



# ENERJİ & MADEN

Yaygın Süreli Yayın • Ekim-Aralık 2018 • Yıl: 7 • Sayı: 23

[http://www.sahayayin.com/dergi\\_23/dergi\\_23sayi.pdf](http://www.sahayayin.com/dergi_23/dergi_23sayi.pdf)



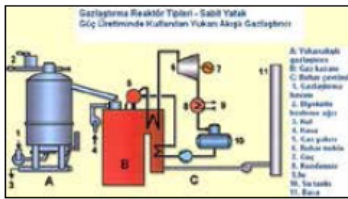
Doç. Dr. Hasan HACIFAZLIOĞLU  
İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fak.,  
Maden Mühendisliği Bölümü

### Özet

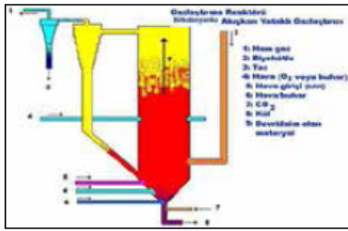
Katı yakıtlardan sentetik olarak doğal gaz üretmek mümkündür. Kömür, Odun, Petrokok, Biyokütle, evsel ve sanayi atıkları gibi malzemelerden GAZLAŞTIRMA yöntemi ile sentetik doğal gaz üretilebilir. Bu çalışmada, sentetik doğal gaz üretimi için geliştirilmiş olan katı yakıt gazlaştırma tekniklerinden bahsedilmiştir.

### GİRİŞ

Gazlaştırma, katı yakıtların limitli miktarlardaki yakıcı gazlarla (oksijen, hava, karbondioksit, su buharı) 600-800°C'lik sıcaklıklarda reaksiyona sokulması işlemidir. Gazlaştırma sonucunda hidrojen, metan, metanol, amonyak ve sentetik doğal gaz gibi ürünler elde edilebilmektedir (Tolay vd.,2008). Gazlaştırma ürünlerinin



Şekil 1. Sabit yataкта gazlaştırma işlemi



Şekil 2. Akışkan yataкта gazlaştırma

# KATI YAKITLARDAN SENTETİK DOĞALGAZ ÜRETİMİ

bileşimi ve miktarı, katı yakıtın cinsi ve aktivitesine, gazlaştırma maddesinin türüne ve uygulanan gazlaştırma yöntemine bağlı olarak değişir. Gazlaştırma sonucunda oluşan gaz ürünler; ısı değerlerine göre sınıflandırılır. 7.5 MJ/m<sup>3</sup>'ün altında olan gaz düşük ısı değerli, 7.5 ile 15 MJ/m<sup>3</sup> arasında olan gaz orta ısı değerli ve ısı değeri yaklaşık 37 MJ/m<sup>3</sup> olan gaz ise yüksek ısı değerli gaz olarak isimlendirilir. Düşük ısı değerli gaz, kömürün sabit yataкта hava ile gazlaştırılması sonucunda elde edilir ve bileşimi %28 CO, %55 N<sub>2</sub>, %12 H<sub>2</sub> ve %5 CH<sub>4</sub> ve az miktarda CO<sub>2</sub> şeklindedir. Orta ısı değerli bir gaz olan su gazı, kızgın kömür içerisinde su buharının geçirilmesiyle elde edilir ve amonyak, metanol veya sentetik benzin üretiminde kullanılır. Bileşiminde %50 H<sub>2</sub>, %40 karbonmonoksit, az oranlarda N<sub>2</sub> ve karbondioksit bulunur. Orta ısı değerli gazların genellikle kok fırınlarında üretilir. Bileşimi yaklaşık %55 H<sub>2</sub>, %27 CH<sub>4</sub>, %6 CO, %10 N<sub>2</sub> ve %2 CO<sub>2</sub> şeklindedir. Gaz içerisindeki CO zehirli olduğundan, su buharıyla katalitik tepkime yolu ile giderilir. Yüksek ısı değerli gaz sentetik doğal gaz (sng) olarak bilinir ve yüksek oranda metan içeriği ile bilinir (Ateşok, 2009).

### SABİT YATAKTA GAZLAŞTIRMA

Sabit yataкта gazlaştırma bilinen en eski katı yakıt gazlaştırma sistemidir (Şekil 1). Bu sistemde, katı yakıt, kül, reaktif gazlar ve ürünlerin akışı zit

akım ilkesine göre gerçekleştiğinden, ısı taşınımı çok iyi gerçekleşir (Pişkin ve Karaosmanoğlu, 1998; Keltüoğlu, 2014). Sabit yataklı gazlaştırıcılarda yanma bölgesinin en yüksek sıcaklığının küllerin ergime sıcaklığının altında olması gerekmektedir. Bu amaçla sisteme daha fazla hava ve buhar verilmesi gerekir. Küllerin ergime sıcaklığı ne kadar düşük olursa kullanılması gereken buhar, oksijen ve hava miktarları da o kadar az olur (Ateşok, 2009).

### AKIŞKAN YATAKTA GAZLAŞTIRMA

Ticari olarak faaliyet gösteren ilk akışkan yataκ 1926 yılında Almanya'da işletmeye alınan Winkler tipi Akışkan Yataklı gazlaştırıcıdır (Tarakçıoğlu, 2015). Akışkan yataklı gazlaştırıcıda, yakıt yatağı, reaktan gazlar olan hava ve/veya oksijen ve su buharı ile akışkanlaştırılmaktadır. Kömür gazlaştırıcıya girince uçucu maddesi çıkmakta ve ardından, gazlaşma tepkimeleri gerçekleşmektedir (Şekil 2). Akışkan yataκ çalışırken durgun durumdaki yüksekliğinin yaklaşık iki katı yüksekliğe ulaşmakta ve dikey kuvvetler, yer çekimi kuvveti ile dengelenmektedir. Akışkanlaşma küçük tanecekler için gerçekleşir. Bu nedenle, kömürün sahip olması gereken tane boyutunun üst sınır değeri vardır. Akışkanlaşmış durumda kömür tanecekleri ve reaktan gazlar, ideal bir şekilde karıştırılır ve hemen hemen izotermal bir çalışma olur. Aynı reakt-

tör boyutu için akışkan yataklar, sabit yataklara oranla daha fazla kömür girdisi ile çalışırlar ve gaz ürün, yatakla aynı sıcaklıkta dışarı çıkar. Sistemdeki ısı kayıplarını önlemek için ısı değiştiricileri kullanılmaktadır. Akışkan yatakta, sabit yatakta gazlaştırmadan daha az katran ve is oluşur. Buna karşın, gaz ürünün katı tanecik içeriğinin yüksek oluşu ve küllüde daha fazla tepkimeye girmemiş karbon bulunması gibi dezavantajlar, uygun tasarım tekniklerinin geliştirilmesiyle azaltılabilmektedir (Pişkin ve Karaosmanoğlu, 1998).

### SÜRÜKLEMELİ YATAKTA GAZLAŞTIRMA

Bu sistemde çok ince öğütülmüş olan kömür, su buharı ve oksijen ile birlikte gazlaşma odasına püskürtülür (Şekil 3). Burada katının hızı, gaza oranla çok daha çabuk azaldığı için gaz ile katı tanecikler arasında büyük bir bağıl hız farkı oluşur. Yüksek sıcaklıkta gaz/katı arasında oluşan sınır filmi bu büyük hız farkı nedeniyle ya bozulur ya da film kalınlığı çok azalır. Böylece katının gaza dönüşüm hızı artar. Gazlaşma sıcaklığı 1300°C'nin üzerinde olan bu yöntem, şişme özelliğine bağlı olmaksızın her cins kömür ve kokun gazlaştırılmasında kullanılabilir (Bozkurt, 2005).

### ERİYİK YATAKTA GAZLAŞTIRMA

Eriyik yatak, katı ve gaz reaktanlar arasındaki ısı ve kütle taşınımını artırmak için tuz eriyiği gibi bir faza sahiptir. Bu tip gazlaştırıcılarda kömür, su buharı, hava ya da oksijen eriyik yatağa beslenir ve tepkime gerçekleşir. Yatağın sıcaklığı yaklaşık 980°C, işlem basıncı ise 1-19 atm arasında değişebilir. Beslenen kömürün tane boyutu 0-6 mm arasındadır. Gazlaştırma sırasında kömürün ısınması hızlı olur, yağ oluşturmaz, uçucular ayrışır ve yapısı hızla bozularak parçalanır. Sabit, akışkan ve sürüklemeli proseslerin aksine, kömür boyutu

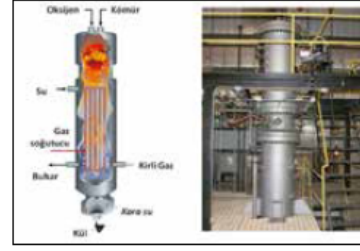
ve cinsi kısıtlayıcı bir faktör olmayıp; yüksek küllü ve yüksek kükürtlü kömürler de bu sistemde kolaylıkla gazlaştırılabilir. Ayrıca, kükürdün eriyik tarafından tutulması, temiz gaz üretimine olanak sağlar. Ancak bu tip gazlaştırıcının ısı kaybı, eriyik içeriği, cüruf ve küllün uzaklaştırılması gibi sorunları vardır (Pişkin ve Karaosmanoğlu, 1998; Ateşok, 2009).

### GÜNEŞ ENERJİLİ GAZLAŞTIRMA YÖNTEMİ

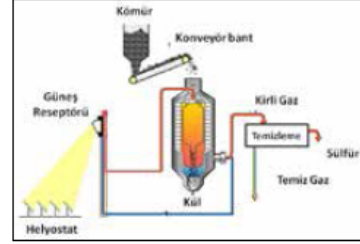
Gazlaştırma yöntemlerindeki temel tepkimelerin endotermik olması nedeniyle önemli miktarlarda enerji gerektirmektedir. Gazlaştırıcının enerjisini sağlamak için güneş enerjisi alternatif bir enerji kaynağıdır (Şekil 4). Güneş enerjili endüstriyel gazlaştırma proseslerinin geliştirilmesi için teknik ve ekonomik çalışmalar halen devam etmektedir. Güneş enerjisi gazlaştırmada odaklanmış bir noktaya yöneltilmiş halde kullanılmaktadır. Ayrıca, güneş enerjisi hibrit sistemlerde de uygulanabilmektedir (Ateşok, 2009). Güneş enerjili bir gazlaştırma yöntemi Şekil 4'de gösterilmiştir. Günümüzde, güneş enerjisi kullanan ticari bir kömür gazlaştırma tesisi yoktur. Ancak bu tip tesislerin teknik ve ekonomik açıdan olabirliği, 107 GJ/yıl kapasiteli sentez gazı ve hidrojen üretimi için Baykara ve Bilgen (1985) tarafından incelenmiş olup; güneş enerjili gazlaştırıcılarda %30 kömür tasarrufu ve gazlaştırma veriminde %25 artış sağlanabileceği belirtilmiştir. Ayrıca; güneş enerjili gazlaştırıcılarda ek oksijen tesisine de ihtiyaç duyulmamaktadır (Ateşok, 2009).

### NÜKLEER ENERJİLİ GAZLAŞTIRMA YÖNTEMİ

Atomun çekirdeğinden elde edilen nükleer enerji, gazlaştırma proseslerindeki bir diğer alternatif enerji kaynağıdır. Nükleer enerji, reaktörden gazlaştırma ünitesine iletilir, her iki ünitenin izolasyonu ile verimlilik artı-



Şekil 3. Sürüklemeli yataklı gazlaştırıcı ve pilot ölçekli bir uygulaması

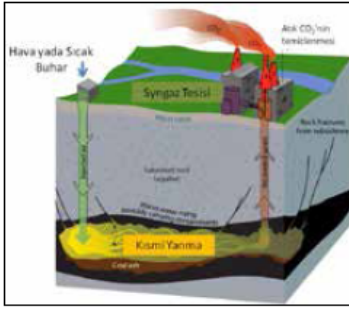


Şekil 4. Güneş enerjili gazlaştırma yöntemi

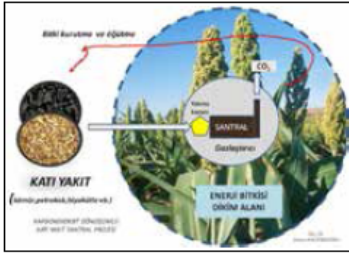
nlabilir. Gazlaştırmada nükleer enerjinin uygulanmasına örnek olarak, Gaz soğutmalı yüksek sıcaklık nükleer reaktörü (HTR) kullanımı verilebilir. HTR reaktörü-gazlaştırıcı ünitesi kombinasyonu Avrupa ülkelerinde kullanılmaktadır. Örneğin, Almanya'da bu yöntemle sentetik doğal gaz üretilmektedir. Bu yöntemde gaz maliyetinde %25, kömür tüketiminde %40 ve CO<sub>2</sub> emisyonunda ise %33 oranlarında azalma olduğu belirtilmektedir. Nükleer enerji ile gazlaştırmada, proses ısısının sağlanmasının avantajları olarak; özellikle Avrupa ülkeleri başta olmak üzere gaz üretim maliyetindeki düşüş, kömür rezervlerinin korunması ve çevresel sorunların azaltılması sayılabilir. Dezavantajları ise; nükleer atıkların depolanma sorunu, tesislere lisans verme süresinin uzun olması nedeniyle sigortalama gerekliliği ve büyük riskleri olan yeni bir prosesin geliştirilmesi için uzun zaman ve yüksek maliyet gerektiği şeklinde sıralanabilir (Ateşok, 2009).

### YERALTINDA GAZLAŞTIRMA YÖNTEMİ

Kömürün yeraltında gazlaştırılmasıyla ilgili çalışmalar 1920'li yıllarda



Şekil 5. Yeraltında gazlaştırma işlemi



Şekil 6. Gazlaştırma prosesinden çıkan karbondioksitin tutulması projesi (Hacıfazlıoğlu, 2018)

İngiltere'de başlamış, 1930'lu yıllarda Sovyetler Birliği'nde yaygınlaşmış ve 1970'lerden başlayarak ABD, Avustralya, Çin, Güney Afrika ve İngiltere, İspanya gibi Avrupa devletlerinde modern delme tekniklerinin desteğiyle kolaylıkla uygulanabilir düzeye ulaşmıştır. Ancak endüstriyel ölçekte uygulamaları ucuz petrol ve doğal gaz nedeniyle askıya alınmıştır. Petrol ve doğal gaz rezervlerinin azalmaya başlaması ve aşırı pahalı hale gelmesiyle 19. yüzyılda endüstri devriminin başlangıcında çok önemli katkısı olan kömür, 21. yüzyılda eski popülaritesine kavuşacak gibi görünmektedir. Çıkarılmasının ve taşınmasının maliyetli olması ve yakılarak ısı ve elektrik üretilmesi halinde çevreye çok zarar vermesi nedeniyle kömürün yer altında gazlaştırılması uygulanabilir hale gelmiştir. Dünya genelinde yer altı kömür gazlaştırması yapan 50'den fazla pilot tesis bulunmaktadır ve bunların 30'undan fazlası Amerika'dadır (Tunç, 2015). Gazlaştırma teknolojileri içerisinde en düşük maliyetli gazlaştırma yöntemi yerinde gazlaştırma yöntemidir. Bu yöntemde, kömür yatağın-

dan çıkarılmadan yerinde gazlaştırılır. Gazlaştırma yönteminin uygulanabilmesi için önce kömür yatağına 2 düşey kuyu inilir. Daha sonra bu kuyulardan birine yakıcı gazlar gönderilir. Tutuşan kömür kısmen yanmaya uğrar ve damarda oluşan gazlar üretim kuyusundan toplanarak gaz temizleme ünitesine gönderilir. Üretilen gaz, nem ve diğer yanıcı olmayan gazlardan temizlendikten sonra "syngaz" diye bilinen yapay doğal gazı çevrilir (Şekil 5).

### SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Gazlaştırma işleminde en önemli problem gaz üretmek değil, üretilen gazı temizleme işlemidir. Bu işlemde önce gazın içerisindeki su buharı alınır, daha sonra istenmeyen gazlar (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> gibi) yapay gaz içerisinden uzaklaştırılır. Atılan karbondioksit sera gazı etkisi yarattığı için önemli bir kirleticidir. Gazlaştırma sonucunda ortaya çıkacak olan zararlı gazların bertarafı için önerilebilecek bir yöntem Şekil 6'da gösterilmiştir (Hacıfazlıoğlu, 2018). Bu yöntemde, kurulacak olan gazlaştırma tesisinin etrafına fil çimene, tatlı sorgum, dalı darı gibi enerji bitkileri ekilmekte ve gazlaştırma tesisinden çıkan karbondioksit ve su buharı gibi maddeler bu bitkiler tarafından aşağıda verilen reaksiyonda görüldüğü gibi fotosentez yoluyla tutulmaktadır. Ayrıca, çok hızlı büyüyen bu bitkiler her yıl hasat edilecek ve gazlaştırılarak enerji çevrimine diğer biokütle veya kömürle birlikte dâhil olacaktır.



### KAYNAKLAR

- Mançuhan, C. 2006. Kömürün Yeraltında Gazlaştırılması, Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi, Temmuz-Ağustos Sayı: 9.s.1-3.
- Bözkurt Y., 2005. Kömür ve Kokların Katalitik Gazlaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara.

Baykara S.Z., Bilgen E., 1985. Synthesis Gas and Hydrogen Production from Solar Gasification of Albertan Coal Energy Conversion and Management, 25(4), 391.

Pişkin S., Karaosmanoğlu F., 1998. Gasification of Coal, Characteristics, Technology and Environmental Relations of Coal, 533-555, ed. Orhan Kural.

Pişkin S., 1991. Coal Gasification, Coall, Ch. 21, 654-721, ed. Orhan Kural (Türk.)

Ateşok G., 2009. Kömür Kullanımı ve Temiz Kömür Teknolojileri, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları.

Ateşok G., Sirkeci A.A., 2009. Gazlaştırma Teknolojisinin Endüstriyel Uygulamalar Bazında Bugünü ve Geleceği, Türkiye 21. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi TUMKS'09 Bildiriler Kitabı, Sayfa 465-476, Antalya.

Tarakçıoğlu, A. 2015. Bazı Türk linyitlerinin Akışkan Yataklı Gazlaştırıcıda Gazlaştırılması, Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi s. 99.

Pişkin S., Karaosmanoğlu F., 1998. Kömürün Gazlaştırılması, Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, Editör: Orhan Kural, Sayfa 533-569.

Keltüoğlu C., 2014. Trakya Kömürlerinin Gazlaştırılması Olanakları ve Ekonomikliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne.

Hacıfazlıoğlu, 2018. Kömür Hazırlama Ders Notları, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fak. Maden Müh. Bölümü. Avcılar/İSTANBUL.

Mastalerz, M., Droloniak, A., Parke, M., Rupp, J., 2011. Site Evaluation Of Subsidence Risk, Hydrology and Characterization of Indiana Coals For UCG.

Tunç İ., 2015. Yarı Pilot Ölçek Yer Altı Kömür Gazlaştırma Deney Düzenğinde Malkara Piriççeşme Kömür Sahasına Ait Blok Kömür Örneklerinin Gazlaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı, İstanbul.

Tolay M., Yamankaradeniz H., Daradimos G., Hirschfelder H., Vostan P., 2008. Temiz Enerji Üretimi İçin Gazlaştırma Teknolojisi, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 131-138.