

**TÜRKİYE'DE BİTKİSEL ATIKLARDAN
ELDE EDİLEBİLECEK BİYOGAZ ENERJİ
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

Simge ÇAKAL

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Esra TINMAZ KÖSE

Dr. Suna Özden ÇELİK

2019

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE'DE BİTKİSEL ATIKLARDAN ELDE EDİLEBİLECEK BİYOGAZ
ENERJİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Simge ÇAKAL

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DANIŞMANLAR: Dr. Öğr. Üyesi ESRA TINMAZ KÖSE
Dr. SUNA ÖZDEN ÇELİK

TEKİRDAĞ-2019

Her hakkı saklıdır

Dr. Öğr. Üyesi Esra TINMAZ KÖSE ve Dr. Suna Özden ÇELİK eş danışmanlığında, Simge ÇAKAL tarafından hazırlanan “Türkiye’de Bitkisel Atıklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. İbrahim DEMİR *İmza :*

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Esra TINMAZ KÖSE *İmza :*

Üye: Dr. Suna Özden ÇELİK *İmza :*

Üye: Doç. Dr. Gül KAYKIOĞLU *İmza :*

Üye: Doç. Dr. Füsun EKMEKYAPAR *İmza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRKİYE’DE BİTKİSEL ATIKLARDAN ELDE EDİLEBİLECEK BİYOGAZ ENERJİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Simge ÇAKAL

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Esra TINMAZ KÖSE

Eş Danışman: Dr. Suna Özden ÇELİK

Dünya’da enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç günden güne artış göstermektedir. Gelişmekte olan ülkelerdeki artan nüfus ve bu nüfusun hayat kalitesinin yükselmesi ile beraberinde gelişen teknoloji ve sanayileşme göstermektedir ki ilerleyen yıllarda enerjiye olan talep daha da fazla olacaktır. Artan enerji ihtiyacını giderebilmek adına yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmakta, organik içerikli atıkların enerji kaynağı olarak kullanımı günden güne daha da önem kazanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Türkiye’deki bitkisel atıkların enerji potansiyeli, Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TÜİK) bitkisel üretim verileri baz alınarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin karasal büyüklüğünün yaklaşık %30,40'ını (233850926,50 daa) tarım alanları oluştururken, tarım alanlarının %66,44'ünü tahıllar ve diğer bitkisel ürünler, %15,81'ini nadas alanları, %3,40'ını sebze bahçeleri, %14,30'unu meyveler, içecek ve baharat bitkileri ve %0,02'sini süs bitkileri alanı oluşturmaktadır. 2017 yılı TÜİK verilerine göre Türkiye’deki bitkilerin ekim alanları; arpa için 24396791 daa, ayçiçeği için 7796217 daa, buğday için 76990818 daa, mısır için 11253140 daa ve pamuk için 5018534 dekadır. Türkiye’de bitkilerden elde edilecek toplam biyogaz miktarı 240673168 m³/yıl, bitkisel atıklardan üretilebilecek biyogazın enerji eşdeğeri 5463,19 TJ/yıl (130460,98 TEP/yıl) olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık yönetimi, Biyogaz, Bitkisel atık, Enerji

2019, 68 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

ENERGY POTENTIAL OF VEGETABLE WASTES

Simge ÇAKAL

Tekirdag Namik Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

Supervisors: Dr. Esra TINMAZ KÖSE

Dr. Suna Özden ÇELİK

The need for energy resources in the world has been increasing steadily. In the developing countries, the demand for energy will be even more intense in future in line with increasing population, industrialization, rise in people's living standards and technological developments. The search for new and renewable energy sources in the world and in our country has significantly increased in recent years to meet this increasing energy need. Especially, the use of organic waste as an energy source has been gaining importance. In this study, the potential energy of vegetable waste in Turkey was calculated based on vegetable production data obtained from Turkey Statistical Institute (TSI). Approximately 30.40% of Turkey's territorial size (233850926.50 decares) constitute agricultural land. In 66.44% of the farmlands, cereals and other crops are planted. 15.81% of the areas are fallow area, 3.40% of the area are vegetable gardens, 14.30% are used for fruits, beverage and spice plants (herbs) and 0.02% are used for ornamental plants. According to TSI, cultivation areas in Turkey in 2017 are 24396791 decares for barley, 7796217 decares for sunflower, 76990818 decares for wheat, 11253140 decares for corn and 5018534 decares for cotton. Potentially the total amount of biogas that be produced from plants in Turkey is of 240673168 m³/year. Therefore the energy equivalent of the biogas which can be produced from vegetable wastes can be calculated as 5463.19 TJ/year (130460.98 TEP/year).

Key words: Waste management, Biogas, Vegetable waste, Energy

2019, 68 pages

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	vi
ŞEKİL DİZİNİ	vii
SİMGELER DİZİNİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	4
2.2 Biyogazın Tanımı ve Tarihçesi.....	9
2.3 Diğer Dünya Ülkelerinde Biyogaz Enerjisinden Yararlanma Durumu	10
2.4 Türkiye’de Biyogazın Gelişimi	12
2.5 Biyogazın Üretimini Etkileyen Faktörler	13
2.5.1 Sıcaklık	14
2.5.2 Atığın kompozisyonu	15
2.5.3 C/N oranı	15
2.5.4 Bekleme süresi.....	16
2.5.5 Organik yükleme hızı	17
2.5.6 pH	17
2.5.7 Karıştırma	18
2.5.8 Toksik etkiler.....	18
2.5.9 Basınç	19
2.5.10 İnhibitör maddeler	19

2.5.11 Aşılama.....	19
2.5.12 Güvenlik	19
2.6 Biyogazın Üretim Aşamaları	20
2.7 Biyogazın Kullanım Alanları	22
2.7.1 Biyogazın ısıtmada kullanımı.....	23
2.7.2 Biyogazın aydınlatmada kullanımı.....	24
2.7.3 Biyogazın motorlarda kullanımı	24
2.7.4 Biyogazın doğalgaza dönüşümü ve aşamaları.....	24
2.8 Biyogaz Üretim Tesisinin Üniteleri.....	25
2.8.1 Atık hazırlama ünitesi.....	25
2.8.2 Otomasyon sistemi	25
2.8.3 Fermantör - Sindireç (organik maddenin doldurulduğu tank depo).....	25
2.8.4 Gaz deposu	26
2.8.5 Gübre (organik madde) deposu	26
2.8.6 Karıştırıcılar.....	26
2.8.7 Seperatör.....	26
2.8.8 Kojenerasyon ünitesi	26
2.8.9 Desülfürizasyon ünitesi	27
2.8.10 Biyogübre üretim bölümü.....	27
2.9 Biyogaz Üretim Tesisinin Tipleri	27
2.9.1 Tarımsal biyogaz tesisleri.....	27
2.9.2 Atık su arıtma tesisleri.....	29
2.9.3 Belediye katı atık arıtma tesisleri	29
2.9.4 Endüstriyel biyogaz tesisleri.....	29
2.10 Biyogaz Geri Kazanım Tesisleri.....	30
2.11 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Maddeler	30
2.12 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Sistemler ve Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	32

2.13 Biyogaz Üretiminin Yararları	33
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	34
3.1 Materyal	34
3.2 Yöntem	40
3.2.1 Hesaplama yöntemi (Konya ili buğday örneği)	43
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	45
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	59
6. KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	68

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından öncü ülkelerin dağılımı	7
Çizelge 2.2: 2040 yılı için küresel yenilenebilir enerji senaryosu	8
Çizelge 2.3: Avrupa Birliği'ne üye ülkelerin biyogaz üretimi TEP/yıl (2010)	10
Çizelge 3.1: Türkiye'de bitkilerin ekim alanları (dekar)	35
Çizelge 3.2: Türkiye'deki kullanılabilir bitki atığı miktarları (ton)	37
Çizelge 3.3: Türkiye'de ekimi yapılan bitkilerin ekilen alan (daa) ve verim değerleri (%)	41
Çizelge 3.4: Bitkisel atık miktarının hesaplanması amacıyla kabul edilen değerler	42
Çizelge 4.1: Türkiye'de bitkilerden elde edilecek biyogaz miktarları (m ³ /yıl)	45
Çizelge 4.2: Türkiye'de iller bazında bitkilerden elde edilecek biyogaz enerji eşdeğeri (TJ/yıl) ve illere göre yüzdeleri (%)	48
Çizelge 4.3: Bitkilerden üretilen biyogaz enerji eşdeğerinin Türkiye'deki yüzdeleri (%)	54
Çizelge 5.1: Bitkisel atıklardan elde edilecek biyogaz enerji eşdeğeriyle elektrik ihtiyacı karşılanan iller	60

ŞEKİL DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Yenilenebilir enerji kaynakları	4
Şekil 2.2: Metanojenlerin büyüme hızlarının sıcaklıkla değişimi	14
Şekil 2.3: Biyogaz üretim aşamaları	20
Şekil 2.4: Biyogazın üretimindeki süreçler	23
Şekil 3.1: Türkiye'deki kullanılabilir bitki atığı miktarlarının dağılımı.....	40
Şekil 3.2: Bitki sayısı ile biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama diyagramı	43
Şekil 3.3: Konya'daki buğdaydan elde edilen biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama diyagramı..	44
Şekil 4.1: Türkiye'de iller bazında bitkilerden elde edilecek biyogaz miktarının dağılımı	48
Şekil 4.2: Türkiye'de iller bazında bitkilerden elde edilecek biyogaz enerji eşdeğerinin dağılımı	51
Şekil 4.3: Türkiye'de iller bazında bitkilerden elde edilecek biyogaz enerji eşdeğerinin dağılımı (%)	51
Şekil 4.4: Türkiye'de iller bazında arpadan elde edilecek enerji eşdeğeri	52
Şekil 4.5: Türkiye'de iller bazında ayçiçeğinden elde edilecek enerji eşdeğeri	52
Şekil 4.6: Türkiye'de iller bazında buğdaydan elde edilecek enerji eşdeğeri	53
Şekil 4.7: Türkiye'de iller bazında mısırdan elde edilecek enerji eşdeğeri.....	53
Şekil 4.8: Türkiye'de iller bazında pamuktan elde edilecek enerji eşdeğeri	54
Şekil 4.9: Türkiye'deki enerji eşdeğer potansiyeli yüksek olan illerin yüzdeleri	57
Şekil 4.10: Türkiye'deki enerji eşdeğer potansiyeli yüksek olan illerin yüzdeleri	58

SİMGELER DİZİNİ

C	:Karbon
CH ₄	:Metan
CO	:Karbonmonoksit
CO ₂	:Karbondioksit
EIA	:Enerji Bilgi Yönetim İdaresi
EPDK	:Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
GWh	:Gigawatt saat
H ₂	:Hidrojen
H ₂ S	:Hidrojen sülfür
KG	:Kilogram
KW	:Kilowatt
KWh	:Kilowatt saat
M ³	:Metreküp
MJ	:Megajoule
MTEP	:Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MW	:Megawatt
MWh	:Megawatt saat
N	:Azot
NH ₃	:Amonyak
O ₂ :	:Oksijen
PV	:Fotovoltaik
TEP	:Ton Eşdeğer Petrol
TJ	:Terajoule
TÜİK	:Türkiye İstatistik Kurumu
UKM	:Uçucu Katı Madde
YEK	:Yenilenebilir Enerji Kaynakları

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca yaptığı katkılardan, her türlü desteğinden ve emeğinden dolayı çok değerli tez danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Esra Tınmaz KÖSE' ye, eş danışmanım Arş. Gör. Dr. Suna Özden ÇELİK' e, bu tezin hazırlanmasındaki tüm katkılarından ve varlığından dolayı İsmail KILIÇ' a, hayatım boyunca benden maddi manevi desteğini esirgemeyen, her daim yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2019

Simge ÇAKAL
(Çevre Mühendisi)

1. GİRİŞ

Dünya’da enerji kaynaklarına olan ihtiyaç her geçen gün artarken; gelişmekte olan ülkelerdeki nüfus artışı, sanayileşme, insanların yaşam standartlarının yükselmesi ve teknolojik gelişmeler önümüzdeki yıllarda enerji talebinin daha da yoğun olacağını habercisi olmaktadır. Enerjiye olan ihtiyacı giderebilmek adına dünyada ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları arayışı içine girilmiştir. Organik içerikli bitkisel atıklardan biyogaz üretilmesi, enerji kaynağı olarak kullanım sağlamasının yanı sıra toprak iyileştirici olarak toprağa kazandırılmasıyla da hem tarım arazilerinde verimi artırmakta hem de aktif bir atık yönetim sürecinin oluşmasına katkı sağlamaktadır.

Fosil kaynaklı yakıtların azalması sonucunda oluşan enerji açığı fiyatlarda artışa ve bitkisel atıklardan kaynaklı çevre problemlerini de beraberinde getirmektedir. Bitkisel atıkların çevresel olarak kabul edilebilir seviyelerde olması biyogaz enerji dönüşüm sistemleriyle oluşturulacak etkin çözüm yöntemleriyle sağlanabilmektedir. Organik atıklardan elde edilen organik gübre; enerji ve besin değeri bakımından oldukça yüksek olmasıyla dikkat çekmektedir (Baban ve ark. 2001, Olgun ve ark. 1999). Biyogaz üretimi, yenilenebilir diğer enerji kaynaklarına göre hammadde yönünden geniş bir yelpazeye sahip olması sebebiyle tarım ve ekonomik anlamda ciddi katkılar sağlamaktadır. Tüm bu bilgiler göz önüne alındığında biyogaza yönelim kaçınılmazdır.

Gelişmiş ülkeler hem kaynak israfını önleme hem de hayat standartlarını yükseltmek ve enerji açığını gidermek adına bütün organik atıklardan biyogaz üretilmesi ve üretilen biyogazın çeşitli amaçlar doğrultusunda kullanılmasıyla enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmekte, belirli atıkların geri kazanımı için yeni metotlar geliştirmektedirler (Bayram 2001).

AB, 2020 yılı için iklim ve enerji hedefleri belirlemekle yetinmeyip küresel iklim gündemini de desteklemektedir. AB’nin hedefleri arasında ilk olarak sera gazı emisyonlarının 1990 yıllarına kıyasla %20 indirilmesi, enerji tüketiminde %20 oranında yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılması ve enerji verimliliğini %20 oranında iyileştirme hedefleri vardır. 2050 yılına kadar ki süreçte ise; düşük karbonlu ekonomiye geçebilmek için sera gazı emisyonlarını %80-95 oranında indirme hedefini benimsemişlerdir (Anonim 2016).

Günümüzde tarımsal potansiyeli fazla olan tüm dünya ülkeleri, küresel ısınmayla mücadele etmenin yanı sıra, enerjiden kaynaklı oluşan açığı kapatmak, çevresel problemlere

çözüm üretmek ve ilerleme hedeflerini gerçekleştirmek adına yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelirken önceliği biyogaza vermişlerdir.

Ülkemizde enerji kaynak rezervlerinin son derece kısıtlı olması, enerjiye olan ihtiyacımızın yaklaşık %60'ının ithal edilerek karşılanması bizi diğer dünya ülkelerine bağımlı yapmaktadır. Kısıtlı oranda sahip olduğumuz fosil kökenli yakıt rezervlerimiz biyogaz üretimi ve kullanımına olan talebi gün geçtikçe arttırmaktadır. Biyogaz, hidrolik, rüzgâr, güneş ve jeotermal enerji fosil kökenli yakıtlara alternatif olarak kullanılacak yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça zengin olduğu ancak elindeki cevheri kullanma konusunda yetersiz olduğu bilinmekte, fosil kökenli yakıtların tükenmesi durumunda çevreci bir politika izlemesi gerekmektedir. Ülkemizde bitkisel atıklardan anaerobik ortamda biyogaz üretimi oldukça az olmasına rağmen gıda endüstrisinde uygulamaları mevcuttur (Anonim 2017).

Türkiye'nin atıklardan üretilen biyogaz miktarı 1,5-2 MTEP, atık biyogaz enerji eşdeğerinin ise 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) civarında olduğu öne sürülmektedir. Türkiye'deki bitkisel üretim miktarı yılda 176313301 ton, bitkisel atık miktarı ise yılda 96451594 tondur, bitkisel atıklardan elde edilecek enerji eşdeğeri yılda 39877285 ton eşdeğer petroldür. Kentsel katı atık miktarı yılda 31331836 ton iken, kentsel organik atıklardan elde edilebilecek enerji eşdeğeri yılda 2315414 TEP, bu atıkların toplam enerji eşdeğeri 44228795 TEP/yıldır. Türkiye'deki biyogaz kaynaklı elektrik üretim santral sayısı 128 adettir. Bu santrallerden 2018 yılı ortalarındaki değerlere göre 695 MW'lık güç ve 1610 GWh elektrik üretilmiştir (Anonim 2018).

Türkiye'nin ihtiyaç duyduğu enerjinin %2,50 ile %4,80'i biyogazdan elde edilecek enerji eşdeğerinden sağlanırken, bu değer toplam enerjinin %3,20 ile %6,30 arasında değişen oranına tekabül etmektedir. Türkiye'nin biyogazdan elde edilebilecek enerji potansiyeli, toplam yenilenebilir biyogaz enerji potansiyelinin %35,90 ile %70,60'lık kısmını oluşturmaktadır. Türkiye'deki elektrik üretim tesislerinden elde edilecek enerji veriminin %40 olduğunu varsaydıığımızda; biyogazdan sağlanacak elektrik enerjisinin %6 ile %12 oranında olacağı, yenilenebilir enerji payının ise %22 ile %44 oranında yükseleceği anlamına gelmektedir (Anonim 2018a). Ancak enerji talebinin karşılanması konusunda yapılan düzenlemeler diğer ülkelere olan bağımlılığımızın ortadan kaldırılmasını ve teşvikleri gündeme getirmiştir. Bu bağlamda biyogaz ve güneş enerjisi için verilen teşvikler rüzgâr ve hidroelektrik enerjisine verilen teşviklerden çok daha yüksektir (Anonim 2018b). Ayrıca

biyogaz üretimi ile, doğalgaz tüketiminin %19,20 ile %37 oranında azaltılmasının mümkün olduğu göz ardı edilemeyecek bir gerçektir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı küresel enerjinin %80'inin sağlandığı fosil kökenli yakıt olan petrol, kömür ve doğalgazın yakın gelecekte bitmesine karşın, bu yakıtlara alternatif olarak kullanılacak biyogaz ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları (hidrolik, rüzgâr, biyogaz, güneş, jeotermal, dalga ve akıntı enerjisi) bakımından son derece zengin ancak mevcut kullanım oranı oldukça düşük olan ülkemizdeki mevcut kullanım oranını arttırmak ve biyogazın enerji eşdeğerini değerlendirmektir.

Bu kapsamda, Türkiye'deki tarım alanlarında bitkisel atıkların değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkan biyogazın enerji eşdeğeri incelenmiş, belirlenen sonuçlar doğrultusunda karşılanabilecek enerji potansiyelinin haritalandırılması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Gelişmekte olan ülkelerdeki artan nüfus, yükselen hayat standartları ve enerji talebinin; çevresel ve sürdürülebilir olarak karşılanabilmesi çağımızın en büyük zorluklarından biridir (Dinçer ve Acar 2015). Yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir kalkınmaya sağladığı faydaların yanı sıra enerjiyle alakalı bazı problemlere de çözüm oluşturmaktadır. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç belirli sektörlerde (elektrik, ısıtma, soğutma ve ulaştırma vb.) artış göstermektedir (Bhattacharya ve ark. 2016). Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; jeotermal, biyogaz, güneş, okyanus, rüzgâr ve hidro enerjidir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Yenilenebilir enerji kaynakları

Bütün enerjilerin kaynağı olan güneşin birincil yapı taşlarını ısı ve ışık oluşturmaktadır. Isı ve ışığın emilim ve çevreye dönüşümlerinin sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları oluşmakta böylece küresel ısınma ve sera gazı emisyonlarında azalma meydana gelmektedir (Panwar 2011).

1970'ten bu yana pek çok şekilde değerlendirilen güneş enerjisinin en bilinen kullanım yöntemleri kamp fenerlerinde ve su ısıtmadır. İlerleyen teknoloji sonucu azalan maliyetler, dünyadaki güneş enerjisi kullanımını günden güne arttırsa da eskilerde maliyetinin fazla oluşu sebebiyle pek rağbet görmeyen bir kaynaktır (Anonim 2016a).

Güneş enerjisi, çevreye zararının olmayışının yanı sıra çevre kirliliğini önleme, ısıtma ve soğutma, aydınlatma ve elektrik kaynağı olarak kullanım gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Bir yılda ortalama 1 m²'lik güneş enerjisiyle üretilecek enerji; 1 varil petrol, 200 kg kömür ve 140 m³'lük doğalgazdan üretilecek enerjiye eşittir.

Son 10 yılda güneş enerjisi kullanımında %50 artış gözlenirken, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek enerjinin bu değer altında kalışı bu kaynaklara olan talebi azaltmıştır. Güneş enerjisinden yoğun olarak faydalanılması bölgedeki kentleşmeyi arttırmakta, ev ve işyerlerinin çatılarına kurulan sistemlerle Hindistan'da toplam enerji ihtiyacının %47,70 ile %31,10'u, Çin'de %84'ü, Richmond'da ise %91'i karşılanmaktadır (Kammen ve Sunter 2016).

Jeotermal enerji; yerkabuğunun derinliklerinde biriken ısı, kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazların meydana getirdiği yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Bu kaynaklardan doğrudan ya da dolaylı olarak yararlanmak jeotermal enerjinin kapsamını oluşturmaktadır (Anonim 2019). Jeotermal enerjinin doğal olaylardan etkilenebilmesi nedeniyle en verimli kullanım alanı ısıdır.

1900 yılında ilk kez İtalya'da kullanılmaya başlanılan jeotermal enerjinin 1985 yıllarına gelindiğindeki elektrik kapasitesi 4500 MW, termal kapasitesi 7500 MW, günümüzde ise elde edilebilecek elektrik gücü 28,30 W/m², toplam gücü 800 W/m²'ye ulaşmaktadır. Dünyada 60 ülkede jeotermal enerjiden faydalanılırken, en yüksek kapasiteye sahip olan ülkelerin başında ABD, Filipinler, Endonezya, Meksika ve Yeni Zelanda gelmektedir. Çin'de %25 ile %30 oranında enerji tasarrufu, Londra'da ise %58 ile %70 oranında ısınma ihtiyacı jeotermal enerjiyle karşılanmaktadır (Kammen ve Sunter 2016).

Kullanılmaya başlanması tarihte çok eskilere dayanan rüzgâr enerjisi ayrıca ilk enerji kaynağı ve itici güç olarak da anılmaktadır. Temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisinin kullanım alanları öncelerde deniz taşımacılığıyla sınırlı kalsa da daha sonraki yıllarda yel değirmenlerinde, günümüzde ise rüzgâr enerji santrallerinde kullanılmaktadır (Anonim 2019a). Dünyadaki kullanımına bakıldığında ise Yeni Zelanda'da

enerjinin %33'ü, Sicilya'da %40'ı, Çin'de %5'i ve Bahreyn'de (Dünya Ticaret Merkezi'ndeki ikiz kulelerde) %11 ile %15'i rüzgâr enerjisinden sağlanmaktadır (Kammen ve Sunter 2016).

Biyogaz genel anlamda bitkisel ve hayvansal atıklardan üretilen, ısınma ve elektrik üretme amacıyla kullanımının yanı sıra yakıt olarak da kullanılabilen, içeriğinde kükürt ve kanserojen maddeler bulunmadığı için çevreye zarar vermeyen, bu yüzden çevresel açıdan oldukça önemli olan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir (Anonim 2019a). Biyogaz enerjisinden elde edilebilecek güç 0,05 ile 1,70 W/m² olsa da biyogazın dezavantajı, enerji payının diğer kaynaklara oranla daha az olmasıdır (Kammen ve Sunter 2016). En bilinen biyogaz kaynakları bitkisel atıklardan elde edilebilecek dal, sap, saman, kök, kabuk; tohum bitkilerinden elde edilebilecek ayçiçeği; karbonhidratlı bitkilerden edilebilecek buğday ve mısır; sanayi ve hayvansal atıklardan elde edilebilecek atıklar ile elyaf bitkilerinden elde edilebilecek keten, kenevir ve odundur.

Kentsel atıklardan enerji elde edilmesi sürdürülebilir enerji için oldukça önemlidir. Artan kentleşmeyle birlikte evsel atıklarda artış olması bu atıkların yönetilmesi gerektiği konusunu gündeme getirmiştir. Bilinen atık yönetim metotları; geri dönüşüm, yakma ve düzenli depolamadır. Düzenli depolama ile 4,10 W/m²'lik, atıkların yakılması durumunda ise 0,6-1,8 MWh/ton enerji elde edilmektedir. 2011 yılında ABD'de kentsel katı atıklardan %8 ile %12 oranında enerji elde edilirken, karbondioksit emisyonlarında %90 oranında bir azalma olacağı belirtilmiştir (Kammen ve Sunter 2016).

İklim değişikliklerinin ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasında anahtar nokta da bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının doğru şekilde değerlendirilmesiyle çevresel yönden olumlu kazanımlar sağlanacaktır (Dinçer ve Acar 2015). Fosil yakıt kullanımının dezavantajları sebebiyle yenilenebilir enerjiye olan yönelim hızla artış göstermektedir. Bu nokta da yenilenebilir enerjinin sürdürülebilirliğinin de değerlendirilmesi gerekmektedir (Liu 2014).

1992 yılından sonra daha sık gündeme gelmeye başlayan iklim değişiklikleri ve fosil kökenli yakıtların yetersizliğinin önüne geçmek adına AB'nin enerji politikaları benimsenmektedir. Böylece enerji veriminde artış sağlanması, sera gazı emisyonlarında ve fosil kökenli yakıtlara olan talebin azaltılması hedeflenmektedir. AB'nin 1996 yılı için benimsediği hedefler kapsamında Yeşil Bildiri'yi kabul ederek 2010 yılındaki enerji kaynaklarından sağlanacak payı %6'dan %12'ye çıkarmak, 2020 yılı için hedeflenen enerji payını %30 arttırmak, 2050 yılına kadar ki sera gazı emisyonlarını azaltmak vardır. İzlenecek

bu enerji politikalarının amacı enerji piyasasını çeşitlendirme, enerji güvenliğini sağlama ve iyileştirme hedeflerini gerçekleştirme yönündedir (Grilli ve ark. 2016).

21. yy. Yenilenebilir Enerji Politikası Ağı'nın yayınladığı rapora göre Çizelge 2.1'de yenilenebilir enerji kaynakları bakımından öncü ülkelerin dağılımı gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından öncü ülkelerin dağılımı

(Bhattacharya ve ark. 2016)

Yenilenebilir Enerji Kaynakları	Ülkeler				
Hidroelektrik	Çin	Brezilya	Kanada	ABD	Rusya
Güneş Enerjisi PV	Almanya	İtalya	Belçika	Yunanistan	Çek Cumhuriyeti
Rüzgâr Enerjisi	Danimarka	İsveç	Almanya	İspanya	İrlanda
Jeotermal Enerji	İzlanda	Yeni Zelanda	Macaristan	Türkiye	Japonya

Birleşmiş Milletler 'in 2014-2020 yılları arasındaki hedefleri kapsamında teknolojik yatırımların artırılmasıyla birlikte enerjinin yaygınlaştırılması, verim artışı, erişim kolaylığı ve sürdürülebilirliğin sonucunda çevresel anlamda iyileşmelerle de bağıntılı olarak yatırımlarda artışlar olması beklenmektedir (Bhattacharya ve ark. 2016). Yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanacak enerjiyle sera gazı emisyonları ile diğer kaynak tüketimlerinde (kentsel alanlar vb.) düşüş yaşanması beklenmektedir (Kammen ve Sunter 2016). Bu kaynakların en düşük tüketimi bile daha temiz bir çevre oluşturmakla kalmayıp ekonomik ve sosyal anlamda gelecekte yaşanabilecek sıkıntılara çözüm oluşturacaktır (Panwar 2011). Gelişmiş ekonomiye sahip pek çok ülke enerji güvenliğini güçlendirme ve sera gazı emisyonlarını kontrol edebilmek adına yenilenebilir kaynaklara yönelmektedir. Enerji Bilgi Yönetim İdaresi (EIA) günümüzde bu kaynakların çok hızlı bir şekilde büyüdüğünü bildirmektedir. Avrupa Komisyonu'nun hedefi ise bu kaynakları 2020 yılına kadar %20 arttırmaktır.

Ekonomik anlamda gelişmiş ülkeler Afrika'da elektriğe erişimi bulunmayan bölgelerdeki durumu düzeltmeyi hedeflerken, yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük çoğunluğuna sahip olan kıtaların bu hedefi benimsemeyişi ortadaki tezat durumu gözler önüne

sermektedir (İnglesi-Lotz 2016). Yenilenebilir enerji kaynaklarının 2040 yılına kadar ki süreçte küresel yenilenebilir enerji senaryosu Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. 2040 yılı için küresel yenilenebilir enerji senaryosu (Panwar ve ark. 2011).

Yenilenebilir Enerji Kaynakları	YIL									
	2001		2010		2020		2030		2040	
	MTEP	Yüzde %	MTEP	Yüzde %	MTEP	Yüzde %	MTEP	Yüzde %	MTEP	Yüzde %
Biyogaz	1080	10,76	1313	12,45	1791	15,67	2483	20,10	3271	24,57
Büyük Hidro	22,70	0,23	266	2,52	309	2,70	341	2,76	358	2,69
Jeotermal	43,20	0,43	86	0,82	189	1,65	333	2,69	493	3,70
Küçük Hidro	9,50	0,09	19	0,18	49	0,43	106	0,86	189	1,42
Rüzgâr	4,70	0,05	44	0,42	266	2,33	542	4,39	688	5,17
Solar Isıtma	4,10	0,04	15	0,14	66	0,58	244	1,98	480	3,60
Fotovoltaik	0,10	0,001	2	0,02	24	0,21	221	1,79	784	5,89
Solar Isıtma Elektrik	0,10	0,001	0,40	0,004	3	0,03	16	0,13	68	0,51
Deniz (Gelgit/Dalga/Okyanus)	0,01	0,0001	0,10	0,001	0,40	0,004	3	0,02	20	0,15

	YIL				
	2001	2010	2020	2030	2040
Toplam tüketim (MTEP)	10038	10549	11425	12352	13310
Toplam yenilenebilir enerji kaynağı (MTEP)	1164,41	1745,50	2694,40	4289	6351
Yenilenebilir enerji kaynağı dağılımları (%)	13,60	16,50	23,60	34,70	47,70

Enerji kaynakları; fosil yakıtlar, yenilenebilir kaynaklar ve nükleer kaynaklar olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları, enerjinin sürekli olarak üretilebildiği, ihtiyacın karşılandığı, hava kirleticileri ve sera gazı emisyonlarını sıfıra yakın

bir seviyeye düşürmeyi hedefleyen alternatif kaynaklardır. Enerji sistemini geliştirme, talebin güvenilirliğinin sağlanması, ekonominin iyileştirilmesi gibi konular enerji ve su kaynaklarının yaratacağı sorunlara da çözüm üretmeyi amaçlamaktadır. Kaynak sorununun çözümünde, bölge nüfusunun yaşam standartlarının ve istihdamın artırılmasının yanı sıra çevresel açıdan koruma amaçlı yapılan uluslararası anlaşmaların yükümlülüklerinin de sağlanması vardır. Bu bağlamda toplumsal açıdan atıkları minimize etme, hava kirliliğini azaltma, ormanları koruma, sürdürülebilir yöntemler geliştirme ve sera gazı emisyonlarını düşürme izlenecek hedeflerin başında gelmektedir (Panwar ve ark. 2011).

2.2 Biyogazın Tanımı ve Tarihçesi

Biyogaz; renksiz, yanıcı, bileşimini %60 ile %70 oranında metanın (CH_4), %30 ile %40 oranında karbondioksitin (CO_2), 20-4000 ppm aralığında hidrojen sülfürün (H_2S) oluşturduğu, az miktarlardaki azot (N), oksijen (O) ve karbonmonoksitin (CO) de içeriğinde bulunduğu, havadan %20 daha hafif, anaerobik ortamda çeşitli mikroorganizmaların varlığıyla ve biyometanlaştırma sürecinin sonucunda oluşan, parlak mavi alevle yanan gazların karışımına verilen isimdir (Anonim 2018c).

Biyogazın ana bileşenini metan gazı oluşturmakta, biyogazın ısı değerinin 17 ile 25 MJ/m^3 aralığında değiştiği bilinmekte, bu değer biyogazın yakıt değeri olarak da anılmaktadır. 1 m^3 biyogazın oluşturduğu etkin ısının; 4,70 kWh elektriğe, 0,62 litre gaz yağına, 3,47 kilogram odun ile 1,46 kilogram odun kömürüne, 12,30 kilogram tezeğe, 0,43 kilogram bütan gazı ve 1,18 m^3 havagazının sağladığı ısıya eşittir (Arıkan 2008). 1 m^3 biyogazın yakıt eşdeğerinin; 0,66 litre motorin, 0,25 m^3 propan ve 0,20 m^3 bütan ile 0,85 kg kömüre eşit olduğu bilinmektedir (Anonim 2017a).

Biyogazın yalnızca bitkisel ve hayvansal organik hammaddelerden elde edildiği gerçeği onu bilinen diğer yanıcı gazlardan (doğalgaz vb.) ayıran en temel özelliklerinden biridir. Ancak biyogaz tesislerinde substrat olarak organik atıkların, enerji bitkilerinin ve hayvansal atıkların kullanılması bir diğer önemli ve ayırt edici özelliğidir (Anonim 2017b).

Biyogazın bileşimi; atık türüne, sindirim süresine ve prosesin işletme şartlarına bağlı olmakla birlikte biyogazın üretimi için; oksijensiz bir ortam, uygun ısı, bakteriler ve organik madde bileşenlerinin sağlanması gerekmektedir. Biyogazın bilinen diğer isimleri; deponi, kanalizasyon ve gübre gazıdır (House 2007).

İlk modern biyogaz reaktörünün 1859 yılında Bombay'da işletilmeye alınmasına kadar ki süreçte biyogaz ile ilgili pek çok rivayet ortaya atılmıştır. Bunlardan ilki Asurlular tarafından milattan önce 10. yy. da banyo sularının ısıtılması için kullanılmaya başlandığı yönündeyken, 16. yy. da İranlıların biyogaz enerjisinden yararlandığı söylenmektedir. Ancak teknik olarak ilk defa 1630'da J.B.V. Helmont, organik maddelerin anaerobik ortamdaki çürümesinin sonucu olarak yanabilecek bir gaz üretilebileceğini ortaya koymuş, 1667'de Shirley aynı bulguları tekrar ortaya atmıştır (Anonim 2018d).

1804 ile 1810 yılları arasında J. Dalton ve arkadaşları sığır gübresiyle oksijensiz ortamda biyogaz üretiminin gerçekleşebileceğini ispatlamışlardır (Marchaim 1992).

Pasteur ise 1884 yılında, hayvansal atıklardan biyogaz elde edilebileceği konusunda araştırmalar yaparak, atların gübresinin biyogaz üretiminde kullanılabileceğini ve biyogazla sokak lambası yakılmasını öneren ilk kişi olmuştur (Eryaşar ve Koçar 2009).

İlk biyogaz tesisinin 1859'da Hindistan'da kurulduğu, 1895'te İngiltere'de kullanıldığı ve 1930 yıllarına gelindiğinde Buswell ve arkadaşlarının mikrobiyolojik çalışmalarındaki gelişmeler sonucu metan bakterilerini tanımlamaları ve biyogaz üretiminin bu bakterilerce gerçekleştirildiğini belirlemeleriyle bu süreç devam etmiştir. Uygulamaların ise çiftliklerdeki atıklar ile endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atıklar ve kanalizasyon atıkları üzerinde yürütülmeye devam ettiği, II. Dünya Savaşı sonrası biyogaz çalışmalarının ivme kazandığı bilinmektedir (Anonim 2018d).

2.3 Diğer Dünya Ülkelerinde Biyogaz Enerjisinden Yararlanma Durumu

Tarım ve hayvancılıkta öncü ülkelerden olan Çin ve diğer pek çok uzak doğu ülkesinde biyogaz tesislerinin aktif hâlde olduğu bilinmektedir. Avrupa Birliği'ne üye ülkelerdeki biyogaz üretim durumu ise Çizelge 2.3'de gösterilmiştir (Anonim 2018e).

Çizelge 2.3. Avrupa Birliği'ne üye ülkelerin biyogaz üretimi, TEP/yıl (2010) (Anonim 2018e)

Ülke	Depo Gazı	Aritma Çamuru	Biyogaz	Toplam (TEP/yıl)
Almanya	265,50	386,70	3561,20	4213,40
İngiltere	1474,40	249,50	0	1723,90
Fransa	440,30	45,20	38,70	526,50

Çizelge 2.3. Avrupa Birliği'ne üye ülkelerin biyogaz üretimi, TEP/yıl (2010) (Anonim 2018'e) (Devam)

İtalya	361,80	5,00	77,50	444,30
Hollanda	39,20	48,90	179,80	267,90
İspanya	140,90	10	32,90	183,70
Avusturya	4,90	18,90	141,20	165,10
Çek Cumhuriyeti	29,20	33,70	67	129,90
Belçika	44,30	2,10	78,20	124,70
İsveç	34,50	60	14,70	109,20
Danimarka	6,20	20	73,40	99,60
Polonya	35,50	58	4,50	98
Yunanistan	46,30	12,20	0,20	58,70
Finlandiya	30,60	10,70	0	41,40
İrlanda	23,60	8,10	4,10	35,800
Macaristan	2,80	10,30	17,50	30,70
Portekiz	0	0	23,80	23,80
Slovenya	8,30	3	11	22,40
Slovakya	0,80	14,80	0,70	16,30
Lüksemburg	0	0	12,30	12,30
Letonya	7	2,70	0	9,70
Litvanya	1,30	2,10	1,20	4,70
Estonya	2	0,90	90	0,99
Romanya	0,10	0,70	0,50	1,30
Avrupa Birliği Ülkelerinin Toplam Biyogaz Üretimi				8344,29

Avrupa ülkeleri; kentsel katı atıkların organik kısımları ve tarımsal atıkların uygun ayırma yöntemleriyle ayrıldıktan sonra biyometanizasyon yoluyla biyogaz üretilmesi ve üretilen biyogazın elektrik enerjisine dönüştürülmesi amacıyla pek çok tesise ev sahipliği yapmaktadır.

Aslında 1923'te Kaliforniya'da kullanılmaya başlanan biyogaz teknolojisi, 1930-1955 yıllarında hızla yayılmış, 1955'te dünyadaki üretimi hızlı bir şekilde artan petrol ve bu

süreçteki fiyatın ucuz oluşu, biyogaz alanındaki çalışmalarını durma noktasına getirmiştir ancak 1967 yılından sonraki petrolde yaşanan fiyat artışları, yeniden yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi zorunlu kılmıştır.

Biyogaz teknolojisinde, öncü ülkelerden birisi olan Hindistan'ın çalışmaları, 1930 yılından başlayarak 50 yıl da ülke de 80000 konutta biyogaz tesisinin kurulmasını sağlamış, 1985 yılında bu sayı 180000'e ulaşmıştır. Ülkede, ortalama 650 kW elektrik enerji eşdeğerinin 130 m³'ü biyogazdan üretilmekte bunun oldukça yüksek kapasiteli biyogaz tesislerindeki jeneratörlerle elektrik enerjisine dönüştürüldüğü bilinmektedir.

Biyogaz tesisi sayısında önde gelen ülkelerden bir diğeri Çin'dir. Çin'de 1975'de 1 milyona yakın olan biyogaz tesisi sayısının günümüz itibariyle 7,5 milyondan fazla olduğu bilinmekte, Çin bu tesislerin kurulmasında ve yaygınlaşmasında kırsal kesimi hedef kitle olarak kabul etmektedir. Biyogaz üretimindeki çalışmalara 1969'da başlayan Kore Cumhuriyeti'nin çalışmalarının hâlen devam ettiği bilinmektedir. 1980'lerde 106 adet köy ve 60000 adet aile tipindeki biyogaz tesisinin kırsal kesimde yaygınlaştırılmasını planlayan Tayland ve aynı yıl 150 adet köy tipindeki biyogaz tesisi sayısını dört yıllık bir süreçte 7000 adete ulaştıran Pakistan'ın Almanya, ABD, İsviçre ve Danimarka gibi birçok ülkedeki 1000 ile 10000 m³ kapasiteye sahip sanayii tipindeki bu tesisleri işleten ülkelerden bir adım geride olduğu rakamlarla desteklenmektedir. Bu ülkelerin yanı sıra diğere pek çok ülke biyogaz üretimi ve tesislerin kurulması ile ilgili çalışmalar yapmaktadır. Farklı teknolojiler kullanılarak planlanan biyogaz tesisleri amaçlarına ve kapasitelerine göre 3 sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar; 6 ile 12 m³ kapasiteye sahip aile, 50 ile 150 m³ kapasiteye sahip çiftlik ve 100 ile 200 m³ kapasiteye sahip köy tipi biyogaz tesisleridir. Asya ülkelerindeki kullanım daha çok aile tipiyken, Avrupa ülkelerindeki kullanım daha çok sanayii tipidir (Anonim 2018d).

2.4 Türkiye'de Biyogazın Gelişimi

1957'de biyogaz çalışmalarına başlamış olan Türkiye'deki çalışmalar 1963 ile 1969 yıllarında da hız kesmeden devam etmiştir. 1982'de Türkiye'deki kapasitenin 2,8 ile 3,9 milyar m³ olduğu belirlenmiştir. Sonraki süreçte hedef her ilde 3 adet, merkezlerde ise 5 biyogaz tesisinin kurulması yönünde olmuş, kurulum sağlanmış, tesisler açılmış, teşvikler verilmiş ancak biyogaz tesislerinin işletilemediği görülmüştür.

1986 yılında artan biyogaz çalışmaları sonucunda ortaya çıkan veriler ışığında kamuoyu dikkati biyogaza çevrilmiştir.

1987'deki bir anket sonucuna göre;

- Biyogaz tesislerinin inşaatının yapılabilmesi için gerekli eğitimin yetersiz oluşu,
- Tesis sahiplerinin teknik bilgi yetersizliği,
- Tesis işletmecilerinin danışman bir kuruluş bulamamaları,

nedeniyle biyogaz tesislerinin işletilemediği tespit edilmiştir (Anonim 2018f).

Ülkemizde biyogaz üretiminin olumlu sonuçlar verebilmesi için bu konudaki araştırmaların yoğunlaştırılması gerekmekte, bu araştırmaların sağladığı bilgiler ışığında yapılması gereken araştırmalarda öncelik verilmesi gereken konular;

- Bölge koşullarına göre biyogaz tesislerinin inşaat tiplerinin belirlenmesi,
- Uygun maliyetli ekipmanların kullanılması ve bunların geliştirilebiliyor olması,
- Sadece hayvansal atıkların değil bitkisel atıklarında biyogaz üretiminde kullanılabilirliğinin belirlenmesi,
- Bitkisel üretim ve toprağın özelliğine göre tesisten çıkacak gübrenin araştırılıp, taşınması ve dağıtılması için uygun sistemlerin oluşturulması,
- Çevre sağlığı açısından biyogaz üretiminin yararlarının belirlenmesi,
- Biyogazın üretiminde geliştirilen teknolojilerin kırsal kesim için oluşturacağı etkilerin araştırılmasıdır.

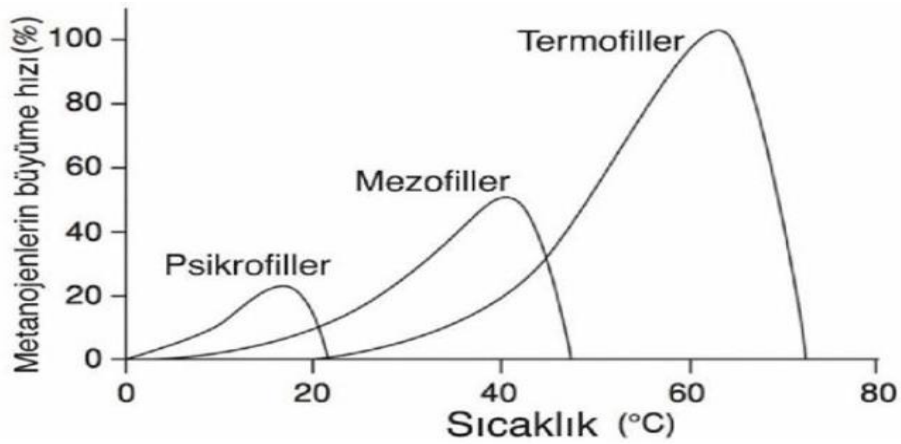
Türkiye'de günde 65000 ton atık çıktığı ve biyogaz enerji potansiyelinin yaklaşık 25 milyon kWh olduğu bilinmekte olup bu potansiyelin değerlendirilmesi gerektiği Türkiye'deki birçok bakanlıkça bilinmekte ve yeterli destek sağlanmaktadır (Karaosmanoğlu 2010).

2.5 Biyogazın Üretimini Etkileyen Faktörler

Mikrobiyolojik bakterileri etkileyen her türlü faktör biyogazın oluşum aşamasına da etki edeceği için mikroorganizmaların özgül gereksinimlerinin karşılanması ve optimum çevresel koşulların sağlanması önem arz etmektedir (Kılıç 2011, Karataş 2006). Anaerobik çürüme işlemini etkileyen kritik faktörler ise; sıcaklık, atığın kompozisyonu, C/N oranı, bekleme süresi, pH, karıştırma, toksik etkiler, basınç, toplam katı miktarının yükleme hızına oranı, organik yükleme hızı, inhibitör maddeler ve aşılama hızıdır.

2.5.1 Sıcaklık

Anaerobik ortamdaki çürüme işleminin gerçekleşebilmesi için sıcaklığı ve iklimsel koşulların sağlanabilmesi oldukça önemlidir. Biyogazın oluşum aşamasında ortamdaki sıcaklık ve verim süreyi etkilemektedir. Biyogaz tesisinin kurulabilmesi için kurulumun gerçekleştiği bölgenin iklim koşullarının sağlanması ve uygun biyogaz reaktörünün seçilmesi gerekmektedir (Kılıç 2011). Biyogaz reaktörleri belirli sıcaklık değerlerine göre 15 ile 20 °C arasında olanlara psikrofilik, 32 ile 42 °C arasında olanlara mezofilik ve 50 ile 58 °C arasında olanlara ise termofilik (50-58 °C) olarak üç sınıfa ayrılırken, biyogaz sistemlerinin sıcaklık değişikliklerine karşı çok hassas olduğu, reaktör sıcaklığındaki 1-2 °C düşüş veya artışın biyogaz üretimini olumsuz şekilde etkilemesi sonucu sistemdeki metan üreten arkelerin etkilenmesi durumunda metan üretim veriminin tekrar aynı hâle dönmesi için haftalar geçmesi gerektiği; metan bakterileri için minimum sıcaklık değerinin 3 °C ile 4 °C arasında olduğu bilinmektedir. Gaz üretiminin 0 °C'de bile gerçekleştiği ancak metan bakterileri için aktif olabildikleri ideal sıcaklık aralığının 0-70 °C olduğu (Çallı 2012, Schulz 1996), sıcaklık değişimlerinin biyogaz üretimini negatif yönde etkilediği gözlenmektedir (Novak ve Fiorelli 2009). Bu durumda dikkatle üzerinde durulması gereken konu metan üretimi için gerekli olan metan bakterilerinin minimum ve maksimum sıcaklıkta yeterli verimde olamadığıdır. Çoğu örnekte, termofilik sıcaklık koşullarında metanojenik çeşitliliğin, mezofilik sıcaklık koşullarına göre daha düşük olduğu görülmektedir (House 2007). Metanojenlerin büyüme hızlarının sıcaklıkla değişimi Şekil 2.2'de gösterilmiştir (Khanal 2008).



Şekil 2.2. Metanojenlerin büyüme hızlarının sıcaklıkla değişimi (Khanal 2008)

Biyogazın veriminde düşüşe neden olan temel faktör uygun sıcaklığın sağlanamamasıdır (Kılıç 2011). Anaerobik fermantasyon da ise metan bakterilerinin yanı sıra asit bakterileri de sıcaklıktan etkilenmekte bu sıcaklık değişiklikleri biyolojik ve kimyasal reaksiyonları etkilemektedir. Fermantasyon sırasında oluşan reaksiyonların enzimler tarafından kontrol edildiği, enzimlerin burada katalizör olarak görev aldığı, sıcaklığın yükselmesinin biyokimyasal reaksiyonları hızlandırdığı ayrıca biyogaz tesislerindeki amonyak miktarını da arttırarak fermantasyonu olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Ortamdaki sıcaklık arttıkça; reaksiyon hızının da doğru orantılı olarak arttığı ve bekletme süresinin kısaldığı böylece gerekli olan reaktör hacmi azalırken, organik maddelerin hidrolizinin de hızlandığı gözlenmektedir (Çallı 2012).

2.5.2 Atığın kompozisyonu

Atığın kompozisyonu üretilen biyogazın miktarını ve metan içeriğini etkilemektedir. Organik atıkların temeli; karbonhidratlardan, lipitlerden, proteinlerden ve lignoselülozlerden oluşmaktadır. Lignoselülozik biyogazın karbonhidratlardan oluşan kısmında %55 ile %75 oranında ve 5 ile 6 karbonlu şekerler bulunmaktadır. Karbonhidratların; proteinler, lipitler ve lignoselülozlara nazaran kolay ve hızlıca fermente olduğu, lipitlerdeki; biyogaz potansiyelinin ise proteinler ve karbonhidratlara nazaran yüksek olduğu gözlenmiştir (Çallı 2012).

Biyogaz üretiminde; büyükbaş, küçükbaş, kanatlı hayvanların gübrelerinin yanı sıra bitkisel atıkların, gıda atıklarının, algler ile endüstriden çıkan atıkların da kullanıldığı bilinmektedir. Biyogaz üretiminde kullanılan bu atıklar uygun koşullar sağlandığında tek veya belirli karıştırılma esaslarıyla birlikte de kullanılabilir. Bu yönleriyle biyogaz üretim teknolojisi, hem uygun maliyetlerde kurulabilecek bir tesis olmasıyla hem de kısa süre içerisinde yapılan yatırım maliyetlerini karşılmasıyla dikkat çekmektedir. Tüm bunların yanında elektrik eldesinde ve doğalgaz için katkı maddesi olarak kullanımıyla da bir fabrika olarak tanımlanabilmektedir (Karaosmanoğlu 2010).

2.5.3 C/N oranı

Karbon yönünden zengin olan organik atıklar biyogaz oluşumu için gerekli enerjiyi sağlarken, azot yönünden zengin olan organik atıklar anaerobik bakterilerin gelişimi, yapı hücrelerinin yeniden yapılması ve bakteriler için temel besin kaynağı olarak kullanılmaktadırlar. Organik madde içerisindeki karbon kaynağını karbonhidratlar meydana

getirirken, azotun kaynağını ise protein, nitrat ve amonyak oluşturmaktadır. Metabolik işlemler için gerekli C/N oranı ise daima denge de olmalıdır. Bu oranı dengede tutmak adına belli miktarlarda üre veya alçı taşı kullanılabilir (Buğutekin 2007). Bakterilerin azota göre 25 ile 30 kattan da çok karbonu kullandıkları için oksijensiz çürütücüdeki karbon ve azot oranının 25/1 ile 30/1 aralığında ideal olduğu bilinmektedir (Yadvika ve ark. 2004). Karbon azot oranının 23/1'den yüksek oluşu ideal çürümenin sağlanabilmesinde yeterli olmazken, 10/1 oranından düşük oluşu bakteriler üzerindeki önleyici etkiyi ortaya çıkartmaktadır. Bu önleyici etki de asıl gerekli olan durum amonyum iyonunun alternatifi olarak serbest amonyak azotunun kullanılmasıdır. Ancak serbest amonyak azotunun H₂ ve CO₂ gazlarıyla oluşan CH₄ üretiminde önleyici etkisi mevcuttur (Gül 2006). Ortamdaki azotun az oluşu hücreler ilerlemeyi önleyerek verim de düşüşe neden olurken, azotun fazla oluşu amonyak birikmesine sebep olmakta, pH değerinin 8,5'a yaklaşmasıyla, bu durum kötü kokulu ve yanmayan bir gaz elde edilmesine neden olmaktadır (İlkılıç ve Deviren 2011, Özbaşer ve Erdem 2013, Öztürk 2005, Eryaşar 2009).

2.5.4 Bekleme süresi

Atığın içerisindeki organik maddeler bakterilerin de yardımıyla çürümektedir. Bu aşamanın gerçekleşebilmesi için geçen süreye bekleme veya alıkonma süresi denir. Bu süreç sonucunda biyogaz üretiminin gerçekleşebilmesi için reaksiyona giren maddenin parçalama işlemi tamamlanıncaya kadar uygun koşullarda bekletilmesi gerekmektedir (Verma 2002). Reaktörün içerisindeki birtakım organik maddelerin tümünün biyokimyasal tepkimeye girmesiyle, gaz üretiminde azalmalar başlamakta ve belirlenen süre içerisinde besi maddeleri %70 ile %80 biyokimyasal tepkimeye girmesiyle yok edilmektedir (Öztürk 2005). Bekleme süresi, çürütücüdeki maddelerin değişmesi durumunda günlük olarak, sıcaklıktaki değişimler nedeniyle ise mevsimsel olarak değişiklik göstermektedir (Ostrem 2004). Bekleme süresini arttırarak reaksiyon hızı azaltılabilmektedir. Böylece en az maliyetle en iyi çürütme optimum zaman da sağlanmış olmaktadır. Bekleme süresinin bulunabilmesi için zamanın, tepkimeye girecek olan madde içeriğinin, prosesdeki sıcaklığın, çevresel koşullar ve çürütücü tasarımının da göz önüne alınması gerekmektedir. Pek çok kuru proseste bekleme süresi 14 ile 30 gün arasında değişirken, sıvı içeriğinin daha yoğun olduğu çamur da bekleme süresi 3 güne düşürülebilmekte, mezofilik çürütücü de atıkların parçalanabileceği süre 10 ile 40 gün arasındayken, termofilik çürütücü de katı içeriğinin fazla olduğu reaktörlerde süre 14 gün olmaktadır. Biyogaz tesislerinin bekletme süresinin işletmedeki sıcaklığı dikkate alındığında

20-120 gün aralığında değişirken, tropikal bölgelerdeki sürenin 40 ile 50 gün, Çin'deki daha soğuk bölgelerde ortalama 100 gün sürdüğü tahmin edilmektedir. Sürekli beslemenin yapıldığı sistemde, bakteriler reaktörden kaçmasın diye bakterileri arttırarak süre uzatılabilmektedir (Öztürk 2005). Bekleme süresinin azaltılmasıyla tesisin ilk yatırım masrafları azalmakta böylece hem üretimdeki hız artmakta hem de süre azaltılarak çürüme oluşmaktadır. Bu etkiler reaktör tasarımında dikkate alınmak zorunda ve süreyi azaltmak adına karıştırmanın sürekliliğinin sağlanması veya katı içeriğinin düşük olduğu çamur kullanılmalıdır (Ostrem 2004).

2.5.5 Organik yükleme hızı

Oksijensiz ortamdaki parçalanma işleminde organik yükleme hızının önemi oldukça fazladır. Biyoreaktöre yapılan beslemedeki organik madde miktarının günlük periyotlarla yapılması şeklinde tanımlanmaktadır. Organik yükleme hızında tepkime hızının belirlenmesini sağlayan etkenler; pH, mikroorganizmaların bekleme süresindeki temel kriter olan çamurun yaşı ve sıcaklıktır (Öztürk 1999). Organik yükleme hızının yüksek olduğu durumlarda bakterilere duyulan gereksinim artarken, oksijensiz çürütücülerde; maksimum organik yükleme hızının, reaktörün tasarımının, biyogaz üretimi ve faaliyetleri gibi parametrelerin sağlanmış olması gerekmektedir. Bunun yanı sıra organik yükleme hızına; oksijensiz reaktördeki biyogaz, eklenen atık suyla biyogaz arasında gerçekleşen kütle aktarımı, metabolizmanın hidrojenle arasında olan yakınlık etki etmektedir (Koyuncu 2014).

Oksijensiz parçalanmanın gerçekleşebilmesi için ideal organik yükleme hızı korunmalı, sistemdeki organik yükleme hızının fazla olduğu durumlarda biyoreaktör içindeki asitin birikmesiyle; pH düşmesi, metanojenik bakterilerin faaliyetlerinin olumsuz yönde etkilendiği gözlenmektedir. Genellikle yüksek organik yükleme hızlarında çürütücüde hatalar meydana gelirken (Vavilin ve Angelidaki 2005), düşük organik yükleme hızlarında gaz üretim hızı düşmektedir.

2.5.6 pH

pH, bir çözeltilerdeki H⁺ iyonunun konsantrasyonu veya hidrojen iyonunun aktivitesinin yanı sıra asidik ya da bazik oluşunun şiddetini göstermektedir (Samsunlu 1999). Oksijensiz sistemlerdeki çeşitli mikroorganizma gruplarının varlığından ötürü bakterilerin ideal pH aralığını bulmak oldukça güçtür. Biyogaz üretimindeki pH'nın derecesi, tepkime hızını belirlemesinin yanı sıra oldukça kritik etkileri de mevcuttur. Sistemdeki bakterilerin asit

üretim hızının metan üretimi yapan bakterilere göre yüksek hızda çoğalmasından dolayı asit üretimi artmaktadır. Bu durum metan bakterilerinin etkisini düşüreceğinden, sistemdeki pH'nın devamlı denetlenmesi uygun pH değer aralığının sağlanmasına yardımcı olacaktır. Biyogazın üretim aşamasındaki ideal pH 6,8 ile 7,5 arasında olmalı, pH 6'dan düşük olduğunda metan bakterilerinin öldüğü, 8'den yüksek olduğunda amonyak, proteinsel bir bozunmaya sebebiyet vermesi sonucunda oluşacak mikroorganizmaların üzerindeki etkisinin zehirlenme olacağı bilimsel olarak kanıtlanmıştır (Mutlu 2003).

2.5.7 Karıştırma

Oksijensiz çürütücülerdeki performans; fermantördeki substratların bekleme sürelerinden, yaşayabilecek durumdaki bakteri popülasyonundan ve substratların birbiriyle temasından etkilenmektedir. Çürütücüdeki substratların karıştırılması ile mikroorganizmaların benzer şekilde dağıtılırken ısı aktarımının da gerçekleşmiş olduğu gözlenmektedir. Karıştırma işlemi; mekanik karıştırıcılar yardımıyla, biyogazın geri devriyle ya da çamurun geri döngüsü ile yapılabilmektedir. Mekanik karıştırıcıların, enerji tüketiminde galon (1 gal=3.78 lt) başına verimi oldukça yüksektir. Gaz sirkülasyonunun hava pompası ile yapılması durumunda ise sisteme bir miktar hava sızmasının sonucunda sirkülasyon hızı artarken metanın oluşma hızı azalmaktadır. Bu durum karıştırmanın yapıldığı çürütücüde kaydedilmiştir (Gül 2006).

Karıştırmanın avantajları ise şu şekilde sıralanabilir (Anonim 2016b):

- Metanogenislerce oluşturulan biyogaz çıkışının kolaylaştırılması,
- Yeni üretilen atıkla bakteriyel popülasyonun karışımının sağlanmasıyla tepkimenin hızlandırılması,
- Fermantörün dibine çöken partiküllerin ve atık yüzeyinde oluşan köpüğün engellenmesi,
- Fermantördeki atık için sıcaklığın eşit dağılımının sağlanmasıdır.

2.5.8 Toksik etkiler

Mikroorganizma aktivitelerini azaltan ya da sonlandıran maddelerdeki zehirleyiciliğin ileriki safhalarda ve alışma sürecinde kontrollü bir şekilde kullanımı gerektiği için (Öztürk 1999), geniş kapsamlı güvenlik mekanizmaları kurulmalıdır (Gül 2006).

İçeriğinde üst düzeyde amonyum ya da proteinler bulunan atık sulardaki amonyak zehirlenmesi ciddi anlamda sorun teşkil etmektedir. Uygun koşullarda bir engelleme

olmaksızın oksijensiz arıtmanın mümkün fakat pH değeri 7,5 veya daha yüksek sıcaklıklara ulaştığında amonyak engellemesi önemli olmakla birlikte zehirleyiciliği veya etkinliği azaltıcı maddelerle seyreltme işleminin yapılması mikroorganizmaların ortamdaki maddelerin zehirleyiciliğine gereken uyum süresinin ayarlanması gerekmektedir (Öztürk 1999).

2.5.9 Basınç

Fermantörün basıncının, oksijensiz ortamdaki bakteriler tarafından üretilen biyogaz veriminde oluşturacağı etkinin yanı sıra mutlak basınç aralığının 0,75–1,50 kPa aralığında uygun bulunduğunun, daha yüksek basıncın üretimde zorluklar oluşturacağına altı çizilmelidir. Bazı fermantörlerin altında oluşan metan bakterilerinin yüksek basınçta aktivitelerini sürdürmeye devam ettiği konuyla ilgili herhangi bir performans düşüklüğü olmadığı rapor edilmiştir (Eryaşar ve Koçar 2009).

2.5.10 İnhibitör maddeler

Atık biyogaz oluşumundan kaynaklanan maddelerin ya da süreç esnasında ortaya çıkan ürünlerin biyogaz üretimindeki kullanımını engellemeye neden olurken; uzun zincirli yağ asitlerinin, dezenfektanların, amonyağın, antibiyotiklerin, zararlı ilaçların, deterjanlar ile alkoller de yüksek oranda zehirli etkiler oluşturmakta bu durum metan üretiminin azalmasına neden olmaktadır. Bazı inhibitör maddeler; uzun zincirli ya da uçucu yağ asitlerinin yanı sıra amonyağı, hidrojen sülfürü, ağır metalleri, alkali metalleri ve parçalanması daha güç olan kimyasalları sayabiliriz (Anonim 2016c).

2.5.11 Aşılama

Organik atıkların anaerobik ortamdaki biyogaz oluşumu kendi kendine başlamakta fakat, aktif olarak çalışan tesislerden alınacak çamurun mikroorganizma içeriği daha fazla olduğundan, ilk defa çalışacak tesislerde yapılan aşılama süreyi kısaltmaktadır (Demirci ve Türkavcı 2001).

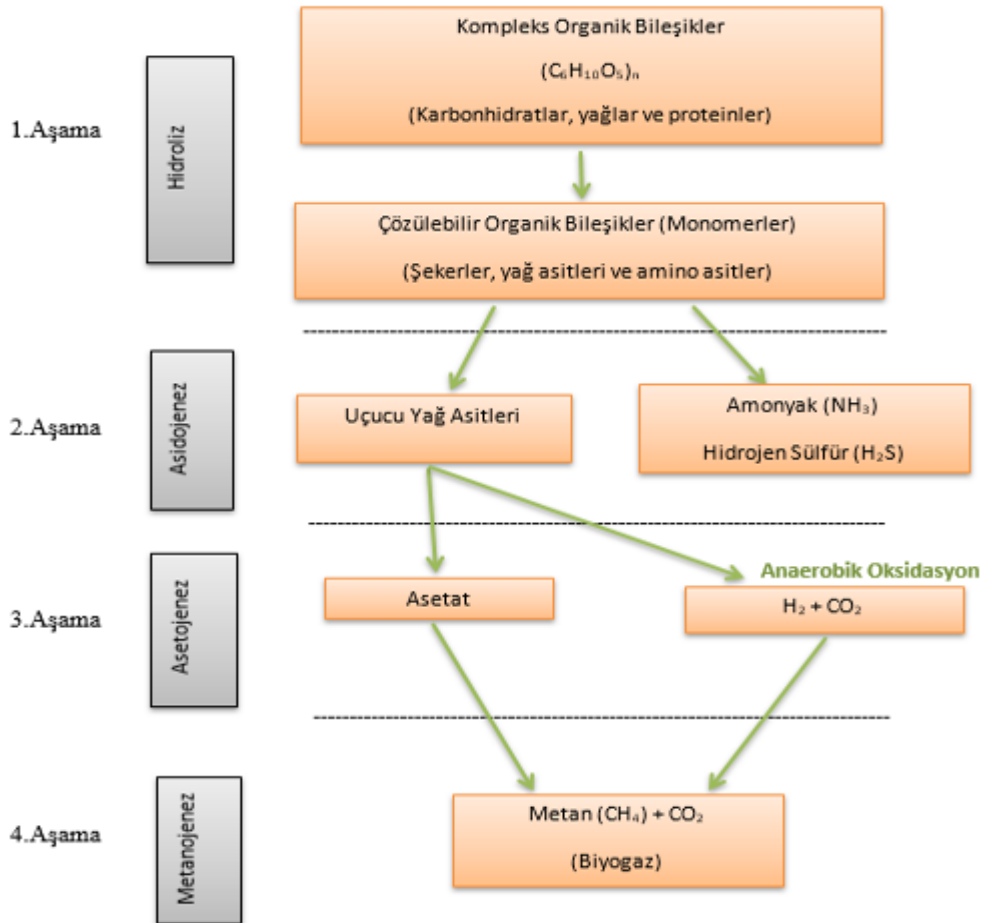
2.5.12 Güvenlik

Metanın biyogazı oluşturan ana bileşen olduğu bilinmektedir. Havayla temas etmesi sonucunda metan tehlikeli bir patlayıcıya dönüşmektedir. Patlamanın oluşabilmesi için sınır değer %6 ile %12 olup, 700 °C tutuşmanın ya da parlamanın sıcaklık derecesidir (Seadi ve

ark. 2008). Ayrıca biyogazın havadan ağır olması nedeniyle çürütücüdeki biyogazın sızıntı oluşturması durumunda genel olarak zemindeki oksijenin yerine biyogazın geçişiyle veya hidrojen sülfür içeren biyogazın ölümcül etkileri söz konusu olabilir (Debruyne ve Hilborn 2014).

2.6 Biyogazın Üretim Aşamaları

Biyogaz üretimi için; bakteri, anaerobik (oksijensiz) ortam da metanın üretilmesini sağlayan organik maddeler için gereken besin maddesi ve ısının olması gerekmektedir (House 2007). Biyogaz, ağırlıklı olarak %60 ile %70 oranında metanın yanı sıra %30 ile %40 oranında CO₂ gazı içermekte, organik maddelerin CH₄ ve CO₂'e dönüşümü karışık mikrobiyolojik flora tarafından gerçekleştirilmekte, anaerobik ortamda organik maddelerin biyolojik olarak parçalanması sonucu metan gazı hidroliz, asit oluşumu (asidojeniz), asetat oluşumu (asetojenez) ve metan oluşumu (metanojeniz) olmak üzere 4 aşamadan oluştuğu Şekil 2.3'te gösterilmektedir (Korres ve ark. 2013).



Şekil 2.3. Biyogaz üretim aşamaları (Korres ve ark. 2013)

1. Hidroliz

Hidroliz aşamasında uzun zincirli kompleks organik maddeler (örneğin karbonhidratlar, albüminler, yağlar), bazı bakteriler aracılığıyla fermente edilip aminoasitler, şekerler ve yağ asitlerine parçalanmaktadır (İlkılıç ve Deviren 2011). Bu aşamaya dâhil olan bazı bakteri grupları, parçalama işlemini gerçekleştiren enzimleri serbest bırakmakta ve işlem sırasında ara ürünler (hidrojen ve karbondioksit gazları) açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan bu ara ürünler 3. aşama olan asetat oluşumunda ortamdaki asidi oluşturacak bakterilerin aracılığıyla düşük yağ asitleri (asetik, propiyonik ve bütirik asit) ile CO₂ ve H₂ ayrıştırılmaktadır. Aynı zamanda az miktarda laktik asit ve alkol oluşmaktadır. Burada oluşacak ürün çeşidi H₂'in yoğunluğu ile belirlenmekte ve organik atıkların önemli bir kısmı, bu aşamada suda çözünebilir hâle gelmektedir (Gülzow, 2010). Burada hidrolizin hızının belirlenmesindeki etmenlerin başında pH, sıcaklık ve çamur yaşı gelmektedir (İlkılıç ve Deviren 2011).

2. Asit Oluşumu (Asidojenez)

Hidroliz aşamasında; karbonhidratların, yağların ve proteinlerin polimerleri çeşitli yapıda oksijensiz bakterilerce parçalanmakta ve monomerleri oluşturmaktadır. Oluşan monomerlerin de oksijensiz bakterilerin aracılığıyla; kısa zincirli organik asitlere, C₁-C₅ moleküllerine (bütirik, propiyonik, asetik asit ve asetat vb.), alkollere, H₂ ve CO₂'e dönüşmektedir (Deublein ve Steinhauser 2008).

3. Asetat Oluşumu (Asetojenez)

İkinci aşama (asidojenez) aşamasındaki ürünlerin asetat oluşumundaki bazı bakteriler tarafından substrat olarak kullanılmaktadırlar. Asetat oluşumundaki bakterilerin büyük çoğunluğu zorunlu olarak hidrojen üretici olmalarının yanı sıra yaşama ve büyüme gibi temel faaliyetler için gereken enerjiyi yalnızca düşük H₂ konsantrasyonlarında alabilmektedir. Fazla yüksek H₂ miktarı enerjisel nedenlerle asetojenezin ara ürünlerinin bozunmasını engellemektedir (Gülzow, 2010). Düşük hidrojen kısmi basıncında; hidrojen, karbondioksit ve asetat, asetojenik bakteriler aracılığıyla oluşturulmaktadır. Yüksek H₂ kısmi basıncındaysa yüksek oranda bütirik, kapron, propiyonik, valerik asitler ve etanol oluşturulmaktadır. Ortaya çıkan ürünlerdeki metanojenik mikroorganizmalar yalnızca CH₃COOH, H₂ ve CO₂) kullanırken (Deublein ve Steinhauser 2008); metan bakterilerince gereksinim duyulan H₂

almakta ve ortamda bulunan asetojenik bakterilerin kötü etkilenmesine sebep olan maddeleri de uzaklaştırmaktadır (İlkılıç ve Deviren 2011).

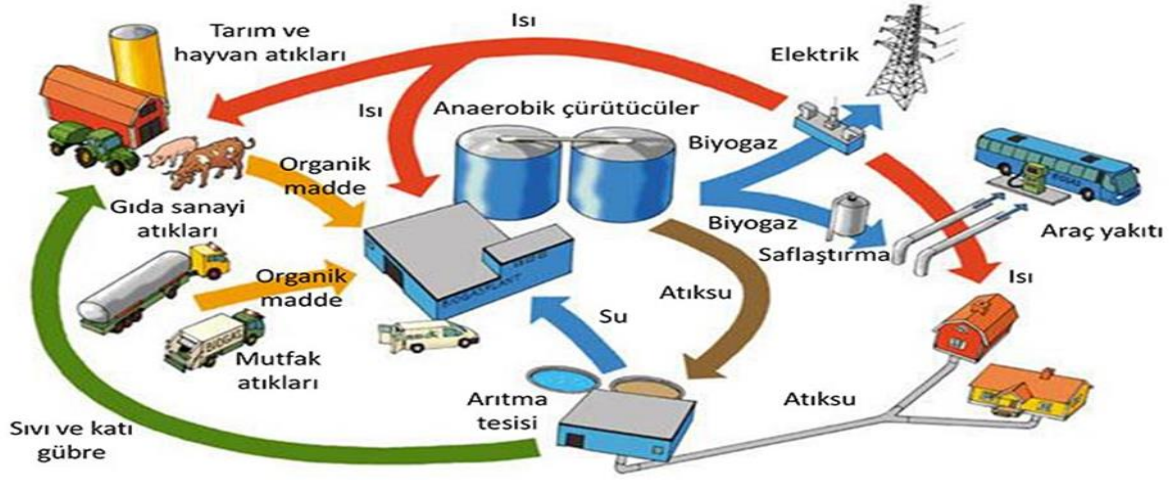
4. Metan Oluşumu (Metanojenez)

Metanojenez aşaması metan gazının oluştuğu anaerobik fermantasyonun son aşaması olmasının yanında bu aşama oldukça 3. aşama da ortaya çıkan organik asitlerin (H_2 ve CH_3COOH) metanojenik mikroorganizmalarca asetik asitin parçalanması ve hidrojenle karbondioksitin sentezlenmesi sonucunda metan ve karbondioksit dönüşerek biyogaz elde edilmektedir. Fakat bu aşamada 1. aşamada oluşacak metan miktarı, 2. aşamada oluşacak metan miktarına göre oldukça az ve asetik asit oksidasyonu ile CO_2 ile H_2 indirgenmesindeki biyogaz üretimindeki durumları kıyaslandığında; birinci yolla oluşan biyogazın %27 ile %30'u CO_2 ve H_2 'in indirgenmesiyle üretilirken ortalama %70'i ikinci yolla üretilmektedir (Deublein ve Steinhäuser 2008, Kılıç 2011, Kaya ve Öztürk 2012). Fermantasyondaki asit oluşturan bakteriler metan oluşturan bakterilerle birlikte dayanışma hâlinde yaşamakta, asit üreten bakterilerce salgılanan enzim, protein ve aminoasitlerin amonyum tuzlarına dönüştürmektedir. Metan üreten bakterilerin azot gereksinimleri oluşan amonyum tuzlarından sağlanmakta ayrıca kullanılacak besi maddelerinin kısıtlı olmasından dolayı bu tuzlar asetik asit, hidrojen ve tek karbonlu bileşikleri kullanarak kimyasal reaksiyonları büyük ölçüde etkilemektedirler. Metan oluşturan bakterilerin asit ve asetat oluşumundaki bakterilere nazaran çevre koşullarına bakıldığında oldukça hassastır (Kaya ve Öztürk 2012). Metan oluşum aşaması hidroliz aşaması gibi yavaş ve zaman zaman hız belirleyici aşama olarak bilindiğinden eğer fermantasyonda bakteriler gerektiğinden az oluşursa gaz üretiminde de azaltmalara rastlanır (Öztürk 2012).

2.7 Biyogazın Kullanım Alanları

Biyogazın, hem doğrudan ısıtma ve aydınlatmada kullanılması hem de elektrik enerjisine ve mekanik enerjiye çevrilmesi çok yönlü bir enerji kaynağı olduğunun ispatıdır (Çınar 2006, Holm ve ark. 2009). Anaerobik çürütücü de oluşan gübre hava kalitesine artırıcı etki yapmasının yanı sıra az kokulu ve tarımda oldukça yararlıdır. Biyogaz üretim aşamasında, oluşan gübrenin toprakta uygulanması sonucu buğday da %16 oranında verim artışı meydana gelmektedir. Bu oran tarım da yaklaşık olarak %20'lik bir verim artışına neden olmaktadır. Gübredeki yabancı ot tohumlarının yok edilmesi gübrenin besin değerini arttırmakta, arazideki yabancı otların kontrol edilme maliyetleri ve suni gübre üretimindeki

maliyetleri de düşürmektedir (Debruyne ve Hilborn 2014). Metan ve karbondioksit gibi sera gazı emisyonlarının atmosfere salınımı ile yüzey ve yeraltı sularına karışabilecek patojenlerin azalmasıyla su kalitesi de korunmaktadır. Biyogaz tesislerinin bulunduğu alanlara kurulan kombine ısı ve elektrik enerji santrallerinde oluşan ısı ve elektrik, tesiste kullanılabilir ya da elektrik; elektrik şirketlerine, ısıysa çevredeki ısıtma şebekelerine satılabilmektedir. Biyogazın doğalgaz kalitesine yükseltilmesiyle; biyogaz doğalgaz şebekesine dâhil edilmekte ya da sıkıştırılarak motorlu araçlarda biyoyakıt olarak kullanılmaktadır (WBA 2013). Şekil 2.4’de biyogaz üretimindeki süreçleri gösteren genel bir kesit verilmiştir.



Şekil 2.4. Biyogazın üretimindeki süreçler (Anonim 2016d)

Biyogazın doğrudan yakma, motor yakıtlarında ısınma ve ısıtma amaçlı, elektrik üretilmesinde türbinler için yakıt olarak, birleşik ısı ve güç sistemleriyle elektrik üretmede, doğalgaza dönüşüm amaçlı yapılacak olan katkılar ile yakıt pili yakıtlarında, ısı, buhar, elektrik ve soğutma için endüstriyel enerji kaynağı ve kimyasalların üretilmesi ile aydınlatma ve ısıtma amaçlı pek çok kullanım alanı vardır (Çınar 2006, Holm ve ark.2009).

2.7.1 Biyogazın ısıtmada kullanımı

Biyogazın bileşimindeki CH_4 gazı yanma özelliğini oluşturmaktadır. Biyogazın; havayla 1:7 oranında karışması tam yanmayı gerçekleştirmektedir. Biyogaz fırın ve ocaklarda, termosifon ve şofbenlerde ayrıca LPG’li sobalarda da kullanılabilir; ancak böyle bir kullanımda H_2S gazı yanmadan ortama yayılabileceği için baca sistemi kullanımı gereklidir. Bu sistemin kullanılmasının dezavantajları nedeniyle daha sağlıklı bir ısınma yöntemi olan

kalorifer sistemi kullanımının daha yaygın olduğu gör÷lmektedir (Deublein ve Steinhauser 2008).

2.7.2 Biyogazın aydınlatmada kullanımı

Biyogazın doğrudan yanmayla veya elektrik enerjisine dönüştürülerek aydınlatmada kullanımında LPG ile çalışan lambalardan yararlanılmakta sistemin alevini arttırabilmek için amyant gömlekler ve cam fanuslar kullanılmaktadır. Cam fanusların avantajı ışığın sabitleştirilmesi ve çıkan ısının geri verilmesiyle alevi arttırmaktır (Marchaim 1992).

2.7.3 Biyogazın motorlarda kullanımı

Biyogazı, benzinle çalışan motorlarda herhangi bir katkı maddesine ihtiyaç duymadan kullanılabilceği gibi içeriğinde bulunan CH₄ gazının saflaştırılmasıyla da kullanımı mevcuttur. Dizel motorlarda kullanımındaysa %18 ile %20 oranında motorinle karıştırılmalıdır. Elde edilen biyogazın dışında; üretim esnasında oluşan fermente gübre, tarlaya sıvı formda uygulanabilmekte, granül haline dönüştürülebilmekte veya beton ve toprak havuzlarda kurumaya bırakılabilmektedir (Anonim 2017c).

2.7.4 Biyogazın doğalgaza dönüşümü ve aşamaları

Biyogaz üretildikten sonra belirli bir prosesten sonra bu gaz karışımı doğalgaza yükseltilebilmektedir. Bu prosesi ana hatlarıyla şöyle özetleyebiliriz:

- Biyogazın doğalgaza göre dizayn edilmiş araçlarda kullanılması için bu proses uygulanmaktadır.
- Biyogazı yükseltmek için kullanılan en yaygın teknoloji water scrubber teknolojisi ve PSA teknolojisidir.

Bu iki teknolojinin iki ana adımı vardır:

1.Adım: Gazdan CO₂'yi uzaklaştırdıktan sonra sülfür bileşikleri gibi minör kontaminantlar CO₂ gideriminden önce kaybolmaktadır.

2.Adım: Su çığ noktası biyogaz yükseltilmesinden önce veya sonra (prosesle bağlı) ayarlanmalıdır.

Biyogaz üretim tesisinin olduğu yerde kurulu olan kombine ısı ve elektrik enerjisi santrali aracılığıyla üretilen ısı ve elektrik, tesis içinde kullanılabilen veya elektrik; elektrik şirketlerine, ısı ise yakın çevredeki ısıtma şebekelerine satılabilmektedir. Biyogazın doğalgaz kalitesine yükseltilmesi ile doğalgaz şebekesine dâhil edilmesi veya sıkıştırılarak motorlu araçlarda biyoyakıt olarak kullanılması sağlanabilmektedir. Bütün bu kullanım alanlarıyla birlikte biyogazın üretimi dünya çapında artmaya başlamış ancak biyogaz kullanımının daha ziyade kombine ısı ve güç santralleri için kullanılmakta olduğu bilinmektedir. Geçtiğimiz yıllarda Avrupa'da 500000 gaz yakıtlı (gas-fuelled) araç satılmasına rağmen, araçlarda genellikle fosil gaz kullanılmakta bunun yanı sıra biyogaz bazı ülkelerde ulaştırma araçlarında kullanılmakta, ayrıca İsveç'te yaklaşık 50 biyogaz dolmuş istasyonunun mevcut olduğu bilinmektedir (Anonim 2017c).

2.8 Biyogaz Üretim Tesisinin Üniteleri

Biyogaz tesisine gelen atıklar, farklı ünitelerde farklı işlemlere tabi tutularak gaz oluşumu sağlanır. Genel olarak bir biyogaz tesisi, atık hazırlama ünitesi, otomasyon sistemi, fermantör (reaktör), gaz ve gübrelerin depolanmasında, karıştırıcılar, seperatör, kojenerasyon ünitesi, desülfürizasyon ünitesi, biyogübre üretim bölümünden oluşmaktadır.

2.8.1 Atık hazırlama ünitesi

Atıkları anaerobik ortamdaki fermantör içerisinde parçalamadan önce homojen bir hâl almasını sağlayan ünite dir.

2.8.2 Otomasyon sistemi

Biyogaz üretim tesislerindeki proseslerin izlenmesini, sistemin devreye alınmasını ve güvenli bir üretim yapılmasını tek merkezde toplayan sistemdir. Burada ortam sıcaklığının, C/N oranının, pH değerinin metan oluşumunda oldukça önemli etkileri mevcuttur.

2.8.3 Fermantör-Sindireç (organik maddenin doldurulduğu tank depo)

Biyogazın üretilmesi aşamasında organik maddeleri parçalayan, hava almayacak şekilde tasarlanan, içerisinde bir karıştırıcı ve ısıtıcı olan tanktır. Tesise gelen atıklar homojen bir yapıya sokulup fermantöre aktarıldıktan sonra tankın içerisine ısıtıcı yerleştirilmektedir. Fermantör içerisindeki organik madde bulamacının sıcaklığı 35°C 'den az olmayacak şekilde

ayarlanmakta, fermantörün sıcaklığı azaldıkça bakterilerin faaliyetleri ve gaz üretimi de düşecektir (Anonim 2018g). Ayrıca fermantör içerisine hava almamayı sağlamak için organik madde giriş ve çıkış ağzı yerleştirilmelidir (Gülen ve Arslan 2005).

2.8.4 Gaz deposu

Biyogaz üretim kapasitesinin yüksek olduğu tesislerde gaz basıncının sabit kalmasını sağlayabilmek için üretilen biyogazın, bir yerde toplanmasını sağlayan depodur. Tankın üzerinde biriken gaz bir boruyla bu depoya alınmakta, buradan kullanıma gönderilmekte, fazla olan kısım depoda kalmaktadır (Anonim 2018g).

2.8.5 Gübre (organik madde) deposu

Biyogazın üretim aşamasında C-N oranı 20:1–30:1 aralığında olabilmektedir. Fermantöre alınan organik maddenin içeriğindeki kuru maddenin kolayca karışması, başlangıçtaki maddenin %8 ile %10 aralığında olması ve kullanılan maddenin bir miktar akışkan olması gerekmektedir (Gülen ve Arslan 2005). Bu akışkanlık genel olarak suyla sağlanmakta, akışkan durumdaki organik maddeyi depolayabilmek için betondan yapılmış havuz şeklinde bir depoya gereksinim duyulmaktadır (Anonim 2018g).

2.8.6 Karıştırıcılar

Karıştırıcılar sayesinde biyogaz üretimindeki atıklar bakteriler tarafından homojen olarak parçalanmakta ve tankın içerisine eşit olarak dağılmakta, tankın dibinde oluşabilecek çökelmelerin önüne geçilmekte ve tank içerisindeki sıcaklık dengede tutulmaktadır (Gülen ve Arslan 2005).

2.8.7 Seperatör

Reaktörde oluşan gübre katı ve sıvı olarak ayrılmakta böylece farklı alanlarda depolanabilmektedir.

2.8.8 Kojenerasyon ünitesi

Oksijensiz fermantasyonun sonunda üretilen biyogazın içten yanmalı motorlarda yakılmasıyla elektrik enerjisi ve ısı oluşur.

2.8.9 Desülfürizasyon ünitesi

Biyogazın ortalama %1 oranında H₂S içermesi durumu metaller üzerinde aşındırıcı etkiye sahip olmasından dolayı motor ve borulara zarar verebilmektedir. Bu nedenle biyogazı kullanmaya başlamadan önce mutlaka içeriğindeki H₂S gazından ayrıştırılması gerekmektedir. Bu üniteyle biyogaz H₂S gazından ayrıştırılarak kullanıma hazır hale gelmektedir (Anonim 2017d).

2.8.10 Biyogübre üretim bölümü

Biyogaz üretimindeki arta kalan katı ve sıvı maddeler bu bölümde birbirlerinden ayrıştırılarak biyogübre olarak paketlenildiği bölüme verilen isimdir.

2.9 Biyogaz Üretim Tesisinin Tipleri

Biyogaz üretim tesisleri; tarımsal biyogaz tesisleri, atık su arıtma tesisleri, belediye katı atık arıtma tesisleri, endüstriyel biyogaz tesisleri ve katı atık geri kazanım tesisleri olmak üzere 5 sınıfta toplanabilir.

Tarımsal biyogaz tesisleri de kendi arasında sınıflara ayrılmaktadır. Bunlar; aile ve çiftlik tipi ile merkezi biyogaz tesisleridir. Bu tesisler genel olarak Çin ve Hindistan'da yaygın olarak kullanılırken Avrupa'da da bu tesislere benzer örnekleri görmek mümkündür. Ancak tesislerin yaygınlaştırılması aşamasındaki bilincin geç oluşması ve metan gazı oluşumunun özel yöntemler uygulamayı gerektiren bir iş olması nedeniyle biyogaz üretim tesislerinde sıcaklık değişikliklerinin, yağış parametrelerinin, pH'ın ve kimyasal mikroorganizma kontrollerinin yapılması gerekmektedir.

2.9.1 Tarımsal biyogaz tesisleri

a. Aile Tipi Biyogaz Tesisleri: Aile tipi biyogaz tesisleri özellikle Çin'de çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Aile tipi biyogaz tesisleri dışındaki diğer tesislerin çoğunda biyogazın oluştuğu ortamın (fermantör) ısıtılması optimum biyogaz üretimi için gerekli olmakta, biyogaz üretiminde ortam sıcaklığının 35 °C civarında olması istenmekte, biyogaz tesislerinde ısı kontrolünün sağlanması amacıyla güneş enerjisinden yararlanılabileceği gibi en pratik ve yaygın kullanılan sistem olarak tesisin içine yerleştirilen sıcak sulu serpantinlerden yararlanılmaktadır (Anonim 2017a).

b. Çiftlik Tipi: Bir çiftlikte üretilen hammaddelerin bu tesiste kullanılmasından dolayı bu şekilde isimlendirilmektedir. Bu şekilde üretim yapan birçok tesis metan verimini artırmak için balık, sebze ve yağ endüstrisi atıklarını da kullanmaktadır. Bu tarz kurulan tesisler komşu bir veya birkaç çiftlikten de hayvansal atığını bir boru hattıyla alabilmekte ve kullanabilmektedir. Dünyada ve özellikle Almanya, Avusturya ve Danimarka gibi birçok Avrupa ülkesinde bu tesisleri görmek mümkündür. Günümüzde birçok Avrupalı çiftçi yatırımcı sadece biyogaz ve değerli gübre çıktısından değil aynı zamanda yeni iş alanları yarattığı içinde bu tesislere yatırım yapmaktadır. Çiftlik tipi biyogaz tesisleri farklı şekillerde, tasarımlarda ve ölçülerde inşa edilebilmektedir (El Seadi vd. 2008). Çiftlik tipi bir biyogaz tesisi temel olarak atık ve gaz tankları, reaktör, kojenerasyon ünitesi ve güç dağıtım ünitelerinden oluşmaktadır (Heck 2011).

c. Merkezi biyogaz tesisleri: Birçok çiftlikten gelen hayvansal ve bitkisel atıklar merkezi bir toplama alanında toplanmakta, tesisler bu toplama alanına kurulmaktadır. Bu tesisler biyogaz ve gaz transferinde tesis maliyetlerini, işgücünü ve zaman kayıplarını azaltmayı hedeflemektedir. Merkezi biyogaz tesislerinde sindirilebilir tarımsal atıklar, gıda ve balık endüstrisi atıkları, ayrı toplanan organik evsel atıklar ve kanalizasyon atıkları kullanılabilir. Bu tesisler hayvancılığın yoğun olarak yapıldığı dünyanın birçok yerinde özellikle Danimarka'da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Belirlenen kurulum planına göre hayvansal, bitkisel ve diğer atıklar ön depolama tankından, kanallar veya özel depolama kamyonları ile toplanan atıklar homojenize edilerek fermantasyon tankına gönderilmektedir. Bu sistemde çiftçilerden biyogaz tesisine gönderilen atıkların yerinde depolanması, transferi ve biyogaz tesisinden elde edilen gübrenin çiftçiye ulaştırılması istenmektedir. Çiftçi depolama alanları bazen birkaç çiftçi tarafından ortak kullanılabilir. Mezofilik ve termofilik sürece bağlı olmak koşuluyla bu sistemde hidrolik bekletme süresi yaklaşık 12-25 gün arasında değişmektedir. Besleme sisteminin sürekli ve biyogaz karışımının içeriye pompa ile alınması gerekmekte ayrıca fermantasyon tankından da dışarıya eşit miktarlarda biyogaz karışımının yine pompa ile alımı yapılmaktadır (Gregersen 1999).

Aile tipi biyogaz tesisleri dışındaki diğer tesislerin çoğunda biyogazın oluştuğu ortamın (fermantör) ısıtılması optimum biyogaz üretimi için gerekli olmaktadır (Bilgin 2003).

2.9.2 Atık su arıtma tesisleri

Birincil ve ikincil olarak atık su arıtma tesislerinde anaerobik fermantasyon kullanılmakta ve biyogaz üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu sistem işlem dengelemesi ve nihai atık miktarını azaltmak için kullanılmaktadır. Avrupa'daki arıtma çamurunun yaklaşık %30-70 kadarı bu anaerobik fermantasyon ile iyileştirilmektedir. Arıtma çamuru tarımsal alanlarda kullanılabilirdiği gibi yakma ile enerji üretiminde de kullanılabilir (Gregersen 1999).

2.9.3 Belediye katı atık arıtma tesisleri

Dünya da birçok ülkede evsel katı atık ya toplama alanlarında bertaraf edilmekte ya da güç tesislerinde yakılmaktadır. Pratikte bu evsel atıkların büyük bir kısmı anaerobik fermantasyonda kullanılabileceği için ciddi bir enerji kaybıdır hatta bu atıklar toplu olarak biyogaz üretiminde de kullanılmaktadır. Son yıllarda atıkları kaynağında ayırma ve geri dönüşüme olan ilgi artmakta bu durum organik atıklar için en uygun iyileştirme yöntemi olarak görülmektedir. Mutfak atıkları çok ıslak ve aerobik ayrıştırma için uygun bir yapıdan yoksun fakat anaerobik fermantasyon için zengin bir hammadde kaynağıdır. Kaynak kullanımı açısından evsel atıklar dünyada biyogaz üretiminde en yaygın olarak kullanılan atık türüdür. Burada ana amaç organik atıkların depolama alanlarında bertarafını veya yakma ile bertarafını azaltarak geri dönüşüme yönlendirmektir (Yokuş 2011).

2.9.4 Endüstriyel biyogaz tesisleri

Atık suların iyileştirilmesinde ve endüstriyel atıklarda bir yüzyıldan fazladır kullanılmakta olan anaerobik proses bugün gıda işlemeden, tarıma dayalı sanayiye hatta ilaç endüstrisine kadar geniş bir alanda kullanılan standart bir teknolojidir. Ayrıca anaerobik proses nihai bertaraftan önce organik yüklü atık sular içinde kullanılmaktadır. Teknolojideki son gelişmelerden dolayı seyreltilmiş atık sularda da anaerobik proses kullanılabilir. Avrupa bu konuyla dünyada lider durumdadır. Son yıllardaki enerji ile ilgili hususlar ve çevresel kaygılar organik endüstriyel atıkların anaerobik prosesle iyileştirilmesi ve organik katı atık yönetimini doğrudan ilgilendirmekte bu süreç çevresel yasalarla da kontrol edilmektedir. Atık su arıtmada anaerobik prosesin uygulandığı endüstri alanları;

- Gıda endüstrisi; sebze konserve, süt, peynir, kesimhane ve patates işleme endüstrisi vb.
- İçecek endüstrisi; bira, meşrubat, alkollü içki, kahve, meyve suları vb.

- Sanayi ürünleri; kâğıt ve karton, kauçuk, kimyasal maddeler, nişasta ve ilaç sanayi vb.

birçok alanda kullanılmaktadır (Yokuş 2011).

2.10 Biyogaz Geri Kazanım Tesisleri

Katı atık depolama alanları kurulum yaşına bağlı olmakla birlikte sürekli olmayan bir süreçle üretim gerçekleştirilebilen farklı yapısıyla çok büyük bir anaerobik tesis olarak bilinmektedir. Katı atık depolama gazının biyogaza benzer bir yapısı vardır ancak atık maddelerin ayrıştırılması sonucu ortaya çıkabilen zehirli gazları da içerebilmektedir. Katı atık geri kazanımı, çevre koruma metan ve diğer gaz emisyonlarının azaltılması için tek şart olmasının yanında aynı zamanda gelirleriyle çok hızlı bir istikrar sağlayan, ucuz ve faydalı bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Katı atık düzenli depolama alanlarına uzaklıklarından dolayı elektrik üretiminde, boru hattı ve araçlar için depolama üniteleriyle de doğrudan gaz olarak kullanılabilir (Yokuş 2011).

2.11 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Maddeler

Biyogaz üretiminde kullanılan atıklar kaynaklarına göre; hayvansal, bitkisel ve organik içerikli şehir ve endüstri atıkları olmak üzere üç çeşittir. Bu atıklar tek başlarına kullanılabileceği gibi, karıştırılıp da kullanılabilir (Yokuş 2011).

Hayvansal atıklar: Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların gübreleri, insan dışkı, mezbaha atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır.

Biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresinin kokusu hissedilmeyecek ölçüde yok olmakta ve çok daha değerli bir organik gübre hâline dönüşmekte aynı zamanda biyogazdan elektrik ve ısı üretilmesi ekonomik olarak da kazanç sağlamaktadır. Biyogaz tesislerinde elde edilen metan gazının yakılarak CO₂'e dönüştürülmesi ve biyogaz üretiminin hayvan gübrelerinden kaynaklanan insan sağlığını ve yeraltı sularını tehdit eden hastalık etmenlerinin büyük oranda etkinliğinin kaybolmasını sağlaması daha sağlıklı ve hijyenik yaşam alanlarının yaratılmasını amaçlamaktadır (Öztürk 2005).

Organik malzemenin biyogaza dönüşümü oksijensiz ortamda üç aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar; hidroliz, asetik asit oluşumu ve metan gazı oluşumudur (Anonim 2017e). Biyogaz oluşumu seçilen reaktör tipine, ortam sıcaklığına ve kullanılan organik maddeye bağlı olarak değişmektedir. Termofilik sıcaklıkta (50-60°C) biyogaz prosesi yüksek

verimde çalışmaktadır (Anonim 2017e). Biyoreaktörü termofilik şartlarda çalıştırmak için ilave ısıya ihtiyaç duyulmakla birlikte yüksek sıcaklıkta çalışıldığı zaman serbest amonyak miktarı artarak biyoreaktör performansı olumsuz yönde etkilenebilmektedir.

Türkiye’de; fındık ve ceviz kabuğu, ayçiçeği kabuğu, mısır, buğday, arpa, çğit (pamuk tohumu) gibi atıklar enerji amaçlı bitkisel kaynaklı atıklar kapsamında değerlendirilmektedir. Kuru biyogazın ısıl değeri 3.800-4.300 kcal/kg arasında değişmektedir. Biyogazdan yakma yoluyla enerji elde edilmesinde yanma verimi orta kaliteli bir kömüre eşitken biyogaz çoğu kömürden daha az miktarda kül ve kükürt içermektedir (Nacar ve ark. 2006).

Organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklar: Kanalizasyon ve dip çamurları, kâğıt sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözünmüş organik madde derişimi yüksek endüstriyel ve evsel atık sular biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Bu atıklar özellikle belediyeler ve büyük sanayi tesisleri tarafından yüksek teknoloji kullanılarak tesis edilen biyogaz üretim merkezlerinde kullanılan atıklardır (Anonim 2017a).

Biyogaz üretimi için; organik madde, bakteri, anaerobik ortam ve ısı gerekli olmakla birlikte gazın bileşimi, atığın türü, sindirim süresi ve diğer çıktılar işletme şartlarına bağlı ve canlı türüne göre değişmekte; günlük olarak üretilecek gübre miktarı, gübredeki su içeriği, biyolojik işlem sonucu oluşan biyogaz miktarı ve reaktöre besleme yapılırken musluk suyu ile seyreltilmesi gerekmektedir (İlkılıç ve Deviren 2011).

Biyogaz hammadde sorunu olmayan bir sektör olduğundan biyogaz kazanımı için organik hammaddeler temel alınmakta bu yüzden tarımsal alanlardaki tesisler çoğunlukla hayvan dışkısını ana hammadde olarak kullanmaktadır. Ayrıca biyogazı arttırabilmek için hayvan gübresinin yanında diğer organik hammaddelerin de kullanılması gerekmektedir. Tarımsal hammadde olarak yonca, mısır silağı, arpa, buğday vb. kullanılmaktadır. Ayrıca, bitkisel atıklar (ince kıyılmış sap, saman, şekerpancarı atıkları, küspe atıkları), hayvansal atıklar (inek, domuz, kanatlı hayvanların gübresi ve gıda sektörü atıkları (yulaf posası, bisküvi ve çikolata, peynir altı suyu, zeytin küspesi, meyve posası, mezbaha atıkları) ve endüstri atıkları (arıtma çamuru, gliserin) de kullanılmaktadır (Korkmaz ve ark. 2012).

Biyogaz üretiminde kullanılan materyallere örnek olarak tahıllar ile meyve ve sebze atığı gibi tüm organik atıklar gübre ve sanayi atıkları ile yosunlar verilmekte, biyogaz üretiminden sonra geriye kalan sıvı-katı kısım gübre olarak değerlendirilmektedir. Organik

madde ihtiva eden atıkların mikrobiyolojik yönden değerlendirilmesi hem çevre kirliliğini önleme hem de temiz enerji üretimi sağlanması bakımından önem taşımaktadır.

Her türlü organik atıktan biyogaz üretimi yapılabilmekte fakat bazı atıkların içerisinde bulunan çeşitli dezenfektan ve sterilizasyon maddeleri ile amonyum konsantrasyonu biyogaz üretiminde kaliteyi bozmakta ve hatta üretimi zorlaştırarak maliyeti artırmaktadır. Bunun için biyogaz üretiminde önemli olan fermantasyon da biyolojik bakterilerin üremesini ve çalışmasını engelleyecek maddelerin (dezenfekte ve sterilizasyon) önlenmesidir. Fermantörde amonyum konsantrasyonunun fazla olması da metan verimini düşüren unsurlardandır (Korkmaz ve ark. 2012).

Organik madde ihtiva eden atıkların mikrobiyolojik yönden değerlendirilmesi hem çevre kirliliğine yol açmaması hem de temiz enerji üretimi sağlanması bakımından önemlidir. Biyogaz özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerji üretiminde kullanımı en yaygın olan kaynaklardan biridir. Dünyada enerji üretiminin yaklaşık olarak %15'i, gelişmekte olan ülkelerde ise enerji üretiminin yaklaşık %43'ü biyogazdan sağlanmaktadır (Korkmaz ve ark. 2012).

Elektriğin ve ısının üretildiği biyogaz tesisleriyle kojenerasyon ünitesi yüksek verim de çalışmaktadır. Burada elde edilen enerji biyogaz tesisinde kullanılabilir (Korkmaz ve ark. 2012).

Biyogazın gazlaştırılmasıyla sağlanacak olan yakıtı, doğalgaz kullanılan alanlarda yapılacak olan ufak değişkenlerle yaygınlaştırabilir, ilerde doğalgaz kullanılan alanlarda enerji ihtiyacının bir kısmının elde edilecek bu yakıtla sağlanabileceği öngörülmektedir.

1 m³ biyogazı yakıtımızda 4700 ile 5700 kcal arası ısı sağlanmakta bu değer ortalama; 0,62 litre gaz yağının, 1,46 kilogram odun kömürün, 3,47 kg odunun, 0,43 kg bütan gazının, 0,66 litre motorinin, 0,75 litre benzinin ve 12,30 kg tezeğin yakılmasıyla elde edilecek enerjiye ayrıca 4.70 kWh elektrik enerjisine eşittir (Arıkan 2008).

2.12 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Sistemler ve Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Biyogaz üretiminde kullanılan sistemleri 3 ayrı başlıkta inceleyebiliriz. Bunlar; kesikli (batch) fermantasyon, beslemeli-kesikli fermantasyon ve sürekli fermantasyondur.

İlk sistemde üretim tankına doldurulan organik içerikli bitkisel veya hayvansal atıklarla fermantasyon işleminin gerçekleşmesi için yeterli süre bekletildikten sonra biyogaz oluşumu gerçekleşmektedir (Gülen ve Arslan 2005). Bu süreyi etkileyen temel faktörler sistemin sıcaklığı ve organik maddedir. Yeterli sürenin sonunda reaktörün boşaltma ve tekrar doldurma işlemleri yinelenmektedir.

İkinci sistemde üretim tankı belirli oranlarda organik atıklarla doldurulduktan sonra geriye kalan hacmi fermantasyon süresiyle orantılı bir şekilde günlük miktarlarda tamamlamak gerekmektedir. Süre sonunda aynı şekilde boşaltma ve tekrar doldurma işlemleri tekrarlanmaktadır (Anonim 2017a).

Üçüncü sistemde üretim tankında gaz çıkışı başlayana kadar sisteme her gün belirli oranlarda organik atık ilavesi yapılmakta, fermantasyon süresi kadar bekletilmekte, yapılan ilave kadarı üretim tankından alınmaktadır. Bütün bu işlemlerin günlük olarak tekrarlanması biyogaz üretiminde süreklilik sağlamaktadır (Gülen ve Arslan 2005).

Biyogaz üretimi esnasında üretim tankının içerisinde oksijen bulunmamasına, asitliğin 7,0-7,6 arasında olmasına, sıcaklığın 35 °C ile 56 °C'de sabit tutulmasına, tanka ışık girmemesine, ortamın karanlık olmasına, en az %50 ile ortalama %90 oranında tankta su bulunmasına, ortamda bakteri oluşturabilmek ve büyütebilmek için azot bulunmasına, bakteriler için organik asit konsantrasyonunun 500 ile 1500 mg/l aralığında olmasına, bakterilerin beslenmesi için yeteri kadar parçalanmış şekilde organik atık bulunmasına ve deterjanlı organik atıklar ile antibiyotik almış hayvansal atıkların tanka alınmamasına dikkat edilmelidir (Anonim 2017a).

2.13 Biyogaz Üretiminin Yararları

Organik içerikli bitkisel ve hayvansal atıklardan biyogaz üretilmesi, enerji kaynağı olarak kullanımının yanı sıra toprak iyileştirici olarak toprağa kazandırılmasıyla da hem tarım arazilerinde verimi artırmakta hem de aktif bir atık yönetim süreci oluşturmaktadır. Biyogaz üretimi atıkları yok etmeden organik gübre oluşumuna katkı sağlayabilmektedir (Anonim 2017a). Böylece atıklardan üretilen enerjiyle sürdürülebilir, güvenilir, temiz ve ucuz enerji elde edilmekte, çevresel anlamda olumlu kazanımlar ve atıkların geri kazanımıyla pek çok ülkedeki enerji ihtiyacı büyük ölçüde karşılanmaktadır (Gülen ve Arslan 2005). Diğer yandan uygulanan bir diğer yöntem olan yakma işlemiyle ne istenildiği şekilde ısı üretilmekte ne de bu atıklar tarım alanlarında gübre olarak kullanılabilir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'nin 2017 yılı verilerine göre Türkiye'deki toplam tarım alanı 233850926,50 dekadır. Bu alan Türkiye'nin karasal büyüklüğü olan 769632000 dekarın yaklaşık %30,40'ını oluşturmaktadır. Ayrıca Türkiye'deki toplam tarım alanları, Birleşik Krallık'ın sahip olduğu toplam karasal alan olan 241930000 dekara oldukça yakındır.

Tarım alanlarının 155363201 dekarını tahıllar ve diğer bitkisel ürünler (%66,44), 7982650 dekarını sebze bahçeleri (%3,41), 33481004 dekarını meyveler, içecekler ve baharat bitkileri alanı (%14,32), 49934,50 dekarını süs bitkileri alanı (%0,02) ve 36974137 dekarını nadas alanları (%15,81) oluşturmaktadır.

Ülkemizde 81 il içindeki en büyük tarım alanına sahip 5 il sırasıyla; 18854582 dekarla Konya, 11822157,20 dekarla Ankara, 11079753 dekarla Şanlıurfa, 7937736 dekarla Sivas, 5980588 dekarla Yozgat'tır. En küçük tarım alanına sahip 5 il ise sırasıyla; 116707,90 dekarla Yalova, 296921 dekarla Artvin, 300395 dekarla Bingöl, 360805 dekarla Ardahan ve 392259 dekarla Bartın'dır (Anonim 2018h).

Konya, 18854582 daa tarım alanı ile Türkiye'nin toplam tarım alanının (233850926,50 daa) %8'ini oluşturmaktadır. Tarım alanlarının %96,90'ında tahıllar ve diğer bitkisel ürünler ekilirken, her yıl 5500000 dekardan fazla alan nadasa bırakılmaktadır. Sadece Konya'daki tarım alanları, İsrail'deki 20330000 daa alana yakındır.

Başkent Ankara ise 11822157.20 daa tarım alanına sahiptir. Ankara'daki tarım alanının 7907800 dekarında tahıl ve diğer bitkisel ürünler, 422974 dekarında sebze bahçeleri, 289715 dekarında meyve, içecek ve baharat bitkileri, 312,20 dekarında ise süs bitkileri yetiştirilmektedir (Anonim 2018i).

Şanlıurfa, 11079753 daa tarım alanına sahiptir. Şanlıurfa'da tarım alanının 8474233 dekarında tahıl ve diğer bitkisel ürünler, 200351 dekarında sebze bahçeleri, 1434406 dekarında meyveler, içecek ve baharat bitkileri, 25 dekarında da süs bitkileri yetiştirilmektedir (Anonim 2018i).

Tahıl ve diğer bitkisel ürünlerde en yüksek ekim alanına sahip olan il Konya, sebze bahçelerinde Antalya (510985 daa), meyveler, içecek ve baharat bitkilerinde Ordu (2276889 daa) ve süs bitkilerinde İzmir (15458,50 daa) de bulunmaktadır.

Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde Türkiye'deki 81 ilde en yüksek enerji verimine sahip bitkiler olan arpa, ayçiçeği, buğday, mısır ve pamuk için Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'nun 2017 verileri ışığında; bu bitkilerin biyogaz enerji eşdeğeri değerlendirilmiş, hesaplamalar yapılmış, bitkilerin ekim alanları, kullanılabilir atık miktarları, biyogaz miktarı ve biyogaz enerji eşdeğerlerinin yer aldığı çizelgeler (Çizelge 3.1, 3.2, 4.1 ve 4.2) ve üretilen biyogaz enerji haritaları ArcGISPro programı ile sayısallaştırılmış, haritalandırılmış, renklendirilmiş ve dokuz ayrı harita üzerinde yorumlanmıştır.

Bu verilere göre Türkiye'de en çok ekimi yapılan bitki 76990818 dekarla buğday olurken bu alan Türkiye'deki ekim alanlarının %49,56'sını oluşturmaktadır. Onu sırasıyla 24396791 dekarla arpa izlerken arpanın ekim oranı %15,70'tir. Mısırın ekim alanı 11253140 dekar ve ekim oranı %7,24, ayçiçeğinin ekim alanı 7796217 dekar ve ekim oranı %5,02 ve pamuk 5018534 dekar ekim alanına ve %3,23 ekim oranına sahiptir.

Çizelge 3.1. Türkiye'deki bitkilerin ekim alanları (dekar)

		ARPA	AYÇİÇEĞİ	BUĞDAY	MISIR	PAMUK	TOPLAM
MARMARA BÖLGESİ	BALIKESİR	138952	175263	1362756	320818	2550	2000339
	BİLECİK	74587	32913	311114	8142	0	426756
	BURSA	77361	139023	740603	360344	0	1317331
	ÇANAKKALE	235905	199455	799419	205711	50	1440540
	EDİRNE	52096	1008114	1407989	92857	0	2561056
	İSTANBUL	58009	175964	338810	11055	0	583838
	KIRKLARELİ	45302	780591	1271019	125693	0	2222605
	KOCAELİ	89412	7940	369337	81021	0	547710
	SAKARYA	33614	36830	128692	524756	0	723892
	TEKİRDAĞ	130549	1567329	1922560	62849	0	3683287
YALOVA	8540	2978	14535	1860	0	27913	
EGE BÖLGESİ	A.KARAHİSAR	999082	79906	1674354	62859	0	2816201
	AYDIN	147116	800	215882	313505	645659	1322962
	DENİZLİ	502657	182390	706307	221936	91352	1704642
	İZMİR	124049	18627	306671	636662	274314	1360323
	KÜTAHYA	371600	10762	1355989	34680	0	1773031
	MANİSA	295095	4207	1025987	431750	58525	1815564
	MUĞLA	79722	2765	394342	136327	4007	617163

Çizelge 3.1. Türkiye’deki bitkilerin ekim alanları (dekar) (Devam)

	UŞAK	540425	8175	658122	27480	0	1234202
AKDENİZ BÖLGESİ	ADANA	38285	580227	1788459	978699	317905	3703575
	ANTALYA	435828	2352	886072	121635	58248	1504135
	BURDUR	232121	1322	529267	87016	0	849726
	HATAY	21806	2105	623298	121003	518070	1286282
	ISPARTA	405187	488	470137	22256	0	898068
	MERSİN	76975	30230	966213	203891	38505	1315814
	K.MARAŞ	285680	64834	1315695	294091	66975	2027275
	OSMANİYE	35876	59969	466096	394428	1610	957979
İÇ ANADOLU BÖLGESİ	AKSARAY	836495	156913	805991	159042	0	1958441
	ANKARA	2035860	281904	4679881	53007	0	7050652
	ÇANKIRI	184798	1347	924310	745	0	1111200
	ESKİŞEHİR	816676	135785	1949987	120659	0	3023107
	KARAMAN	611987	88492	931758	327912	0	1960149
	KAYSERİ	841368	99484	1668141	93635	0	2702628
	KIRIKKALE	274675	68829	1230999	40628	0	1615131
	KİRŞEHİR	868937	60192	984084	10151	0	1923364
	KONYA	2735404	700920	7468193	917630	0	11822147
	NEVŞEHİR	531536	2425	1111653	14060	0	1659674
	NİĞDE	237870	300	668448	42330	0	948948
	SİVAS	680394	2086	2842134	14173	0	3538787
	YOZGAT	315886	85659	3162922	8693	0	3573160
G.DOĞU ANA. BÖL.	ADIYAMAN	518834	1210	850662	47075	65962	1483743
	BATMAN	41074	0	528515	48190	2524	620303
	DİYARBAKIR	424352	11430	3280666	274769	427766	4418983
	GAZİANTEP	261296	5875	778663	110801	60800	1217435
	KİLİS	81913	0	245543	41416	400	369272
	MARDİN	211945	0	1931999	515763	83866	2743573
	SİİRT	20084	0	390610	17584	2750	431028
	ŞANLIURFA	2005663	58789	3043971	621927	2236785	7967135
	ŞIRNAK	29815	0	761182	41338	50820	883155
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	AĞRI	467107	26391	992904	5010	0	1491412
	ARDAHAN	84927	0	50584	37	0	135548
	BİNGÖL	4319	0	94513	4796	0	103628
	BİTLİS	22688	4320	324050	7836	0	358894
	ELAZIĞ	430165	0	426782	16075	0	873022
	ERZİNCAN	181814	4540	336788	18205	0	541347
	ERZURUM	270639	17177	1156249	22460	0	1466525
	HAKKARİ	382	0	140610	1793	0	142785
	İĞDIR	93420	0	216128	85458	9091	404097
	KARS	416623	0	398155	391767	0	1206545
	MALATYA	327979	5190	560233	13131	0	906533
	MUŞ	115790	14353	1263567	20139	0	1413849

Çizelge 3.1. Türkiye’deki bitkilerin ekim alanları (dekar) (Devam)

	TUNCELİ	82465	0	96075	220	0	178760
	VAN	68384	700	808946	1205	0	879235
KARADENİZ BÖLGESİ	AMASYA	206666	149944	1053228	119978	0	1529816
	ARTVİN	2816	0	1570	17347	0	21733
	BARTIN	9144	3056	132850	118848	0	263898
	BAYBURT	95430	0	267833	13442	0	376705
	BOLU	145553	11700	509374	35706	0	702333
	ÇORUM	559827	307262	2228017	24894	0	3120000
	DÜZCE	382	0	9068	89939	0	99389
	GİRESUN	65869	0	107800	24218	0	197887
	GÜMÜŞHANE	68414	0	178210	13142	0	259766
	KARABÜK	54926	0	145557	1107	0	201590
	KASTAMONU	137734	0	566900	48597	0	753231
	ORDU	15003	0	28916	57236	0	101155
	RİZE	50	0	0	2581	0	2631
	SAMSUN	68592	157324	1083021	365397	0	1674334
	SİNOP	34371	0	190358	58083	0	282812
	TOKAT	259186	156778	1237311	89700	0	1742975
TRABZON	0	0	0	87666	0	87666	
ZONGULDAK	3433	283	95184	92275	0	191175	

Türkiye’deki kullanılabilir bitki atığı miktarları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Buna göre atık miktarı en fazla olan bitki 5941657,74 ton ile mısır olurken onu aynı zamanda Türkiye’de ekimi en fazla yapılan bitki olan buğday 2848660,20 ton ile izlemektedir. Daha sonra sırasıyla tarlada kalan atık miktarı en fazla olan bitki 1933461,91 ton ile ayçiçeği, 878284,37 ton arpa ve 431594,41 tonla onu pamuk takip etmektedir.

Çizelge 3.2. Türkiye’deki kullanılabilir bitki atığı miktarları (ton)

		ARPA	AYÇİÇEĞİ	BUĞDAY	MISIR	PAMUK	TOPLAM
MARMARA BÖLGESİ	BALIKESİR	5002,27	43465,22	50421,97	169391,90	219,30	268500,70
	BİLECİK	2685,13	8162,42	11511,22	4298,98	0	26657,75
	BURSA	2785,00	34477,70	27402,31	190261,60	0	254926,60
	ÇANAKKALE	8492,58	49464,84	29578,50	108615,40	4,30	196155,60
	EDİRNE	1875,46	250012,30	52095,59	49028,50	0	353011,80
	İSTANBUL	2088,32	43639,07	12535,97	5837,04	0	64100,41
	KIRKLARELİ	1630,87	193586,60	47027,70	66365,90	0	308611,00
	KOCAELİ	3218,83	1969,12	13665,47	42779,09	0	61632,51
	SAKARYA	1210,10	9133,84	4761,60	277071,20	0	292176,70
	TEKİRDAĞ	4699,76	388697,60	71134,72	33184,27	0	497716,30

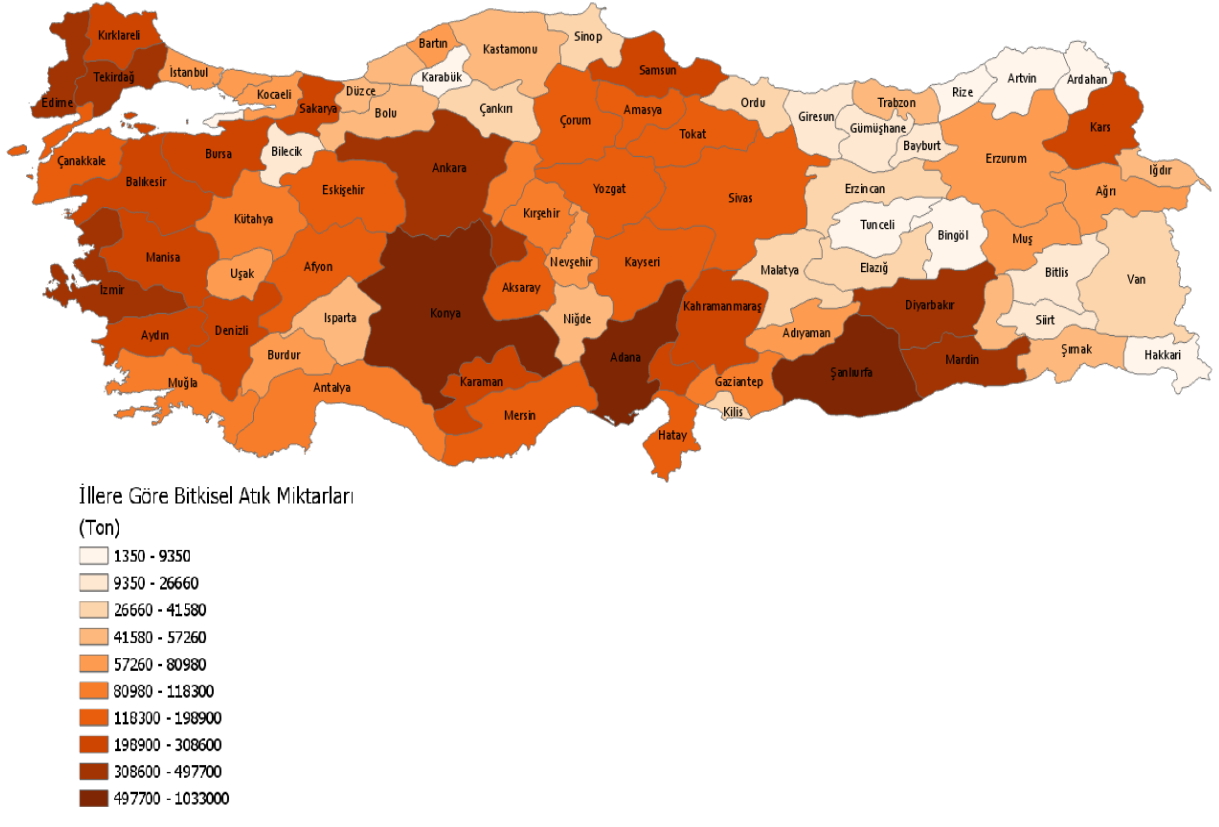
Çizelge 3.2. Türkiye’deki kullanılabilir bitki atığı miktarları (ton) (Devam)

	YALOVA	307,44	738,54	537,80	982,08	0	2565,86
EGE BÖLGESİ	A.KARAHİSAR	35967,00	19816,69	61951,10	33189,55	0	150924,30
	AYDIN	5296,18	198,40	7987,63	165530,60	55526,70	234539,50
	DENİZLİ	18095,70	45232,72	26133,36	117182,20	7856,27	214500,20
	İZMİR	4465,76	4619,50	11346,83	336157,50	23591,00	380180,60
	KÜTAHYA	13377,60	2668,98	50171,59	18311,04	0	84529,21
	MANİSA	10623,40	1043,34	37961,52	227964,00	5033,15	282625,40
	MUĞLA	2869,99	685,72	14590,65	71980,66	344,60	90471,62
	UŞAK	19455,30	2027,40	24350,51	14509,44	0	60342,65
AKDENİZ BÖLGESİ	ADANA	1378,26	143896,30	66172,98	516753,10	27339,80	755540,40
	ANTALYA	15689,80	583,30	32784,66	64223,28	5009,33	118290,40
	BURDUR	8356,36	327,86	19582,88	45944,45	0	74211,54
	HATAY	785,02	522,04	23062,03	63889,58	44554,00	132812,70
	ISPARTA	14586,70	121,02	17395,07	11751,17	0	43853,99
	MERSİN	2771,10	7497,04	35749,88	107654,40	3311,43	156983,90
	K.MARAŞ	10284,50	16078,83	48680,72	155280,00	5759,85	236083,90
	OSMANİYE	1291,54	14872,31	17245,55	208258,00	138,46	241805,80
İÇ ANADOLU BÖLGESİ	AKSARAY	30113,80	38914,42	29821,67	83974,18	0	182824,10
	ANKARA	73291,00	69912,19	173155,60	27987,70	0	344346,40
	ÇANKIRI	6652,73	334,06	34199,47	393,36	0	41579,61
	ESKİŞEHİR	29400,30	33674,68	72149,52	63707,95	0	198932,50
	KARAMAN	22031,50	21946,02	34475,05	173137,50	0	251590,10
	KAYSERİ	30289,20	24672,03	61721,22	49439,28	0	166121,80
	KIRIKKALE	9888,30	17069,59	45546,96	21451,58	0	93956,44
	KIRŞEHİR	31281,70	14927,62	36411,11	5359,73	0	87980,18
	KONYA	98474,50	173828,20	276323,10	484508,60	0	1033134,00
	NEVŞEHİR	19135,30	601,40	41131,16	7423,68	0	68291,54
	NİĞDE	8563,32	74,40	24732,58	22350,24	0	55720,54
	SİVAS	24494,20	517,33	105159,00	7483,34	0	137653,80
YOZGAT	11371,90	21243,43	117028,10	4589,90	0	154233,30	
G.DOĞU ANA. BÖL.	ADIYAMAN	18678,00	300,08	31474,49	24855,60	5672,73	80980,93
	BATMAN	1478,66	0	19555,06	25444,32	217,06	46695,10
	DİYARBAKIR	15276,70	2834,64	121384,60	145078,00	36787,90	321361,90
	GAZİANTEP	9406,66	1457,00	28810,53	58502,93	5228,80	103405,90
	KİLİS	2948,87	0	9085,09	21867,65	34,40	33936,01
	MARDİN	7630,02	0	71483,96	272322,90	7212,48	358649,30
	SİİRT	723,02	0	14452,57	9284,35	236,50	24696,45
	ŞANLIURFA	72203,90	14579,67	112626,90	328377,50	192364,00	720151,40
ŞIRNAK	1073,34	0	28163,73	21826,46	4370,52	55434,06	
DOĞU ANA. BÖL.	AĞRI	16815,90	6544,97	36737,45	2645,28	0	62743,55
	ARDAHAN	3057,37	0	1871,61	19,54	0	4948,52
	BİNGÖL	155,484	0	3496,98	2532,29	0	6184,75
	BİTLİS	816,77	1071,36	11989,85	4137,41	0	18015,39
	ELAZİĞ	15485,90	0	15790,93	8487,60	0	39764,47

Çizelge 3.2. Türkiye’deki kullanılabilir bitki atığı miktarları (ton) (Devam)

	ERZİNCAN	6545,30	1125,92	12461,16	9612,24	0	29744,62
	ERZURUM	9743,00	4259,90	42781,21	11858,88	0	68642,99
	HAKKARİ	13,75	0	5202,57	946,70	0	6163,03
	İĞDIR	3363,12	0	7996,74	45121,82	781,83	57263,51
	KARS	14998,40	0	14731,74	206853,00	0	236583,10
	MALATYA	11807,20	1287,12	20728,62	6933,17	0	40756,15
	MUŞ	4168,44	3559,54	46751,98	10633,39	0	65113,36
	TUNCELİ	2968,74	0	3554,78	116,16	0	6639,68
	VAN	2461,82	173,60	29931,00	636,24	0	33202,67
KARADENİZ BÖLGESİ	AMASYA	7439,98	37186,11	38969,44	63348,38	0	146943,90
	ARTVİN	101,38	0	58,09	9159,22	0	9318,68
	BARTIN	329,18	757,89	4915,45	62751,74	0	68754,27
	BAYBURT	3435,48	0	9909,82	7097,38	0	20442,68
	BOLU	5239,91	2901,60	18846,84	18852,77	0	45841,11
	ÇORUM	20153,80	76200,98	82436,63	13144,03	0	191935,40
	DÜZCE	13,75	0	335,52	47487,79	0	47837,06
	GİRESUN	2371,28	0	3988,60	12787,10	0	19146,99
	GÜMÜŞHANE	2462,90	0	6593,77	6938,98	0	15995,65
	KARABÜK	1977,34	0	5385,61	584,50	0	7947,44
	KASTAMONU	4958,42	0	20975,30	25659,22	0	51592,94
	ORDU	540,11	0	1069,89	30220,61	0	31830,61
	RİZE	1,80	0	0	1362,77	0	1364,57
	SAMSUN	2469,31	39016,35	40071,78	192929,60	0	274487,10
	SİNOP	1237,36	0	7043,25	30667,82	0	38948,43
	TOKAT	9330,70	38880,94	45780,51	47361,60	0	141353,70
TRABZON	0	0	0	46287,65	0	46287,65	
ZONGULDAK	123,59	70,18	3521,81	48721,20	0	52436,78	

Türkiye’deki kullanılabilir bitki atığı miktarlarının dağılımı Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Buna göre Türkiye’de bitkisel atık miktarının en fazla olduğu il 1033134 ton ile Konya olurken onu sırasıyla 755540,40 ton ile Adana, 720151,40 ile Şanlıurfa, 497716,30 ton ile Tekirdağ ve 380180,60 ton ile İzmir izlemektedir. Türkiye’deki belirlenen 5 bitki için kullanılabilir bitki atığı miktarı 12033657,45 tondur.



Şekil 3.1. Türkiye’deki kullanılabilir bitki atığı miktarlarının dağılımı

3.2 Yöntem

Türkiye hem tarım ürünlerinin enerji potansiyelinin yüksek oluşuyla hem de tarım alanlarında yürütülen yoğun faaliyetleriyle bilinen bir tarım ülkesidir. Bilinen bu özellikleri Türkiye’nin tarımsal ürünlerinin biyogaz enerji eşdeğeri bakımından oldukça zengin olduğunun göstergesidir. Ancak tarım ürünleri hasat edildikten sonra tarlada kalan sap ve saman kısımlarının yakılması ve hayvancılıkta yem olarak kullanılması sıklıkla uygulanan yöntemlerdendir. En sık kullanılan uygulama olan tarım ürünlerinin yakılması toprağın verimsizleşmesinin yanı sıra sera gazı emisyonlarında da artışa neden olmaktadır.

Bu amaçla 2017 yılında Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)’ndan temin edilen bilgiler ışığında Türkiye’deki bitkisel üretim verileri baz alınarak biyogazdan elde edilebilecek enerji potansiyeli değerlendirilmiştir. Çizelge 3.3’te Türkiye’de ekimi yapılan bitkilerin ekilen alanları (daa) ve bu bitkilerden elde edilebilecek verim değerleri (%) gösterilmiştir. Buna göre en yüksek ekim alanı ve verim değerine sahip olan bitkilerin arpa, ayçiçeği, buğday, mısır ve pamuk olması nedeniyle bu bitkilerin biyogaz enerji eşdeğeri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.3. Türkiye’de ekimi yapılan bitkilerin ekilen alan (daa) ve verim değerleri (%)

Bitkiler	Ekilen Alanlar (daa)	Verim (%)
Buğday (Hasıl/Yeşil ot) (Durum Buğdayı Dahil)	76990818	45,27
Arpa (Yeşil ot Dahil)	24396791	14,35
Pamuk, Çırcırlanmamış (Kütlü, Lifli) Pamuk Çekirdeği (Çiğit)	15055602	8,85
Mısır (Hasıl, Silaj Dahil)	11253140	6,62
Ayçiçeği (Yağlık, Çerezlik) (Tohumlar Dahil)	7796217	4,59
Yonca (Yeşil ot) (Tohumlar Dahil)	6610167	3,89
Fiğ (Adi, Macar, Diğer) (Yeşil Ot) (Tohumlar Dahil)	4932978	2,91
Nohut, Kuru	3953099	2,32
Şeker Pancarı (Tohumlar Dahil)	3400814	1,99
Mercimek, Kuru (Kırmızı, Yeşil)	2925382	1,72
Yulaf (Yeşil ot Dahil)	2192351	1,29
Korunga (Yeşil ot) (Tohumlar Dahil)	1962963	1,15
Patates (Tatlı Patates Dahil)	1429627	0,84
Çeltik	1095599	0,64
Çavdar (Yeşil ot Dahil)	1025733	0,60
Tütün, İşlenmemiş	995287	0,59
Fasulye, Kuru	897221	0,53
Triticale (Yeşil ot Dahil)	551672	0,33
Haşhaş Kapsülü (Haşhaş Kellesi) (Tohumlar Dahil)	474628	0,28
Yerfıstığı, Kabuklu	419495	0,25
Soya Fasulyesi	316695	0,19
Susam Tohumu	280316	0,16
Aspir Tohumu	273762	0,16
Kanola veya Kolza Tohumu	165195	0,10
Mürdümük (Yeşil ot Dahil)	152204	0,09
Bezelye, Kuru (Yemlik Dahil)	79010	0,05
İtalyan Çimi (Yemlik)	77268	0,05
Yem Şalgamı	69823	0,04
Burçak (Dane) (Yeşil ot Dahil)	57683	0,04
Bakla, Kuru (İnsan Tüketimi İçin) (Yemlik Dahil)	53123	0,03

Çizelge 3.3. Türkiye’de ekimi yapılan bitkilerin ekilen alan (daa) ve verim değerleri (%) (Devam)

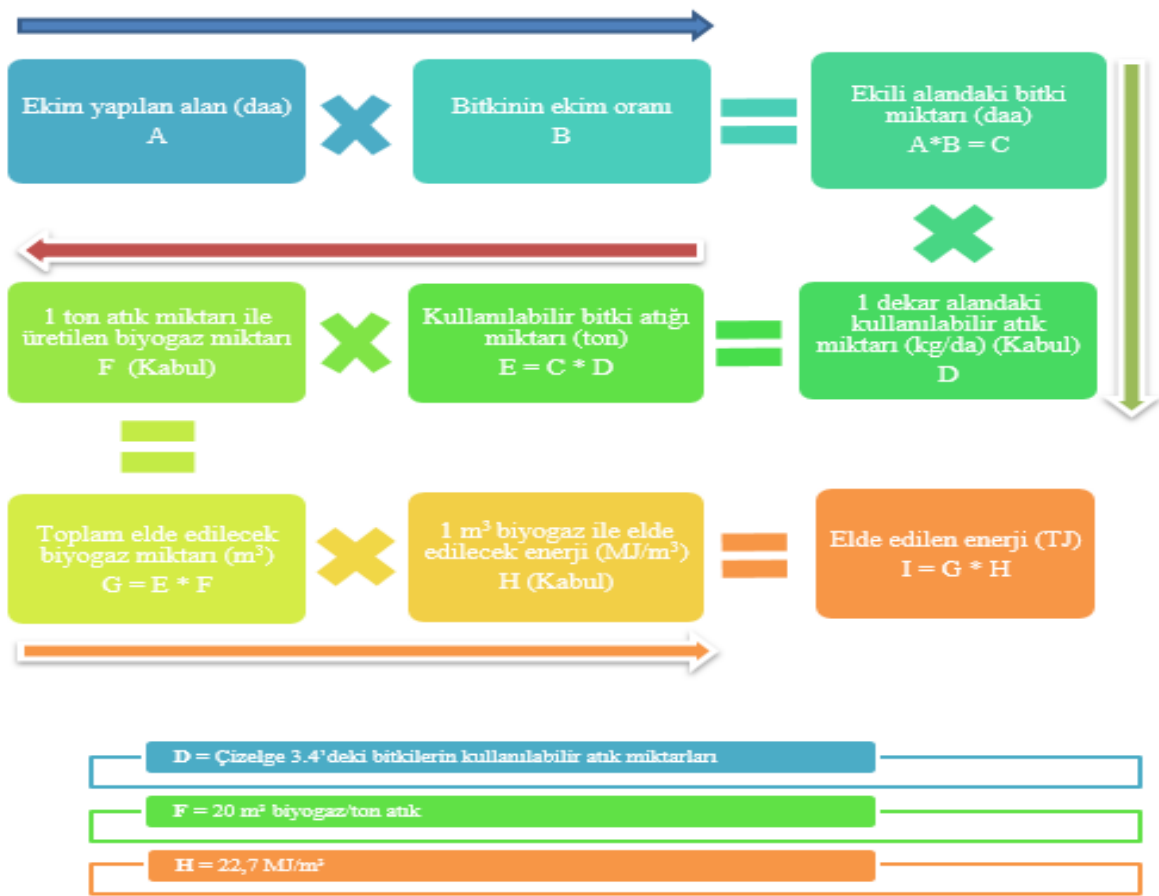
Gül, Yağlık	33277	0,02
Kaplıca	30764	0,02
Darı	21779	0,01
Hayvan Pancarı	20620	0,01
Sorgum (Yeşil ot Dahil)	17935	0,01
Buy (Çemen Otu)	14499	0,01
Börülce, Kuru	14129	0,01
Lavanta	6606	0
Kuş Yemi	5743	0
Adaçayı	4123	0
Üçgül (Yeşil ot)	4000	0
Acı Bakla (İnsan Tüketimi İçin)	3714	0
Mahlut	3300	0
Şerbetçiotu Kozalağı	3300	0
Yer Elması	524	0
Oğul Otu (Melisa)	207	0
Kenevir, Lif (Tohumlar Dahil)	70	0
Keten, Lif	50	0
Şeker Kamışı	32	0
İsırgan Otu	5	0

Biyogazın %60 metan içeriğine sahip olması durumunda enerji değerinin 22,7 MJ/m³ kabulü ile tarlada kalan atıklardan elde edilecek biyogazın enerji eşdeğeri hesaplanmıştır (Acaroğlu, 2007). Hasat sonrası tarlada kalan sap ve samandan elde edilebilecek biyogaz miktarı hesabında, 20 m³ biyogaz/ton atık kabulü yapılmıştır (Öztürk, 2008). Bitkisel atık değerlerinin belirlenmesi için kullanılabilir atık miktarlarının yer aldığı kabuller Çizelge 3.4’te verilmiştir (Başçetinçelik ve ark. 2006, Aybek ve ark. 2015).

Çizelge 3.4. Bitkisel atık miktarının hesaplanması amacıyla kabul edilen değerler (Başçetinçelik ve ark. 2006, Aybek ve ark. 2015)

Bitkiler	Kullanılabilir Atık Miktarı (kg/da)
• Arpa	• 36
• Ayçiçeği	• 248
• Buğday	• 37
• Mısır	• 528
• Pamuk	• 86

Türkiye'deki bitkisel ve kullanılabilir atık miktarları, biyogaz miktarı ve biyogazın enerji eşdeğerleri ile bitkilerden (arpa, ayçiçeği, buğday, mısır, pamuk) üretilen biyogaz enerji eşdeğerinin dağılımını (%) gösteren sayısal veriler, Jenks optimizasyon metodu (Jenks doğal ayrımlılık programı) ile sınıflandırılarak ve sınıf değerlerine göre renklendirilerek ArcGIS Pro programında oluşturulan haritalar üzerinde yorumlanmıştır. Ayrıca iller ve bölgelerin yer aldığı dört ayrı çizelge oluşturulmuştur. Bitkilerin ekim alanları Çizelge 3.1, kullanılabilir atık miktarları Çizelge 3.2, biyogaz miktarı Çizelge 3.3 ve biyogaz enerji eşdeğerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. Hesaplamalar yapılırken izlenen yolu anlatan diyagram Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



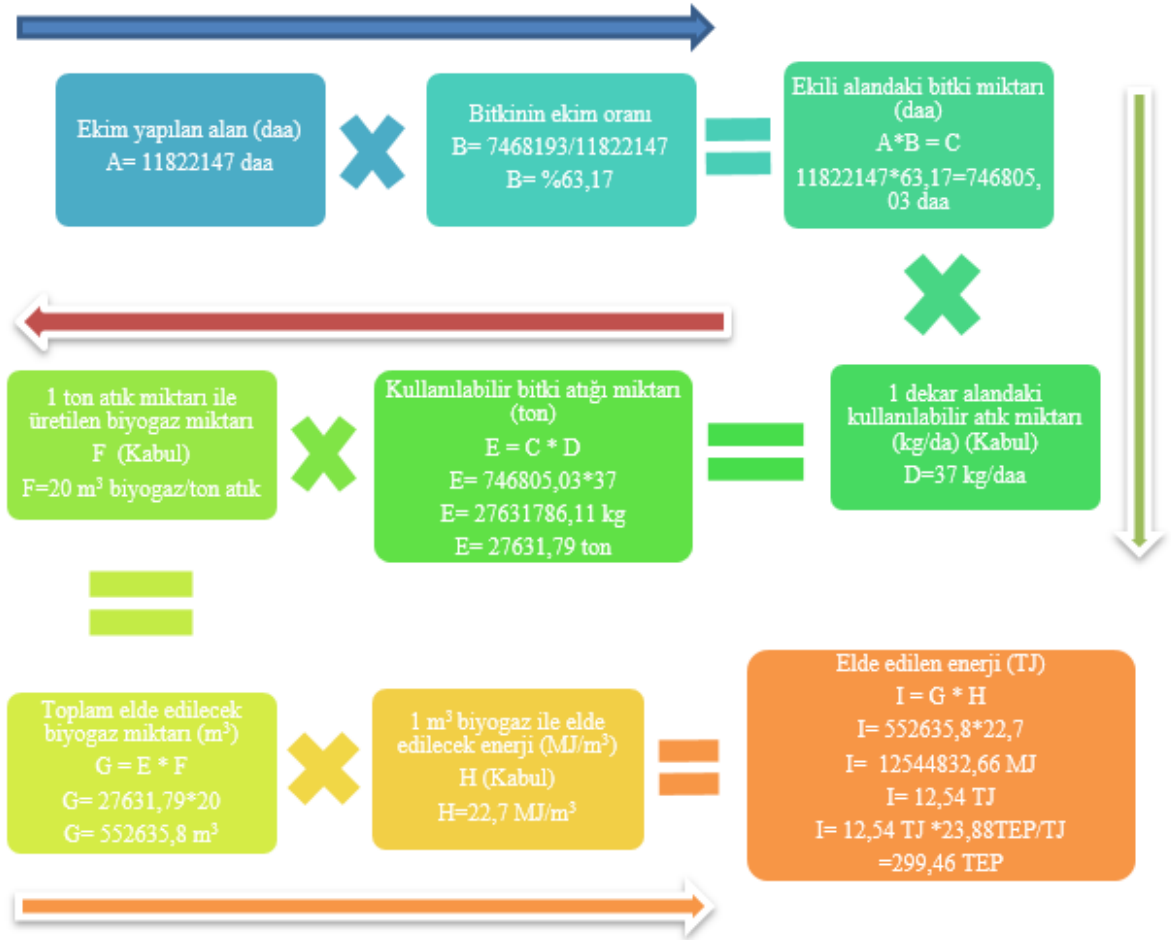
Şekil 3.2. Bitki sayısı ile biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama diyagramı

3.2.1 Hesaplama Yöntemi (Konya İli Buğday Örneği)

Türkiye'deki toplam tarım alanı 233850926,50 dekadır. Bu alana ekilen toplam arpa 24396791 daa, ayçiçeği 7796217 daa, buğday 76990818 daa, mısır 11253140 daa ve pamuk 15055602 dekadır.

Türkiye’de belirlenen beş bitkinin en çok ekiminin yapıldığı il Konya (11822147 daa) ve Konya ilinde arpanın ekim alanı 2735404 daa, ayçiçeğinin ekim alanı 700920 daa, buğdayın 7468193 daa, mısırın ekim alanı 917630 dekar, Konya’da 2017 yılında pamuk ekimi yapılmamıştır.

Bu değerler göz önüne alındığında Türkiye’de en fazla ekimin yapıldığı il Konya ve Konya’da en çok ekimi yapılan bitki buğday olduğu için hesaplama örneği olarak Konya ilindeki buğdayın biyogaz miktarı ve bu biyogazdan elde edilebilecek enerji eşdeğeri Şekil 3.3’te hesaplanmıştır.



Şekil 3.3. Konya’daki buğdaydan elde edilen biyogaz enerji eşdeğer hesaplama diyagramı

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Türkiye’de yer alan iller bazında bitkisel atıklardan elde edilen biyogaz miktarı ile biyogaz enerji eşdeğeriyle karşılanacak potansiyel değerlendirilmiştir. Türkiye’de ihtiyaç duyulan enerjinin karşılanabilmesi için doğal kaynakları ve çevreyi koruyarak yenilenebilir enerji kaynaklarına gereken önemin verilmesi gerekmektedir. Bitkisel atıkların hasadından sonra tarlada kalan kısımlarının (sap, saman vb.) kullanılması sera gazı emisyonu ve atık miktarını azaltacaktır.

Türkiye’deki belirli enerji bitkilerinden (arpa, ayçiçeği, buğday, mısır, pamuk) elde edilecek biyogaz miktarları (m³/yıl) Çizelge 4.1’de, bu bitkilerden elde edilecek biyogaz enerji eşdeğeri (TJ/yıl) ve yüzdeleri (%) Çizelge 4.2’de verilmiştir. Buna göre en yüksek biyogaz miktarı 118833158,36 m³/yıl ile mısırdan elde edilirken mısırdan üretilen biyogaz enerji eşdeğeri 2697,53 TJ/yıl (64417,02 TEP/yıl); mısırı sırasıyla 56973205,08 m³/yıl biyogaz miktarı ile buğday izlerken buğdaydan elde edilen biyogaz enerji eşdeğeri 1293,33 TJ/yıl (30884,72 TEP/yıl), ayçiçeğinden elde edilen biyogaz miktarı ve biyogaz enerji eşdeğeri sırasıyla 38669236,20 m³/yıl ve 877,82 TJ/yıl (20962,34 TEP/yıl); arpa ve pamuğun biyogaz miktarı ise sırasıyla 17565688,86 m³/yıl ve 8631877,74 m³/yıl ile arpa ve pamuktan elde edilecek biyogaz enerji eşdeğeri 398,73 TJ/yıl (9521,67 TEP/yıl) ve 195,84 TJ/yıl (4676,66 TEP/yıl) olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Türkiye’de bitkilerden elde edilecek biyogaz miktarları (m³/yıl)

		ARPA	AYÇİÇEĞİ	BUĞDAY	MISIR	PAMUK	TOPLAM
MARMARA BÖLGESİ	BALIKESİR	100045,40	869304,48	1008439,00	3387838,08	4386,00	5370013,44
	BİLECİK	53702,64	163248,48	230224,40	85979,52	0	533155,00
	BURSA	55699,92	689554,08	548046,20	3805232,64	0	5098532,86
	ÇANAKKALE	169851,60	989296,80	591570,10	2172308,16	86,00	3923112,62
	EDİRNE	37509,12	5000245,40	1041912,00	980569,92	0	7060236,34
	İSTANBUL	41766,48	872781,44	250719,40	116740,80	0	1282008,12
	KIRKLARELİ	32617,44	3871731,40	940554,10	1327318,08	0	6172220,94
	KOCAELİ	64376,64	39382,40	273309,40	855581,76	0	1232650,18
	SAKARYA	24202,08	182676,80	95232,08	5541423,36	0	5843534,32
	TEKİRDAĞ	93995,28	7773951,80	1422694,00	663685,44	0	9954326,96
	YALOVA	6148,80	14770,88	10755,90	19641,60	0	51317,18

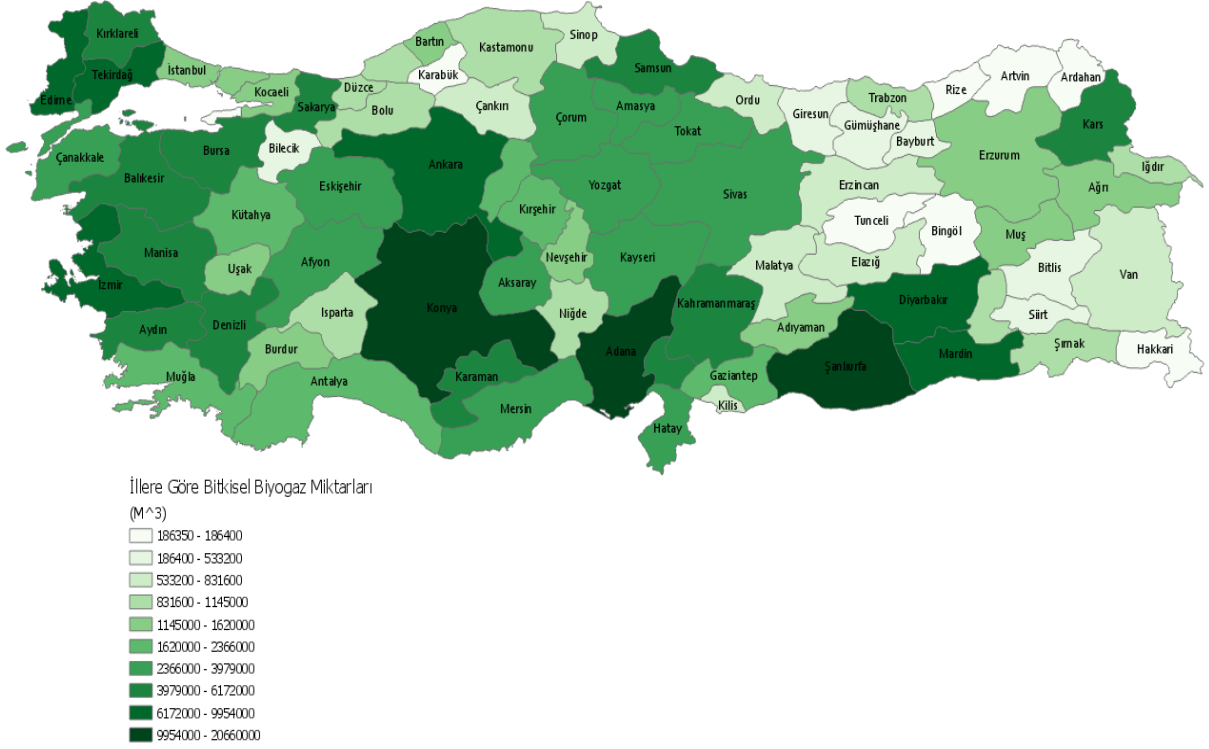
Çizelge 4.1. Türkiye’de bitkilerden elde edilecek biyogaz miktarları (m³/yıl) (Devam)

EGE BÖLGESİ	A.KARAHİSAR	719339,00	396333,76	1239022,00	663791,04	0	3018485,80
	AYDIN	105923,50	3968,00	159752,70	3310612,80	1110533,00	4690790,48
	DENİZLİ	361913,00	904654,40	522667,20	2343644,16	157125,40	4290004,22
	İZMİR	89315,28	92389,92	226936,50	6723150,72	471820,10	7603612,54
	KÜTAHYA	267552,00	53379,52	1003432,00	366220,80	0	1690584,18
	MANİSA	212468,40	20866,72	759230,40	4559280,00	100663,00	5652508,50
	MUĞLA	57399,84	13714,40	291813,10	1439613,12	6892,04	1809432,48
	UŞAK	389106,00	40548,00	487010,30	290188,80	0	1206853,08
AKDENİZ BÖLGESİ	ADANA	27565,20	2877925,90	1323460,00	10335061,40	546796,60	15110808,82
	ANTALYA	313796,20	11665,92	655693,30	1284465,60	100186,60	2365807,52
	BURDUR	167127,10	6557,12	391657,60	918888,96	0	1484230,78
	HATAY	15700,32	10440,80	461240,50	1277791,68	891080,40	2656253,72
	ISPARTA	291734,60	2420,48	347901,40	235023,36	0	877079,86
	MERSİN	55422,00	149940,80	714997,60	2153088,96	66228,60	3139677,98
	K.MARAŞ	205689,60	321576,64	973614,30	3105600,96	1151970,00	4721678,50
	OSMANİYE	25830,72	297446,24	344911,00	4165159,68	2769,20	4836116,88
İÇ ANADOLU BÖLGESİ	AKSARAY	602276,40	778288,48	596433,30	1679483,52	0	3656481,74
	ANKARA	1465819,00	1398243,80	3463112,00	559753,92	0	6886928,90
	ÇANKIRI	133054,60	6681,12	683989,40	7867,20	0	831592,28
	ESKİŞEHİR	588006,70	673493,60	1442990,00	1274159,04	0	3978649,74
	KARAMAN	440630,60	438920,32	689500,90	3462750,72	0	5031802,60
	KAYSERİ	605785,00	493440,64	1234424,00	988785,60	0	3322435,54
	KIRIKKALE	197766,00	341391,84	910939,30	429031,68	0	1879128,78
	KİRŞEHİR	625634,60	298552,32	728222,20	107194,56	0	1759603,68
	KONYA	1969491,00	3476563,20	5526463,00	9690172,80	0	20662689,70
	NEVŞEHİR	382705,90	12028,00	822623,20	148473,60	0	1365830,74
	NİĞDE	171266,40	1488,00	494651,50	447004,80	0	1114410,72
	SİVAS	489883,70	10346,56	2103179,00	149666,88	0	2753076,28
	YOZGAT	227437,90	424868,64	2340562,00	91798,08	0	3084666,92
G.DOĞU ANA. BÖL.	ADIYAMAN	373560,50	6001,60	629489,90	497112,00	113454,60	1619618,60
	BATMAN	29573,28	0	391101,10	508886,40	4341,28	933902,06
	DİYARBAKIR	305533,40	56692,80	2427693,00	2901560,64	735757,50	6427237,24
	GAZİANTEP	188133,10	29140,00	576210,60	1170058,56	104576,00	2068118,30
	KİLİS	58977,36	0	181701,80	437352,96	688,00	678720,14
	MARDİN	152600,40	0	1429679,00	5446457,28	144249,50	7172986,46
	SİİRT	14460,48	0	289051,40	185687,04	4730,00	493928,92
	ŞANLIURFA	1444077,00	291593,00	2252539,00	6567549,00	3847270,00	14403028,66
	ŞIRNAK	21466,80	0	563274,70	436529,28	87410,40	1108681,16
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	AĞRI	336317,00	130899,36	734749,00	52905,60	0	1254870,96
	ARDAHAN	61147,44	0	37432,16	390,72	0	98970,32
	BİNGÖL	3109,68	0	69939,62	50645,76	0	123695,06
	BİTLİS	16335,36	21427,20	239797,00	82748,16	0	360307,72
	ELAZIĞ	309718,80	0	315818,70	169752,00	0	795289,48
	ERZİNCAN	130906,10	22518,40	249223,10	192244,80	0	594892,40

Çizelge 4.1. Türkiye’de bitkilerden elde edilecek biyogaz miktarları (m³/yıl) (Devam)

	ERZURUM	194860,10	85197,92	855624,30	237177,60	0	1372859,86
	HAKKARİ	275,04	0	104051,40	18934,08	0	123260,52
	IĞDIR	67262,40	0	159934,70	902436,48	15636,52	1145270,12
	KARS	299968,60	0	294634,70	4137059,52	0	4731662,78
	MALATYA	236144,90	25742,40	414572,40	138663,36	0	815123,06
	MUŞ	83368,80	71190,88	935039,60	212667,84	0	1302267,10
	TUNCELİ	59374,80	0	71095,50	2323,20	0	132793,50
	VAN	49236,48	3472,00	598620,00	12724,80	0	664053,32
KARADENİZ BÖLGESİ	AMASYA	148799,50	743722,24	779388,70	1266967,68	0	2938878,16
	ARTVİN	2027,52	0	1161,80	183184,32	0	186373,64
	BARTIN	6583,68	15157,76	98309,00	1255034,88	0	1375085,32
	BAYBURT	68709,60	0	198196,40	141947,52	0	408853,54
	BOLU	104798,20	58032,00	376936,80	377055,36	0	916822,28
	ÇORUM	403075,40	1524019,50	1648733,00	262880,64	0	3838708,18
	DÜZCE	275,04	0	6710,32	949755,84	0	956741,20
	GİRESUN	47425,68	0	79772,00	255742,08	0	382939,76
	GÜMÜŞHANE	49258,08	0	131875,40	138779,52	0	319913,00
	KARABÜK	39546,72	0	107712,20	11689,92	0	158948,82
	KASTAMONU	99168,48	0	419506,00	513184,32	0	1031858,80
	ORDU	10802,16	0	21397,84	604412,16	0	636612,16
	RİZE	36,00	0	0	27255,36	0	27291,36
	SAMSUN	49386,24	780327,04	801435,50	3858592,32	0	5489741,14
	SİNOP	24747,12	0	140864,90	613356,48	0	778968,52
	TOKAT	186613,90	777618,88	915610,10	947232,00	0	2827074,94
	TRABZON	0	0	0	925752,96	0	925752,96
ZONGULDAK	2471,76	1403,68	70436,16	974424,00	0	1048735,60	

Şekil 4.1’de Türkiye’deki en yüksek ve en düşük biyogaz miktarına sahip olan iller gösterilmiştir. Buna göre en yüksek biyogaz miktarına sahip olan ilk beş il sırasıyla Konya 20662689,70 m³/yıl, Adana 15110808,82 m³/yıl, Şanlıurfa 14403028,66 m³/yıl, Tekirdağ 9954326,96 m³/yıl ve İzmir 7603612,54 m³/yıldır. Türkiye’de en düşük biyogaz miktarına sahip olan iller ise Bingöl 123695,06 m³/yıl, Hakkâri 123260,52 m³/yıl, Ardahan 98970,32 m³/yıl, Yalova 51317,18 m³/yıl ve Rize 27291,36 m³/yıldır.



Şekil 4.1. Türkiye’de iller bazında bitkilerden elde edilecek biyogaz miktarının dağılımı

Çizelge 4.2. Türkiye’de iller bazında bitkilerden elde edilecek biyogaz enerji eşdeğeri (TJ/yıl) ve illere göre yüzdeleri (%)

		ARPA	AYÇİÇEĞİ	BUĞDAY	MISIR	PAMUK	TOPLAM	%
MARMARA BÖLGESİ	BALIKESİR	2,27	19,73	22,89	76,90	0,10	121,89	2,23
	BİLECİK	1,22	3,71	5,23	1,95	0	12,10	0,22
	BURSA	1,26	15,65	12,44	86,38	0	115,73	2,12
	ÇANAKKALE	3,86	22,46	13,43	49,31	0	89,05	1,63
	EDİRNE	0,85	113,50	23,65	22,26	0	160,26	2,93
	İSTANBUL	0,95	19,81	5,69	2,65	0	29,10	0,53
	KIRKLARELİ	0,74	87,89	21,35	30,13	0	140,11	2,57
	KOCAELİ	1,46	0,89	6,20	19,42	0	27,98	0,51
	SAKARYA	0,55	4,15	2,16	125,80	0	132,65	2,43
	TEKİRDAĞ	2,13	176,50	32,30	15,07	0	225,96	4,14
YALOVA	0,14	0,33	0,24	0,45	0	1,16	0,02	
EGE BÖLGESİ	AFYONKARAHİSAR	16,33	8,99	28,13	15,07	0	68,52	1,25
	AYDIN	2,40	0,09	3,63	75,15	25,20	106,48	1,95
	DENİZLİ	8,22	20,54	11,86	53,20	3,57	97,38	1,78
	İZMİR	2,03	2,10	5,15	152,60	10,70	172,60	3,16
	KÜTAHYA	6,07	1,21	22,78	8,31	0	38,38	0,70
	MANİSA	4,82	0,47	17,23	103,50	2,29	128,31	2,35

Çizelge 4.2. Türkiye’de iller bazında bitkilerden elde edilecek biyogaz enerji eşdeğeri (TJ/yıl) ve illere göre yüzdeleri (%) (Devam)

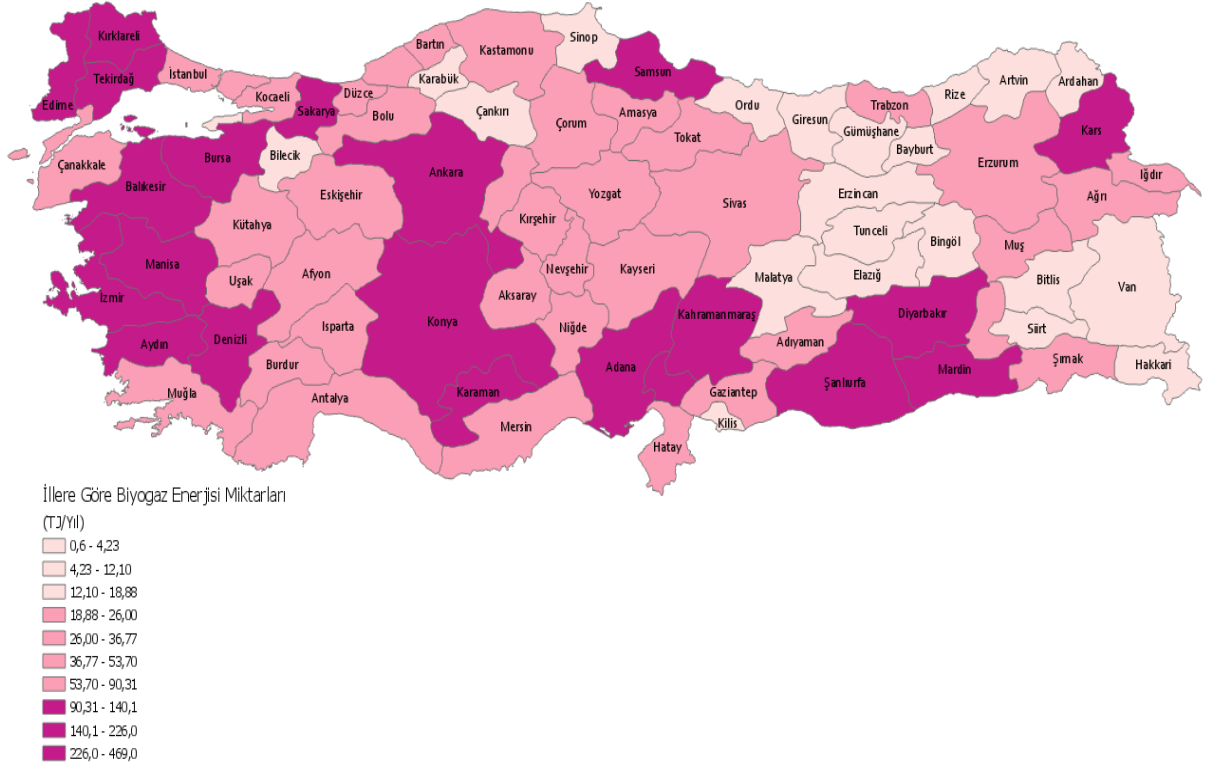
	MUĞLA	1,30	0,31	6,62	32,68	0,16	41,07	0,75
	UŞAK	8,83	0,92	11,06	6,59	0	27,40	0,50
AKDENİZ BÖLGESİ	ADANA	0,63	65,33	30,04	234,60	12,40	343,02	6,28
	ANTALYA	7,12	0,27	14,88	29,16	2,27	53,70	0,98
	BURDUR	3,79	0,15	8,89	20,86	0	33,69	0,62
	HATAY	0,36	0,24	10,47	29,01	20,20	60,29	1,10
	ISPARTA	6,62	0,06	7,90	5,34	0	19,91	0,36
	MERSİN	1,26	3,40	16,23	48,88	1,50	71,27	1,31
	KAHRAMANMARAŞ	4,67	7,30	22,10	70,50	2,61	107,18	1,96
	OSMANIYE	0,59	6,75	7,83	94,55	0,06	109,78	2,01
İÇ ANADOLU BÖLGESİ	AKSARAY	13,67	17,67	13,54	38,12	0	83,00	1,52
	ANKARA	33,27	31,74	78,61	12,71	0	156,33	2,86
	ÇANKIRI	3,02	0,15	15,53	0,18	0	18,88	0,35
	ESKİŞEHİR	13,35	15,29	32,76	28,92	0	90,32	1,65
	KARAMAN	10,00	9,96	15,65	78,60	0	114,22	2,09
	KAYSERİ	13,75	11,20	28,02	22,45	0	75,42	1,38
	KIRIKKALE	4,49	7,75	20,68	9,74	0	42,66	0,78
	KIRŞEHİR	14,20	6,78	16,53	2,43	0	39,94	0,73
	KONYA	44,71	78,92	125,50	220,00	0	469,04	8,59
	NEVŞEHİR	8,69	0,27	18,67	3,37	0	31,00	0,57
	NİĞDE	3,89	0,03	11,23	10,15	0	25,30	0,46
	SİVAS	11,12	0,24	47,74	3,40	0	62,49	1,14
YOZGAT	5,16	9,65	53,13	2,08	0	70,02	1,28	
GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ	ADIYAMAN	8,48	0,14	14,29	11,28	2,58	36,77	0,67
	BATMAN	0,67	0	8,89	11,55	0,10	21,20	0,39
	DİYARBAKIR	6,94	1,29	55,11	65,87	16,70	145,89	2,67
	GAZİANTEP	4,27	0,66	13,08	26,56	2,37	46,95	0,86
	KİLİS	1,34	0	4,13	9,93	0,02	15,41	0,28
	MARDİN	3,46	0	32,45	123,60	3,27	162,83	2,98
	SİİRT	0,33	0	6,56	4,22	0,11	11,21	0,21
	ŞIRNAK	0,49	0	12,79	9,91	1,98	25,17	0,46
	ŞANLIURFA	32,78	6,62	51,13	149,10	87,30	326,95	5,98
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	AĞRI	7,63	2,97	16,68	1,20	0	28,49	0,52
	ARDAHAN	1,39	0	0,85	0,01	0	2,25	0,04
	BİNGÖL	0,07	0	1,59	1,15	0	2,81	0,05
	BİTLİS	0,37	0,49	5,44	1,89	0	8,18	0,15
	ELAZIĞ	7,03	0	7,17	3,85	0	18,05	0,33
	ERZİNCAN	2,97	0,51	5,66	4,36	0	13,50	0,25
	ERZURUM	4,42	1,93	19,42	5,38	0	31,16	0,57
	HAKKARİ	0,01	0	2,36	0,43	0	2,80	0,05
	İĞDIR	1,53	0	3,63	20,49	0,35	25,99	0,48
	KARS	6,81	0	6,69	93,91	0	107,41	1,97

Çizelge 4.2. Türkiye’de iller bazında bitkilerden elde edilecek biyogaz enerji eşdeğeri (TJ/yıl) ve illere göre yüzdeleri (%) (Devam)

	MALATYA	5,36	0,58	9,41	3,15	0	18,50	0,34
	MUŞ	1,89	1,62	21,23	4,83	0	29,56	0,54
	TUNCELİ	1,35	0	1,61	0,05	0	3,01	0,06
	VAN	1,12	0,08	13,59	0,29	0	15,07	0,28
KARADENİZ BÖLGESİ	AMASYA	3,38	16,88	17,69	28,76	0	66,71	1,22
	ARTVİN	0,05	0	0,03	4,16	0	4,23	0,08
	BARTIN	0,15	0,34	2,23	28,49	0	31,21	0,57
	BAYBURT	1,56	0	4,50	3,22	0	9,28	0,17
	BOLU	2,38	1,32	8,56	8,56	0	20,81	0,38
	ÇORUM	9,15	34,60	37,43	5,97	0	87,14	1,60
	DÜZCE	0,01	0	0,15	21,56	0	21,72	0,40
	GİRESUN	1,08	0	1,81	5,81	0	8,69	0,16
	GÜMÜŞHANE	1,12	0	2,99	3,15	0	7,26	0,13
	KARABÜK	0,90	0	2,45	0,27	0	3,61	0,07
	KASTAMONU	2,25	0	9,52	11,65	0	23,42	0,43
	ORDU	0,25	0	0,49	13,72	0	14,45	0,27
	RİZE	0	0	0	0,62	0	0,62	0,01
	SAMSUN	1,12	17,71	18,19	87,59	0	124,62	2,28
	SİNOP	0,56	0	3,20	13,92	0	17,68	0,32
	TOKAT	4,24	17,65	20,78	21,50	0	64,17	1,18
TRABZON	0	0	0	21,01	0	21,01	0,39	
ZONGULDAK	0,06	0,03	1,60	22,12	0	23,81	0,44	

Türkiye’de iller bazında bitkilerden elde edilecek biyogaz enerji eşdeğerinin dağılımları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de, bu enerjinin yüzdeleri olarak gösterimleri ise Çizelge 4.3’te bulunmaktadır.

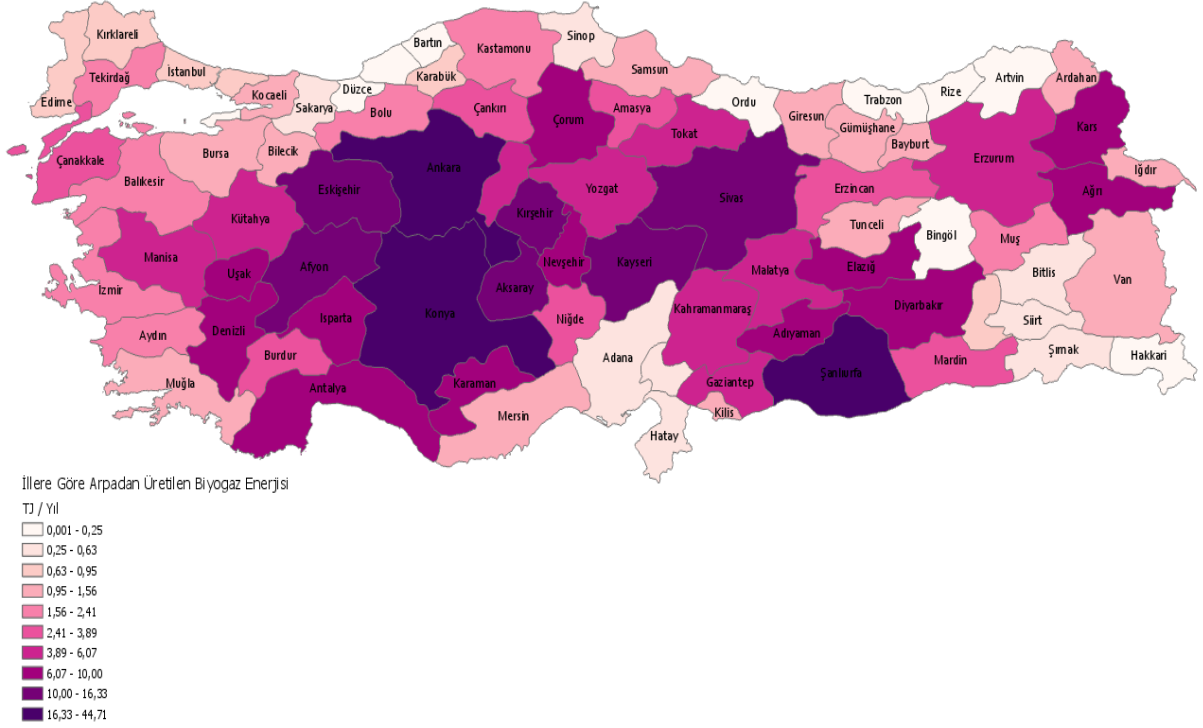
Türkiye’deki iller bazında en yüksek biyogaz enerji eşdeğerine sahip olan bitkilerin bulunduğu haritalar arpa Şekil 4.4’te, ayçiçeği Şekil 4.5’te, buğday Şekil 4.6’da, mısır Şekil 4.7’de ve pamuk Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Buna göre en yüksek biyogaz enerji eşdeğeri 469,04 TJ/yıl (11200,68 TEP/yıl) ile İç Anadolu Bölgesi’nde yer alan Konya ilinden elde edilirken bu değer Türkiye’deki biyogaz enerji eşdeğerinin %8,59’ını oluşturmaktadır. Onu sırasıyla Akdeniz Bölgesi’ndeki Adana 343,02 TJ/yıl (8191,32 TEP/yıl) ve %6,28, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ndeki Şanlıurfa 326,95 TJ/yıl (7807,57 TEP/yıl) ve %5,98, Marmara Bölgesi’ndeki Tekirdağ 225,96 TJ/yıl (5395,92 TEP/yıl) ve %4,14, Ege Bölgesi’ndeki İzmir 172,60 TJ/yıl (4121,69 TEP/yıl) biyogaz enerji eşdeğeri ile Türkiye’nin en yüksek enerjisine sahip 5. ili olurken bu değer Türkiye’deki biyogaz enerji eşdeğerinin %3,16’sını oluşturmaktadır.



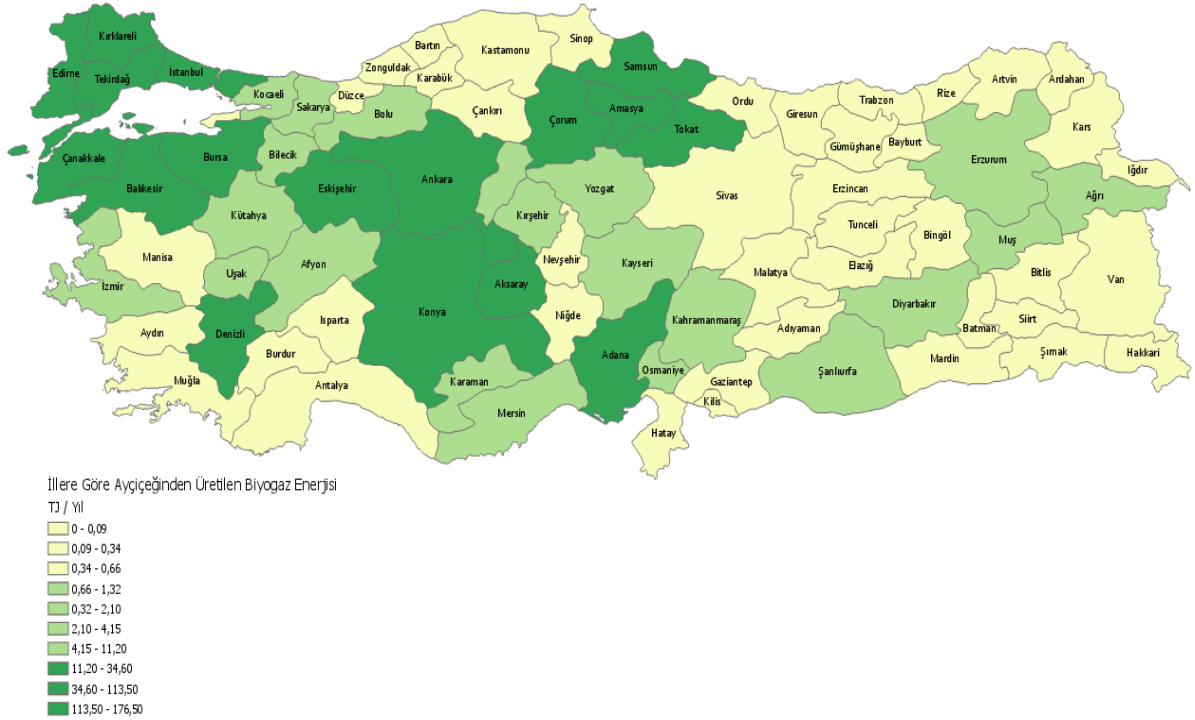
Şekil 4.2. Türkiye’de iller bazında bitkilerden elde edilecek biyogaz enerji eşdeğerinin dağılımı



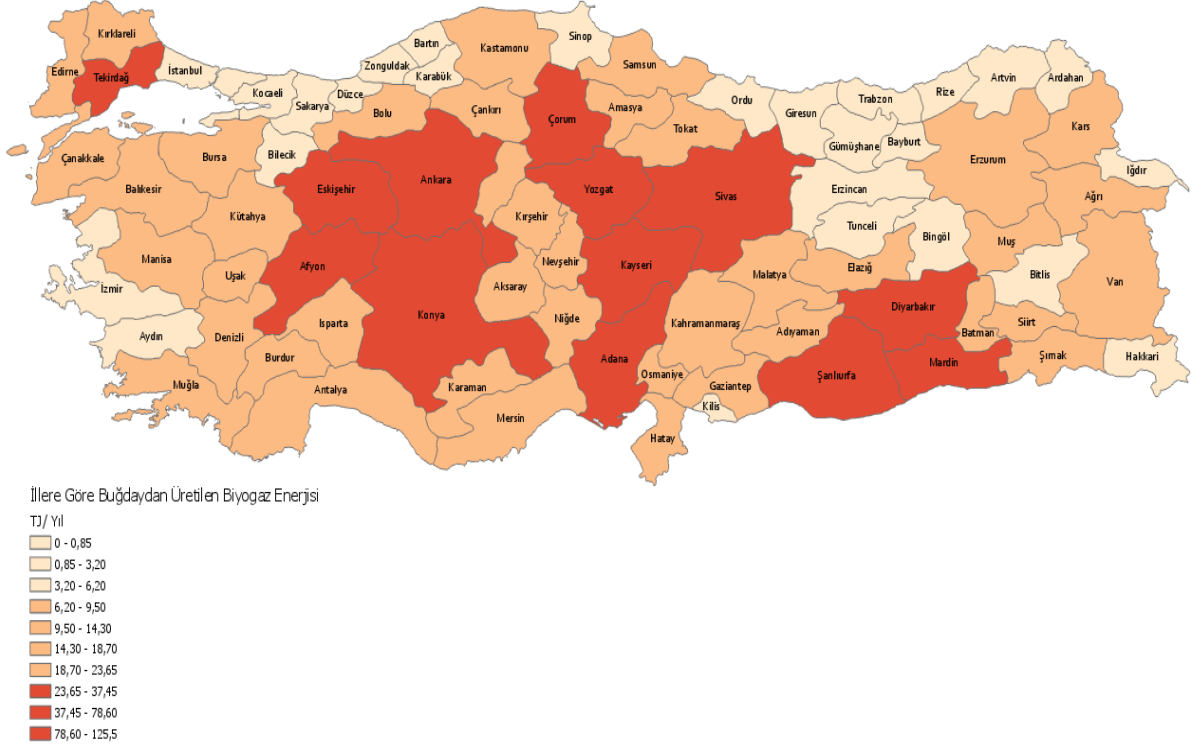
Şekil 4.3. Türkiye’de iller bazında bitkilerden elde edilecek biyogaz enerji eşdeğerinin dağılımı (%)



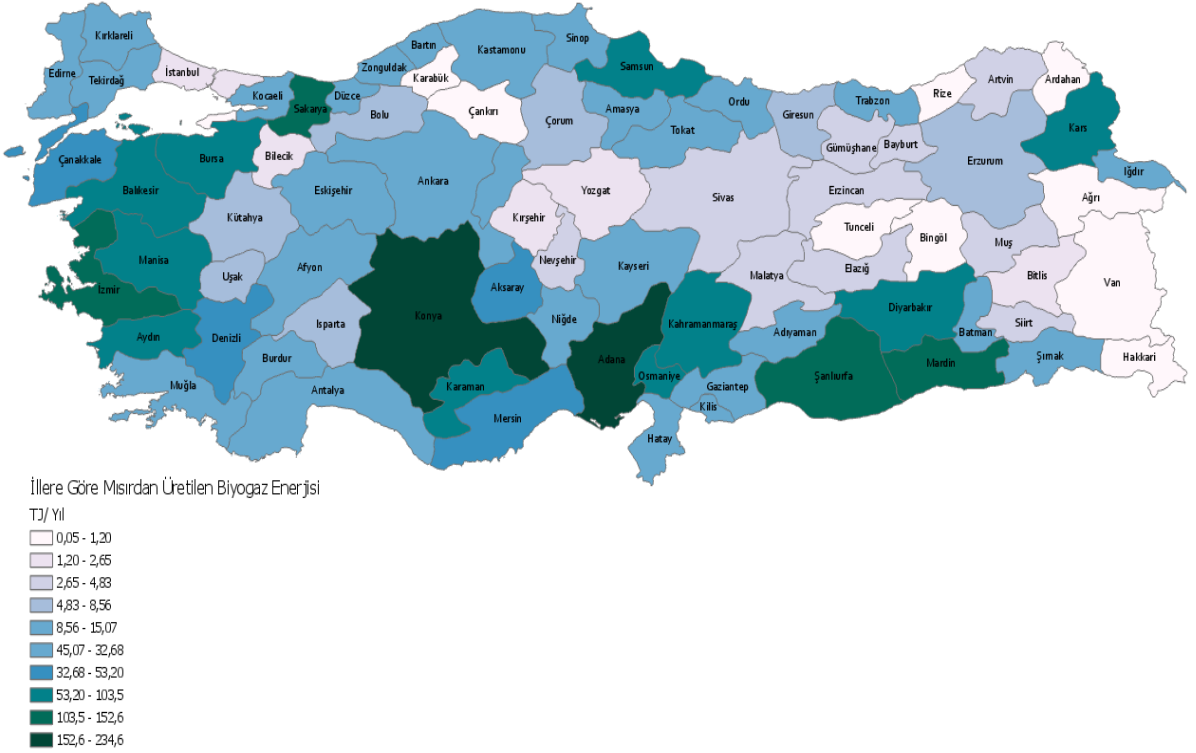
Şekil 4.4. Türkiye’de iller bazında arpadan elde edilecek biyogaz enerji eşdeğeri



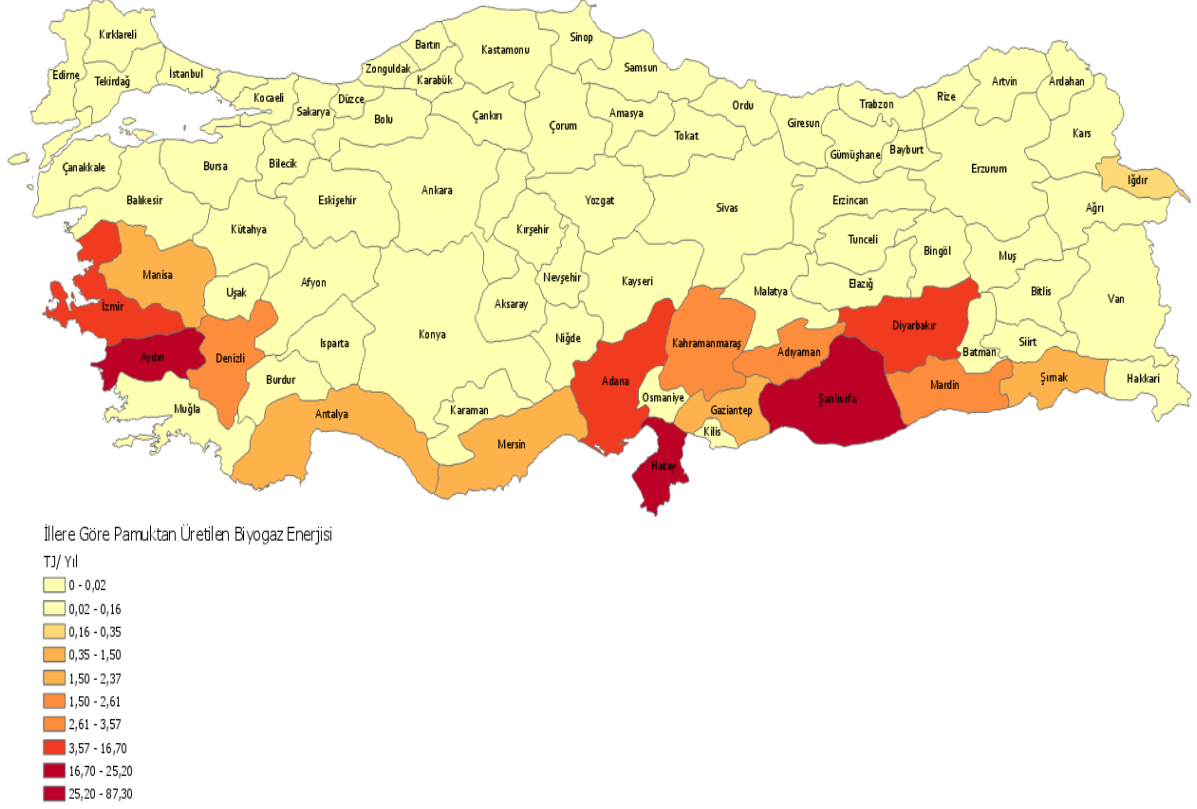
Şekil 4.5. Türkiye’de iller bazında ayçiçeğinden elde edilecek biyogaz enerji eşdeğeri



Şekil 4.6. Türkiye’de iller bazında buğdaydan elde edilecek biyogaz enerji eşdeğeri



Şekil 4.7. Türkiye’de iller bazında mısırdan elde edilecek biyogaz enerji eşdeğeri



Şekil 4.8. Türkiye’de iller bazında pamuktan elde edilecek biyogaz enerji eşdeğeri

Bitkilerden üretilen enerji eşdeğer potansiyelinin Türkiye’deki yüzdesi Çizelge 4.3’te gösterilmiştir. Buna göre Türkiye’deki enerji eşdeğer potansiyeli %0,50’ye eşit veya büyük olan 49 il Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’daki grafiklerde gösterilmiş, bu değer altında kalan iller grafiklere dahil edilmemiştir.

Çizelge 4.3. Bitkilerden üretilen enerji miktarının Türkiye’deki yüzdesi, %

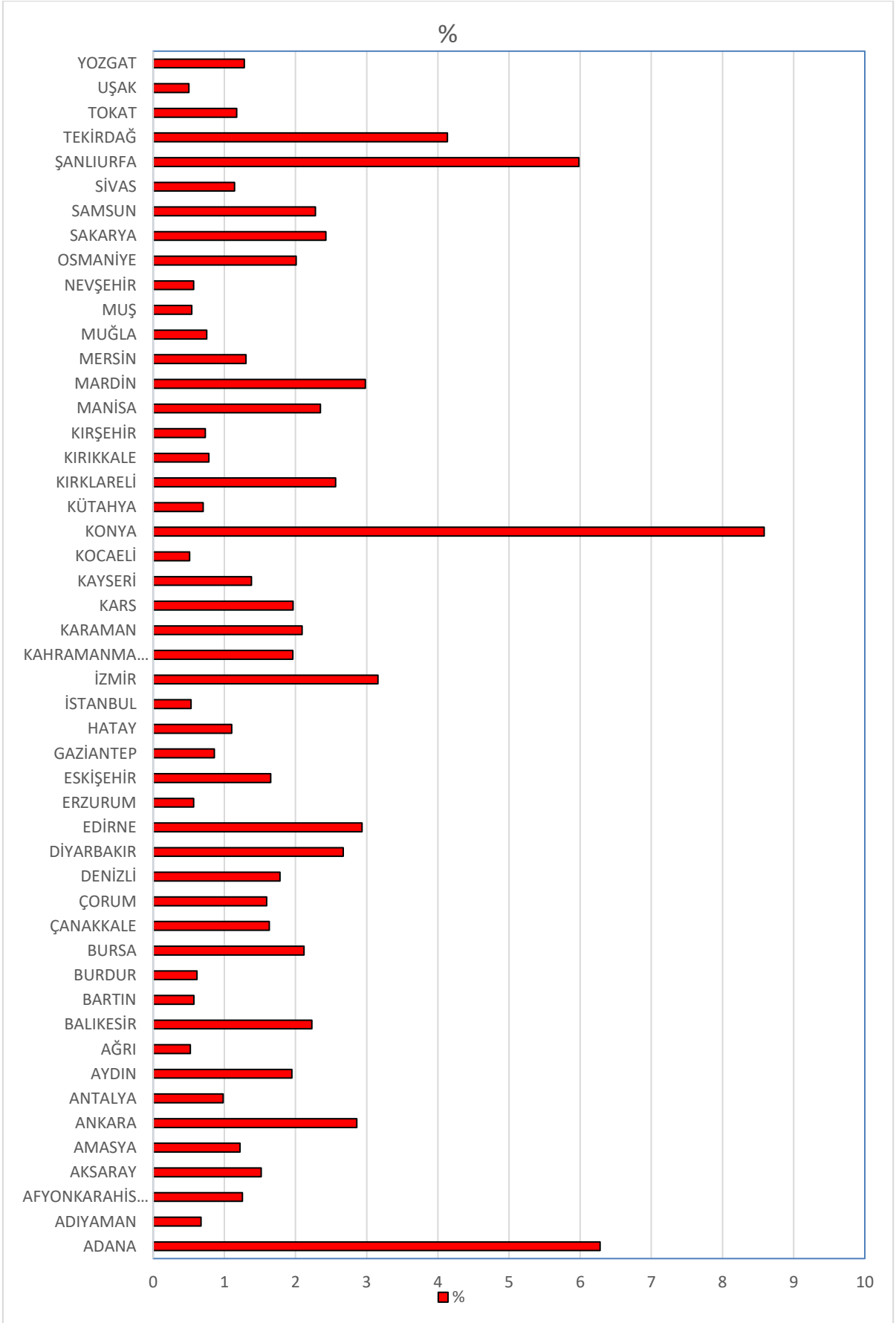
	İLLER	%
MARMARA BÖLGESİ	BALIKESİR	2,23
	BİLECİK	0,22
	BURSA	2,12
	ÇANAKKALE	1,63
	EDİRNE	2,93
	İSTANBUL	0,53
	KIRKLARELİ	2,57
	KOCAELİ	0,51
	SAKARYA	2,43
	TEKİRDAĞ	4,14
	YALOVA	0,02

Çizelge 4.3. Bitkilerden üretilen enerji miktarının Türkiye'deki yüzdesi, % (Devam)

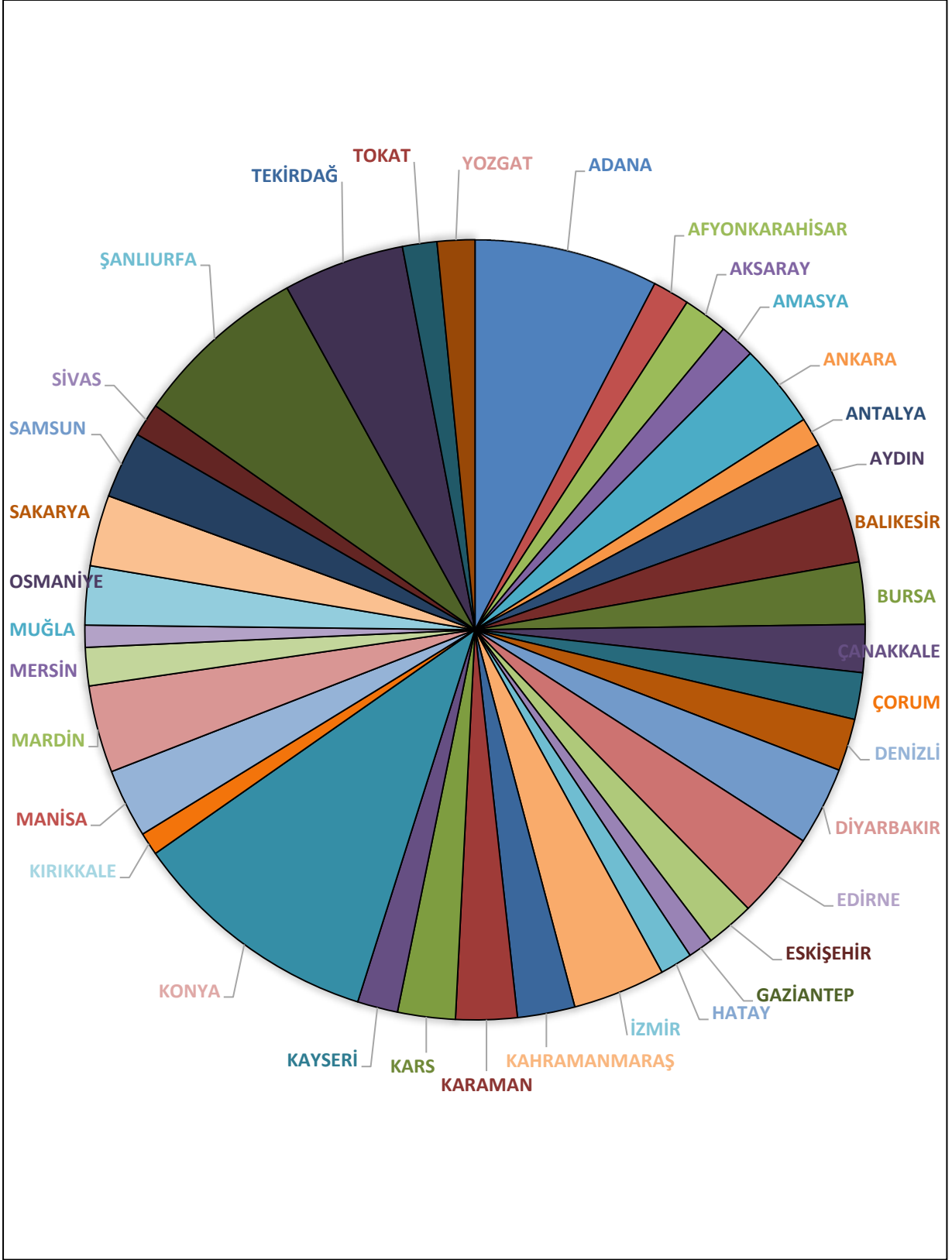
EGE BÖLGESİ	AFYONKARAHİSAR	1,25
	AYDIN	1,95
	DENİZLİ	1,78
	İZMİR	3,16
	KÜTAHYA	0,70
	MANİSA	2,35
	MUĞLA	0,75
	UŞAK	0,50
AKDENİZ BÖLGESİ	ADANA	6,28
	ANTALYA	0,98
	BURDUR	0,62
	HATAY	1,10
	ISPARTA	0,36
	MERSİN	1,31
	KAHRAMANMARAŞ	1,96
	OSMANIYE	2,01
İÇ ANADOLU BÖLGESİ	AKSARAY	1,52
	ANKARA	2,86
	ÇANKIRI	0,35
	ESKİŞEHİR	1,65
	KARAMAN	2,09
	KAYSERİ	1,38
	KIRIKKALE	0,78
	KIRŞEHİR	0,73
	KONYA	8,59
	NEVŞEHİR	0,57
	NİĞDE	0,46
	SİVAS	1,14
	YOZGAT	1,28
GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ	ADIYAMAN	0,67
	BATMAN	0,39
	DİYARBAKIR	2,67
	GAZİANTEP	0,86
	KİLİS	0,28
	MARDİN	2,98
	SİİRT	0,21
	ŞIRNAK	0,46
	ŞANLIURFA	5,98
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	AĞRI	0,52
	ARDAHAN	0,04
	BİNGÖL	0,05
	BİTLİS	0,15

Çizelge 4.3. Bitkilerden üretilen enerji miktarının Türkiye’deki yüzdesi, % (Devam)

	ELAZIĞ	0,33
	ERZİNCAN	0,25
	ERZURUM	0,57
	HAKKARİ	0,05
	IĞDIR	0,48
	KARS	1,97
	MALATYA	0,34
	MUŞ	0,54
	TUNCELİ	0,06
	VAN	0,28
KARADENİZ BÖLGESİ	AMASYA	1,22
	ARTVİN	0,08
	BARTIN	0,57
	BAYBURT	0,17
	BOLU	0,38
	ÇORUM	1,60
	DÜZCE	0,40
	GİRESUN	0,16
	GÜMÜŞHANE	0,13
	KARABÜK	0,07
	KASTAMONU	0,43
	ORDU	0,27
	RİZE	0,01
	SAMSUN	2,28
	SİNOP	0,32
	TOKAT	1,18
TRABZON	0,39	
ZONGULDAK	0,44	



Şekil 4.9. Türkiye’deki enerji eşdeğer potansiyeli yüksek olan illerin yüzdeleri, %



Şekil 4.10. Türkiye'deki enerji eşdeğer potansiyeli yüksek olan illerin yüzdeleri, %

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında 2017 yılında Türkiye'deki illerin bitkisel üretim verileri TÜİK' ten alınan veriler ışığında değerlendirilmiştir.

Türkiye'deki toplam tarım alanı 233850926,50 dekadır. Bu alan Türkiye'nin karasal büyüklüğünün (769632000 daa) yaklaşık %30,40'ını oluşturmaktadır.

Tarım alanlarının 155363201 dekarını tahıllar ve diğer bitkisel ürünler (%66,44), 7982650 dekarını sebze bahçeleri (%3,41), 33481004 dekarını meyveler, içecekler ve baharat bitkileri alanı (%14,32), 49934,50 dekarını da süs bitkileri alanı (%0,02) ve 36974137 dekarını nadas alanları (%15,81) oluşturmaktadır.

Türkiye'de en çok ekimi yapılan bitki 76990818 dekarla buğday olurken bu alan Türkiye'deki ekim alanlarının %49,56'sını oluşturmaktadır. Buğdayı sırasıyla 24396791 dekarla arpa izlerken arpanın ekim oranı %15,70, mısırın ekim alanı 11253140 dekar ve ekim oranı %7,24, ayçiçeğinin ekim alanı 7796217 dekar ve ekim oranı %5,02 ve pamuk 5018534 dekar ekim alanına ve %3,23 ekim oranına sahiptir.

Türkiye'de 2017 yılı verileri kullanılarak elde edilen veriler ışığında bitkilerden elde edilecek bitkisel kullanılabilir atık miktarı yılda 12033657,45 tondur, ekilen alan miktarı ise yılda 125455500 tondur. Biyogaz miktarı 240673168 m³/yıl, bitkisel atıklardan üretilebilecek biyogazın enerji eşdeğeri 5463,19 TJ/yıl (130460,98 TEP/yıl) olarak hesaplanmıştır.

Türkiye'de bitkisel atık miktarının en fazla olduğu il 1033134 ton ile Konya olurken onu sırasıyla 755540,40 ton ile Adana, 720151,40 ton ile Şanlıurfa, 497716,30 ton ile Tekirdağ ve 380180,60 ton ile İzmir izlemektedir.

Türkiye'de en yüksek biyogaz miktarı 118833158,36 m³/yıl ile mısırdan elde edilirken mısırdan üretilen enerji 2697,53 TJ/yıl (64417,02 TEP/yıl); mısırı sırasıyla 56973205,08 m³/yıl biyogaz miktarı ile buğday izlerken buğdaydan elde edilen enerji 1293,33 TJ/yıl, ayçiçeğinden elde edilen biyogaz ve enerji sırasıyla 38669236,20 m³/yıl ve 877,82 TJ/yıl (20962,34 TEP/yıl); arpa ve pamuğun biyogaz miktarı ise sırasıyla 17565688,86 m³/yıl ve 8631877,74 m³/yıl ile arpa ve pamuktan elde edilecek enerji değeri ise sırasıyla 398,73 TJ/yıl (9521,67 TEP/yıl) ve 195,84 TJ/yıl (4676,66 TEP/yıl) olarak hesaplanmıştır.

Türkiye'deki en yüksek biyogaz miktarına sahip olan ilk beş il sırasıyla Konya 20662689,70 m³/yıl, Adana 15110808,82 m³/yıl, Şanlıurfa 14403028,66 m³/yıl, Tekirdağ 9954326,96 m³/yıl ve İzmir 7603612,54 m³/yıldır. Türkiye'de en düşük biyogaz enerji potansiyeline sahip olan iller ise Bingöl 123695,06 m³/yıl, Hakkâri 123260,52 m³/yıl, Ardahan 98970,32 m³/yıl, Yalova 51317,18 m³/yıl ve Rize 27291,36 m³/yıldır.

Türkiye'deki en yüksek enerji eşdeğeri 469,04 TJ/yıl (11200,68 TEP/yıl) ile İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Konya ilinden elde edilirken bu değer Türkiye'deki biyogaz enerji eşdeğerinin %8,59'unu oluşturmaktadır. Konya'yı sırasıyla Akdeniz Bölgesi'ndeki Adana 343,02 TJ/yıl (8191,32 TEP/yıl) ile %6,28'ini, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki Şanlıurfa 326,95 TJ/yıl (7807,57 TEP/yıl) ile %5,98'ini, Marmara Bölgesi'ndeki Tekirdağ 225,96 TJ/yıl (5395,92 TEP/yıl) ve %4,14'ünü, Ege Bölgesi'ndeki İzmir 172,60 TJ/yıl (4121,69 TEP/yıl) enerji ile Türkiye'nin en yüksek biyogaz enerji eşdeğerine sahip 5. ili olurken bu değer Türkiye'deki biyogaz enerji eşdeğerinin %3,16'sını oluşturmaktadır.

Türkiye'deki biyogaz enerji eşdeğeri en yüksek olan Adana, İzmir, Konya, Şanlıurfa ve Tekirdağ illeri için hesaplanan biyogaz enerji eşdeğerinin EPDK'dan alınan 2017 yılı elektrik tüketim değerlerine göre karşılama oranı Çizelge 5.1'de gösterilmiştir (Anonim 2017f). Hesaplamalar yapılırken 1 ton petrol eşdeğeri 11,63 MWh kabulü yapılmıştır. 2017 yılı vergi dahil elektrik birim fiyatı 41,20 kuruştur (Anonim 2019b).

Çizelge 5.1. Bitkisel atıklardan elde edilebilecek biyogaz enerji eşdeğeriyle elektrik ihtiyacı karşılan iller

İLLER	Biyogaz Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	Elektrik Tüketimi (MWh)	İllerin Elektrik İhtiyacı Karşılama Oranı (%)
ŞANLIURFA	7807,57	429174,98	21,16
KONYA	112000,68	767268,77	16,98
ADANA	8191,32	706551,86	13,48
TEKİRDAĞ	5395,92	558387,25	11,24
İZMİR	4121,69	1528360,21	3,14

Türkiye genelinde biyogaz enerji eşdeğeriyle enerji tüketiminin en yüksek oranda karşılandığı il Şanlıurfa'dır. Şanlıurfa ili en yüksek biyogaz enerji eşdeğerine sahip olan iller arasında elektrik tüketim oranının az ve biyogaz enerji eşdeğerinin yüksek olması nedeniyle elektrik tüketiminin karşılanma oranının (%21,16) en yüksek olduğu ildir. Şanlıurfa'dan sonra elektrik tüketiminin karşılanma oranları sırasıyla Konya (%16,86), Adana (%13,48), Tekirdağ (%11,24) ve İzmir (%3,14)'dedir.

Biyogaz, yenilenebilir enerji üretimi ve karşılanabilecek enerji tüketimi açısından oldukça önemlidir. Türkiye'de biyogaz tesisi kurulması durumunda bitkisel atıklardan elde edilebilecek biyogaz enerji eşdeğerinin elektrik tüketimine en fazla katkı sağlayacak olan illerin değerlendirilmesi sonucunda inşa edilecek yerin belirlenmesi ve bu ölçütler doğrultusunda yapılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Bu çalışma kapsamında Türkiye'deki iller bazında yapılan hesaplamalar ele alındığında bitkisel atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarının elektrik ihtiyacının ne kadarını karşılayabileceği oldukça önemli bir ölçüttür.

Biyogaz tesisi kurulması durumunda söz konusu yapılan hesaplamalar ve belirlenen ölçütler doğrultusunda gerekli değerlendirmeler sonrasında kurulmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Acaroğlu M (2007). Alternatif Enerji Kaynakları. Nobel Yayın No: 1253, Ankara.
- Anonim (2016). https://www.avrupa.info.tr/sites/default/files/2016-08/brochure_2_v2.pdf
Erişim Tarihi: 04.11.2018
- Anonim (2016a). <http://www.elektrik.gen.tr/2016/08/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-ve-cesitleri/5092>. Erişim Tarihi: 15.11.2018
- Anonim (2016b). Anonymous 1999. ISAT- AT Information: Biogas. Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany. Web sitesi. http://gis.lrs.uoguelph.ca/AgriEnvArchives/bioenergy/download/biogas_gt_z_de.pdf
Erişim Tarihi: 03.08.2018
- Anonim (2016c). ISAT-AT Information: Biogas. Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany (1999). http://biogas.ifas.ufl.edu/ad_development/documents/biogasdigestvoll1.pdf Erişim Tarihi: 21.03.2018
- Anonim (2016d). <http://www.biyogazenerji.com/tr/biyogaz-nedir> Erişim Tarihi: 30.12.2018
- Anonim (2017). Yenilenebilir Enerji Raporu. Çukurova Kalkınma Ajansı. Türkiye. Erişim Tarihi: 25.10.2018
- Anonim (2017a). İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx> Erişim Tarihi: 15.02.2017
- Anonim (2017b). “Biyogaz | Türk-Alman Biyogaz Projesi.” <http://biyogaz.web.tr/tr/biyogaz-nedir> Erişim Tarihi: 08.02.2017
- Anonim (2017c). Elektrik İşleri Etüt İdaresi. www.eie.gov.tr Erişim Tarihi: 15.02.2017
- Anonim (2017d). Planning and Installing Bioenergy Systems: a Guide For Installers, Architects, And Engineers, German Solar Energy Society (DGS) and Ecofys, James&James/Earthscan.
- Anonim(2017e). <http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSayfalar%2FBiyogaz+%C3%9Cretiminin+Mikrobiyolojisi.pdf> Erişim Tarihi: 15.02.2017
- Anonim (2017f). Elektrik Piyasası Sektör Raporu. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. <https://www.epdk.org.tr/Detay/DownloadDocument?id=GWHnLpVA2qk=> Erişim Tarihi: 03.04.2019
- Anonim (2018). <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx> Erişim Tarihi: 11.11.2018
- Anonim (2018a). http://www.cindil.net/files/dbfz_rapor.pdf Erişim Tarihi: 27.10.2018

- Anonim (2018b). <http://www.cka.org.tr/dosyalar/enerji.pdf> Erişim Tarihi: 12.09.2018
- Anonim (2018c). <http://biyogazlar.blogspot.com.tr/2010/06/biyogaz-nedir.html> Erişim Tarihi: 24.03.2018
- Anonim (2018d). <http://biyogazlar.blogspot.com/2010/06/dunyada-biyogaz-uretimi-ve-kullanm.html> Erişim Tarihi: 24.03.2018
- Anonim (2018e). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle> Erişim Tarihi:11.09.2018
- Anonim (2018f). <http://biyogazlar.blogspot.com.tr/2010/06/turkiyede-biyogaz-arastirmalar.html> Erişim Tarihi: 24.03.2018
- Anonim (2018g). <https://www.haberturk.com/manisa-haberleri/60722299-tarim-arazileri-turkiyede-azaldi-manisada-arttiegenin-en-fazla-tarim-arazisine-sahip-ili> Erişim Tarihi: 04.11.2018
- Anonim (2018h). <https://www.haberturk.com/manisa-haberleri/60722299-tarim-arazileri-turkiyede-azaldi-manisada-arttiegenin-en-fazla-tarim-arazisine-sahip-ili> Erişim Tarihi: 04.11.2018
- Anonim (2018ı). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK-2017 verileri), <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> Erişim Tarihi: 27.10.2018
- Anonim (2019). <http://www.jeotermal.com/sayfa/11-jeotermal-enerji>. Erişim Tarihi: 08.01.2019
- Anonim (2019a). <http://www.solar-academy.com/menus/Enerji-Sorunu-Cevre-ve-Alternatif-Enerji-Kaynaklari020316.pdf>. Erişim Tarihi: 27.01.2018
- Anonim (2019b). <https://akillitarife.com/rehber/elektrik-fiyatlari-2017> Erişim Tarihi: 31.05.2019
- Arıkan B (2008). Organik Evsel Katı Atıklardan Anaerobik Ortamda Biyogaz Üretiminin Verimliliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi. Türkiye.
- Aybek A, Üçok S, Bilgili M, İspir M (2015). Kahramanmaraş İlinde Bazı Tarımsal Atıkların Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritalarının Oluşturulması. Uludağ Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Dergisi Cilt 29. Sayı 2. s 25-37. Bursa.
- Baban A, Timur H, Cılız N, Olgun H ve Akgün F (2001). Kümes ve Ahır Gübrelерinin Geri Kazanılması ve Bertarafı Projesi Final Raporu, TÜBİTAK-MAM. <http://www.biyogazder.org/makaleler/mak38.pdf> Erişim Tarihi: 4.11.2018
- Başçetinçelik A, Öztürk H H, Karaca C, Kaçıra M, Ekinci K, Kaya D, Baban A, Güneş K, Komitti N, Barnes I, Nieminen M (2006). A Guide on Exploitation of Agricultural Residues in Turkey. Final Report Annex XIV, LIFE 03 TCY/ TR /000061. Adana.
- Bayram A (2001). Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı Olarak Pirina: Üretimi, Özellikleri, Değerlendirilmesi. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu. 106-112. İzmir.
- Bhattacharya M, Paramati S R, Ozturk I, Bhattacharya S, (2016). The Effect of Renewable Energy Consumption on Economic Growth: Evidence from Top 38 Countries. Applied Energy 162. 733–741.

- Bilgin N (2003). Biyogaz Nedir? Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü. Ankara.
- Buğutekin A (2007). Atıklardan Biyogaz Üretimini İncelenmesi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı. Doktora Tezi. İstanbul.
- Çallı B (2012). Atıklardan Biyogaz Üretimi. Marmara Üniversitesi <http://mebig.marmara.edu.tr/Presentations/BiyogazUretimi.pdf> Erişim Tarihi: 11.01.2018
- Debruy J and Hilborn D (2014). Anaerobic Digestion Basics. p.6.
- Demirci G, Türkavcı L (2001). Biyogaz Atıklardan Enerji. TÜBİTAK Basımevi, 9-11, Ankara.
- Deublein D and Steinhauser A (2008). Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Dincer I, Acar C (2015). A Review on Clean Energy Solutions for Better Sustainability, Int. J Energy Res. 39. 585–606.
- Eryaşar A, Koçar G (2009). Biyogaz Üretiminde Basıncın Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 15. Sayı 2. s 187-193. Denizli.
- Gregersen K H (1999). Centralised Biogas Plants-Integrated Energy Production, Waste Treatment and Nutrient Redistribution Facilities. Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics, Denmark. Web sitesi. <http://web.sdu.dk/bio/pdf/centra.pdf>, Erişim Tarihi: 07.09.2017.
- Grilli G, Meo I D, Garegnani G, Paletto A (2017). A Multi-Criteria Framework to Assess the Sustainability of Renewable Energy Development in the Alps, Journal of Environmental Planning and Management 60(7): 1276-1295.
- Gül N (2006). Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Isparta.
- Gülen J, Arslan H (2005). Biyogaz. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi. 121-129.
- Gülzow (2010). Biyogaz Kılavuzu Üretimden Kullanıma, Yenilenebilir Hammaddeler İhtisas Ajansı (FNR). 5. Baskı.
- Heck P (2011). International Flow Management Lecture Notes 2010/11 Sustainable Waste Management. IfaS. Germany.
- Holm-Nielsen J B, Seadi T A, Oleskowicz-Popiel P (2009). The Future Of Anaerobic Digestion And Biogas Utilization. Bioresource Technology. 100, 5478-5484.

- House H (2007). Alternative Energy Sources–Biogas Production, London Swine Conference– Today’s Challenges Tomorrow’s Opportunities.
- Inglesi-Lotz R (2016). The Impact of Renewable Energy Consumption to Economic Growth: A Panel Data Application, Energy Economics 53, 58–63.
- İlkılıç C ve Deviren H (2011). Biyogazın Oluşumu ve Biyogazı Saflaştırma Yöntemleri. 6th. International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 16-18 May 2011. Elazığ.
- Kammen D M, Sunter D A (2016). City-integrated renewable energy for urban sustainability, Science, 352(6288): 922-928. <http://dx.doi.org/10.1126/science.aad9302> Erişim Tarihi: 08.01.2019
- Karaosmanoğlu F (2010). Türkiye Biyoyakıt Potansiyeli ve Son Gelişmeler. Türkiye 10. Enerji Kongresi, İstanbul. <http://docplayer.biz.tr/137493-Turkiye-biyoyakit-potansiyeli-ve-son-gelistmeler-filiz-karaosmanoglu-itu-kimya-muhendisligi-bolumu.html> Erişim Tarihi: 11.01.2018
- Karataş A (2006). Tavuk Gübresinin Anaerobik Parçalanması İçin Uygun Koşulların Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi. Çevre Bilimleri Anabilim Dalı. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Kaya D ve Öztürk H H (2012). Biyogaz Teknolojisi Üretim-Kullanım- Projeleme. Umuttepe Yayınevi. Kocaeli.
- Khanal S K (2008). Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production Principles and Applications, 1st ed. Wiley-Blackwell.
- Kılıç F Ç (2011). Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye'deki Yeri. Mühendis ve Makine, 52 (617), 94-106. Kocaeli.
- Korkmaz Y, Aykanat S, Çil A (2012). Organik Atıklardan Biyogaz ve Enerji Üretimi. SAÜ Fen Edebiyat Dergisi. http://www.fed.sakarya.edu.tr/arsiv/yayinlenmis_dergiler/2012_1/makale_44.pdf Erişim Tarihi: 01.01.2019
- Korres N E, Kiely P O, Jonathan S W and Benzie J A H (2013). Bioenergy Anaerobic by Digestion and wastes: Using agricultural biomass and organic wastes.
- Koyuncu S (2014). Konya Atık Su Arıtma Tesisi Anaerobik Çamur Çürütücülerinde Optimum Biyogaz Verimi İçin İşletme Şartlarının ve Tasarım Kriterlerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi. Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- Liu G (2014). Development of A General Sustainability Indicator for Renewable Energy Systems: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 31, 611–621.
- Marchaim U (1992). Biogas Processes for Sustainable Development, Food and Agriculture Organization of the United Nations, ISBN 92-5-103126-6.
- Mutlu S F (2003). Biyogazın kırsal kesimde kullanımı ve tasarım temelleri, Türk Tesisat

- Mühendisleri Derneği Dergisi. 27: 39-41.
- Nacar Koçer N, Öner C, Sugözü İ (2006). Türkiye’de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi. Doğu Anadolu Araştırmaları. 17-20.
- Novak S M and Fiorelli J L (2009). Greenhouse gases and ammonia emissions from organic mixed crop-dairy systems: A critical review of mitigation options, Sustainable Agriculture, vol. 2, pp. 529–556.
- Ostrem K (2004). Greening Waste: Anaerobic Digestion for Treating The Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. Earth Engineering Center Colombia University.
- Öztürk H (2005). Enerji Bitkileri ve Biyoyakıt Üretimi. Hasat Yayıncılık. İstanbul.
- Öztürk H (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı. Teknik Yayınevi. Ankara.
- Öztürk İ (1999). Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları II. Birsen Yayınevi 1-25, 35-38. İstanbul.
- Öztürk M (2005). Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Müsteşarlığı. Ankara. <http://www.mozturk.net/Upload//BiogazUretimi.pdf> Erişim Tarihi: 07.09.2011
- Panwar NL, Kaushik SC, Kothari S, (2011). Role of Renewable Energy Sources in Environmental Protection: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 1513-1524.
- Samsunlu A (1999). Çevre Mühendisliği Kimyası. İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü. Sam-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayınları. İstanbul.
- Schulz H (1996). Biogas-Praxis. Grundlagen Planung Anlagenbau Beispiele Ökobuchverlag Staufen Bei Freiburg.
- Seadi T A, Rutz D, Prassl H, Köttner M, Finsterwalder T, Volk S and Janssen R (2008). Biogas Handbook, no. 1. Esbjerg: University of Southern Denmark.
- Trouw Nutrition International (2006). Çınar E. Biyogaz teknolojisi: Doğaya saygılı enerji üretimi. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Araştırma Enstitüsü, 124-133.
- Vavilin V A, Angelidaki I (2005). Anaerobic Degradation of Solid Material: Importance of Initiation Centers for Methanogenesis, Mixing Intensity, and 2D Distributed Model. Biotechnology and Bioengineer, 89: 113–122.
- Verma S (2002). Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes, Department of Earth & Environmental Engineering.
- Yadvika, Santosh, Sreekrishnan T R, Kohli S and Rana V (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques-A review, Bioresource Technology, vol. 95, no. 1, pp. 1–10.
- Yokuş İ (2011). Sivas İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyeli. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tarım Makineleri Anabilim Dalı. Ankara.

World Bioenergy Association (2013). WBA fact sheet: BIOGAS – An Important Renewable Energy Source.

ÖZGEÇMİŞ

Simge ÇAKAL, 1992 yılında Bursa'da doğdu. Lise Eğitimini 2010 yılında Necip Sarıbekir Lisesi'nde tamamladı. Aynı yıl Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. Lisans eğitimini 2015 yılında tamamladı ve 2016 yılında Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 yılından itibaren özel bir şirkette İş Güvenliği Uzmanı olarak çalışmaya başladı. 2019 yılında İstanbul Rumeli Üniversitesi'nde İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.