



## Türkiye'nin endüstriyel elektrik tüketimine yönelik depolama gazı enerji potansiyeli

### Landfill gas energy potential towards Turkey's industrial electricity consumption

Burhan Baran<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup> İnönü Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya, Türkiye

#### Özet

Bu çalışmada Türkiye'deki kentsel katı atıklardan elde edilen metan gazına bağlı elektrik üretiminin endüstriyel elektrik tüketimini karşılama oranı üzerine bir tahmin çalışması yapılmıştır. Tahminler yapılırken matrix laboratory (Matlab) ortamında yazılan eğri uydurma yöntemi, holt linear trend yöntemi ve excel tahmin sayfası uygulaması kullanılmıştır. Çalışmalar sonucunda en düşük ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) değerleri nüfus için % 0.07, kentsel katı atık (KKA) için % 16.6 ve endüstriyel elektrik tüketimi (EET) için % 5.9 olarak elde edilmiştir. Yıllar içinde oluşacak metan gazı miktarını hesaplamak için ise Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) v.3.02 kullanılmıştır. Model tarafından hesaplanan metan gazı verileri dikkate alınarak 2017-2025 yılları arasında elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarının tahmini yapılmıştır. Elde edilen değerlere göre 2025 yılında metan gazından elde edilebilecek elektrik enerjisinin 2155.55 GWh olacağı, bu üretim değeri ile EET'nin % 1.464'lük kısmının karşılanabileceği tahmin edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Depo gazı, Dağıtık üretim, Endüstriyel elektrik, Enerji geri kazanımı, Kentsel katı atık

#### 1 Giriş

Dünya nüfusunun çoğu kentlerde yaşamayı tercih etmektedir. Bu tercihe bağlı olarak kentlerdeki nüfus ve KKA miktarı sürekli artış göstermektedir. KKA miktarındaki bu artış ise sosyo-ekonomik ve çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Ortaya çıkan çevresel sorunlardan biri KKA'ların bertaraf edilmesi konusudur. Bunun yanında, nüfus ve ekonomik refah düzeyinin artışına bağlı olarak elektrik enerjisi tüketimi de sürekli artış göstermektedir. Dünyadaki elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık % 24.2'si doğalgazdan, % 29'u kömürden karşılanmaktadır. Petrolden karşılanma oranı ise % 32.8 civarındadır. Geriye kalan % 14 civarındaki ihtiyaç ise yenilenebilir ve hidro enerji kaynakları tarafından sağlanmaktadır. En büyük karşılama oranına sahip fosil enerji kaynaklarının yakın gelecekte dünyanın enerji ihtiyacını karşılayamayacağı konusunda görüş birliği söz konusudur. Bu açıdan bakıldığında katı atıktan enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıma sunulması gerekmektedir [1-4]. Atık depolama alanlarındaki KKA'lar

#### Abstract

In this study, an estimation study had been made on the rate of meeting industrial electricity consumption of electricity generation based on methane gas obtained from municipal solid waste in Turkey. While making estimates, curve fitting method written in Matrix laboratory (Matlab) environment, holt linear trend method and excel forecast sheet application were used. As a result of the studies, the lowest Mean absolute error percentage (MAPE) values were obtained as 0.07% for the population, 16.6% for municipal solid waste (MSW) and 5.9% for industrial electricity consumption (IEC). Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) v.3.02 was used to calculate the amount of methane gas to be generated over the years. Considering the methane gas data calculated by the model, the amount of electrical energy that could be obtained between 2017-2025 was estimated. According to the values obtained, it was estimated that the electrical energy that could be obtained from methane gas in 2025 would be 2155.55 GWh, and with this generation value, 1.464% of IEC could be met.

**Keywords:** Landfill gas, Distributed generation, Industrial electricity, Energy recovery, Municipal solid waste.

elektrik üretiminde kullanılabilen metan gazı içermektedirler. KKA bulunan atık depolama sahalarında gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda biyogaz oluşmaktadır. Bu gaz depo gazı olarak da adlandırılmaktadır. Depo gazı içeriğindeki metan oranı % 50 iken karbondioksit oranı % 45 civarındadır. Geriye kalan % 5'lik kısımda ise hidrojen sülfür, amonyak ve metan içermeyen organikler bulunmaktadır. Bu değerler dikkate alındığında metan gazı üretimi için temel kaynak olarak atık depolama sahaları gösterilebilir. Depolama alanlarından elde edilen metan gazı, 1800-1900 kJ Nm<sup>-3</sup> arasında yüksek bir enerji potansiyeline sahiptir. Metan içeren depo gazından elektrik üretiminin iki aşaması bulunmaktadır. Birinci aşama çöp gazı depolama alanı, gaz toplama boruları, gaz arıtma tesisi ve sürekli gaz izleme sisteminden oluşan aşamadır. Depolama alanında bulunan lotlarının altında biriken depo gazı toplama sistemleri aracılığıyla toplanmaktadır. İkinci aşama ise, gazın enerji amaçlı doğrudan kullanılması aşamasıdır. Öncelikle, toplanan gaz soğutma-yoğunlaştırma ve filtreler vasıtasıyla su ve toz taneciklerinden arındırılmaktadır. Ardından gaz elektrik üretim tesisine doğru beslenmektedir. Jeneratörler

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: burhanbaran@gmail.com (B. Baran)

Geliş / Received: 13.02.2021 Kabul / Accepted: 25.09.2021 Yayımlanma / Published: 14.01.2022

doi: 10.28948/ngumuh.879785

tarafından metan gazının yakılması ile elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir [5-8].

Depo gazından elektrik üretimi ile alakalı çalışmalar yapılmıştır. Şentürk vd. [9] tarafından yapılan çalışma ile Sivas ili katı atık düzenli depolama sahasından elde edilen çöp gazı miktarı ve elektrik üretimi için kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada LandGEM modeli kullanılmıştır. Çıkan toplam gaz ve metan emisyonlarının maksimum miktarlarını sırasıyla  $7.976E+06$  m<sup>3</sup>/yıl ve  $4.068E+06$  m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplamışlardır. 2030 yılında üretilen en yüksek enerji miktarını ise 2947 kWh olarak hesaplamışlardır. Mboowave vd. [10] Dhanbad'daki üç depolama alanındaki metan konsantrasyonuna bağlı olarak elde edilebilecek enerji miktarını tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Üç depolama alanından elde edilen kentsel katı atıklardaki ortalama enerji içeriğini yaklaşık olarak 11,97 MJ/kg olarak hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda, nem ile organik atıkların bileşimi ve metan gazı emisyonlarının miktarı arasında bir ilişki olduğu, ayrıca KKA'nın kuru bazda kalorifik değerinin yaklaşık olarak 13,0 MJ/kg olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Rajaeifar vd. [11] tarafından üç farklı teknolojinin uygulanması yoluyla ve kentsel katı atığın elektrik üretimi kaynağı olarak kullanılması durumunda sera gazı emisyonundaki azalmayı tespit etmeye yönelik bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, İran'da KKA'dan yılda 5.005,4-5.545,8 GW gücün üretilebileceği ve bu sonucu göre İran'ın sera gazı emisyonunun 2030 yılına kadar % 4 azaltılabileceği tahmin edilmiştir. Das vd. [12] tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'daki altı büyük şehirde KKA'dan elde edilebilen depo gazı miktarını tahmin etmek için dört model kullanılmıştır. Bu modeller birinci derece, çok fazlı, LandGEM ve EPER'dir. Çalışma sonucunda atmosfere büyük miktarda depo gazı yayıldığı ve metandan enerji üretimi için büyük bir potansiyel olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, kentsel katı atıklarının uygun şekilde yönetilmesiyle atıkların faydalı enerjiye dönüştürüleceği sonucuna ulaşılmıştır. Yechiel ve Shevah [13] kentsel katı atıklardaki depo gazından üretilen elektrik enerjisini değerlendirmek üzere bir doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, kullanılan modelin geri dönüşünün diğer yöntemlere göre % 20 oranında daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Scarlet vd. [14] Afrika bölgesindeki depo gazlarından elde edilebilecek toplam enerji potansiyelinin tahmini üzerine bir çalışma yapmışlardır. Atıklardan ve çöp sahalarında üretilen depo gazının enerji potansiyelinin mekansal analizi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda 2025 yılında bahsi geçen bölgedeki toplam elektrik üretiminin 122,2 TWh olacağı tahmin edilmiştir. Güven [7] tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin Ege bölgesindeki bazı illerde 20 yıl boyunca katı atıkların depolanması durumunda elde edilebilecek metan gazı miktarı araştırılmıştır. Bu gazdan elde edilen elektrik enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Metan gazından elde edilebilecek elektriğin Ege Bölgesi'ndeki konut elektrik ihtiyacının bir kısmını karşılayabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Gök [5] tarafından yapılan çalışmada Niğde ilinde depolama sahasında oluşacak metan gazı ve elektrik üretim miktarları farklı modeller kullanılarak hesaplanmıştır. Gelecekteki

metan gazı potansiyelini hesaplamak için TNO, Tabasarran ve Rettenberger, Çok Fazlı Model ve ABD EPA LandGEM birinci derece modelleri kullanılmıştır. 2042 yılı için maksimum elektrik üretiminin 6,9 milyon kWh olacağı hesaplanmıştır. Özer [15], Edirne'de KKA'dan elde edilebilecek elektrik enerjisinin hesaplanması üzerine bir çalışma yapmıştır. Çöp gazından elde edilebilecek elektriğin 2045 yılında 28.673 MWh olacağı tahmininde bulunmuştur. Sarptaş [16] tarafından yapılan çalışmada, İzmir Harmandalı düzenli depolama alanında üretilen depo gazı miktarının ve bu gaz miktarını dikkate alarak LandGEM ve farklı modeller kullanılmak suretiyle enerji potansiyelini belirlemişlerdir. Maksimum enerji potansiyelinin 9,6 MW olduğu tahmin edilmiştir. Ayrıca, bu çalışmaların dışında, enerji geri kazanımı ve metan gazından elektrik üretimi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [1, 17-23].

Bu çalışma ile eğri uydurma (Matlab), holt linear (excel), tahmin sayfası (excel) uygulaması ve LandGEM kullanılmak suretiyle KKA, EET, depo gazı tahminleri, metan gazından elde edilebilecek elektrik enerjisi hesaplamaları ile bu gazdan elde edilen tahmini elektrik üretiminin toplam EET'yi karşılama oranının hesaplanması amaçlanmıştır. En düşük MAPE (%) değerini veren yöntemin gelecek yıllardaki tahmini değerleri kullanılmıştır. Bu çalışma ile literatürdeki çalışmalardan farklı olarak gelecek yıllara dair nüfus, atık miktarı ve EET tahminleri yapılarak, KKA'dan tarafından karşılama oranları belirlenmiştir. Tahmin sonuçlarının doğruluğunun ölçümünde ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) yöntemi kullanılmıştır. Model tarafından oluşacak metan gazı miktarı 2157 yılına kadar hesaplanmıştır. Elde edilen metan gazı verileri dikkate alınarak 2017-2025 yılları arasında elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı hesaplanmıştır. Bu bağlamda, tüm şehirlerde önemli ölçüde gider kaynağı olan kentsel katı atıkların elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve bu enerjinin sanayi bölgeleri elektrik enerjisi talebinde kullanılması açısından elde edilen tahmini verilerin yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Çalışmanın bundan sonraki kısmı şu bölümlerden oluşmaktadır. İkinci bölüm materyal ve metod bölümü olup, burada tahmin sayfası uygulaması, eğri uydurma, holt linear yöntemi ile LandGEM uygulamasından bahsedilmiştir. Bu yöntemler kullanılarak nüfus, KKA ve EET için en düşük MAPE (%) değerlerine göre eğriler elde edilmiştir. Bu eğriler aracılığıyla bu parametrelerin gelecek yıllardaki tahminleri yapılmıştır. İkinci bölüm bulgular ve tartışma bölümü olup, KKA'dan elde edilecek metan gazı, elektrik enerjisi miktarı ve EET'yi karşılama oranları hesaplanmıştır. Sonuç ve öneriler bölümünde ise çalışmada elde edilen sonuçların karşılaştırması yapılmıştır.

## 2 Materyal ve metod

### 2.1 Eğri uydurma

Bir fonksiyonun nokta nokta verilen değerlerine en yakın farklı bir fonksiyonun belirlenmesi problemine eğri uydurma denir [24]. Bu teknik, iki değişken arasındaki ilişkiyi en iyi temsil eden uygun bir eğri denklemini bulmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada nüfus, KKA ve EET parametrelerine ait değerlerin gelecek yıllardaki tahmini için kullanılan yöntemlerden biri de eğri uydurma yöntemi

olmuştur. Yapılan eğri uydurma çalışmalarında polinomsal denklemler Matlab ortamında yazılan eğri uydurma algoritmaları kullanılarak elde edilmiştir. Nüfus, KKA ve EET'ye ait veriler TÜİK'ten alınmıştır [25]. Eğri uydurma algoritmalarının çalıştırılması sonucunda elde edilen polinomsal denklemler kullanılarak 2017, 2018 ve 2025 yıllarına ait nüfus, KKA ve EET değerlerinin tahminleri yapılmıştır.

## 2.2 Tahmin sayfası uygulaması

Excel'deki tahmin sayfası aracı zamana göre gruplanmış geçmiş verilere göre hızlı ve kolay bir şekilde tahmin oluşturan bir öngörme aracıdır. Geçmişe ait verilerdeki mevsimselliği tanıma yeteneği ve bunu hesaba katması en önemli özelliklerinden biridir. Ayrıca, bu aracın tahminde bulunma hızı da çok yüksektir [26-28].

## 2.3 Holt linear trend yöntemi

Bu yöntem zaman serisinin ortalama ve büyüme oranının değişmesi durumunda kullanılacak uygun bir yöntemdir. Dolayısıyla modelde değişen ortalama ve büyüme oranının tanımlanması gerekmektedir. Modele ilişkin geliştirilen denklemler Denklem (1-3)'te gösterilmiştir.

$$F_{t+n} = L_t + nT_t \quad (1)$$

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (2)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (3)$$

$L_t$ ,  $t$  zamanında serinin level tahmini,  $T_t$  ise  $t$  zamanındaki zaman serisinin eğiminin bir tahminini göstermektedir.  $\alpha$ , level için bir düzeltme parametresidir olup 0 ile 1 arasında bir değer alırken,  $\beta$  trend için bir düzeltme parametresi olup 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır [29]. Bu yöntemde level ve trend değerleri belirlenirken ilk yıl için bu işlemler uygulanmaz. Bir sonraki  $x$  değeri için level ve trend değerleri belirlenirken ilk level değeri gerçek  $y$  değeri ile aynı yazılır, trend değeri ise bu  $x$  değerindeki gerçek  $y$  değerinden bir önceki  $x$  değerinin gerçek  $y$  değerinin çıkarılması ile elde edilir. Sonraki  $x$  değerleri için ise Denklem (3) uygulanır. Bu yöntem ile  $y$  değerinin tahmini yapılırken bir sonraki  $x$  değeri için tahmin yapılmaya başlanabilir (3.  $x$  değeri). Buna göre tahmini  $y$  değeri hesaplanırken bir önceki level ve trend değerlerinin toplamı alınır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayıları için genellikle 0.2, 0.22 ve 0.24 gibi değerlerin verildiği görülmüştür. Bu çalışmada da  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri 0.2 olarak seçilmiştir.

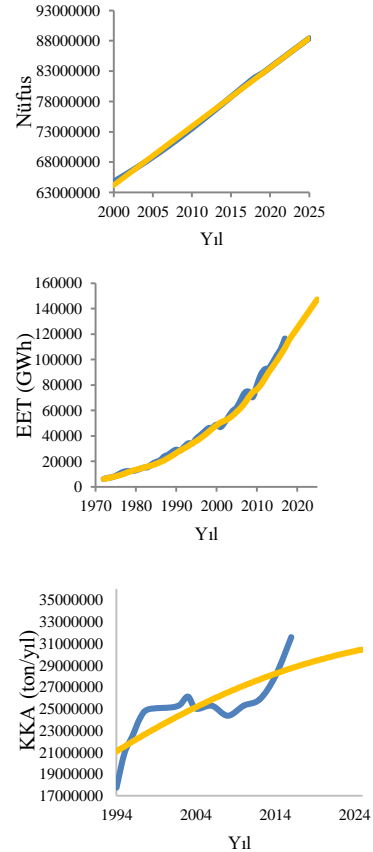
Buna göre yukarıda detayları anlatılan üç farklı yöntem ile yapılan tahminlerde elde edilen MAPE (%) değerleri Tablo 1'deki gibi elde edilmiştir. En düşük MAPE (%) değerine sahip tahmin yönteminin verileri kullanılmıştır.

Tablo 1'de kullanılan yöntemlerden holt linear trend ve tahmin sayfası yöntemleri Microsoft Excel ortamında uygulanırken, eğri uydurma algoritması Matlab ortamında uygulanmıştır.

**Tablo 1.** Tahmin yöntemleri ve MAPE değerleri

Tahmin Yöntemi	MAPE (%)		
	Nüfus	KKA	EET
Eğri Uydurma	<b>0.07</b>	<b>16.60</b>	12.02
Tahmin Sayfası	0.62	31.24	39.36
Holt Linear Trend	0.39	22.07	<b>5.90</b>

Tablo 1 incelendiğinde nüfus, KKA ve EET için en düşük MAPE (%) değerleri eğri uydurma algoritması ile elde edilmiştir. Nüfus tahminlerinde MAPE (%) değeri eğri uydurma algoritması ile 0.07 olarak hesaplanırken, buna en yakın tahmin 0.39 ile holt linear trend metodu tarafından gerçekleştirilmiştir. KKA tahmininde eğri uydurma algoritması tarafından yapılan tahminlerde MAPE (%) değeri 16.6 iken, en yakın tahmin 22.07 değeri ile holt linear trend metodu tarafından gerçekleştirilmiştir. EET tahminlerinde ise holt linear trend metodu MAPE (%) değerini 5.9 olarak hesaplamış olup, buna en yakın değer 12.02 ile eğri uydurma algoritması tarafından gerçekleştirilmiştir. Buna göre her üç parametre için gerçek ve tahmini eğriler Şekil 1'deki gibi elde edilmiştir.



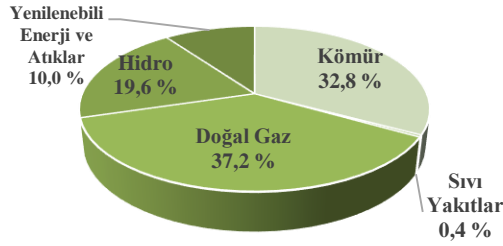
**Şekil 1.** Nüfus, EET ve KKA miktarlarına ait gerçek ve tahmini eğriler

Şekil 1'deki tahmin eğrilerine denk gelen tahmin verileri ise Tablo 2'deki gibi elde edilmiştir. Nüfus, KKA ve EET değerleri TÜİK'ten alınmıştır.

**Tablo 2.** Nüfus, EET ve KKA miktarlarına ait tahmini veriler

Yıl	Nüfus	EET (GWh)	KKA (ton/yıl)
2017	-	-	33.327.358
2018	-	115.284	33.551.128
2019	82.672.300	119.846	33.764.942
2020	83.634.000	124.408	33.968.800
2021	84.595.700	128.970	34.162.702
2022	85.557.400	133.532	34.346.648
2023	86.519.100	138.094	34.520.638
2024	87.480.800	142.656	34.684.672
2025	88.442.500	147.218	34.838.750

TÜİK [30]'ten alınan "Türkiye'de 2017 yılı için enerji kaynaklarının elektrik üretim payı" tablosuna göre 2017 yılında toplam elektrik enerjisi üretimi 297.278 GWh'tır. 2017 yılı için bu üretimin farklı enerji kaynaklarına göre yüzdelik olarak dağılımı ise Şekil 2'deki gibidir. TÜİK, "Yenilenebilir enerji ve atıklar" başlığını ise "Yenilenebilir enerji ve jeotermal, güneş, rüzgar, katı biyokütle, biyogaz ve atık içeren atıklar" olarak detaylandırmıştır. Şekilden de görüleceği üzere "Yenilenebilir enerji ve atıklar" başlığı % 10'luk bir paya sahiptir. Bu ise 29.727,8 GWh'a karşılık gelmektedir.



**Şekil 2.** Türkiye'de 2017 yıl için enerji kaynaklarının elektrik üretim payı

Metan, yüksek enerjili temiz yanan bir gazdır ve elektrik üretiminde doğrudan kullanılabilir. Bu açıdan bakıldığında bu gazın havaya salınımı yerine enerjiye dönüştürülmesi faydalı bir çalışmadır [8]. Biyogaz, enerji üretmek için metan bakımından zengindir. Biyogaz, organik malzemelerin anaerobik biyodegradasyon sürecinin sonucudur. Tarım biyokütlesi, hayvan atıkları ve endüstriden kaynaklanan atıklar biyogaz üretimi için uygun hammadde [31, 32]. KKA'lardan biyogaz üretimi için genelde iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Birincisi, KKA'ların organik kısmının oksijensiz fermantasyonu ile biyogaz üretilmesidir. Gazın kaynağının organik atıklardan oluşması bu yöntem ile gaz üretimini diğer yöntemlere göre daha üstün kılmaktadır. Diğer yöntemde ise katı atıklar doğrudan oksijensiz fermantasyona tabi tutularak biyogaz elde edilir. Bu şekilde üretilen gaz depo gazı olarak da adlandırılmaktadır. Depo gazı, depolama alanındaki katı atıklardaki organik maddelerin kimyasal, fiziksel ve biyolojik dönüşüm süreçlerinden oluşur [14, 33]. Depo gazı

yaklaşık % 50 metan gazından, % 50 karbondioksitten oluşur [13, 34]. Bu çalışmada ikinci yöntem kullanılmıştır.

#### 2.4 LandGEM uygulaması

LandGEM modeli, KKA alanlarından kaynaklı metan ve karbondioksit gibi hava kirleticileri için emisyon oranlarını tahmin etmede kullanılan bir tahmin aracıdır. ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada Türkiye'deki KKA'lardan yıllar içinde oluşacak depo gazı ve metan gazı miktarını hesaplamak için LandGEM v.3.02 modeli kullanılmıştır. LandGEM emisyon metodoloji matematiksel olarak Denklem (4)'teki gibi tanımlanır [2, 7, 20]:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k L_0 \left( \frac{M_i}{10} \right) e^{-k t_{ij}} \quad (4)$$

$Q_{CH_4}$ = hesaplama yılındaki yıllık metan üretimi ( $m^3/yıl$ )  
 $i=1$ -yıllık zaman artışı  
 $n$ = Atık kabulü başlangıç yılı  
 $j=0,1$ -yıllık zaman artışı  
 $k$ = metan üretim oranı ( $1/yıl$ )  
 $L_0$ = potansiyel metan üretim kapasitesi ( $m^3/ton$ )  
 $M_i$ = i. yılda kabul edilen atık miktarı (ton)  
 $T_{ij}$ = i. yılda kabul edilen  $M_i$  atık kütlelerinin j. yaşı.

Modelin çalıştırılırken kullanılan parametre değerleri ise Tablo 3'teki gibidir.

**Tablo 3.** Modelde kullanılan parametreler ve değerleri

Parametre	Değer
<b>Depo Gazı Karakteristikleri</b>	
Depo gazı açılış yılı	2017
Depo gazı kapanış yılı	2025
<b>Model Parametreleri</b>	
Metan Üretim Oranı, k	0.040 ( $yıl^{-1}$ )
Potansiyel Metan Üretim Kap. ( $L_0$ )	100 ( $m^3/Mg$ )
Metan Olmayan Org. Bil. Yoğ.	1 (bir milyon hacimdeki heksan)
Metan İçeriği	50 (% hacim)
<b>Seçilen gazlar/kirleticiler</b>	
Gaz / Kirletici #1:	Toplam Depo Gazı
Gaz / Kirletici #2:	Metan
Gaz / Kirletici #3:	Karbondioksit
Gaz / Kirletici #4:	Metan Olmayan Organik Bileşik

### 3 Bulgular ve tartışma

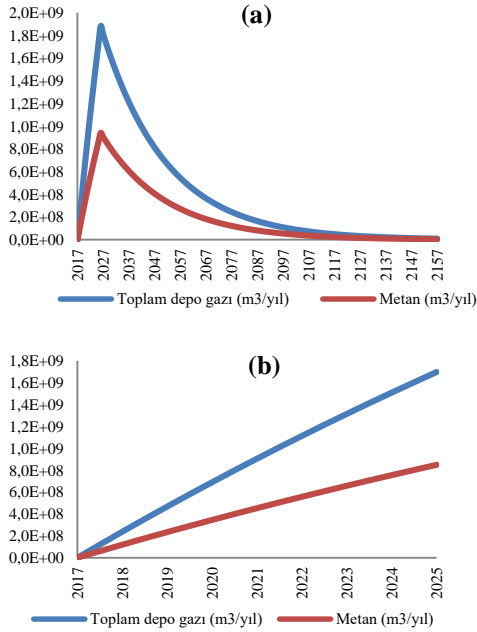
#### 3.1 KKA'dan enerji

Tablo 4'teki parametreler ve kullanılan değerler doğrultusunda LandGEM yazılımı tarafından ilgili yıllar için metan, karbondioksit ve diğer gazların değerleri hesaplanmaktadır. Çalışma yapılırken Türkiye'deki toplam KKA'nın 2018 yılından başlayarak depolanmaya başlandığı ve 2025 yılına kadar atık atıldığı kabul edilmiştir. Depolama alanı kapanış yılı da yine 2025 yılı olarak belirlenmiştir. Buna göre LandGEM uygulaması tarafından elde edilen değerler Tablo 4'teki gibi olmuştur. Tablo 4'te 2035 yılına kadarki değerlere yer verilmiştir.

**Tablo 4.** LandGEM uygulamasından elde edilen değerler

Yıl	Kabul Edilen Atık (ton/yıl)	Mevcut Atık (ton)	Toplam Depo Gazı (m <sup>3</sup> /yıl)	Metan (m <sup>3</sup> /yıl)
2017	33.327.358	0	0	0
2018	33.551.128	33.327.358	2,381E+08	1,190E+08
2019	33.764.942	66.878.486	4,684E+08	2,342E+08
2020	33.968.800	100.643.428	6,912E+08	3,456E+08
2021	34.162.702	134.612.228	9,068E+08	4,534E+08
2022	34.346.648	168.774.930	1,115E+09	5,576E+08
2023	34.520.638	203.121.578	1,317E+09	6,584E+08
2024	34.684.672	237.642.216	1,512E+09	7,559E+08
2025	34.838.750	272.326.888	1,700E+09	8,502E+08
2026	0	307.165.638	1,883E+09	9,413E+08
2027	0	307.165.638	1,809E+09	9,044E+08
2028	0	307.165.638	1,738E+09	8,689E+08
2029	0	307.165.638	1,670E+09	8,348E+08
2030	0	307.165.638	1,604E+09	8,021E+08
2031	0	307.165.638	1,541E+09	7,706E+08
2032	0	307.165.638	1,481E+09	7,404E+08
2033	0	307.165.638	1,423E+09	7,114E+08
2034	0	307.165.638	1,367E+09	6,835E+08
2035	0	307.165.638	1,313E+09	6,567E+08

LandGEM modeline göre tüm Türkiye’de oluşacak tahmini depo gazı ve metan miktarlarının yıllara göre dağılımı Şekil 3’teki gibi olmuştur.



**Şekil 3.** LandGEM modeline göre tüm Türkiye’de oluşacak tahmini toplam depo gazı ve metan miktarları (a) 2157 yılına kadar (b) 2025 yılına kadar

Sadece yedi yıllık depolama yapılacağı varsayılmıştır. Buna göre metan gazı üretimi için hesaplamalar LandGEM uygulaması tarafından 2157 yılına kadar hesaplanmıştır. En yüksek depo gazı ve metan değerleri 2026 yılında gerçekleşmiştir. Bu değerler depo gazı için  $1,883 \times 10^9$  (m<sup>3</sup>/yıl), metan için  $9,413 \times 10^8$  (m<sup>3</sup>/yıl)’dir. Grafik 2017 yılından 2026 yılına artış gösterirken, 2026 yılından 2157

yılına doğru azalış göstermiştir. Bu çalışmada kıyaslamada kullanılan 2018 ile 2025 yılları arasında inceleyecek olursak, bu yıllar içerisinde en düşük değer 2018 yılında  $1,190 \times 10^8$  (m<sup>3</sup>/yıl) iken, en yüksek değer 2025 yılında  $8,502 \times 10^8$  (m<sup>3</sup>/yıl) olmuştur. Ancak 2018 yılından 2025 yılına doğru metan üretiminin yüzdelik artışının bir önceki yıla göre düşüşler gösterdiği görülmektedir. Örneğin 2019 yılında bir önceki yıla göre metan üretimi artış oranı % 96.81 iken, 2025 yılında bir önceki yıla göre metan üretimi artış oranı % 12.48 olacağı tahmin edilmiştir.

### 3.2 Metan gazından enerji

Katı atık depolama sahalarında oluşacak depo gazının tümüyle geri kazanılması mümkün değildir. Geri kazanımı için kullanılan yöntemlerden ikisi direkt ısıtma ve elektrik üretimi yöntemleridir. Öncelikli uygulama ise elektrik üretim teknolojisi. Elektrik üretim teknolojisi ile depolama alanında oluşan gazın en fazla % 60’ı geri kazanılabilmektedir [2, 35]. Bu bölümde Tablo 4’te elde edilen metan gazı miktarına bağlı olarak elde edilen elektrik enerjisi hesaplanmıştır. Metan gazının enerji değeri yaklaşık 13.300 kcal/kg (8.720 kcal/m<sup>3</sup>) olarak bilinmektedir [7]. 1 kcal ise 1,163 Wh değere eşittir. Buna göre 2018 yılı için yapılan hesaplamalar aşağıdaki gibi olup, 2025 yılına kadarki hesaplamalar Tablo 5’te gösterilmiştir. 2018 yılında  $1,190E+08$  (m<sup>3</sup>/yıl) metan gazı oluşacağı tahmin edilmişti.

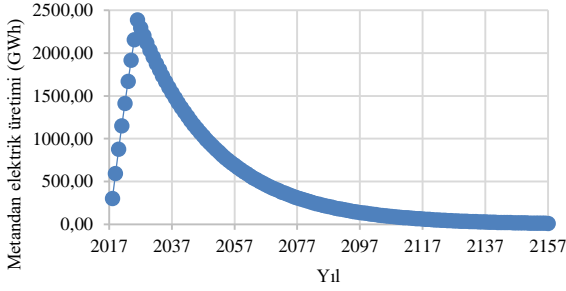
Buna göre:  
 $1,190E+08 \times 8.720 = 1.037.680.000.000$  kcal olarak hesaplanır.  
 $1.037.680.000.000 \text{ kcal} \times 1,163 = 1.206.821.840.000 \text{ Wh} = 1.206,82 \text{ GWh} = 1,21 \text{ TWh}$   
 Hesaplamalarda % 25 elektrik dönüşüm verimi dikkate alındığında;  
 $1.206,82 \text{ GWh} \times 25/100 = 301.71 \text{ GWh}$  elde edilir.

**Tablo 5.** Tahmini kabul edilen atık, metan ve elektrik üretim değerleri (2025 yılına kadar)

Yıl	Kabul Edilen (ton/yıl)	Metan (m <sup>3</sup> /yıl)	Elektrik Üretimi (GWh/yıl)
2017	33.327.358	0	0
2018	33.551.128	1,190E+08	301,71
2019	33.764.942	2,342E+08	593,78
2020	33.968.800	3,456E+08	876,21
2021	34.162.702	4,534E+08	1.149,52
2022	34.346.648	5,576E+08	1.413,71
2023	34.520.638	6,584E+08	1.669,27
2024	34.684.672	7,559E+08	1.916,46
2025	34.838.750	8,502E+08	2.155,55

Çalışmada KKA’nın 2018 yılından başlayarak depolanmaya başlandığı ve 2025 yılına kadar atık atıldığı kabul edilmiştir. Depolama alanı kapanış yılı da yine 2025 olarak belirlenmiştir. Buna göre bu yıllar içerisinde en düşük elektrik enerjisi üretim değeri 2018 yılında 301.71 (GWh/yıl) iken, en yüksek değer 2025 yılında 2.155,55 (GWh/yıl) olmuştur. Ancak metan üretimine paralel olarak elektrik üretim yüzdesi de 2018 yılından 2025 yılına doğru bir önceki yıla göre düşüş göstermiştir. Yine metan üretimine

paralel olarak elektrik üretimi de 2157 yılına kadar devam edecektir. Bu değerler Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Tahmini elektrik üretim değerleri (2017'den 2157 yılına kadar)

2018 yılından 2025 yılına eğri uydurma (MAPE (%)=0,07) nüfus sonuçlarına göre elde edilen tahmini nüfus değerleri ile aynı yıllar için depo gazından elde edilen tahmini elektrik üretim değerleri dikkate alındığında bu iki parametre arasında Denklem (5) elde edilmektedir. Bu parametrelere ait değerler Tablo 6'daki gibidir.

Tablo 6. Tahmini nüfus ve elektrik enerjisi üretim değerleri (2025 yılına kadar)

Yıl	Nüfus	Elektrik Üretimi (GWh/yıl)
2018	81.929.884	301,80
2019	82.672.300	593,79
2020	83.634.000	876,27
2021	84.595.700	1.149,51
2022	85.557.400	1.413,80
2023	86.519.100	1.669,39
2024	87.480.800	1.916,54
2025	88.442.500	2.155,48

$$MGE \text{ (GWh/yıl)} = 23.859 \times \ln(N) - 434.380 \quad (5)$$

MGE = Metan gazından elektrik enerjisi üretimi  
N = Nüfus

### 3.3 Endüstriyel elektrik tüketimi

Elektrik enerjisi, başta konutlar, sanayi, ulaşım ve sağlık sektörü olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Tüketilen enerjinin % 60'nın sanayide kullanılması ise bu sektörü elektrik kullanımı açısından ön plana çıkarmaktadır [36]. Yapılan araştırmalarda elde edilen tahmini sonuçlara göre 2030 yılında elektrik enerjisi tüketiminde büyük artışların yaşanacağı belirtilmektedir. Bu artış oranlarının ülkemizde % 100, dünyada ise % 60 oranında olacağı düşünülmektedir [37]. Türkiye'deki elektrik tüketimi sektörler bazında incelendiğinde, sanayi kaynaklı elektrik tüketiminin sürekli artış gösterdiği görülmektedir. TÜİK [38]'ten alınan 1970-2017 yılları arasındaki Türkiye elektrik tüketim verileri incelendiğinde EET oranının ortalama % 56,6 olduğu görülmektedir. En yüksek oran % 67,3 ile 1973 yılında gerçekleşirken, en düşük oran % 44,9 ile 2009 yılında gerçekleşmiştir. Ayrıca, yine aynı yıllar arası incelendiğinde

EET'nin bir önceki yıla göre artış miktarı ortalama olarak % 7,21 oranında olmuştur. 2017 yılında Türkiye'deki tüm alanlarda tüketilen net elektrik enerjisi 249.023 GWh iken, bu değer içerisindeki sanayi elektrik enerjisi tüketimi 116.543 GWh olmuştur. Bir başka deyişle, toplam tüketimin % 46,8'i sanayi sektöründe kullanılmıştır. Ayrıca, ülkemizde enerji ithalatı 2013'de % 73,5 iken enerjide dışa bağımlılık sanayileşme faaliyetlerine de bağlı olarak her geçen gün artış göstermektedir. Bu doğrultuda, Türkiye açısından özellikle sanayi sektörü için önemli bir girdi olan enerjinin karşılanmasında yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması önem arz etmektedir [39].

Tablo 7, 2018-2025 arasında düzenli depolama alanı metan gazından elde edilebilecek elektrik enerjisinin EET'yi karşılama oranını göstermektedir. Yıllar ilerledikçe karşılama oranının arttığı görülmektedir. 2018 yılında karşılama oranı % 0,262 iken, 2025 yılında bu oran 1,464'e kadar çıkmıştır. Karşılama oranı 5,59 kat artmıştır. 2018-2025 yılları arasında EET 1,28 kat artarken, KKA tarafından üretilen elektrik enerjisi 7,14 kat artmıştır. EET'deki artışın KKA tarafından üretilen elektrik enerjisine göre daha az artış göstermesine bağlı olarak metan gazından elde edilen elektriğin EET'yi karşılama oranı artış göstermektedir.

Tablo 7. KKA'dan üretilen elektriğin EET'yi karşılama oranı

Yıl	KKA Tarafından Üretilen Elektrik (GWh)	EET (GWh)	Karşılama Oranı (%)
2018	301,71	115.284	0,262
2019	593,78	119.846	0,496
2020	876,21	124.408	0,704
2021	1.149,52	128.970	0,891
2022	1.413,71	133.532	1,059
2023	1.669,27	138.094	1,209
2024	1.916,46	142.656	1,343
2025	2.155,55	147.218	1,464

Buna göre 2018-2025 yılları arasındaki tahmini KKA miktarı ile EET değerini karşılama oranı arasındaki ilişki Denklem (6)'daki gibi elde edilir.

$$KO \text{ (%) } = 31,823 \times \ln(KKA) - 551,15 \quad (6)$$

Burada KKA, Türkiye genelinde üretilen yıllık KKA miktarını gösterirken, KO ise KKA'dan üretilen toplam elektriğin EET'yi karşılama oranını göstermektedir. Buraya kadar yapılan çalışmalarda elde edilen verilere göre 2018 yılı nüfusu 82.003.882 kişi olup, bir önceki yıla göre nüfus % 1,48 oranında artış göstermiştir. KKA da nüfus gibi sürekli artış göstermektedir. KKA miktarı 2016 yılında 31.583.553 ton/yıl olurken, bir önceki yıla göre artış oranı % 12,76 olmuştur. Nüfus artış oranı ile KKA artış oranı karşılaştırıldığında KKA artış oranının nüfus artış oranından fazla olduğu görülmektedir. Türkiye elektrik tüketim verileri incelendiğinde ise EET oranının toplam tüketimin ortalama olarak % 56,6'sı olduğu görülmektedir. Bu oran en yüksek % 67,3 ile 1973 yılında gerçekleşirken, en düşük % 44,9 ile 2009 yılında gerçekleşmiştir. Türkiye'nin 2017 yılı net elektrik enerjisi tüketimi 249.023 GWh'dır. Bu tüketimin %

46,8'ini oluşturan EET 2017 yılında 116.542,6 GWh iken, bir önceki yıla göre EET'deki artış oranı % 7,48 olmuştur.

Bu çalışmada literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak parametrelerin tahminlerinde eğri uydurma, holt linear trend ve excel tahmin sayfası gibi farklı yöntem ve uygulamalar kullanılmıştır. Tahmin sonuçlarının doğruluğunun ölçümünde ise MAPE yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca literatürdeki çalışmalardan bir farkı da elde edilen enerjinin EET'yi karşılamaya yönelik bir çalışma olmasıdır. Güven [7] tarafından yapılan çalışma ile İzmir, Manisa, Aydın, Denizli, Muğla, Afyonkarahisar, Kütahya ve Uşak illeri için depo gazından yıllık ortalama elektrik enerjisi üretim tahminleri yapılmıştır. Bu değerler sırasıyla 125.98 GWh, 53.26 GWh, 30.56 GWh, 25.18 GWh, 19.47 GWh, 9.11 GWh, 6.86 GWh ve 9.12 GWh olarak elde edilmiştir. Bu elektrik değerleri ile de konut elektrik ihtiyacının % 1.6-% 5 arasında karşılanabileceğini tahmin edilmiştir. Gök [5] tarafından yapılan çalışmada 2042 yılında Niğde ili için maksimum elektrik üretiminin 6,9 milyon kWh olacağı tahmin edilmiştir. Özer [15] tarafından yapılan çalışmada 2045 yılında Edirne'de KKA'dan elde edilebilecek elektrik enerjisinin 28.673 MWh olacağı tahmin edilirken, Sarptaş [16] tarafından yapılan çalışmada ise İzmir Harmandalı düzenli depolama alanında üretilecek brüt enerjinin 223 milyon kWh/yıl olacağını tahmin edilmiştir. Bu değerlere karşılık bu çalışmada elde edilen değerlere göre Türkiye için 2025 yılında metan gazından elde edilebilecek elektrik enerjisinin 2.155,55 GWh olacağı ve bu üretim değeri ile EET'nin % 1,464'lük kısmının karşılanabileceği tahmin edilmiştir. Buradaki 2.155,55 GWh'lık elektrik enerjisi tüm Türkiye için tahmini değer olup, il bazında düşünülmesi durumunda diğer çalışmalarda elde edilen değerler ile benzerlik göstermektedir.

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışma ile Türkiye'deki tüm katı atıkların 2017-2025 yılları arasında düzenli depolama sahalarında depolanması durumunda oluşacak metan gazı miktarı ve bu gazdan elde edilebilecek elektrik enerjisinin hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan nüfus, KKA ve EET değerleri TÜİK'ten alınmıştır. Bu parametrelerin ait değerlerin gelecek yıllara ait tahminleri için eğri uydurma algoritması, tahmin sayfası uygulaması ve holt linear trend yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan tahmin çalışmalarına göre 2025 yılında nüfusun 88.442.500 kişi, KKA miktarının 34.838.750 ton/yıl, EET'nin ise 147.218 GWh olacağı tahmin edilmiştir. Metan gazı miktarının hesaplanmasında LandGEM v.3.02 modeli kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalara göre 2018-2025 yılları arasında en düşük metan üretim değeri 2018 yılında  $1,190 \times 10^8$  (m<sup>3</sup>/yıl), en yüksek değeri ise 2025 yılında  $8,502 \times 10^8$  (m<sup>3</sup>/yıl) olarak hesaplanmıştır. Bu metan gazı verileri dikkate alınarak 2017-2025 yılları arasında elde edilebilecek elektrik enerjisi üretim miktarları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda 2018 yılında metan gazından elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı 301,71 GWh olarak tahmin edilirken, bu üretim değeri ile EET'nin % 0,262'lik kısmının karşılanabileceği tahmin edilmiştir. 2025 yılında ise bu değerler 2.155,55 GWh tahmini üretim değeri ile % 1,464

olmuştur. 2018 yılı ile 2025 yılı karşılaştırıldığında karşılama oranının 5,59 kat artacağı tahmin edilmiştir. Bu sonuçlara göre KKA'ya bağlı metan gazı ile EET'nin karşılanma oranının gittikçe arttığı görülmektedir. Sonuç olarak KKA'ya bağlı metan gazından elektrik üretiminin ülkelerin sürdürülebilir kalkınmalarına ciddi katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir.

#### Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

#### Benzerlik oranı (iThenticate): %9

#### Kaynaklar

- [1] S. AlzateArias, B. Restrepo-Cuestas and A. Jaramillo-Duque, Electricity generation potential from solid waste in three Colombian municipalities. *TecnoLóicas*, 21(42), 111-128, 2018.
- [2] B. Baran, Atıksu arıtma tesislerinden elde edilen hidroelektrik üretiminin Türkiye mesken elektrik talebini karşılama oranı. *Akademik Platform, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 139-145, 2020. <https://doi.org/10.21541/apjes.503355>.
- [3] C. Görmüş, Türkiye'deki hayvan gübrelere biyogaz enerji potansiyelinin belirlenmesi, Master Thesis, Tekirdağ Namık Kemal University. 2018.
- [4] A.V.S. Melaré, S.M. González, K. Faceli and V. Casadei, Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review. *Waste Management*, 59, 567-584, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.045>.
- [5] G. Gök, Estimation of methane generation and energy potential of Niğde landfill site using first order mathematical modelling approaches. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 7(1), 126-135, 2019. <https://doi.org/10.21923/jesd.405047>.
- [6] N.J. Themelis and P.A. Ulluo, Methane generation in landfills. *Renewable Energy*, 32, 1243-1257, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.04.020>.
- [7] E.D. Güven, Ege Bölgesi'nde kentsel katı atık üretimi ve atığın metan gazı enerji potansiyelinin belirlenmesi. *Dokuz Eylül University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, 21(61), 311-322, 2019. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2019216130>.
- [8] Kentsel Katı Atık Metan Gazı Enerji Elde Edilmesi, Sustainable Energy Africa (SEA), Waste to Energy: municipal landfill waste methane gas to energy implementation, Accessed 01 December 2019.
- [9] İ. Şentürk and B. Yıldırım, A Study on Estimating of the Landfill Gas Potential from Solid Waste Storage Area in Sivas, Turkey. *Scientific Journal of Mehmet Akif Ersoy University*, 3(2), 63-76, 2020.
- [10] D. Mboowa, S. Qureshi, C. Bhattacharjee and K. Tonny, S. Dutta, Qualitative determination of energy potential and methane generation from Municipal Solid Waste (MSW) in Dhanbad (India). *Energy*, 2017. [doi: 10.1016/j.energy.2017.02.009](https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.009).
- [11] M.A. Rajaeifar, H. Ghanavati, B. Dashti, R. Heijungs, R. M. Aghbashlo and M. Tabatabaei. Electricity generation and GHG emission reduction potentials

- through different municipal solid waste management technologies: A comparative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, 79(C), 414-439, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.109>.
- [12] D. Das, B.K. Majhi, S. Pal and T. Jash. Estimation of land-fill gas generation from municipal solid waste in Indian Cities. *Energy Procedia*, 90, 50–56, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.169>.
- [13] A. Yechiel and Y. Shevah. Optimization of energy generation using landfill biogas. *Journal of Energy Storage*, 7, 93-98, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.est.2016.05.002>.
- [14] N. Scarlat, V. Motola, J.F. Dallemand, F. Monforti-Ferrario and L. Mofor, Evaluation of energy potential of Municipal Solid Waste from African urban areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1269–1286, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.067>.
- [15] B. Özer, A study on energy production and GHG mitigation potential from municipal solid waste of Edirne. *Mugla Journal of Science and Technology*, 4(2), 182-190, 2018. doi: 10.22531/muglajsci.447895.
- [16] H. Sarptaş, Assessment of landfill gas (LFG) energy potential based on estimates of LFG models. *Dokuz Eylul University Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, 18, 491-501, 2016. doi: 10.21205/deufmd.2016185416.
- [17] D. Surroo and R. Mohee, Power generation from landfill gas, 2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications IPCBEE, 17, 237-241, 2011.
- [18] S. Fallahzadeha, M. Rahmatiniac, Z. Mohammadid, M. Vaezzadehe, A. Tajamirif and H. Soleimani, Estimation of methane gas by LandGEM model from Yasuj municipal solid waste landfill, Iran. *MethodsX*, 6, 391–398, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.02.013>.
- [19] S.H. Tercan, A.F. Cabalar and G. Yaman, Analysis of a landfill gas to energy system at the municipal solid waste landfill in Gaziantep, Turkey. *Journal of the Air&Waste Management Association*, 912-918, 2015. <https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1036178>.
- [20] A. Aydi. Energy recovery from a municipal solid waste (MSW) landfill gas: A Tunisian Case Study. *Hydrology Current Research* 3(4), 2012. doi: 10.4172/2157-7587.1000137.
- [21] M. Gökçek, Waste to energy: Exploitation of landfill gas in micro-turbines, *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 6(2), 710-716, 2017. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.341993>.
- [22] S. Yi, Y.C. Jang and A.K. An, Potential for energy recovery and greenhouse gas reduction through waste-to-energy technologies. *Journal of Cleaner Production*, 176, 503-511, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.103>.
- [23] B.R. Saragih, S.R.H. Siregar and A. Surjosatyo, Evaluation of waste potential in TPST Bantargebang Through Modified Triangular Method, *E3S Web of Conferences* 67(02040), 1-4, 2018.
- [24] Eğri Uydurma, <https://tektasi.net/wp-content/uploads/2019/02/Curve-Fitting>, Accessed 25 September 2019.
- [25] TÜİK-1, Türkiye'nin nüfus ve atık su miktarı verileri. [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr), Accessed 4 November 2019.
- [26] Tahmin Sayfası-1, Tahmin Sayfası. <https://www.dummies.com/software/microsoft-office/excel/how-to-create-forecast-worksheets-in-excel-2019/> Accessed 27 November 2019.
- [27] Tahmin Sayfası-2, Tahmin Sayfası. <https://www.myonlinetraininghub.com>, Accessed 27 November 2019.
- [28] Tahmin Sayfası-3, Tahmin Sayfası. <https://www.k2e.com/tech-tips/excel-forecast-sheet/>, Accessed 10 October 2019.
- [29] Y.K. Benli ve A. Yıldız, Altın fiyatının zaman serisi yöntemleri ve yapay sinir ağları ile öngörüsü. *Dumlupınar University Journal of Social Sciences*, 42, 213-224, 2014.
- [30] TÜİK-2, Elektrik üretimi ve enerji kaynaklarına göre dağılımı. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>, Accessed 22 October 2019.
- [31] W. Uddin, B. Khan, N. Shaukat, M. Majid, G. Mujtaba, A. Mehmood, S.M. Ali, U. Younas, M. Anwar and A.M. Almesha, Biogas potential for electric power generation in Pakistan: A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 25–33, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.083>.
- [32] P. Mostbauer, L. Lombardi, T. Olivieri and S. Lenz. Pilot scale evaluation of the BABIU process – Upgrading of landfill gas or biogas with the use of MSWI bottom ash. *Waste Management*, 34, 125-133, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.09.016>.
- [33] H. Şenol, E.A. Elibol., Ü. Açikel and M. Şenol, Primary biomass sources for biogas production in Turkey. *BEU Journal of Science*, 6(2), 81-92, 2017.
- [34] EPA, Basic information about landfill gas. <https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas>, Accessed 15 October 2019.
- [35] Global Methane Initiative, 4. Landfill Gas Energy Utilization Technologies, *International Best Practices Guide for LFGE Projects*, 33-50, 2012.
- [36] S. Türkmen, S. Özbek ve M. Karakuş, Türkiye’de elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: Ampirik bir analiz. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(2), 129-142, 2018.
- [37] C. Yıldırım ve Ö. Dağdemir, Türkiye’de ekonomik büyüme ve elektrik tüketimi ilişkisi. *Sakarya İktisat Dergisi*, 7(4), 57-76, 2018.
- [38] TÜİK-3, Türkiye elektrik tüketim verisi. [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr), Accessed 10 October 2019.
- [39] M.V. Eren, M.A. Polat and H.İ. Aydın, Analysis of relationship between electricity consumption and economic growth with structural breaks tests in Turkey. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler E-Dergisi*, 56, 275-289, 2016.

