

Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi

Mustafa Evren ERŞAHİN^{*1}, Recep Kaan DERELİ¹, Hale ÖZGÜN¹, Zehra (AYNUR) AKMIRZA¹, İzzet ÖZTÜRK¹

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul

(Alınış / Received: 03.06.2016, Kabul / Accepted: 10.10.2016, Online Yayınlanma / Published Online: 11.11.2016)

Anahtar Kelimeler

Aktif çamur,
Anaerobik çürütme,
Atıksu arıtma tesisi,
Enerji verimliliği,
Nutrient giderimi

Özet: Bu çalışmada, evsel atıksu arıtımı yapan beş adet tam ölçekli tesisin enerji verimliliği incelenmiştir. İncelenen tesisler ön çökeltim prosesi olmayan ve nutrient giderimi yapan aktif çamur proseslerinden oluşmakta olup, eşdeğer nüfusları 33300-343000 kişi aralığında değişmektedir. Tesis işletme verileri ve mevcut ekipman güçleri incelenerek ünite bazlı enerji kullanımlarının hesaplanmasına yönelik bir sistematik geliştirilmiştir. Tesislerin özgül enerji tüketimleri belirlenerek birbirleriyle kıyaslanmıştır. Tesislerde eşdeğer nüfus başına ve arıtılan atıksu debisi başına özgül enerji tüketimleri sırasıyla 28,6-54,3 kW-saat/kişi.yıl ve 0,24-0,42 kW-saat/m³ aralığında değişmektedir. İncelenen tesislerde üretilen fazla çamurun anaerobik olarak çürütülmesi halinde, tesislerde kullanılan elektrik enerjisinin %19-37'sinin geri kazanılabileceği belirlenmiştir. Bu şekilde işletme giderlerinin en önemli bileşenlerini oluşturan enerji ve çamur bertaraf maliyetlerinde azalma sağlanabilecektir.

Investigation of Energy Efficiency in Wastewater Treatment Plants

Keywords

Activated sludge,
Anaerobic digestion,
Energy efficiency,
Nutrient removal,
Wastewater treatment plant

Abstract: In this study, energy efficiency of five full-scale municipal wastewater treatment plants with a population equivalent (p.e.) ranging between 33300-343000 were investigated. All of the plants are based on activated sludge process conducting biological nutrient removal. A systematic for calculation of energy consumption based on plant operation data and power consumption of the installed equipment was developed. Specific energy consumptions of treatment plants were compared with each other. Based on population equivalent and wastewater flow, specific energy consumption of the plants changed between 28.6-54.3 kWh/(p.e.).year and 0.24-0.42 kWh/m³, respectively. It was also calculated that 19-37% of the total energy consumption in these plants can be potentially recovered by anaerobic digestion of waste activated sludge generated in the plants. Therefore, a reduction in the energy and sludge disposal costs can be achieved.

1. Giriş

Ülkemizde hızlı nüfus artışı ve sosyo-ekonomik durumdaki gelişmeye bağlı olarak artan tüketim, özellikle çevre üzerinde oldukça olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Nüfus ve tüketim artışına paralel olarak enerji ihtiyacı da artmakta olup; fosil yakıt rezervlerinin hızla azalması, enerji temini ve verimliliği ile ilgili alternatif çözümlerin araştırılmasını ve uygulanmasını gerektirmektedir. Günümüzde yapılacak olan her türlü faaliyette çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik önlemler alınması, doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından, gelecek için büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, çevre dostu teknolojilerin araştırılması ve fosil yakıtlara alternatif enerji kaynaklarının

bulunması için dünya ölçeğinde büyük bir gayret sarf edilmektedir.

Enerji giderleri, su ve atıksu arıtma tesislerinde en önemli işletme maliyeti bileşenlerinin başında gelmektedir. Enerji verimliliği, günümüzde hızla tükenen enerji kaynakları sebebiyle birçok alanda gündeme gelmektedir. Atıksu arıtma tesislerinde (AAT) yer alan arıtma proseslerinde ve atıksuyun toplanması ve taşınması sırasında önemli miktarda enerji kullanımı söz konusudur. Günümüzde artan enerji fiyatları ve yeni yasal düzenlemelerle getirilen sıkı deşarj standartları, AAT'lerin işletme maliyetlerini arttırmaktadır. Enerji maliyetlerinin artışı ve sürdürülebilirlik çalışmalarının sıklıkla gündeme gelmesi sonucu enerji optimizasyonu, ekonomik ve çevresel açıdan daha da önemli hale

gelmiştir. Bu kapsamda AAT'lerde işletme maliyetinin optimizasyonu için enerji tüketiminin ve arıtma kapasitelerinin tesis girişinden çıkışına kadar ünite bazında izlenmesi önem taşımaktadır.

AAT'lerde uygulamaya alınan enerji yönetim planlarının temel amacı arıtma performansından ödün vermeksizin enerji giderlerinin azaltılmasıdır. AAT'lerde enerji optimizasyonuna yönelik kullanılan en yaygın yöntem arıtma çamurlarının anaerobik çürütülmesidir. Anaerobik çürütme işleminde çamurun kısmi stabilizasyonu söz konusudur. Aynı zamanda organik madde içeriğinin azaltılması ve son ürün olan biyogazın bünyesindeki metandan 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 çürütme hızlandırarak ve stabilizasyon derecesini arttırmayı sağlayacak yeni yöntemler geliştirmeye yöneltmiştir. Enerji optimizasyonuna yönelik diğer bir uygulama olan evsel organik katı atıkların arıtma çamurları ile birlikte anaerobik arıtımı, yüksek miktarda üretilen katı atık ve arıtma çamurlarının entegre biçimde yönetimini sağlamaktadır. Tesislerde uygulanan bir diğer enerji optimizasyonu uygulaması da anaerobik çürütücüden çıkan yan akımların yenilikçi prosesler ile arıtılmasıdır. AAT'lerde çamur işleme ünitelerinden çıkan azot ve fosfor bakımından zengin sular arıtma tesisine ilave yük getirmektedir. Örneğin, bu akımlar ile tesis başına dönen toplam azot yükü, tesisin günlük tasarım azot yükünün %10-30'u oranında ilave bir yük getirmektedir. Bu ilave azot yükünün, havalandırma enerjisini arttıracak şekilde işletme maliyetlerini olumsuz yönde etkilemesi sonucu, son yıllarda yan akımlardan gelen azot yükünün azaltılmasına yönelik yeni biyolojik prosesler geliştirilmiştir [1].

Atıksuyun taşınması, 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 oluşturmaktadır. ABD'de bulunan AAT'lerin %75'inden fazlasında biyolojik arıtma olarak aktif çamur sistemi kullanılmakta olup, bu tesislerdeki havalandırma proseslerinde, tesislerin toplam elektrik ihtiyacının % 60'ı kullanılmaktadır [2, 3]. Lingsten vd. [4] tarafından yapılan bir çalışmada İsveç'te bulunan arıtma tesislerinde terfi için gerekli enerji miktarı ~20 kW-saat/kişi.yıl olarak belirlenmiştir. ABD'de su arıtma tesisleri ve AAT'lerin enerji ihtiyacı, ülke bazında kullanılan enerjinin yaklaşık %2'sidir. Avrupa'da ise kentsel AAT'lerde enerji tüketimi, toplam enerji tüketiminin %1'i civarındadır. Dünya genelinde enerjinin yaklaşık %0,1-0,4'ünün atıksu arıtımında kullanıldığı tahmin edilmektedir [5].

Günümüzde, atıksuların organik madde içeriğinin enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi bilinmektedir. AAT'ye gelen ham atıksuyun, arıtma için gerekli olan (kimyasal, termal ve hidrolik) enerjinin yaklaşık 10 katı fazla (13-15 kJ/g KOİ) enerji ihtiva ettiği belirlenmiştir [6]. Bu enerji ile atıksu arıtma tesislerinin enerji nötr ve hatta enerji pozitif işletilmesi mümkündür.

Dünyada enerji nötr olarak bilinen atıksu arıtma tesislerine örnek olarak Avusturya'da bulunan Strass AAT ve Kaliforniya'da bulunan East Bay AAT verilebilir. Strass AAT'de tüm tesis genelinde optimizasyon yaklaşımı uygulanmakta ve yenilikçi arıtma prosesleri ile hassas sulara deşarj standartları sağlanmaktadır [7]. Strass AAT düşük çamur yaşında işletilerek, anaerobik çürütme prosesinin verimi yükseltilmiş ve bu şekilde tesiste ihtiyaç duyulan enerjinin tamamı karşılanabilmiştir. East Bay AAT'de ise enerji tüketimini azaltmak için farklı bir yaklaşım kullanılmaktadır. Strass AAT'de 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 [5].

Bu çalışmada, ülkemizdeki beş farklı evsel AAT incelenmiş ve bu tesislerin enerji tüketimleri ortaya konmuştur. Ayrıca, incelenen AAT'lerde anaerobik çürütücü bulunması durumunda enerji üretme ve kendi enerjisini karşılayabilme potansiyelleri belirlenmiştir. Bu amaçla AAT'lerin giriş atıksu akımında ve arıtılmış olan deşarj akımında ortalama kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅), askıda katı madde (AKM), toplam Kjeldahl azotu (TKN) ve toplam fosfor (TP) konsantrasyonları ile ortalama debileri belirlenmiştir. AAT'lerde; proses tasarımı, ünite performansları, katı ve sıvı akımlar ile enerji tüketim ve üretimi bakımından KOİ ve katı madde kütle dengesi önem taşımaktadır. Mevcut atıksu arıtma prosesinin benzer arıtma tesisleri ile karşılaştırılması, proses optimizasyonu yapılmasına ve tesisin enerji verimli hale gelmesine imkan sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. İncelenen tesisler

Bu çalışmada benzer prosesler içeren tam ölçekli beş evsel AAT seçilmiştir. Tesislerin giriş ve çıkış KOİ, BOİ₅, AKM, TKN ve TP değerleri (Tablo 1) ile yıllık toplam enerji tüketimleri (kW-saat) incelenmiştir. Tablo 1'de verilen değerler, günlük ölçümler sonucu, ham atıksu girişi ve deşarj noktalarından elde edilmiş bir yıllık ortalama verilerdir. İncelenen tesislerde ön çökeltim havuzu bulunmamakta; evsel atıksu kaba ve ince ızgaralar ile kum tutucu sonrası biyolojik prosese iletilmektedir. AAT-1 ve AAT-5, biyolojik azot

fosfor giderimi yapan aktif çamur sistemidir. Bu tesislerin çamur yaşı (θ_c) sırasıyla 10 gün ve 20 gün'dür. AAT-2, AAT-3 ve AAT-4 ise önde denitrifikasyon yapan aktif çamur sistemleri olup, θ_c 12 gün olacak şekilde işletilmektedir. İncelenen tesislerin tipik proses akım şemaları Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmektedir. Karbon ve azot giderimi yapan AAT-2, AAT-3, AAT-4'te havalandırma yüzeysel mekanik havalandırıcılar ile, diğer AAT'lerde ise difüzörler ile yapılmaktadır. İncelenen tesislerde anaerobik çürütücü bulunmamaktadır. Tüm tesislerde üretilen fazla aktif çamur dekantörlerde susuzlaştırıldıktan sonra (~%25 katı maddeli çamur keki haline getirilerek) yakılarak bertaraf edilmektedir.

2.2. Enerji verimliliği analiz sistematığı

2.2.1. Enerji kullanımı

Bu çalışmada öncelikle tesislerin fiili toplam enerji kullanım verileri temin edilmiştir. Ancak, tesislere ait verilerde ünite bazında fiili enerji kullanım değerleri mevcut değildir. Bu nedenle tesiste bulunan üniteler incelenmiş, ünitelerin kurulu güçleri ve günlük çalışma süreleri dikkate alınarak bir hesaplama sistematığı geliştirilmiştir.

Buna göre tesis üniteleri; pompalar, ön arıtma, biyolojik arıtma, çamur birimleri ve diğer üniteler olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 2). Tesis genelinde bulunan terfi için gerekli tüm pompalar, çamur geri devir pompası, fazla çamur pompası ve içsel geri devir pompaları pompalar sınıfında ele alınmıştır. Ön arıtmada enerji kullanımının hesaplanmasında dikkate alınan üniteler, incelenen tüm tesislerde farklı sayı ve kapasitede bulunan ızgaralar, konveyör, kum tutucu, gezer köprü ve hava üfleyici (blower) ünitesidir. Biyolojik arıtma olarak belirtilen kısım tesis özelinde farklılık göstermekte olup, havalandırma ünitesi (hava üfleyici veya yüzeysel havalandırıcı), karıştırıcı sayı ve adedi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Çamur üniteleri, seçilen tesislerde genelde benzer olup (dekantör), kapasite ve ünite sayıları bakımından farklılık göstermektedir. Diğer enerji tüketimleri ısıtma ve aydınlatma için gerekli enerji olarak hesaplanmıştır. Tesiste bu tür kullanımlar için enerji tüketim kaydı tutulmamaktadır. Bu nedenle ısıtma ve aydınlatma (elektrik şebekesi) için gerekli enerji kullanımı tesis enerji tüketiminin %6'sı olarak kabul edilmiştir [8].

2.2.2. Enerji potansiyeli

Tesislerde ünite bazlı kütle dengelerini daha detaylı olarak inceleyebilmek için ATV 131-E [9] temelli bir tasarım programı geliştirilmiş ve tesislerden elde edilen veriler kullanılarak her bir tesisin kütle dengesi, gerekli havalandırma ihtiyacı ve üretilen çamur miktarı hesaplanmış ve tesislerin işletme verileri ile karşılaştırılmıştır. ATV 131-E Standardı, evsel atıksulardaki BOI_5 ve KOI kirletici

parametrelerine dayanılarak oluşturulmuş ve tek kademeli nitrifikasyon-denitrifikasyon aktif çamur tesislerini boyutlandırmak için geliştirilmiş ampirik bir tasarım yöntemidir. ATV 131-E Standardı'nın hesap ayrıntıları Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde [10] yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında mevcut tesislerde anaerobik çürütücü kullanılması durumunda oluşacak biyometan ve buna bağlı olarak üretilebilecek teorik enerji miktarları hesaplanarak, tesislerin muhtemel enerji geri kazanım potansiyelleri belirlenmiştir. Çürütücüye %70 uçucu katı madde (UKM) içerikli fazla biyolojik çamur beslemesi yapıldığı ve UKM'nin %40'unun anaerobik çürütücüde giderildiği varsayılmıştır [11]. Çürütücüye beslenen UKM'nin KOI eşdeğeri 1,42 g KOI/g UKM olarak kabul edilmiş ve giderilen KOI başına standart şartlarda (0 °C, 1 atm) 0,35 m³/kg KOI metan üretildiği kabul edilmiştir (Denklem 1) [11]. Çürütücüde biyokütle üretimi ihmal edilmiştir. Anaerobik çürütücülerin mezofilik şartlarda (37 °C) işletileceği ve üretilen gaz hacminin %65'inin metan olacağı kabul edilmiştir. Oluşan metanın enerji potansiyeli de 9,7 kW-saat/m³ alınmıştır [11]. Oluşan metanın birleşik ısı güç sistemlerinde (CHP) yakılması yoluyla ısı ve elektrik enerjisi üretileceği varsayılmıştır. CHP ünitesinde elektrik verimi %30, ısı verimi %50 alınmıştır. Buna göre elektrik ve ısı enerjisi üretimleri hesaplanmıştır. Bu şekilde tesis enerji ihtiyacının, tesis içinde üretilebilecek enerjiden karşılanabilme potansiyeli belirlenmiştir.

$$Q_{CH_4} = 0,35 \cdot 1,42 \cdot Q \cdot (UKM_{giris} - UKM_{çıkış}) \quad (1)$$

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Elde edilen bulgular

AAT-1, AAT-2, AAT-3, AAT-4 ve AAT-5'e ait yıllık enerji kullanım verileri ile hesaplanan ortalama enerji tüketimleri ve BOI_5 (60 g BOI_5 /kişi.gün) esas alınarak hesaplanan eşdeğer nüfus (EN) dikkate alındığında, tesisteki ortalama özgül enerji kullanımları Tablo 3'te verilmektedir. Karbon ve azot giderimli (önde denitrifikasyon) AAT-2, AAT-3 ve AAT-4'te kişi başı özgül enerji kullanımının, biyolojik karbon, azot ve fosfor giderimi yapılan AAT-1 ve AAT-5'ten yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun, AAT-2, AAT-3 ve AAT-4'te havalandırmanın, difüzörlere göre daha düşük verimli olan mekanik havalandırıcılarla yapılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Tablo 4).

Şekil 3'te her bir tesis için, tesisteki ünitelerin kurulu güç ve çalışma saatleri kullanılarak hesaplanan toplam teorik elektrik kullanımının dağılımı verilmektedir.

Tüm arıtma tesislerinde tüketilen enerjinin en büyük bölümü biyolojik arıtma (havalandırma) ünitelerinde kullanılmaktadır. Biyolojik arıtma ünitelerinden sonra en çok enerji tüketen birim atıksu ve çamur pompalarıdır. AAT-2, AAT-3 ve AAT-4'te biyolojik

arıtma ünitelerinin tesis toplam enerji tüketimindeki payı AAT-1 ve AAT-5'e göre daha fazladır.

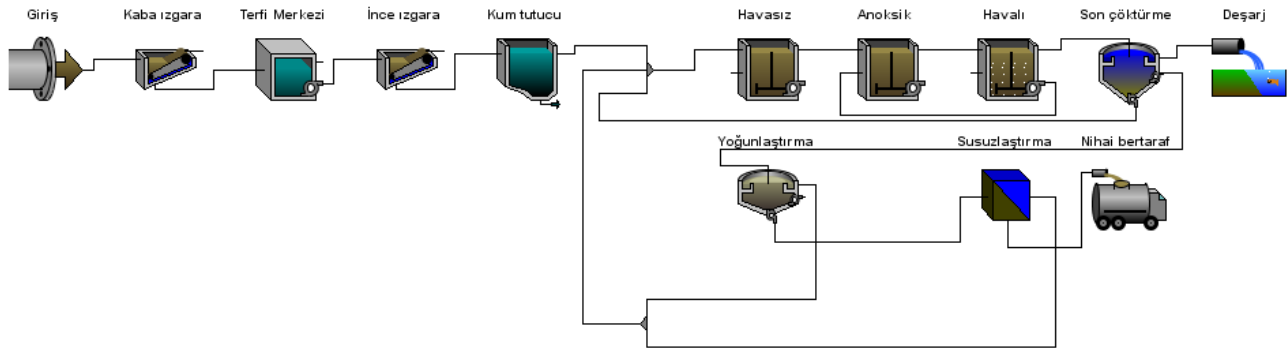
AAT-1 ve AAT-5'te çamur, aerobik stabilizasyon ile (büyük oranda biyolojik arıtma birimlerinde) çürütülmekte ve dekantör ünitesinde susuzlaştırılarak termal olarak bertaraf edilmektedir.

AAT-2, AAT-3 ve AAT-4'te çamur, bekletme havuzlarında bekletilerek graviteli biçimde yoğunlaştırılmakta ve dekantör ünitesinde susuzlaştırılarak termal olarak bertaraf edilmektedir. AAT-1, AAT-2, AAT-3, AAT-4 ve AAT-5'te sırasıyla günde ~10,5 ton, ~17 ton, ~3 ton, ~9 ton ve ~19 ton fazla çamur (KM olarak) üretilmektedir. Üretilen bu çamurun, kurulacak bir anaerobik çürütücü ile stabilizasyonu durumunda önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilecektir (Tablo 5).

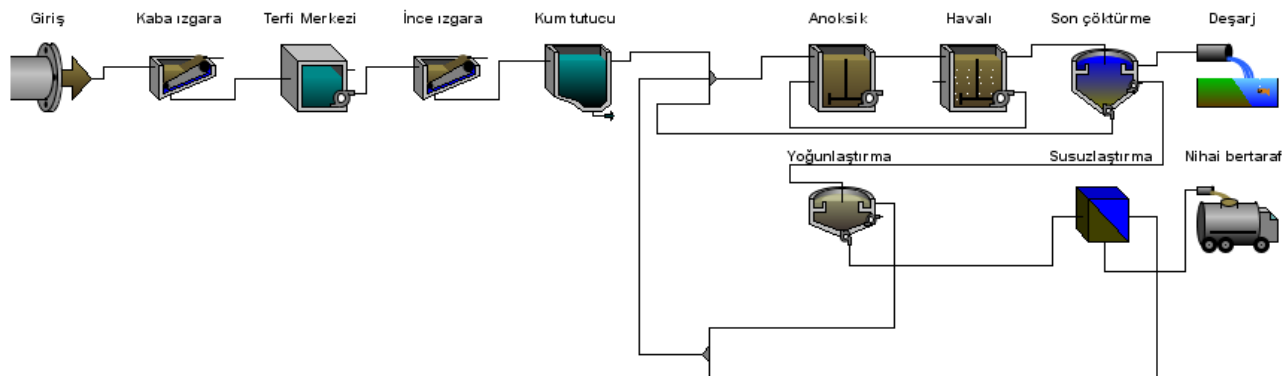
Anaerobik çamur çürütme tesislerinde üretilen biyogaz farklı amaçlar için kullanılabilir. Bu amaçlar arasında; biyogazın CHP ünitesinde yakılması yoluyla elektrik ve ısı üretilmesi, saflaştırılarak gaz yakıt olarak satılması ve buhar kazanlarında yakılarak ısı eldesi sayılabilir. Bu seçenekler arasında en ekonomik olanı, üretilen biyogazın tamamının atıksu arıtma tesisinin elektrik ve ısı enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere kullanıldığı seçenektir. İklim ve mevsim koşulları dolayısıyla ihtiyaçtan daha fazla enerji eşdeğerinde biyogaz üretilmesi durumunda, fazla enerji elektrik veya ısı olarak satılabilir.

AAT-1 ve AAT-5 için; toplam enerji kullanımı olan 15614 kW-saat/gün ve 26878 kW-saat/gün değerleri ile bu tesislerde yapılması önerilen çürütücülerden elde edilebilecek elektrik üretim potansiyeli kıyaslandığında, tesislerin enerji kullanımlarının %27'sinin çürütücüde üretilen biyometan kullanılarak karşılanabileceği görülmektedir. Tesislerin çamur yaşının düşürülmesi ile biyolojik havuzda gerçekleşen çamur stabilizasyonu azalacak, fazla çamur miktarı ve UKM içeriği de artacaktır. Aynı zamanda havalandırma enerjisi ihtiyacı da azalacağından tesisin toplam enerji tüketimi düşecektir. Bu durumda daha az stabilize olmuş çamur ve artan çamur miktarı ile çürütücünün enerji ihtiyacını karşılama potansiyelinin artması beklenmektedir [3].

AAT-2, AAT-3 ve AAT-4 için; tesis toplam enerji kullanımı olan 18680 kW-saat/gün, 4950 kW-saat/gün ve 19173 kW-saat/gün değeri ile çürütücünün elektrik üretim potansiyeli kıyaslandığında tesislerin enerji ihtiyaçlarının sırasıyla %37, %26 ve %19'unun çürütücüde üretilen biyometan enerjisi ile karşılanabileceği görülmektedir. Bu tesislerde nitrifikasyon için gerekli oksijenin yüzeysel havalandırma ile sağlanması tesislerin enerji kullanımını artırmaktadır. Havalandırma havuzlarında yüzeysel havalandırma yerine difüzör kullanımı durumunda tesislerin enerji kullanımı ciddi oranda azalacaktır. Ayrıca tesis çamur yaşı özellikle nitrifikasyon verimi bozulmayacak şekilde düşürülebilir ise anaerobik çürütücüye beslenen çamur miktarı ve UKM içeriği artırılabilir. Bu sayede, çürütücüde daha fazla biyogaz üretimi ve enerji geri kazanımı mümkündür.



Şekil 1. AAT-1 ve AAT-5 proses akım şeması



Şekil 2. AAT-2, AAT-3 ve AAT-4 proses akım şeması

Tablo 1. İncelenen evsel AAT'lerde giriş ve çıkış verileri (ortalama±standart sapma).

Parametre	Birim	AAT-1		AAT-2		AAT-3		AAT-4		AAT-5	
		Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
Debi	m ³ /gün	65143± 5850	-	56579± 8900	-	19634± 3026	-	45304± 5476	-	72500± 11115	-
Eşdeğer nüfus ¹	kişi	158650	-	154267	-	33300	-	150950	-	343033	-
KOİ	kg/gün	24318± 3110	3507± 910	17603± 1885	2751± 488	6296± 3978	888± 323	19408± 4.291	1369± 300	42213± 5059	4957± 2042
BOİ ₅	kg/gün	9519± 1900	956± 170	9256± 3276	551± 92	1998± 938	132± 58	9057± 3128	541± 308	20582± 2595	1050± 907
AKM	kg/gün	12510± 1600	4833± 2000	19679± 5647	4222± 1881	2513± 1672	319± 101	10182± 2311	471± 266	23574± 3723	2358± 914
TKN	kg/gün	1928± 210	177± 56	1056± 196	178± 30	435±295	151± 73	1369± 346	214± 90	3057± 1215	308± 156
TP	kg/gün	288±31	100± 21	142±76	80±51	100±47	26±15	269±70	66±30	220±15	56±19

¹ Kişi başı BOİ₅ yükü 60 g/N.gün kabul edilerek hesaplanmıştır.

Tablo 2. İncelenen AAT'lerde mevcut bulunan üniteler (Parantez içindeki sayılar ünite adedini belirtmektedir).

AAT-1	AAT-2	AAT-3	AAT-4	AAT-5
Pompalar	Pompalar	Pompalar	Pompalar	Pompalar
Pompa İstasyonu (1)	Hidrofor Ünitesi (2)	Hidrofor Ünitesi (1)	Hidrofor Ünitesi (1)	Terfi Pompaları (2)
Geri Devir Pompası (2)	Burgulu Pompa (2)	Karışım Suyu Geri Devir Pompası (3)	Burgulu Pompa (2)	Geri Devir Pompası (4)
Kum Tutucu Pompası (2)	Dalgıç Kum Pompası (1)	Aktif Çamur Geri Devir Pompası (4)	Dalgıç Kum Pompası (1)	Kum Tutucu Pompası (2)
Dozlama Pompası (2)	Geri Devir Pompası (4)	Fazla Aktif Çamur Pompası (1)	Geri Devir Pompası (4)	Köpük Pompası (8)
Fazla Çamur Pompası (2)	Fazla Çamur Pompası (2)	Dalgıç Kum Pompası (1)	Fazla Çamur Pompası (2)	Resirkülasyon Pompası (8)
Köpük Pompası (1)	Resirkülasyon Pompası (4)		Resirkülasyon Pompası (4)	Dozlama Pompası (3) Dekantör Besleme Pompası (3)
Ön Arıtma Ünitesi	Ön Arıtma Ünitesi	Ön Arıtma Ünitesi	Ön Arıtma Ünitesi	Ön Arıtma Ünitesi
Kaba Izgaralar (2)	Kaba Izgaralar (1)	İnce Izgaralar (2)	Kaba Izgaralar (1)	Kaba Izgaralar (4)
İnce Izgaralar (2)	İnce Izgaralar (2)	Kum Sınıflandırıcı (1)	İnce Izgaralar (2)	İnce Izgaralar (4)
Konveyör (2)	Konveyör (1)	Gezer Köprü (1)	Konveyör (1)	Konveyörler (2)
Kum Tutucu Köprü (2)	Kum Sınıflandırıcı (1)	Kum Ayırıcı (2)	Kum Sınıflandırıcı (1)	Kum Tutucu Köprü (4)
Kum Tutucu (2)	Gezer Köprü (1)	Konveyör (1)	Gezer Köprü (1)	Kum Tutucu Hava Üfleycisi (5)
Hava Üfleyci (2)	Kum Tutucu Hava Üfleycisi (2)	Kum Tutucu Hava Üfleycisi (2)	Kum Tutucu Hava Üfleycisi (2)	
Biyolojik Arıtma	Biyolojik Arıtma	Biyolojik Arıtma	Biyolojik Arıtma	Biyolojik Arıtma
Dalgıç Karıştırıcı (2)	Dalgıç Karıştırıcı (6)	Dalgıç Karıştırıcı (2)	Dalgıç Karıştırıcı (6)	Dalgıç Karıştırıcı (12)
Hava Üfleyci (3)	Savak (3)	Havalandırıcılar (6)	Savak (3)	Karıştırıcı (Havalandırma) (24)
Geri Devir Çamuru Karıştırıcısı (4)	Havalandırıcı (15)	Savaklar (2)	Havalandırıcı (18)	Hava Üfleyci (2)
Çamur Birimleri	Çamur Birimleri	Çamur Birimleri	Çamur Birimleri	Çamur Birimleri
Dip Sıyrıcı (4)	Çamur Sıyrıcı (1)	Sıyrıcı (1)	Çamur Sıyrıcı (1)	Çamur Sıyrıcı (8)
Hava Üfleyci (2)	Dekantör (2)	Dekantör (1)	Dekantör (2)	Hava Üfleyci (1)
Dekantör (2)		Döner Köprü (2)	Koku Kontrol Ünitesi (1)	Dekantör (3)
Diğer (Isıtma, Aydınlatma vb.)	Diğer (Isıtma, Aydınlatma vb.)	Diğer (Isıtma, Aydınlatma vb.)	Diğer (Isıtma, Aydınlatma vb.)	Diğer (Isıtma, Aydınlatma vb.)

Tablo 3. İncelenen AAT'lere ait yıllık ortalama enerji tüketimleri ve ortalama özgül enerji kullanımları.

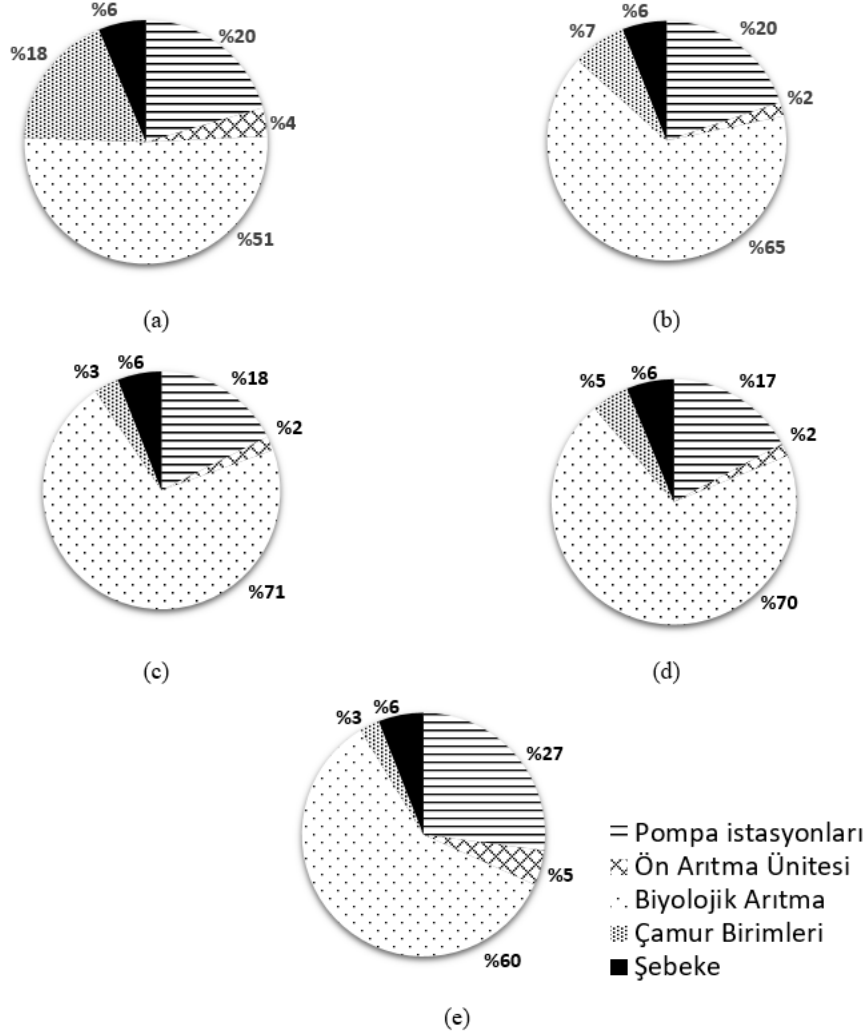
Arıtma Tesisleri	Yıllık Ortalama Enerji Tüketimi		Ortalama Özgül Enerji Kullanımları	
	kW-saat/gün		kW-saat/kişi.yıl	kW-saat/m ³
AAT-1	15614		35,9	0,24
AAT-2	18680		44,2	0,33
AAT-3	4950		54,3	0,25
AAT-4	19173		46,4	0,42
AAT-5	26878		28,6	0,37

Tablo 4. Tesislerin havalandırma ekipmanları ve kurulu güçleri.

Tesis	Teorik oksijen ihtiyacı (kg O ₂ /gün)	Havalandırma tipi	Adet x Kurulu güç (kW)
AAT-1	20000	Difüzör+Hava üfleyci	3 x 160
AAT-2	16500	Yüzeysel	15 x 75
AAT-3	5800	Yüzeysel	6 x 75
AAT-4	16500	Yüzeysel	18 x 75
AAT-5	32142	Difüzör+Hava üfleyci	2 x 315

Tablo 5. Tesisler için tasarlanan anaerobik çürütücü verileri ve potansiyel enerji geri kazanımları.

Anaerobik Çürütücü	Birim	AAT-1	AAT-2	AAT-3	AAT-4	AAT-5
Tesiste üretilen teorik fazla çamur miktarı	kg KM/gün	10445	16875	3136	8990	18954
Tesiste üretilen birim çamur miktarı	g KM/kişi.gün	66	109	94	60	55
Çürütücüye giren UKM	kg/gün	7312	11813	2195	6293	13268
Üretilen biyogaz debisi	N m ³ /gün	2236	3613	671	1925	4058
Üretilen metan (CH ₄) debisi	N m ³ /gün	1454	2348	436	1251	2638
Biyogazın potansiyel enerji eşdeğeri	kW-saat/gün	14099	22779	4233	12135	25585
Geri kazanılabilecek elektrik enerjisi	kW-saat _e /gün	4230	6834	1270	3641	7676
Geri kazanılabilecek ısı enerjisi	kW-saat _{ısı} /gün	7050	11389	2117	6068	12793

**Şekil 3.** İncelenen AAT'lerde ünite bazlı enerji kullanımı dağılımı: (a) AAT-1, (b) AAT-2, (c) AAT-3, (d) AAT-4, (e) AAT-5

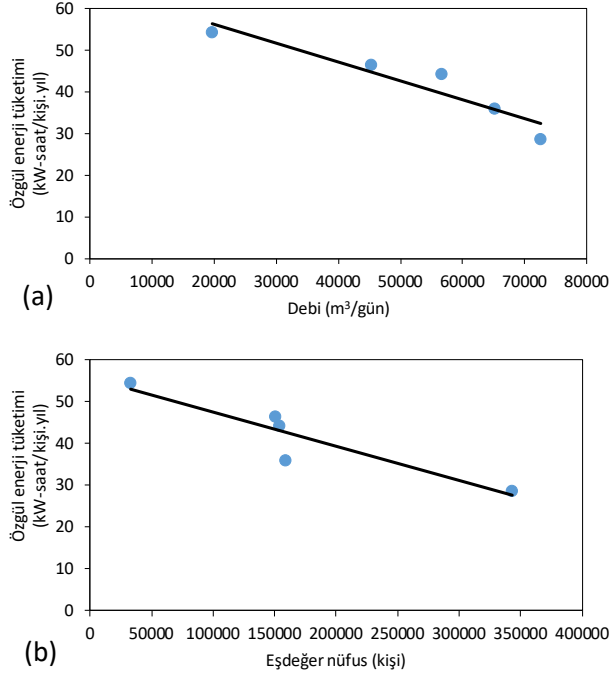
3.2. Bulguların mukayeseli analizi

AAT'lerde yer alan pompaj ve havalandırma sistemlerinde enerji kullanımı, atıksu debisi ve kirlilik yükü ile doğrudan ilişkilidir. İncelenen AAT'lerde özgül enerji tüketimlerinin arıtılan atıksu debilerine ve eşdeğer nüfuslara göre değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Buna göre tesislerin özgül enerji tüketimleri giriş atıksu debisinin ve eşdeğer nüfusun artmasıyla azalmaktadır. Tesis kapasitesinin artması özgül enerji tüketimine olumlu yönde etki etmektedir. Tesislerin kişi başı özgül enerji tüketimlerinin ortalaması ~42 kW-saat/kişi.yıl olup,

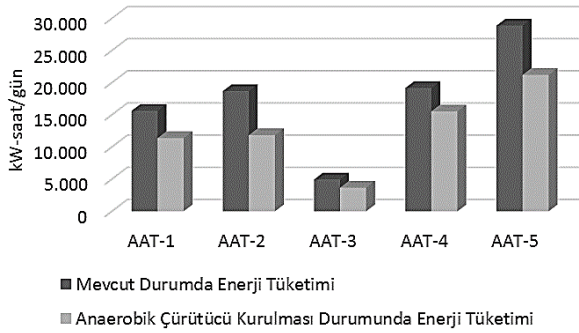
bu değer Almanya'daki AAT'ler için rapor edilen enerji kullanımı olan 23-30 kW-saat/kişi.yıl aralığının dışındadır [12]. Bu çalışma kapsamında incelenen tesislerin yıllık özgül enerji tüketimlerinin İsveç'te bulunan tesislerin medyan değerine yakın (42 kW-saat/kişi.yıl) olduğu görülmektedir. Ancak, Avusturya için bildirilen 23 kW-saat/kişi.yıl medyan değeri ile kıyaslandığında bu değer oldukça yüksektir [13, 14].

Şekil 5'te tesislerin mevcut durumdaki günlük enerji tüketimleri ve anaerobik çürütücü kurulması halinde çürütücüden geri kazanılabilecek elektrik enerjisi miktarına bağlı olarak tesislerin net enerji

tüketimleri verilmiştir. Buna göre, düşük kapasiteli bir tesis olan AAT-3 haricindeki tüm tesislerde ciddi enerji geri kazanımı mümkün görülmektedir.



Şekil 4. AAT'lerde özgül enerji tüketiminin debi (a) ve eşdeğer nüfus (b) ile ilişkisi



Şekil 5. Tesislerin mevcut durumdaki günlük enerji tüketimleri ve anaerobik çürütücü bulunması durumunda tesislerde net enerji tüketimi

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma kapsamında incelenen AAT'lerden elde edilen başlıca araştırma bulguları aşağıda özetlenmiştir.

- Tesislere giren kirlilik yükleri ve debi arttıkça birim enerji tüketiminin azaldığı görülmüştür.
- Tesislerin özgül enerji kullanımları 28,6-54,3 kW-saat/kişi.yıl aralığında değişmektedir.
- Tesislerde birim arıtılan atıksu başına enerji tüketiminin 0,24-0,42 kW-saat/m³ aralığında değiştiği belirlenmiştir.
- Tesislerin enerji kullanımları dikkate alındığında, enerji bakımından en yoğun tüketimin biyolojik

arıtma ünitesinde olduğu tespit edilmiştir. İncelenen tesislerde, biyolojik arıtma için enerji kullanımının tesisin toplam enerji kullanımına oranı belirlenmiştir. Bu oran farklı tesislerde %51-71 aralığında değişmektedir.

- Tesislerde anaerobik çürütücü kurulması durumunda, elektrik enerjisi geri kazanımının 1270-7676 kW-saat/gün aralığında değişeceği hesaplanmıştır. Bu şekilde tesis enerjisinin önemli bir kısmının geri kazanılabileceği ortaya konmuştur.

Enerji, AAT'lerin en önemli işletme maliyetlerinden biridir. Özellikle biyolojik arıtma yapan tesislerde havalandırma maliyeti tesis işletme maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle AAT'lerin arıtma performansından ödün vermeksizin, tesisin enerji verimli hale getirilmesi önem taşımaktadır. AAT'lerin enerji verimli hale gelmesinde tasarım ve proje sürecinin yanı sıra proses ve uygun ekipman seçimi de büyük rol oynamaktadır. AAT'lerde dış enerji alımını azaltmak ve hatta sıfıra indirmek mümkündür. Ancak enerji kullanımının azaltılmasının, deşarj kalitesini etkilememesi de önemli bir husustur. Arıtma verimi ile enerji tüketimi dengesinin iyi ayarlanması gerekmektedir.

AAT'lerin tasarım ve planlama aşamasında, proses seçimi sırasında tesis enerji dengesi de (enerji ve karbon ayak izleri) mutlaka 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. Pompa ve havalandırma ünitelerinde yapılan iyileştirmeler tesis genelinde %30'a varan enerji tasarrufu sağlayabilmektedir.

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

Kaynakça

- [1] Henze, M., van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A., Brdjanovic D. 2008. Biological Wastewater Treatment: Principles, Modeling and Design. IWA Publishing, Cambridge University Press, İngiltere.
- [2] Tchobanoglous, G., Stensel, H.D., Tsuchihashi, R., Burton, F., Abu-Orf, M., Bowden, G., Pfrang, W. 2014. Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery. 5. baskı, Metcalf-Eddy/Aecom, McGraw-Hill, Singapur.

- [3] Öztürk, İ., Dereli, R.K., Ersahin, M.E. 2015. Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliği ve İyi İşletim Pratikleri. İSTAÇ Teknik Kitaplar Serisi-5, İstanbul, ISBN 978-605-63269-2-9.
- [4] Lingsten, A., Lundkvist, M., Hellström, D., Balmer, P. 2008. Description of the Current Energy Use in Water and Wastewater Systems in Sweden (in Swedish). The Swedish Water & Wastewater Association, SWWA, Stockholm, İsveç <http://www.svenskvatten.se>.
- [5] Aynur, Z. 2014. Atıksu arıtma tesislerinde enerji verimliliğinin incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 151s, İstanbul.
- [6] Olsson, G. 2012. Water and Energy Threats and Opportunities. IWA Publishing, Londra, İngiltere.
- [7] Wett, B., Degg, J. 2006. Process- and Operation Optimization Exemplified by Case Study WWTP Strass (in German). Wiener Mitteilungen, 195(2006), 253-288.
- [8] Jenkins, D., Wanner, J. 2014. Activated Sludge-100 Years and Counting. IWA Publishing, Londra, İngiltere.
- [9] ATV 131E, 2000. Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants. GFA Publishing Company of ATV-DVWK Water, Wastewater and Waste (ISBN 3-935669-96-8).
- [10] Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Resmi Gazete: 20.03.2010 – 27527.
- [11] Öztürk, İ. 2007. Havasız Arıtmanın Esasları, Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları. Su Vakfı Yayınları, İstanbul, ISBN 978-975-6455-30-2.
- [12] MURL – Ministry for Environment, Nature Protection, Agriculture & Consumer Protection in the German State of North Rhine Westphalia, 1999. Energy in WWTPs (in German). Düsseldorf, Almanya.
- [13] VASS – Swedish Water Association online database (in Swedish).
- [14] Jonasson, M. 2007. Energy Benchmark for Wastewater Treatment Process - A Comparison between Sweden and Austria. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University.