığında tesis enerjisinin % 56'sının çürütücüde üretilecek biyometan tarafından karşılanabileceği görülmektedir. Tesis çamur yaşının düşürülmesi ile biyolojik havuzda gerçekleşen stabilizasyon azalırken fazla çamur miktarı ve UKM düzeyi de artacaktır. Aynı zamanda havalandırma enerjisi ihtiyacı da azalacağından tesisin toplam enerji tüketimi düşecektir. Daha az stabilize olmuş çamur ve artan çamur miktarı ile çürütücünün enerji potansiyelinin $\sim\%$ 20'lere varan oranlarda artması beklenmektedir.

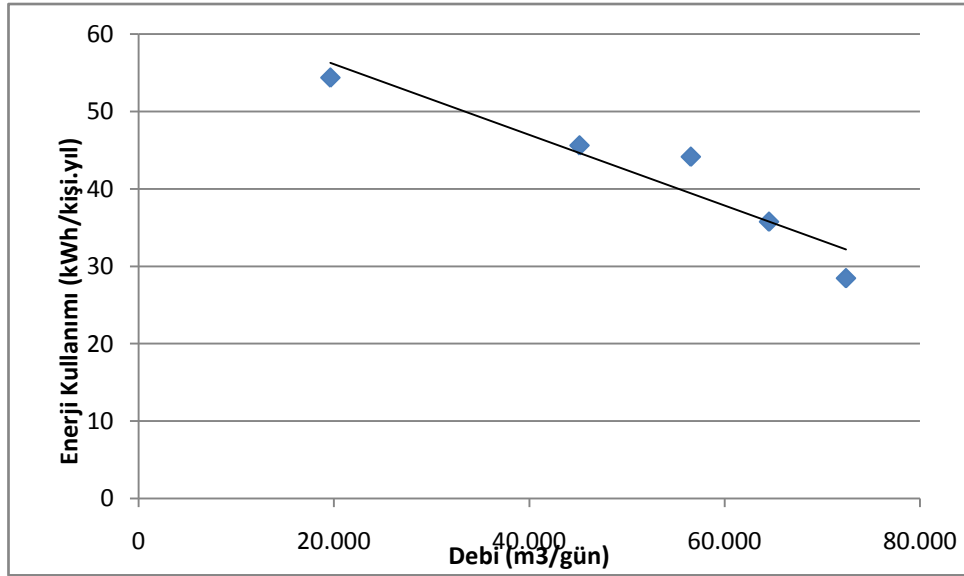


Şekil 6.10: Gebze AAT akım şeması.

6.2 Bulguların Mukayeseli Analizi

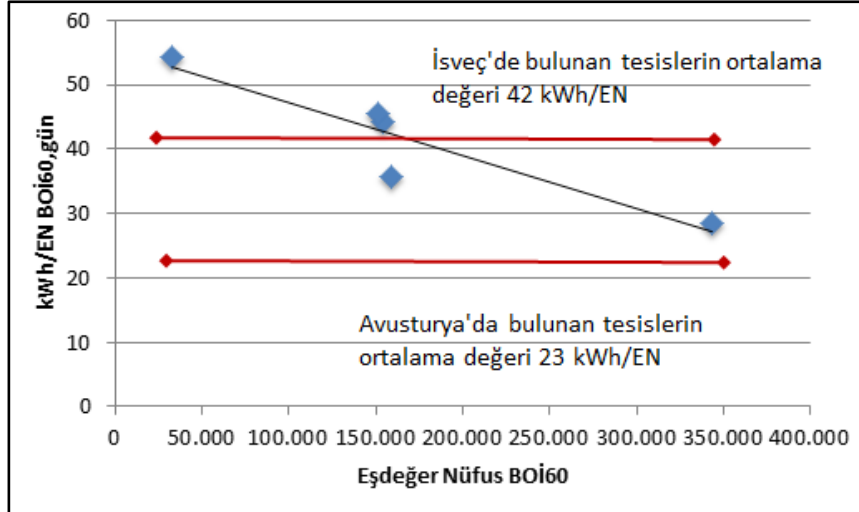
İncelenen 5 tesis dikkate alınarak tesislerin Enerji(kWh)/EN, BOİ/Enerji değerleri esas alınarak aşağıdaki grafikler oluşturulmuştur.

İncelenen atıksu arıtma tesislerinde özgül enerji tüketimlerinin artılan atıksu debilerine göre değişimi Şekil 6.11’de verilmiştir. Şekil 6.11’den de görüldüğü gibi tesislerin özgül enerji tüketimleri debinin artmasıyla azalmaktadır. İSU tesislerinin özgül ağırlıklarının ortalaması ~ 42 kWh/kişi.yıl olmakla beraber bu değer Almanya’da bulunan benzer kapasitede ve 20.000-100.000 EN’ye sahip AAT’ler için 35 kWh/kişi.yıl’dır.



Şekil 6.11: İSU AAT’lerinde debi-enerji kullanımı ilişkisi.

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İSU AAT’lerinin eşdeğer nüfus/enerji kullanım grafiği Şekil 6.12’de verilmiştir. Grafikte Avusturya ve İsveç’te bulunan evsel AAT’lerin yıllık ortalama enerji tüketimleri de belirtilmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen İSU’ya bağlı tesislere bakıldığında yıllık ortalama değerlerin İsveç’te bulunan tesislere yakın (42 kWh/EN) olduğu görülmektedir. Önceki bölümlerde anlatıldığı üzere eşdeğer nüfusun artmasıyla birlikte atıksu arıtma tesislerindeki kişi başı enerji kullanımı azalmaktadır.



Şekil 6.12: İSU AAT'lerinde eşdeğer nüfus-enerji ilişkisi.

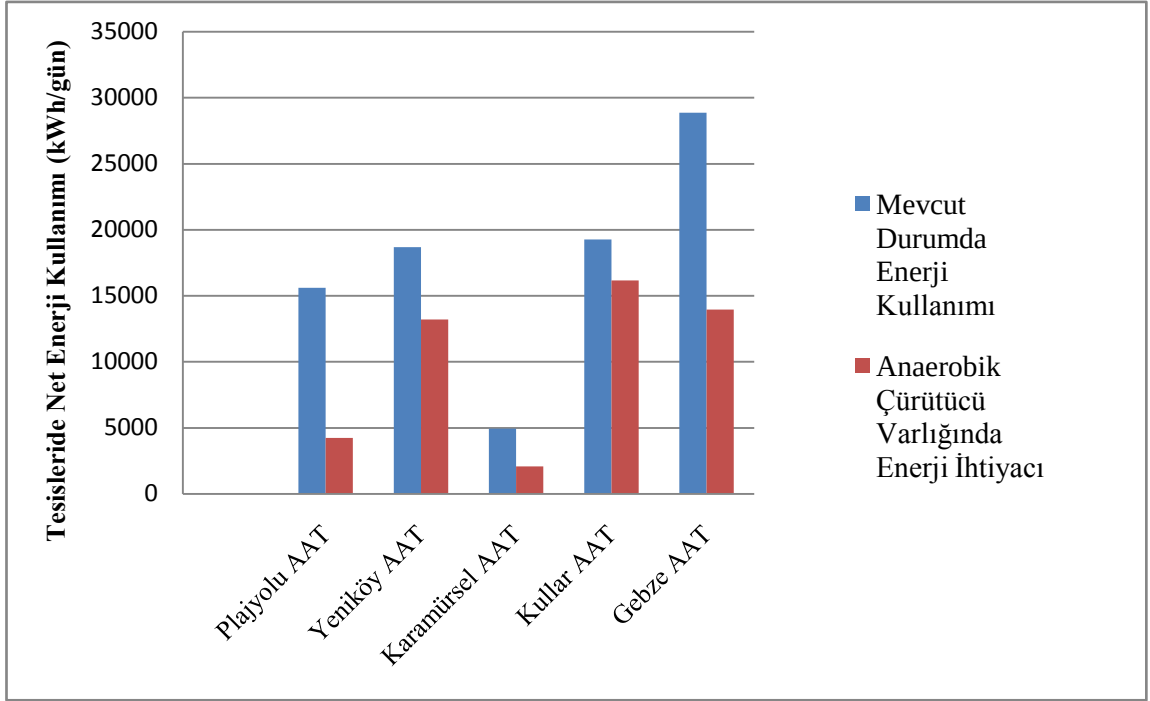
Tesis giriş BOİ yükü ile arıtma için kullanılan enerji miktarı da farklılık göstermektedir. Literatürde, tesis BOİ (mg/L) yükünün artması ile atıksu arıtımı için kullanılan enerji miktarının azaldığı belirtilmektedir.

Şekil 6.13: 6'de tesislerde anaerobik çürütücü varlığında üretecekleri enerji miktarlarından ve tesisin mevcut enerji tüketiminden yola çıkılarak bir net enerji dengesi oluşturulmuştur. Tesislerde biyogaz eldesi sayesinde net enerji üretiminin arttığı ve düşük fazla çamur üretimi olduğu görülmüştür. Özellikle Karamürsel ve Gebze AAT'leri tesiste tüketilen enerjisinin fazlasını üretebilme kapasitelerinde sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.16: Tesis mevcut enerji kullanımları ve net enerjileri (kWh/gün).

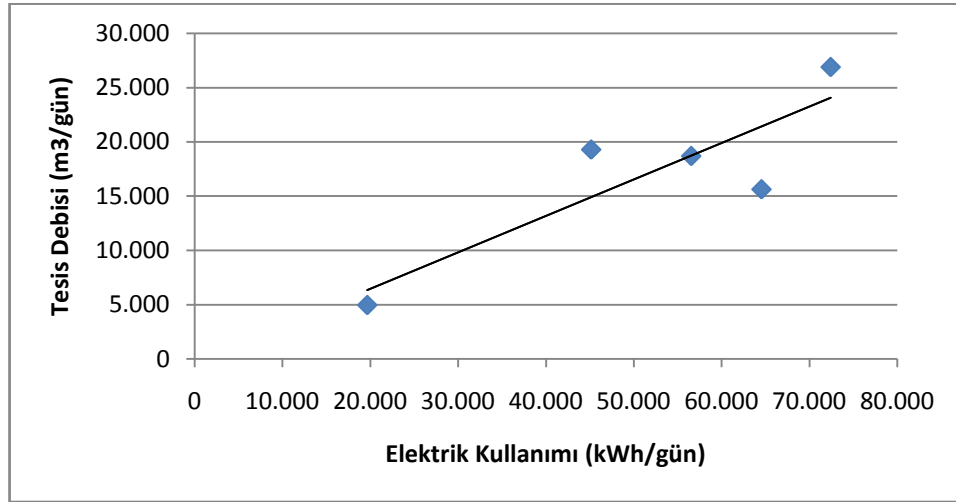
	Mevcut Durumda Net Enerji (kWh/gün)	Anaerobik Çürütücü Enerji Üretimi (kWh/gün)	Tesis Net Enerjisi (kWh/gün)
Plajyolu AAT	15.614	11.375	4.239
Yeniköy AAT	18.680	5.460	13.220
Karamürsel AAT	4.950	2.873	2.077
Kullar AAT	19.273	3.095	16.178
Gebze AAT	28.878	14.925	13.953

Çizelge 6.16'da tesislerin mevcut durumdaki net enerjileri verilmiştir. Bunlar tesislerin günlük enerji kullanımı ifade etmektedir. Atıksu arıtma tesislerinde anaerobik çürütücü olması durumunda çürütücünün üreteceği enerji kapasitelerine bağlı olarak tesis net enerjileri de Şekil 6.13'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 6.13: Anaerobik çürütücü bulunması durumunda tesislerde net enerji dengesi.

Atıksu arıtma tesislerinde bulunan toplama ve arıtma sistemlerinde enerji kullanımı atıksu debisi ve kirlilik yükü ile doğrudan ilişkilidir. Şekil 6.14’te verilen grafikte seçilen tesislerin debi ve enerji kullanımı ilişkisi verilmiştir.



Şekil 6.14: İSU AAT’lerinde debi ve enerji kullanımı ilişkisi.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji, su ve atıksu arıtma tesislerinin en önemli işletme maliyetlerinden biridir. Özellikle biyolojik arıtma yapan tesislerde havalandırma maliyeti tesis işletme maliyetinin% 50'sini oluşturmaktadır (Ollson, 2012). Aynı zamanda su ve atıksu arıtma tesislerinin enerji ihtiyacı, ülkenin toplam enerji tüketiminin ~ 2 'si civarındadır (Metcalf & Eddy, 2003). Bu nedenle atıksu arıtma tesislerinin arıtma performansından ödün vermeksizin tesisin enerji verimli hale getirmesi önem taşımaktadır. AAT'lerin enerji verimli hale gelmesinde tasarım ve proje sürecinin yanı sıra proses ve uygun ekipman seçimi büyük rol oynamaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde dış enerji alımını azaltmak ve hatta sıfıra indirmek mümkündür. Ancak enerji kullanımının azaltılmasının, deşarj kalitesini etkilememesi daha da önemli bir husustur.

Dünya genelinde ve ülkemizde atıksuların arıtımında aktif çamur sistemi oldukça yaygın kullanılan bir prodestir. Nitirikasyon için gerekli hava ihtiyacı nedeniyle bu proseslerin yüksek enerji kullanımları olduğu bilinmektedir. Kocaeli BB İSU Genel Müdürlüğü'ne ait tesislerde ön çökeltimsiz besi maddesi giderimli aktif çamur prosesi kullanılmaktadır.

AAT çamurlarının(biyokatılar) anaerobik biyoteknoloji ile çürütülmesinin en önemli faydaları çamurun stabilize edilerek kararlı bir biyokatıya dönüşümü ve son ürün olan biyogazın bünyesindeki metanın enerji elde etmek amacıyla kullanılabilmesidir. Evsel atıksu arıtma tesisleri için gerekli enerjiyi karşılamak için potansiyel bir enerji kaynağı olan biyometanı geri kazanmak üzere kullanılan anaerobik çürütme uygulamaları günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır. Örneğin Almanya'da $EN \geq 10.000$ olan bütün tesislerde anaerobik çamur çürütme uygulaması yoluna gidilmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen tesislerin en düşük kapasiteli olan ($\sim 167.000EN$) Karamürsel AAT'i de dahil olmak üzere tüm tesislerde çürütücü kullanımı önerisi ile tesis net enerji ihtiyacının önemli oranlarda azaltılabileceği ortaya konmuştur.

Söz konusu AAT'lerinden elde edilen başlıca araştırma bulguları aşağıda özetlenmiştir;

- Tesislerin özgül enerji kullanımları Karamürsel AAT için 0,149 kWh/EN.gün, Gebze AAT için 0,078 kWh/EN.gün, Yeniköy AAT için 0,121 kWh/EN.gün, Plajyolu AAT için 0,098 kWh/EN.gün ve Kullar AAT için 0,125 kWh/EN.gün'dür.
- Aynı şekilde günlük toplam enerji sarfiyatından ve arıtılan günlük ortalama debiden hareketle birim atıksu arıtım maliyeti için Karamürsel AAT için 0,25 kWh/m³, Gebze AAT için 0,37 kWh/m³, Yeniköy AAT için 0,33 kWh/m³, Plajyolu AAT için 0,24 kWh/m³ ve Kullar AAT için 0,34 kWh/ m³ olduğu bulunmuştur.
- Tesislerin ünite bazlı enerji kullanımları dikkate alındığında enerji bakımından en yoğun ünitenin biyolojik arıtma ünitesi olduğu tespit edilmiştir. Tesislerin biyolojik arıtma için enerji kullanımları tesislerin toplam kullanımına oranlandığında bu değer Karamürsel AAT için % 58, Gebze AAT için % 56, Yeniköy AAT için % 29, Plajyolu AAT için % 73 ve Kullar AAT için % 16 olduğu görülmüştür.
- Tesislerde anaerobik çürütücü olması durumunda, net biyometan enerjisi geri kazanımları bakıldığında değerler Karamürsel AAT için 2.077 kWh/gün, Gebze AAT için 13.953 kWh/gün, Yeniköy AAT için 13.220 kWh/gün, Plajyolu AAT için 4.239 kWh/gün ve Kullar AAT için 16.178 kWh/gün'dür.

Sonuç olarak tesislerde giderilen kirlilik yükleri (BOI₅, KOI, AKM) ve tesis debisi arttıkça beklenildiği gibi birim enerji tüketiminin azaldığı görülmüştür. Seçilen tesislere anaerobik çürütücü eklenmesi durumunda da enerji maliyetlerinin önemli ölçüde azalacağı tespit edilmiştir.

Tesis çamur yaşının düşürülmesi ile biyolojik havuzda gerçekleşen stabilizasyon azalırken fazla çamur miktarı ve UKM düzeyi göreceli olarak artacaktır. Aynı zamanda havalandırma enerjisi ihtiyacı da azalacağından tesisin toplam enerji tüketimi düşecektir. Daha az stabilize olmuş çamur ve artan çamur miktarı ile çürütücünün enerji potansiyelinin ayrıca ~% 20'lere varan oranlarda artması beklenmektedir.

AAT'ler tasarım ve planlama aşamasında, proses seçimi tesis enerji dengesi (enerji ve karbon ayak izleri) de dikkate alınmalıdır. Mevcut tesislerde kullanılan prosesler enerji ve arıtma performansı açısından izlenerek, enerji yoğun ünitelerden başlanarak özgül enerji tüketimlerinin kabul edilebilir aralıkta kalıp kalmadığı analiz edilmelidir. Bu tür analiz sonuçları gelecekte yapılması planlanan tesisler için önemli bir referans olacaktır. Araştırmalar göstermektedir ki, pompa ve havalandırma ünitelerinde yapılan iyileştirmeler tesis genelinde %30'lara varan enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Mevcut veya planlanan AAT'lerin enerji nötr veya pozitif hale getirilebilmesi için iki kademeli aktif çamur (AB) prosesi, disintegrasyonlu mezofilik/termofilik çürütücü entegrasyonu ve organik evsel ve/veya zirai katı atıklarla birlikte çürütme uygulamalarının yaygınlaşması teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Abeling, U. ve Seyfried, C. F., (1992). Anaerobic –aerobic treatment of high-strength ammonium wastewater nitrogen removal vs nitrite, *Water Science and Technology*, 26, 1007-1015.
- Barjenbruch, M., Kopplow, O., (2003). Enzymatic, mechanical and thermal pre-treatment of surplus sludge, *Advances in Environmental Research*, 7, 715–720.
- Carlson, S.; Walburger, A. *Energy Index Development for Benchmarking Water Utilities and Wastewater Utilities*. Denver, CO: AWWA Research Foundation, 2007.
- Chiu, Y. C., Chang, C. N., Lin, J. G., (1997). Alkaline and ultrasonic pretreatment of sludge before anaerobic digestion, *Water Science and Technology*, 36, 11, 155 – 162.
- Ciudad, G., Rubilara, O., Munoz, P., Ruiz, G., Chamby, R., Vergara, C., ve Jeison, D., (2005). Partial nitrification of high ammonia concentration wastewater as a part of shortcut biological nitrogen removal process, *Process Biochemistry*, 40, 5, 1715-1719.
- Dereli, R. K., Erşahin, M.E., Gömeç, Ç.Y., Özdemir, Ö. ve Öztürk, İ., 2007. Evsel Katı Atıkların Organik Kısım ile Farklı Türde Atıkların Birlikte Anaerobik Arıtımı. TÜRKAY – AB Sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu, 28-31 Mayıs 2007, İstanbul.
- Dohányos, M., Zábranská, J., Kutil, J., Jeníček, P., (2004). Improvement of anaerobic digestion of sludge, *Water Science and Technology*, 49, 10, 89–96.
- Egemen, E., Corpening, J. ve Nirmalakhandan, N., (2001). Evaluation of an ozonation system for reduced waste sludge generation, *Water Science and Technology*, 44, 2-3, 445-452.
- Electric Power Research Institute (EPRI). *Water & Sustainability (Volume 4): U.S. Electricity Consumption for the Water Supply & Treatment–The Next Half Century*. Topical Report 1006787. Palo Alto, CA: EPRI, March 2002.
- Elliott, T.; Zeier, B., Xagoraki, I.; Harrington, G. W. *Energy Use at Wisconsin’s Drinking Water Facilities*. Report 222-1. Madison, WI: Energy Center of Wisconsin, July 2003.
- Energy Conservation in Wastewater Treatment Facilities Manual of Practice; Water Environment Federation: Alexandria, VA, USA, 1997; pp. 1–142.
- Energy Conservation in Wastewater Treatment Facilities Manual of Practice; Water Environment Federation: Alexandria, VA, USA, 1997; pp. 1–142.
- Energy Efficiency Strategies for Municipal Wastewater Treatment Facilities J. Daw and K. Hallett National Renewable Energy Laboratory J. DeWolfe and I. Venner Malcolm Pirnie, the Water Division of ARCADIS Technical Report NREL/TP-7A30-53341 January 2011.
- Energy Recovery from Wastewater Treatment Plants in the United States: A Case Study of the Energy-Water Nexus Ashlynn S. Stillwell 1,*; David C. Hoppock 2 and Michael E. Webber 3 *Sustainability* 2010, 2, 945-962; doi:10.3390/su2040945.
- Forster, C. F., Fernandez, N., Chacin, E., (2000). The use of ultrasound to enhance the thermophilic digestion of waste activated sludge, *Environmental Technol.*, 21, 357 – 362.
- Galbraith, Kate. “How Energy Drains Water Supplies.” *New York Times*, September 18, 2011. Accessed September 22, 2011. http://www.nytimes.com/2011/09/19/business/global/19iht-green19.html?_r=1 .
- Gonze, E., Fourel, L., Gonthier, Y.; Boldo, P.; Bernis, A., (1999). Wastewater pretreatment with ultrasonic irradiation to reduce toxicity, *Chemical Engineering Journal*, 73, 93-100.
- Güven, D., Sözen, S., (2010). Biyolojik azot giderimi için yenilikçi teknolojiler; Anammox ve Sharon prosesleri. *İTÜ Dergisi*, 20, 2, 48-56.

Hamzawi, N., Kennedy, K.J. and McLean, D.D., Technical Feasibility of Anaerobic Co-Digestion of Sewage Sludge and Municipal Solid Waste, *Environmental Technology*, 19 (10), 993-1003 (1998).

<http://www.jomueller.de/english/indexengl.html>, (05.01.2005)

İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ), 2012 Faaliyet Raporu.

Kalogo, Y., Monteith, H. (2008). State Of Science Report: Energy And Resource Recovery From Sludge, Global Water Research Coalition (GWRC).

Kayhanian, M. ve Rich, D., Sludge Management Using the Biodegradable Organic Fraction of Municipal Solid Waste as a Primary Substrate. *Water Environment Research*, 68 (2), 240-252 (1996).

Kayhanian, M. ve Tchobanoglous, G., Computation of C:N Ratios for Various Organic Fractions, *Biocycle* 33 (5), 58-60 (1992).

Kepp, U., Solheim, O. E., (2001). Meeting increased demands on sludge quality – experience with full scale plant for thermal disintegration, 9th World Congress Anaerobic Digestion 2001, September 2-6, 2001, Antwerpen, Belgium.

King, R. O., Forster, C. F., (1990). Effects of sonication on activated sludge, *Enzyme Microb. Technol.*, **12**, 109–115.

Lehne, G., Müller, A. J., Schwedes, J., (2001). Mechanical disintegration of sewage sludge, *Water Science&Technology* **43**, 1, 19-26.

Lehne, G., Müller, A. J., Schwedes, J., (2001). Mechanical disintegration of sewage sludge, *Water Science&Technology* **43**, 1, 19-26.

Logan, B. E. 2005. Simultaneous wastewater treatment and biological electricity generation. *Water Science and Technology*, 52 (1-2), 31-37.

Menendez, M.R., P.E., Black & Veatch. How We Use Energy At Wastewater Plants...And How We Can Use Less.

Metcalf & Eddy Inc. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (Fourth Edition). New York: McGraw-Hill.

Müller J. A., Winter A., Strükmann G., (2004). Investigation and assessment of sludge pretreatment processes, *Water Science and Technology*, **49**, 10, 97-104.

Müller, J. A., (2000a). Disintegration as a key-step in sewage sludge treatment, *Water Science Technology*, **41**, 8, 123–130.

Müller, J. A., (2000b). Pretreatment processes for the recycling and reuse of sewage sludge, *Water Science Technology*, **42**, 9, 167–174.

NACWA, (2010). *Renewable Energy Resources: Banking on Biosolids*. National Association of Clean Water Agencies.

Nickel, K., Tiehm, A., Neis, U., (Eds.) (1999). *Ultrasound in environmental engineering*, TUHH Reports on Sanitary Engineering, 25, 205-216.

Novak, J.T., Sadler, M.E. ve Murthy, S.N., (2003). Mechanisms of floc destruction during anaerobic and aerobic digestion and the effect on conditioning and dewatering of biosolids, *Water Research*, **37**, 3136-3144.

Nuhoğlu, A. (2012). *System Design for Organic Carbon and Nutrient Removal From Sewage Based on Energy Recovery*, Doktora Tezi.

Olsson, G. (2012). *Water and Energy Threats and Opportunities*, IWA Publishing.

Onyeche, I. T., (2003). Advanced anaerobic digestion of sludge through high pressure homogenisation, *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, **29**, 1, 56-61.

Otte-Witte, R., Wunsch, M., Hodder, M., (2000). Sludge disintegration by Lysate thickening centrifuge, 5th Biosolids Conference, Wakefield, UK.

Öztürk İ., "Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları, Genişletilmiş 2. Baskı", 2007, İstanbul: Su Vakfı Yayınları.

Öztürk, İ., Bir, A., Çokgör, E. U., Gömeç, Ç. Y., İnel, G., Altınbaş, M., Erşahin, M.E., Dereli, R.K., Akdeniz, R., Saatçioğlu, N., Yenigün, A., Üstoğlu, İ., Eriçyel, K., Başpınar A.B., ve Balaban, Ü., 2009. Evsel Atıksular ve Organik Katı Atıkların Birlikte Arıtımı Yoluyla Yenilenebilir Enerji (Biyometan) Geri Kazanım Teknolojilerinin Araştırılması Projesi (Tübitak Kamu Kurumları Projesi, Proje No: 105G024), Proje Sonuç Raporu, TÜBİTAK, Ankara.

Shizas, I.; Bagley, D.M. (2004): Experimental Determination of Energy Content of Unknown Organics in Municipal Wastewater Streams. *J. Energy Engineering*, 130/2, 45-53.

Soli J. Arceivala, 2002. Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Tata McGraw – Hill Publishing company limited.

Speece, R.E., (1996). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters*, Published by Arche Press.

Svardal, K., Kroiss, H. (2011). Energy requirements for waste water treatment, *Water Science&Technology*, Vol. 64, Issues.6, pp.1355-1361, IWA Publishing.

Svardal, K., Kroiss, H. (2011). Energy requirements for wastewater treatment. *Water Science and Technology*, Vol:64, No:6, pp:1355-1361.

The Journal of Solid Waste Technology and Management, **29**, 1, 56-61.

Tiehm, A., Nickel, K., Neis U., (1997). The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge, *Water Science and Technology*, **36**, 11, 121–128.

Tiehm, A., Nickel, K., Zellhorn, M., Neis U., (2001). Ultrasonic waste Activated Sludge Disintegration for Improving Anaerobic Stabilization, *J. Water Res.*, **35**, 8 123 - 130.

Türkiye İstatistik Kurumu (2012). Belediye Atıksu İstatistikleri.

Utility Advisory Group. *Effective Utility Management: A Primer for Water and Wastewater Utilities*. Utility Advisory Group, June 2008.

Van Lier, J. 2007. Current and future trends in anaerobic digestion: diversifying from waste (water) treatment to resource oriented conversion techniques. Presented at 11th IWA-International Conference on Anaerobic Digestion, 23-27 September, 2007, Brisbane, Australia. Invited key-note speaker.

Vranitzky, R., Lahnsteiner, J., (2005). Sewage sludge disintegration using ozone – A method of enhancing the anaerobic stabilization of sewage sludge, VA TECH WABAH, R&D Process Engineering, Siemensstrasse 89, A-1211 Vienna, Austria.

Wang, F., Wang, Y., Ji, M., (2005). Mechanisms and kinetics models for ultrasonic waste activated sludge disintegration., *Journal of Hazardous Materials*, **B123**, 145–150.

Wang, Q., Kuninobu, M., Kokimoto, K., Ogawa, H. I., Kato, Y., (1999). Upgrading of anaerobic digestion of waste activated sludge by ultrasonic pretreatment, *Bioresource Technol.*, **68**, 309 – 313.

Weemaes, M., Grootaerd, H., Simoens, F., Huysmans, A., Verstraete, W., (2000). Ozonation of sewage sludge prior to anaerobic digestion, *Water Science and Technology*, **42**, 9, 175–178.

WERF. (2011). Energy Management. Alexandria, VA: Water Environment Research Foundation.

Wett, B., Buchauer, K., Fimml, C. (2007). Energy self-sufficiency as a feasible concept for wastewater treatment systems. Proc. IWA Leading Edge Technology Conference, Singapore, Asian Water, September 21-24.

Winter, A., (2002). Minimisation of costs by using disintegration at a full-scale anaerobic digestion plant, *Water Science and Technology*, **46**, 4-5, 405-412.

Yasui, H., Nakamura, K., Sakuma, S., Iwasaki, M. ve Sakai, Y., (1996). A full-scale operation of a novel activated sludge process without excess sludge production, *Water Science and Technology*, **34**, 3-4, 395-404.

Zhang, P., Zhang, G., Wang, W., (2006). Ultrasonic treatment of biological sludge: Floc disintegration, cell lysis and inactivation, *Bioresource Technology*, In Press, Corrected Prof.

EKLER

Ek A: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İSU Tesislerinin 2013 yılı giriş değerleri tablosu

Ek B: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İSU Tesislerinin 2013 yılı çıkış değerleri tablosu

Ek C: Hesaplama özetleri tablosu

Ek A: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İSU Tesislerinin 2013 yılı giriş değerleri çizelgeleri

Çizelge A.1: Plajyolu AAT 2013 yılı giriş verileri

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Aylık Ortalama	Standart Sapma
Qmax (m3/gün)														
	91.300	92.650	79.300	80.800	77.400	77.500	65.800	70.000	64.500	69.000	70.100	78.540	76.408	9.096
Qort (m3/gün)														
	71.190	77.216	71.874	67.297	63.795	66.079	60.226	58.812	57.913	61.047	63.347	62.920	65.143	5.850
BOİ (mg/L)														
	118,80	93,33	121,67	108,67	192,36	201,40	152,25	143,50	175,40	138,50	178,33	149,60	148	34
KOİort (mg/L)														
	255,63	296,29	311,17	388,73	435,38	416,23	427,86	378,09	448,42	428,30	423,17	318,00	377	65
AKM ort (mg/L)														
	148,82	149,94	201,95	200,50	239,23	211,65	204,39	180,72	205,65	195,94	211,30	166,90	193	27
TKN(mg/L)														
	20,01	25,00	28,26	30,57	34,47	32,88	32,16	29,05	32,06	31,11	32,00	30,11	30	4
NO ₃ (mg/L)														
	30,60	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,55	9
TP(mg/L)														
	3,31	3,59	3,80	4,70	5,33	4,84	4,83	4,39	4,87	4,11	5,02	4,69	4	1
Amonyak														
	23,6	25,75	27,93	31,5	32,69	33,67	30,88	24,76	28,73	26,83	31,47	28,71	29	3
Sıcaklık														
	11,24	11,26	12,81	14,9	20,03	23,02	23,16	24,76	21	15,16	14,55	8,29	17	5
Tesis Giren Yük Miktarları														
KOİ (kg/gün)	18.198	22.878	22.365	26.160	27.775	27.504	25.768	22.236	25.969	26.146	26.806	20.009	24.318	3.106
BOİ (kg/gün)	8.457	7.207	8.745	7.313	12.272	13.308	9.169	8.440	10.158	8.455	11.297	9.413	9.519	1.904
AKM (kg/gün)	10.594	11.578	14.515	13.493	15.262	13.986	12.310	10.629	11.910	11.962	13.385	10.501	12.510	1.604
TKN (kg/gün)	1.425	1.930	2.031	2.057	2.199	2.173	1.937	1.709	1.857	1.899	2.027	1.895	1.928	209
TP (kg/gün)	236	277	273	316	340	320	291	258	282	251	318	295	288	31

Çizelge A.2: Yeniköy AAT 2013 yılı giriş verileri

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Aylık Ortalama	Standart Sapma
Qmax (m3/gün)														
	95.000	98.000	95.980	70.920	71.050	65.000	56.350	56.570	54.000	64.950	70.900	69.450	72.348	15.650
Qort (m3/gün)														
	72.935	68.086	69.619	56.948	52.509	52.506	52.310	48.794	44.068	52.630	52.487	56.051	56.579	8.900
BOİ (mg/L)														
	147,00	208,00	176,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	177	31
KOİort (mg/L)														
	221,00	250,00	306,00	262,00	316,00	324,00	350,00	350,00	357,00	332,00	380,00	352,00	317	49
AKM ort (mg/L)														
	145,00	154,00	286,00	203,00	373,00	415,00	503,00	490,00	474,00	448,00	465,00	413,00	364	133
TKN(mg/L)														
	16,00	17,00	23,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	4
NO ₃ (mg/L)														
	1,02	0,43		1,38	1,58	1,49	0,67			1,19	1,54		1	0
TP(mg/L)														
	2,40	4,40	4,10	1,00	-	1,00	-	-	1,50	1,50	-	-	2	1
Amonyak														
	19,89	23,4	25,68	3,14	3,76	4,17	4,02	-	-	-	2,72	1,02	10	10
Sıcaklık														
	-	12,74	14,71	15,01	24,24	25,49	28,94	-	26,2	20,91	18,4	11,75	20	6
Tesise Giren Yük Miktarları														
KOİ (kg/gün)	16.119	17.022	21.303	14.920	16.593	17.012	18.309	17.078	15.732	17.473	19.945	19.730	17.603	1.885
BOİ (kg/gün)	10.721	14.162	12.253	10.080	9.294	9.294	9.259	8.637	7.800	356	9.290	9.921	9.256	3.276
AKM (kg/gün)	10.576	10.485	19.911	11.560	19.586	21.790	26.312	23.909	20.888	23.578	24.406	23.149	19.679	5.647
TKN (kg/gün)	1.167	1.157	1.601	1.063	980	980	976	911	823	982	980	1.046	1.056	196
TP (kg/gün)	175	300	285	57	119	75	119	111	100	120	119	127	142	76

Çizelge A.3: Karamürsel AAT 2013 yılı giriş verileri.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Aylık Ortalama	Standart Sapma
Qmax (m3/gün)														
	17.970	19.560	21.640	25.850	32.130	25.440	24.020	34.170	30.090	28.470	18.360	18.970	24.723	5.597
Qort (m3/gün)														
	16.434	17.417	17.805	21.470	25.151	22.891	21.795	21.523	20.550	18.779	16.051	15.741	19.634	3.026
BOİ (mg/L)														
	39,88	63,19	112,25	160,50	135,80	85,33	109,90	137,00	49,00	81,67	143,15	77,44	100	39
KOİort (mg/L)														
	93,41	161,28	318,23	485,24	352,90	180,36	316,80	633,30	241,36	163,88	713,46	133,42	316	201
AKM ort (mg/L)														
	73,90	126,94	152,42	220,35	193,59	90,68	140,09	251,17	55,89	56,88	52,89	51,61	122	70
TKN(mg/L)														
	26,23	2,40	56,19	15,72	16,23	29,71	20,24	42,50	15,25	7,40	10,37		22	16
TP(mg/L)														
	2,66	3,43	3,99	2,32	6,16	8,59	6,42	5,17	3,67	6,32	6,80	4,46	5	2
Amonyak														
	13,26	17,6	18,17	13,35	24,77	20,4	14,45	19,67	9,68	29,52	16,29	14,13	18	5
Sıcaklık (°C)														
	14,39	16,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	1
Tesise Giren Yük Miktarları														
KOİ (kg/gün)	1.535	2.809	5.666	10.418	8.876	4.129	6.905	13.631	4.960	3.078	11.452	2.100	6.296	3.978
BOİ (kg/gün)	655	1.101	1.999	3.446	3.416	1.953	2.395	2.949	1.007	1.534	2.298	1.219	1.998	938
AKM (kg/gün)	1.214	2.211	2.714	4.731	4.869	2.076	3.053	5.406	1.149	1.068	849	812	2.513	1.672
TKN (kg/gün)	431	42	1.000	338	408	680	441	915	313	139	166	347	435	295
TP (kg/gün)	44	60	71	50	155	197	140	111	75	119	109	70	100	47

Çizelge A.4: Kullar AAT 2013 yılı giriş verileri.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ayık Ortalama	Standart Sapma
Qmax (m3/gün)														
	59.400	55.870	58.100	57.600	55.000	47.670	47.000	48.000	54.073	53.320	60.000	69.030	55.422	6.228
Qort (m3/gün)														
	48.269	48.902	53.225	50.335	45.810	41.747	39.271	35.664	39.650	44.471	44.343	51.957	45.304	5.476
BOİ (mg/L)														
	159,50	183,89	259,14	278,71	234,75	133,46	179,80	183,40	178,40	180,75	212,40	135,00	193	45
KOİort (mg/L)														
	383,92	331,42	405,42	576,78	433,10	339,09	488,43	452,10	504,91	323,10	396,50	293,71	411	84
AKM ort (mg/L)														
	216,37	229,42	242,22	-	296,67	209,78	183,26	191,22	251,32	181,82	203,42	143,95	214	41
TKN(mg/L)														
	-	31,30	29,13	34,26	34,69	38,07	18,36	24,36	33,59	37,85	30,45	-	31	6
TP(mg/L)														
	3,78	6,60	5,99	7,72	6,52	6,09	4,63	5,98	6,64	5,76	4,64	3,43	6	1
Amonyak														
2013	36,86	50,7	35,55	36,77	1,27	-	-	-	-	-	-	24,28	31	17
Sıcaklık(°C)														
2013	8,66	10,12	14,08	14,24	19,65	22,2	23,56	24,68	21,64				18	6
Tesis Giren Yük Miktarları														
KOİ (kg/gün)	18.531	16.207	21.578	29.032	19.840	14.156	19.181	16.124	20.020	14.369	17.582	15.260	19.408	4291
BOİ (kg/gün)	7.699	8.993	13.793	14.029	10.754	5.572	7.061	6.541	7.074	8.038	9.418	7.014	9.057	3128
AKM (kg/gün)	10.444	11.219	12.892	10.751	13.590	8.758	7.197	6.820	9.965	8.086	9.020	7.479	10.182	2311
TKN (kg/gün)	1.414	1.531	1.550	1.724	1.589	1.589	721	869	1.332	1.683	1.350	1.621	1.369	346
TP (kg/gün)	182	323	319	389	299	254	182	213	263	256	206	178	269	70

Çizelge A.5: Gebze AAT 2013 yılı giriş verileri.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Aylık Ortalama	Standart Sapma
Qmax (m3/gün)														
	-	-	-	86.637	70.956	77.617	73.226	72.000	69.453	90.154	83.023	80.464	78.170	7.374
Qort (m3/gün)														
	95.170	89.868	83.898	68.813	58.813	65.460	67.565	65.887	63.583	70.695	69.519	70.727	72.500	11.115
BOİ (mg/L)														
	235,93	274,60	267,99	289,26	338,91	262,77	260,21	297,45	292,49	295,36	360,43	263,23	287	35
KOİort (mg/L)														
	594,63	579,97	597,97	660,20	733,68	695,39	649,39	667,19	622,59	626,77	719,08	563,42	643	55
AKM ort (mg/L)														
	328,42	303,39	323,29	323,40	339,55	356,77	281,74	344,00	321,80	322,77	381,97	284,58	326	28
TKN(mg/L)														
	41,63	40,66	45,25	48,41	54,72	53,08	52,45	49,61	57,19	53,71	6,99	7,25	43	17
NO ₃ (mg/L)														
	6,62	6,17	6,66	6,67	7,14	6,26	7,16	6,5	6,97	6,87	3,29	2,94	6	1
TP(mg/L)														
	2,58	2,64	2,61	3,01	3,23	3,51	3,10	3,27	3,38	3,24	3,29	2,94	3	0
Sıcaklık (°C)														
	11,12	11,99	13,04	15,28	20,32	23,42	24,95	25,2	22	15,4	14,51	9,44	17	6
Tesise Giren Yük Miktarları														
KOİ (kg/gün)	56.591	52.121	50.168	45.430	43.150	45.520	43.876	43.959	39.586	44.310	49.990	39.849	46.213	5.059
BOİ (kg/gün)	22.453	24.678	22.484	19.905	19.932	17.201	17.581	19.598	18.597	20.880	25.057	18.617	20.582	2.595
AKM (kg/gün)	31.256	27.265	27.123	22.254	19.970	23.354	19.036	22.665	20.461	22.818	26.554	20.127	23.574	3.723
TKN (kg/gün)	3.962	3.654	3.796	3.331	3.218	3.475	3.544	3.269	3.636	3.797	486	513	3.057	1.215
TP (kg/gün)	246	237	219	207	190	230	209	215	215	229	229	208	220	15

Ek B: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İSU Tesislerinin 2013 yılı çıkış değerleri çizelgeleri

Çizelge B.1: Plajyolu AAT çıkış değerleri.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Aylık Ortalama	Standart Sapma
BOİ (mg/L)														
	12,12	10,67	11,33	13,83	17,52	13,00	14,50	15,00	15,00	15,82	17,00	22,23	15	3
KOİort (mg/L)														
	36,09	36,86	49,58	52,45	40,71	43,38	57,36	74,18	50,38	52,87	73,00	87,78	55	16
AKM (mg/L)														
	64	61	66	69	56	66	90	73	42	77	60	171	75	33
TKN(mg/L)														
	2	2	3	3	2	2	3	2	3	5	4	4	3	1
NO ₃ (mg/L)														
	8	8	7	7	5	5	6	5	6	6	5	5	6	1
TP(mg/L)														
	2	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	0
Amonyak														
	9	11	12	13	11	12	10	8	10	9	11	9	10	1
Sıcaklık														
	10,34	10,89	12,64	14,92	19,79	23,24	23,23	24,62	20,46	14,4	13,75	8,77	16	6
Tese Giren Yük Miktarları														
KOİ (kg/gün)	2.569	2.846	3.564	3.530	2.597	2.867	3.455	4.363	2.918	3.228	4.624	5.523	3.507	906
BOİ (kg/gün)	863	824	814	931	1.118	859	873	882	869	966	1.077	1.399	956	169
AKM (kg/gün)	4.585	4.710	4.744	4.644	3.573	4.361	5.420	4.293	2.432	4.670	3.801	10.759	4.833	2.012
TKN (kg/gün)	122	147	183	185	126	149	154	124	152	280	229	279	177	56
TP (kg/gün)	110	100	145	129	88	109	95	75	75	87	97	96	100	21

Çizelge B.2.:Yeniköy AAT çıkış değerleri.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Aylık Ortalama	Standart Sapma
BOİ (mg/L)														
	8,21	11,12	9,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	1
KOİort (mg/L)														
	33,02	44,80	42,00	47,00	52,00	48,00	42,00		50,00	72,00	66,00	47,00	49	11
AKM (mg/L)														
	64,40	61,00	66,00	69,00	56,00	66,00	90,00	73,00	42,00	76,50	60,00	171,00	75	33
TKN(mg/L)														
	2,67	3,22	3,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0
NO ₃ (mg/L)														
	3,00	2,00	2,00	6,00	4,00	5,00	5,00	-	-	-	5,38	5,64	4	2
TP(mg/L)														
	1,34	3,00	2,16	1,48	0,54	-	0,55	-	-	-	0,83	0,92	1	1
Amonyak														
	9,34	8,39	8,37	0,82	0,28	0,21	0,09	-	-	-	1,08	0,69	3	4
Sıcaklık														
	-	13,64	15,21	16,02	24,28	25,69	28,99	-	25,93	20,8	18,24	12,12	20	6
Tesise Giren Yük Miktarları														
KOİ (kg/gün)	2.408	3.050	2.924	2.677	2.730	2.520	2.197	2.412	2.203	3.789	3.464	2.634	2.751	488
BOİ (kg/gün)	599	757	690	555	512	512	510	476	430	513	512	546	551	92
AKM (kg/gün)	4.697	4.153	4.595	3.929	2.941	3.465	4.708	3.562	1.851	4.026	3.149	9.585	4.222	1.881
TKN (kg/gün)	195	219	247	179	165	165	165	154	139	166	165	177	178	30
TP (kg/gün)	98	204	150	84	28	71	29	66	59	71	44	52	80	51

Çizelge B.3: Karamürsel AAT çıkış değerleri.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Aylık Ortalama	Standart Sapma
BOİ (mg/L)														
2013	3,39	5,29	7,22	4,92	10,98	6,17	5,16	8,50	6,17	9,50	6,46	5,28	7	2
KOİort (mg/L)														
2013	41,73	36,60	37,24	33,12	68,92	51,80	40,07	36,57	45,73	58,63	45,00	39,08	45	11
AKM (mg/L)														
2013	12,26	13,99	20,63	10,41	18,44	16,58	20,64	20,67	13,95	17,81	15,39	12,00	16	4
TKN(mg/L)														
2013	14,96	5,67	13,10	4,10	6,13	9,57	11,90	6,00	7,25	2,30	4,23	-	8	4
TP(mg/L)														
2013	0,85	0,98	0,71	0,40	2,46	1,34	1,23	1,40	2,13	1,61	1,13	1,23	0	1
Amonyak														
2013	7,55	5,6	5,02	5,02	5,73	2,76	3,06	2,53	2,94	9,01	5,63	3,98	5	2
Sıcaklık														
2013	14,44	16,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	1
KOİ (kg/gün)	686	637	663	711	1.733	1.186	873	787	940	1.101	722	615	888	323
BOİ (kg/gün)	56	92	129	106	276	141	112	183	127	178	104	83	132	58
AKM (kg/gün)	201	244	367	224	464	380	450	445	287	334	247	189	319	101
TKN (kg/gün)	246	99	233	88	154	219	259	129	149	43	68	122	151	73
TP (kg/gün)	14	17	13	9	62	31	27	30	44	30	18	19	26	15

Çizelge B.4: Kullar AAT çıkış değerleri.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Aylık Ortalama	Standart Sapma
BOİ (mg/L)														
2013	15,14	10,94	25,51	9,44	9,73	8,39	8,86	6,68	10,10	9,87	7,50	16,23	11,53	5
KOİort (mg/L)														
2013	22,84	23,18	38,35	30,51	34,94	35,42	31,93	28,06	32,72	22,52	33,11	29,11	30,22	5
AKM (mg/L)														
2013	16,32	8,31	13,68		22,16	5,58	5,26	5,93	8,01	5,53	7,82	12,32	10,08	5
TKN(mg/L)														
2013		1,89	2,91	2,99	6,03	6,11	5,00	9,58	7,68	6,01	4,37	1,54	4,92	2
NO ₃ (mg/L)														
2013	2,88	1,90	2,27	3,33	2,35	1,65	2,67	6,75	5,71	3,52	1,88	1,18	3,01	2
TP(mg/L)														
2013	0,56	2,43	1,52	1,61	2,17	2,10	0,62	2,20	1,56	1,05	0,91	0,82	1,46	1
Amonyak														
2013	9,58	8,26	6,84	6,87	1,07	0,92	0,22	0,19	0,13	0,05	0,08	4,59	3	4
Sıcaklık														
2013	8,12	9,07	13,95	13,63	19,05	22,34	23,19	25,38	22,4				17	6
KOİ (kg/gün)	1.102	1.134	2.041	1.536	1.601	1.479	1.254	1.001	1.297	1.001	1.468	1.512	1369	300
BOİ (kg/gün)	731	535	1.358	475	446	350	348	238	400	439	333	843	541	308
AKM (kg/gün)	788	406	728	508	1.015	233	207	211	318	246	347	640	471	266
TKN (kg/gün)	237	91	142	159	304	280	209	376	274	238	194	68	214	90
TP (kg/gün)	27	119	81	81	99	88	24	78	62	47	40	43	66	30

Çizelge B.5: Gebze AAT çıkış değerleri.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Aylık Ortalama	Standart Sapma
BOİ (mg/L)														
2013	9,47	7,98	7,07	9,90	7,49	11,80	14,18	17,91	60,43	16,46	10,95	8,34	15	14
KOlort (mg/L)														
2013	55,82	54,82	55,31	55,67	54,49	85,48	81,93	71,24	168,74	69,08	45,36	42,15	70	34
AKM (mg/L)														
2013	24,03	22,54	22,90	24,27	23,52	47,90	58,68	58,65		42,00	22,70	19,48	33	15
TKN(mg/L)														
2013	3,69	3,03	2,77	3,74	2,77	3,05	2,87	5,12	11,73	3,29		5,84	4	3
NO ₃ (mg/L)														
2013	6,65	5,98	4,23	2,54	1,69	2,35	3,30	2,15	4,15	5,73	0,69	0,47	3	2
TP(mg/L)														
2013	0,74	0,65	0,61	0,61	0,60	0,53	0,77	0,99	1,08	1,44	0,61	0,69	0	0
Sıcaklık(°C)														
2013	11,72	13,4	13,79	16,45	21,51	23,58	16,83	19,43	18,29	11,06	11,44	8,6	16	5
Tesise Giren Yük Miktarları														
KOİ (kg/gün)	5.312	4.927	4.640	3.831	3.205	5.596	5.536	4.694	10.729	4.884	3.153	2.981	4.957	2.042
BOİ (kg/gün)	901	717	593	681	441	772	958	1.180	3.842	1.164	761	590	1.050	907
AKM (kg/gün)	2.287	2.026	1.921	1.670	1.383	3.136	3.965	3.864	2.119	2.969	1.578	1.378	2.358	914
TKN (kg/gün)	351	272	232	257	163	200	194	337	746	233	302	413	308	156
TP (kg/gün)	70	58	51	42	35	35	52	65	69	102	42	49	56	19

Ek C: Hesaplama özet çizelgeleri

Çizelge C.1: Plajyolu Atıksu Arıtma Tesisi Bilgileri

Debi-Nüfus			
Günlük Ortalama Debi	$Q_{DW,d}$	65.140	m ³ /gün
Saatlik Maksimum Debi	$Q_{WW,h}$	3.183	m ³ /saat
Eşdeğer Nüfus		202.650	kişi
Giriş Değerleri			
KOİ	$C_{COD,IAT}$	377	mg/L
BOİ	$C_{BOD,IAT}$	148	mg/L
Günlük BOİ Yüğü	$B_{d,BOD,I}$	9.641	kg/gün
Filtrelenebilir Katılar	$X_{SS,IAT}$	193	mg/L
Toplam Kijeldahl Azotu	$C_{TKN,IAT}$	30	mg/L
Amonyum Azotu	$S_{NH4,IAT}$	18	mg/L
Fosfor	$C_{P,IAT}$	4,0	mg/L
Çıkış Değerleri			
Amonyum Azotu	$S_{NH4-N,EST}$	10,0	mg/L
Nitrat Azotu	$S_{NO3,EST}$	6,0	mg/L
Fosfor	$C_{P,EST}$	2,0	mg/L
Biyolojik Reaktör			
Denitrifikasyon Oranı	V_D / V_{AT}	0,20	
Sıcaklık	T	20,0	°C
Askıda Katı Madde (MLSS)	SS_{AT}	3,44	kg/L
Çamur Yaşı	t_{SS}	10	gün
Biyokütle Sentezi için Kullanılan Azot	$X_{orgN,BM}$	7,40	mg/L
Nitrifikasyona Uğrayan Azot	$S_{NH4,N}$	30,50	mg/L
Denitrifikasyona Uğrayan Azot	$S_{NO3,D}$	15,10	mg/L
Biyokütle Sentezi için Kullanılan Fosfor	$X_{P,BM}$	1,48	mg/L
Kimyasalla Çöktürülmesi Gereken Fosfor	$X_{P,Prec}$	0	mg/L
Son Çöktürme			
Çamur Hacim İndeksi	SVI	110	mL/g
Çamur Koyulaşma Süresi	t_{Th}	2,0	saat
Taban Çamuru Konsantrasyonu	SS_{BS}	11,45	kg/L
Geri Devir Çamur Konsantrasyonu	SS_{RS}	8,02	kg/L
Çamur Geri Devir Oranı	RS	0,75	
Hacimsel Çamur Yükleme Oranı	q_{SV}	450	L/m ² saat
Seyreltilmiş Çamur Hacmi	DSV	378	L/m ³
Yüzeysel Hidrolik Yükleme Hızı	q_A	1,19	m ³ /m ² saat
Oksijen İhtiyacı			
... karbon giderimi	$OU_{d,C}$	12.445	kg/gün
... nitrifikasyon	$OU_{d,N}$	5.770	kg/gün
... denitrifikasyon sonucu karbon giderimi	$OU_{d,D}$	-2.852	kg/gün
Karbon giderimi için pik faktör	f_C	1,20	
Amonyum oksidasyonu için pik faktör	f_N	1,80	
Maksimum saatlik oksijen ihtiyacı	OU_h	832	kg/saat
Standart Oksijen Transfer Oranı	$SOTR$	1.455	kg/saat
Anaerobik Çürütücü			
Giderilen UKM	40	%	
Çürütücüye Giren UKM	17.500	kg/gün	
Çürütücüye gelen KM	419	m ³ /gün	
Q_{gaz}	7.000	m ³ /gün	
Metan (CH ₄) Üretimi	4.550	m ³ /gün	
Potansiyel Enerji Değeri	45.500	kWh/gün	
Geri Kazanılabilir Elektrik Enerjisi	11.375	kWh _e /gün	
Geri Kazanılabilir Net Isı Enerjisi	13.310	kWh _{is} /gün	

Çizelge C.2: Yeniköy Atıksu Arıtma Tesisi Bilgileri.

Debi-Nüfus			
Günlük Ortalama Debi	$Q_{DW,d}$	56.579	m ³ /gün
Saatlik Maksimum Debi	$Q_{WW,h}$	3.000	m ³ /saat
Eşdeğer Nüfus		146.692	kişi
Giriş Değerleri			
KOİ	$C_{COD,IAT}$	317	mg/L
BOİ	$C_{BOD,IAT}$	177	mg/L
Günlük BOİ Yüğü	$B_{d,BOD,I}$	10.014	kg/gün
Filtrelenebilir Katılar	$X_{SS,IAT}$	364	mg/L
Toplam Kijeldahl Azotu	$C_{TKN,IAT}$	19	mg/L
Amonyum Azotu	$S_{NH4,IAT}$	11	mg/L
Fosfor	$C_{P,IAT}$	2,0	mg/L
Çıkış Değerleri			
Amonyum Azotu	$S_{NH4-N,EST}$	0,0	mg/L
Nitrat Azotu	$S_{NO3,EST}$	4,2	mg/L
Fosfor	$C_{P,EST}$	1,2	mg/L
Biyolojik Reaktör			
Denitrifikasyon Oranı	V_D / V_{AT}	0,20	
Sıcaklık	T	20,0	°C
Askıda Katı Madde (MLSS)	SS_{AT}	3,44	kgm/L
Çamur Yaşı	t_{SS}	8	gün
Biyokütle Sentezi için Kullanılan Azot	$X_{orgN,BM}$	8,85	mg/L
Nitrifikasyona Uğrayan Azot	$S_{NH4,N}$	20,20	mg/L
Denitrifikasyona Uğrayan Azot	$S_{NO3,D}$	5,13	mg/L
Biyokütle Sentezi için Kullanılan Fosfor	XP_{BM}	1,77	mg/L
Kimyasalla Çöktürülmesi Gereken Fosfor	$X_{P,Prec}$	0	mg/L
Son Çöktürme			
Çamur Hacim İndeksi	SVI	110	mL/g
Çamur Koyulaşma Süresi	t_{Th}	2,0	saat
Taban Çamuru Konsantrasyonu	SS_{BS}	11,45	kgm/L
Geri Devir Çamur Konsantrasyonu	SS_{RS}	8,02	kgm/L
Çamur Geri Devir Oranı	RS	0,75	
Hacimsel Çamur Yükleme Oranı	q_{SV}	450	L/m ² saat
Seyreltilmiş Çamur Hacmi	DSV	378	L/m ³
Yüzeysel Hidrolik Yükleme Hızı	q_A	1,19	m ³ /m ² saat
Oksijen İhtiyacı			
... karbon giderimi	$OU_{d,C}$	13.143	kg/gün
... nitrifikasyon	$OU_{d,N}$	1.983	kg/gün
... denitrifikasyon sonucu karbon giderimi	$OU_{d,D}$	-842	kg/gün
Karbon giderimi için pik faktör	f_C	1,18	
Amonyum oksidasyonu için pik faktör	f_N	1,68	
Maksimum saatlik oksijen ihtiyacı	OU_h	687	kg/saat
Standart Oksijen Transfer Oranı	$SOTR$	1.353	kg/saat
Anaerobik Çürütücü			
Giderilen UKM	40	%	
Çürütücüye Giren UKM	8.400	kg/gün	
Çürütücüye gelen KM	201	m ³ /gün	
Q_{gaz}	3.360	m ³ /gün	
Metan (CH ₄) Üretimi	2.184	m ³ /gün	
Potansiyel Enerji Değeri	21.840	kWh/gün	
Geri Kazanılabilir Elektrik Enerjisi	5.460	kWh _e /gün	
Geri Kazanılabilir Net Isı Enerjisi	6400	kWh _{ısı} /gün	

Çizelge C.3: Karamürsel Atıksu Arıtma Tesisi Bilgileri.

Debi-Nüfus			
Günlük Ortalama Debi	$Q_{DW,d}$	30.000	m ³ /gün
Saatlik Maksimum Debi	$Q_{WW,h}$	1.042	m ³ /saat
Eşdeğer Nüfus		52467	kişi
Giriş Değerleri			
KOİ	$C_{COD,IAT}$	316	mg/L
BOİ	$C_{BOD,IAT}$	72	mg/L
Günlük BOİ Yüğü	$B_{d,BOD,I}$	2.160	kg/gün
Filtrelenebilir Katılar	$X_{SS,IAT}$	122	mg/L
Toplam Kijeldahl Azotu	$C_{TKN,IAT}$	22	mg/L
Amonyum Azotu	$S_{NH4,IAT}$	13	mg/L
Fosfor	$C_{P,IAT}$	5,0	mg/L
Çıkış Değerleri			
Amonyum Azotu	$S_{NH4-N,EST}$	0,0	mg/L
Nitrat Azotu	$S_{NO3,EST}$	10,0	mg/L
Fosfor	$C_{P,EST}$	0,5	mg/L
Biyolojik Reaktör			
Denitrifikasyon Oranı	V_D / V_{AT}	0,32	
Sıcaklık	T	20,0	°C
Askıda Katı Madde (MLSS)	SS_{AT}	3,44	kgm/L
Çamur Yaşı	t_{SS}	8	gün
Biyokütle Sentezi için Kullanılan Azot	$X_{orgN,BM}$	3,60	mg/L
Nitrifikasyona Uğrayan Azot	$S_{NH4,N}$	22,50	mg/L
Denitrifikasyona Uğrayan Azot	$S_{NO3,D}$	6,90	mg/L
Biyokütle Sentezi için Kullanılan Fosfor	XP_{BM}	0,72	mg/L
Kimyasalla Çöktürülmesi Gereken Fosfor	$X_{P,Prec}$	0	mg/L
Son Çöktürme			
Çamur Hacim İndeksi	SVI	110	mL/g
Çamur Koyulaşma Süresi	t_{Th}	2,0	saat
Taban Çamuru Konsantrasyonu	SS_{BS}	11,45	kgm/L
Geri Devir Çamur Konsantrasyonu	SS_{RS}	8,02	kgm/L
Çamur Geri Devir Oranı	RS	0,75	
Hacimsel Çamur Yükleme Oranı	q_{SV}	450	L/m ² saat
Seyreltilmiş Çamur Hacmi	DSV	378	L/m ³
Yüzeysel Hidrolik Yükleme Hızı	q_A	1,19	m ³ /m ² saat
Oksijen İhtiyacı			
... karbon giderimi	$OU_{d,C}$	2.835	kg/gün
... nitrifikasyon	$OU_{d,N}$	2.116	kg/gün
... denitrifikasyon sonucu karbon giderimi	$OU_{d,D}$	-600	kg/gün
Karbon giderimi için pik faktör	f_C	1,18	
Amonyum oksidasyonu için pik faktör	f_N	1,68	
Maksimum saatlik oksijen ihtiyacı	OU_h	241	kg/saat
Standart Oksijen Transfer Oranı	$SOTR$	475	kg/saat
Anaerobik Çürütücü			
Giderilen UKM	40	%	
Çürütücüye Giren UKM	4.417	kg/gün	
Çürütücüye gelen KM	106	m ³ /gün	
Q_{gaz}	1.767	m ³ /gün	
Metan (CH ₄) Üretimi	1.149	m ³ /gün	
Potansiyel Enerji Değeri	11.490	kWh/gün	
Geri Kazanılabilir Elektrik Enerjisi	2873	kWh _e /gün	
Geri Kazanılabilir Net Isı Enerjisi	3.361	kWh _{ısı} /gün	

Çizelge C.4: Kullar Atıksu Arıtma Tesisi Bilgileri.

Debi-Nüfus			
Günlük Ortalama Debi	$Q_{DW,d}$	45.000	m ³ /gün
Saatlik Maksimum Debi	$Q_{WW,h}$	2.292	m ³ /saat
Eşdeğer Nüfus		161.733	kişi
Giriş Değerleri			
KOİ	$C_{COD,IAT}$	411	mg/L
BOİ	$C_{BOD,IAT}$	201	mg/L
Günlük BOİ Yüğü	$B_{d,BOD,I}$	9.045	kg/gün
Filtrelenebilir Katılar	$X_{SS,IAT}$	214	mg/L
Toplam Kijeldahl Azotu	$C_{TKN,IAT}$	31	mg/L
Amonyum Azotu	$S_{NH4,IAT}$	19	mg/L
Fosfor	$C_{P,IAT}$	5,7	mg/L
Çıkış Değerleri			
Amonyum Azotu	$S_{NH4-N,EST}$	0,0	mg/L
Nitrat Azotu	$S_{NO3,EST}$	9,0	mg/L
Fosfor	$C_{P,EST}$	0,5	mg/L
Biyolojik Reaktör			
Denitrifikasyon Oranı	V_D / V_{AT}	0,20	
Sıcaklık	T	20,0	°C
Askıda Katı Madde (MLSS)	SS_{AT}	3,44	kgm/L
Çamur Yaşı	t_{SS}	8	gün
Biyokütle Sentezi için Kullanılan Azot	$X_{orgN,BM}$	10,05	mg/L
Nitrifikasyona Uğrayan Azot	$S_{NH4,N}$	33,40	mg/L
Denitrifikasyona Uğrayan Azot	$S_{NO3,D}$	12,35	mg/L
Biyokütle Sentezi için Kullanılan Fosfor	XP_{BM}	2,01	mg/L
Kimyasalla Çöktürülmesi Gereken Fosfor	$X_{P,Prec}$	0	mg/L
Son Çöktürme			
Çamur Hacim İndeksi	SVI	110	mL/g
Çamur Koyulaşma Süresi	t_{Th}	2,0	saat
Taban Çamuru Konsantrasyonu	SS_{BS}	11,45	kgm/L
Geri Devir Çamur Konsantrasyonu	SS_{RS}	8,02	kgm/L
Çamur Geri Devir Oranı	RS	0,75	
Hacimsel Çamur Yükleme Oranı	q_{SV}	450	L/m ² saat
Seyreltilmiş Çamur Hacmi	DSV	378	L/m ³
Yüzeysel Hidrolik Yükleme Hızı	q_A	1,19	m ³ /m ² saat
Oksijen İhtiyacı			
... karbon giderimi	$OU_{d,C}$	11.870	kg/gün
... nitrifikasyon	$OU_{d,N}$	3.667	kg/gün
... denitrifikasyon sonucu karbon giderimi	$OU_{d,D}$	-1.612	kg/gün
Karbon giderimi için pik faktör	f_C	1,18	
Amonyum oksidasyonu için pik faktör	f_N	1,68	
Maksimum saatlik oksijen ihtiyacı	OU_h	684	kg/saat
Standart Oksijen Transfer Oranı	SOTR	1.347	kg/saat
Anaerobik Çürütücü			
Giderilen UKM	40	%	
Çürütücüye Giren UKM	4.760	kg/gün	
Çürütücüye gelen KM	114	m ³ /gün	
Q_{gaz}	1.904	m ³ /gün	
Metan (CH ₄) Üretimi	1.238	m ³ /gün	
Potansiyel Enerji Değeri	12.380	kWh/gün	
Geri Kazanılabilir Elektrik Enerjisi	3.095	kWh _e /gün	
Geri Kazanılabilir Net Isı Enerjisi	3.622	kWh _{ısı} /gün	

Çizelge C.5: Gebze Atıksu Arıtma Tesisi Bilgileri.

Debi-Nüfus			
Günlük Ortalama Debi	$Q_{DW,d}$	72.500	m ³ /gün
Saatlik Maksimum Debi	$Q_{WW,h}$	3.557	m ³ /saat
Eşdeğer Nüfus		385.108	kişi
Giriş Değerleri			
KOİ	$C_{COD,IAT}$	643	mg/L
BOİ	$C_{BOD,IAT}$	260	mg/L
Günlük BOİ Yüğü	$B_{d,BOD,I}$	18.850	kg/gün
Filtrelenebilir Katılar	$X_{SS,IAT}$	326	mg/L
Toplam Kijeldahl Azotu	$C_{TKN,IAT}$	43	mg/L
Amonyum Azotu	$S_{NH4,IAT}$	26	mg/L
Fosfor	$C_{P,IAT}$	3,1	mg/L
Çıkış Değerleri			
Amonyum Azotu	$S_{NH4-N,EST}$	0,0	mg/L
Nitrat Azotu	$S_{NO3,EST}$	3,3	mg/L
Fosfor	$C_{P,EST}$	0,5	mg/L
Biyolojik Reaktör			
Denitrifikasyon Oranı	V_D / V_{AT}	0,20	
Sıcaklık	T	20,0	°C
Askıda Katı Madde (MLSS)	SS_{AT}	3,44	kgm/L
Çamur Yaşı	t_{SS}	8	gün
Biyokütle Sentezi için Kullanılan Azot	$X_{orgN,BM}$	13,00	mg/L
Nitrifikasyona Uğrayan Azot	$S_{NH4,N}$	48,68	mg/L
Denitrifikasyona Uğrayan Azot	$S_{NO3,D}$	30,35	mg/L
Biyokütle Sentezi için Kullanılan Fosfor	XP_{BM}	2,60	mg/L
Kimyasalla Çöktürülmesi Gereken Fosfor	$X_{P,Prec}$	0	mg/L
Son Çöktürme			
Çamur Hacim İndeksi	SVI	110	mL/g
Çamur Koyulaşma Süresi	t_{Th}	2,0	saat
Taban Çamuru Konsantrasyonu	SS_{BS}	11,45	kgm/L
Geri Devir Çamur Konsantrasyonu	SS_{RS}	8,02	kgm/L
Çamur Geri Devir Oranı	RS	0,75	
Hacimsel Çamur Yükleme Oranı	q_{SV}	450	L/m ² saat
Seyreltilmiş Çamur Hacmi	DSV	378	L/m ³
Yüzeysel Hidrolik Yükleme Hızı	q_A	1,19	m ³ /m ² saat
Oksijen İhtiyacı			
... karbon giderimi	$OU_{d,C}$	25.626	kg/gün
... nitrifikasyon	$OU_{d,N}$	8.598	kg/gün
... denitrifikasyon sonucu karbon giderimi	$OU_{d,D}$	-6.381	kg/gün
Karbon giderimi için pik faktör	f_C	1,13	
Amonyum oksidasyonu için pik faktör	f_N	1,50	
Maksimum saatlik oksijen ihtiyacı	OU_h	1.339	kg/saat
Standart Oksijen Transfer Oranı	$SOTR$	2.637	kg/saat
Anaerobik Çürütücü			
Giderilen UKM	40	%	
Çürütücüye Giren UKM	32.800	kg/gün	
Çürütücüye gelen KM	549	m ³ /gün	
Q_{gaz}	9.184	m ³ /gün	
Metan (CH ₄) Üretimi	5.970	m ³ /gün	
Potansiyel Enerji Değeri	59.700	kWh/gün	
Geri Kazanılabilir Elektrik Enerjisi	14.925	kWh _e /gün	
Geri Kazanılabilir Net Isı Enerjisi	17.463	kWh _{isi} /gün	



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Zehra Aynur

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul / 18.07.1986

Adres: Üstçeşme sok. No:11 Sahrayıcedit/İstanbul

E-Posta: zehraynur@gmail.com

Lisans: Kocaeli Üniversitesi Çevre Müh. Bölümü