



## **Tokat Atıksu Arıtma Tesisinde Biyogaz ve Elektrik Üretim Kapasitesinin Belirlenmesi**

**Mesut DİLMAÇ<sup>1\*</sup> Fatma Eda ÖZGÜVEN<sup>2</sup> Mehmet Metin ÖZGÜVEN<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tokat

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü, Ankara

\*e-mail: mesut.dilmac@gop.edu.tr

Alındığı tarih (Received): 09.12.2015

Kabul tarihi (Accepted): 18.04.2016

Online Baskı tarihi (Printed Online): 13.06.2016

Yazılı baskı tarihi (Printed): 26.09.2016

**Öz:** Bu çalışmada, atıksu arıtma tesisinde atıklarından elde edilen biyogaz ve elektrik üretim kapasitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Tokat Belediyesi sınırları içindeki Taşlıçiftlik Mevkii'nde bulunan Tokat Atıksu Arıtma Tesisinde var olan bölümler, biyogaz ve elektrik üretimi yapılmaya kadar geçen aşamalar ayrıntılı açıklanmıştır. Bu tesiste üretilen biyogaz, tesisin ısı enerjisi ihtiyacının tamamını karşıladığı belirlenmiştir. Tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının %47'lik kısmı biyogazdan elde edilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Arıtma çamuru, atıksu arıtma tesisi, biyogaz, elektrik üretimi

### **Determination of Biogas and Electricity Generation Capacity in Tokat Domestic Wastewater Treatment Plant**

**Abstract:** In this study, aimed to determine biogas and electricity generation capacity obtained from wastewater treatment plant was evaluated. For this purpose, Tokat Wastewater Treatment Plant, established in Taşlıçiftlik location within the boundaries of the Municipality of Tokat, was considered and its sections and stages until the production of biogas were explained in detail. The Biogas produced in this plant are determined to meet the total heating energy need of the facility. 47% of electric energy need of the facility is obtained from biogas.

**Keywords:** Sewage sludge, wastewater treatment plant, biogas, electric generation

#### **1. Giriş**

Biyogaz bitki, hayvan ve insan kaynaklı atıklar gibi organik maddelerin havasız ortamlarda fermentasyonu sonucu oluşan ve bileşiminde %50-80 metan, %50-20 karbon dioksit ve az miktarda hidrojen sülfür, hidrojen, karbon monoksit ve azot bulunan renksiz ve yanıcı bir gaz karışımıdır. Biyogazın içerdiği gazların bileşimi ise reaktöre beslenen maddenin özelliklerine, maddede bulunan bileşenlerin kimyasal yapısına, sıcaklığa, hammaddenin nemine, reaktöre yükleme hızına, sistemin işletim şartlarına ve reaktördeki bakteriyel faaliyetlere bağlı olarak değişmekte, bu da biyogazda bulunan CH<sub>4</sub> derişimini etkilemektedir (Karim et al., 2005; Anonymous, 2009). Biyogaz üretim miktarının da sıcaklık artış ve azalmalarında azaldığı, sıcaklığın

tekrar optimum sıcaklıklara getirilmesi ile maksimuma ulaştığı belirtilmektedir (Ahn and Forster, 2002)

Evsel ve endüstriyel atık suların da arıtılması sırasında organik yükü fazla olan ve arıtma çamuru denilen atıklar da üretilmektedir. Arıtma çamuru, 5 Nisan 2005 tarihli ve 25777 sayılı Resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde "Evsel ve evsel nitelikli endüstriyel atık suların, fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemleri sonucunda ortaya çıkan, suyu alınmış, kurutulmuş çamur" olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2005). Başka bir ifadeyle de evsel veya endüstriyel atıksuların fiziksel, biyolojik ve kimyasal yöntemlerle arıtılması sonucu üretilen sıvı veya yarı katı maddelere, uygulanan arıtma yöntemine bağlı

olarak katı madde içeriği değişmekte olan ve genel bir yaklaşım olarak kütlece %0,25-12 katı madde içeren sulu karışımlara arıtma çamuru denilmektedir (Filibeli, 2005).

Anaerobik işlem, moleküler oksijen yokluğunda organik maddelerin biyokimyasal parçalanması olarak tanımlanmaktadır. Anaerobik işlem; hidroliz, asit oluşumu ve metana dönüşüm olmak üzere üç basamaktan oluşmaktadır. Anaerobik çürüme işleminde organik maddeler biyolojik olarak parçalanarak son basamakta CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub>'e dönüşmektedir (Speece, 1996; Filibeli vd., 2000).

Evsel atıksu arıtma çamuru ve belediye katı atığının kullanıldığı bir çalışmada anaerobik işlemle biyogaz üretimi araştırılmıştır. Kesikli bir reaktör kullanılan çalışmada oda sıcaklığından 36°C'ye kadar 25 günlük bekleme süresince işlemler yapılmıştır. Farklı organik beslemelerinin yapıldığı (0,5-1,0-2,3-2,9-3,5 ve 4,3 kg VS/m<sup>3</sup>d karışım) evsel çamur ve katı atık karışımından biyogaz üretimine bakılmıştır. Maksimum biyogazın 0,36m<sup>3</sup>/kg ile 2,9 kg VS/m<sup>3</sup>d beslemenin yapıldığı çamurda olduğu saptanmıştır. Ayrıca toplam katının %87,6, uçucu katının %88,1 ve KO''nin %89,3 azaltıldığı rapor edilmiştir (Elango et. al., 2007).

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Tesisin Teknik Özellikleri

Tokat Atıksu Arıtma Tesisi (TAAT), Taşçıiftlik Mevkii'nde yaklaşık olarak 75.000m<sup>2</sup> bir alanı kapsamaktadır. Arıtma tesisi 200.000 kişilik nüfusa ve 33.000 nüfus eşdeğeri endüstriyel faaliyet için fiziksel ve biyolojik kademeli bir biyolojik azot giderme (BNR) tesisi olmuştur (Kademe1). Arıtma tesisi 270.000 kişi ve 44.000 nüfus eşdeğeri endüstriyel faaliyet artışına cevap verebilmektedir (Kademe2). Endüstriyel katkıyı da içeren tesis kapasitesi aşağıdaki şekilde olmuştur:

- 33.120 m<sup>3</sup> /gün (ortalama) atıksu
- 20.000 kg/gün Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)
- 10.000 kg/gün Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ<sub>5</sub>)

- 10.000 kg/gün Toplam Askıda Katılar (AKM)
- 1.900 kg/gün Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)
- 344 kg/gün Toplam Fosfor

TAAT kaba ızgara, pompa istasyonu, ince ızgara, kum tutucu, ön çöktürme havuzu, biyolojik havuzlar, son çöktürme havuzu, çamur yoğunlaştırma, havasız çamur çürütme, susuzlaştırma, kurutma ve çamur depolama ünitelerinden oluşmaktadır.

Biyogaz üretimi ve depolanması ile ilgili bölümler ise 5 ana başlıkta toplanmaktadır. Bunlar;

### 2.2. Digester (Biyogaz reaktörü)

TAAT'nde biyogaz üretimi 4500 m<sup>3</sup> çamur kapasiteli bir sürekli reaktörde yapılmaktadır. Üretilen biyogaz 1500 m<sup>3</sup> kapasiteli bir gaz balonunda depolandıktan sonra Kojenerasyon ünitesi ve Brülörde yakılarak ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Digestere çamur ilavesi besleme pompaları ile gerçekleştirilmektedir.

Günlük olarak digestere (Şekil 1) çamur depolama tankından 200m<sup>3</sup> çamur ilavesi sağlanmaktadır. Bu oran 35 °C optimum sıcaklık ve 22 günlük çamur bekleme süresi baz alınarak belirlenmiştir. Sıcaklık değişimlerine bağlı olarak çamur besleme miktarı Şekil 2'de gösterilen besleme pompaları ile ayarlanabilmekte ve zaman zaman yukarıdaki besleme miktarında artış yada azalmalara gidilebilmektedir.



Şekil 1. Digester (Biyogaz reaktörü)

Figure 1. Digester (Biogas reactor)



**Şekil 2.** Besleme pompaları  
*Figure 2. Feed pumps*

Şekil 3'deki resirkülasyon pompasının görevi, digesterin alt kısmından soğuk haldeki çamuru alarak eşanjör sistemine doğru iletimini sağlamak ve daha sonra ısıtılan çamuru digesterin orta kısmından tekrar digestere vermektir. Digesterin iç sıcaklığının sürekli olarak 35 °C olması istenmektedir. Biyogaz eldesi için digesterin iç sıcaklığının korunması şarttır bu sebepten ötürü resirkülasyon pompası çok önemli rol oynamaktadır.



**Şekil 3.** Resirkülasyon pompası  
*Figure 3. Recirculation pump*

Eşanjör düzeneği (Şekil 4), çift boru bulunduran bir sistem olduğundan dolayı sisteme çift boru sistemi de denilmektedir. Şekil 4'de verilen kıvrımlı borunun içerisinde 2 adet boru bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi kazandan diğeri ise resirkülasyon pompasından gelen borudur. Kazandan gelen ve içindeki sıcak sudan

dolayı sıcak olan boru ile digesterden resirkülasyon pompasının yardımı ile gelen ve çamur ihtiva eden borunun kıvrımlar içerisinde temas etmesi sonucu su taşıdığı ısı enerjisini çamura transfer ederek çamurun ısıtılmasını sağlamaktadır. Soğuyan su ısıtılmak üzere tekrar kazana ısınan çamur ise digestere gönderilmektedir.



**Şekil 4.** Eşanjör (çift boru)  
*Figure 4. Heat exchanger (double pipe)*

### 2.3. Biyogaz Balonu

Tesiste üretilen gazı depolamak amacı ile bir biyogaz tankı bulunmaktadır. Bunun için hacmi 1500m<sup>3</sup> olan çift cidarlı balon şeklinde bir tank seçilmektedir. Çift cidarlı olmasının sebebi biyogazın sıkıştırılmasının tehlikeli olmasıdır ve Şekil 5'de görülen fanlar sayesinde 2 cidar arasındaki boşluğa sürekli olarak hava giriş çıkışı sağlanarak iç cidarın esneklik kazanması ve sıkışmaması sağlanmaktadır. Balon hacminin 1500m<sup>3</sup> olmasına karşın bu tankın doluluk oranı %90'ın üzerine çıkmayacak şekilde kontrol altında tutulmaktadır. Böylece olası bir patlamanın önüne geçilmektedir.



Şekil 5. Biyogaz tankı (balon)  
Figure 5. Biogas tank (balloon)

#### 2.4. Brülör-Kazan

Tesiste bulunan ve Şekil 6'da görülen kazan sadece eşanjörün değil bütün tesisin ısıtılmasında kullanılmaktadır. Brülör; fuel-oil veya biyogaz ile çalışabilmektedir. Brülör saatlik olarak ortalama 30–35 m<sup>3</sup> biyogaz harcamaktadır.



Şekil 6. Kazan  
Figure 6. Boiler

#### 2.5. Biyogaz jeneratörü

TAAT'nde motoru 8 silindirli olan ve Şekil 7'de görülen Alman yapımı bir jeneratör bulunmaktadır. Saatte 330kW enerji üretim kapasitesine sahip olan bu jeneratör 128m<sup>3</sup> biyogaz tüketmektedir. Bu jeneratör hem kendi paneli ile manuel kodlama ile hem de Scada otomasyon sistemi ile kontrol edilebilmektedir.



Şekil 7. Biyogaz Jeneratörü  
Figure 7. Biogas Generator

#### 2.6. Meşale

Şekil 8'deki meşale, biyogaz tankında bulunan fazla gazı yakmak için kullanılmaktadır.



Şekil 8. Meşale  
Figure 8. Torch

#### 2.7. Tesisin İşletilmesi

Tesis ana ekipmanların kontrolü ve tesisin izlenmesi amacıyla Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) sistemini içeren bir kontrol ve otomasyon sistemiyle donatılmıştır.

Arıtma tesisinin proses seçimi ve tasarımı Türkiye ve Avrupa Birliği mevzuatı dikkate alınarak yapılmıştır.

Tesiste uygulanan prosesler sonucu inorganik ve organik nitelikte arıtma çamurları oluşmaktadır. Tesis faaliyetlerinden kaynaklanan katı atıklar; ızgara ve kum tutucularda tutulan

inorganik katı atıklar ile ön çöktürme ve son çöktürme havuzlarında tutulan inorganik ve organik çamurlardan oluşmaktadır. Anaerobik çürütücüde oluşacak biyogaz, tesisin işletilmesi sırasında gerekli enerji ihtiyacı, elektrik enerjisi olarak sağlanmaktadır. Ayrıca tesis idare binasının ısıtılması için kalorifer yakıtı olarak biyogaz kullanılmaktadır. Arıza hallerinde enerji amaçlı kullanılmadığı durumlarda yakma bacasında yakılmaktadır.

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 çürütme uygulamasının derecesine bağlı olarak çok faydalı bir son ürün olan ve temiz enerji kaynağı olarak nitelenen biyogaz eldesi mümkün olmaktadır. (Filibeli ve Kaynak, 2006).

Tesiste biyogaz elde edebilmek amacı ile atıksulardan elde edilen çamur kullanılmaktadır. Fakat ne kadar sudan ne kadar çamur elde edilebileceği hesaplanamamaktadır. Bunun sebebi ise tesiste girdi olarak kullanılan atıksuların ihtivasının değişmesidir. 1kg çamurdan 366lt biyogaz üretilmiştir.

Günlük olarak oksijensiz çamur çürütme tankına (digester) 200m<sup>3</sup> çamur ilave edilmektedir. Bu işlemi besleme pompaları gerçekleştirmektedir. Digesterin içerisinde anaerobik ortamda çalışabilen mezofilik bakteriler bulunmaktadır. Bu bakteriler metan gazı oluşumundan sorumludur. Digesterin toplam hacmi 4500m<sup>3</sup>'tür. İçerideki çamurun eşanjör sistemi sayesinde ısıtılması ile beraber biyogaz tankına gaz dolmaya başlar. Yaz ayları daha sıcak olduğundan yaz mevsiminde biyogaz eldesinde bir artış gözlenmektedir. Biyogaz artışı ile beraber elektrik eldesi de artmaktadır. Kışın ise kazan sürekli olarak kullanımdadır. Kazan sadece çamur ısıtmada değil tüm tesisin ısıtılmasında kullanılmaktadır.

Tesiste günlük olarak 7000–8000 kW arası elektrik tüketimi vardır. Buna karşın tankta bulunan gaz oranına bağlı olarak jeneratör saatlik

330kW elektrik üretmektedir. Bu da işletmeye maddi açıdan önemli bir katkı sağlamaktadır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Tesiste biyogaz üretimine bağlı olarak elde edilen elektrik miktarı ile ilgili düzenli raporlar Scada tarafından doğru kayıt altına alınmaktadır. Çizelge 1'de TAAT 2012 yılı ilk dört aylık periyoda ait biyogaz üretim koşulları ve enerji bilançosu ile ilgili elde edilen değerler verilmiştir.

Çizelge 1'den görüleceği üzere Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarında sırasıyla çamur miktarında artış olduğu görülmeye rağmen, biyogaz üretiminde aynı oranda artış görülmemiştir. Bunun sebebi Enerji/Çamur (kW/m<sup>3</sup>) oranının diğer aylara göre düşük olması nedeniyle şubat ayı biyogaz üretim miktarında diğer aylara göre azalma olmuştur. Aylara göre elektrik üretim miktarları sırasıyla 49300, 37000, 50200, 82300 kW elektrik elde edilmiştir.

**Çizelge 1.** Tokat AAT 2012 İlk Dört Aylık Biyogaz Üretim Koşulları ve Enerji Bilançosu

**Table 1.** 2012 First Four Months Tokat ATT Terms of Biogas Production and Energy Balance

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan
<b>Elektrik Tüketimi (kW)</b>	283471	310041	326823	246228
<b>Elektrik Üretimi (kW)</b>	49300	37000	50200	82300
<b>DGS Sıcaklık (°C)</b>	29.2	26.6	25.4	25
<b>DGS (pH)</b>	7.26	7.30	7.30	7.29
<b>DGS Çamur (m<sup>3</sup>)</b>	3830	4080	4964	5740
<b>Üretilen Biyogaz (m<sup>3</sup>)</b>	29559	22063	26865	30122
<b>Biyogaz/Çamur (dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)</b>	0,00772	0,00541	0,00541	0,00525
<b>Enerji/Çamur (kW/m<sup>3</sup>)</b>	12,87	0,91	10,11	14,34

Digesterde kullanılan veya homojenizasyon tankından direkt gelen çamur susuzlaştırma binasına girmektedir. Bu binada iki çeşit makina bulunmaktadır. Bunlardan ilki mekanik yoğunlaştırıcıdır. Bu makineler çamurun su oranını %1-2'den %4-5'e çıkarmaktadır. Kullanılan diğer makineler ise belt preslerdir. Bu makineler ise pres yani sıkma işlemi yaparak çamuru kurutur ve çamur keki veya stabil çamur denilen hale getirmektedir.

#### 4. Sonuç

Hedeflenen çıkış suyu kalitesi ile seçilen TAAT'nin işletmeye alınmasından itibaren atıksuların deşarj edildiği, evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları nedeniyle yüksek derecede kirlenmiş olan Yeşilirmak nehrine atılan kirlilik yükünde %90.7 KOI (giriş 466 mg/l - çıkış 30 mg/l), %97.03 BOI<sub>5</sub> (giriş 236 mg/l - çıkış 7 mg/l), %93.54 TAKM (giriş 186 mg/l - çıkış 12 mg/l) azalma olmuş ve su kalitesinde belirgin bir iyileşme sağlanmıştır. Ayrıca önerilen deşarj kriterlerine ek olarak 1.025 mg/L amonyak azotu konsantrasyonu ve %66.80 oksijen doygunluğu elde edilmiştir. Arıtılmış atıksuların Yeşilirmak Nehri'ne deşarj edilmesi nedeniyle giderilmesi gereken, BOI<sub>5</sub>, KOI, TAKM ve pH parametreleri ile birlikte alıcı ortamlardaki canlı yaşamını korumak amacıyla amonyak parametresinin de giderilmesi sağlanmıştır. Amonyak oksidasyonunun arıtma tesisinde gerçekleştirilmemesi durumunda su ortamındaki amonyak konsantrasyonu ve kirlilik seviyesine yükselebilecek veya alıcı ortamlarda meydana gelecek nitrifikasyon nedeniyle oksijen dengesi bozulacak ve ekosistem etkilenecektir. Bu noktadan hareketle tasarıma esas olacak deşarj standartlarına amonyum azotu ve oksijen parametreleri ilave edilmiştir.

#### Kaynaklar

- Ahn, J-H. and Forster, C.F., 2002. The effect of temperature variations on the performance of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating a simulated papermill wastewater", *Process Biochemistry*, 37:589–594.
- Anonim, 2005. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, "Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği", Resmi Gazete, sayı: 25777, tarih 5 Nisan 2005, Ankara.
- Anonymous, 2009. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Clearinghouse, "Methane (Biogas) from Anaerobic Digesters", <http://www.eren.doe.gov/consumerinfo/refbriefs/ab5.html>. (2009)
- Elango, D., Pulikesi, M., Baskaralingam, P., Ramamurthi, V. and Sivanesan, S., 2007. Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage", *Journal of Hazardous Materials*, 141, 301–304.
- Filibeli, A., Büyükkamacı, N. ve Ayol, A. 2000. "Anaerobik Arıtma", DEÜ, Müh. Fak.Yayımları, No:280, İzmir, 206s.

- Filibeli, A., 2005. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Müh.Fak. Yayınları, No:255, ISBN 975-441-117-4, s254, İzmir.
- Filibeli, A. ve Kaynak, G.E., 2006. Arıtma çamuru miktarının azaltılması ve özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan ön işlemler. İTÜ Dergisi. Cilt:16, Sayı:1-3, 3-12, İstanbul.
- Karim, K., Klasson, T., Hoffmann, R. and Al-Dahhan, M.H., 2005. Anaerobic Digestion of Animal Waste: Effect of Mixing", *Bioresource Technology*, 96, 1607–1612.
- Speece, R.E., 1996. *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater*. Arche Press, Tennessee, 394s.