

## **Biyokütle Gazlaştırma Teknolojisindeki Gelişmeler**

**Nusret MUTLU<sup>1</sup>, Mustafa TOLAY<sup>2</sup>, Cengiz KARACA<sup>3</sup>, H. Hüseyin ÖZTÜRK<sup>4\*</sup>**

<sup>1</sup>GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, Karaköprü-Şanlıurfa

<sup>2</sup>TOLAY Energy, İstanbul

<sup>3</sup>Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü

<sup>4</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü

\*Sorumlu yazare-posta: hhozturk@cu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 03.05.2019

Kabul Tarihi (Accepted): 22.08.2019

**Özet:** Ülkemizde buğday, ayçiçeği, mısır, tütün, soya, pamuk ve tütün gibi endüstriyel bitkiler yetiştirilmektedir. Ancak bu bitkilerin artıkları verimli kullanılmamaktadır. Genellikle tarlalarda yakılan veya doğaya terk edilen bu bitki artıklarının değerlendirilmesi son yıllarda önem kazanmıştır. Bu çalışmada, tarımsal biyokütleden gazlaştırma teknolojisi ile üretilecek olan gaz yakıttan biyoenerji üretimi ve gazlaştırma teknolojilerindeki gelişmeler değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Biyokütle, gazlaştırma.

### **Developments in Biomass Gasification Technology**

**Abstract:** Industrial plants such as wheat, sunflower, maize, tobacco, soybean, cotton and tobacco are grown in our country. However, the residues of these plants are not used efficiently. The evaluation of these plant residues, which are usually burned or abandoned in the fields, has gained importance in recent years. In this study, bioenergy generation from gaseous fuels produced by agricultural biomass-based gasification technology and developments in gasification technologies were evaluated.

**Key words:** Biomass, gasification.

### **GİRİŞ**

Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genelde güneş enerjisini fotosentez yardımıyla depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılır. Biyokütleyi aynı zamanda bir organik karbon olarak da kabul etmek olanaklıdır. Biyokütle, tarım veya ormancılık ürünü olan ve tamamı veya bir kısmı içindeki enerjiyi geri kazanmak amacı ile yakıt olarak kullanılabilen bitkisel maddelerin tamamı veya bir kısmından oluşan ürünleri kapsar. Biyokütle enerjisi; yetiştiriciliğe dayalı olduğu için yenilenebilir, çevre dostu, yerli ve yerel bir kaynak olarak önem kazanmaktadır. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezleşirken, tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijeni de atmosfere verir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan CO<sub>2</sub> ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO<sub>2</sub> salımı açısından korunmuş olacaktır. Organik madde içeren artıkların değerlendirilmesi, çevre kirliliği ve

temiz enerji üretimi bakımından önem taşımaktadır. Bu amaçla özellikle gelişmekte olan ülkelerde kullanımı en yaygın olan kaynak biyokütledir. Dünya enerji tüketiminin yaklaşık %15'i, gelişmekte olan ülkelerde ise enerji tüketiminin yaklaşık %43'ü biyokütleden sağlanmaktadır (Başçetinçelik ve ark., 2007). Biyokütle; her yerde yetiştirebilmesi, çevre korunmasına katkısı, elektrik üretimi, kimyasal madde ve özellikle taşıtlar için yakıt olabilmesi nedeni ile stratejik bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Biyolojik kökenli yakıtlardan enerji üretimi için en etkin yöntemlerden birisi, kombine ısı ve güç üretimidir. Kombine ısı ve güç üretiminden, endüstriyel uygulamalar için işlem ısı ve buhar üretimi amacıyla da yararlanılabilir. Endüstri sektöründe kurutma gibi birçok işlem için ısı üretimine gereksinim vardır. Bu gereksinim, bölgesel ısıtma sistemi olmaksızın kombine ısı ve güç üretimi ile karşılanabilir. Ayrıca küçük ölçekli kombine ısı ve güç tesislerinden elde edilen ısı enerjisi, kamusal ve endüstriyel binaların

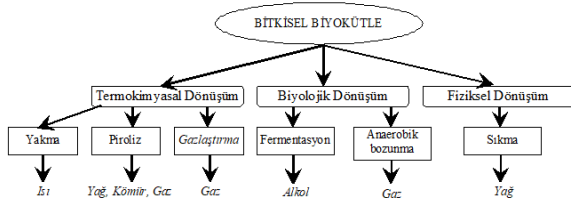
ısıtılmasında kullanılabilir (Başçetinçelik ve ark., 2003, 2005, 2007; Tolay, 2007; 2008; Karaca, 2009).

Ülkemizde buğday ve ayçiçeği, mısır, tütün, soya, pamuk ve tütün gibi endüstriyel bitkiler yetiştirilmektedir. Ancak bu bitkilerin artıkları verimli kullanılmamaktadır. Genellikle tarlalarda yakılan veya doğaya terk edilen bu bitki artıklarının değerlendirilmesi son yıllarda önem kazanmıştır. Türkiye gibi ulusal gelirinin büyük bir kısmını tarımdan sağlayan ülkeler, tarımsal atıklarını ve diğer bitkisel artıklarının geri dönüşümünü sağlayıp bunu ekonomilerine kazandırmalıdır. Bu çalışmada, tarımsal biyokütleden gazlaştırma teknolojisi ile üretilecek olan gaz yakıttan biyoenerji üretimi değerlendirilmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Biyokütleden Enerji Üretimi

Biyokütle materyalden enerji üretimi için en yaygın uygulama, birleşik ısı ve güç (kojenerasyon) santralinde direk yakarak elektrik ve ısı enerjisi elde etmektir. Biyokütlenin doğrudan yakılarak enerji üretilmesi, bilinen en eski yöntem olmasına karşın, son yıllarda verimi yükseltmek için yeni yakma sistemleri geliştirilmiştir. Özellikle biyokütle ile çalışan termik santral yapımında, akışkan yataklı sistemler alışlagelmiş yakma sistemlerinin yerlerini almaktadır. Hemen her türlü biyokütle kaynağını doğrudan yakmak olanaklıdır. Ancak, nem oranı yükseldikçe elde edilen ısı değer de azalır. Biyokütle ısı ve buhar üreten kazanlarda direk olarak yakılarak, %20–30 verimlilikte elektrik üretilebilir (Koopmans ve ark., 1997; Karaca, 2009; Tolay, 2010).



Şekil 1. Biyokütleden enerji üretimi

Tarımsal atıklardan enerji üretmek için kullanılan başlıca ısıl yöntemler yakma, piroliz ve gazlaştırmadır (Şekil 1). Üç yöntemde de atıklar kontrollü şekilde ısıl işleme tabii tutularak yakıtla dönüştürülürler. Yakma işlemi klasik olarak çok eskidir. Hava kirliliği sorunları konusunda ve düşük enerji verimliliği nedeni ile

istenmemektedir. Pirolizde, atığın termal degradasyonu havasız ortamda gerçekleştirilerek kok, piroliz petrolü, ve sentez gazı oluşturulur. Gazlaştırmada hidrokarbonların parçalanarak sentez gazı oluşturması ortamdaki oksijenin dikkatle kontrolü ile sağlanır. Piroliz gazlaştırmadaki ilk aşamayı oluşturur. Gazlaştırma sonucu elde edilen gaz enerji üretimi için kullanılabilir (Karaca, 2009).

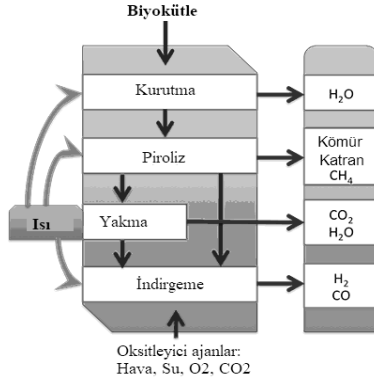
Biyokütleden enerji üretimi için maliyet ve doğal çevreye olan etkilerin dikkate alınması gerekir. Enerji üretiminde kullanılan teknolojinin basit ve çabuk uygulanabilir olması, yeterince eğitilmiş personele ihtiyaç duyulması da önemli bir faktördür. Bu nedenlerle katı organik atıklardan özellikle orman ve tarım artıklarından en basit şekilde enerji dönüşümü doğrudan yakmadır. Doğrudan yakma sisteminde enerji dönüştüren ünitenin enerji tüketen merkezlere uzaklığı çok büyük ekonomik rol oynamaktadır. Yakma uygulaması, orman atıkları ve tarımsal atıkların uzak yerlere taşınması nem içeriğinin yüksek olması nedeniyle ekonomik değildir.

Kurutulmuş tarımsal atıkların doğrudan yakarak ısı enerjisi elde etmek mümkündür. Elde edilen ısı enerjisinin, buhar kazanlarında suyun buhara dönüştürülmesi ve elektrik jeneratörlerinin çalıştırılması için kullanılabileceği gibi, ısıtma ve sıcak su elde etme amaçları ile kullanılabilir. Diğer bir yakma yöntemi ise tarımsal atıkların kömür gibi fosil yakıtlarla karıştırılarak yakılması ve elektrik üretimi için termik santrallerde kullanılmasıdır. Ancak, tarımsal atıklarının düşük ısı değerleri, nakliye ve depolama güçlükleri, yakıt kalitesindeki değişkenlikler, yüksek nem oranı, baca gazı çevre sorunları ve direkt yakma tesislerinin verimliliklerinin düşük olması gibi nedenlerden dolayı tercih edilmemektedir.

### Gazlaştırma Teknolojisi

Tarımsal biyokütleden gazlaştırma yöntemiyle gaz yakıt elde edilir ve elde edilen gaz, gaz motorunda yakılarak elektrik üretilebilir. Gazlaştırma, karbon içeren biyokütle gibi katı yakıtların yüksek sıcaklıkta bozunması ile yanabilir gaz yakıt elde etme işlemidir. Bu işlem sırasında denetimli bir şekilde yakıt hücresine verilen hava ile biyokütle materyal yakılır. Sınırlandırılmış oksijen, hava, buhar veya bunların kombinasyonları reaksiyonu başlatmaktadır. Üretilen gaz yakıt; karbon monoksit, karbondioksit, hidrojen,

metan, su ve azot'un yanı sıra kömür parçacıkları, kül ve katran gibi artıkları da içermektedir (Şekil 2). Üretilen gaz temizlendikten sonra kazanlarda, motorlarda, türbinlerde ısı ve güç üretilmek üzere kullanılmaktadır.



Şekil 2. Gazlaştırma teknolojisi

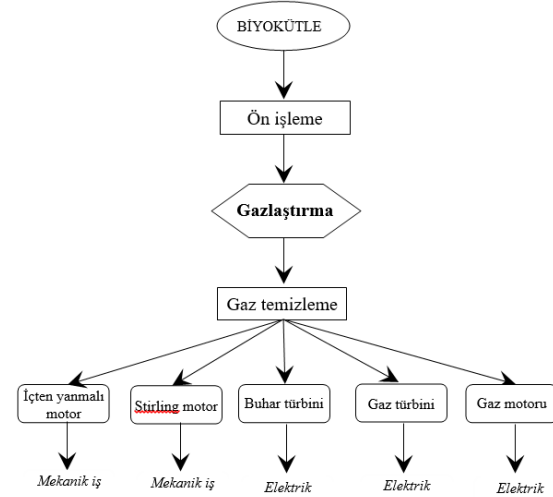
Biyokütleden gazlaştırma tekniği ile yüksek bir verimle petrole çalışan güç ve ısı sağlayan türbinlerde kullanılacak bir gaz yakıt elde edilebilir. Biyokütle gazlaştırılması ile elde edilen gaz yakıtın doğal gazın kullanıldığı yerlerde küçük düzenlemeler yapılarak kullanımı yaygınlaştırılabilir. Gelecekte kolaylıkla doğal gazın kullanıldığı yerlerde enerjinin büyük bir kısmı bu yakıttan sağlanabilir. Biyokütleden gazlaştırılma ile elde edilen temizlenmiş gaz yakıt, ısı ve buhar üreten kazanlarda direk yakılarak veya *Stirling* motorlarda %20–30 verimlilikte elektrik üretimi için kullanılabilir. Basıncı gazlaştırma türbinlerinde ise %40 veya daha fazla verimlilikte elektrik üretimi yapılabilir (Gartner, 2008).

Girdi olarak çevreye zarar verebilen tarımsal atıkların kullanıldığı gazlaştırma yöntemi ile elektrik üretiminin faydaları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Karaca, 2009; Tolay, 2007):

- ✓ Sentez gazı ile elektrik ve ısı üretiminde ekonomik kazanç elde edilir.
  - ✓ Gazlaştırıcıdan çıkan atık kül, inşaat malzemesi olarak kullanılabilir.
  - ✓ Küresel ısınmanın en önemli etkeni olan zararlı gazları azaltılır. Kömür yakan enerji tesislerinde yanma sonucu atık olarak çıkan SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi zararlı gazların azalmasını sağlar. Fosil yakıtlarının tasarrufuna katkıda bulunulur.
  - ✓ Çok ucuz ve çevreci enerji üretimi sağlar.
- Gazlaştırma yöntemi, doğrudan yakma yönteminin en önemli alternatifidir. Bu yöntemler sayesinde katı

yakıttan sıvı ve gaz yakıtlar üretilmektedir. Biyokütle en uygun şekilde kullanılabilmesi için bazı özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bu özellikler şunlardır: Nem oranı (%olarak su miktarı), karbon/azot oranı (C/N), kimyasal ve fiziksel özellikleridir. Enerji dönüşümünde kullanılacak biyokütle materyal için bu değerlerin bilinmesi son derece önemli olmaktadır (Karaca, 2009). Doğrudan yakma için %8–15 arası nem oranı uygun olup, 50–100 cm arasında değişen parça boyutu idealdir. Karbonlaştırma işlemi %8–15 arası nem oranları tercih edilir. Enerji yoğunluğunu birim hacim başına artırmak için briketleme işlemi yapılır.

Daha düşük seviyede nem içeren biyokütleden enerji üretmek için gazlaştırma işlemi uygun bir teknolojidir. Açığa çıkan gaz kazanlarda, türbinlerde, mikro türbinlerde, içten yanmalı motorlarda, *Stirling* motorlarında ve yakıt pillerinde yakıt olarak kullanılabilir (Şekil 3). Hali hazırda gazlaştırıcıda üretilen gaz kazanlarda kullanılmakta olup, içten patlamalı motorlarda da kullanılmaktadır. Ayrıca, piroliz ve gazlaştırma işlemleri atığın ön hazırlığı, elektrik tüketiminin yüksekliği (özellikle akışkan yataklarda) ve ek yakıt ihtiyacı, gaz temizliği gereksinimi gibi nedenlerden dolayı sınırlı olarak tercih edilmektedir.



Şekil 3. Gazlaştırma ile enerji üretimi

### Gazlaştırma Teknolojileri

Katı atıkları gazlaştırmak için öncelikle uygun tane boyutuna ve daha sonra pelet haline getirmek gerekmektedir. Katı atıkları gazlaştırma işlemi birkaç aşamada gerçekleşir. Katı atıktaki suyun

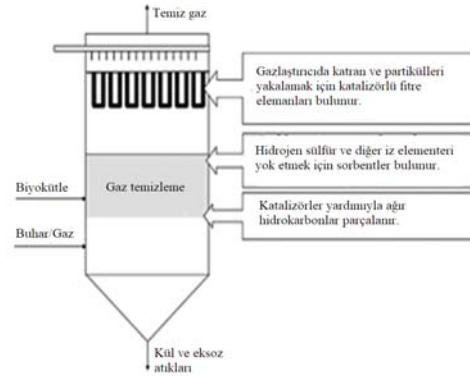
uzaklaştırılması ise ön hazırlık işlemleri sırasında yapılır. Veya pelet haline gelen ve genellikle %10–15 su içeren katı atık gazlaştırıcı içerisinde suyunu buhar fazına geçirir. Bu kuruma işleminden sonra piroliz, indirgenme, yanma ve benzeri reaksiyonlarına uğrar. İçerisinde %35'den daha fazla su bulunan katı materyal, termokimyasal dönüşümle elektrik üretimi için uygun değildir. Gazlaştırma için %8–15 arası nem oranı uygun olup, 3–5 cm arası parça boyutu ideal olarak kabul edilir. Katı atık içerisindeki su gazlaştırma reaksiyonlarından biri olan su buharı reaksiyonuna gerekli olan su buharını üretmek üzere kullanılır ve bu reaksiyon oldukça önemlidir. Gazlaştırma işleminin başlayabilmesi için katı atık içerisindeki karbon elementinin bir kısmı yakılarak gazlaştırıcının önce suyun buhar fazına geçmesi, sonra piroliz fazına ulaşması ve daha sonrada gazlaşma reaksiyon sıcaklıklarına yükselmesini sağlanmaktadır. Gazlaştırıcı içerisinde oluşan reaksiyonlarını sırası ile aşağıdaki şekilde inceleyebiliriz; Kuruma; suyun buharlaşması, piroliz, indirgeme (gazlaştırma) ve yanma reaksiyonları (Şekil 1).

Gazlaştırma için birçok teknoloji geliştirilmiş olup, yaygın olarak kullanılanlar şunlardır:

- Sabit yataklı gazlaştırma
- Akışkan yataklı gazlaştırma
- İndirekt (dolaylı) gazlaştırma
- Hızlı akışkanlı gazlaştırma

**Sabit Yataklı Gazlaştırıcı:** Genel olarak, bir oksitleyici ile karbon içeren malzemenin (biyokütle) gazlaştırılarak, gaz halindeki ürüne (yanıcı gaz, CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> karışımı) dönüşümü olarak tanımlanabilir. Gazlaşma ile 1000 °C sıcaklıkta sentez gazı üretir. Sıcak ham sentez gazı soğutma ve ısı değerlendirme ve gaz yıkamanın gerçekleştirildiği gaz temizleme sistemine yönlendirilir. Genel olarak tesise ortalama 3000 kcal/kg ısı gücünde biyokütle verilmektedir.

Biyokütle gazlaştırma teknolojisi, 1–20 MWe aralığında elektrik üretebilecek farklı boyutta gazlaştırıcılara sahiptir. Tesisten üretilen sentez gazının ısı değeri, hava ile çalışan diğer akışkan yataklı gazlaştırıcılarda olduğu gibi, 900–1200 kcal/Nm<sup>3</sup>tür. Gerekirse gaz motoruna ilave sıvı veya gaz yakıt (doğal gaz) verilmektedir. Üretilen sentez gazının bileşimi genel olarak CO (%16-20), H<sub>2</sub> (%5-15), CO<sub>2</sub>, (%10-15), CH<sub>4</sub> (%3-5) ve N<sub>2</sub> (%50-55) den oluşur.



**Şekil 4. Gazlaştırma ve gaz temizleme işlemlerinin birlikte uygulanması (Heidenreich ve Foscolo, 2015)**

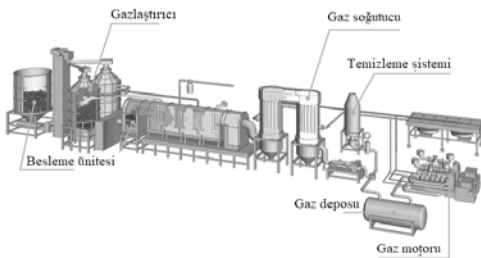
**Akışkan Yataklı Gazlaştırıcı:** Sabit yataklı yukarı veya aşağı akışlı gazlaştırıcıların yanı sıra akışkan yataklı gazlaştırıcılarda biyokütle gazlaştırılmasında kullanılır. Akışkan yatak yakma sistemlerinde biyokütle yakıt, gazın kendi karışımında ve yanma gazı alttan giren katı yatak materyali içinde yanar. Akışkanlaştırma hızına bağlı olarak, kabarcıklı akışkan yataklı (BFB) ve dolaşimli akışkan yataklı (CFB) yakma olarak ayrılabilir. Tarımsal, evsel ve endüstriyel atıkların bertaraf edilirken elektrik ve ısı enerjisi üretildiği çevre dostu gazlaştırma tesisleri akışkan yatak teknolojisi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar, genellikle sabit yataklı gazlaştırıcılara göre daha yüksek güçlerde kullanılırlar.

**Çizelge 1. Biyokütle gazlaştırma için gelişmekte olan teknolojilerin özellikleri (Sikarwal ve ark., 2016)**

Teknolojik gelişme	Özellikler	Üstünlükleri	Kısıtlar
Gazlaştırma ve gaz temizleme işleminin aynı reaktörde birlikte gerçekleştirilmesi (Şekil 3)	Biyokütle materyalin gazlaştırılması ve tek reaktörde sentez gaz temizleme işlemlerinin tek reaktörde entegrasyonu	Tasarım sağlamdır. Maliyeti düşüktür.	Büyük çaplı ticari uygulamalar için çok fazla araştırma gereklidir.
Çok aşamalı gazlaştırma	Gazlaştırıcının bölünmüş bölmelerinde, tek kontrollü aşamalarda, piroliz ve gazlaştırma işlemlerinin uygulanması	Kaliteli ve temiz gaz üretilir. İşlem verimi artar.	Karmaşıklık artar.
Dağınık piroliz santrallerinin merkezi bir gazlaştırma tesisiyle entegrasyonu	Dağınık piroliz tesislerinde kömür-yağ bulamacının üretimi ve sentez gazı üretimi ve biyoyakıt sentezi için merkezi bir tesiste gazlaştırma	Dağınık durumda ve düşük kaliteli biyokütle kullanılabilir. Kömür-yağ bulamacı ekonomik olarak taşınabilir.	Bu işlemle benzin ve olefin üretimi ekonomik değildir.
Plazma gazlaştırıcı	Gazlaştırma sürecince ısı kaynağı olarak plazma kullanılması	Her tür organik madde ayrıştır. Tehlikeli atıklar artılır.	Yatırım maliyeti yüksektir. Güç ihtiyacı fazladır. Verim düşüktür.
Süper kritik su gazlaşması	Gazlaştırma işlemi, süper-kritik su içerisinde gerçekleştirilir.	Sıvı ve nem içeriği çok yüksek olan biyokütle kullanılabilir. Ön işleme gerekli değildir.	Yatırım maliyeti yüksektir. Enerji gereksinimi yüksektir.
Sorpsiyon geliştirilmiş reformlama ve CO <sub>2</sub> çekimi ile biyokütle gazlaştırma	Hammaddelerin gazlaştırılması katalizör ve sorbent varlığında gerçekleştirilir.	CO <sub>2</sub> yerinde yakalanır. H <sub>2</sub> üretimi artar. Katran içeriği azalır.	Gelişmiş katalizörler için emülsiyon geliştirilmesi gereklidir.
Isı enerjisi ve gücün birlikte üretilmesi (kojenasyon)	Isı enerjisi ve güç birlikte üretilir.	İşlem verimi yükselir.	Tüketiciye yakın ısı üretilmesi gerektiğinden sadece merkezi olmayan ısı ve güç üretimi mümkündür
Isı, güç ve hidrojenin çoklu üretimi	Isı, güç ve hidrojen birlikte üretilir.	Verim yükselir. Yenilenebilir kaynaklardan hidrojen üretilir.	Sistemin tasarımı oldukça karmaşıktır.
Sentez gazının ısı ve güç ile birlikte çoklu üretimi	Sentez gazı, ısı ve güç birlikte üretilir.	Taşıma için yenilenebilir bir yakıt üretilir. İşlem verimi yükselir.	Doğal gaz dağıtım sisteminin olmaması durumunda ekonomik değildir.
Gazlaştırıcı ile bütünleşik Fischer-Tropsch (FT) işlemi	Gazlaştırma ile üretilen sentez gazı, FT yakıt sentezi için kullanılır.	Temiz ve karbon nötr sıvı biyoyakıt üretilir.	Sistemin tasarımı oldukça karmaşıktır.

### Biyokütle Gazlaştırma Tesisi

Biyokütle gazlaştırma işlemi, genel olarak, bir oksitleyici ile karbon içeren malzemenin gazlaştırılarak, gaz halindeki ürüne (yanıcı gaz) dönüşümü olarak tanımlanabilir. Biyokütle gazlaştırma tesisi; biyokütle tartım ve besleme sistemi, gazlaştırıcı reaktör ve siklon, soğutma sistemi, su ile soğutulmuş boşaltım/yıkama konveyörleri, çok bölgeli gazlaştırma hava fanı ve işlemin otomatik kontrolü için döner besleyiciden oluşur (Şekil 4).

**Şekil 5. Biyokütle gazlaştırma tesisi**

Depolanmış biyokütle yakıt, gazlaştırıcı deposuna aktarılır. Yakıt, gazlaştırıcıya kütle ölçüm deposunda ölçülerek beslenir. Besleme silosu seviye ölçerlerle, giriş besleme seviyesi konveyörü ve gazlaştırıcıya yakıtı aktaran değişken hızlı çıkış besleme konveyörleri ile donatılmıştır. Çıkış besleme konveyörünün hızı, ısı geri kazanım sisteminden istenen gaz miktarına bağlı olarak otomatik olarak gazlaştırma kontrol sistemi ile ayarlanır. Yakıt suyla soğutulmuş vida konveyörle gazlaştırıcının kurutma ve ısıtma bölümüne boşaltılır. Gazlaştırma işlemi orantılı hava kullanımı ile kontrol edilerek etkili gazlaştırmayı destekler. Gazlaştırıcıdan çıkan külde istenen karbon miktarını ayarlamak için reaktörde kalma süresi kontrol sistemi ile değiştirilir. Hassas gazlaştırma havası kontrolünün kullanımı ve bölgeleme 650 °C'dan 1000 °C'a zamanla sürekli değişen sıcaklıklarda gaz üretir. Gazlaştırıcıdan çıkan gaz, yüksek sıcaklık siklonuna gelerek öncelikle sıcak

gazlar külden temizlenir. Sıcak gaz soğutma ve ısı değerlendirme ve gaz yıkamanın gerçekleştirildiği gaz işleme (iyileştirme) sistemine yönlendirilir. Tüm gazlaştırma işlemi kısmen negatif basınçta gerçekleşir. Üretilen ve temizlenen gaz negatif basınç (ID) fanı ile gaz işleme sistemi ile sağlanır.

Katı yakıt (tarımsal biyokütle) hazırlama işlemlerinden sonra, gazlaştırıcıya vidalı besleyici ile orta kısımdaki izgaranın üzerinden verilir. Gazlaştırıcıya giren biyokütle materyal, ilk olarak suyunu kaybeder ve kurur. Sıcaklığı 250–400°C arasında değişmektedir. Tarımsal atık, gazlaştırıcı boyunca hareket ederken 400–600°C arasında sıcaklığa ulaşır ve piroliz olmaya başlar ve kok, katran, CH<sub>4</sub>, ve H<sub>2</sub>'ye parçalanır. Oksijen taşıyıcı (önceden ısıtılmış hava) gazlaştırıcının altından girer. Hava hem gazlaşma hem de yukarıya doğru taşıma görevi görür. Tarımsal biyokütle 1000 °C sıcaklığa ulaştığında, giren havadaki oksijen ve H<sub>2</sub>O, kok ile reaksiyona girer ve ortaya çıkan gaz, genel olarak CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> içeren, 1.000°C sıcaklıkta sentez gazdır. Tarımsal biyokütle artık küçülmüş ve sadece külü kalmıştır. Sentez gazı, yukarı doğru ilerlerken 800 °C'ye kadar soğur. Sentez gazı, gazlaştırıcıdan çıkıp 400– 600°C'ye ulaştığında, gaz temizleme bölgesine çekilir. Burada kül ve toz toplayıcı özel siklon bulunmaktadır. Daha sonra gaz temizleme kısmına gelir.

**Gaz Temizleme:** Gazlaştırıcıdan çıkan işlenmemiş ham gaz; katran, biyokütle tozu, gazlaşma sıvısı ve diğer saflığı bozan maddeler içerir. Bu kirlenmeler sentezlenen gaz ısı/güç üretim ünitelerinde kullanılmadan önce uzaklaştırılmalıdır. Katran, ısı dönüştürücü yüzeylerinde ve motor vanalarında birikebilir veya motorların yakma çemberlerinde uygun şekilde yanmayabilirler. Alkali maddeler, ısı dönüştürücü çepelerinde ve korozyona sebep oldukları türbin kanatlarında birikebilirler (Çizelge 2). Katran ve alkali maddelerin uzaklaştırılması gazlaştırma prosesinin uzun süreli başarısı için çok önemlidir. Partiküllerin, biyokütle gazlaştırıcısından çıkan sentez gazından uzaklaştırılması gerekir. Bu amaçla siklon toplayıcılar, çöktürücüler, filtrelerin herbiri partikül uzaklaştırılması için kullanılır. Siklon toplayıcılar tozların ve parçacıkların toplanmasında çok başarılıdır. Partiküller siklon toplayıcının tabanında birikirken, gaz akımı siklon toplayıcıların üstünden çıkar. Sentez gazı; azot, karbon monoksit, hidrojen ve bazı alkanlar, karbon dioksit, az miktarda ayrılmış kül ve katran içerir. Doğru bileşim ve sonuç olarak oluşan ısı değer beslenen biyokütle

özelliklerine bağlıdır. Fakat genel anlamda tipik ısı değeri 900–1200 kcal/Nm<sup>3</sup>tür. Üretilen gaz, gazlaştırıcıdan çekiş fanı ile emilerek gazı soğutan ve işleyen mekanizmalardan geçirilerek yakılmak üzere gaz motoruna gönderilir.

Birinci temizleme aşaması, katran ve hidrokarbon ayırma teknolojisidir. İkinci aşama artan sıcaklığın soğutulmasıdır. İlk soğutma dolaylı hava veya su ile ısı değiştirme ilkesine dayanır. İkinci soğutma ve partikül ayırma sıvı yıkama ile gerçekleştirilir. Buradan çıkan gaz son olarak basınçla gaz motoruna basılır.

**Gaz Yıkayıcılar ve Çöktürücüler:** Yıkama sıvısı, merkezi bir spiral helezonik dağıtıcı ile gazla temas ettirilir. Yüksek hızdaki gazın içerisindeki yabancı maddeleri, katı partikülleri yakalayan sıvı damlacıkları sürükleyerek veya çözerek gazın içindeki kirlilikleri temizleyerek aşağı indirir. Siklon toplayıcılardan aşağı doğru gelen gaz buharından, dönüştürülmemiş karbon partikülleri (kurum), ve hafif kül malzemeleri yıkama suyuyla yıkanmış ve uzaklaştırılmıştır. Katlar, yıkama su tankı içindeki sudan, kum veya diğer filtrasyon materyallerinden yapılmış olan bir filtrasyon tekniği ile geri alınırlar. Katran yıkama tankının altında bulunan katran toplayıcılar içinde toplanır. Katran, gazlaştırıcıda yakıt olarak tekrar kullanılır.

**Çizelge 2. Ham gaz bileşimindeki kirlenmeler (Tomlinson ve ark., 1996)**

Kirlenici	Örnek	Etkisi	Uzaklaştırma Tekniği
Partikül	Kül, kömür	Aşındırma	Siklon, filtre
Katran	Siklik ve polisiklik hidrokarbon	Tıkama, çökeltme	Fiziksel, kimyasal ve katalizörlü yöntemler
Alkali metal	Sodyum ve potasyum bileşikleri	Sıcak gaz korozyonu	Gaz soğutucu+siklon
Yakıt azot	NH <sub>3</sub> , HCN	NO <sub>x</sub>	Yıkama
Kükürt	H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub>	Korozyon	Yıkama, aktif karbon
Klor	HCl	Korozyon, katalizör zehirlenmesi	Yıkama, aktif karbon

**Çizelge 3. Değişik uygulamalar için kirlenmelerin sentez gazında bulunmasına izin verilen maksimum değerleri (Woolcock ve Brown, 2013)**

Kirlenmeler	Uygulamalar		
	Gaz türbini	FT sentezi	Metanol sentezi
Katran (mg/m <sup>3</sup> )	-	<0.1–1	<1
Kükürtlü kirlenmeler (ppm)	<20	0.01	<1
Azotlu kirlenmeler (ppm)	<50	0.02	0.1
Alkali (ppm)	<0.02	0.01	-
Halidler (ppm)	<1	0.01	0.1

## SONUÇ

Ülkemizin enerjide dışa bağımlılığın bir miktarda olsa azaltılması ve yerli kaynakların enerjiye yönlendirilmesi için biyokütle atıkların değerlendirilmesi konularında daha çok çalışmaların yapılarak dikkat çekilmesi gerekmektedir. Ayrıca tarıma dayalı sanayi kuruluşlarına atıklarının farklı değerlendirme alternatiflerinin araştırılarak yardımcı olunmalıdır. Atıkların tarlada bırakılması veya anız olarak faydasızca yakılması hem ekonomik değil hem de çevresel güvenlik bakımından tehlikelidir. Tarımsal atıkların tarım işletmelerinde ham halde depolanması büyük depolama alanları ihtiyacı ve yangın tehlikesi oluşturduğundan büyük bir problem olarak görülmektedir. Bu tür atıkların briketlenmesi bu işletmelerin kendi ısıl ihtiyaçları için kendi üretim atıklarını kullanma düşüncelerinin önünde büyük engel teşkil eden depolama sorunlarını ve risklerini ortadan kaldıracaktır. Özellikle tarımsal atıkları toplayıp briketleme ve peletleme gibi işlemlerden geçirerek gazlaştırma tesislerinde gaza dönüştürülmesi doğalgaz, fueloil, odun ve kömüre alternatif yakıt piyasasının oluşturulması için yatırım yapacak girişimcilerin devlet tarafından desteklenmesi ve teşvik edilmesi gerekmektedir.

## LİTERATÜR LİSTESİ

- Kamalak, A., Ö. Canbolat, Y. Gürbüz, O. Özyay, 2005. Prediction of Dry Matter Intake and Dry Matter Digestibilities of Some Forages Using Gas Production Technique on Sheep. *Turk. J. Vet Anim Sci.* 29. 517-523.
- Bascetinçelik, A., H.H. Öztürk, C. Karaca, M. Kaçira K. Ekinci 2003. Exploitation of Agricultural Residues in Turkey. LIFE-03.TCY/TR/000061.
- Başçetinçelik A., C. Karaca, H.H. Öztürk, M. Kaçira, ve K. Ekinci 2005. Regional Distribution of Agricultural Biomass Potential in Turkey. *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture & 27<sup>th</sup> International Conference of CIGR Section IV: The Efficient Use of Electricity and Renewable Energy Sources in Agriculture*, September, 27-29, İzmir-TURKEY.
- Başçetinçelik A., H.H. Öztürk C. Karaca 2007. Türkiye'de Biyokütle Enerjisi Kullanımını Geliştirme Olanakları. IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 23-24 Kasım 2007, Kayseri, *Bildiriler Kitabı*: 101-110, ISBN No: 978-9944-89-410-4, MMO Yayın No: E/2007/452.
- Ekinci, K. 2005. Türkiye'de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi, TÜBİTAK Feza Gürsev Salonu Tunus Cd. No:80, 25 Kasım 2005, Kavaklıdere, Ankara.
- Gärtner, S. 2008. Final Report on Technical Data, Costs and Life Cycle Inventories of Biomass CHP Plants. IFEU, IERS 1a D13.2, New Energy Externalities Developments for Sustainability; Project no: 502687, 9 April 2008.
- Heidenreich, S. and P.U. Foscolo 2015. New Concepts in Biomass Gasification. *Prog. Energy Combust. Sci.* 46. 72-95.

Tarımsal atıkların enerji amaçlı değerlendirilmesinin geliştirilmesi; çevre (iklim değişikliği), yenilenebilir enerji, enerji güvenliği, atık yönetimi, kırsal istihdam vb. alanlarda çözülmesi zorunlu birçok sorunun çözümüne katkıda bulunacaktır. Kırsal alanda istihdam yaratılması açısından; biyokütle yakıt temini fosil yakıt teminine göre çok daha fazla işgücü gerektiren emek yoğun bir faaliyettir. Dolayısıyla yapılacak bu tür yatırımların, işsizliğin giderilmesine büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Biyokütle, genellikle kırsal ekonomilere mali destek sağlayan, çevre açısından uygun, belirli bir yerde doğal olarak bulunan bir enerji kaynağıdır. Kırsal istihdamda sağlanacak iyileştirmeler önemli bir sosyal fayda olarak görüldüğü için, toplulukları esas alan kuruluşlar ile bazı sivil toplum kuruluşları, tarımsal atıklardan sağlanan yakıtlarla işletilen biyokütle tesislerinin geliştirilmesine katılmak isteyebilir. Ülkemizde yaygınlaşacak bu tür tesislerle, bu konuda deneyimli, kalifiye iş gücünün de yetişmesi sağlanmış olacaktır. Ayrıca, kurulacak bu tür tesisler yalnızca direkt istihdam yaratmanın dışında, bölge sanayisinin tesislere vereceği teknik desteklerle de dolaylı olarak istihdam yaratacaktır.

- Karaca, C. 2009. Çukurova Bölgesindeki Tarıma Dayalı Sanayi Atıklarının Enerjiye Dönüşüm Olanaklarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Koopmans, A. and J. Koppejan 1997. *Agricultural and Forest Residue; Generation, Utilization and Availability*. RWEDP; www.rwedp.org. pp: 21.
- Sikarwar, V.S., M. Zhao, P. Clough, J. Yao, X. Zhong, M.Z. Memon, N. Shah, E.J. Anthony and P.S. Fennell 2016. An Overview of Advances in Biomass Gasification. *Energy Environ. Sci.* 9. 2939-2977.
- Tolay, M. 2007. An Agricultural and Forest Waste's Recycling Methods: Gasification of Solid Waste. *Recycling Magazine*, Issue 3, July 2007, İstanbul.
- Tolay, M. 2008. Gasification Technology for Contaminated Wastes. *Recycling Magazine*, Issue 4, July 2008, İstanbul.
- Tolay, M., R. Baileys and A. Waterschoot 2010. Drying and Gasification Technologies for Industrial Wastewater Sludge. 12<sup>th</sup> Industrial Pollution Control Symposium, EKK 2010, June 16-18 2010, ITU, İstanbul-Turkey.
- Tomlinson, G., D. Gray, and M. Berger 1996. Produced by MITRE Corporation for National Renew. Energ. Laboratory, USA, under contract number AL-4159.
- Woolcock, P.J. and R.C. Brown 2013. A Review of Cleaning Technologies for Biomass-Derived Syngas. *Biomass Bioenergy.* 52. 54-84.