



Ege Bölgesi'nde Kentsel Katı Atık Üretimi ve Atığın Metan Gazı Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi

Determination of Municipal Solid Waste Generation and its Methane Gas Energy Potential in Aegean Region

Elif Duyuşen Güven^{1*} 

¹Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca, İzmir, TÜRKİYE

Sorumlu yazar/Corresponding Author *: duyusen.kokulu@gmail.com

Geliş Tarihi / Received: 08.10.2018

DOI:10.21205/deufmd.2019216130

Kabul Tarihi / Accepted: 25.11.2018

Araştırma Makalesi/Research Article

Atıf şekli/How to cite: GÜVEN, E.D. (2019). Ege Bölgesi'nde Kentsel Katı Atık Üretimi ve Atığın Metan Gazı Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi. DEUFMD, 21(61), 311-322.

Öz

Enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğunu ithal fosil yakıtlarla karşılayan Türkiye'de depo gazından elektrik üretim santrallerinin kurulu gücü 151,7 MW olup ülke kurulu gücündeki payı %0,2 civarındadır. Sunulan çalışmada, Ege Bölgesindeki illerde 20 yıllık süre zarfında oluşacak biyobozunur katı atıkların depolanması durumunda oluşacak metan gazı ve bu gazdan elde edilebilecek elektrik enerjisi eşdeğeri belirlenmiştir. Bunun için Ege Bölgesi'ndeki sekiz il için biyobozunur atık miktarları 1998-2016 TÜİK atık verilerinden ve Çevre ve Orman Bakanlığının Katı Atık Ana Planında yer alan biyobozunur atık oranlarından faydalanmak suretiyle 2018-2038 yılları için hesaplanmıştır. Yıllar içinde oluşacak metan gazı miktarını hesaplamak için LandGEM v.3.0 modeli kullanılmış olup, oluşacak metan gazı miktarı önümüzdeki 100 yıl için program tarafından belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda yıllık ortalama elektrik enerjisi üretim potansiyeli İzmir için 125,98 GWh, Manisa ili için 53,26 GWh, Aydın ili için 30,56 GWh ve Denizli ili için 25,18 GWh olarak hesaplanmıştır. Muğla ili için oluşacak metan gazının ortalama elektrik enerji karşılığı 19,47 GWh iken, bu değerler Afyonkarahisar, Kütahya ve Uşak illeri için sırasıyla 9,11 GWh, 6,86 GWh, ve 9,12 GWh olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, metan gazından elde edilebilecek elektrik ile, Ege Bölgesindeki hane içi elektrik ihtiyacının %1,6 (Kütahya) ile %5 lik (Manisa) bir kısmını karşılayabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: metan, elektrik enerjisi, evsel atık, Ege Bölgesi, Türkiye

Abstract

Turkey imports most of its energy from foreign countries. The installed capacity of landfill gas power plants is 151.7 MW with the share of 0.2% of the total installed capacity of the country. The current study aims to determine the methane gas formation and its equivalent electric energy value in Aegean Region in Turkey within the landfilling period of following 20 years. For this purpose, the amounts of biodegradable wastes for eight provinces in the Aegean Region were calculated for the years 2018-2038 by using the TURKSTAT data between the years of 1998 and 2016 and the biodegradable waste ratios defined in the Solid Waste Master Plan published by Ministry of Environment and Forestry. The projected rates and decreases in the waste action plans were taken into consideration to obtain these data. LandGEM v.3.0 model was used to calculate the amount of methane to be formed over the years, and the amount of methane to be formed for the next 100 years was reported by the program. According to the data obtained, the annual average electricity production potential was calculated as 125.98 GWh for İzmir, 53.26 GWh for Manisa, 30.56 GWh for Aydın and 25.18 GWh for Denizli Province. The average electricity energy value was determined as 19.47 GWh for Muğla, while these values were calculated as 9.11 GWh, 6.86 GWh, and 9.12 GWh for Afyonkarahisar, Kütahya and Uşak

provinces, respectively. As a result of the calculations, it was concluded that the electricity required from methane gas could meet the domestic electricity needs of minimum 1.6% (Kütahya) and maximum 5% (Manisa) of the provincial population in the Aegean Region.

Keywords: methane, electric energy, municipal solid waste, Aegean Region, Turkey

1. Giriş

Atmosferdeki en yaygın bileşiklerden olan metan gazı antropojenik olarak tarımsal aktiviteler, kömür madenleri, kontrollü ve kontrolsüz atık depolama alanları, petrol ve gaz endüstrileri ve atıksuya ilişkin sistemlerden kaynaklanmaktadır. Bu kaynaklar arasında atık depolama sahaları, oluşturduğu metan emisyonu bakımından üçüncü sırada yer almaktadır [1]. Atmosfere salındığında, aynı hacimdeki karbondioksitten 23 kat fazla küresel ısınmaya etki potansiyeline sahip olan bu gazın olumsuz çevresel etkisine karşılık, çöp depolama sahalarında yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilebilmektedir [2].

Evsel atıklar depolama alanlarında birikmeye başladıktan kısa bir süre sonra, içeriğindeki organik bileşenler biyokimyasal reaksiyonlara uğrayarak, atmosferik havanın da varlığıyla depolama yüzeyine yakın olan bölgede, okside edilirler. Bu reaksiyonun ürünleri karbondioksit ve su buharıdır. Ancak atık depolama sahalarında temel biyoteknik, üç aşamada gerçekleşen anaerobik parçalamadır. İlk aşamada fermente edici bakteriler kompleks organik maddeyi çözünebilir bileşiklere dönüştürürler. İkinci aşamada bu bileşikler asit üreten bakterilerin varlığıyla basit organik asitler, karbondioksit ve hidrojene dönüşürler. Oluşan temel asitler asetik asit, propiyonik asit, butirik asit ve etanol dür. Üçüncü son aşamada ise, ortamda metan bakterilerinin oluşması ve artmasıyla, organik asitler metan ve karbondioksite dönüşür [3]. İlk metanojenik fazın başlangıcı, ölçülebilir miktarda metan üretildiğinde ortaya çıkar. Bu fazda, asit fazında biriken asitler, metanojenik bakterilerle metan ve karbondioksite dönüştürülür ve metan üretim hızı artar [4,5]. Gerçekleşen bu reaksiyonlar sonucunda bir miktar ısı açığa çıkar. Nihai anlamda oluşan ve biyogaz adı verilen depo gazı ortalama %50 oranında metan, %45 oranında karbondioksit ve toplamda %5 e yakın amonyak, hidrojen sülfür ve metan içermeyen organik bileşikler içermektedir [6]. Depolama sahalarında gaz oluşumu etkin olarak 30-50 senelik bir süreçte meydana gelmekte ve sahanın kapatılmasından sonra da bu üretim devam etmektedir. Diğer bir deyişle, depo gazı üretimi atıktaki organik materyalin tamamına

yakını parçalanana dek devam etmekte olup, bu durum yıllar sürmektedir [7].

Atık depolama sahaları, metan üretiminin başlıca kaynağı olarak gösterilebilir. Dünya genelinde antropojenik metan emisyonunun %18 i atık sektöründen kaynaklanmaktadır [8]. Amerika Birleşik Devletleri'nde, çöp depolama alanları, %23 lük oran ile insan kaynaklı metan üretiminin ikinci büyük kaynağı olarak kaydedilmiştir. Avrupa'da da aynı şekilde antropojenik metan üretiminin ikinci büyük kaynağını %22 lik pay ile atık depolama sahaları oluşturmaktadır. Dünya genelinde, çöp depolama alanları yılda 35-69 Tg metan emisyonunu atmosfere vermektedir [9].

Depo gazının elektrik üretiminde kullanılması, atmosfere doğrudan salınacak sera gazı miktarının azaltılmasını sağlamakla birlikte, yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak günümüzde kullanılmaktadır. Düzenli depolama sahalarında biriken depo gazı lotların üzeri kapatıldıktan sonra aktif ya da pasif toplama sistemi ile toplanmakta ve bir aktarım sistemi yardımıyla ana toplayıcıya iletmektedir. Enerji elde edebilmek için, toplanan gazın su ve toz taneciklerinden arındırılması gerekmektedir. Bunun için gaz soğutma-yoğunlaştırma ve partiküllerin filtreler vasıtasıyla tutulması işlemlerinden geçirilir. Bu tür temel ve basit bir arıtmadan geçen depolama gazı tipik olarak %35-55 metan içerir. Bir sonraki aşamada depolama gazı motor-jeneratör gruplarında yakılarak elektrik enerjisine dönüştürülür [10].

Türkiye'de 2005 tarihinde yayınlanan 5346 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına Dair Kanun" kapsamında yenilenebilir enerji kaynakları: "hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyokütleden elde edilen gaz (depo gazı dâhil), dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynakları" olarak tanımlanmıştır [11]. Türkiye'de elektrik üretimi kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı incelendiğinde, 2016 yılı için doğal gaz %32,83, ithal kömür %9,52, linyit kömürü %11,81, sıvı yakıtlar %0,8 oranında belirlenirken, yenilenebilir kaynaklar %44,06 oranında bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en büyük paylar %24,9 ile

barajlara, %9,1 ile dere göl ve akarsulara, %7,3 ile rüzgâr gücüne aittir. Güneş enerjisi ve jeotermal enerji %1,05 lik paylara sahip iken, yenilenebilir atık ve atık ısı enerjisinin elektrik üretimine payı toplamda %0,63 olarak kaydedilmiştir [12]. Diğer yandan, Türkiye’de 30 Mart 2013 tarihinde yürürlüğe giren 6446 sayılı *Yeni Elektrik Piyasası Kanunu*, mevcut elektrik piyasasına teşvikler ve önemli yenilikler getirmiştir. Kanun kapsamında Belediyelerin katı atık tesisleri ile arıtma tesisi çamurlarının bertarafında kullanılmak üzere kurulan elektrik üretim tesisi, lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulmuşlardır [13]. Atık tesislerinde biyogazdan enerji elde edilmesinin yeni dönemde teşvik edildiği ülkemizde, biyogazdan elektrik üreten tesisler için toplam kapasite 151,7 MW tır. İstanbul ilinde üç adet, Ankara ilinde iki adet, Adana, Bursa, Kayseri, Konya, Elazığ, Hatay, Trabzon, Malatya, Antalya, Tokat, Aksaray, Gaziantep, Kocaeli, Uşak, Amasya, Bolu, Kırıkkale ve Denizli illerinde ise birer adet tesis olmak üzere toplamda 25 tane biyogaz tesisi aktiftir. Tesislerin en büyüğü Odayeri (İstanbul) depo gazı santrali olup kurulu kapasitesi 34 MW’dır [10].

Depo gazı enerji geri dönüşüm projelerin planlanması için oluşan depo gazı ve metan miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için literatürde kullanılan pek çok modelleme yaklaşımı vardır. Bu yaklaşımlardan LandGEM, Microsoft Excel ara yüzüne sahip otomatik bir tahmin modeli olup, depolama sahalarından kaynaklanan metan ve diğer organik bileşiklerin emisyonlarını hesaplamak için kullanılır. USEPA tarafından geliştirilen LandGEM modeli, evsel katı atıkların dekompozisyonunu birinci derece çürüme yaklaşımına dayanarak çözümler ve oluşan depo gazı emisyon hesabını hacimsel ve kütleli olarak gerçekleştirir [1]. Kolay bozunabilir atıklar, elde edilecek biyogazın temel kaynağını oluşturmaktadır. Sunulan çalışma, Türkiye Ege Bölgesindeki sekiz ilden kaynaklanan biyobozunur atıkların depolanması durumunda oluşacak metan gazını ve ve bu gazdan elde edilebilecek enerjinin teknik potansiyelini ortaya koymayı hedeflemektedir. Bunun için, 2018 yılından başlamak üzere 20 yıl boyunca yalnızca biyobozunur atıkların depolanmaya gideceği kabulü ile oluşabilecek metan gazı miktarı LandGEM modeli kullanılmak suretiyle hesaplanacak ve metan gazından elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli araştırılacaktır.

2. Veri ve Yöntem

2.1. Çalışma bölgesi

Ege Bölgesi, Türkiye’nin batısında yer alan, yüzölçümü bakımından beşinci büyük bölgesidir. Bölge sekiz ili kapsamakta olup, illerde farklı aşamalarda atık yönetim sistemleri mevcuttur. Ege Bölgesi, kentleşmenin yoğun yaşadığı ve nüfus yoğunluğunun Türkiye ortalamasının üstünde olduğu bir bölge olup, sanayi, tarım ve ticaret bölgenin genel ekonomik kaynaklarını oluşturmaktadır [14]. Bölgedeki illerin güncel nüfusu ve oluşan evsel atık miktarları Tablo 1 ile özetlenmiştir. Ege Bölgesi’nin nüfusu en yoğun kenti olan İzmir’de Harmandalı Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi ve Bergama Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi olmak üzere, toplamda 90 hektar alan üzerine kurulu ve ilin atıklarının %93 ünü karşılayan iki adet II. Sınıf düzenli depolama tesisi bulunmaktadır. Atıklardan kaynaklanan sızıntı suları kentsel atıksu arıtma tesislerine gönderilmektedir. Ayrıca il genelinde 11 adet transfer istasyonu ve transfer rampası bulunmaktayken yedi ilçenin atıkları da düzensiz depolanmaktadır [10]. Manisa ilinde 2017 yılında Uzunburun Katı Atık Bertaraf ve Düzenli Depolama Tesisinin devreye alınması ile 70 adet düzensiz depolama sahası dörde inmiştir. Bu tesiste 44 hektar arazi üzerinde günlük 650 ton atık kapasitesini kaldıracak şekilde kurulmuş olup, mekanik biyolojik ayırma tesisi, kompost alanı, yakma tesisi ve membran biyoreaktör sistemine sahip sızıntı suyu arıtma tesisi mevcuttur [15]. Aydın Büyükşehir Belediyesi bünyesinde 3 adet katı atık düzenli depolama tesisi bulunmaktadır. Bunlar, Merkez Katı Atık Düzenli Depolama Sahası, Kuşadası Katı Atık Düzenli Depolama Sahası ve Didim Katı Atık Düzenli Depolama Sahasıdır. Merkez tesiste sızıntı suyu geri devir yapılmakta olup, . Kuşadası ve Didim Katı Atık Düzenli Depolama Tesislerinde sızıntı suyu arıtma tesisleri bulunmaktadır. Aydın ilindeki düzenli sahalar, kentte oluşan atığın tamamını kabul etmemekte ve 9 ilçede vahşi depolama yapılmaktadır [15]. Denizli’de şehir merkezinin 12,5 km kuzeybatısında bir adet Entegre Düzenli Katı Atık Depolama Alanı bulunmaktadır. Toplam 3 etapta oluşan Düzenli Depolama Sahasının 14,2 Hektarlık alandan oluşan 1. ve 2. etabında atıkların düzenli depolanmasına devam edilmekte olup, 2016 yılında evsel atıkların %57’si düzenli depolama ile bertaraf edilmiştir. Bununla beraber ilçelerde toplamda 60,8 hektarlık düzensiz depolama sahaları mevcut

olup, bu atıkların yönetimi için iki adet katı atık bertaraf tesisi projesi gündemdedir. Denizli’de depo gazından enerji edilen tesis 2012 yılından itibaren işletilmekte olup, 2014 yılı üretim miktarı 3298 MWh olarak kaydedilmiştir [16]. Muğla ili sınırları içinde Ortaca, Fethiye, Marmaris ve Datça Katı Atık Düzenli Depolama Tesisleri ile toplam 15,2 hektarlık bir alanda evsel katı atıklar düzenli depolanmaktadır. 2018 yılında faaliyete geçen Menteşe Katı Atık Depolama Sahası da 14 hektarlık depolama alanı ile 4 ilçenin atıklarını bertaraf etmektedir [15]. Afyonkarahisar ilinde 1 adet Katı Atık Düzenli Depolama ve Bertaraf Tesisi ve 7 adet aktarma istasyonu bulunmaktadır. Katı Atık Düzenli Depolama tesisinde oluşan sızıntı suları, belediyenin biyolojik atıksu arıtma tesisinde bertaraf edilmektedir. Ayrıca Afyonkarahisar’da yıllık üretim miktarı 13988 MWh olan depo gazından enerji tesisi mevcuttur [16]. Kütahya ilinde merkez ilçe, Perli köyü sınırlarında 1 adet katı atık düzenli depolama tesisi mevcuttur. Sızıntı suyu dengeleme havuzundan sonra ön arıtma ile arıtılmakta ve Kütahya Atıksu Arıtma Tesisine aktarılmaktadır. Uşak ilinde 1 adet düzenli depolama sahası (10 ha) mevcut iken, 5 ilçede düzensiz depolama sahalarında atıklar vahşi depolama yöntemi ile bertaraf edilmektedir. İlde aktarma istasyonlarının tamamlanması ile birlikte, bu sahalara gelen atıklar düzenli depolanmaya aktarılacaktır [15].

Tablo 1. Ege Bölgesindeki iller, nüfus ve toplanan evsel atık miktarları

Bölge	Nüfus (kişi) ^a	Toplanan evsel atık (1000 ton) ^b
İzmir	4.279.677	2026
Manisa	1.413.041	676
Aydın	1.080.839	547
Denizli	1.018.735	401
Muğla	938.751	660
Afyonkarahisar	715.693	207
Kütahya	572.256	156
Uşak	364.971	144

(a) Türkiye İstatistik Kurumu 2017 nüfus verileri (b) Türkiye İstatistik Kurumu 2016 atık istatistikleri (10)

2.1. Atık verileri

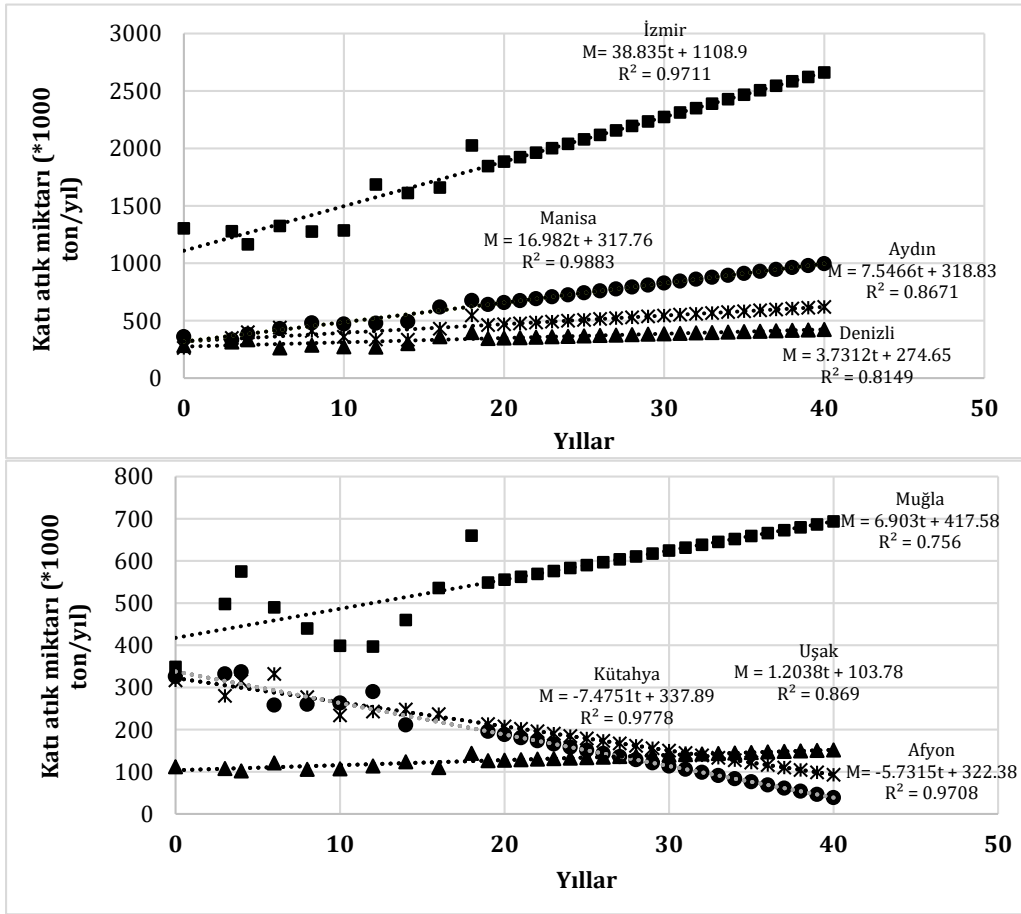
Çalışmada 2018 yılı başlangıç kabul edilmek suretiyle, Ege Bölgesi illerinde 20 yıl süreyle depolanacak atıklardan oluşabilecek metan gazı ve bundan elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli araştırılacaktır. Bunun için, Türkiye İstatistik Kurumu tarafından raporlanan iller bazında belediyelerin topladığı atık miktarı (1998-2016) verileri kullanılmıştır [17]. Bu verilerden faydalanarak gelecekte oluşması muhtemel atık miktarının hesaplanmasına yönelik regresyon analizi yapılmış ve 2018-2038 yılları arasında oluşması muhtemel atık miktarları iller bazında belirlenmiştir (Şekil 1).

Çevre ve Orman Bakanlığı’nın 2006 yılında yayımladığı Katı Atık Ana Planı’nda Türkiye 11 model bölgeye ayrılmış olup, her bölge için iller, birim atık üretim hızları ve yıllara göre (2005-2020) atık karakterizasyon değişim tahminleri tanımlanmıştır. Ege Bölgesi’nde İzmir 1a model grubuna dâhil ilen, bölgedeki diğer illerin tamamı 1c model grubuna dâhildir. Buna göre, 2018 yılı için biyolojik olarak ayrışabilir atıkların oranı İzmir’de %57,78, diğer illerde ise ;%58,69 olarak öngörülmektedir [18]. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın 2017 yılında yayımladığı Ulusal Atık Yönetimi Eylem Planı, bölgelerde depolanmaya gidecek atıkların zaman içinde kademeli olarak azaltılmasını hedeflemektedir. Buna göre, Ege 1. Bölge olarak tanımlanan Aydın, İzmir ve Muğla’da, 2023 yılı için depolama alanlarına gidecek olan atık, oluşan atığın %66’sı iken, Ege 2. Bölgeye dahil olan Manisa, Denizli, Afyon, Kütahya ve Uşak illerinde bu oran %79,9 olarak hedeflenmektedir [16]. Çalışmada yalnızca biyobozunur atığın depolanacağı kabulü ile hesaplamalar yapılmıştır. Metan gazı hesabında kullanılan biyobozunur atık miktarları bu azalmalar dikkate alınarak hesaplanmıştır.

2.2. LandGEM modelinin çalıştırılması

Yıllar içinde oluşacak metan gazı miktarını hesaplamak için LandGEM v.3.0 modeli kullanılmıştır. Modelin çalıştırılabilmesi için, atıkların depolanmaya başladığı yıl, atıkların depolanmasının bittiği yıl, her yıl için oluşan biyobozunur atık miktarı, metan oluşum hızı (k), metan oluşum kapasitesi (L_0), depo gazı içindeki metan gazı oranı ve diğer organik bileşiklerin

öngörülen oranlar ve azalmalar dikkate alınarak hesaplanmıştır. Metan oluşum hızı (k), atık depolanmaya başladıktan hemen sonra metan üretiminin başladığı birinci derecede bozunma oranıdır. Bu sabiti etkileyen başlıca faktörler nem oranı, nutrient varlığı, pH ve sıcaklıktır. Çalışmada k değerleri, CRA tarafından yayınlanan bir yaklaşım ile illerdeki yıllık ortalama yağış verilerine dayanarak seçilmiştir [20]. Bunun için, sekiz kente ait son iklim



Şekil 1. İllerde geçmiş yıllara ait ve gelecek için tahminlenen katı atık miktarları

oranı bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır [19]. Bu bilgilerin modele yüklenmesi ile LandGEM yıllar içinde oluşan metan, karbondioksit ve diğer gazların miktarını ve oranını hesaplamaktadır.

Model çalıştırılırken, Ege Bölgesi'ndeki her il için, 2018 yılı başlangıç olmak üzere 20 yıl boyunca atık depolamasının yapılacağı kabulü ile depolama alanı kapanış yılı 2038 yılı olarak belirlenmiştir. Oluşan biyobozunur atık miktarı, atık verilerinde açıklandığı gibi iller bazında

periyoduna göre kaydedilmiş ortalama yıllık yağış verileri kullanılmıştır [21]. Metan üretim potansiyeli (L_0), birim atık kütesinden elde edilebilecek metan potansiyelini ifade etmektedir. Bu değer, atığın kompozisyonuna ve organik madde içeriğine bağlı olarak değişim göstermekle birlikte, biyobozunur atıklar için $160 \text{ m}^3/\text{ton}$ kuru atık değerindedir [20]. Depolama gazı içindeki ortalama metan gazı oranı, literatür değerlerinden faydalanmak

suretiyle %50 olarak kabul edilmiştir [3]. Bu değerler sıra ile model uygulamasına girilmiş ve oluşacak metan gazı miktarları modelden

alınabilmektedir. LandGEM modelinde kullanılan değerler Tablo 2 ile özetlenmiştir.

Tablo 2. Yıllar içinde oluşacak gaz miktarını tespit etmek için LandGEM modelinde kullanılan veriler

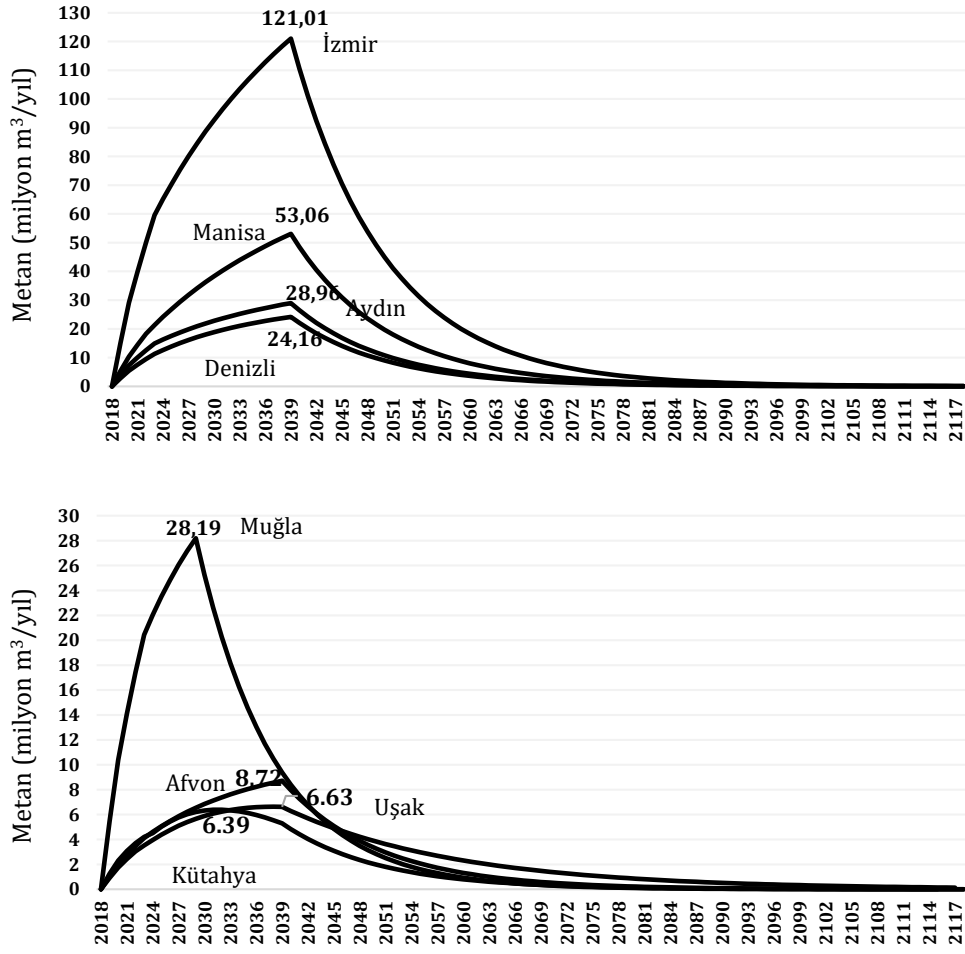
İl	2018 Biyobozunur atık (10 ³ ton)	2038 Biyobozunur atık (10 ³ ton)	Ort. yıllık yağış (mm)	k (yıl ⁻¹)	L ₀ (m ³ CH ₄ /ton kuru atık)
İzmir	1089,462	1402,979	696	0,09	
Manisa	385,802	525,699	729	0,09	
Aydın	275,683	327,265	645	0,09	
Denizli	204,974	223,502	565	0,09	160
Muğla	326,084	364,762	1195	0,11	
Afyonkarahisar	117,102	49,096	439	0,05	
Kütahya	90,119	20,501	557	0,09	
Uşak	74,949	80,154	548	0,09	

3. Bulgular

3.1. Metan gazı oluşumu

Landgem modeline göre illerde oluşan metan gazının yıllar içindeki değişimi Şekil 2 ile gösterilmektedir. Çalışmada 20 yıllık bir depolama süresi öngörüldüğü için LandGEM modeli Kütahya ve Muğla illeri hariç tüm şehirlerde 2039 yılı için en yüksek gaz üretimi sonucunu vermiştir. Ayrıca yıllar içinde oluşacak minimum ve maksimum metan gazı miktarları Tablo 3 ile özetlenmektedir. İzmir, 4 milyondan fazla nüfusa sahip olduğu ve dolaylı olarak da oluşturduğu yüksek biyobozunur atık miktarına bağlı olarak, çalışılan süre içinde bölgedeki en yüksek metan oluşturma potansiyeline sahip olan ildir. Oluşacak en yüksek metan miktarı 2039 yılında 121.81 milyon m³ olarak hesaplanmıştır. Bölgedeki ikinci büyük şehir olan Manisa'da, 20 yıllık atık depolaması sonucunda yıllık en yüksek metan oluşum potansiyeli, 53.06 milyon m³ olarak belirlenmiştir. İzmir ve Manisa için oluşabilecek toplam metan gazının %80 i ilk 30 yıl içinde çıkacaktır Birbirine yakın nüfuslara sahip Aydın, Denizli ve Muğla illerinde 20 yıllık depolama sonucunda oluşabilecek yıllık ortalama metan gazı miktarları sırasıyla 7,32, 6,04 ve 4,62 milyon m³ olarak hesaplanmıştır. Diğer yandan, 100 yıl içinde oluşacak yıllık maksimum metan gazı

miktarları Aydın, Denizli ve Muğla illeri için 28,96, 24,16 ve 27,17 milyon m³ olarak belirlenmiştir. Aydın ve Denizli için oluşacak toplam metan gazının %80 i ilk 30 yıl içinde oluşacak iken, Muğla ilinde toplam metan gazı potansiyelinin %94 ü ilk 30 yılda oluşacaktır. Muğla ilinin yerleşik nüfusu Denizli ilinden az olmasına rağmen daha yüksek metan gazı potansiyelinin olması, bölgenin daha çok yağış alması nedeniyle modelde kullanılan k değerinin (0,11 yıl⁻¹) olmasıyla açıklanabilir. Aydın ili de Denizli ile neredeyse eşit yerleşik nüfusa sahip olmasına rağmen yazın oluşan atık miktarının turistik bölge olması nedeniyle fazla olması, yaklaşık %20 daha fazla metan oluşturmaya sebep olmaktadır. Kıyı Egeden uzaklaştıkça, karasal iklime sahip ve nüfusları yaklaşık 365 bin, 572 bin ve 716 bin olan Uşak, Kütahya ve Afyonkarahisar illerinde oluşacak ortalama metan gazı miktarları yıllık 2,19, 1,64 ve 2,32 milyon m³ olarak bulunmuştur. Uşak iline göre 2017 yılı nüfusları daha çok olan Kütahya ve Afyonkarahisar'da daha az gaz üretim potansiyelinin olması, bu şehirlerde toplanan atık miktarının yıllar içinde azalması ve birim atık üretim hızının düşmesi ile açıklanabilir [17]. Aydın ilinde toplam metan gazı potansiyelinin %80 i ilk 41yılıda üretilecek iken, bu oran Kütahya ve Uşak illerinde daha erken olarak sırasıyla ilk 27 ve ilk 30 yıl içinde sağlanacaktır.



Şekil 2. Yıllara göre illerde oluşan metan gazı

Tablo 3. Yıllar içinde oluşan metan gazı miktarlarına ait veriler

İller	Minimum metan (milyon m³/yıl)	Maximum metan (milyon m³/yıl)	100 yıl için kümülatif metan miktarı (milyon m³/yıl)	Ortalama metan gazı (milyon m³/yıl)
İzmir	0,10	121,01	3019,39	30,19
Manisa	0,04	53,06	1276,98	12,77
Aydın	0,02	28,96	732,29	7,32
Denizli	0,02	24,16	603,73	6,04
Muğla	0,01	28,19	462,04	4,62
Afyonkarahisar	0,13	6,63	231,55	2,32
Kütahya	0,01	6,39	164,07	1,64
Uşak	0,01	8,72	218,45	2,19

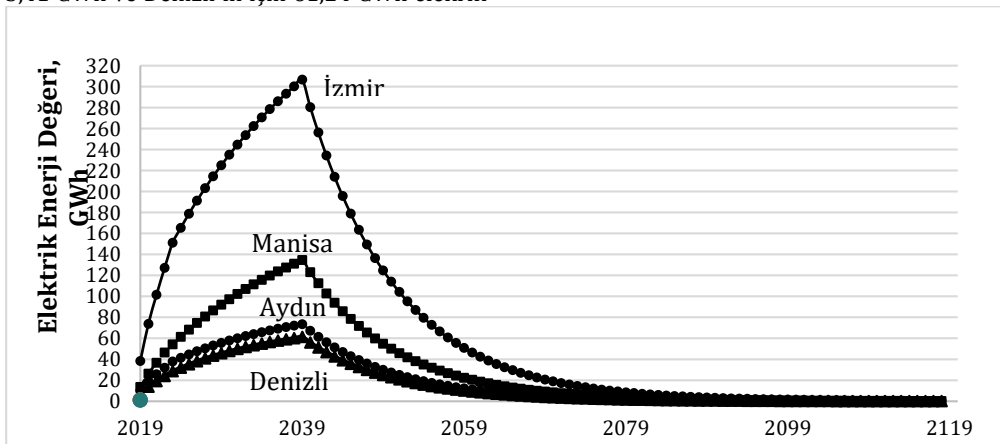
3.2. Metan gazının enerji değerlendirmesi

Depo gazından enerji eldesi gaz kalitesine göre değişim gösterebilir. Depolama sahasında oluşan metan gazının brüt enerji potansiyeli, gazın birim enerji değeri esas alınarak hesaplanabilir. Yani bir başka deyişle, depo gazının enerji eşdeğeri oluşacak gazın miktarı ile birim gazın kalorifik değerini çarpmak suretiyle hesaplanır. Düşük ve orta kaliteli depo gazlarının tipik enerji değerleri 3900-4800 kcal/m³ aralığında iken iyi ön arıtma uygulanmış yüksek kaliteli depo gazlarının enerji içeriği 7000 kcal/m³ seviyesine kadar çıkabilmektedir.[22]. Çalışmada metan gazı oluşumu esas alınmıştır. Metan gazının enerji değeri yaklaşık 13 300 kcal/kg (8720 kcal/m³) olarak bilinmektedir [23]. Depo gazından elektrik üretim tesislerinde kullanılan teknolojilere göre elektrik üretim verimleri değişir. Elektrik üretimi buhar türbinleri ile gerçekleştiğinde %25-42, gaz türbinleri ile gerçekleştiğinde %25-30, mikro türbinlerle gerçekleştiğinde %20-30 verim ile sağlanabilmektedir [15]. Hesaplamalarda %25 elektrik dönüşüm verimi kullanılarak yıllar içinde oluşan metan gazına bağlı elektrik üretim potansiyelleri hesaplanmıştır. Gene kullanılacak sistemlerde gaz toplama verimi ve kapasite faktörü %75 olarak kabul edilmiştir.

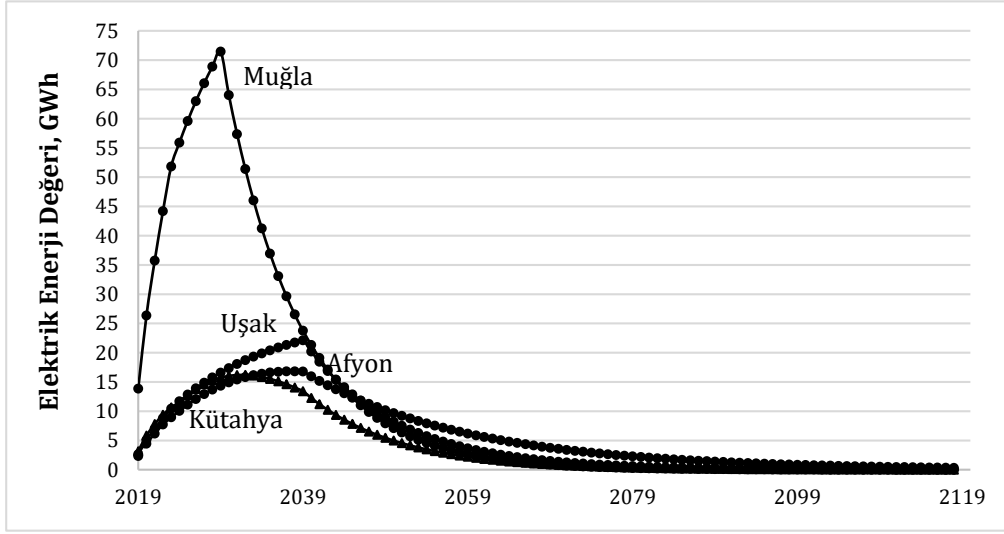
Elektrik üretim potansiyeline dair yıllara bağlı sonuçlar Şekil 3 ile gösterilmektedir. Elde edilen veriler, 2018 yılında başlanacak ve 20 yılın sonunda tamamlanacak atık depolama işlemi için hesaplanmıştır. Buna göre, oluşacak maksimum metan gazı düşünüldüğünde İzmir için 2039 yılında 306,74 GWh elektrik enerjisi üretim potansiyelinden bahsedilebilir. Aynı şekilde Manisa ili için 134,51 GWh, Aydın ili için 73,41 GWh ve Denizli ili için 61,24 GWh elektrik

enerjisi potansiyeli, bahsedilen depolama koşulları altında üretilebilecek maksimum metan gazı enerji karşılığı olarak hesaplanmıştır. Bu iller için 2039 yılından sonra oluşacak metan gazı miktarı ve buna bağlı elektrik enerjisi miktarı azalacaktır. Muğla ili için oluşacak maksimum metan gazı miktarının elektrik enerji karşılığı 71,45 GWh olarak 2029 yılı için tespit edilmiş olup, bu değerler Afyonkarahisar, Kütahya ve Uşak illeri için sırasıyla 16,8 GWh, 16,19 GWh, ve 22,09 GWh olarak hesaplanmıştır.

Yapılan bir çalışmada Türkiye'deki tüm illerin kentsel atık kaynaklı depo gazından elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyelleri 2012-2018-2023 yılları için tespit edilmiştir [24]. Buna göre, İzmir için hesaplanan 2023 yılı elektrik potansiyeli 146-190 GWh iken mevcut çalışmada 151 GWh olarak bulunmuştur. Benzer şekilde, Manisa için 42-54 GWh, bulunan değer mevcut çalışmada 54 GWh, Aydın için 30-39 GWh olan 2023 yılı elektrik enerjisi potansiyeli bu çalışmada 37 GWh olarak hesaplanmıştır. Melikoglu tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Denizli, Uşak, Muğla, Kütahya ve Afyon için 2023 yılı elektrik enerji potansiyelleri sırasıyla 24-32 GWh, 10-13 GWh, 34-45 GWh, 26-33 GWh, ve 22-28 GWh olarak kaydedilmiş olup, sunulan çalışmada bu değerler sırasıyla 28 GWh, 10,4 GWh, 51 GWh, 10,6 GWh ve 8,9 GWh olarak bulunmuştur. Kütahya ve Afyon illeri dışında sonuçlar birbirine çok yakın olup, hesaplamaların güvenilirliğini ortaya koymaktadır. Afyon ve Kütahya illeri için hesaplanan değerlerin mevcut çalışmada düşük olması, bu illerdeki toplanan atık miktarının TÜİK verilene göre azalan değerlerinin alınması ile açıklanabilir.



a) Manisa, Aydın, Denizli ve İzmir illeri



Şekil 3. Ege Bölgesi'nde bulunan illerde depolama alanlarında yıllar içinde oluşacak metan gazının elektrik enejisi eşdeğeri

Yıllık ortalama üretim miktarı, gaz oluşumunun %99'unun ilk 60 yıl içinde gerçekleştiği dikkate alınarak 60 yıl üzerinden belirlenmiş ve Tablo 4 ile gösterilmiştir. TEİAŞ'ın 2011 yılında yaptığı bir araştırmaya göre iki çocuklu dört kişilik bir ailenin yıllık ortalama elektrik tüketimini belirlemiş ve öncelikli olarak aydınlatma, ısınma ve elektrikli aletler gibi elektrik tüketimi ihtiyaçları göz önüne alındığında, bir ailenin yıllık elektrik tüketimi 3,036 MWh olarak tespit edilmiştir [25]. Buna göre, sadece 20 yıllık bir depolama durumunda, İzmir için yıllık ortalama elektrik üretimi 125,98 GWh mertebesinde olacak ve yılda 41500 ailenin elektrik ihtiyacını karşılayacaktır. Bu veri, kent nüfusunun %4'ünün elektrik ihtiyacının atık depolamadan elde edilebilecek metan gazı üretiminden kaynaklandığını göstermektedir. Bunun yanı sıra Aydın il nüfusunun %4,3'ünün, Denizli'nin %3,2'sinin, Muğla'nın %2,7'sinin, Manisa'nın %5' inin, Afyon'un %1,7'sinin, Kütahya'nın %1,6'sının ve Uşak'ın %3,3'ünün ev içi elektrik ihtiyaçları karşılanabilecektir. Bu değerler oluşacak atıkların enerji potansiyelini göstermektedir.

Yıllar içindeki maksimum elektrik üretimi için kurulu güç ihtiyacı da Tablo 4 ile ifade edilmektedir. Buna göre İzmir'de 20 yıllık depolama sahasında en yüksek güç olarak toplam 35 MW kapasiteli tesis ihtiyacı bulunmaktadır. En yüksek elektrik üretimi dikkate alındığında, TÜİK verilerine göre İzmir ilinin yıllık toplam elektrik üretiminin %1'ini

karşılama potansiyeli vardır [26]. Manisa ili için en yüksek güç olarak 15,4 MW kapasiteli bir tesis kurulması durumunda, tüm kentin elektrik ihtiyacının %1,72'sinin karşılanması mümkündür. Hâlihazırda Manisa ilinde Uzunburun Katı Atık Bertaraf Tesisi faaliyete geçmiş olup, yakma tesisi ve 75 MW kapasiteli elektrik enerji tesisi için ÇED Raporu alınmıştır. Aydın ilinde 20 yıl için 8,4 MW kapasiteli bir tesis ihtiyacı olup, bu tesis kentin toplam elektrik ihtiyacının %1,78'inin karşılanmasını sağlayabilir. Denizli için yapılan hesaplamalar sonucunda, oluşacak maksimum metan gazının elektrik dönüşümü için 7 MW kurulu gücünde bir elektrik santraline ihtiyaç olacaktır. Mevcut halde, Denizli Kumkısıç Çöplüğü Biyogaz santrali 0,64 MW kurulu gücü ile hizmet vermektedir. Arttırılabilecek kapasite ile Denizli ilinin toplam elektrik ihtiyacının %1'i karşılanabilir. Muğla ilinde, yaz aylarında artan nüfusu ile birlikte en yüksek gaz oluşumu 2029 yılı için hesaplanmış olup, en yüksek elektrik üretimi için 8.2 MW gücünde bir tesise ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tesis, şehirde ihtiyaç duyulan toplam enerjinin %0,5'lik bir kısmını karşılayabilecektir. Afyonkarahisar'da 1,2 MW'lık Kurulu güce sahip bir elektrik santrali bulunmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre, sıfırdan depolamaya başlanması durumunda 1,9 MW'lık bir kurulu güce ihtiyaç olduğu belirlenmiş olup, bunun da şehrin toplam elektrik ihtiyacının %0,6'lık bir kısmını karşılayabilir. Kütahya ilinde 1,85 MW'lık bir kurulu güç ile maksimum 16,19 GWh elektrik üretimi gerçekleştirilebilir ve bu da kentin

elektrik ihtiyacının %0,5'ine denk gelmektedir. Uşak ilinde 1,2 MW Kurulu güce sahip Uşak Çöpgazı Enerji Santrali bulunmaktadır. Uşak iline dair yapılan hesaplamalarda, bugünden

itibaren gerçekleştirilecek depolama koşullarında maksimum 2,52 MW gücüne ihtiyaç olacaktır. Bu güç ile kentin toplam elektrik tüketiminin %0,9' u karşılanabilecektir.

Tablo 4. Ege Bölgesi'ndeki illerden elde edilebilecek ortalama elektrik enerjisi ve maksimum üretim için kurulu güç ihtiyacı

İller	60 yıl için yıllık ortalama üretim, GWh	Ortalama üretime göre Elektrik ihtiyacı karşılanabilecek hane sayısı (adet)	Maksimum elektrik üretimi için kurulu güç ihtiyacı, MW
İzmir	125,98	41497	35,01
Manisa	53,26	17542	15,35
Aydın	30,56	11564	8,38
Denizli	25,18	8294	6,99
Muğla	19,47	6414	8,16
Afyonkarahisar	9,11	3001	1,92
Kütahya	6,86	2260	1,85
Uşak	9,12	3002	2,53

Ülkemizdeki depo gazından elektrik enerjisi üreten tesisler dikkate alındığında, 15 milyon nüfusa sahip İstanbul için toplam kurulu gücü 48 MW ve yıllık ortalama üretimi 317 GWh olan Odayeri ve Kömürcüada Depo Gazı Santralleri mevcut olup, toplamda 92000 hanenin elektrik ihtiyacını karşılayabilecek kapasitededir. İki tesis toplamda il genel tüketimine %0,79 oranında katkı vermektedir. Yaklaşık 5,5 milyon nüfuslu Ankara ilinde kurulu gücü 25,4 MW ve 2015 yılı üretimi 152 GWh olan Mamak Depo Gazı Biyogaz Tesisi, il tüketimine %1,12 katkı vermektedir. Benzer şekilde 2,9 milyon nüfuslu Bursa'da hizmet vere Hamitler Depo Gazı Biyogaz Tesisi 9,8 MW Kurulu güce sahip olup 2015 yılında 75 GWh enerji üretimi ile il tüketimine %0,62 oranında katkı sağlamıştır. Kocaeli ilinde bulunan 5,1 MW Kurulu güce sahip Solaklar Depo Gazı Biyogaz tesisi 2014 yılında 32 GWh enerji üretimi ile 16000 hanenin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamıştır[27].

4. Tartışma ve Sonuç

Ülkemizde elektrik üretiminin kurulu gücünün üç ana kaynağı doğalgaz, hidrolik ve kömür santralleridir. Doğalgaz santrallerinde kullanılan gazın tamamına yakını Rusya, Azerbaycan-İran, Nijerya ve Cezayir'den ithal edilmekte olup kömürün %40 lık kısmı da ithal kömür olarak

kullanılmaktadır. Hidrolik santraller ile yerli kaynaklardan elektrik üretmektedir. Bu üç kaynağının dışında kalan kısım ise büyük çoğunlukla yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal ve rüzgâr enerjisinden karşılanmaktadır. Ülkemizde bulunan depo gazı santrallerinin kurulu gücü ise 151,7 MW olup ülke kurulu gücündeki payı %0,2 civarındadır. Sunulan çalışmada, Türkiye Ege Bölgesinde oluşacak evsel katı atıkların 20 yıllık süre zarfında depolanması durumunda oluşacak metan gazı ve elektrik eşdeğeri belirlenmiştir. Yağış miktarı daha fazla olan Muğla ilinde metan daha hızlı üretilmekte ve maksimum metan oluşumuna daha çabuk ulaşılmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, metan gazından elde edilebilecek elektrik ile, Ege Bölgesindeki il nüfuslarının minimum %1.6 (Kütahya) ve maksimum %5 (Manisa) inin hane içi elektrik ihtiyacının karşılanabileceği sonucuna varılmıştır. Elde edilen bu sonuçlar 20. yılın sonunda depolamanın tamamlandığı öngörüsüyle hesaplanmış olup, kentte depolamanın devam ettiği düşünüldüğünde daha yüksek miktarda elektrik ihtiyacının karşılanması mümkündür.

Ege Bölgesi'nde Denizli, Afyonkarahisar ve Uşak'ta biyogaz tesisleri mevcut olup, Manisa ili için ÇED raporu alınmış henüz aktif olmayan

biyogazdan elektrik enerjisi üretimi tesisi vardır. Halen İzmir, Aydın, Muğla ve Kütahya illerinde depo gazından enerji geri kazanımı alternatifini değerlendirilememiştir. Biyogazdan enerji üretimi, toplam kentsel enerji ihtiyacının karşılanmasında tek başına önemli bir paya sahip gibi görünmemekle beraber, metan gazının değerlendirilmesi hem çevresel hem de ekonomik açıdan sağlayacağı ciddi faydalar göz önüne alındığında, atık yönetiminin öncelikli basamaklarından olmalıdır. Bununla birlikte, kentlerde atık kompozisyonun belirlenmesine dair periyodik karakterizasyon çalışmaları, biyobozunur atık miktarının belirlenmesinde daha sağlıklı sonuçlar verecektir. Kentlerde atık yönetim teknolojilerinin seçiminin bu belirlemeler sonucuna göre gerçekleştirilmesi

Kaynakça

- [1] Xiaoli, C., Tonjes, D.J., Mahajan, D. 2016. Methane emissions s energy reservoir: context, scope, causes and mitigation strategies, Progress in Energy and Combustion Science, Cilt. 56, s. 33-70. DOI: 10.1016/j.peccs.2016.05.001
- [2] Energy Information Administration Emissions of Greenhouse Gases in the United States ,2003. Comparison of global warming wotentials from the IPCC's second and third assessment reports. <http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/ggrrpt/global.html> (Erişim tarihi: 01.06.2018)
- [3] Themelis, N.J., Ulluo, P.A. 2007. Methane generation in landfills. Renewable Energy, Cilt. 32, s. 1243-1257. DOI:10.1016/j.renene.2006.04.020
- [4] Barlaz, M.A., Schaefer, D.M., Ham, R.K. 1989. Bacterial Population Development and Chemical Characteristics of Refuse Decomposition in a Simulated Sanitary Landfill, Applied Environmental Microbiology, 55: 55.
- [5] Christensen, T.H., Kjeldsen, P. 1989. Basic biochemical processes in landfills. Chapter 2.1 in Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact, Christensen, T.H., Cossu, R., and Stegmann, R., Eds., Academic Press, London, UK, 1989, pp 29.
- [6] Energy Information Administration. US Department of Energy. Growth of the landfill gas industry 1996. <http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar/renewables/renewable.energy.annual/chap10.html> (Erişim tarihi: 18.05.2018)
- [7] Kjeldsen P., Bogner, J., Visscher, A.D., Gebert, J., Hilger, H.A., Humer, M.H., Spokas, K. 2009. Microbial methane oxidation process and technologies for mitigation of landfill gas emmissions, Waste Management and Research, Cilt. 27, S. 409-455.
- [8] Bogner, J., Abdelrafie Ahmed, M., Diaz, C., Faaij, A., Gao, Q., Hashimoto, S., Mareckova, K., Pipatti, R. & Zhang, T. 2007. Waste management. Climate Change: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 34 pp.
- [9] Denman, K.L., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P.M., et al.(2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY USA
- [10] Çelebi, M. 2017. Belediye atıklarından çöp gazı (LFG-Landfill gas) elde edilerek elektrik enerjisi üretilmesi ve ülkemizdeki örneklerin incelenmesi. İller Bankası A.Ş. Uzmanlık Tezi. Nisan 2017.
- [11] Resmi Gazete, 2005. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretim Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun. T.C. Resmi Gazete, 5346, 10 Mayıs 2005.
- [12] TEİAŞ, 2018. Türkiye Elektrik İletim A.Ş.-2016 2016 Türkiye Kurulu Gücünün Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı. <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc>
- [13] Resmi Gazete, 2013. Elektrik Piyasası Kanunu. T.C. Resmi Gazete, 6446, 14 Mart 2013
- [14] Wikipedia, 2018. Ege Bölgesi. https://tr.wikipedia.org/wiki/Ege_B%C3%B6lgesi (Erişim tarihi: 07.08.2018)
- [15] ÇŞB, 2018. İl Çevre Durum Raporları (2016-2017). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı <http://www.csb.gov.tr/gm/ced/index.php?Sayfa=sayfaicerikhtml&lclid=691&detId=692&ustId=691> (Erişim tarihi: 15.07.2018)
- [16] ÇŞB, 2018. Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Gelen Müdürlüğü <http://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/haberler/ulusal-at-k-vonet-m-eylem-plan-20180328154824.pdf> (Erişim tarihi: 13.08.2018).
- [17] TÜİK, 2018. Belediye atık istatistikleri-2016. Türkiye İstatistik Kurumu web sayfası. <https://biruni.tuik.gov.tr/bolgeselististik/degiskenlerUzerindenSorgula.do#> (Erişim tarihi: 06.08.2018)
- [18] ÇOB, 2006. Katı Atık Ana Planı – Katı Atık Oluşumu ve Karakterizasyonu Raporu. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Daire Başkanlığı tarafından Mimko A.Ş.'ye hazırlanan rapor.
- [19] USEPA, 2005. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide. U.S Environmental Protection Agency Document No: EPA-600/R-05/047. Washington, USA.
- [20] CRA, 2009. Landfill gas generation assessment procedure guidelines. British Columbia Ministry of Environment Document prepared by Conestoga Rovers & Associates (CRA)
- [21] MGM, 2018 . İllere ait yıllık yağış ortalamaları –son iklim periyoduna göre, Meteoroloji Genel Müdürlüğü web sayfası. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A> (Erişim tarihi: 06.05.2018)
- [22] Sarptas, H. Katı atık depo gazı enerji potansiyelinin matematiksel modelleme yaklaşımı ile tahmini, TTMD Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, Cilt 102, s.48-55.
- [23] Özal, K., Alamur, D., 2018. Tabii Gaz Projesi, Maden Mühendisleri Odası Dokümanı web sayfası:

- http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/19427579e7b0674_ek.pdf (Erişim tarihi: 08.05.2018)
- [24] Melikoglu, M. 2013. Vision 2023: Assessing the feasibility of electricity and biogas production from municipal solid waste in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Cil 19,s. 52-63.
- [25] TEİAŞ, 2011. Hane başına düşen yıllık elektrik üretimi.; <https://gazelektrik.com/faydali-bilgiler/elektrik-tuketimi>
- [26] TÜİK, 2018. Kullanım yerlerine göre elektrik tüketimi: Toplam tüketim (MWh), Türkiye İstatistik Kurumu, <https://biruni.tuik.gov.tr/bolgeselistatistik/degiskenlerUzerindenSorgula.do?durum=yillariGetir&secilenDegiskenListesi=213>. (Erişim tarihi: 25.08.2018)
- [27] Enerji Atlası, 2018. Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Piroolitik Yağ Enerji Santralleri, <http://www.enerjiatlası.com/biyogaz/> (Erişim tarihi: 11.11.2018)