

Atık Su Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliği

Harun TÜRKMENLER*

Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 02040, Adıyaman

(Geliş/Received : 20.06.2016 ; Kabul/Accepted : 25.09.2016)

ÖZ

Atık su arıtma tesislerinin işletilmesi esnasında kullanılan proses ve ekipmanlara bağlı olarak yoğun şekilde enerji kullanılmaktadır. Enerji maliyeti bir arıtma tesisinin işletilmesinde kullanılan bütçenin en önemli bölümüdür. Artan enerji maliyetlerinden dolayı atık su arıtma tesislerinde enerji yönetimi önemli bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmada, Ataköy İleri Biyolojik Atık su Arıtma Tesisi'nin (A.İ.B.A.A.T.) giriş ve çıkış tasarımı ve işletme parametreleri kullanılarak tesisin ekonomik analizi yapılmıştır. A.İ.B.A.A.T.'nin 2012 yılı ocak-eylül ayları arasındaki değerleri kullanılarak aylık kişi başı harcanan su miktarı 5007 L, harcanan enerji miktarı ise 1652 W kişi olarak bulunmuştur. Toplam arıtılan atık su miktarı ortalama 9762735 m³/ay, toplam üretilen biyogaz miktarı ortalama 264799 m³/ay ve toplam türbin elektrik üretimi ortalama 1569,03 MW-saat/ay, toplam elektrik tüketimi ortalama 3221,93 MW-saat/ay ve enerji geri kazanımı ise %88,78 dir. 1 m³ atık su arıtımı için elektrik tüketimi değerleri ise 0,213-0,444 kW-saat arasında değişmektedir. Tesisin özgül enerji tüketimi, eşdeğer nüfus (e.n.) başına ve arıtılan atık su debisi başına 19,8 kW-saat/kişi.yıl ve 0,33 kW-saat/m³ olarak bulunmuştur. Atık su arıtma tesislerinde enerji tasarrufu ülkemizde enerji fiyatlarının giderek artmasından dolayı önemli bir konu haline gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık Su Arıtma Tesisi, Enerji Verimliliği, Biyogaz.

Energy Efficiency in Wastewater Treatment Plants

ABSTRACT

Intensive energy is used depending on the process and equipment used during the operation of the wastewater treatment plant. Energy cost is the most important part of the budget used for the operation of a treatment plant. Energy management in wastewater treatment plants due to rising energy costs have become a major issue. In this study, Ataköy Advanced Biological Wastewater Treatment Plant (AABWWTP) using the input and output of the plant design and operating parameters is performed economic analysis. AABWWTP of 2012 January-September, the monthly per capita water use values between the months spent in the amount of 5,007 L, the amount of energy spent 1,652 W/person, respectively. Total treated wastewater average is 9,762,735 m³/month, produced a total amount of biogas average 264,799 m³/month, and the total turbine power production average 1,569.03 MWh/month, total electricity consumption average of 3221.93 MWh/month, and energy recovery 88.78%. 1 m³ of wastewater, electricity consumption value for the treatment ranged from 0.213 to 0.444 kWh. The specific energy consumption of the plant was found to be 19.8 kWh/population equivalent (p.e.).year and 0.33 kWh/m³ per p.e. and treated wastewater, respectively. Wastewater treatment plants in our country energy savings due to the increasing price of energy has become an important issue.

Keywords: Wastewater Treatment Plant, Energy Efficiency, Biogas.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde evsel atık suların arıtılması için uygulanan birçok alternatif sistem mevcuttur. Kalkınmasını tamamlamış ülkelerde bu alternatiflerin sayısı istenilen çıkış suyu kalitesinin çok sıkı tedbirlerle sınırlandırılması nedeniyle daha az sayıdadır. Ekonominin, hükümet yönetimlerinin ve politikaların sürekli değiştiği kalkınmakta olan ülkelerde ise deşarj ölçütleri sıklıdan rahata kadar geniş bir ölçekte yer almaktadır. Bunun yanında arıtma tesisinin maliyet bileşenleri ve işletme gereksinimleri kalkınmış ülkelerde önemliyen kalkınmakta olan ülkelerde arıtma tesisi tipinin seçiminde karar verici bir unsur olarak rol oynamaktadır [1].

Atık su arıtma, çevre ve halk sağlığını korumak için sudaki kimyasal ve biyolojik kirlenmeleri gidermede önemli bir rol üstlenmiştir. Geçtiğimiz yıllarda atık su arıtma te-

sisleri, yıldan yıla daha kısıtlayıcı olan yasaların belirlediği deşarj limitlerine uymak, ıslah verimliliğini artırmak için benimsenen teknolojileri geliştirmektedir.

Atık su arıtma tesisi endüstrisinin asıl meselesi, halkın güvenini sağlamak için her zaman su kalitesi standartlarını karşılamak olmuştur [2]. Böylelikle, atık su arıtma tesisleri genelde herhangi bir büyük enerji kaybı olmadan belirli atık su deşarj gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmıştır [3]. Enerji verimliliği göz önünde bulundurularak atık su arıtma tesisleri neredeyse hiç tasarlanmamıştır [4-6].

Geleneksel bir atık su arıtma tesisinde işletme maliyetlerinin %25-40'ının enerji tüketiminden kaynaklandığı literatürden ve yönetsel tecrübelerden bilinmektedir [5, 7, 8]. Bu değer, arıtılan atık suyun m³ ü başına yaklaşık olarak 0,3-2,1 kW-saat aralığında değişmektedir [9].

Tipik olarak geleneksel bir atık su arıtma tesisinde enerji tüketimine asıl katkıyı sağlayan karışık sınının havalandırılması (%55-70), çamur pompalama ile birincil ve ikincil çöktürme (%15,6) ve çamur susuzlaştırma

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: hturkmenler@adiyaman.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2017.20.2 495-502

(%7) [5]. Havalandırma ile ilgili olarak, hava üfleyicilere uygun kontrol cihazlarının yerleştirilmesi ve/veya verimli hava üfleyiciler, arıtılmış atık suyun 0,04 kW-saat/m³'e kadar olan enerji talebini azaltabileceği beklenebilir [5]. Enerji verimliliğinin yaygın tanımı ve ölçüsü, enerji kullanım girdisinin (örneğin elektrik tüketimi) enerji hizmet çıktısına (bir atık su arıtma tesisinin sağladığı belirli bir hizmet, örneğin arıtılmış atık su veya giderilen kirlilik miktarı) oranıdır.

Geleneksel olarak, atık su arıtma tesislerindeki enerji tüketimi, yıllık olarak arıtılmış atık suların hacmi (kW-saat/m³) [10,11] veya nüfus eşdeğer birimi (kW-saat/e.n) olarak ifade edildiği rapor edilmiştir [12,13].

Enerji maliyeti bir arıtma tesisinin işletilmesinde kullanılan bütçenin en önemli bölümüdür. Özellikle 50000 kişi nüfusa sahip yerleşimler için ülkemizde atık su arıtma tesisleri açısından büyük bir açık bulunmaktadır. Gelecek 10 yıllar içinde yaklaşık 3000 tesise ihtiyaç duyulduğu göz önünde bulundurulduğunda, enerji verimi en önemli konu haline gelmektedir. Enerji kullanımı, nüfus, giriş yükü, çıkış kalitesi, proses tipi, boyutu ve yaşından etkilenir. Önemli prosesler ise: toplama sistemleri (kanalizasyon ve pompa istasyonları), atık su arıtımı (birincil, ikincil ve/veya üçüncü/ileri) biyo katıların işlenmesi, bertarafı ve yeniden kullanımınıdır.

Toplama, arıtma ve kabul edilebilir izin standartlarında belediye atık sularının deşarjı çoğunlukla elektrik olarak değil, aynı zamanda doğal gaz veya diğer yakıtlar gibi

atık su arıtma tesislerinde enerji tüketiminde önemli artışlar gerektirebilir [15,16].

Ülkemizdeki su kaynaklarının korunması ve ülke menfaatleri doğrultusunda sürdürülebilir kullanımının sağlanması için, istenilen düzeyde arıtma verimi sağlayacak, düşük yatırım ve işletme maliyetine sahip atıksu arıtma teknolojilerinin seçilmesi hedeflenmektedir.

Bu çalışmada, tesise ait veriler incelenerek e.n. ve arıtılan atık su debisi başına tesisin özgül enerji tüketimi bulunmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. İleri Biyolojik Atık su Arıtma Tesisinin Genel Tanıtımı (General Description of Advanced Biological Wastewater Treatment Plant)

Tesis, Marmara Denizi'ni atık su kirliliğinden korumak amacıyla birinci aşamada ortalama 400000 m³/gün'lük ileri biyolojik arıtma kapasitesi ile 1600000 nüfusun atık sularının arıtılmasını sağlamaktadır. Tesis 2010 yılında işletmeye alınmıştır ve Bağcılar, Bahçelievler, Bakırköy, Başakşehir, Esenler, Küçükçekmece ve Sultangazi ilçelerinin atık sularını arıtmaktadır. Tesisin nihai olarak 600000 m³/gün kapasiteye çıkarılması ve 2500000 kişiye hizmet vermesi planlanmıştır. Tesisin nihai olarak kurulacağı alan ise 430000 m² dir. Tesisin genel görünümü Şekil 1'de görülmektedir.



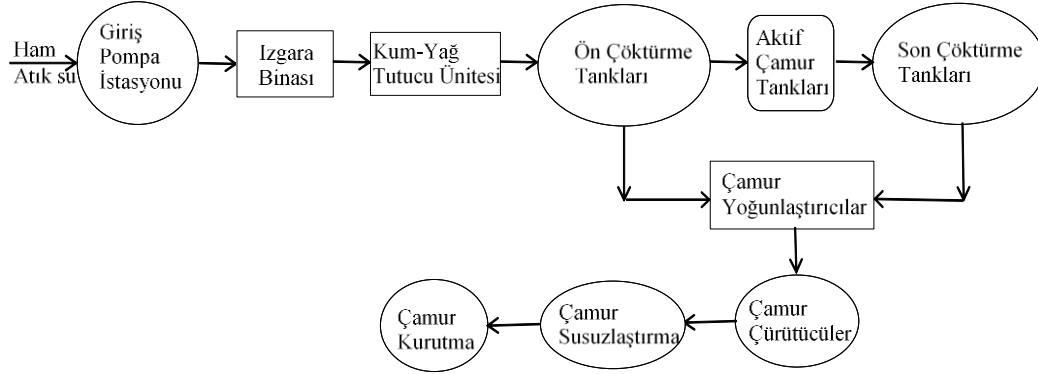
Şekil 1. A.İ.B.A.A.T. 'nin genel görünümü (General layout of AABWWTP)

enerji gerektirir. Ülke çapında, atık su arıtma, toplam enerji tüketiminin %0,1 ila 0,3 temsil eder ve yerel şehir ve toplum, hükümet içinde, su ve atık su arıtma işlemleri genellikle büyük enerji tüketicisidir [14]. Ayrıca, artan nüfus, daha sıkı deşarj gereksinimleri ve altyapının eskimesi nedeniyle gelecekte atık su arıtımı için enerjinin artması beklenmektedir. Bu tür ilaç ve kişisel bakım ürünleri gibi şu anda düzenleme yapılmayan kirlenici maddelerin çıkarılması için gelecekteki olası standartlar,

Tesise gelen atık sular karbon, azot, fosfor giderimi sağlanarak arıtılmaktadır. Atık su sıcaklığına bağlı olarak çıkış suyu kalitesini sağlamak için çamur yaşı 9 gün olarak tasarlanmıştır. Biyolojik arıtma, kademeli besleme tipinde (kaskat denitrifikasyon) 3 ayrı arıtma hattından oluşmaktadır. Her arıtma hattı nitrifikasyon ve denitrifikasyon içeren 2 adet kaskattan oluşur. Askıda katı maddenin (AKM) çökmesini önlemek, hava kabarcıklarının

yolunu uzatarak havalandırma verimini arttırmak ve homojen karışımını sağlamak üzere, her bir tankta 7 adet muz tipi karıştırıcılar mevcuttur. Havalandırma havuzlarının tabanlarına ince kabarcıklı membran difüzörler yerleştirilmiştir. Havalandırma havuzlarının ortasında iç

resirkülasyonu sağlamak, nitrifikasyon sonucu oluşan nitratlı suyu anoksik bölgeye pompalamak amacıyla resirkülasyon pompaları bulunmaktadır. Şekil 2’de A.İ.B.A.A.T.’nin akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 2. A.İ.B.A.A.T.’nin proses akış diyagramı (Process flow diagram of AABWWTP)

Tesise ait üniteler ve kapasiteleri ise Çizelge 1 de görülmektedir.

Çizelge 1. Tesise ait üniteler ve kapasiteleri (Units and capacities of the plant)

Üniteler	Ünite adedi ve kapasitesi
Kaba Izgaralar	(3+1 adet) 10835 m ³ /saat
Giriş Terfi Merkezi	(5+1 adet) 1160 L/s kapasiteli, (2+1) adet 650 L/s kapasiteli toplam 9 adet dalgıç pompa
İnce Izgaralar	(6+3 adet) 5400 m ³ /saat
Havalandırılmalı Kum ve Yağ Tutucu	(6 adet) (1140 Nm ³ /saat kapasiteli 3+4 adet hava üfleyiciler, 108 m ³ /sa kapasiteli 6 adet dalgıç kum pompası, 3 adet kum ayırıcı, 3 adet köpük pompası)
Ön Çökeltme Havuzu	(2 adet dairesel tank) (2+1 adet 36 m ³ /saat kapasiteli primer çamur pompası, 2 adet köpük pompası)
Biyofosfor Havuzu	(3 adet) 27150 m ³ kapasiteli (3*4 adet karıştırıcı)
Havalandırma Havuzu	(3 adet) 78060 m ³ kapasiteli ((7 x 2) x 3 adet karıştırıcı, 11+1 adet 20000 Nm ³ /saat kapasiteli hava üfleyici, 30+1 adet 785 mm çap - 300 d/d kapasiteli resirkülasyon pompası)
Son Çökeltme Havuzu	(12 adet sıyrıcı köprülü dairesel tank) 7420 m ³ kapasiteli, 1 adet 36 m ³ /saat kapasiteli yüzen çamur pompası)
Hava Üfleyici Binası	(11+1 adet) 20000 Nm ³ /saat kapasiteli turbo hava üfleyici
Çamur Yoğunlaştırıcı	(1+1 adet 45 m ³ /saat kapasiteli primer çamur yoğunlaştırma ünitesi), (8+1 adet 72,9 m ³ /saat kapasiteli fazla çamur yoğunlaştırma ünitesi)
Geri Devir Binası	((4+2) x 3 adet geri devir çamur pompası), (6 adet fazla çamur pompası)
Çamur Çürütme Ünitesi	(6 adet 10000 m ³ anaerobik çamur çürütücü), Çamur karıştırma gaz enjeksiyonuyla sağlanmaktadır
Çamur Susuzlaştırma	(5+1 adet 53 m ³ /saat kapasiteli dekantör, 5+1 adet çamur susuzlaştırma besleme pompası)
Çamur Depolama Ünitesi	(3 adet)
Çamur Kurutma Ünitesi	(Her biri 100 ton/gün ıslak çamur kapasiteli 6 adet disk tip çamur kurutucu)
Koku Giderme Ünitesi	(Her biri 65000 m ³ /saat kapasiteli 2 adet ve her biri 10000 m ³ /saat kapasiteli 2 adet fan, 2 adet ozon ünitesi)
Geri Kazanım Ünitesi	(Tesiste, 5000 m ³ / gün kapasiteli, peyzaj ve tesis kullanım suyu olarak değerlendirilen atık su geri kazanım ünitesi)
Laboratuvar ve İşletme Binası	Gravimetrik, volumetrik, titrimetrik ve spektrofometrik tüm analizlerin yapılabildiği kimya bölümü, mikrobiyolojik analizler için bakteriyoloji bölümü, tartım odası, cam malzeme deposu, ofis ve gaz tüp odası bulunmaktadır.
Otomasyon Sistemi	Sistem ile işletme ve yönetici personelin her koşulda tesis ile iletişimini sağlayan her türlü kontrol ve raporlamalar, tesis dışından da etkili olarak yürütülebilmektedir.
Enerji Temini-Kojenerasyon	Gerekli elektrik enerjisinin üretilmesi için doğalgaz ve çamur çürütme tanklarında oluşan biyogazı kullanarak ısı ve elektrik enerjisine dönüştürebilen 4,6 MW gücünde 2 adet gaz türbini

Tesiste kullanılan teknoloji: Son kademenin hidrolik yükü için mekanik arıtma, azot ve fosforun biyolojik olarak kapsamlı şekilde giderilmesiyle biyolojik atık su arıtımı (düşürülmüş hidrolik yükler), 3 hatlı havalandırma tankı (kademeli besleme işlemi), anaerobik çürütücülerde çamur çürütme, kojenerasyon ünitesinde gaz kullanımı ve çamur kurutmadır.

2.2. Atık su Arıtma Tesislerinde Enerji Yönetimi (Energy Management in Wastewater Treatment Plants)

Atık su arıtma tesislerinde enerji yönetimi “minimum maliyet ile istenilen atık su arıtma deşarj standartlarını elde etmek ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için enerjinin uygun değerinde ve sürekli olacak biçimde kullanımının sağlanması” anlamına gelmektedir. Oldukça kapsamlı olan bu tanım atık su arıtma tesisi projelendirilmesinden başlayarak uygun değerinde atık su arıtma tesisinin işletilmesine kadar olan birçok işlemi kapsar. Enerji yönetimi, birçok işlemin incelenmesi ve optimizasyonu ile sağlanabilir. Atık su arıtma tesislerinde enerji yönetiminin uygulanabilmesi için tasarımı sırasında aşağıdaki temel esasların dikkate alınması gerekir:

- arıtılmış atık su kalite standartlarını sağlayabilecek en az enerji kullanan arıtma prosesi seçilmeli,
- hidrolik olarak minimum terfi ihtiyacının olduğu arıtma tesis alanları seçilmeli,
- arıtma üniteleri arasında mümkün olduğunca pompa kullanılmamalı,
- yüksek verime sahip düşük enerji ihtiyacı duyan arıtma ekipmanları seçilmeli,
- arıtma tesisi için gerekli enerji ihtiyacı en ucuz olabilecek şekilde temin edilmelidir.

Atık su arıtma tesislerinde yüksek miktarda enerji tüketilmektedir. Proses seçiminde, istenilen arıtma çıkış deşarj limitlerinin sağlayabilecek enerji gereksinimi az olan atık su arıtma prosesleri seçilmelidir. Uygun arazilerin bulunduğu yerlerde enerji ihtiyacı olmayan stabilizasyon havuzları inşa edilebilir. Havasız çamur yataklı reaktörler çok az, fakültatif havalandırma lagünlerinde fazla, mekanik havalandırma lagünlerinde ise çok fazla enerji ihtiyacı vardır. Ayrıca havalı arıtma sistemleri havasız arıtma sistemlerine göre daha fazla enerji kullanılır [17].

Pompalar suyun düşük bir seviyeden daha yüksek bir seviyeye taşınabilmesi amacıyla geliştirilmişlerdir. Arıtma tesislerinde enerjinin büyük bir bölümünü pompalar tarafından tüketilmektedir. Pompa ihtiyacının olmadığı veya çok az pompa ihtiyacının olduğu araziler, arıtma tesis inşası için seçilmelidir. Bu sebepten, atık su arıtma tesisi planlanırken, tesisinin kurulacağı alanın hidrolik olarak uygun olup olmadığı tahkik edilmelidir. Atık su cazibeyle veya çok az bir kot seviyesi ile arıtma tesisine getirilebiliyor ise, tesisin işletilmesi esnasında büyük ölçekte enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır [18].

Arıtma tesisinin projelendirilmesi esnasında, arıtma üniteleri, bağlantı boruları ve diğer detaylar yerleştirildikten sonra, boru hattı boyunca sürtünme kayıpları ve arıtma ünitelerindeki yük kayıpları hesaplanır. Arıtma tesisi sahasında, topoğrafik eğimlerden yararlanılarak, pompaj

ihtiyacı azaltılacak şekilde tesis inşası yapılmalıdır [17]. İyi bir hidrolik planlama ile arıtma ünitelerindeki ve borulamadaki yük kayıpları azaltılarak daha az pompaj ihtiyacı duyan tesisler inşa edilebilir.

Atık su arıtma tesislerinde kullanılan enerji miktarı arıtma tesisinde kullanılacak donanımlara da bağlıdır. Yüksek verime sahip ancak düşük enerji ihtiyacı duyan arıtma donanımlarının seçilmesiyle arıtma tesisinde önemli ölçüde enerji tasarrufu yapılabilir. Arıtma tesislerinde enerji kullanımında önemli pay sahibi pompa ve hava üfleyicilerin doğru ve verimli olarak seçilmesi ile tesiste daha az enerji kullanılmış olacaktır.

2.3. A.İ.B.A.A.T. ‘de Çamur Yönetimi (Sludge Management in AABWWTP)

Tesiste enerji üretimi hedeflendiği için ham çamur deposunda karışan yoğunlaştırılmış fazla çamur ile ön arıtmadan gelen primer çamur her biri 10000 m³ hacme sahip 6 adet çürütücüye gönderilmektedir. Çamur, çürütücülerde anaerobik ve mezofilik şartlarda (35-37°C’de) asetojen ve metanojen bakterilerinin faaliyetleri sonucunda stabilize edilmektedir. Bu işlem sonucunda biyogaz üretilmekte ve üretilen biyogaz, gaz depolama tanklarında toplanmaktadır.

Çürütme işlemi sonucunda elde edilen %6 yoğunlukta çamur santrifüj sistemine dayanan mekanik yoğunlaştırıcılardan geçerek %25 yoğunlukta çamur keki haline gelmektedir. Sisteme gerekli elektrik ve ısı enerjisini temin etmek için kojenerasyon ünitesi kurulmuştur. Gerekli elektrik enerjisinin üretilmesi için doğalgaz ve çürütücülerden oluşan son ürün olan metan gazını yakan gaz türbini kullanılmaktadır. Metan gazının kojenerasyon ünitesinde yakılmasıyla sistemden elektrik ve atık ısının geri kazanılmasıyla buhar elde edilmektedir. Böylece tesiste üretilen biyogaz enerjisi sayesinde şebekeden çekilen elektriğe ve tesisin işletme maliyetine de katkı sağlanmış olacaktır. Atık ısıdan faydalanarak aynı zamanda tesisin ısınma ihtiyacı da sağlanabilmektedir. Atık egsoz ısısı çamur kurutma ünitesinde kullanılan buharı ekstra maliyet olmaktan çıkarır.

Kurutma sistemi, endirekt ve kontakt yani sıcak buharın çamur ile temas etmeden buharın ısısından faydalanarak gerçekleşen ısıtılmalı çamur kurutma prosesidir. Kojenerasyon ünitesinden elde edilen atık gazın ısısından faydalanarak elde edilen buhar ile çamur kurutma ünitesinde kurutulmaktadır. Susuzlaştırma çıkış çamuru %90 kuru luğa kadar kurutulmakta olup nihai ürün olarak granül hale dönüşmektedir. Nihai ürün katı atık yakma merkezlerinde yakıt olarak, tarım sektöründe gübre şeklinde kullanılarak ekonomiye katkı sağlamaktadır.

Çamur kurutma ünitesinde, kuru madde içeriği %25 olan biyolojik çamurun, kuru çamur yani %90 seviyesinde kuru malzemeyle çevrilmesi sağlanmaktadır. Islak çamurda bulunan bu fazla nem, 6 adet çamur kurutucu ile ısı transferi vasıtasıyla buharlaştırılmaktadır.

Her biri 100 ton/gün ıslak çamur kurutulabilecek kapasitede olan kurutuculara gerekli olan ısı, kojenerasyon ünitesinden elde edilen kızgın yağ ile sağlanmaktadır. Kurutucular disk tip kurutucu olup bu alanda kullanılan

en dayanıklı ve güvenilir yapıdaki donanımlardandır. Her bir kurutucunun içine iletilen ıslak çamur, içinden kızgın yağ geçen kurutucu tambur içindeki diskler ile temas edilerek ısınmaya başlar. Isınma sonucu çamurun su içeriği buharlaşarak çamur kurutma işlemi gerçekleşmiş olur. Böylece ısı kaynağı ile ıslak çamur temas etmeden endirekt olarak kurutulur.

Endirekt kurutma prensibi sayesinde patlama riskleri ortadan kalkar ve kapalı devre sistem kurutmada kullanılan ve kirlenen hava-buhar miktarı önemli oranda azaltılır. Kurutma sayesinde pek çok açıdan hem çevresel hem de ekonomik bir sorun olan ıslak atık su arıtma çamurunun taşınması ve depolanması problemleri ortadan kalkmaktadır. Atık çamuru, yakıt olarak kullanabilecek ekonomik değeri olan kurutulmuş bir ürün haline gelmektedir. Kurutma işlemi ile yağ çamur %75 oranında azalarak kalan miktar da faydalı ürüne dönüştürülmektedir.

Tüm tesisin enerji ihtiyacı ve aynı zamanda kurutma ünitesindeki termal enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla gaz türbini tipi kojenerasyon ünitesi kurulmuştur. Gerekli elektrik enerjisinin üretilmesi için doğalgaz ve atık sudan elde edilen biyogazı yakabilen 4,6 MW gücünde 2 adet gaz türbini kullanılmaktadır. Bu gaz türbinleri sayesinde tesisin ihtiyacı olan elektrik enerjisi elde edilirken, ısı eşanjörleri ve buhar kazanı sistemleri yardımıyla da türbinlerin yüksek ısıdaki atık egzost gazı değerlendirilerek tesise termal enerji sağlanmaktadır.

Böylece hem doğalgaz ve atık sudan elde edilen biyogaz yakılarak üretilen elektrik enerjisi için ayrıca para verilmeyecek hem de çamur kurutmak için atık ısı kullanıldığından, çamur kurutma işlemi için gereken ısı enerji masrafının önüne geçilmiş olacaktır. Bu sistem, özellikle ürettiği elektrik enerjisine ek olarak yüksek termal enerji ihtiyacını da karşıladığından, elektriksel ve ısı enerji ihtiyacı fazla olan uygulamalarda büyük bir avantaj teşkil etmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Enerji Tüketiminin Belirlenmesi (The

Determination of Energy Consumption)

Arıtma tesislerinde harcanan enerjinin büyük kısmı havalandırma ünitelerinde kullanılmaktadır. Bu ünitenin dışında en çok enerji tüketen üniteler ise atık su ve çamur

pompalarıdır. Tesiste havalandırma havuzlarında difüzör kullanılması tesisin enerji kullanımını ciddi oranda azaltmaktadır. Ayrıca tesis çamur yaşı da düşük olduğu için anaerobik çürütücüye beslenen çamur miktarı ve uçucu katı madde içeriği de fazladır. Bundan dolayı çürütücüde daha fazla biyogaz üretimi ve enerji geri kazanımı mümkün olmaktadır.

Tesiste tüketilen toplam enerji miktarı tesis içerisinde bulunan trafolardan her gün alınan değerlerin toplamı ile hesaplanmaktadır. A.İ.B.A.A.T. 'de her ay tesis girişinde günlük debi değerleri, tesis çıkışında debi değerleri, tesisdeki fiziksel arıtma ünitelerinde, biyolojik arıtma ünitesinde, diğer üniteler ve tüm tesis için toplam enerji tüketimleri, tesise ait tasarım parametreleri temin edilmiştir. Temin edilen bu veriler değerlendirilerek, arıtma tesisinin giriş yükleri, tesise ait giderim verimleri, şebekeden alınan elektrik, toplam türbin elektrik üretimi, enerji ilişkileri incelenmiş toplam elektrik tüketimi için MW-saat cinsinden giderim enerji değerleri, m³ ve kişi başı tüketilen enerji miktarları hesaplanmıştır. A.İ.B.A.A.T. 'nin giriş ve çıkış BOİ₅, KOİ, AKM, TN ve TP değerleri ve minimum giderim verimleri incelenmiştir (Çizelge 2). Çizelge 3'te A.İ.B.A.A.T. 2012 yılı (ocak-eylül) değerleri, Çizelge 4'te ise A.İ.B.A.A.T. 2012 yılı (ocak-eylül) enerji değerleri verilmiştir.

Çizelge 2. A.İ.B.A.A.T. giriş ve çıkış dizayn verileri, minimum giderim verimleri (AABWWTP influent and effluent design datas, minimum removal efficiencies)

Parametre	Birim	Giriş	Çıkış	Min. Giderim Verimi (%)	
Debi	m ³ /gün		390000	-	-
e.n.	kişi		1950000	-	-
BOİ ₅	kg/gün		117000	9750	92
KOİ	kg/gün		234000	48750	80
AKM	kg/gün		195000	13650	93
TN	kg/gün		23400	3900	83
TP	kg/gün		3120	1170	63

Çizelge 3'te tesiste en fazla arıtılan atık su miktarının Ocak ayında olmasının nedeni yağışların bu ayda fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Ocak ayında ortalama günde yaklaşık olarak 370000 m³ atık su arıtılmıştır.

Çizelge 3. A.İ.B.A.A.T. 2012 yılı (ocak-eylül) değerleri (AABWWTP 2012 year (january-september) values)

Aylar (2012)	Toplam Arıtılan Atık su Miktarı (m ³ /ay)	Toplam Tesis Elektrik Tüketimi (MW-saat /ay)	Ortalama Aylık Polielektrolit Tüketimi (kg/gün)	Çamur (Kuru Ürün) Miktarı (kg/ay)	Toplam Üretilen Biyogaz Miktarı (m ³ /ay)	Toplam Tüketilen Doğalgaz Miktarı (m ³ /ay)
OCAK	11.457.200	2.475,741	244,4	730.120	184.009	218.224
ŞUBAT	9.375.200	1.999,184	163,8	386.940	107.283	288.832
MART	11.157.607	2.787,725	227,4	784.220	192.260	891.092
NİSAN	10.046.700	3.383,332	187,5	586.540	119.628	232.886
MAYIS	10.879.936	3.902,274	420,2	1.539.100	409.798	559.925
HAZİRAN	8.552.090	3.793,937	445,8	1.254.360	336.560	973.382
TEMMUZ	8.647.650	3.664,801	522,6	1.671.060	328.141	1.157.324
AĞUSTOS	7.629.280	3.242,696	587,1	1.992.300	346.771	1.250.791
EYLÜL	10.118.954	3.747,694	501,7	1.601.740	358.741	1.130.224
ORT.	9.762.735	3.221,93	366,72	1.171.820	264.799	744.742,22

Tüketilen doğalgaz miktarı ise, kazan doğalgaz tüketimi ile türbin doğalgaz tüketiminin toplamından ibarettir. Ocak ayı süresince türbinde doğalgaz tüketimi olmadığından (türbin çalıştırılmaya başlamadığından) bu değer düşük bulunmuştur. Doğalgaz tüketimi sadece kazanlarda olmuştur.

Ağustos ayında en düşük arıtmanın gerçekleşme nedeni yağışların olmamasından kaynaklanmaktadır. Tesiste ortalama günde yaklaşık olarak 247000 m³ atık su arıtılmıştır. Türbinde kullanılan doğalgaz tüketiminin artmasıyla bu ayda toplam doğalgaz tüketimi de artmıştır.

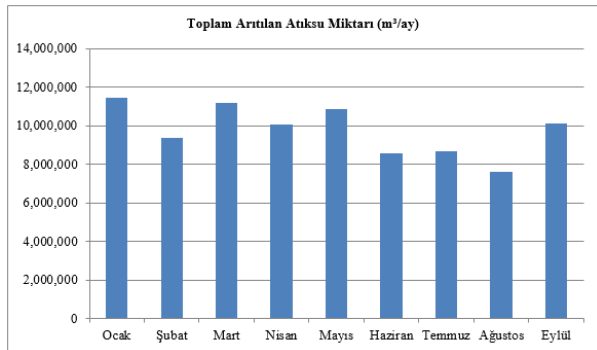
Çizelge 4'te Ağustos ayında tesise gelen atık su miktarı ortalama günde yaklaşık olarak 247000 m³ tür. Diğer aylara göre tesise en az atık su gelmiştir. Bu yüzden

Çizelge 4. A.İ.B.A.A.T. 2012 yılı (ocak-eylül) enerji değerleri (AABWWTP 2012 year (january-september) energy values)

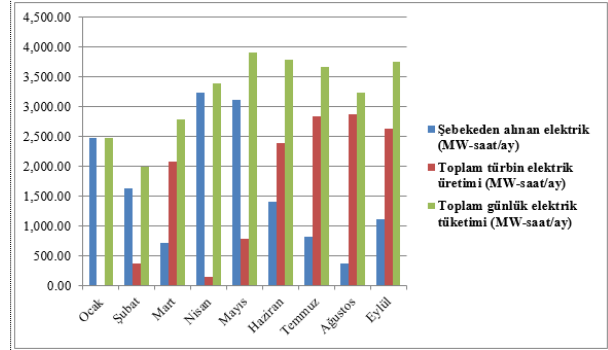
Aylar (2012)	Şebekeden Alınan Elektrik (MW-saat/ay)	Toplam Türbin Elektrik Üretimi (MW-saat/ay)	Toplam Elektrik Tüketimi (MW-saat/ay)	Enerji Geri Kazanımı (%)	Toplam Arıtılan Atık su Miktarı (m ³ /ay)	1 m ³ Atık su için Elektrik Tüketimi (kW-saat/m ³)
OCAK	2.475,741	0,00	2.475,741	0,00	11.457.200	0,216
ŞUBAT	1.624,184	375,00	1.999,184	18,76	9.375.200	0,213
MART	715,935	2.071,79	2.787,725	74,32	11.157.607	0,250
NİSAN	3.237,832	145,50	3.383,332	4,30	10.046.700	0,337
MAYIS	3.121,974	780,30	3.902,274	20,00	10.879.936	0,359
HAZİRAN	1.400,437	2.393,50	3.793,937	63,08	8.552.090	0,444
TEMMUZ	823,501	2.841,30	3.664,801	77,53	8.647.650	0,424
AĞUSTOS	363,596	2.879,10	3.242,696	88,78	7.629.280	0,425
EYLÜL	1.112,894	2.634,80	3.747,694	70,31	10.118.954	0,370
ORT.	1.652,90	1.569,03	3.221,93	46,34	9.762.735	0,33

tesiste bulunan ve elektriği kullanan donanımlar daha düşük seviyelerde çalıştırılmış ve şebekeden alınan elektrik miktarı da düşük olmuştur. Şebekeden alınan elektrik miktarının düşük olmasından dolayı tesisin diğer üniteleri için gerekli olan elektrik tribünlerden daha fazla temin edilmiştir. Bu da tribünlerde daha fazla elektrik üretimine neden olmuştur.

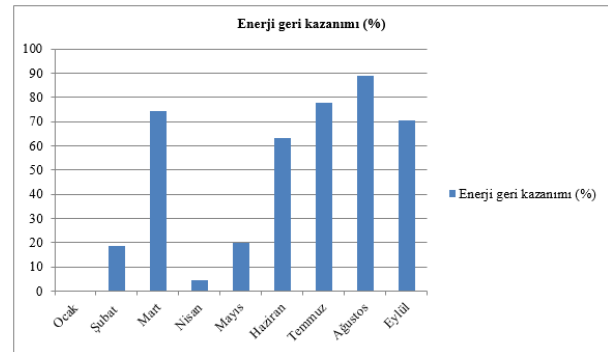
A.İ.B.A.A.T. 2012 yılı (ocak-eylül) ayları arasında toplam arıtılan atık su miktarı Şekil 3'de, aylık enerji değerleri Şekil 4'de, aylık giderim verimleri Şekil 5'te, m³ başı atık su için elektrik tüketimi Şekil 6'da verilmiştir.



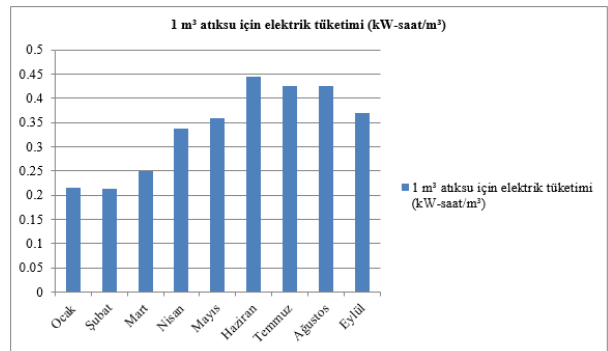
Şekil 3. A.İ.B.A.A.T. 2012 yılı (ocak-eylül) toplam arıtılan atık su miktarı (m³/ay) (AABWWTP 2012 year (january-september) total treated wastewater(m³/month))



Şekil 4. A.İ.B.A.A.T. 2012 yılı (ocak-eylül) aylık enerji değerleri (AABWWTP 2012 year (january-september) monthly energy values)



Şekil 5. A.İ.B.A.A.T. 2012 yılı (ocak-eylül) aylık giderim verimleri (AABWWTP 2012 year (january-september) monthly removal efficiencies)



Şekil 6. A.İ.B.A.A.T. 2012 yılı (ocak-eylül) aylık m³ atık su için elektrik tüketimi (AABWWTP 2012 year (january-september) for m³ wastewater electric consumption)

3.2. Tesisten Elde Edilen Verilere Göre Hesaplamalar (Calculations by the Data Obtained From Plant)

Bu çalışmada A.İ.B.A.A.T.'de enerji tüketimi, üretimi incelenmiştir. Bu amaçla tesisin 2012 yılı ocak-eylül ayları arasında giderim sırasında tüketilen enerji miktarı tüm tesis için toplam olarak tespit edilmiştir. Tesise ait bulgular Çizelge 2., 3., 4., ve Şekil 3., 4., 5., 6.'da verilmiştir.

Şekil 3., 4., 5. ve 6.'da verilen bağıntılardan da görüleceği üzere, giren ve giderilen kirletici yükü arttıkça, toplam enerji sarfıyatı artmasına rağmen, birim enerji sarfıyatı beklendiği gibi düşmektedir. Tesisin enerji tüketiminin aynı olmasına rağmen, giderilen kirlilik yükündeki artış, birim enerji tüketimini düşürmektedir.

Tesisin enerji sarfıyatları incelendiğinde; ortalama aylık toplam elektrik tüketimi 3221930 kW-saat enerji tüketildiği tespit edilmiştir. Tesisin aylık ortalama debisini ve enerji tüketim değerlerini ele alınırsa tesisin tamamı için 1 m³ debi başına harcanan enerji miktarlarını bulunur. Bu değerler; $Q_{ort.} : 9762735 \text{ m}^3/\text{ay}$; Tüm tesis toplamı için: 0,33 kW-saat/m³ olarak bulunmuştur.

Tesise ait yıllık ortalama enerji tüketimi 3221930 kW-saat/ay ve e.n. 1950000 kişi dikkate alındığında, tesisteki ortalama özgül enerji kullanımı, 19,8 kW-saat/kişi.yıl, 0,33 kW-saat/m³ olarak hesaplanmıştır.

İncelenen tesiste özgül enerji tüketiminin artırılan atık su debisine ve e.n. göre değişimi literatürde yapılan çalışmalarda tesislerin özgül enerji tüketimleri giriş atık su debisinin ve e.n. artmasıyla azalmaktadır. Tesis kapasitesinin artması özgül enerji tüketimine olumlu etki yapmaktadır. Tesisin kişi başı özgül enerji tüketimi 19,8 kW-saat/kişi.yıl olup, bu değer Almanya'daki atık su arıtma tesisleri için bildirilen 23-30 kW-saat/kişi.yıl aralığının dışında kalmıştır [19]. Avusturya için bildirilen 23 kW-saat/kişi.yıl medyan değeri ile kıyaslandığında bu değer daha düşük bulunmuştur [20, 21]. Panepinto ve arkadaşları [22], İtalya da 2700000 EN sahip Società Metropolitana Acque Torino (SMAT) tesisinde ortalama özgül enerji kullanımını 24,73 kW-saat/kişi.yıl ve 0,30 kW-saat/m³ olarak bulmuştur.

Tesiste kişi başı özgül enerji kullanımının düşük çıkmasının nedeni difüzörlerle yapılan havalandırmanın, mekanik havalandırıcılara göre daha yüksek verimli olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tesisin tasarım hesaplamalarında bulunan e.n. ve tesise gelen tespit edilen debi ele alınacak olunursa aylık kişi başı harcanan su miktarını bulunur.

$Q_{ort.}/e.n. (2012 \text{ yılı için}) = 9762735 \text{ m}^3/\text{ay} / 1950000 \text{ kişi} = 5,00653 \text{ m}^3 = 5007 \text{ L/N-ay}$ olarak bulunur.

Tüm tesiste harcanan aylık ortalama enerji miktarı ve tasarım hesaplamalarında bulunan e.n. ele alınacak olunursa kişi başına harcanan enerji miktarı bulunabilir. Tesiste harcanan aylık ortalama enerji miktarı/e.n. (2012 yılı için) = 3221930 kW-saat /ay / 1950000 kişi = 1,652 kW-saat/kişi = 1652 W/kişi olarak bulunur.

A.İ.B.A.A.T. aktif çamur sistemi ile çalışan bir tesistir. Aktif çamur sürecini uygulayan arıtma tesislerinde yüksek enerji-işletme maliyetleri bilinmektedir. Ancak küçük hacimlerde yüksek debiyi karşılayabilen bu sistem A.İ.B.A.A.T. için de uygun görülmüştür. Tesisten elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda; Tesisin tamamı için giderim verimleri, Ağustos 2012 ortalaması %88,78, dokuz aylık ortalama ise %46,34 olarak bulunmuştur. Tesisin aylık ortalama enerji sarfıyatı kullanılarak 1652900 kW-saat/m³ enerji gideri bulunmuştur. Aynı şekilde toplam enerji sarfıyatından ve tesise gelen günlük ortalama debi miktarı kullanılarak 1 m³ atık su için 0,33 kW-saat enerji gideri hesaplanmıştır. E.n. tesise gelen ortalama günlük debiye göre kişi başı su tüketimi 5007 L.N/ay olarak bulunmuştur. Tesiste harcanan toplam enerji sarfıyatına ve e.n. değerlerine göre de arıtma tesisinde atık su arıtımında kişi başı harcanan aylık enerji miktarı 1652 W olarak bulunmuştur. Tesisten elde edilen verilerden, tesiste giderilen yük arttıkça, birim enerji tüketimi azalmaktadır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada A.İ.B.A.A.T.'de enerji üretimi, tüketimi, özgül enerji kullanımı, birim arıtılan atık su başına enerji tüketimi, aylık kişi başı harcanan su miktarı, kişi başına harcanan enerji miktarı ve enerji geri kazanımı incelenmiştir. Tesisten elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda;

- Tesisin elektrik üretiminin ortalama aylık 1569030 kW-saat olduğu,
- Tesisin enerji sarfıyatları incelendiğinde; ortalama aylık 3221930 kW-saat enerji tüketildiği,
- Tesiste birim arıtılan atık su başına enerji tüketiminin 0,213-0,444 kW-saat/m³ aralığında değiştiği,
- Aylık kişi başı harcanan su miktarının 5007 L/N-ay olduğu,
- Kişi başına harcanan enerji miktarı 1652 kW-saat/kişi olduğu,
- Tesisin özgül enerji tüketimi, e.n. başına ve arıtılan atık su debisi başına 19,8 kW-saat/kişi.yıl ve 0,33 kW-saat/m³ olduğu,
- Tesisin tamamı için giderim verimlerinin Ağustos 2012 ortalamasının %88,78, dokuz aylık ortalamasının ise %46,34 olduğu,
- Tüketilen enerjinin (havalandırma, karıştırma, pompalama, çamur arıtımı vb. nedeniyle) artırılmış atık suyun debisi veya atık su arıtma tesisine giren kirlilik yükü ile orantılı olduğu tespit edilmiştir.

Artan enerji maliyetlerinden dolayı atık su arıtma tesislerinde enerji yönetimi önemli bir konu haline gelmiştir. Atık su arıtma tesislerinde enerjinin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için atık su arıtma tesisinin hidrolik olarak iyi planlanması, istenilen arıtma deşarj

standartlarını sağlayabilecek en az enerji kullanan arıtma prosesi ve ekipmanların seçilmesi ile sağlanabilir.

Mevcut tesislerde kullanılan prosesler enerji ve arıtma performansı açısından dikkatli bir şekilde izlenmeli ve özgül enerji tüketimlerinin kabul edilebilir aralıkta olup olmadığı incelenmelidir. Bu şekilde yapılan analiz sonuçları gelecekte yapılması tasarlanan tesisler için de önemli bir veri kaynağı olacaktır.

Enerji tasarrufu, atık su arıtma tesisleri, pompalar, havalandırma ekipmanları, çamur arıtma ekipmanları ve karıştırma ekipmanlarının yerleşimini ve tasarımını optimize ederek elde edilebilir. Atık su arıtma tesislerinin enerji verimliliği esaslarına uygun, etkili bir şekilde işletiminin sağlanması (işletmecilerin eğitimi), atık su arıtma tesisleri alanında faaliyet gösteren tasarım ve mühendislik firmalarının konuyla ilgili olarak bilgilendirilerek etkin ve verimli enerji kullanımının gelecek projelere dahil edilmesi sağlanmalıdır.

Açıkçası, daha yüksek enerji verimliliği daha düşük enerji tüketimi, daha düşük sera gazı emisyonlarını ve atık su arıtma tesisleri için daha düşük işletme maliyetleri anlamına gelmektedir.

Tesiste arıtılan atık su; park, bahçe, spor tesisleri, eğlence ve dinlenme alanları, otoyol kenarları, yangın söndürme ve sanayide kullanılmakta ve tesis sayesinde yaklaşık 200000 ton atığın denize dökülmesi engellenmektedir. Tesis, aynı zamanda ülkemizdeki atık suyun katı nihai ürüne ve biyogaza dönüştürüldüğü, biyogazdan elektriğin üretildiği, kuru ürünün ise çimento fabrikalarına katı yakıt olarak verildiği ileri teknolojiye sahip atık su arıtma tesisidir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazar, bu çalışmada A.İ.B.A.A.T. ile ilgili verilerin temininde katkı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'ne (İSKİ) teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Von Sperling M., "Comparison Among the Most Frequently Used Systems for Wastewater Treatment in Developing Countries", *Water Science and Technology*, 33(3): 103-110, (1996).
- [2] Focus on Energy, Water and wastewater energy best practice guidebook. Prepared for Wisconsin Department of Administration by the Focus on Energy Program. Madison, WI, US, (2006).
- [3] Ahmetovic' E., Ibric' N., and Kravanja Z., "Optimal design for heat-integrated waterusing and wastewater treatment networks", *Applied Energy*, 135: 791-808, (2014).
- [4] Rojas J., and Zhelev T., "Energy efficiency optimization of wastewater treatment: study of ATAD", *Computers&Chemical Engineering*, 38: 52-63, (2012).
- [5] Tchobanoglous G., Burton F.L., and Stensel H.D., "Metcalf and Eddy Inc., *Wastewater engineering: Treatment and reuse (4th ed.)* ", New York: McGraw-Hill, (2006).

- [6] Vera L., Sun W., Iftikhar M., and Liu J., "LCA based comparative study of a microbial oil production starch wastewater treatment plant and its improvements with the combination of CHP system in Shandong China", *Resources Conservation and Recycling*, 96: 1-10, (2015).
- [7] Elias-Maxil JA., Peter van der Hoek J., Hofman J., and Rietveld L., "Energy in the urban water cycle: actions to reduce the total expenditure of fossil fuels with emphasis on heat reclamation from urban water", *Renewable&Sustainable Energy Reviews*, 30: 808-820, (2014).
- [8] Venkatesh G., and Brattebø H., "Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: case study of Oslo (Norway)", *Energy*, 36: 792-800, (2011).
- [9] Liu H., Ramnarayanan R., and Logan BE., "Production of electricity during waste-water treatment using a single chamber microbial fuel cell", *Environmental Science and Technology*, 38: 2281-2285, (2004).
- [10] Yang L., Zeng S., Chen J., He M., and Yang W., "Operational energy performance assessment system of municipal wastewater treatment plants", *Water Science and Technology*, 62(6): 1361-1370, (2010).
- [11] Mizuta K., and Shimada M., "Benchmarking energy consumption in municipal wastewater treatment plants in Japan", *Water Science and Technology*, 62(10): 2256-2262, (2010).
- [12] Balmer P., "Operation costs and consumption of resources at Nordic nutrient removal plants", *Water Science and Technology*, 41(9): 273-279, (2000).
- [13] Krampe J., "Energy benchmarking of South Australian WWTPs", *Water Science and Technology*, 67(9): 2059-2066, (2013).
- [14] Energy Conservation in Wastewater Treatment Facilities Manual of Practice; *Water Environment Federation: Alexandria*, VA, USA, 1-142, (1997).
- [15] Westerhoff P., Yoon Y., Snyder S., and Wert E., "Fate of Endocrine-Disruptor, Pharmaceutical, and Personal Care Product Chemicals during Simulated Drinking Water Treatment Processes", *Environmental Science and Technology*, 39: 6649-6663, (2005).
- [16] Zwiener C., and Frimmel F.H., "Oxidative Treatment of Pharmaceuticals in Water", *Water Research*, 34: 1881-1885, (2000).
- [17] Öztürk İ., Timur H., ve Koşkan U., "Atık su Arıtımının Esasları -Eysel, Endüstriyel Atık su Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü", T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, İstanbul, (2005).
- [18] İMC, İstanbul Master Plan Study, İstanbul Water and Sewerage Administration, (1999).
- [19] MURL-Ministry for Environment, Nature Protection, Agriculture&Consumer Protection in the German State of North Rhine Westphalia, Energy in WWTPs (in German), Düsseldorf, Almanya, (1999).
- [20] VASS-Swedish Water Association online database (in Swedish).
- [21] Jonasson M., "Energy Benchmark for Wastewater Treatment Process - A Comparison between Sweden and Austria", Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University, (2007).
- [22] Panepinto D., Fiore S., Zappone M., Genon G., and Meucci L., "Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy", *Applied Energy*, 161: 404-411, (2016).