

ME 331
YENİLENEBİLİR ENERJİ
SİSTEMLERİ

Biomass Energy

Ceyhun Yılmaz
Afyon Kocatepe Üniversitesi

INTRODUCTION

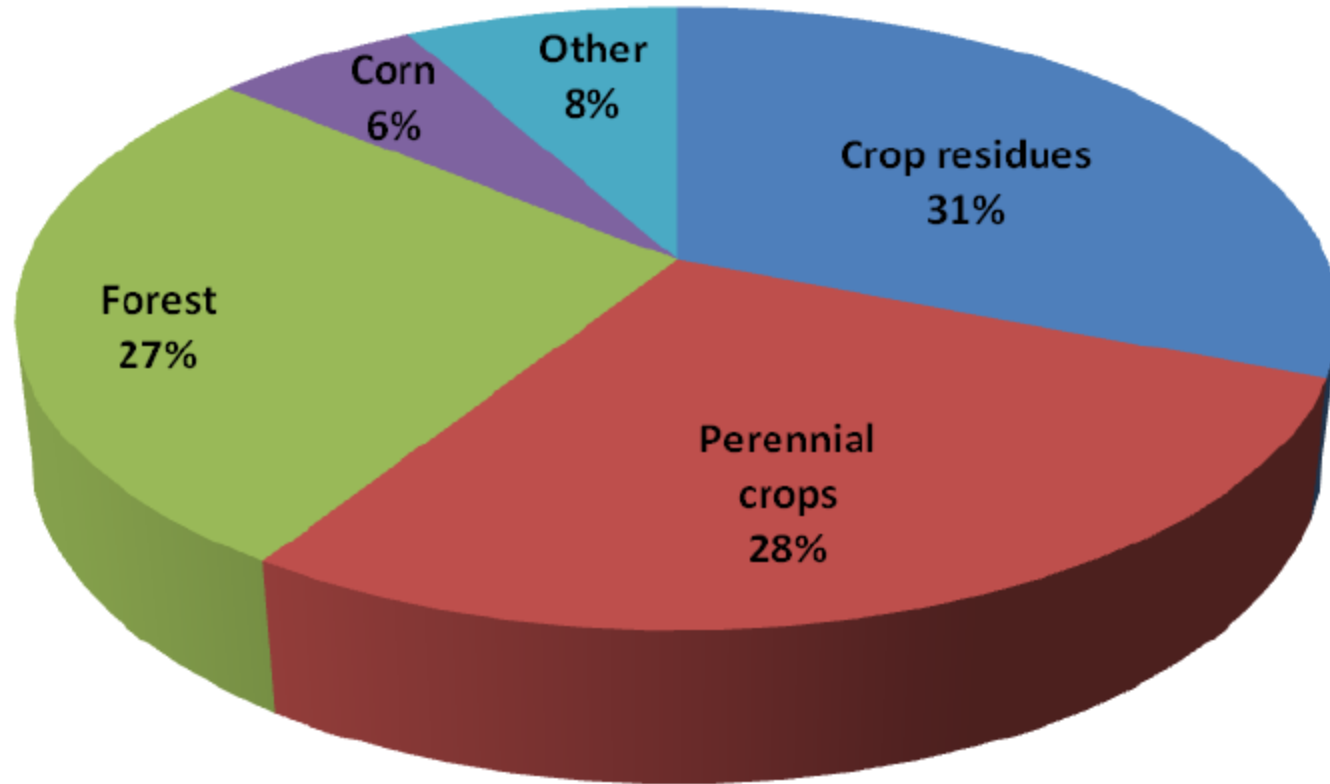
- Biyokütle organik bir yenilenebilir enerjidir. Çoğunlukla tarım ve orman ürünleri ile artıkları, enerji bitkileri ve alglerden üretilir.
- Belediye ve endüstriyel atıkların organik bileşeni ve kullanılan yemeklik yağ gibi gıda işleme atığından üretilen yakıt da biyokütle olarak kabul edilir.
- Tarım ürünlerinin ve ağaçların yetiştirilmesinde nispeten uzun süreler olmasına rağmen, dikim ve ekim yoluyla yeniden yetiştirilebilirler ve bu nedenle biyokütle yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilebilir.
- ABD'de tüketilen yenilenebilir enerjinin yaklaşık yarısının biyokütle olduğu tahmin edilmektedir.

- Kömürden önce petrol ve doğal gaz birincil yakıtlar olarak değiştirildi, eskiden odun kışın mahal ısıtmanın birincil yakıtıydı.
- Odun hala mahal ısıtması için dünyanın gelişmekte olan pek çok ülkesinde kullanılmaktadır.
- Sıvı ve gaz yakıtlar genellikle katı yakıtlara kıyasla daha uygun bir yakıt formudur. Bu nedenle, genellikle tarım ve orman ürünleri bazı mühendislik işlemleri yoluyla sıvı ve gaz yakıtlara dönüştürülür.
- Tarım mahsulleri ve ağaçların yetiştirilmesi ve sıvı ve gaz yakıtlara dönüştürülmesi, kömür, petrol ve doğal gaz gibi elektrik ve fosil yakıtlar gibi enerji tüketimini içerir.
- Fosil yakıtların tüketimi, kirletici ve sera gazı emisyonlarının oluşmasına neden olur. Bu nedenle, biyokütlenin yenilenebilirliği ve temizliği, güneş, jeotermal veya rüzgar gibi diğer yenilenebilir enerjiler kadar iyi değildir.

Biyokütle enerji kaynakları

- Biyokütle **hammadde** (feedstock) olarak adlandırılan çeşitli kaynaklardan elde edilebilir. Biyokütle kaynakları aşağıda listelenmiştir:
- **Özel enerji mahsulleri:** Bu otsu olan enerji bitkileri olgunluğa eriştikten sonra hasat edilir ve uzun ömürlüdürler. Bunlar arasında uzun darı, miscanthus, bambu, tatlı süpürge, uzun boylu çayır otu, süpürge otu, buğday çimeni ve diğerleri bulunur.
- **Tarımsal ürünler :** Bunlara mısır nişastası ve mısır yağı, soya yağı ve unu, buğday nişastası ve bitkisel yağlar dahildir. Genellikle şekerler, yağlar ve ekstraktlar üretirler.
- **Tarımsal ürün kalıntıları :** Mısır sobası (saplar, yapraklar, kabuklar), buğday samanı ve pirinç saman gibi ticari amaçlı kullanılmayan başlıca sap ve yapraklardan oluşan biyolojik kütle malzemeleri bu kaynakta bulunmaktadır. Yaklaşık 80 milyon dönümlük mısır her yıl ekilmektedir.

- **Orman artıkları:** Bunlar biyokütle olarak hasat edilmemiş veya ölü ve ölmekte olan ağaçların materyalleri de dahil olmak üzere ticari ormancılık işlemlerinde kullanılmaktadır.
- **Su mahsulleri:** Su biyokütle kaynakları algler, dev deniz yosunu, deniz yosunu ve deniz mikro florasını içerir.
- **Biyokütle prosesi artıkları:** Biyokütle prosesi ile üretilen ürünler ve atık akış artıkları denir ve ek bir biyolojik kütle kaynağını oluştururlar.
- **Kentsel atık:** Endüstriyel, konut ve ticari atıklardan elde edilen bitki esaslı organik materyal, önemli bir biyokütle kaynağıdır. Bazı örnekler: atık kağıt, odun atıkları, atık atığı ve pişirme yağıdır.
- **Hayvansal atık:** Hayvan atıkları organik maddelerden oluşmaktadır ve çiftliklerden ve hayvan işleme operasyonlarından üretilmektedir. Hayvan atıkları dünyanın bazı yerlerinde ısıtma yakıtı olarak kullanılır.



ABD'de çeşitli hammaddelerin biyokütle üretimine katkısı.

Modern biyoenerji ürünleri ise temel olarak iki kategoride değerlendirilmektedir:

- biyoetanol, biyodizel gibi ulaşımda kullanılan sıvı yakıtların üretimi
- organik atıkların yakma, piroliz ve gazifikasyon gibi metodlar ile oksijen varlığında veya oksijensiz olarak yakılması ile enerji üretilmesi.





Biyokütleden elde edilen Biyoyakıtlar

Katı Biyoyakıtlar 	Sıvı Biyoyakıtlar 	Gaz Biyoyakıtlar 
Peletler	Biyodizel Biyooethanol	Biyogaz Biyosentez Biyohidrojen

Doğrudan Yakma

Biyokütle kaynaklarının doğrudan yakılması ile enerji üretimi en olgun ve yaygın teknolojidir. Kapasite olarak birkaç MW'dan 100 MW ve üzerine dek bir aralıktaki üretimlerde kullanılmaya müsaittir. Stok kullanılabilirliği ve maliyetler, projenin boyutunu ve ekonomik dengelerini büyük bir ölçüde etkilemektedir. Doğrudan yakma işleminin ana bileşenlerini, yüksek ısıda ve basınçta buhar üreten buhar kazanı ve daha sonra bu buharı elektrik üretme sürecinde kullanan türbinleri oluşturmaktadır. Doğrudan yakma teknolojileri elektrik ve ısı üretimini aynı anda yapabildikleri için kojenerasyon sistemi prensibiyle çalışabilme seçeneğine de sahiptir.

Gazlaştırma (Isı ve Güç)

Gazlaştırma, biyokütlenin termo-kimyasal bir yöntem ile sentez gazı elde edildiği bir yöntemdir ve günümüzde en yaygın teknolojilerden biri haline gelmiştir. Bu süreçte karbon içerikli biyokütle kaynağı sınırlandırılmış oksijenin gazlaştırma odasına verilmesiyle yakılmaktadır. Gazlaştırma sürecinde biyokütlenin sahip olduğu enerjinin yaklaşık %85'i gaza dönüştürülebilmektedir. Gazlaştırma sürecinin sonunda elde edilen gazın karışımı; karbonmonoksit (CO) ilk, hidrojen (H₂) de ikinci ana komponenti oluşturmaktadır. Gazlaştırma tesisine giren atıkların özelliklerine ve kimyasal yapılarına göre de belirli miktarlarda Metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), sülfürdioksit (SO₂) ve etilen (C₂H₄) gibi maddeler bulunabilmektedir. Bu alt sentez gazı komponentleri reaksiyonun ilerleyen aşamalarında yanmaktadır ve kalan atık gazlar gaz yıkama sisteminde temizlenerek atmosfere bırakılmaktadır.

Ayrıca atıkların yanması sonrasında kalan kül de yine giren atıkların kimyasal özelliklerine göre farklılık gösterebilen bir biyokömüre (biochar) dönüşmektedir. Bu noktadan sonra üretilen gaz; yanmalı motorlarda, mikro-türbinlerde, ısı motoru (stirling motoru) veya gaz türbinlerinde kullanılarak ısı ve güç üretmektedir.

Piroliz

Gazlaştırma çevrim tekniklerinden biri olan piroliz biyokütle kaynağının oksijensiz bir ortamda 400°C-650°C de ısıtılarak farklı enerji formlarına dönüştürülmesidir. Bu süreç sonunda düşük maliyetli ve taşınması kolay biyoyağ (%60) üretilirken, artık olarak singaz (sentez gazı) olarak bilinen yanıcı gaz (%20) ve biyokömür (%20) oluşmaktadır. Üretilen biyoyağ üretimden sonra tekrardan işlenebilmesi, yüksek enerjisi ve taşıma kolaylığı açılarından avantajlı bir yakıttır. Her ne kadar üretilen biyoyağ ve biyokömürün elektrik ve ısı üretiminde kullanılması üzerine araştırmalar devam etse de mevcut durumda ticari olarak kullanıma geçmemiştir.

Anaerobik Çürütme

Biyo-kimyasal bir çeviri sistemi olan anaerobik çürütme oksijensiz bir ortamda organik maddelerin, mikro-organizmalar tarafından çürütülmesidir. Anaerobik çürütme yoğunlukla belediye katı atıklarının enerjiye çevrim sürecinde kullanılmaktadır ve elde edilen biyogazın %50 ila %65'ini metan oluştururken, geri kalan çoğunluğu da karbon dioksit oluşturmaktadır. Süreç sonunda elde edilen gaz motorları veya türbinlerinde yakılarak güç ve ısı üretimi sağlanabilmektedir.

Co-Firing (Biyokütle ve Fosil yakıtlarının beraber kullanımı)

Kömür santrallerinin optimizasyonunu elde edebilmek için biyokütle ve kömür kaynakları birlikte kullanılabilir. Bu yöntem biyokütle enerjisine dayalı teknolojilerin sunmuş olduğu en ekonomik enerji üretim çözümlerinden biridir. Co-firing temelde belirli kömür ve biyokütle kaynaklarını kullanarak üretilen enerji sistemidir. Bu yöntem kömür ve biyokütlenin birlikte karıştırılarak kullanılması şeklinde uygulanabileceği gibi aynı kazana kömürün ve biyokütlenin farklı besleme sistemleri tarafından karıştırılması ile de uygulanabilmektedir. Kömür santrallerinde teknik değişikliklere gerek duyulmadan %10 ila %20 civarında biyokütle yakıtı kullanılabilir. Co-firing metodu doğrudan yakma ve gazlaştırma süreçlerinde kullanılabilir.

Biyokütlenin Biyoyakıta Dönüştürülmesi

Biyokütle biyokimyasal ve termokimyasal bazlı dönüşüm işlemleriyle sıvı veya gaz yakıtlara dönüştürülebilir.

Biyokimyasal dönüşümler: Enzimler ve mikroorganizmalar, biyokütle veya biyokütleden türetilmiş bileşikleri istenen ürüne dönüştürmek için biyokatalizörler olarak kullanılırlar. Selülaaz ve hemiselülaaz enzimleri, hidroliz olarak bilinen bir süreçte, biyokütlenin karbonhidrat fraksiyonlarını beş ve altı karbonlu şekerlere ayırır. Mayalar ve bakteriler daha sonra şekerleri etanol gibi ürünlere fermente ederler.

Termokimyasal dönüşümler: Isı enerjisi ve kimyasal katalizörler biyokütlenin ara bileşiklere veya ürünlere ayrılması için kullanılır. Gazlaştırıcıda, biyokütle öncelikle hidrojen (H_2) ve karbon monoksit (CO) içeren bir gaz üretmek için oksijenle aç bırakılmış bir ortamda ısıtılır.

Piroliz: Biyokütle oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklara ($400-650^{\circ}C$) maruz kalır, bu da parçalanmasına neden olur. Çözücüler, asitler ve bazlar, biyokütlenin şekerler, selülozik lifler ve lignin de dahil olmak üzere bir dizi ürün halinde parçalanması için kullanılabilir.

Fotobiyolojik dönüşümler diye adlandırılan alternatif bir dönüşüm süreci için araştırmalar yapılmaktadır. Fotobiyolojik dönüşüm, doğrudan güneş ışığından biyoyakıt üretmek için organizmaların doğal fotosentetik faaliyetini kullanır. Örneğin, bakterilerin ve yeşil alglerin fotosentetik faaliyetleri, sudan ve güneş ışığından hidrojen üretmek için kullanılmaktadır.

Biomass Products (Biyokütle Ürünleri)

Biyokütlenin önemli bir ürünü, petrol esaslı yakıtların yerine geçen **biyoyakıtlar**.

Biyoyakıtlar sıvı veya gaz olabilir. Bunlar çoğunlukla nakliye için motor yakıtı olarak kullanılırlar, aynı zamanda ısıtma ve elektrik üretimi için de kullanılırlar.

En yaygın iki biyoyakıt **etanol** ve **biyodizeldir**.

Diğer ürünler arasında **metanol**, **piroliz yağı**, **biyogaz**, **hava gazı** ve **sentez gazı** bulunmaktadır.

Biyokütle öncelikle etanol ve biyodizel gibi biyoyakıt üretmek için kullanılır, ancak fosil yakıtlardan üretilen diğer ürünler biyokütle ile de yapılabilir. Bu ürünlerden bazıları antifriz, plastikler, yapıştırıcılar, suni tatlandırıcılar ve diş macunu jeli.

Ethanol

Ethanol or ethyl alcohol (C_2H_5OH): HHV = 29,710 kJ/kg, LHV = 26,950 kJ/kg.

Gasoline: HHV = 47,300 kJ/kg, LHV = 43,000 kJ/kg.

Dolu bir depo etanol, benzinden daha az kilometre yol kat edecektir.

Etanol, benzinden daha az hidrokarbon (HC) emisyonuna sahiptir ve motorlardan daha iyi emisyon sağlamak için genellikle benzine eklenerek kullanılır.

Kullanımı aynı zamanda benzin için yenilenebilir bir yakıt ikmali anlamına geliyor.

Benzine etanol eklenmesi, daha yüksek sıkıştırma oranları ve buna karşılık gelen daha yüksek motor verimi sağlayan benzinin oktan sayısını artırır.

ABD'de otomobiller için iki ortak etanol kullanımı **gasohol** ve **E85**:

Gasohol Gasohol yüzde 10 etanol içeren bir benzin-etanol karışımıdır.

E85 contains 85 percent ethanol. Yüzde 15'lik bir benzin, saf etanol kullanımında oluşacak çalışma problemlerini ortadan kaldırmak için eklenir.

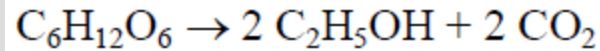
ABD'de kullanılan benzinlerin yaklaşık yarısı % 5 ila 10 arasında etanol içerir.

Brezilya, yüzde 93 ü etanol ile çalışan yaklaşık 5 milyon araçla etanolün önde gelen kullanıcısıdır.

Etanol öncelikle **mısır tanelerinde** bulunan nişastadan yapılır. **Mısır, şeker pancarı, şeker kamışı** ve hatta **selüloz** (**ahşap** ve **kağıt**) etanolün bazı kaynaklarıdır.

Şeker pancarı öncelikli olarak Brezilya'da kullanılırken, mısır ABD'nin başlıca etanol kaynağıdır.

Etanol için kullanılan hammadde, şeker içeriği bakımından yüksek olmalıdır. İlk önce hammadde şekere dönüştürülür ve şeker (glikoz) aşağıdaki reaksiyon vasıtasıyla etanolün içine fermente edilir:



Etanolün üretim maliyeti, üretim ve işleme sürecinden dolayı mısır yetiştiriciliğinden nispeten daha yüksektir.

Bazı çalışmalar etanol üretiminde (sürme, ekim, hasat etme, fermente etme ve teslimat) tüketilen etanolün birim kütlesi başına oldukça yüksek olabileceğini ve bazen etanolün kendisinin enerji içeriğiyle karşılaştırılabileceğini öne sürer.

Yani bu işlemler sonucunda üretilen etanol enerjisi harcanan enerjiye anca denk gelmektedir.

Biyodizel

Biyodizel, organik olarak üretilmiş yağları (konola, ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkileri) etanol veya metanol ile bir katalizör varlığında birleştiren bir işlemle üretilen etil veya metil esterdir.

Biyodizelin ortak kaynakları, **yeni ve kullanılmış bitkisel yağlar**, **hayvansal yağlar** ve **geri dönüştürülmüş restoran greslerini** içerir.

HHV = 40,700 kJ/kg (17,500 Btu/lbm), bu petrol dizelininkinden yaklaşık yüzde 9 daha düşüktür (HHV = 44,800 kJ/kg).

Biyodizel, sıkıştırma ateşlemeli motorlarda yalnız başına bir yakıt olarak veya klasik dizel yakıtı eklenerek kullanılabilir.

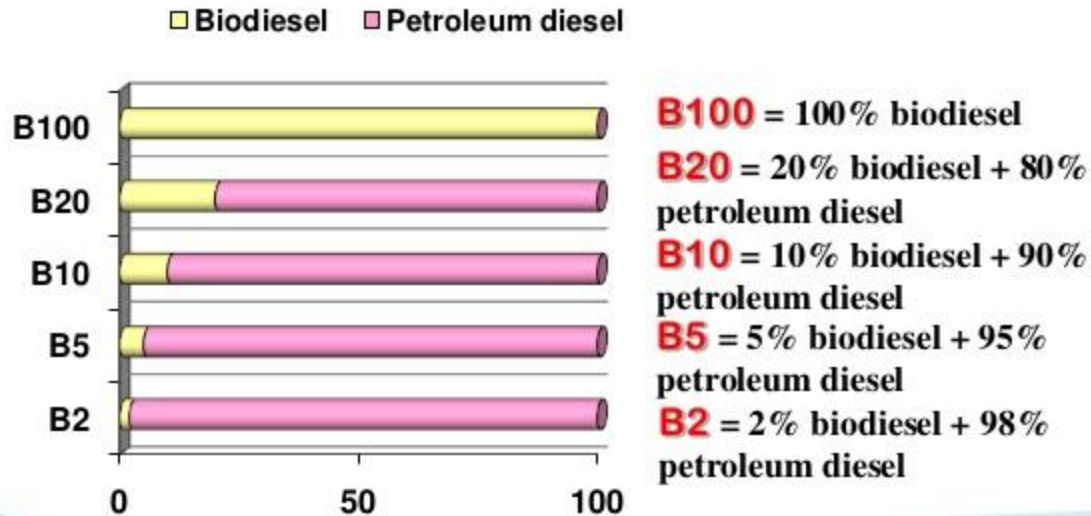
ABD'de kullanılan en yaygın biyodizel karışımı, yüzde 20 biyodizel ve yüzde 80 klasik dizel olan **B20**'dir.

Biyodizel aynı zamanda sıkıştırma ateşlemeli motorlarda **B100** olarak adlandırılan tek bir yakıt olarak da kullanılır.

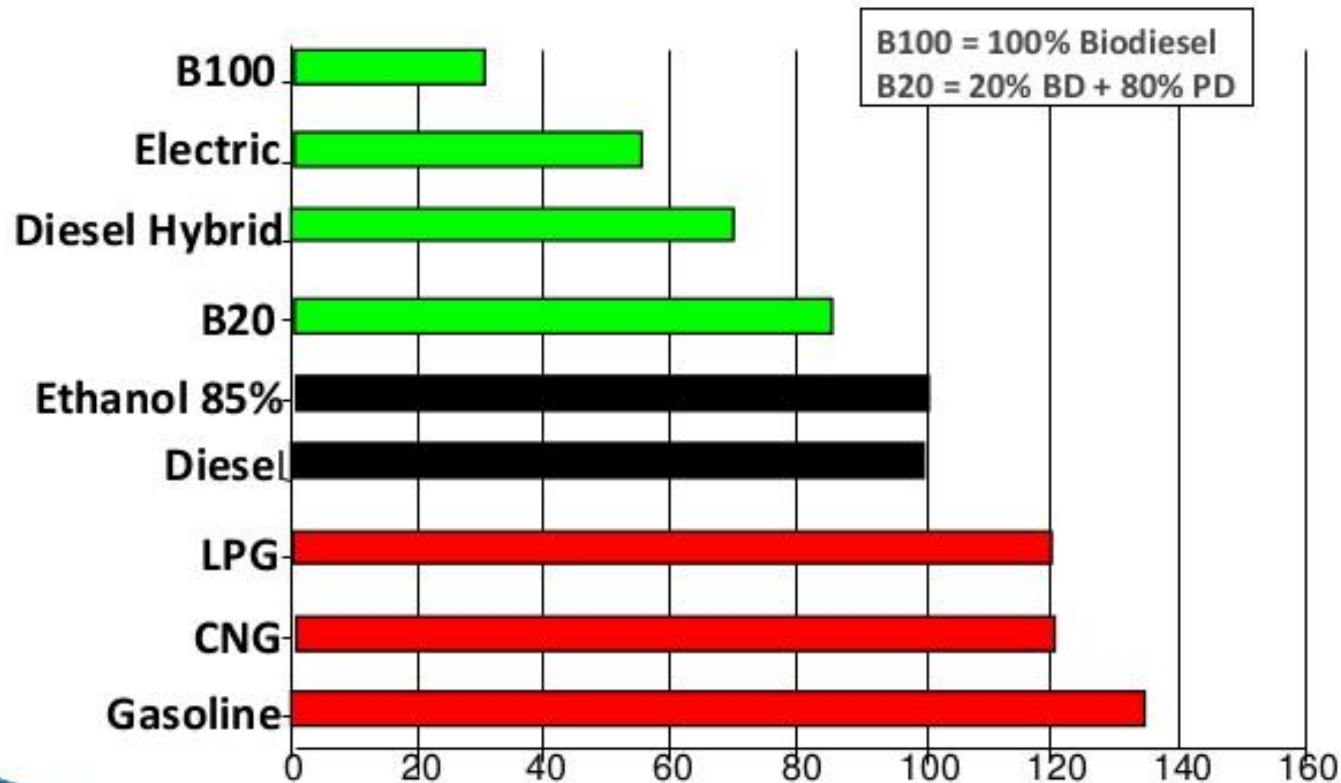
Düşük ısıtma değerleri nedeniyle, B100 motordan daha az güç üretir.

B100, azot oksit emisyonlarını artırabilirken hidrokarbon, kükürt ve karbon monoksit emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir.

Biodiesel Blends



Relative Greenhouse Gas Emissions



ADVANTAGES

- **Bio diesel is environmental friendly.**
- **It can help reduce dependency on foreign oil.**
- **It helps to lubricate the engine itself, decreasing engine wear.**
- **It offers similar power to diesel fuel.**
- **It is safer than conventional diesel.**
- **It can be made from waste products.**
- **It can be made at home easily.**

Metanol

Methanol or methyl alcohol (CH_3OH): HHV = 22,540 kJ/kg, LHV = 20,050 kJ/kg.

Metanol benzine alternatif olarak düşünülen yakıtlar içinde en ümit vaat eden ve üzerinde büyük araştırma-geliştirme çalışmaları yapılan bir yakıttır. Saf metanol ve değişik yüzdelerdeki metanol-benzin karışımları birkaç yıldan beri motorlar ve taşıtlar üzerinde kapsamlı olarak test edilmektedir.

İki yaygın karışımı şunlardır:

M85 (85 percent methanol, 15 percent gasoline)

M10 (10 percent methanol, 90 percent gasoline).

M10'un motorlarda kullanılması nedeniyle gözle görülür bir emisyon azalması yok, ancak M85 hidrokarbon (HC) ve karbon monoksit (CO) emisyonlarını önemli ölçüde azaltıyor ve benzin tüketiminin yerini alabiliyor.

Metanol, **fosil kaynaklarından** veya **biyokütleden** üretilir. Kömür, petrol ve doğal gaz fosil kaynaklarını temsil eder. Hem fosil hem de yenilenebilir birçok kaynaktan elde edilebilir.

Doğal gaz, ABD'de metanol üretimi için ana besleme kaynağıdır.

Biyokütleden üretilen bu sentez gazı doğal gazın yerini alabilir.

Piroliz yağı

Piroliz yağı, biyokütlenin oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak bozunması sonucu üretilir (Oksijensiz ortamda bir maddeyi ısıyla parçalama işlemidir).

Muhtemel bir reaksiyon, selüloz hammaddesinin tahıl formunda 400°C - 600°C'ye kadar kısa bir süre (yarım saniyeden az sürede) ısıtılmasını ve söndürülmesini içerir.

Ürün oldukça oksijenlenmiştir ve önemli miktarlarda su içerir. Bu yapılan, sıvıları düşük ısı değerleri ile aşındırıcı ve kararsız hale getirir.

Piroliz yağı, benzinli veya dizel gibi konvansiyonel yakıtların yerine almak için uygun değildir. Bu yakıtın konvansiyonel hidrokarbon yakıtlarla uyumlu hale getirilmesi için başka prosesler gereklidir.

Fenol denilen bir kimyasal piroliz yağından elde edilir ve ahşap yapıştırıcılar, kalıplanmış plastik ve köpük yalıtımı yapmak için kullanılabilir.

Biyogaz

Bataklık gazı, çöp gazı veya digester gazı olarak da adlandırılan **biyogaz**, genellikle hacimce yüzde 50 ila 80 oranında **metan** (CH_4) ve yüzde 20 ila 50 oranında **karbondioksit** (CO_2) içerir.

Aynı zamanda az miktarda hidrojen, karbon monoksit ve azot içerir.

Metanın üst ısı değeri (HHV) 55,200 kJ/kg'dır, biyogazın hacimce yüzde 50 metan olanının üst ısı değeri (HHV) 14,700 kJ/kg'dır ve yüzde 80 metanlı biyogazın HHV değeri 32,700 kJ/kg'dır. (Can you calculate these values by yourself?)

Biyogaz, **hayvan gübresi**, **gıda atığı** ve **tarımsal atık** gibi **biyolojik atıklardan** üretilebilir.

Bu işleme **anaerobik çürüme** (aneorabic digestion) denir; organik atığın oksijen olmadan bakteriler yardımıyla gaz halinde bir yakıta dönüşümüdür.

1000 kg organik atıktan hacimce% 50-75 metan ile 200-400 m³ biyogaz üretmek mümkündür.

Biyogaz temelde doğal gaza benzeyen fakat önemli karbon dioksit fraksiyonundan dolayı daha **düşük ısı değeri** olan gaz bir yakıttır.

Biyogaz, içerisindeki karbondioksit çıkarıldıktan sonra bir doğal gaz boru hattına beslenebilir.

Ortam ısıtma, ısıl proses ve su ısıtma uygulamaları için bir kazan içerisinde kolaylıkla yakılarak kullanılabilir.

Ayrıca elektrik üretimi için bir buhar elektrik santralinde buhar üretimi için de kullanılabilir.

Farklı ülkelerdeki birçok belediye atıklardan biyogaz ürettiği katı atık işleme tesislerinde ve biyogazı elektrik üretimi için kullanmaktadır.

Bazı tesisler biyogazdan hem elektrik hem de ısı üretir (yani, **kojenerasyon**).

Güç üretim ünitesi olarak bir **gaz türbini** veya **içten yanmalı bir motor** kullanılabilir.

Producer gas (havagazı, üreteç gazı)

Üreteç gazı veya havagazı, katı bir biyokütlenin yüksek sıcaklıklarda gaz halindeki bir yakıtta kısmi oksidasyonu olan ısı gazlaştırma ile üretilir.

Buhar ve oksijen, bir gazlaştırma işlemi sırasında odun gibi bir katı biyokütle ile reaksiyona girer.

Bir çok pratik gazlaştırma sistemi, biyokütlenin ısı enerjisinin % 70 – 80 civarını havagazına dönüştürebilir.

Ortaya çıkan üreteç gazı, karbon monoksit (CO), hidrojen (H₂), metan (CH₄), azot (N₂) ve karbondioksit (CO₂) 'den oluşur.

Üreteç gazının bileşimi büyük ölçüde değişkendir. Üreteç gazının ısı değeri, içeriğindeki gaz bileşenlerinin yüzdesine bağlıdır ve ısı değeri doğal gaz için yüzde 15 ila 50'si arasında değişir.

Üreteç gazı, sıvı yakıtlar için hammadde olarak kullanılabilir veya direk olarak fırınlarda yakılarak kullanılabilir.

Sentez gazı

Sentez gazı aynı zamanda biyosentez gazı ya da sentetik gaz olarak da adlandırılır ve oksijen kullanılarak termal gazlaştırma ile üretilir.

CO ve H₂'den oluşur.

Bir sentez gazı hacimce %50 CO ve %50 H₂ içeriyorsa, ısı değeri 19,000 kJ/kg olacaktır.

Sentez gazı, doğal gaz, kömür ve ağır dizelden üretilir.

Bununla birlikte, yenilenebilir enerji sektöründe daha çok biyokütle hammaddesinden üretimi konusyla ilgileniyoruz.

Sentetik gaz üretmek için odun ve diğer katı biyokütleler kullanılabilir.

Sentetik gaz, ısı ve elektrik üretmek için yakıt olarak kullanılmanın yanı sıra, plastik ve asitleri üretmek için de kullanılabilir; bu da daha sonra fotoğrafik filmler, tekstil ve sentetik kumaşlar üretmek için kullanılabilir.

EXAMPLE 18–8 Maximum Power from an Ethanol Engine

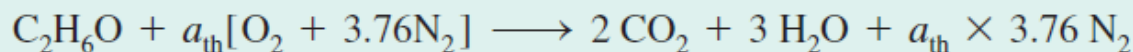
A 1.6-L gasoline fueled internal combustion engine produces a maximum power of 100 kW when the fuel is burned stoichiometrically with air. The thermal efficiency of the engine at this maximum power is 38 percent. Estimate the maximum power from this engine if ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ or $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) is used under stoichiometric combustion with the same thermal efficiency. Determine the rates of gasoline and ethanol consumption for the maximum power operation. The stoichiometric air-fuel ratio for gasoline is 14.6. Assume a combustion efficiency of 100 percent.

SOLUTION Ethanol is to replace gasoline in an internal combustion engine. The maximum power output from the engine with ethanol as the fuel is to be estimated and the rates of gasoline and ethanol consumptions are to be determined.

Assumptions 1 Combustion is complete. 2 The combustion products contain CO_2 , H_2O , O_2 , and N_2 only.

Properties The molar masses of C, H_2 , and O_2 are 12 kg/kmol, 2 kg/kmol, and 32 kg/kmol, respectively (Table A-1). The lower heating values of gasoline and ethanol are 43,000 kJ/kg and 26,950 kJ/kg, respectively.

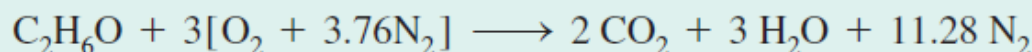
Analysis The balanced reaction equation with stoichiometric air is



The stoichiometric coefficient a_{th} is determined from an O_2 balance:

$$0.5 + a_{\text{th}} = 2 + 1.5 \longrightarrow a_{\text{th}} = 3$$

Substituting,



Therefore, the air-fuel ratio for this stoichiometric reaction is

$$\text{AF} = \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{fuel}}} = \frac{(3 \times 4.76 \times 29) \text{ kg}}{(2 \times 12 + 6 \times 1 + 1 \times 16) \text{ kg}} = \frac{414.1 \text{ kg}}{46 \text{ kg}} = 9.0$$

For a given engine size (i.e., volume), the power produced is proportional to the heating value of the fuel and inversely proportional to the air-fuel ratio. The ratio of power produced by gasoline engine to that of ethanol engine is expressed as

$$\frac{\dot{W}_{\text{gasoline}}}{\dot{W}_{\text{ethanol}}} = \frac{\text{LHV}_{\text{gasoline}}}{\text{LHV}_{\text{ethanol}}} \times \frac{\text{AF}_{\text{ethanol}}}{\text{AF}_{\text{gasoline}}} = \left(\frac{43,000 \text{ kJ/kg}}{26,950 \text{ kJ/kg}} \right) \left(\frac{9.0}{14.6} \right) = 0.984$$

Then, the maximum power by the engine with ethanol as the fuel becomes

$$\dot{W}_{\text{ethanol}} = \frac{\dot{W}_{\text{gasoline}}}{0.984} = \frac{100 \text{ kW}}{0.984} = \mathbf{101.7 \text{ kW}}$$

The thermal efficiency of this engine is defined as the net power output divided by the rate of heat input, which is equal to the heat released by the combustion of fuel:

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\dot{W}_{\text{out}}}{\dot{Q}_{\text{in}}} = \frac{\dot{W}_{\text{out}}}{\dot{m}_{\text{fuel}} \times \text{LHV} \times \eta_c}$$

Note that the lower heating value is used in the analysis of internal combustion engines since the water in the exhaust is normally in the vapor phase. Also, the combustion efficiency is given to be 100 percent. Solving the above equation for the rates of gasoline and ethanol consumption, we obtain

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{gasoline}} &= \frac{\dot{W}_{\text{gasoline}}}{\eta_{\text{th}} \times \text{LHV}_{\text{gasoline}} \times \eta_c} = \frac{100 \text{ kJ/s}}{(0.38)(43,000 \text{ kJ/kg})(1)} \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \\ &= \mathbf{0.367 \text{ kg/min}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{ethanol}} &= \frac{\dot{W}_{\text{out}}}{\eta_{\text{th}} \times \text{LHV}_{\text{ethanol}} \times \eta_c} = \frac{101.7 \text{ kJ/s}}{(0.38)(26,950 \text{ kJ/kg})(1)} \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \\ &= \mathbf{0.596 \text{ kg/min}}\end{aligned}$$

The rate of ethanol combustion is about 60 percent greater than the rate of gasoline consumption when the engine produces the maximum power.

Biyokütle ile Elektrik ve Isı Üretimi

Biyokütleden elektrik ve ısı üretimi **biyogüç** olarak adlandırılır.

ABD'de biyogüç santrali kurulu gücü yaklaşık 10 gigawattır.

Biyokütle enerjisini ısıya ve elektriğe dönüştürmek için kullanılan üç teknoloji vardır: **doğrudan yanma**, **birlikte ateşleme** ve **anaerobik fermantasyon**.

Atık ahşap ürünlerden oluşan biyokütle (diğer bir deyişle odun peleti), buhar veya sıcak su üretmek üzere geleneksel kazanlarda doğrudan yanmada yakılabilir. Bu buhar elektrik üretmek için bir jeneratör ile birleştirilmiş bir türbin vasıtasıyla çalıştırılır.

Ortak ateşleme, kömürle çalışan kazanlardaki fosil yakıtın bir kısmının biyokütle ile değiştirilerek birlikte santralde kullanılmasıdır. Bu teknoloji, pülverize kömür, siklon, akışkan yatak ve yayıcı stoker üniteleri de dahil olmak üzere çoğu yanma kazanı teknolojisinde başarıyla uygulanmıştır. Kömürle çalışan elektrik santrallerinin kükürt dioksit emisyonları birlikte yakılan biyomas ile önemli ölçüde azaltılabilir.

Anaerobik fermantasyon veya **metan geri kazanma**, organik atıkları metan ve ısıya dönüştürmek için kullanılan yaygın bir teknolojidir. Bu süreçte organik maddeler bakteriler tarafından oksijen yokluğunda başlıca metan ve karbondioksit gibi diğer yan ürünleri içeren doğal gaz üretmek için ayrıştırılır. Üretilen gaz, mahal ve su ısıtma veya elektrik üretimi için kullanılabilir.

Belediye Katı Atıkları

Önemli bir biyokütle sınıfı evlerde üretilen atıklar veya çöpler.

Bunlara **belediye katı atıkları (MSW)** denir.

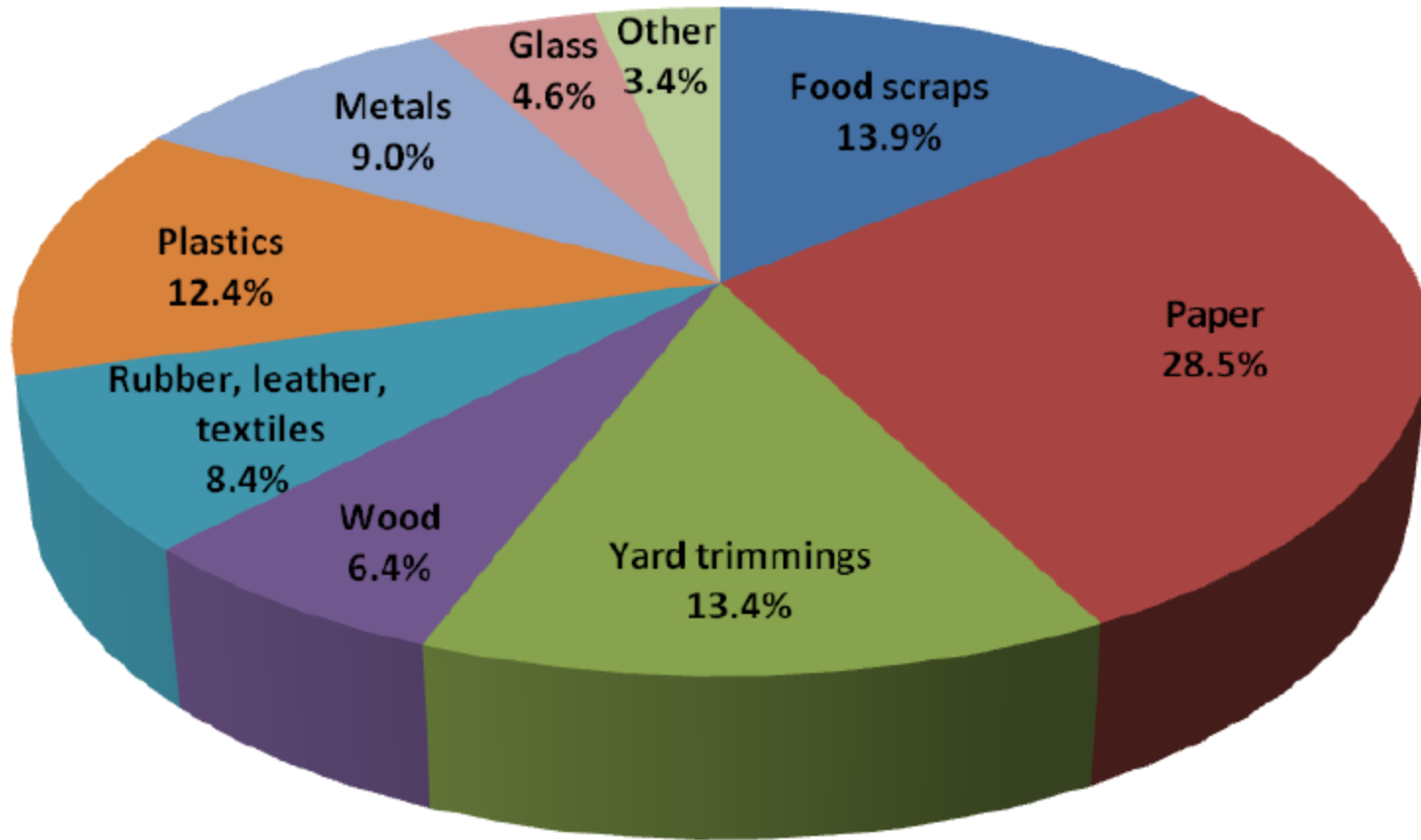
MSW, çoğunlukla kağıt, yemek artıkları, ahşap ve bahçe düzenlemeleri gibi organik malzemeleri içerir ancak plastik gibi bazı fosil içerikleri de mevcuttur.

MSW'lerin çoğu **konutlardan** (yüzde 55-65) geliyor ve yüzde 35-45'i **işletmeler, okullar ve hastanelerden** geliyor.

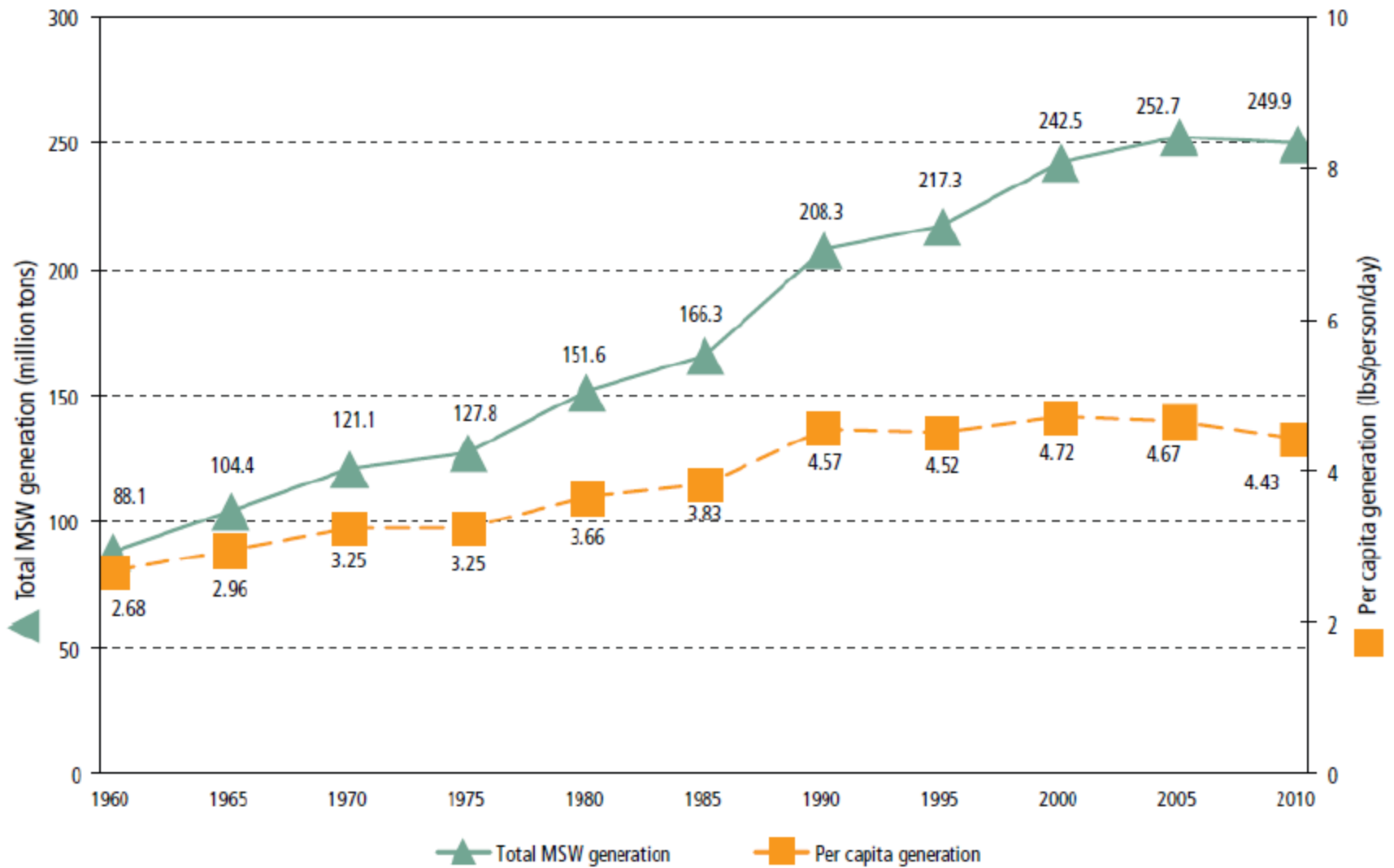
MSW, endüstriyel maddeler, tehlikeli veya inşaat atıkları içermez.

ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), Birleşik Devletlerdeki atıkların üretimi ve bertarafı ile ilgili verileri toplar ve rapor eder.

Bu veriler ülke çapında atık azaltma ve geri dönüşüm programlarının başarısını ölçmek için kullanılmaktadır.



2010 yılında ABD'de belediye katı atıklarındaki malzemeler ve yüzdeler.



ABD'de 1960 yılından 2010 yılına kadar olan ve toplamda ve kişi başına düşen katı atık üretim oranları.

2010 yılında ABD’de yaklaşık 250 milyon ton belediye katı atık (MSW) üretilmiştir. 1 ton = 2000 lbm.

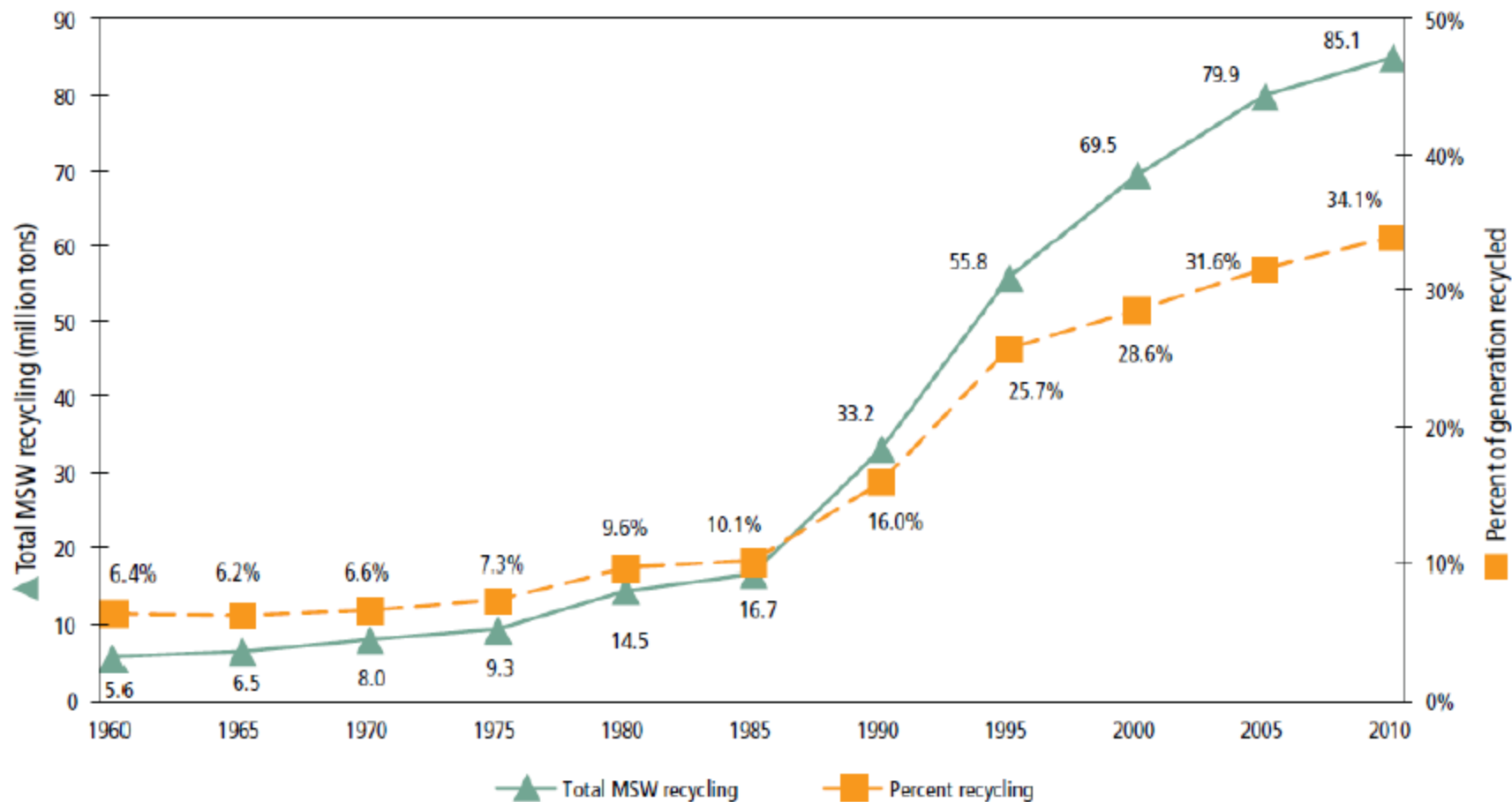
Bu atıkların yaklaşık üçte biri (yüzde 34,1) geri dönüşüm ya da tarımsal gübre kompostuydu.

Ortalama bir Amerikalı günde 4,43 lbm (2 kg) katı atık üretmiş ve sadece bu atıktan 1,52 lbm (0,7 kg) geri dönüşümlü veya kompost olarakmış.

Toplam MSW üretimi 1960’tan beri istikrarlı bir şekilde artmış ancak 2005 ile 2010 arasında azalmaya başlamış.

Kişi başı MWS üretimi, 1960 yılından 2000 yılına kadar, kişi başına günde 4.72 lbm maksimum değere ulaştığında arttı.

2000-2005 yılları arasında hafif bir düşüş yaşarken, 2005 yılından sonra önemli ölçüde azalmıştır.



Municipal solid waste recycling rates from 1960 to 2010 in the U.S., total and per capita basis.

ABD'deki geri dönüşüm kültürü, MSW'nin yalnızca yüzde 10,1'i geri dönüştürüldüğünde 1985'den sonra önemli ölçüde iyileşti. Geri dönüşüm oranlarında 1985 ile 1995 yılları arasındaki dramatik artışlardan sonra, 1995'ten beri geri dönüşümde istikrarlı bir artış var.

2010 yılında, 85 milyon ton MSW, MSW'nin yüzde 34,1'ini temsil eden geri dönüşümlü veya kompostlandı.

Geri dönüşüm yoluyla yaklaşık 65 milyon ton geri kazanılmış, 20 milyon ton ise kompostlaştırılmıştır.

Geri dönüşüm, kağıt, cam, plastik ve metal gibi yararlı malzemelerin çöp kutusundan yeni ürünlerin elde edilmesi için geri kazanılmasını ifade eder.

Kompostlama, doğal olarak parçalanmasına yardımcı olmak için yiyecek atıkları ve bahçecilik kırpıntıları gibi organik atıkların belli koşullar altında depolanması anlamına gelir. Ortaya çıkan ürün doğal bir gübre olarak kullanılabilir.

En yüksek geri dönüşüm oranları, kağıt ve mukavvadan, bahçelerde yapılan artıklardan ve metallerden elde edilir. Kağıt ve mukavvadan (45 milyon ton)% 62'den fazla ve bahçe bitkilerinden (19 milyon ton)% 58'ten fazlası, 2010 yılında geri dönüştürülmüştür. Geri dönüşüm kağıdı, papar- bard ve bahçe düzenlemeleri tek başına MSW'nin neredeyse yüzde 29'unu düzenli depolama alanlarında ve yanmalarda tutmuştur tesisleri.

Geri dönüşüm, küresel ısınmaya neden olan hammadde kullanımını ve buna bağlı enerji tüketimini ve sera gazı emisyonlarını azaltır.

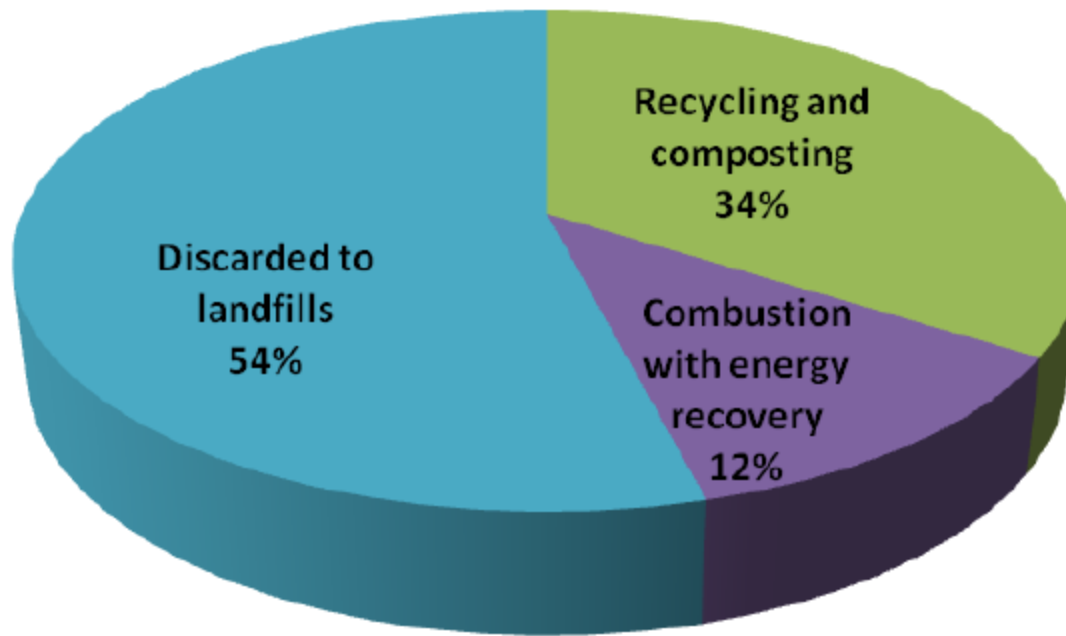
Yeni ürünlerin üretilmesiyle ilişkili olarak hava ve su kirliliğini de önlenmiştir.

2010 yılında geri dönüştürülen 85 milyon ton MSW'nin 205 milyon ton karbondioksit emisyonu tasarrufu sağladığı tahmin edilmektedir.

Bu yollardan 36 milyon otomobilin çıkarılmasına eşdeğerdir.

In addition to recycling and composting, the amount of waste can also be reduced by **waste prevention**, which is the design of products to minimize the production of waste and making the resulting waste less toxic.

Geri dönüşüm ve kompostlama işlemlerine ek olarak atık miktarı, **atık üretimini en aza indirmek ve sonuçta atığı daha az toksik hale getirmek için ürün tasarımı olan atık önleme** ile azaltılabilir.



Use of municipal solid waste in the U.S. in 2010.

Atıkların bir **depolama alanına** atılmasının, 1980'de üretilen miktarın yüzde 89'undan 2010'da MSW'un yaklaşık yüzde 54'üne düştüğü dikkati çekiyor. Geri kalan yüzde 34'ü geri dönüşümlü olup, yüzde 12'si (29 milyon ton) enerji için kazanımı için yakılıyor.

Hidroelektrik enerjisi hariç yenilenebilir elektrik üretiminin yaklaşık yüzde 14'ü ABD'deki belediye atık tesislerinden geliyor.

Enerji hem gömme hem de yakma seçenekleri ile geri kazanılabilir.

What is the best use of municipal solid waste? Is it better to burn or bury waste when trying to recover energy and minimize emissions?

eni bir EPA araştırması, MSW'den elektrik üretimi için iki seçenek karşılaştırmıştır.

İlk seçenek, atıkların doğrudan buhar üretmek üzere yakıldığı atık enerji (WTE) diye bilinir. Bu buhar elektrik üretmek için bir türbin vasıtasıyla çalıştırılır.

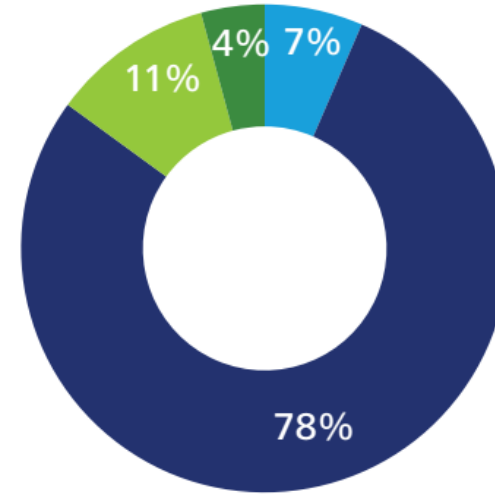
İkinci seçenek çöp-gaz-enerji (LFGTE) olarak bilinir ve çökmüş olan atıklardan biyogaz (çoğunlukla metan) toplar. Biyogaz daha sonra, elektrik üretmek için bir içten yanmalı motor veya gaz türbini yakıtı olarak kullanılır.

Araştırma, WTE yöntemiyle atık yakmanın aynı miktardaki atığın LFGTE yöntemiyle gömülmesinden 10 kat daha fazla elektrik üretebileceğini gösteriyor.

Ayrıca, üretilen birim elektrik başına sera gazı emisyonlarının atık yakma tesislerine kıyasla depolama alanlarında iki ila altı kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Kaynak bazında Türkiye'nin biyokütle potansiyeli

Kaynak	Potansiyel (TEP/yıl)
Hayvansal Atıkların Enerji Değeri	1.323.714
Bitkisel Atıkların Enerji Eş Değeri	15.941.321
Kentsel Organik Atıkların Enerji Değerleri	2.186.228
Orman Atıklarının Enerji Değeri	855.805
Toplam	20.307.069

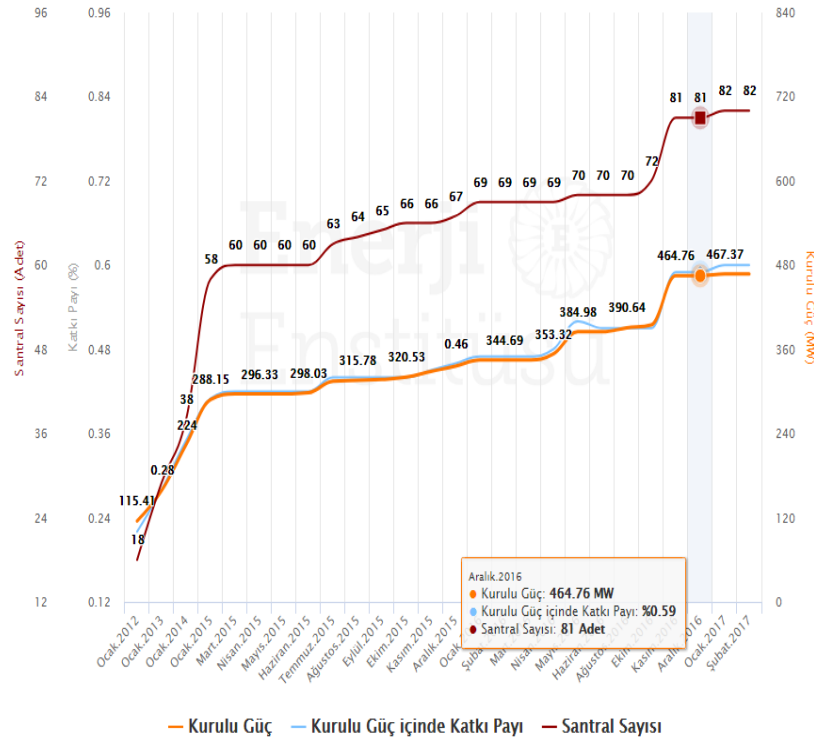


- Hayvansal Atıkların Enerji Değeri
- Bitkisel Atıkların Enerji Değeri
- Kentsel Organik Atıkların Enerji Değeri
- Orman Atıklarının Enerji Değeri

Türkiye'de bulunan 82 Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Pirolitik Yağ Enerji Santrallerinin toplam kurulu gücü 467.37 MW'dır.

Kayıtlı Santral Sayısı :	100
BES Kurulu Güç :	646 MWe Kayıtlı: 530 MWe
Kurulu Güce Oranı :	% 0,73
Yıllık Elektrik Üretimi :	~ 2.277 GWh
Üretimin Tüketime Oranı :	% 0,88

Yenilenebilir Atık ve Çöp Gazı Kurulu Güç Gelişimi



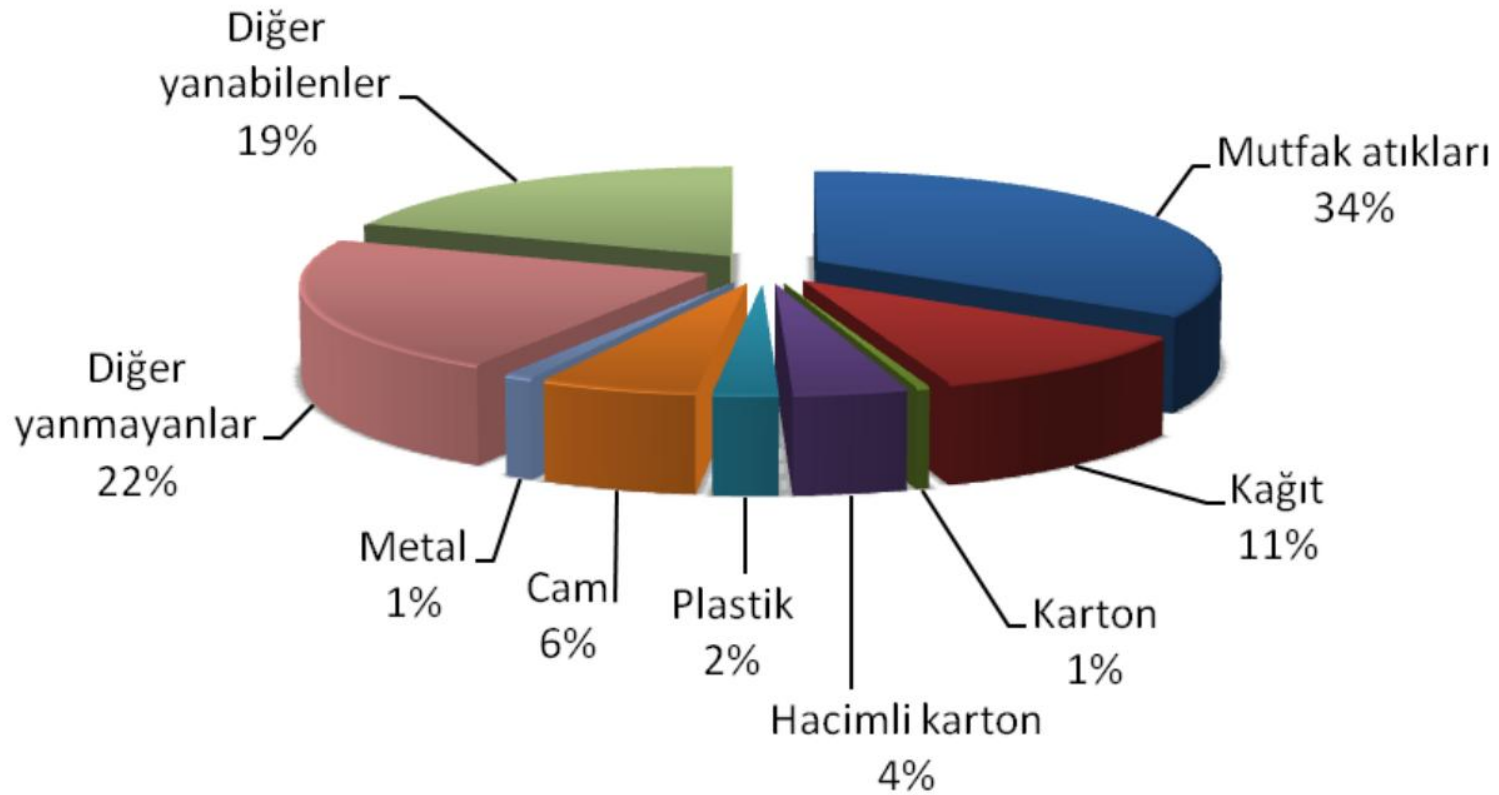
1)	Odayeri Çöp Gazı Santrali	İstanbul	Ortadoğu Enerji	34 MW
2)	Toros Tarım Samsun Atık Isı Santrali	Samsun	Toros Tarım	31 MW
3)	Mutlular Biyokütle (Orman Atığı) Enerji Santrali	Balıkesir	Mutlular Enerji	30 MW
4)	Mamak Çöplüğü Biyogaz Tesisi	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	25 MW (36 MW)
5)	Çadırtepe Biyokütle Santrali	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	23 MW
6)	Sofulu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Adana	ITC Katı Atık Enerji	16 MW
7)	Akçansa Çimento Atık Isı Santrali	Çanakkale	Enerjisa Elektrik	15 MW
8)	ITC Antalya Biyokütle Santrali	Antalya		14 MW
9)	Kömürcüoda Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	Ortadoğu Enerji	14 MW
10)	Eti Alüminyum Atık Isı Elektrik Santrali	Konya	Cengiz Enerji	13 MW
11)	Zeus Biyokütle Enerji Santrali	Kırklareli	Zeus Enerji	12 MW
12)	Eti Maden Bandırma Atık Isı Santrali	Balıkesir	Eti Maden	12 MW
13)	ITC-KA Sincan Biyokütle Gazlaştırma Tesisi	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	11 MW

Enerji Santralleri ÇÖP GAZI

Şirket	Santral	Bölge	Tarih	Güç (MW)
ITC ADANA ENERJİ ÜRETİM SANAYİ VE TİCARET A.Ş.		ADANA	02/09/2010	10
ITC-KA ENERJİ ÜRETİM SAN. VE TİC. A.Ş.	BIYOKÜTLEDEN ENERJİ ÜRETİM SANTRALI	ANKARA	31/05/2013	9
ITC BURSA ENERJİ ÜRETİM SAN. VE TİC. A.Ş.	BIYOKÜTLE (ÇÖP GAZI) SANTRALI	BURSA	19/05/2012	7
ITC – KA ENERJİ ÜRETİM SAN. VE TİC. A. Ş.		ANKARA	18/01/2008	6
ITC – KA ENERJİ ÜRETİM SAN. VE TİC. A. Ş.		ANKARA	14/08/2008	6
ORTADOĞU ENERJİ SAN. VE TİC. A.Ş.		İSTANBUL	14/08/2009	6
CEV ENERJİ ÜRETİM SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.	GAZİANTEP BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ ÇÖP TOPLAMA TESİSLERİ BİYOGAZ(ÇÖP GAZI)	GAZİANTEP	24/08/2011	5
ITC-KA ENERJİ ÜRETİM SAN. VE TİC. A.Ş.	ITC-KA BİYOKÜTLE GAZLASTIRMA TESİSİ	ANKARA	27/02/2014	5
ITC-KA ENERJİ ÜRETİM SAN. VE TİC. A.Ş.	ITC-KA BİYOKÜTLE GAZLASTIRMA TESİSİ	ANKARA	03/03/2016	5
ITC – KA ENERJİ ÜRETİM SAN. VE TİC. A. Ş.		ANKARA	03/11/2006	4
ORTADOĞU ENERJİ SAN. VE TİC. A.Ş.		İSTANBUL	04/03/2009	4
ORTADOĞU ENERJİ SAN. VE TİC. A.Ş.		İSTANBUL	24/02/2010	4
ITC-KA ENERJİ ÜRETİM SAN. VE TİC. A.Ş.	ASLIM BİYOKÜTLE (ÇÖP GAZI) SANTRALI	KONYA	09/09/2011	4
ITC ADANA EN. ÜR. SAN. VE TİC. A.Ş.	BIYOKÜTLE (ÇÖP GAZI) ENERJİ SANTRALI	ADANA	01/12/2012	4

Model Bölgeleri	2006 yılı birim katı atık oluşumu (kg/kişi-gün)	
1a	1,15	1,28*
1b	1,12	1,24*
1c	1,1	1,16*
2a	1,15	1,28*
2b	0,9	1*
2c	0,85	0,94*
2d	0,85	0,9*
2e	0,85	0,9*
3a	0,85	0,94*
3b	0,9	1*
3c	0,75	0,8*
Ortalama	0,95	1,06*

Katı Atık Ana Planı Projesi kapsamında yapılan katı atık kompozisyon belirleme çalışmasının sonucu.



03

Afyonkarahisar



Katı Atık Ana Planında Önerilen Birlik Yapısı

AFYON GÜNEY

- ✓ Sincanlı, Hocalar, Sandıklı, Kızılören, Dazkırı, Başmakçı, Evciler, Dinar
- ✓ Nüfus: 182.551
- ✓ Atık miktarı: 77.292 ton/yıl
- ✓ 1,16 kg/kişi-gün

AFYON KUZAY

- ✓ Afyonkarahisar M., Bolvadin, İscehisar, Bayat, Emirdağ, Çay, Sultandağı, İhsaniye, Şuhut, Çobanlar
- ✓ Nüfus: 467.046
- ✓ Atık miktarı: 197.747 ton/yıl
- ✓ 1,16 kg/kişi-gün