


**Biyogaz Tesislerinde Üretilen Gübrenin Değerlendirilme Metotları ve Fizibiliteye Etkisi\***

Evaluation Methods of Fertilizer Produced in Biogas Plants and Its Effect on Feasibility

Volkan ÇOBAN<sup>1\*</sup>**Öz**

Globalleşen dünyanın en büyük ihtiyaçlarından biri de enerjidir. Bu sebeple Dünyada ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynağı olan biyogaz tesislerinden enerji üretimi gün geçtikçe artmaktadır. Hayvansal kaynaklı hammaddeden biyogaz üretimi sonrasında katı ve sıvı gübre olmak üzere çeşitli çıktılar elde edilmektedir. Bu tesislerde üretilen gübrenin tarımda değerlendirilmesi gerek yatırım fizibilitesine gerekse çevreye verebileceği olası negatif etkisinden dolayı önem arz etmektedir. Bu çalışmada mezofilik şartlarda çalışan 3 MW elektrik üretim kapasiteli bir yaş fermantasyon tesisinde biyogaz üretimi boyutlandırılmıştır. Biyogaz tesisinin hidrolik bekleme süresi olarak 34 gün seçilmiştir. Fermantasyon tankları ise sürekli karıştırılmalı tank reaktörlerdir. Enerji eldesi için biyogaz motoru kullanılmıştır. Biyogaz tesisinde enerji eldesinin yanında ürün olarak katı ve sıvı gübre üretilmektedir. Biyogaz tesisinde üretilen katı gübrenin satılabilir forma dönüştürülebilmesi ve toprakta uygulandığında daha verimli olabilmesi için zenginleştirme işlemleri sıralanmıştır. Üretilen gübrenin 3 farklı şekilde değerlendirilebileceği göz önünde bulundurularak yapılabirlik analizleri incelenmiştir. İlk opsiyonda üretilen gübre satılmadan direkt tarımda kullanıldığı, ikinci opsiyonda katı organik gübre olarak satıldığı, diğer opsiyonda ise içerisine gerekli ilaveler yapılarak organomineral gübre formuna dönüştürülüp satıldığı düşünülmüştür. Elde edilen sonuçlar kapsamında enerji üretiminin yanı sıra gübre satışının tesis fizibilitesine olan etkileri ortaya konulmuştur. Yapılan hesaplamalar ışığında; tesislerin birim kW başına maliyetleri sırasıyla; 2.090 \$/kWe, 3.726 \$/kWe, 6.225 kWe olmaktadır. Yalnızca elektrik üretiminden gelir elde bir biyogaz tesisinin 6,01 yıl olan basit geri ödeme süresi, elektrik satışına ek organomineral gübre satışı ile 1,69 yıla indirildiği tespit edilmiştir. Gübrenin organik gübre olarak satılması durumunda ise basit geri ödeme süresi 4,24 yıl olmuştur. Ancak, geri ödemesi süresinin azalmasına karşılık ilave olarak sisteme eklenecek diamonyumfosfat maliyeti biyogaz tesis maliyetlerini yaklaşık olarak %92,5 oranında artırdığı gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyogaz, Organomineral gübre, Fermente gübre, Organik gübre, Yaş fermantasyon.

<sup>1\*</sup>**Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Volkan Çoban, Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, E-mail: [volkan.coban@kocaeli.edu.tr](mailto:volkan.coban@kocaeli.edu.tr)  OrcID: 0000-0003-4635-558X.

**Atıf/Citation:** Çoban, V. Biyogaz tesislerinde üretilen gübrenin değerlendirilme metotları ve fizibiliteye etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20 (1), 175-185.

\*Bu çalışma Yüksek Lisans tezinden özetlenmiştir.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayınlanmıştır. Tekirdağ 2023

## Abstract

Energy is a major demand of the globalization world. For this reason, energy production from biogas plants as a renewable energy source, is increasing day by day in the world and in our country. After the production of biogas from raw material of animal origin, various outputs can be obtained. These outputs are solid and liquid fertilizers. The use of the fertilizer produced in these plants in agriculture is important because of its possible negative impact on both the investment feasibility and the environment. In this study, biogas production was dimensioned in a wet fermentation plant with 3 MW electricity production capacity operating under mesophilic conditions. 30 days was chosen as the hydraulic retention time of the biogas plant. Fermentation tanks are continuous stirred tank reactors. The biogas engine was used for energy generation. In the biogas plant, solid and liquid fertilizers are produced as a product in addition to energy production. Enrichment processes are listed in order to convert the solid fertilizer produced in the biogas plant into salable form and to be more efficient when applied to the soil. Considering that the produced fertilizer can be evaluated in 3 different ways, feasibility analysis was examined. It is thought that the fertilizer produced in the first option is used directly in agriculture without being sold, in the second option, it is sold as solid organic fertilizer, and in the other option, it is converted into an organomineral fertilizer form by making the necessary additions. Within the scope of the results obtained, the effects of energy production as well as fertilizer sales on the feasibility of the facility were revealed. Considering the calculations made, the costs per unit kW of the facilities are respectively: 2,090 \$/kWe, 3,726 \$/kWe, 6,225 kWe. It has been determined that the simple payback period of 6.01 years for a biogas plant that generates income only from electricity production is reduced to 1.69 years with the sale of additional organomineral fertilizers. If the fertilizer was sold as organic fertilizer, the simple payback period was 4.24 years. However, it was observed that the cost of diammonium phosphate to be added to the system, in addition to the decrease in the payback period, increased the biogas plant costs by approximately 92.5%.

**Keywords:** Biogas, Organomineral fertilizer, Fermented fertilizer, Organic fertilizer, Wet fermentation.

## 1. Giriş

Globalleşen dünyanın en büyük ihtiyaçlarından biri de enerjidir. Enerji üretimi birçok çeşitli kaynak ve yöntemler ile yapılırken yaygın olarak yenilenebilir enerji ve yenilenemez enerji olarak 2'ye ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji; doğayı korumak ve sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla önem arz etmektedir. Rüzgâr, güneş, jeotermal, hidroelektrik ve biyokütle başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Fosilleşmemiş karbon, hidrojen, oksijen bağı içeren organik bileşiklere biyokütle denir. Biyogaz prosesinde; hayvansal, tarımsal ve evsel biyokütle atıklarından anaerobik şartlarda; %55-%70 metan içeriğine sahip yanıcı bir gaz türü olan biyogaz elde edilmektedir (Eryılmaz ve ark., 2015). Biyogaz üretimi çevre dostu olması nedeniyle; ülkemizde ve dünyada gün geçtikçe artmaktadır.

Türkiye'nin biyogaz üretim potansiyeli incelendiğinde; hayvansal atık miktarı 163.297.308 (ton/yıl), bitkisel atık miktarı 176.313.301 (ton/yıl), kentsel katı atık miktarı 31.331.836 (ton/yıl) 'dır. Atıkların toplam enerji eş değeri ise; 44.228.795 (TEP/yıl)'dır (YEGM, 2019). Türkiye'nin biyogaz amaçlı, hayvansal gübrelerden elde edilebilir uçucu kuru madde miktarı 33.210,844 milyar ton/yıl (Aybek ve ark., 2015), toplam metan üretim potansiyeli 22.466 Nm<sup>3</sup>gün-1 (Kayaşoğlu ve Göncü, 2020), sadece tavuk gübresine dayalı biyogaz potansiyeli 390 milyon m<sup>3</sup>'tür (Avcıoğlu ve ark., 2013). Bu potansiyele rağmen 2019'da lisanslı hayvansal ve bitkisel atık kaynaklı biyogaz tesisi sayısı 41 olup, deponi gazından elektrik üretimi yapan tesis sayısı da 59'dur. Hayvansal atık kaynaklı lisanslı biyogaz tesisi kurulu gücü 203,4 MW, deponi gaz (evsel atıkların depolanmasıyla, anaerobik koşullarda elde edilen biyogaz) kaynaklı lisanslı tesislerin kurulu gücü ise 299,6 MW'tır (EPDK, 2019). Avrupada ise 2000'li yılların başında 6 milyon ton petrol eşdeğeri (Mtoe) değerinde biyogaz üretimi varken günümüzde bu rakam 20 milyon tonun üzerine çıkmaktadır (Akinyele ve Rayudu, 2016; Cherubini, 2010).

Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK)'nın ve Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (BEPA)'nın yayımladığı veriler ışığında Türkiye'nin biyogaz üretim potansiyeline göre kurulu güç, potansiyelin sadece küçük bir kısmı olarak değerlendirilmektedir. Biyogaz tesislerinin çevresel etkisinin artırılabilmesi için tesis sayısı da artırılmalıdır. Tesis sayısını tetikleyen unsur ise yatırımcılara cazip hale gelecek olan karlı yatırım olma durumudur. Bir biyogaz tesisinin gelir kalemleri incelendiğinde en önemli ve stabil gelir sağlayan parametre ise elektrik üretimidir. Elektrik gelirin yanı sıra tesis çıktısı olan; katı ve sıvı gübre satışı yapılması gelir miktarının artırılmasında önemli bir rol oynayabilmektedir.

Biyogaz üretim süreci sonrasında üretilen katı gübre toprak iyileştirici niteliğinde, içerisinde toprak için faydalı N, P ve K olarak bilinen azot, fosfor ve potasyum elementlerini ihtiva eden ve organik madde açısından zengin kompost gübredir (Abebe, 2017). Gübrenin tarıma yöneltmesi ve sürdürülebilir şekilde yararlanılabilmesi gerek tarım gerekse çevre değerleri açısından önemlidir. Toprak iyileştirici kompost gübre toprağın organik içeriğini artırmaktadır. Türkiye tarım topraklarının yalnız %1'i organik madde içeriği bakımından tarım yapılabilir değerlerin üzerindedir (Güçdemir, 2006). Bu durum organik gübreye olan ihtiyacı artırmaktadır. Son yıllardaki mineral gübredeki fiyat artışı ve toprak iyileştirici gübre kullanımının mineral gübreye olan ihtiyacı azaltması; bu tarz tesislerden üretilen gübreye çiftçilerin rağbet göstermesini sağlamıştır. Ancak, üretilen katı gübrenin daha değerli forma geçmesi ve tarımda kullanılabilmesi için ilave bir dizi operasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Bu operasyonlar sonucunda elde edilen organomineral gübre formuna geçebilmek için ise kompost gübreye mineral ilavesi şarttır. Çalışma ile; bir biyogaz tesisi fizibilitesi ve biyogaz tesisine ek organomineral gübre tesisinin fizibilitesi, yatırım maliyetleri, gelir-gider tabloları karşılaştırılmıştır. Böylelikle literatüre biyogaz tesislerinde elde edilen gübrelerin özellikleri, ilave edilmesi gereken mineral miktarları ve bunların maliyetleri konusunda veri tabanı oluşturmak istenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Numune toplama, hazırlama ve karakterizasyon

Bu çalışmada; büyükbaş atığı ve yumurtacı tavuk atığından elektrik üretimi yapan bir biyogaz tesisi baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılacak numuneler (Marcato ve ark., 2008)'de tarif edildiği şekilde toplanmıştır. Bir biyogaz tesisinin biyogaz üretim potansiyeli açısından yaygın olarak kullanılan hesaplama yöntemi şu şekildedir (Akbulut, 2012);

$$KM(g) = MM(g) \times (KMO(\%)/100) \quad (\text{Eş.1})$$

$$UKM(g) = KM(g) \times (UKMO(\%)/100) \quad (\text{Eş.2})$$

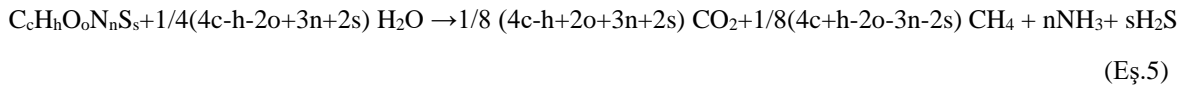
$$B\ddot{U}M (m^3/saat) = (UKM ((ton.UKM)/g\ddot{u}n) \times BMP(m^3/(ton.UKM)))/24(saat / g\ddot{u}n) \quad (E\ddot{s}.3)$$

$$BTK(kW) = B\ddot{U}M(m^3/t) \times MO(\%) \times H_{metan}(kW/m^3) \times \epsilon (\%) \quad (E\ddot{s}.4)$$

Çalışma yapılırken biyokütle üzerinden kuru madde (KM), uçucu kuru madde ve N, P, K analizleri yapılmıştır. Uçucu kuru madde (UKM) analizi SM- 2540 B, KM analizi SM 2540 D standardına göre yapılmıştır (Ubi ve ark., 2016). Eşitlik 1’de taze materyal (MM) ile kuru madde oranı (KMO) çarpılarak günlük yüklenen KM miktarı bulunmaktadır. Eşitlik 2’de ise uçucu kuru madde oranı (UKMO) ile KM miktarı çarpılarak günlük yüklenen UKM miktarı bulunmaktadır. Bu değer Eşitlik 3’te malzemenin biyolojik metan potansiyeli (BMP) ile çarpılmakta ve çıkan sonuç saatlik olarak üretilen biyogaz miktarını (BÜM) vermektedir. Eşitlik 4 ‘te BÜM ile metan oranı (MO), metanın birim enerji içeriği ( $H_{metan}$ ) ve gaz motoru elektriksel verimi ( $\epsilon$ ) çarpılarak biyogaz tesis kapasitesi hesaplanmaktadır. Hayvansal atıkların kuru madde oranı reaktör içinde karıştırılmaya uygun olmadığı için simülasyonda ilave su ekleneceği kabul edilmiştir. N, P, K analizleri ise; Toplam N, mikro Kjeldhal’in metoduna göre; Fosfor, amonyum molibdat mavisi yöntemi ile; Potasyum EDTA titrasyonu alev fotometresinde Kalsiyum (Ca) ve Magnezyum (Mg) ile belirlenmiştir (Wendland, 2012). Karbon, hidrojen, oksijen, kükürt oranları ASTM D 5373 standardına uygun olarak analiz edilerek bulunmuştur.

## 2.2. Biyometan potansiyel testi hesapları

Hammaddelere yönelik analizler pratik olarak bire bir yapılırken, hammaddelerden biyogaz üretimi ve çıkacak gübrenin nitelikleri ampirik olarak hesaplanmıştır. BMP değeri, Buswell yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır (Symons ve Buswell, 1933). Biyokütlenin biyogaza dönüşümünü teorik olarak ortaya koyan eşitlik, denklik 5’te verilen şekilde bulunur. Elementer analiz sonucunda elde edilen değerler denklik 6 da yerine konulduğunda metan ( $CH_4$ ) ve denklik 7’de yerine konulduğunda karbondioksit ( $CO_2$ ) oranı hesaplanabilmektedir.



$$Biyokütleden elde edilecek CH_4 oranı = \frac{1}{8}(4c+h-2o-3n-2s) \quad (E\ddot{s}.6)$$

$$Biyokütleden elde edilecek CO_2 oranı = \frac{1}{8}(4c-h+2o+3n+2s) \quad (E\ddot{s}.7)$$

## 2.3. Kapasite tayini

Kurguya göre çiftliklerden gelen hayvansal atık ön depoya alınır. Ön depoya alınan atık istenilen kuru madde oranına göre düzenlemeleri yapılır. Kuru maddesi ayarlanmış ürün üreteçlere (reaktörlere) yüklenilir. Uygun bekleme sürelerinde (HRT; Hydrolic retention time) bakterilerin çoğalması sağlanır. Metagenosiz bakterileri ile %50-%60 metan içeren biyogaz üretilir (Bogner, 1992). Biyogaz gaz şartlandırma ünitelerinden geçirilerek saflaştırılır ve kojenerasyon ünitesine gönderilir. Gaz motoru vasıtasıyla da elektrik üretimi gerçekleştirilir. Reaktör sonrasındaki hammadde ise; separatöre gönderilerek, katı ve sıvı faz olarak ikiye ayrıştırılır (Sreekrishnan ve ark., 2004). Üretilen gübre toprak açısından faydalı N, P, K ve organik madde miktarı olarak zengin bir üründür (Brown ve ark., 2007). Biyogaz tesisine ait proses akış diyagramı Şekil 1’de verilmiştir.

Organomineral tesisinde, sıvı gübre dekarbonizasyon ve stripping proseslerinden işlenmesiyle azot elementince zengin amonyaklı su elde edilir. Separatör sonrasında üretilen yaklaşık %25 kuru madde içeriğine sahip katı gübre ise kompost ünitesinde %55 kuru maddeye ulaşıncaya dek bekletilir. Komposttan çıkan katı gübre ile stripping sonrası amonyaklı su, homojenizatöre DAP (Di amonyum fosfat) eklenerek karıştırılır. Granülatör ve kurutma vasıtası ile de %85 kuru madde içeriğine sahip organomineral gübre üretimi gerçekleştirilir. Organik gübre ve organomineral gübre üretim tesislerine ait kütle akış şemaları Şekil 2 ve 3’te verilmiştir.

Bu çalışma tesis çıktısı olan gübre, 3 şekilde değerlendirilebileceği göz önünde bulundurularak kurgulanmıştır. İlk opsiyonda üretilen gübre satılmadan direkt tarımda kullanılır, ikinci opsiyonda katı organik gübre olarak satılır, diğer opsiyonda içerisine gerekli ilaveler yapılarak organomineral gübre formuna dönüştürülüp satılır. Bu kapsamda gübrenin organomineral gübre değerlerine gelmesi için gerekli ilaveler ve miktarları hesaplanmıştır, bu ilavelerin operasyonel giderlere etkisi incelenmiştir.

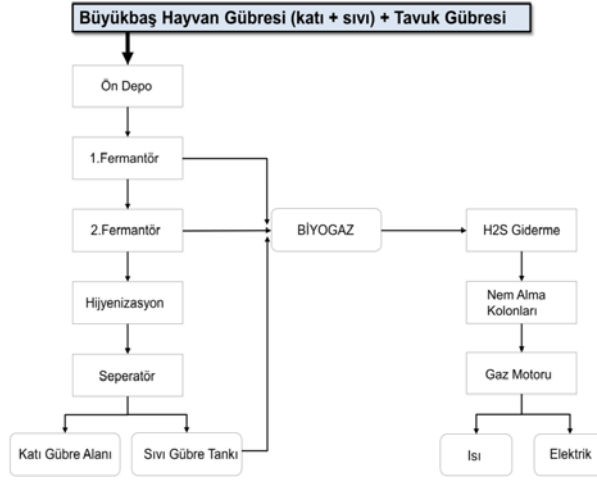


Figure 1. Biogas plant process flow chart

Şekil 1. Biyogaz tesisi proses akış şeması

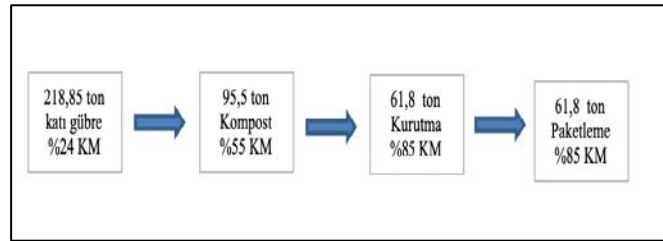


Figure 2. Organic fertilizer production plant mass flow chart

Şekil 2. Organik gübre üretim tesisi kütle akış şeması

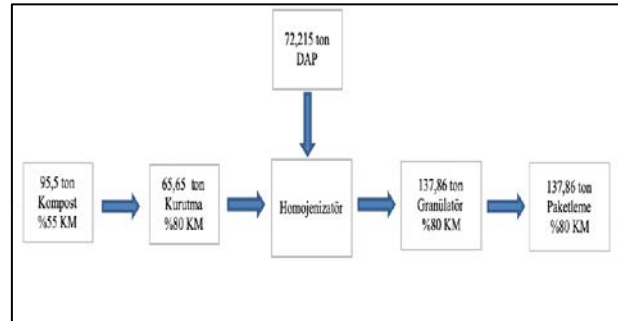


Figure 3. Organomineral fertilizer production plant mass flow chart

Şekil 3. Organomineral gübre üretim tesisi kütle akış şeması

#### 2.4. Fizibilite hesaplama metodolojisi

Bir yatırımın geri ödeme süresinin (amortisman) hesaplanması için, aşağıdaki 3 unsura ihtiyaç bulunmaktadır (Marcato ve ark., 2008). Bunlar; Yatırım bedeli (CAPEX), Gelirler ve Giderlerdir (OPEX).

$$\text{Amortisman süresi (yıl)} = (\text{CAPEX}) / (\text{FAVÖK}) \quad (\text{Eş.8})$$

$$\text{Favök} = \text{Gelirler} - \text{Giderler} \quad (\text{Eş.9})$$

$$\text{Faliyetten doğan nakit akım} = \text{Favök} - \text{Vergi} \quad (\text{Eş.10})$$

Yıllık elektrik geliri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{EÜM} = \text{Kojenerasyon kapasitesi} \times \omega \times \gamma \quad (\text{Eş.11})$$

$$\gamma = (\text{Tam kapasite oranı} - \text{İç tüketim oranı}) \quad (\text{Eş.12})$$

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Numune toplama, hazırlama ve karakterizasyon sonuçları

Yumurtacı tavuk çiftliği gübresi ile büyükbaş hayvan gübresine ait numunelere ait karakterizasyon sonuçları *Tablo 1* ve *2*'de verilmiştir. Separatör sonrasındaki katı ve sıvı gübrenin beklenen analiz sonuçları ise *Tablo 3*'te yer verilmiştir (Gedik ve ark, 2005).

Analiz sonuçları incelendiğinde sonuçların literatür değerlerinin paralelinde değerler olduğu görülmüştür. Tang ve ark. (2005)'nin yılında yaptıkları çalışmada büyükbaş hayvan gübresinin karbon değeri %38-40, azot değeri ise %2,30-2,50 aralığında değişmiştir. Bavariani ve ark. (2019)'nin tavuk gübresi üzerinde yapmış oldukları analizlerde ise karbon değerini %40-42, azot değerini ise %3,80-4,70 aralığında bulmuşlardır.

**Tablo 1. Yumurtacı tavuk gübresi elementer analizi**

*Table 1. Elemental analysis of laying chicken manure*

Elementer Analiz (%)	Atom ağırlığı (gr.mol <sup>-1</sup> )	Molekül Bileşenleri	
C	42,3	12	3,53
N	4,55	14	0,33
H	3,97	1	3,97
S	0,3	32	0,01
O	27,97	16	1,75

**Tablo 2. Büyükbaş hayvan gübresi elementer analizi**

*Table 2. Elemental analysis of cow manure*

Elementer Analiz (%)	Atom ağırlığı (gr.mol <sup>-1</sup> )	Molekül Bileşenleri	
C	41,07	12	3,42
N	2,63	14	0,19
H	4,79	1	4,79
S	0,4	32	0,01
O	26,87	16	1,68

**Tablo 3. Separatör sonrası üretilen katı ve sıvı gübrenin nütrient analizi**

*Table 3. Nutrient analysis of solid and liquid fertilizer produced after separator*

	TS (%)	N (kg.m <sup>-3</sup> )	NH <sub>4</sub> (kg.m <sup>-3</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg.m <sup>-3</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg.m <sup>-3</sup> )
Sıvı faz	5,7	4,9	3,1	2	5,4
Katı Faz	24,3	5,8	2,7	5	5,8

#### 3.2. Kapasite tayini sonuçları

Güç ünitesi kapsamında 2 adet %40 elektriksel verimle çalışan 1.500 kWe kapasiteli gaz motoru kullanılacaktır. Mezofilik şartlarda gaz üretimi yapılacak olup, sürekli karıştırılmalı (CSTR) tip 4 adet reaktör kullanılacaktır. Hidrolik bozunma süresi olarak (HRT) 34 gün seçilmiştir. Tesise günlük olarak 345 ton büyükbaş hayvan gübresi, 260 ton tavuk gübresi ve 200 ton taze su ilavesi yapıldığı düşünülmüştür. *Tablo 1, 2 ve 3*'teki verilerin Buswell eşitliğinde yerine konularak yapılan hesaplama sonuçları *Tablo 4*'te verilmiştir. *Tablo 4*'teki elektrik üretimi kapasitesine yaklaşık olarak %8 oranında üretim verim kaybı kabulü yapılarak biyogaz tesisinin kapasitesi olarak 3 MW belirlenmiştir.

Günlük olarak 805 ton taze materyal sisteme beslenirken, kütle denklemleri yoluyla yapılan hesaplamalar sonucunda separatör sonrasında 218,85 ton katı gübre elde edilebileceği hesaplanmıştır. Sıvı gübre dekarbonizasyon ve stripping proseslerinden işlenmesiyle ise 4,4 ton/gün %35 oranında azot elementine sahip amonyaklı su elde edilir. Kompostlaştırma işlemi sonrasında %25 KM değerinden %55 KM değerine çıkarılmış



95,5 ton kompost gübre elde edilir. Kompost gübrenin katı gübre olarak paketlenip satılabilmesi için kurutma işlemi ile %85 KM değerine çıkarılması gerekir. Kurutma sonucunda 61,8 ton organik katı gübre elde edilmiş olur.

Organomineral tesisi, organik katı gübre tesisinden kompostlaştırma işlemi sonrasında farklılaşır. Gübrenin zenginleştirilmesi amacıyla sıvı gübrenin içerisinde elde edilen amonyaklı su ile satın alınan DAP kimyasalı karıştırılarak gübreye eklenir. Bu işlemin yapılabilmesi için gübrenin %80 katı oranına kadar kurutulması gerekir. Kurutulan gübre ile ilave edilen DAP ve amonyaklı su bir homojenizatörde homojenize edilir. Homojenizasyon sonrasında sıradaki işlemler; granül haline getirme ve paketleme işlemleridir. Bu prosesler sonucunda 137,86 ton organomineral gübre satılabilecek forma gelmiş olur.

### 3.3. Fizibilite hesaplama sonuçları

3 MW elektrik üretim kapasiteli bir biyogaz tesisinin ilk yatırım maliyeti 6.270.000 USD'dir. Yatırıma ait detaylar *Tablo 5*'te verilmiştir. Direkt tesis maliyeti, toplam maliyetin %51'lik kısmına tekabül etmektedir. Geri kalan kısım ise indirekt maliyetler, yüklenici karı ve beklenmedik durumların oluşturabileceği maliyetlerdir. Bu hesaplar yapılırken enerji nakil hattının tesise 1 km uzakta olduğu kabulü yapılmıştır. Enerji nakil hattının tesise daha uzak olması durumunda bu maliyet yaklaşık olarak 50.000 USD/km artış gösterebilmektedir. Ancak, yapılan enerji nakil hattı harcaması 2 yıl içerisinde devletten geri alınabilmektedir. Bu sebeple, enerji nakil hattının uzamasının 10 yıllık bazda geri ödeme süresine etkisi sınırlı kalacaktır. Biyogaz tesisine organik gübre tesisi ilave edildiğinde ilk yatırım maliyeti 11.178.000 USD, organomineral gübre tesisi ilave edildiğinde ilk yatırım maliyeti 18.677.400 USD'ye çıkmaktadır. Bu durumda birim kW başına maliyetler sırasıyla; 2.090 \$/kWe, 3.726 \$/kWe, 6.225 kWe olmaktadır. Diğer yenilenebilir enerji tesislerinin birim maliyetleri ile kıyaslandığında özellikle organomineral gübre ilaveli tesisin maliyetinin diğer yenilenebilir enerji tesislerine göre nerdeyse 10 kat fazla olduğu göze çarpmaktadır. Örnek verilecek olursa; güneşe dayalı bir tesisin ilk yatırım bedeli yaklaşık olarak 600.000 USD mertebesinde (Vekil ve Özyiğit, 2020). Bu durum bize tesisin artık bir enerji üretim odaklı bir tesis olmaktan çok gübre üretimi odaklı bir tesis olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Biyogaz tesisi yenilenebilir enerji kaynağı olarak düşünüldüğünde en önemli gelir kaynağı elektrik üretimi olmaktadır. Çalışmada elektrikten elde edilecek kazanç hesabı için 2021 yılı ortalama elektrik birim (MWh) fiyatı ortalama USD/TL kuru üzerinden çevrilerek hesaplanmış ve yaklaşık olarak 55,6 USD olarak alınmıştır (EPİAŞ, 2022). Yıllık gübre geliri incelendiğinde ise günlük 61,8 ton katı organik gübre ya da 137,86 ton organomineral gübre üretimi beklenmektedir. Organik gübrenin birim fiyatı olarak 75 \$/ton ve organomineral gübrenin birim fiyatı olarak 500 \$/ton olarak belirlenmiştir. 3 MWh kapasiteli bir biyogaz tesisinin yıllık çalışma süresi 7.000 saat olarak alınabilir (Walla ve Schneeberger, 2008). Tesis iç tüketimi üretilen elektrikten karşılanmak zorundadır. Bu sebeple elektrik üretiminin biyogaz tesisinde %10'u, biyogaz ve organomineral gübre tesisinde ise; %40'ı enerji tüketim gideri olarak hesaplara katılmıştır.

Tesis giderleri *Tablo 6*'da verilen değerler üzerinden hesaplanmıştır. Tesis işletme giderlerinde hammadde maliyeti olarak gübrelerin yaklaşık olarak ortalama 50 km uzaklıktan taşındığı düşünülmüştür. Taşıma maliyeti olarak 1 \$/ton ve ham su maliyeti 0,2 \$/ton kabul edilmiştir. Kendi gübresini kendi üreten bir tesis olduğunda bu giderin olmayacağı veya daha uzak mesafelerden atık taşındığında ise giderin artacağı unutulmamalıdır. Çevre mevzuatı gereği atık bertaraf tesisi konumundaki bu tesislerin atık bertaraf gelirleri de olmalıdır. Ancak, ülkemizde henüz böyle bir gelir alabilen bir tesis olmadığı için atık bertaraf ücreti geliri yok olarak kabul edilmiştir. Çoğu ülkede biyokütleyle dayalı biyogaz tesislerinin sadece elektrik satışı ile ve herhangi bir ilave destek olmadan kar ettirilebilmesi zor olduğu bilinmektedir. Bunun sebebi ise atığın taşıma maliyetleridir (Yabe, 2013). Yapılan hesaplarda da dünya geneline paralel değerler elde edilmiştir ve benzer sonuca varılmıştır. Tesiste 16 kişi çalışacağı düşünülmüştür. Bu kişilerin dağılımı şu şekildedir; 1 genel müdür, 1 muhasebeci, 1 lojistik müdürü, 3 adet mühendis, 3 adet teknisyen, 4 adet güvenlik personeli ile 3 adet şoför çalışan. Genel müdür birim maliyeti 1500 \$/ay iken diğer işçilerin ortalama maliyeti 600 \$/ay olarak alınmıştır. Bakım maliyeti olarak gaz motorunun ve diğer ekipmanların ayrı ayrı maliyetleri alınıp toplanmıştır. Gaz motoru bakım maliyeti olarak 0,020 \$/kWh, diğer bakım maliyeti olarak ise 0,006 \$/kWh değeri alınmıştır (Caresana ve ark., 2011). Tesisin ilk devreye alınmasında gübrenin fermantasyon sıcaklığına getirilmesi gerekmektedir. Bu kapasitede bir tesisin ilk ısıtma maliyetinin 20.000 \$ olacağı tahmin edilmiştir. Dağıtım bedeli ve yıllık lisans bedelleri EPDK'nın belirlemiş olduğu fiyatlar üzerinden hesaplanmıştır.

**Tablo 4. Buswell yöntemi ile elektrik üretim kapasitesi hesaplama sonuçları**

Table 4. Electricity production capacity calculation results with buswell method

Atık Tipi	Miktar (ton.gün <sup>-1</sup> )	CH <sub>4</sub> Miktarı (ton.gün <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> Miktarı (ton.gün <sup>-1</sup> )	CH <sub>4</sub> Oranı (%)	CO <sub>2</sub> Oranı (%)	Elektrik Üretim Kapasitesi (kWh)
Büyükbaş hayvan gübresi	345,00	1,82	1,61	53,08	46,92	1.320,75
Yumurtaçı tavuk gübresi	260,00	1,70	1,83	48,16	51,84	1.927,82
					<b>TOPLAM</b>	<b>3.248,57</b>

**Tablo 5. Biyogaz tesisi maliyeti**

Table 5. Biogas plant cost

Biyogaz tesisi maliyeti	Birim Tutar (\$)	Yüzde (%)
A. Tesis direkt toplam maliyeti (TDM)	3.200.000	51,0
1. Ekipman maliyetleri		
2. Montaj maliyeti		
3. Borulama maliyeti		
4. Enstrümantasyon maliyeti		
5. İzolasyon maliyeti		
6. Elektriksel maliyetler		
7. Enerji nakil hattı maliyeti		
8. Destek ünite maliyetleri		
B. Tesis indirekt toplam maliyeti (TİM)	1.900.000	30,3
1. Mühendislik maliyeti		
2. İnşaat maliyeti		
C. Yüklenici ücreti ve beklenmedik durum maliyeti (YM)	1.170.000	18,7
1. Yüklenici ücreti		
2. Beklenmedik durum maliyeti		
<b>D. Toplam yatırım maliyeti (TYM=TDM+TİM+YM)</b>	<b>6.270.000</b>	<b>100</b>

**Tablo 6. Biyogaz ve organomineral gübre tesisi işletme giderleri tablosu**

Table 6. Biogas and organomineral fertilizer plant operating costs

İşletme Giderleri	Miktar (\$/yıl)	Oran (%)
A. Biyogaz tesisi işletme giderleri	1.001.270	%7,5
1. Hammadde maliyeti		
2. Ham su maliyeti		
3. Personel maliyeti		
4. Bakım maliyeti		
5. Devreye alma maliyeti		
6. Dağıtım bedeli		
7. Yıllık lisans bedeli		
8. Sigorta bedelleri		
9. Ofis giderleri		
B. Gübre tesisi işletme giderleri		
1. DAP maliyeti	12.392.094	%92,5

Tesis gelirleri hesaplandığında biyogaz tesisinin sadece elektrik geliri 2.513.700 \$/yıl'dır. Organik gübre gelirinin de ilavesiyle bu değer 4.205.475 \$/yıl'a, organomineral gübre geliri ilavesiyle ise 26.835.250 \$/yıl'a çıkmaktadır. Organomineral gübrenin getirdiği gelir artışı çok dramatiktir. Böylece tesisin yenilenebilir enerji tesisi olmaktan gübre üretim tesisi olmaya geçişi net olarak göze çarpmaktadır. Tablo 7'de sadece biyogaz tesisi ile çeşitli gübre tesisi opsiyonlarının fizibilite değerleri karşılaştırılmıştır. 3 MW hayvansal atıklı bir biyogaz tesisinin basit geri ödeme süresi 6,01 yıl, biyogaz tesisine ek organik gübre ve organomineral gübre tesisinin basit geri ödeme süresi 4,24 ve 1,69 yıl olarak saptanmıştır. Biyogaz tesisinin geri ödeme süresi 6 yıl çıkmış olmasına



rağmen dünya üzerinde benzerlerinin 8 yıl gibi daha uzun süreli değerlere sahip olduğu düşünüldüğünde nispeten uygundur sonucuna varılabilir (Mel ve ark, 2015). Tesisin geri ödeme süresi veya fizibilitesinin yanında sürdürülebilirliği de önemlidir. Baulomanti ve ark.'nın da araştırmalarında belirttiği gibi bir biyogaz tesisinin sürdürülebilirliğini etkileyen en önemli faktör gübre yönetimi olmaktadır (Baulomanti ve ark., 2013).

**Tablo 7. Fizibilite Karşılaştırmaları**

*Table 7. Feasibility comparisons*

	<b>Biyogaz Tesisi Fizibilitesi (Sadece elektrik satış geliri)</b>	<b>Biyogaz Tesisi + Organik Katı Gübre Üretim Tesisi Fizibilitesi</b>	<b>Biyogaz Tesisi + Organomineral Gübre Üretim Tesisi Fizibilitesi</b>
<i>Yatırım Maliyeti (\$/yıl)</i>	6.270.000	11.178.000	18.677.400
<i>Giderler (\$/yıl)</i>	1.001.270	1.001.270	13.204.200
<i>Gelirler (\$/yıl)</i>	2.513.700	4.205.475	26.835.250
<i>Vergi (\$/yıl)</i>	469.698	566.333	2.601.694
<i>Faaliyetten Doğan Nakit Akım (\$/yıl)</i>	1.042.732	2.637.872	11.029.356
<b>GERİ ÖDEME SÜRESİ (yıl)</b>	<b>6,01</b>	<b>4,24</b>	<b>1,69</b>

#### 4. Sonuç

Çalışma ile Türkiye'deki organik atıkların değerlendirilmesi, toprağa geri kazandırılması ve enerji tüketiminde dışa bağımlılığının azaltılması maksadıyla biyogaz tesis sayısının artırılmasının önemi vurgulanmıştır. Biyogaz tesislerinin çıktısı olan organik gübrenin tarımsal arazilerde değerlendirilmesi gerekmektedir. Hayvancılık ve tarımın arasında biyogaz tesisinin bir köprü görevi oluşturması beklenmektedir. Organomineral ve organik gübre pazarının yaygınlaşması ve sıfır atık politikalarıyla birlikte; kimyasal gübrelerin kullanımının git gide azalması, toprağın ve tarımın faydasına olacaktır.

Biyogaz tesislerinde elektrik satışına ek gübre satışının da yapılması geri ödeme sürelerini kısaltıp yatırımcıyı bu alanlara teşvik edecektir. Çalışmada; her ne kadar yatırım miktarı büyümüş olsa da tesis geri ödeme süresinin 6,01 yıldan 1,69 yıla indirgenebildiği ortaya konulmuştur. Ancak, geri ödemesi süresinin azalmasına karşılık ilave olarak sisteme eklenecek DAP maliyeti biyogaz tesis maliyetlerini yaklaşık olarak %92,5 oranında artırmıştır. Organomineral tesisinin işletme giderlerini yüksek oranda artırması ile gübrenin satılamaması durumunda nakit akışında büyük bir risk doğurabileceği gözden kaçırılmamalıdır.

## Kaynakça

- Abebe, M.A. (2017). Characterization of sludge from a biogas reactor for the application bio-fertilizer. *International Journal of Scientific Engineering and Science*, 1(3):12–16.
- Akbulut, A. (2012). Techno-economic analysis of electricity and heat generation from farm-scale biogas plant: Çiçekdağı case study. *Energy*, 44(1):381–390.
- Akinyele, D.O., Rayudu, R.K. (2016), Strategy for developing energy systems for remote communities: insights to best practices and sustainability. *Sustain Energy Technol Assessments*, 16:106-127.
- Avcıoğlu, O.A., Çolak, A., Türker, U. (2013). Türkiye'nin tavuk atıklarından biyogaz potansiyeli. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(1): 21-28.
- Aybek, A., Üçok, S., İspir, M.A., Bilgili, M.E. (2015). Türkiye'de kullanılabilir hayvansal gübre ve tahlıl sap atıklarının biyogaz ve enerji potansiyelinin belirlenerek sayısal haritalarının oluşturulması. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(12).
- Baulomanti, K.A., Maglio, D.S., Giuntoli, J., Agostini, A. (2013). Influence of different practices on biogas sustainability. *Biomass and Bioenergy*, 53:149-161.
- Bavariani, M.Z., Ronaghi, A., Ghasemi, R. (2019). Influence of pyrolysis temperatures on FTIR analysis, nutrient bioavailability, and agricultural use of poultry manure biochars. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(4):402–411. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1563101>
- Bogner, J.E. (1992). Anaerobic burial of refuse in landfills: increased atmospheric methane and implications for increased carbon storage. *Ecological Bulletins*, 98-108.
- Brown, B.B., Yiridoe, E.K., Gordon, R. (2007). Impact of single versus multiple policy options on the economic feasibility of biogas energy production: Swine and dairy operations in Nova Scotia. *Energy Policy*, 35(9):4597–4610.
- Caresana, F., Comodi, G., Pelagalli, L., Pierpaoli, P., Vagni, S. (2011). Energy production from landfill biogas: An Italian case. *Biomass and Bioenergy*, 35(10):4331-4339.
- Cherubini, F. (2010). The biorefinery concept: using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Convers Manage*, 51:1412-1421.
- Eryılmaz, T., Yesilyurt, M.K., Gokdogan, O., Yumak, B. (2015). Determination of biogas potential from animal waste in Turkey: a case study for Yozgat Province. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(4):106-111.
- EPDK, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu. (2019). <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-72/elektrikyekdem> (Erişim Tarihi: 10.04.2022).
- EPİAŞ, (2022). <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/piyasalar/gop/ptf.xhtml> (Erişim Tarihi: 09.04.2022).
- Gedik, T., Akyüz, K.C., Akyüz, İ. (2005). Yatırım projelerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi (iç karlılık oranı ve net bugünkü değer yöntemlerinin incelenmesi). *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7(7):51–61.
- Güçdemir, İ.H. (2006) Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. Güncelleştirilmiş ve Genişletilmiş 5. baskı. Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 231, Teknik yayın no: T.69, Ankara
- Kayıoğlu, B., Göncü, S. (2020). Determination of commercially available biogas production capacity and effects on methane capture in Tekirdağ province. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(3): 445-455.
- Marcato, C.E., Pinelli, E., Pouech, P., Winterton, P., Guisresse, M. (2008). Particle size and metal distributions in anaerobically digested pig slurry. *Bioresource Technology*, 99:2340-2348.
- Mel, M., Yong, A.S.H., Ihsan, Z.I., Setyobudi, R.H., (2015). Simulation study for economic analysis of biogas production from agricultural biomass. *Energy Procedia*, 65:204–214.
- Symons, G.E., Buswell, A.M. (1933). The methane fermentation of carbohydrates1, 2. *Journal of the american chemical society*, 55(5):2028-2036.
- Sreekrishnan, T. R., Kohli, S., Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review. *Bioresource technology*, 95(1):1-10.
- Tang, J., Maie, N., Tada, Y., Katayama, A. (2005). Characterization of the maturing process of cattle manure compost. *Process Biochemistry*, 41(2):380-389.
- Ubi, W., Ubi, G.M., Akpan-Idiok, A.U., Okweche, T. (2016). Nutrient dynamics in vegetative propagules of pineapple (*Ananas comosus*) cultivar as influenced by post N: P: K fertilizer application in Southern Nigeria. *International Journal of Academic Research and Development*, 1(7):2455–4197.
- Vekil, S., Özyiğit, F.Y. (2020). Sivas ilinin farklı ilçelerinde şebeke bağlantılı güneş enerji santrallerinin tasarımı ve analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20:425-437.
- Yabe, N. (2013), Environmental and economic evaluations of centralized biogas plants running on cow manure in Hokkaido, Japan. *Biomass and Bioenergy*, 49:143-151. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.12.001>.

YEGM, Yenilenebilir Enerji Genel M¼d¼rl¼g¼, T¼rkiye Biyok¼tle Enerji Potansiyeli Atlası. (2019). <http://bepa.yegm.gov.tr> (Erişim Tarihi: 10.01.2020)

Walla, C., Schneeberger, W. (2008). The optimal size for biogas plants. *Biomass and Bioenergy*, 32(6):551-557.

Wendland, M. (2012). Biogasg¼rreste Einsatz von G¼rresten aus der Biogasproduktion als D¼ngemittel. *Arbeitsgemeinschaft Landtechnik*, (1):15.