

Makale Gönderim Tarihi: 05.04.2021

Yayına Kabul Tarihi:29.05.2021

Kömür Gazlaştırmanın Türkiye Açısından Stratejik Önemi *Strategic Importance of Coal Gasification For Turkey*

Metin Aktan ^{1*}¹ *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü, Ankara** e-mail: metin.aktan@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3393-733X

Özet

Kömürün dünya genelindeki ağırlıklı üretimi ve tüketimi batıdan doğuya doğru kaymış olup; kömür, her şeye rağmen dünya birincil enerji tüketimindeki yerini en ön sıralarda sürdürmeye devam etmektedir. Türkiye, birincil enerji kaynakları bakımından dışa bağımlı olduğundan cari açığın yarısından fazlasını enerji giderleri oluşturmaktadır. Enerjideki dışa bağımlılığın azaltılabilmesi için yerli kömür kaynaklarının yüksek teknoloji ile işlenip gazlaştırma/sıvılaştırma amaçlı değerlendirilebilmesi, ulusal güvenlik açısından önemli bir konudur. Petrol ve doğal gazda yaşanabilecek bölgesel veya küresel bir kriz, Türkiye açısından en önemli risk faktörlerinden biridir. Enerjide kendi kendine yeten bir ülke olabilmenin en önemli yolu, kaynak çeşitliliğini arttırmanın yanında yerli kömür kaynaklarını yerli teknolojilerle yüksek katma değerli ürünlere dönüştürebilmekten geçmektedir. Bu çalışmada, kömürün dünya ve Türkiye özelindeki mevcut durumu ve geleceği ile ilgili tahminlerle birlikte, kömür gazlaştırmanın mevcut durumu ve geleceği ile ilgili bilgilere de yer verilmektedir. Ayrıca Türkiye açısından kömür gazlaştırma ürünlerinin stratejik öneminden bahisle, Pazar analizlerine yer verilerek, çeşitli önerilerde bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kömür, Kömür Gazlaştırma, Gazlaştırma Ürünleri, Türkiye Kömür Stratejisi.

Abstract

The predominant production and consumption of coal around the world has shifted from west to east countries. No matter how shifting west to east coal's production is, coal continues to be at the forefront of the world's primary energy consumption. Turkey's energy costs constitute more than half of the deficit because of dependency on primary energy sources.

It is an important national security issue to be able to process domestic coal resources with high technology and use them for gasification / liquefaction in order to reduce foreign dependency on energy. One of the major risk factors for Turkey is a regional or global crisis that may arise in petroleum and natural gas. The most important way to become a self-sufficient country in energy is to increase the diversity of resources, as well as to transform domestic coal resources into high value-added products with local technologies.

In this study, the current status of coal, future of coal with predictions, and coal gasification information and future prospects are given globally and specifically so as to include Turkey. Furthermore, emphasizing the strategic importance of coal gasification products for Turkey, some suggestions are made by analyzing the Turkish market.

Keywords: Coal, Coal Gasification, Gasification Products, Turkey's Coal Strategy.

1. Giriş

Kömür, kamuoyundaki tüm olumsuz önyargılara rağmen her dönemde vazgeçilemeyen bir yakıt ve enerji kaynağı olmuştur. Sıfır emisyon hedefiyle üzerinde birçok araştırma ve teknolojik geliştirme yapılan kömür, en önemli fosil kaynaklardan biridir. Petrol ve doğalgaz rezervlerinin sınırlı ve azalmış olması, fiyat istikrarsızlığı, nükleer santrallere karşı devam eden tereddütler, su, güneş ve rüzgâr gibi enerji kaynaklarının mevsime ya da yerel şartlara göre değişkenlik göstermesi, zorlu kış şartlarında güneş ve rüzgâr santrallerinin yetersiz kalması (Reuters, 2021) gibi nedenlerle kömür vazgeçilemeyen bir enerji kaynağı konumundadır.

Kömürün mevcut durumu, kömürün geleceği, ülkemiz kömür politikaları ve kömürle ilgili önerileri içeren çeşitli çalışmalar (Önal, 2005; Şengüler, 2009; Aktan, 2016; TÜBA, 2018; Avşaroğlu, 2019; İnal ve ark, 2021; Tamzok, 2021a) uzun yıllardır farklı platformlarda yayımlanmaktadır. Ayrıca son yıllarda temiz kömür teknolojileri, kömür gazlaştırma ve iklim değişikliğinin önlenmesinde kömürün yerini tartışan ve çeşitli politika ve vizyon önerilerini içeren bir çok çalışma da (Yeldan & Voyvoda, 2015; TÜBA, 2018; Aktan, 2020; Tamzok, 2021a; Tamzok, 2021b) yayımlanmıştır.

Bu çalışma ise, kömür gazlaştırmanın Türkiye ekonomisi açısından stratejik önemine ilişkin istatistiki ve ekonomik veriler içeren detaylı bir araştırma içermesi ve kömür gazlaştırma ürünlerinin dünya ve Türkiye özelindeki kullanım alanını kapsamlı bir Pazar analiziyle içermesi yönleriyle diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

2. Kömürün Mevcut Durumu ve Geleceği

Dünya birincil enerji ihtiyacının yaklaşık üçte biri kömürden sağlanmaktadır (BP, 2019). Kömürün dünyanın farklı yerlerindeki geniş rezerv dağılımı ve düşük maliyeti sayesinde ekonomik büyümeye ve sosyal gelişmeye olan katkısının düşük bir ivmeyle de olsa kesintisiz olarak süreceği aşikârdır. İstihdam miktarı ve yan sanayilere olan çarpan etkisi nedeniyle, özellikle gelişmekte olan ülkelerde kömürün önemini büyük oranda sürdüreceği görünmektedir. Gelişmiş yakma teknolojileri (HELE: High Efficiency Low Emission), düşük emisyon değerleri ve yakalanan yüksek verimlilik oranları ile kömürün çevresel dezavantajları 2000’li yıllar öncesine göre büyük oranda azalmış olmasına rağmen, uzun vadede iklim değişikliği ve küresel ısınma bağlamında sektörü zorlu bir süreç beklemektedir.

IEA’nın düşük karbon emisyonları öngörüsüne dayalı olan iyimser “Yeni Politikalar Senaryosu”nda kömürün 2040 yılında küresel enerji arzı içerisindeki payının %21,4 düzeyinde olacağı tahmin edilmektedir (IEA, 2019).

Dünyanın en büyük kömür rezervlerine sahip olan ABD, kaya gazı devrimiyle birlikte kömür üretimini önemli oranlarda azaltmış ve karbonsuzlaştırma konusundaki çalışmalara bütçe ayırmaya devam etmiştir. Avrupa’daki ülkelerden Almanya ve Polonya hariç tamamı kömür üretiminden vazgeçme üzerine önemli adımlar atmışlardır. Almanya ve Polonya ise sırasıyla 2038 ve 2050 yılları civarında kömürden çıkacaklarını beyan etmektedirler. (Tamzok, 2021a).

Çin’in 2021-2025 yıllarını içeren 5 Yıllık Planı’nda yer alan karbon-nötr stratejisine göre ise kömür yatay seyrini korumaya devam edecektir. Endüstriyel ve ısınma amaçlı kömür kullanımını azaltmayı planlayan Çin, elektrik üretimi amaçlı kullanımı ise sürdürmeyi planlamaktadır. Küresel karbon salımının %29’unu tek başına yapan Çin’in, tüm çabalarına rağmen 2025 yılındaki karbon salımını mevcut duruma göre 1,5 kat artacağı öngörülmektedir (Tamzok, 2021b).

2000-2019 yılları arasında dünyanın en büyük kömür rezervlerine sahip ABD'nin kömür tüketimi %44, İngiltere'nin %85, Kanada'nın %51, Avustralya'nın %21,2 ve Polonya'nın ise %20,9 oranında azalmıştır (IEA, 2019). Bu azalmanın en önemli nedeni, eski teknolojiye sahip ekonomik ömürlerini doldurmuş olan termik santrallerin kapatılması ve yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte doğal gaz, şeyl gazı ve petrolün kömürün yerini almasıdır.

Batıdaki kömürsüz gelecek politikalarına rağmen, Asya-Pasifik ülkelerinde kömürün önemi ve yükselişi sürmektedir. Özellikle Çin, Hindistan, Endonezya, Avustralya ve Rusya özelinde kömür üretimleri artmakta ya da yatay bir seyir izlemekte; kömür üzerine yapılan Ar-Ge projelerine ise her geçen yıl daha fazla bütçe ayrılmaktadır.

Her ne kadar Batı ülkelerinde kömür kullanımı azalsa da, sürdürülebilir kalkınma açısından temiz kömür teknolojileri, karbon tutma ve depolama (CCUS: Carbon Capture Utilization and Storage) ile ilgili Ar-Ge çalışmalarına birçok gelişmiş ülkede hız verilmekte olup, özellikle kömür gazlaştırma ve sıvılaştırma yatırımları son 20 yılda daha da arttırılmaktadır. Örneğin 2017 yılında önemli adımlar atılmış olup, dünyanın en büyük karbon tutma ve depolama projesi olan Petra Nova Carbon Capture projesi devreye alınmıştır (Avşaroğlu, 2019).

Temiz kömür teknolojilerinin en üst sıralarında yer alan kömür gazlaştırma ile daha verimli ve çevresel normlara uygun kömür tüketimi öne çıkmakta olup, yüksek katma değerli ürünlerden olan amonyak, üre, gübre, metanol ve türevleri, sentetik doğalgaz (SNG), dizel, uçak yakıtı ve petrokimyasallar ile yan ürün olarak kükürt, sülfürik asit vb. elde edilebilmektedir.

1950'li yıllardan itibaren kömürün gazlaştırma ve sıvılaştırma teknolojisindeki yenilikler, özellikle linyitin hammadde olarak kullanılmasındaki ilerlemeler, birçok ülkede gazlaştırmanın önem kazanmasına yol açmıştır.

Kömürün mevcut durumu ve gelecek projeksiyonlarına Türkiye açısından bakıldığında ise henüz yerli kömürle ilgili istenilen çıtanın yakalanamadığı görülmektedir. Türkiye linyit kömürü açısından oldukça zengin kaynaklara sahip olmakla birlikte kömür alt ısıl değerlerinin düşük olması, kül, kükürt ve nem oranlarının ise yüksek olması sebebiyle çevreye duyarlı yeni teknolojilerin gereksinimi söz konusudur ve bu konu Türkiye açısından büyük önem arz etmektedir.

Yeraltı üretim maliyetlerinin düşük olması şartıyla, özellikle elektrik üretimi amaçlı kömür kullanımının dünya birincil enerji üretimindeki yerini muhafaza edeceği birçok uluslararası kuruluş (IEA, 2019; BP, 2019) tarafından dile getirilmektedir. Aynı şekilde Türkiye açısından da emre amadeliği yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha yüksek olan linyit dışında alternatif bir yerli enerji kaynağı görünmemektedir.

Türkiye birincil enerji tüketimi yıllık artış oranı son on yılda ortalama %3,4 düzeyinde gerçekleşmiştir. Birincil enerji arzı 2018 yılında bir önceki yıla göre %1,1 azalarak 143,67 mtep olmuştur. Bu arzın kaynaklara dağılımında ilk sırayı 41,91 mtep ile ham petrol ve petrol ürünleri alırken, 41,17 mtep ile doğalgaz ikinci sırada, 41,03 (taşkömürü, linyit, asfaltit, kok) mtep ile de kömür üçüncü sırada yer almıştır (EİGM, 2019).

Türkiye'nin artan enerji talebinde yerli kömür kaynaklarının yeterince verimli değerlendirilemediği görülmektedir (TÜBA, 2018). Elektrik üretimi amaçlı kurulan/kurulacak yerli kömür kaynaklı termik santral projeleri çeşitli nedenlerden dolayı (düşük karlılık, elektrik fiyatlarının

düşüklüğü, üretim maliyetlerinin yüksekliği gibi) son derece az olup, ithal kömür kaynaklı termik santrallerin sayısı ise son 20 yılda önemli oranda artış göstermiştir. İthal edilen kömür miktarının her yıl daha da artması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının yüksek bir ivmeyle artmasına rağmen enerji arzını karşılamakta henüz yetersiz kalması, hidrolik santraller dışında kurulan elektrik üretimi amaçlı santrallerin daha çok doğalgaz ve ithal kömür kaynaklı olması ve bu durumun da enerji ithalatından kaynaklanan cari açığı arttırması, kömür projelerine olan yatırımcı ilgisinin son yıllarda oldukça azalması ve santral kurulum şartlı kömür sahaları ihalelerinin istenilen ölçüde gerçekleştirilememesi gibi nedenler, kömürle ilgili politika ve stratejilerin yeniden gözden geçirilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle, Türkiye’de kömürün geleceği açısından mevcut kömür politikalarının uzun vadede sürdürülebilir olmadığı değerlendirilmektedir.

Türkiye, birincil enerji kaynakları bakımından dışa bağımlı olduğundan cari açığın yarısından fazlasını enerji giderleri oluşturmaktadır. Önal (2005), Aktan (2016), TÜBA (2018), Aktan (2020) ve Tamzok (2021a)’ya göre enerjideki dışa bağımlılığın azaltılabilmesi için yerli kömür kaynaklarının yüksek teknoloji ile işlenip gazlaştırma/sıvılaştırma amaçlı değerlendirilebilmesi, ulusal güvenlik açısından önemli bir konudur. Petrol ve doğal gazda yaşanabilecek bölgesel veya küresel bir kriz, Türkiye açısından en önemli risk faktörlerinden biridir. Enerjide kendi kendine yeten bir ülke olabilmenin en önemli yolu, kaynak çeşitliliğini arttırmanın yanında yerli kömür kaynakları gibi mevcut kaynakların kullanımını yönünde yerli teknolojileri geliştirmektir.

Türkiye için en önemli konulardan biri de ithal enerji kaynakları ile üretilen amonyak, üre gibi tarımsal amaçlı ürünler ile alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), polipropilen (PP) gibi çeşitli petrokimyasal ürünlerdir. Bu ürünlere ait hammadde kaynağı ağırlıklı olarak doğal gazdır. Hammadde kaynağında yaşanabilecek tedarik riskleri, cari açık açısından ilave döviz borçlanması anlamına geleceğinden ithal kaynaklarla üretilen gazlaştırma ürünleri yerine, yerli kömürden üretilen gazlaştırma/sıvılaştırma ürünlerine yönelmek, stratejik bir vizyon olmalıdır (Aktan, 2020).

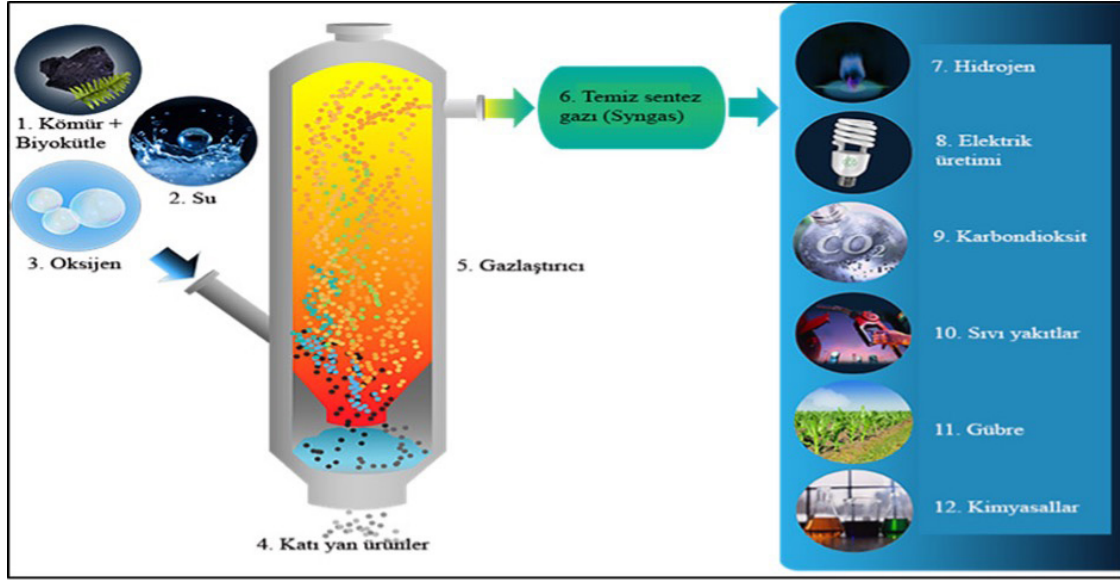
Petrol ve doğalgaz kaynakları kısıtlı olmasına rağmen kömür kaynakları daha fazla olan birçok ülke gibi Türkiye de yerli linyit kömürü kaynaklarını değerlendirebilmek için çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Türkiye linyit kaynakları, düşük ısı değer, yüksek kül ve kükürt değerlerinden dolayı ağırlıklı olarak termik santral amaçlı kullanılmakta ve yeni kaynakların da aynı kapsamda elektrik üretimi için kullanılması planlanmaktadır.

Dolayısıyla yerli kömür kaynaklarının katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülebilen gazlaştırma/sıvılaştırma gibi yeni ve temiz teknolojiler ile değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu durum yeni nesil termik santrallerin önümüzdeki yıllarda Kyoto Protokolü, Paris İklim Anlaşması ve AB Çevresel Kriterleri’nin kısıtlayıcı önlemleri ve mali yaptırımları (karbon kredisi gibi) ile yüzleşeceği dikkate alındığında daha da önem kazanmaktadır.

Yerli kömür gazlaştırma/sıvılaştırma teknolojileri henüz gelişim evresinde olup pilot ölçekte çeşitli Ar-Ge çalışmaları sürdürülmektedir. Mevcut durumda ticari amaçlı gazlaştırma projelerinin yapılabilmesi için ithal teknoloji ve makine-ekipman gerekmektedir. İthal kaynaklı yatırım projelerinin uygulanmasında ilk yatırım maliyetleri ve işletmecilik giderleri son derece yüksek (Aktan, 2020) olduğundan projelerin şimdilik uygulanabilirlik imkânı bulunmamaktadır. Bu kapsamda kömür gazlaştırma ve sıvılaştırma alanlarındaki yerli Ar-Ge çalışmalarının vakit kaybetmeksizin geliştirilerek, ticari ölçekte kurulabilecek yatırım projelerine yerli imkânlarla başlanması son derece önemlidir.

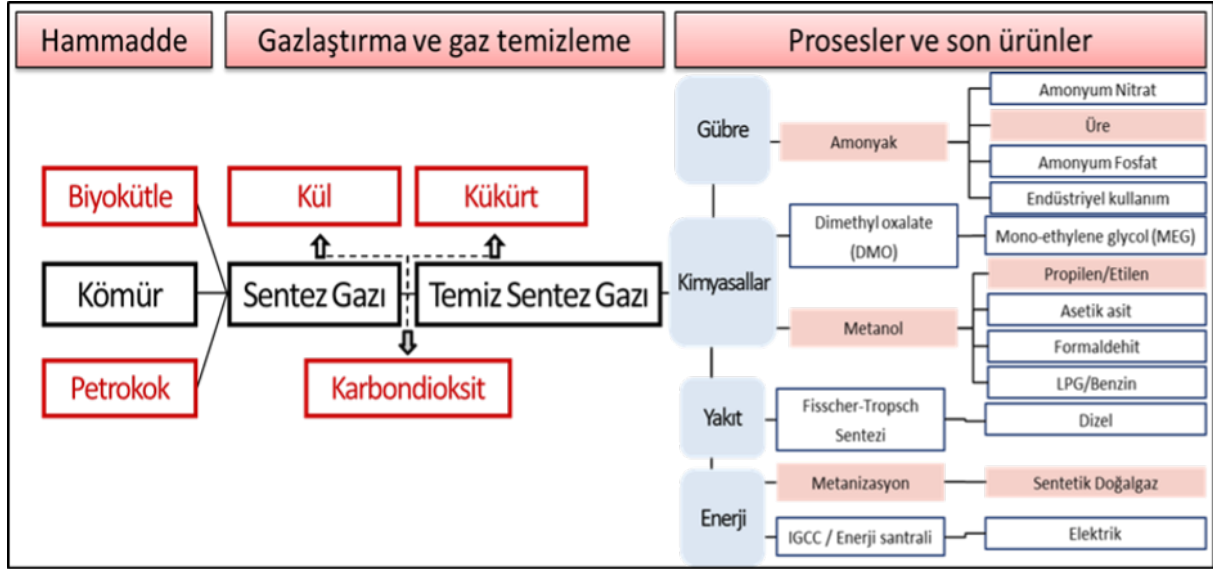
3. Kömür Gazlaştırma ve Önemi

Gazlaştırma, kömür, petrokok, biyokütle, evsel veya sanayi atıklarının yüksek ısı (>700 °C) ve basınç (<10 MPa) altında kontrollü bir şekilde oksijen ve buhar kullanılarak yanma olmaksızın tamamen kimyasal reaksiyon yoluyla sentez gazına (CO+H₂) dönüştürme işlemidir (Aktan, 2020). Sentez gazı; kullanılan hammaddeye bağlı olmakla beraber genel olarak içerisinde %30-60 oranında karbon monoksit, % 25-30 hidrojen, %0-5 oranında metan, % 5-15 oranında karbon dioksit, su buharı, kükürt, hidrojen sülfat ve amonyak içerir (NETL, 2020). Gazlaştırmaya ait basit akım şeması Şekil 1'de, ürünlerin gösterildiği akım şeması ise Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 1. Gazlaştırma işlemine ait temel şema (Aktan, 2020)

Sentez gazı, gazlaştırma amacına yönelik bir dizi işlemde geçirilerek; gübre (amonyak, üre), boru hattı kalitesine uygun sentetik doğalgaz (SNG), hidrojen ve ulaşımda kullanılan yakıtlar (dizel ve jet yakıtı) dışında petrokimyasallar, metanol, etanol, polietilen (PE), polipropilen (PP), Dimetil Eter (DME) ve asetik asit gibi yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülebilmektedir. Sentez gazı ayrıca elektrik enerjisi üretiminde Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim Teknolojileri vasıtasıyla (IGCC: Integrated Gasification Combined Cycle) yüksek verimle ve daha çevreci olarak tüketilmektedir (Aktan, 2020).



Şekil 2. Kömür gazlaştırma işlemi ve ürünler (TKİ, 2015)

Kömür, teknoloji sayesinde son derece stratejik ve yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülebilmektedir. Özellikle linyitin hammadde olarak kullanılmasındaki ilerlemeler, son yıllarda alternatif bir çözüm olarak petrol bağımlısı gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere, birçok ülkede gazlaştırmanın önem kazanmasına yol açmıştır.

Gazlaştırma/sıvılaştırma teknolojileri kömürün daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Örneğin kömürün gazlaştırılarak SNG'ye dönüştürülmesi sonrasında elektrik üretimi amaçlı yakılması, termik verimliliğinin %35-40'lardan %50-60'lara kadar yükselmesine neden olmakta ve kömür içeriğindeki karbonun hemen hemen tamamının kullanılmasını sağlamaktadır (Aktan, 2020).

Gazlaştırma tesislerinin emisyon değerleri, Avrupa Birliği ve ülkemizin bugünkü ve gelecek çevresel hedef kriterlerini karşılamakta olması ile diğer konvansiyonel tesislere kıyasla önemli çevresel avantajlara sahip durumdadır (TKİ, 2015; Aktan, 2020).

Günümüzde kömür kaynağının kullanımının önündeki en büyük engellerden biri, diğer fosil yakıtlara kıyasla daha çok karbon emisyonu yaymasıdır. Kömürün gazlaştırılması/ sıvılaştırılması teknolojisi, beraberinde karbon tutma ve depolama imkânı da getirmektedir. Kömür gazlaştırma, kükürt ve civa gibi kömürün elektrik üretiminde yakılması ile açığa çıkan ve insan sağlığı ve çevre açısından önemli sorunlar oluşturan emisyon veya atıkların neredeyse tamamının gaz temizleme işlemi sonrasında geri kazanılmasını sağlamaktadır (TKİ, 2015; Aktan, 2020).

Gazlaştırma tesislerinde düşük kalorili ve yüksek kükürt oranlı linyit ile petrol koku, karbon içerikli evsel ve sanayi atıkları, orman ve tarımsal atıklar, hammadde olarak kullanabilmektedir. Proses sırasında açığa çıkan CO₂, SO₂, NO_x, civa gibi zararlı çevresel etkisi olan atıklar ise büyük oranda tutularak geri kazanım sağlanmaktadır. Gazlaştırma teknolojileri, konvansiyonel yanma teknolojilerine sahip elektrik santrallerine göre çok daha iyi emisyon değerlerine sahip olmaktadır. Üretilen sentez gazının içerisindeki kükürt, ileriki safhalarda saf kükürt veya sülfirik asite dönüştürülerek, yan ürün olarak kimya sektörüne satılmaktadır. Kömür içeriğindeki kül, gazlaştırıcı reaktöründe yol dolgu maddesi olarak geri kazanılmaktadır. Ayrıca proses sonunda açığa çıkan saf ve yüksek basınçlı CO₂ ise pazar imkanına göre içecek endüstrisi veya petrol

ve doğalgaz aramalarında kullanılmak üzere satılabilmekte veya depolanabilmektedir. Kısaca kömürün gazlaştırılması, hem insan sağlığı ve çevre açısından hem de verimlilik anlamında çok yüksek avantajlara sahip bulunmaktadır (TKİ, 2020; Aktan, 2020).

4. Dünya’da ve Türkiye’de Kömür Gazlaştırma

İlk olarak K.W. Siemens tarafından kullanılan kömürün gazlaştırılması prosesi, 1860 yılından itibaren uygulanmaktadır. 1920-1950 yılları arasındaki dönemde çağdaş gazlaştırma teknikleri önemli gelişmeler göstermiştir (Ziypak, 2015). Bu teknikler; Wellman ve Lurgi sabit yatak, Koppers-Totzek sürüklemeli yatak ve Winkler akışkan yatak gazlaştırıcılar endüstriyel ölçekte yaygın kullanılmıştır. Teknoloji sahibi en önemli firmalar ise Lurgi, Uhde (Krupp), Shell, Siemens, GE, Texaco, KBR, BGL, Chevron, Eastman ve Ugas olarak sıralanmaktadır (TKİ, 2015).

Kömür gazlaştırma ile;

- Taşıma sistemlerinde kullanılan sıvı yakıt üretimi (Fischer Tropsch) ikinci dünya savaşı sırasında,
- Amonyak/üre üretimi 1950’li yıllarda,
- Kimya endüstrisinin kullanımı 1960’lı yıllarda,
- Rafinerilerde kullanımı 1980’li yıllarda,
- Güç üretim sistemlerinde kullanımı ise son yıllarda gerçekleştirilmiştir (Ziypak, 2015).

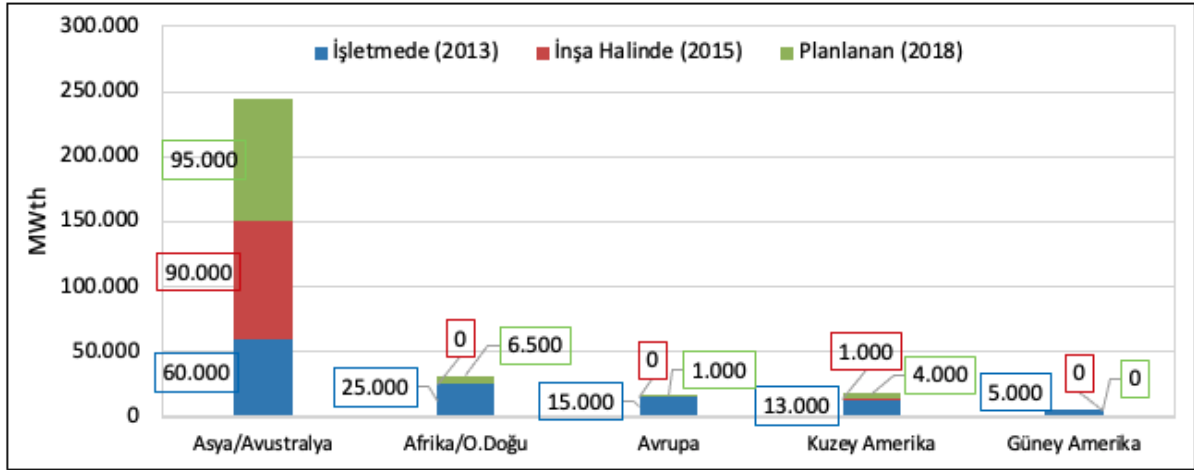
Kömürün gazlaştırılmasından elde edilen yakıtlar, gelecek yıllarda petrol ve doğal gazın yerini alacak en güçlü adaylar olarak görünmektedir. 1950’li yıllarda öncelikle taşkömürünün koklaşmasında yan ürün olarak elde edilen benzen ve asfalt, boya ve ilaç sanayiinde hammadde olarak kullanılmıştır. 20. yüzyılın başında kömürden yağ, gaz ve kimyasal madde üretimi alanında büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. 1950’lerde petrol, tüm sanayi alanlarına baskın bir şekilde girdiğinden kömür gazlaştırma ile bu tür yakıtlar üretilmesine gerek kalmamıştır. Ancak 1973-75 yıllarında yaşanan petrol sıkıntısı yüzünden kömürün gazlaştırılması ve sıvılaştırılmasına duyulan ilgi ve araştırmalar yeniden artmıştır (TKİ, 2015; Aktan, 2020).

1995 yılından itibaren dünyanın pek çok ülkesinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanan gazlaştırma teknolojisi, bugün en hızlı gelişen enerji teknolojilerinden birisi haline gelmiştir.

4.1. Dünyada Kömür Gazlaştırma

Kömürün gazlaştırması sonucu çeşitli kimyasallar, gübre, yakıt ve enerji gibi çeşitli stratejik ürünler elde edilmektedir. Şekil 3’ten de anlaşılacağı gibi bugün dünyada çoğunluğu Çin, ABD ve Güney Afrika’da olmak üzere birçok gazlaştırma tesisi bulunmaktadır. Asya ve Avustralya’daki işletmede olan mevcut kapasite 60.000 MWth’in üzerinde olup, inşa halindeki kapasite yaklaşık 90.000 MWth ve planlanan proje halindeki 90.000 MWth’lık kapasite ile birlikte toplamda yaklaşık 250.000 MWth’lık bir kapasite hedeflenmektedir (Aktan, 2020).

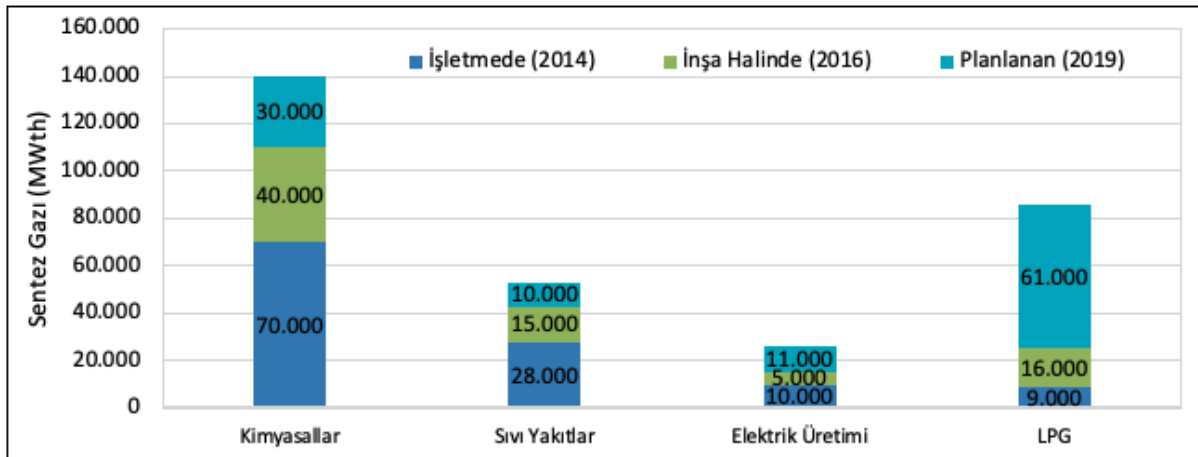
Kömür gazlaştırma teknolojisi ile ilgili dünyada büyük aşama kaydetmiş en önemli ülkelerden birisi Güney Afrika’dır. Güney Afrika, ham petrol rezervlerine sahip olmaması nedeniyle 1950’lerden itibaren kömür gazlaştırma teknolojisi ile SASOL I, II ve III’ün kurulumunu başlatmış, petrokimya ve yakıt ürünlerinin %60’ını bu yolla elde etmiştir (Aktan, 2020). Yeter miktarda petrol ve doğal gazı olan İran’da bile bir adet kömür gazlaştırma tesisi bulunmaktadır (GSTC, 2019b).



Şekil 3. Dünya geneli gazlaştırma tesisleri (tüm yakıtlar) (Aktan, 2020)

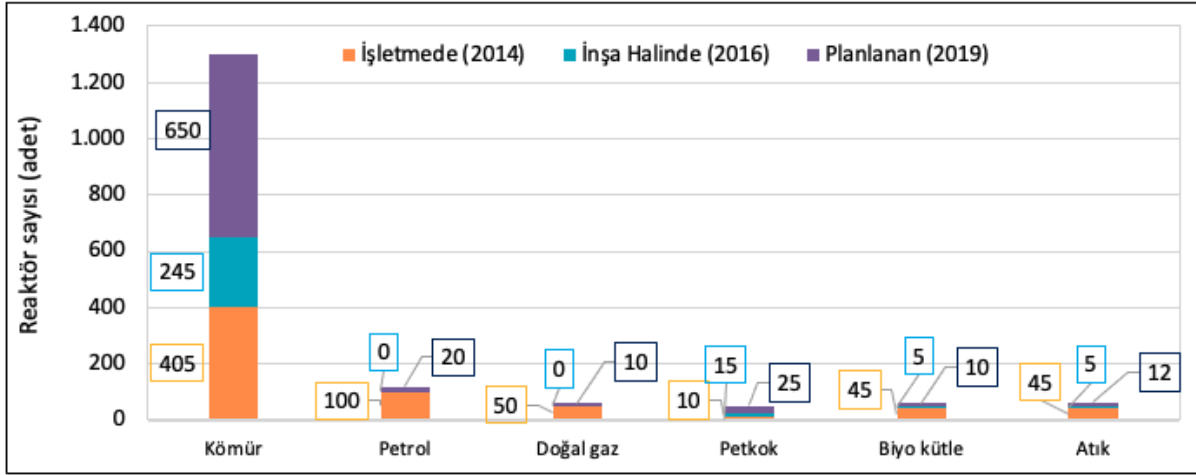
Güncel verilere göre, dünyada 272 adet gazlaştırma tesisinde 686 adet gazlaştırma reaktörü bulunmaktadır. Ayrıca 74 adet tesise ait 238 adet reaktör de inşa halindedir (GSTC, 2019b).

Şekil 4, gazlaştırma sonucu elde edilen ürün gruplarına ait gazlaştırma yani sentez gazı miktarlarını göstermektedir. Buna göre en fazla üretilen grup kimyasallar (yaklaşık 70.000 MWth) olup ardından sıvı yakıtlar (yaklaşık 30.000 MW) gelmektedir. Fakat proje halinde olan ürün grubunda en büyük ağırlık LPG planlamasında görülmektedir. Planlanan gazlaştırma projelerinin (yaklaşık 55.000 MWth) tamamlanması ile birlikte LPG üretimi ikinciliğe yükselecektir (Aktan, 2020).



Şekil 4. Ürün gruplarına göre gazlaştırma miktarı (Tüm yakıtlar) (Aktan, 2020)

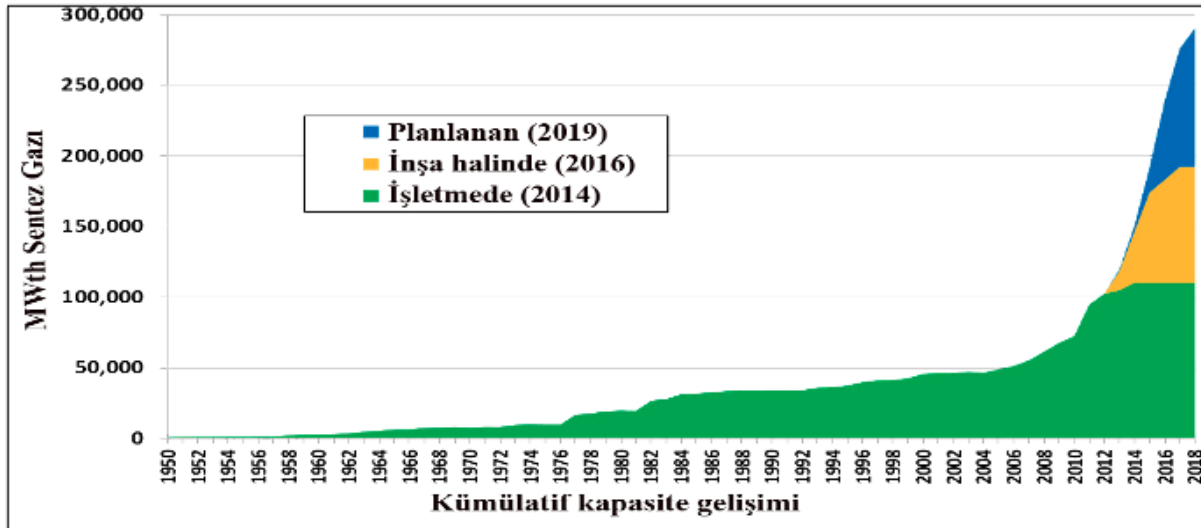
Hammadde gruplarına göre gazlaştırma reaktörü sayıları Şekil 5'te verilmekte olup sayı bakımından kömürün açık ara önde olduğu görülmektedir. İnşa halinde olanlar ve planlanan reaktörlerle birlikte kömürün, gazlaştırma alanında rakipsiz olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Hammadde gruplarına göre gazlaştırma reaktörü sayıları (Aktan, 2020)

Görüldüğü gibi kömür gazlaştırma ile ilgili reaktör sayısı diğer hammadde gruplarına göre son derece yüksektir. Bu durumun en önemli nedeni, kömürün gazlaştırılmasının endüstriyel ya da elektrik üretimi amaçlı klasik kullanımına kıyasla çok daha yüksek katma değer oluşturmasıdır. Özellikle petrokimyasallar ve sıvı yakıtların üretilmesi, hem çevre açısından hem de ekonomik açıdan çok daha önemli görülmektedir.

Şekil 6, gazlaştırmanın yıllar içerisindeki gelişiminin aktarıldığı ve inşa halinde olanlarla birlikte geleceğe dair planlanan kapasite miktarlarını göstermektedir. Bu verilere göre, 2014 yılı sonu itibarıyla yaklaşık 100.000 MWth'lik bir kapasite görünmektedir. İnşa halinde olanlar ve planlanan projelerle birlikte toplam kapasitenin 3 kate yakın artarak 300.000 MWth'e çıkması hedeflenmektedir. Bu durum, gazlaştırmanın küresel ölçekteki önemine ilişkin çok önemli bir göstergedir (Aktan, 2020).



Şekil 6. Gazlaştırma miktarının yıllar içerisindeki gelişimi (Tüm yakıtlar) (Aktan (2020)

4.2. Türkiye’de Kömür Gazlaştırma

Türkiye’de ticari bir kömür gazlaştırma tesisi bulunmamakta olup, petrol ve doğal gaz kaynaklı çeşitli gazlaştırma/sıvılaştırma tesisleri bulunmaktadır. Bu kapsamdaki belli başlı gazlaştırma tesislerine örnek olarak açılışı Ekim 2018’de yapılan İzmir Soccar Star Rafinerisi, daha eski yıllarda kurulmuş olan İzmir Tüpraş Rafinerisi, Bursa Gemlik Gübre Rafinerisi ve İzmit Kocaeli İsmet Rafinerisi gösterilebilir (Aktan, 2020).

Yukarıda bahsedilen gazlaştırma tesislerinden Star Rafinerisi, ülkemizin işlenmiş petrol ürünü ihtiyacının %25’ini tek başına karşılamak üzere 6,3 Milyar ABD\$ tutarında bir ilk yatırım bedeli ile kurulmuş ve aynı zamanda Türkiye’nin ilk Stratejik Teşvik Belgesini almıştır. Star Rafinerisi, yıllık 10 milyon ton ham petrol işleme kapasitesi ile 4,8 milyon ton/yıl dizel ve 1,6 milyon ton/yıl naftanın yanı sıra 1,6 milyon ton/yıl jet yakıtı ve 300.000 ton/yıl LPG gibi petrol ürünlerinin de üretimini gerçekleştirmektedir. Türkiye’nin en büyük enerji projelerinden biri olarak petrol ürünleri ithalatında her yıl 1,5 Milyar ABD\$ civarında tasarruf sağlamakta ve yaklaşık 1100 kişiye de istihdam sağlamaktadır (Soccar, 2020). Ülke ekonomisine olan önemli katkılarına rağmen bahse konu gazlaştırma tesislerinin hammaddeleri ithal petrol ve doğal gazdan oluşmaktadır. Aynı zamanda teknoloji de büyük oranda yabancı kökenli olduğu için stratejik yatırım olarak değerlendirilmemeleri gerekmektedir. İthalatın yapıldığı ülkelerle yaşanabilecek olumsuz bir durum, ticari ilişkileri de etkileyebileceğinden hammadde tedarikinde sıkıntı yaşanabilecek ve üretim sekteye uğrayabilecektir. Bu anlamda tamamen yerli kaynak olan kömürün kullanılarak gazlaştırma tesisleri yapılması, gerçek anlamda stratejik bir yatırım olarak değerlendirilmektedir (Aktan, 2020).

Kömür gazlaştırmanın Türkiye’deki başlangıcı 1950’li yıllara kadar gitmektedir. Türkiye’de kömür gazlaştırma ile amonyak ve gübre üretimi, Azot Sanayii T.A.Ş. ile başlamıştır. Kütahya-1 tesislerinin 1955 yılında, Kütahya-2 tesislerinin de 1966 yılında Alman firmalarından olan BASF ve Heinrich Koppers teknolojisi ile temelleri atılmıştır. Tesislerde Kütahya Seyitömer linyitleri kullanılmıştır (Aktan, 2020). Kütahya-1 tesislerindeki proje üretim kapasitesi: 60.000 ton/yıl Amonyum Sülfat (%21 N); 50.000 ton/yıl Amonyum Nitrat (%21 N), 35.700 ton/yıl Amonyak, 26.700 ton/yıl Seyreltik Nitrik Asit olup, tesisler 1961 yılında işletmeye alınmıştır (TUGSAŞ, 2020).

Daha sonraki yıllarda kömürden amonyak üretim maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle Kütahya-1 Amonyak tesisleri 1992 yılında üretim dışı bırakılmıştır. 1993 yılında da Amonyum Sülfat ünitesi kapatılmıştır (TUGSAŞ, 2020). Kütahya-2 tesislerindeki proje üretim kapasitesi: 338.500 ton/yıl Amonyum Nitrat (% 26 N) (Prill), 112.200 ton/yıl Amonyak, 201.300 ton/yıl Seyreltik Nitrik Asit olup, tesisler 1968 yılında işletmeye alınmıştır. TUGSAŞ (2020)’ye göre dünya piyasalarındaki amonyak fiyatı 100-150 ABD\$/ton olmasına rağmen eski teknoloji ile üretim yapan Kütahya-2 amonyak ünitesindeki ortalama maliyet 650 ABD\$/ton civarına yükselince, 1993 yılında Amonyak-2 tesisi de kapatılmıştır. Kütahya’daki tesiste mevcut olan gübre üretimine Gemlik’ten taşınan amonyak ile devam edilmiştir (TUGSAŞ, 2020).

Azot Sanayii T.A.Ş. 1977 yılında kömürden yılda 560.000 ton üre gübresi elde etmek üzere bir tesis kurmak için çalışmalara başlamış ve tesis yerini Soma’da seçerek hazırladığı fizibilitayı Dünya Bankası’na göndermiş ve kredi talebinde bulunmuştur. Bu arada Soma’dan getirilen 3.000 ton kömür, akışkan yataklı ve püskürtmeli gazlaştırıcılarda denenmiş ve kömürün gazlaştırıcılardaki davranışı ve sarf rakamları elde edilmiştir. Soma gübre tesisi kurulum çalışmaları hızla ilerlemiş ancak Dünya Bankasının belirttiği %25 küllü kömür talebinin TKİ tarafından sağlanamayacağı öngörüsü ile proje iptal edilmiştir. Azot Sanayii T.A.Ş. tesis arazisi alımı, baraj

yapımı, su hattı ve sosyal site yatırımlarını yaptığı halde projeyi rafa kaldırmak zorunda kalmıştır (TUGSAŞ, 2020).

Gazlaştırmanın Türkiye'deki öyküsü 1955'te başlamış olmasına rağmen, Azot Sanayii T.A.Ş.'nin kurulmasından sonra 2008'e kadar maalesef ilave bir çalışma yapılmamıştır. 2008 yılında TKİ'nin temiz kömür teknolojilerine yönelik Ar-Ge çalışmalarına başlaması ile gazlaştırma tekrar ülke gündemine girmiş ve günümüze kadar önemli mesafeler kaydedilmiştir.

TKİ Kurumu, 2009 yılından itibaren Soma, Tunçbilek ve Seyitömer kömürlerinin gazlaştırılması ile ilgili çeşitli test ve analiz çalışmaları yaptırmıştır. Gazlaştırma testlerinden elde edilen sonuçlar, Soma ve Tunçbilek kömürlerinin gazlaştırma kriterlerine daha uygun olduğunu göstermiştir. Başarılı laboratuvar çalışmalarının ardından Kütahya Tunçbilek'te kömür gazlaştırma pilot tesisi inşasına başlanmış ve 2012 yılı başında yerli imkânlar ve TÜBİTAK'ın katkıları ile devreye alınmıştır (TKİ, 2019). Kütahya'nın ardından Soma'da 2012 yılında ticari amaçlı olarak "Soma Kömür Gazlaştırma Projesi"nin yapılmasına karar verilmiştir. Fakat projenin ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olması ve yabancı teknoloji transferi nedeniyle ticari proje rafa kaldırılmış ve gazlaştırma için kullanılacak olan yeraltı linyit sahası, endüstriyel üretim amaçlı olarak ruhsatın 4'e bölünmesi ile özel sektörün yatırım yapması için ruhsat devri yöntemiyle 2018 yılında ihale edilmiştir (TKİ, 2020; Aktan, 2020).

"Soma Kömür Gazlaştırma Projesi"nin dışında yerli teknolojinin geliştirilmesini hedef alan TÜBİTAK destekli gazlaştırma projelerine yine TKİ tarafından devam edilmiştir. Bu projeler sırasıyla Kütahya Tunçbilek'te uygulanan "Metanol Projesi" ve yine Manisa Soma'da uygulanan "TRİJEN Projesi" dir. Bu projelerle ilgili detaylar altta verilmektedir.

a) Tunçbilek Kömür Gazlaştırma Pilot Tesisleri

TKİ'ye ait Kütahya Tunçbilek GLİ sahasında 250 kg/saat kapasiteli sürüklemeli ve 20 kg/saat kapasiteli akışkan yataklı olmak üzere 2 farklı tip ve özellikteki pilot tesis, 31 Aralık 2011 tarihinde açılarak devreye alınmıştır (Şekil 7). 2012 yılından itibaren 250 kg/saat kapasiteli sürüklemeli tip gazlaştırıcıda TKİ'ye ait muhtelif sahalardan alınan kömür numuneleri üzerinde gazlaştırma çalışmaları yapılarak sonuçları raporlanmış olup metanol ve elektrik üretimi ile atık ısının değerlendirilmesi konularında TÜBİTAK-MAM'la birlikte ortak Ar-Ge faaliyetleri halen sürdürülmektedir (TKİ, 2019).



Şekil 7. Tunçbilek kömür gazlaştırma pilot tesisi (TKİ, 2019)

b) Biyokütle ve Kömür Karışımlarından Sıvı Yakıt Üretimi (TRİJEN Projesi)

Proje, Haziran 2009'da başlamıştır. TÜBİTAK KAMAG-1007 kapsamında desteklenen projede verimliliği yüksek, ekonomik, temiz ve çevre dostu olarak kullanılacak sıvı yakıt üretimi ile merkezi santraller için yüksek verimlilikte uygulanabilecek teknolojilerin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu çerçevede önce laboratuvar, akabinde de pilot ölçekte tesisler kurulmuştur (Aktan, 2020). Proje kapsamında; TKİ Soma ELİ sahalarına ait linyit kömürü (%75) ve biyokütle (%25) karışımlarının gazlaştırılarak sentez gazının eldesi ve temizlenmesi, şartlandırılması ve karbondioksitinin ayrılması, sentez gazından sıvı yakıt üretimi ve bu reaksiyon için uygun katalizörün geliştirilmesi faaliyetleri yer almaktadır (TÜBİTAK, 2019).

Proje çıktıları, 1,1 MWth kapasiteli kabarcıklı akışkan yatak sistemine sahip pilot tesis ve 150 kWth kapasiteli laboratuvar ölçekli dolaşimli akışkan yatak sistemi kurulması işini kapsamaktadır. Laboratuvar ölçekli sistem TÜBİTAK MAM'da kurulmuş olup, üzerindeki çalışmalar tamamlanmış ve bunlara dayanılarak pilot tesisin detay tasarımları yapılmıştır.

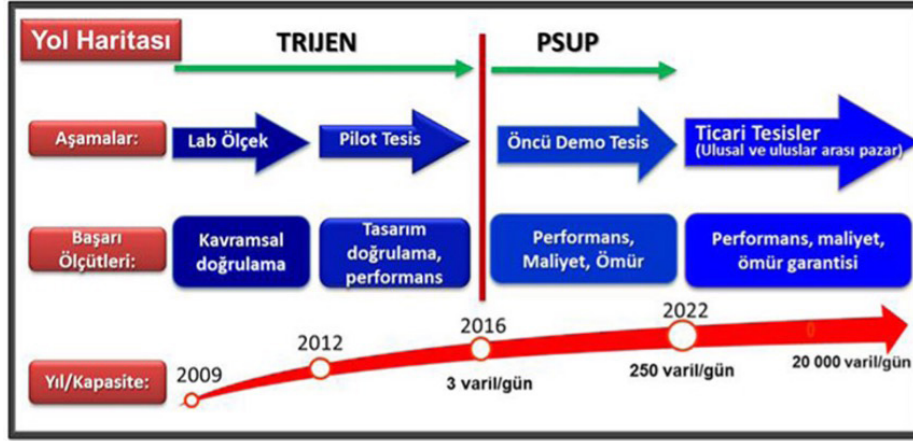
Şekil 8'de gösterilen pilot tesis ünitesi, TKİ Kurumu ELİ İşletme Müdürlüğü Soma Cenkyeri sahasında 2016 yılında kurulmuş ve pilot tesisin ünitelerinin yerli imkânlarla üretilmesi çalışmalarında önemli mesafeler kaydedilmiştir (TKİ, 2020).



Şekil 8. Soma TRİJEN pilot kömür gazlaştırma tesisi (TKİ, 2020)

Tesise 130 kg kömür beslenerek, günde 2-3 varil (1200 lt) ham dizel ve 160 kg parafin üretilmiştir. Ayrıca gaz temizleme ve CO₂'in tutulması çalışmaları da yapılmıştır. Çalışmalar farklı özelliklere sahip Türkiye linyitleri üzerinde de yapılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır (TÜBİTAK, 2019). Test çalışmalarında özellikle Afşin-Elbistan vb. düşük kalorili kömürler kullanılmış olup, ön fizibilite raporunun çıkarılabilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Çalışmalardan elde edilecek sonuçların olumlu olması halinde PSUP (Proje Sonuçları Uygulama Programı) kapsamında önce mevcut tesisin en az 10 katı, sonrasında ise büyük ölçekli (>1000 varil/gün) endüstriyel tesis/tesisler kurulması planlanmaktadır.

Şekil 9'da verilen teknoloji geliştirme yol haritası şemasında da görüleceği üzere proje aşamalarının tamamlanmasında önemli mesafeler alınmış ve PSUP aşamasına gelinmiştir.



Şekil 9. TRIJEN Projesi yol haritası (TÜBİTAK, 2019)

5. Türkiye Pazar Analizi ve Kömür Gazlaştırmanın Stratejik Önemi

Fosil kaynakların kullanımının büyük bir ivmeyle artması ve emisyon salınımı, küresel ısınmanın da hızlı bir şekilde yükselmesine neden olmaktadır. Gazlaştırma tesislerinin emisyon değerleri çevresel hedef kriterlerini karşılamakta olması ile diğer konvansiyonel tesislere kıyasla önemli avantajlara sahiptir (Aktan, 2020).

İklim değişikliğinin önlenmesi anlamında büyük öneme sahip olan kömür gazlaştırma, aynı zamanda stratejik ve katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülebilmesi yönüyle de oldukça öne çıkmaktadır. Türkiye Pazar analizi ve kömür gazlaştırmanın Türkiye açısından stratejik önemi altta detaylı olarak sunulmaktadır.

5.1. Türkiye Pazar Analizi

Ana sektörler itibarıyla bakıldığında Türkiye ekonomisi, giyim eşyası, tekstil ürünleri, gıda ve mobilya gibi emek yoğun sektörlerde dış ticaret fazlası verirken, kimyasal ürünler, rafine edilmiş petrol ürünleri, gübre hammaddesi ana metal sanayi ve makine sanayi gibi sermaye ve enerji yoğun sektörlerde ise önemli miktarda dış ticaret açığı vermektedir (Aktan, 2020).

5.1.1. Türkiye Petrokimya Sektörü Analizi

Ham petrol ve doğal gazın ardından Türkiye ekonomisinin dış ticaret açığını en fazla arttıran ikinci kalem kimyasal madde ve ürünleridir. TÜİK (2020a)'ya göre Türkiye 2003-2018 yılları arasındaki dönemde sabit fiyatlarla GSYİH açısından 8 kata yakın büyümesine karşın, özellikle ara malı üretiminde ve temel sanayide yeterli yatırım yapılamamış olması nedeniyle kimya sektöründe dış ticaret açığını önemli oranda arttırmıştır. Kimya sektöründe 2003-2018 yılları arasındaki dış ticaret açığı 8,7 Milyar ABD\$'dan 23,7 Milyar ABD\$'a kadar yükselmiştir (TÜİK, 2020b). Kimya sektörü ile ilgili dış ticaret açığının detaylarına bakıldığında 2018 yılında oluşan açığın %81'inin yani yaklaşık 19 Milyar ABD\$'nın petrokimya ürünlerinden kaynaklandığı görülmektedir (TÜİK, 2020b). Ekim 2018'de açılışı yapılan Star Rafinerisine rağmen, sektörde yeterli yatırımların yapılamamış olması nedeni ile Türkiye ekonomisi Çin'den sonra dünyada en çok petrokimya ürünü ithal eden ülkelerden biri konumuna gelmiştir. İthalata bağımlılığa oransal açıdan bakıldığında ise Türkiye dünyada birinci sırada bulunmaktadır (Petkim, 2020).

Kimya ürünleri içerisinde ticarete en çok konu olan petro-kimya ürünlerinin ana maddesi, ham petrolden üretilen ürünlerden biri olan "nafta"dır. Süreç, ham petrolden naftanın ve LPG'nin,

bunlardan da etilen, propilen, benzen, paraksilen vb ürünlerin üretilmesi ve bu maddelerden de alçak yoğunluklu polietilen (AYPE), yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), polipropilen (PP) gibi plastik, kauçuk vb sektörlerin hammaddesinin üretilmesi şeklinde gerçekleşmektedir (Kimya Sektörü Raporu, 2015).

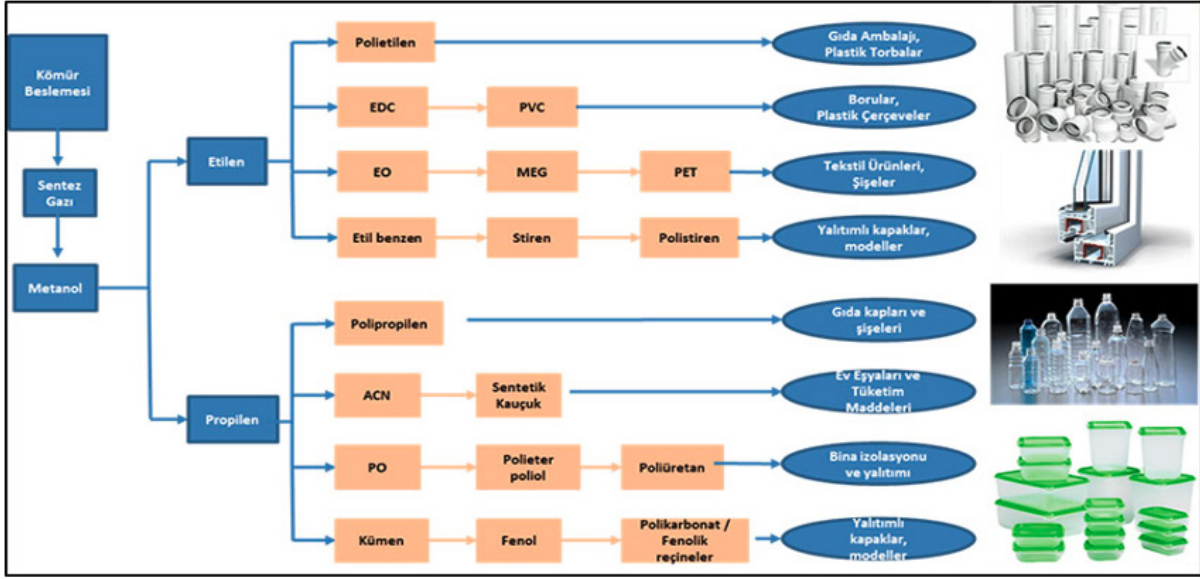
Petrokimya sanayi, Türkiye'ye 1960'lı yıllarda gelmiş ve kısa sürede hızlı bir gelişim göstermiştir. 1965 yılında, bu amaçla PETKİM kurulmuş ve 1970 yılında devreye alınmıştır. Tesisler sonraki yıllarda büyük oranda yenilenmiş ve hızla artan yurtiçi talebini karşılamak amacıyla PETKİM'in ikinci tesisi 1985 yılında İzmir Aliğa'da kurulmuş ve üretime başlamıştır. Aliğa tesislerinde toplam 1,9 milyon ton kapasite ile termoplastik ürünleri (AYPE, PVC, YYPE ve PP), elyaf hammaddeleri (ACN, PTA ve MEG) ve diğer petrokimyasal ürünler (Etilen, Benzen, PA, Gaz Klor, VCM) üretilmektedir. PETKİM, 2003–2009 yılları arasında yapılan yaklaşık 500 Milyon ABD\$ yatırımla üretim kapasitesini %20 artırmış ve teknolojisini yenilemiş olmasına rağmen 2009 yılı sonunda yurtiçi talebinin ancak %25'ini karşılayabilmiştir. Bunun ana nedeni olarak, Türkiye petrokimya pazarının %11'lik büyüme hızı ile dünyanın en hızlı büyüyen pazarlarından biri olması gösterilebilir (Petkim, 2020).

Petkim, birçok sektöre hammadde olarak ürettiği söz konusu ürünleri için ana girdi olarak kullandığı naftayı, gerek yurt içindeki tek üretici olan Tüpraş'tan, gerekse ithalat yoluyla yurt dışından temin etmektedir. Aynen Petkim gibi, eskiden bir kamu kuruluşu olan ve 2005 yılında özelleştirilen Tüpraş, Türkiye'de ham petrol işleyen iki büyük firmadan biri olup, faaliyetlerini İzmit, İzmir, Kırıkkale ve Batman'daki petrol rafinerilerinde sürdürmektedir. Şirketin üretimini yaptığı ürünler; LPG, benzin, hafif ve ağır nafta, kerosen, hafif ve ağır dizel (motorin) ve fuel oil yakıtıdır (Kimya Sektörü Raporu, 2015).

Petkim (2020)'ye göre Türkiye'de petrokimya sektöründeki büyüme hızı GSYH'daki büyüme hızının yaklaşık 2 katı düzeyindedir. Sektördeki büyüme hızı yüksek olmasına rağmen, Türkiye petrokimya sektörü henüz pazar doygunluğuna erişememiştir. Türkiye'de kişi başına plastik tüketimi 45 kg/yıl iken ABD, Kanada ve batı Avrupa ülkelerinde bu oran 70-90 kg/yıl arasında değişmektedir. Ülkemizin kalkınma hedefleri birçok sektörde beklenen gelişmeler, hızlı nüfus artışı gibi faktörler göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye petrokimya sanayinin büyük bir gelişme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Aktan, 2020).

Gazlaştırma ile petrokimyasal elde edilebilmesi için öncelikle metanol üretilmesi gerekmektedir. Metanol üretiminin hammaddesi ülkemiz için doğalgazdır. Metanol, aynı zamanda geri dönüştürülebilir odun, katı atıklar, evsel atıklar gibi hammaddeler kullanılarak da üretilebilmektedir. Gazlaştırma ürünleri arasında metanol üretimi diğerlerine göre daha yüksek maliyetler içermektedir.

Metanol türevleri arasında ülkemizin en çok ihtiyacının bulunduğu ve yüksek oranlarda dışarıdan ithal ettiği ürünler AYPE ve PP olup, ağırlıklı olarak plastik sektörünün hammaddesi olarak kullanılmaktadırlar. Şekil 10'da verilen şemada, metanol türevlerinin hangi alanlarda kullanıldığı gösterilmektedir. Şemaya göre AYPE, gıda ambalajı ve plastik torbalarda; PP de gıda kapları ve şişelerinde hammadde olarak kullanılmaktadırlar (Aktan, 2020).

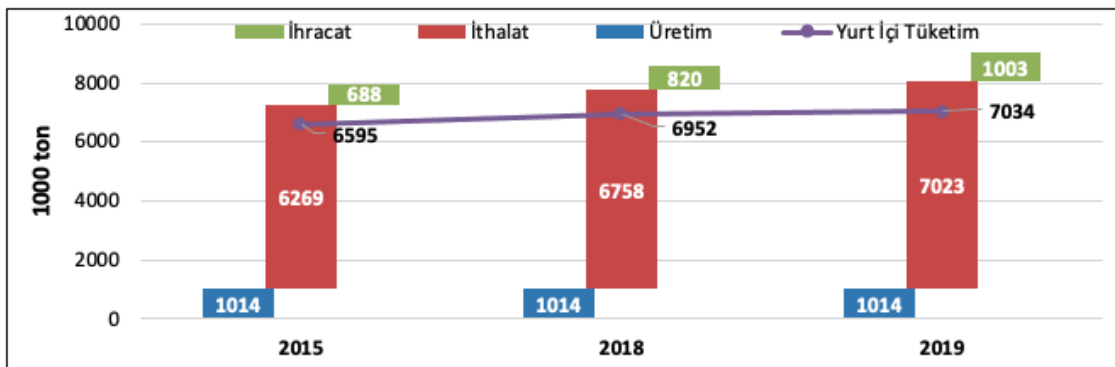


Şekil 10. Kömür gazlaştırması sonucu elde edilen metanol türevleri (TKİ, 2019)

Plastik sektörü, Türkiye ekonomisinin en önemli bileşenlerinden biridir. Bugün 10 milyon tona yaklaşan toplam üretimi, 35 Milyar ABD\$ civarındaki cirosu, 5 Milyar ABD\$'na yaklaşan direkt ihracatı ve son 10 senede GSMH büyümesini aşan yıllık büyüme ile plastik sektörünün ülke ekonomisine sağladığı katkı giderek artmaktadır. Türkiye plastik sektörü 9 milyon tona erişen süreç kapasitesi ile dünyada altıncı, Avrupa'da ise ikinci büyük plastik üretim potansiyeline sahip olmakla birlikte, ihtiyaç duyduğu plastik hammaddenin %85'inden fazlasını ithalatla karşılamaktadır. Sektörün en önemli avantajlarından birisi, petrol ve plastik hammadde üreticisi Orta Doğu ülkeleri ile plastik mamul tüketicisi Avrupa pazarının arasında bulunmasıdır (PAGEV, 2020).

PAGEV (2020)'in Türkiye 2019 Yılı Plastik Sektörü İzleme Raporu'na göre 2019 yılında AYPE ve PP, miktar bazında toplam içinde %54'lük oranla, değer bazında da %51'lik oranla en yüksek ithalat kalemini oluşturmuşlardır. Plastik hammadde dış ticaret açığı 6,02 milyon ton ve 7,8 Milyar ABD\$ olarak gerçekleşmiştir. Dış ticaret açığı 2018 yılına kıyasla miktar bazında %1,4 artarken, değer bazında %12,7 azalmıştır (PAGEV, 2020).

Şekil 11'de verilen grafiğe göre plastik hammadde iç pazar tüketiminin %85'ten fazlası ithalatla karşılanmaktadır. Ekonomik büyümeye paralel olarak, yerli üretim kapasitesi arttırılmadığı sürece, ithalata ödenen döviz miktarı her geçen yıl daha da artacaktır.



Şekil 11. Türkiye plastik sektörü arz ve talep dengesi (Aktan, 2020)

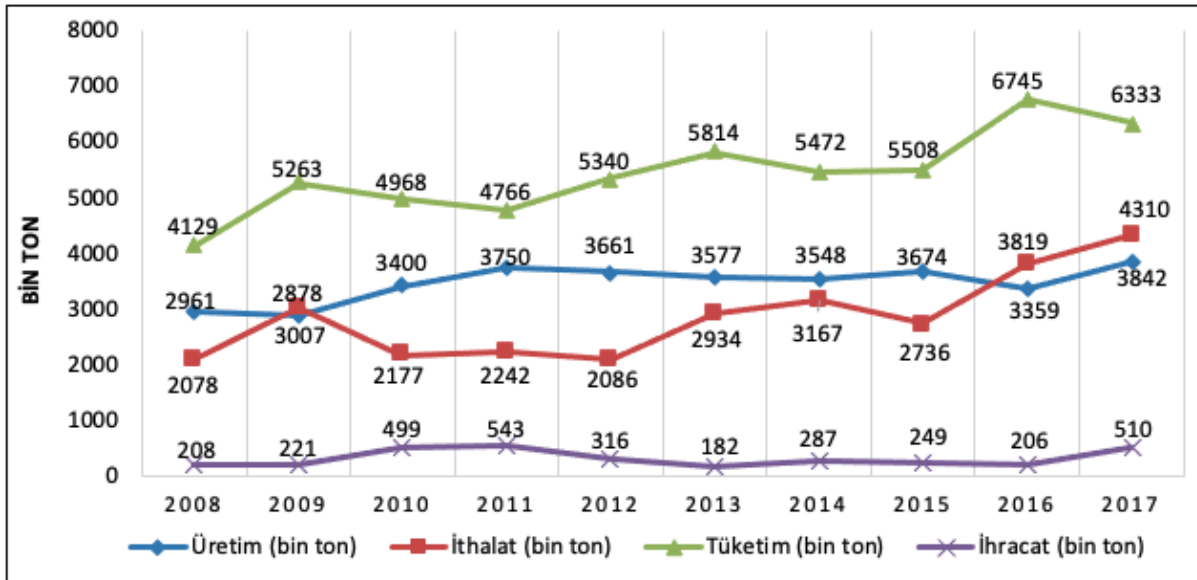
Türkiye plastik sektörünün en önemli üreticilerinden olan Petkim'in 350.000 ton/yıl üretim kapasiteli AYPE ve 144.000 ton/yıl üretim kapasiteli PP tesisi bulunmaktadır. Fakat sektörde çok az yerli üretici olduğu için talep ancak ithalatla karşılanabilmektedir. Kömür gazlaştırma ile katma değeri yüksek bu tarz metanol türevlerinin üretilmesi, dışarıya ödenen döviz miktarını azaltması ve de istihdama katkıda bulunması yönüyle son derece stratejik bir yatırım alanıdır.

5.1.2. Türkiye Gübre Sektörü Analizi

Türkiye'de yapılan sektör araştırmalarına göre gübre hammadde ve ara maddelerinde ithalata bağımlılık oranı %95'ler seviyesindedir. Üretimin en önemli girdisi ise doğalgazdır. Sektörde faaliyet gösteren büyük şirketlere ait tesislerde, ana ve ara maddeler temel olarak ithalat yoluyla karşılanmakta veya zaman zaman doğalgaz fiyatlarındaki yükselişlere bağlı olarak üretim durmakta, iç piyasa ihtiyacı ancak ithalat yoluyla karşılanabilmektedir (TAGEM, 2018).

Türkiye önemli bir tarım ülkesi olmakla beraber, alan başına gübre kullanımı konusunda istenilen seviyede bulunmamaktadır. Türkiye'de hektar başına gübre kullanımı ortalama 100 kg iken, bu oran dünya ortalamasında 140 kg'dır. Genel olarak dünya ortalamasının altında kalan Türkiye, 2005 yılına oranla toplam tüketimini %23 oranında artırmıştır. Üretimin tüketimi karşılama oranı ise ortalama %60 civarındadır (TAGEM, 2018). Topraktaki birim alandan en fazla verimi almak için kullanılan gübreler, tüm dünyada yükselen bir ivmeyle tüketilmekteyken, Türkiye'de daha yatay bir seyir izlemektedir. 2016-2017 yıllarında 6 milyon tonu aşan Türkiye tüketimi, 2018 yılında 5,4 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Bu rakam, aynı zamanda Türkiye'nin son 10 yıldaki gübre tüketim ortalamasıdır (Gübretaş, 2019a).

Şekil 12'de Türkiye katı gübre sektörüne ait üretim, sarfiyat ve ithalat durumlarının yıllar içerisindeki gelişimi verilmektedir.



Şekil 12. Türkiye katı gübre sektörü üretim, ithalat ve tüketim durumu gelişimi (Aktan, 2020)

Şekil 12'den de görüldüğü üzere Türkiye yıllık yaklaşık 6-7 milyon ton civarında bir katı gübre tüketim kapasitesine sahip olup, bu ihtiyacın ancak 3-3,5 milyon tonu üretilmektedir. Yerli üretimin yeterli olmaması nedeniyle özellikle 2015 yılı sonrasında ithalat miktarı hızla artmış ve 2017 yılı sonunda 4 milyon tonu aşmıştır. Bu noktada artan gübre talebinin yerli kaynaklarla

karşılanması hem cari açığın azaltılması hem de stratejik boyutu nedeniyle, kömür gazlaştırma yoluyla üre ve amonyak üretilmesinin önemini ortaya koymaktadır (Aktan, 2020).

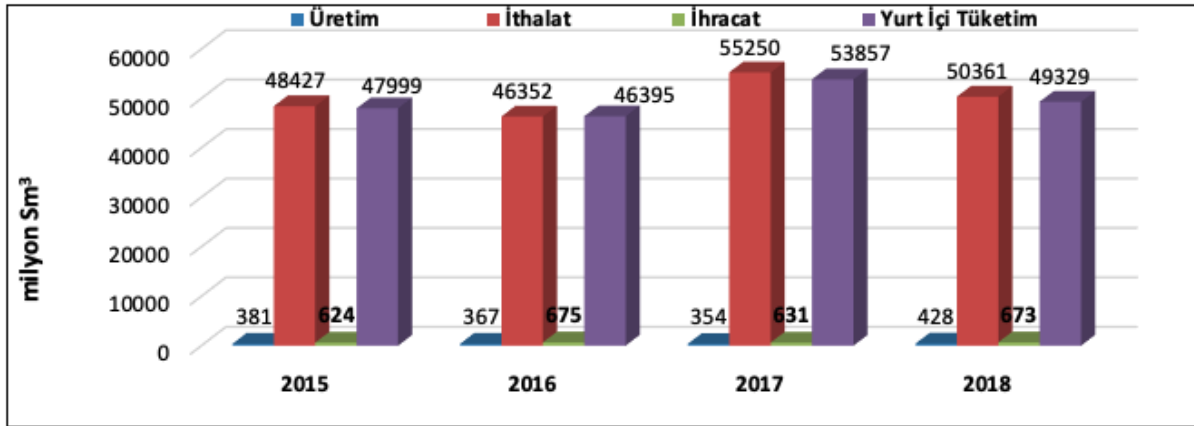
Gübretaş yatırımcı sunumuna göre Türkiye azot ihtiyacı 1,5 milyon tonun üzerinde olup, yaklaşık 1,9 milyon ton amonyak eşdeğerine karşılık gelmektedir (Gübretaş, 2019b). Türkiye'nin yıllık azotlu gübre ithalatı ise 1-1,2 milyar ABD\$'ı bulmaktadır. Sektörde hammaddelerin maliyeti ithalata bağımlı olunması sebebiyle yüksek durumdadır. Üretim maliyetlerinde hammaddenin payı %65-80'dir. Bu hammaddeler doğalgaz, fosfat kayası, amonyak, sülfürik asit, nitrik asit ve fosforik asit olarak sıralanmaktadır (TAGEM, 2018).

Doğalgazdan amonyak üreten Türkiye tesislerinin toplam kapasiteleri 660.000 ton/yıl olup, doğalgaz fiyatının yüksek oluşu ve kesikli ikmali nedeni ile tam kapasitede çalışmamaktadırlar. Bu nedenle Soma Kömür Gazlaştırma Projesi'nde amonyak reaktörü tesis kapasitesi 1.000.000 ton/yıl olarak seçilmiştir (TKİ, 2015).

5.1.3. Türkiye Doğalgaz Sektörü Analizi

Türkiye toplam enerji tüketiminde petrolün ardından %22'lik bir payla ikinci sırada olan doğalgaz, Türkiye'nin yaklaşık 45 Milyar ABD\$ olan toplam enerji ithalatının en başında gelmektedir. Enerji ithalatı, toplam ithalatın yaklaşık %89'unu denkleştirmektedir (TÜİK, 2020b). Her yıl artan talep miktarı, cari açığın da sürekli artmasını sağlamaktadır.

Şekil 13'te detayları verilen Türkiye doğalgaz sektörü arz ve talep dengesine ait son 4 yılı gösteren grafikte, ortalama 50 milyar Sm³'lük tüketilen gazın en az %98'inin ithal edildiği görülmektedir (EPDK, 2020).



Şekil 13. Türkiye doğalgaz sektörü arz ve talep dengesi (Aktan, 2020)

Petrol ve doğalgaz rezervleri yönünden yetersiz kaynaklara sahip olan Türkiye, doğalgaz boru hatlarının geçtiği bir geçiş ülkesi olarak jeopolitik açıdan son derece önemli bir konumda bulunmaktadır.

Enerji arz güvenliği açısından, yerli kaynak potansiyelinin tümünün verimli bir şekilde kullanılması ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu anlamda ülkemizin en büyük fosil kaynağı olan linyit kömürlerinin, gazlaştırılarak son derece temiz bir gaz olan sentetik doğalgaz (SNG) elde edilmesi ve elde edilen bu gazın boru hatlarına beslenmesi, mevcut şartlara göre ekonomik görünmemekle birlikte, stratejik anlamda oldukça önemlidir.

Herhangi bir jeopolitik risk ya da uluslararası bir kriz durumunda gaz tedarikinde yaşanabilecek bir olumsuzluk, elektrik üretimi, sanayi kullanımı ve evsel ısınmada büyük sıkıntılara neden olabilecektir. Tüm bu risklerin bertaraf edilebilmesi için SNG teknolojisinin kullanımı en azından riski azaltıcı bir sigorta görevi görmektedir (Aktan, 2020).

Teknolojisi bilinmesine rağmen ticari uygulama sayısı sınırlı olan SNG, ancak yerli doğalgaz kaynakları olmayan ülkelerin tercih edebileceği stratejik bir yatırım alanıdır. Özellikle Güney Afrika, Çin, Güney Kore ve ABD bu teknolojiyi en çok kullanan ülkelerdir. ABD’de bulunan ve üretime 1984 yılında başlayan Lurgi teknolojili Great Plains SNG Santrali (Şekil 14), yılda yaklaşık 5,4 milyon ton kömürü gazlaştırarak 1,25 milyar m³ SNG üretmektedir. Santralin ilk yatırım maliyeti 2,1 milyar ABD\$’dır (LEC, 2019).



Şekil 14. Great Plains SNG Temiz Kömür Santrali (LEC, 2019)

5.2. Kömür Gazlaştırmanın Türkiye Açısından Stratejik Önemi

Türkiye ile hammadde kaynakları açısından benzerlikler gösteren Çin ve Hindistan, kömür kaynakları açısından zengin ancak petrol veya doğalgaz kaynakları yeterli kaynakları olmayan, buna rağmen oldukça hızla gelişen ekonomilerdir. Özellikle Çin sanayinin lokomotifi ve temel direği olarak kabul edilen kimya sektörünün önemini kavramış ve özellikle son on yılda kimya sektörünün ara ürün ve petrokimyasal ihtiyaçlarını kömür gazlaştırma projeleri ile sağlama yolunu gitmiştir (Aktan, 2020). Mevcut verilere göre yalnız Çin’de işletme ve inşaat aşamasında olan kömür gazlaştırma projesi sayısı 200’ü geçmiştir (GSTC, 2019a).

Bu ülkeler petrokimya sektörüne yönelik yatırımları teşvik etmek için özel politikalar geliştirmektedir. Örneğin Çin’de petrokimya üreticileri kömür kaynaklarını sifıra yakın bir maliyetle ve çevresel mevzuat sınırlamaları olmadan hammadde olarak kullanabilmektedir. Suudi Arabistan ise petrokimya üreticilerine hammadde olarak kullanılan propanı %30 daha düşük fiyatla sübvans ederek vermektedir (Aktan, 2020).

Kimya sektörü enerji, tarım, ulaştırma, gıda, sağlık, inşaat, tekstil ve elektronik gibi birçok sektöre girdi sağlamakta, ilaç sanayinden sonra kişi başına oluşturulan katma değer açısından ikinci sektör (diğerleri sırasıyla metal, otomotiv, makine, elektronik, mobilya ve tekstil) olarak karşımıza çıkmaktadır (Aktan, 2020). Bu anlamda değerlendirme yapıldığında, kömür gazlaştırma ile petrokimyasal ürünler elde edilmesi son derece stratejik öneme sahip olmaktadır.

Kömür gazlaştırmanın Türkiye açısından ana stratejik amaçları şu şekilde sıralanabilir (Aktan, 2020):

- Fosil yakıtların ithalatını azaltmak ve yerli teknolojinin geliştirilmesi ile Türkiye’de yeterli miktarda var olan yerli kömür kaynaklarından daha kapsamlı ve verimli bir şekilde yararlanmak;
- İklim değişikliğinin önlenmesine katkıda bulunarak, karbon salınımlarını minimum düzeylere indirmek;
- Yerli linyiti; SNG, metanol türevleri, sıvı yakıtlar, amonyak ve üre gibi katma değeri yüksek ve Türkiye açısından stratejik öneme sahip kimyasal ve petrokimyasal ürünlere dönüştürmektir.

Bu kapsamda Türkiye kömür kaynaklarının en ekonomik şekilde değerlendirilmesi için kömür gazlaştırma projeleri hem çevreci, hem ekonomik ve hem de stratejik öneme sahip olarak değerlendirilmektedir.

Çevresel kısıtlar kömürün çok daha temiz ve daha verimli kullanımı için ileri teknolojileri gerektirmektedir. Bu nedenle dünyada; “Temiz Kömür Teknolojileri ve Çoklu Üretim Uygulamaları” adı altında özellikle kömürün gazlaştırılması ve elde edilen sentez gazından sıvı yakıt, sentetik doğal gaz, kimyasallar ve elektrik üretimine yönelik olarak yoğun ve geniş kapsamlı araştırma, teknoloji geliştirme ve uygulama çalışmaları sürdürülmektedir (TÜBİTAK, 2019). Bu çalışmaların artan bir ivmeyle sürdürülmesi için yeter miktarlarda kaynak ayrılması gerekmekte olup, uzun vadede Türkiye’nin önemli stratejik kazanımlar elde edeceği değerlendirilmektedir.

6. Sonuç

Günümüzde kömür kaynağının kullanımının önündeki en büyük engellerden biri, diğer fosil yakıtlara kıyasla daha çok CO₂ emisyonu yaymasıdır. Kömürün gazlaştırılması/sıvılaştırılması teknolojisi, beraberinde CO₂ tutma ve depolama imkânı da getirmektedir. Kömür gazlaştırma, kükürt ve civa gibi kömürün elektrik üretiminde yakılması ile açığa çıkan ve insan sağlığı ve çevre açısından önemli sorunlar oluşturan emisyon veya atıkların neredeyse tamamının gaz temizleme işlemi sonrasında geri kazanılmasını sağlamaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı, kömürün endüstriyel amaçlı klasik yakma teknolojileri ile kullanımı uzun vadede sürdürülebilir görünmemektedir. Dolaşımli akışkan yataklı termik santrallerin minimum seviyelere düşen emisyon değerlerine rağmen, kömür gazlaştırma tesislerinin emisyon değerleri sıfırdır. Ayrıca karbon ve kükürt gibi yan ürünler de ekonomiye kazandırıldığından, iklim değişikliği ve sürdürülebilir kalkınma anlamında kömür gazlaştırma rakipsiz görünmektedir.

Türkiye kömür kaynaklarının en uygun şekilde sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında değerlendirilebilmesi için hem çevreci, hem ekonomik, hem de stratejik öneme sahip olan kömür gazlaştırma projelerinin yerli imkânlarla geliştirilmesi ve ticari olarak uygulanması büyük önem arz etmektedir. Türkiye’de henüz ticari amaçlı kömür gazlaştırma projesi bulunmamasına rağmen, dünya genelinde kömür gazlaştırma projeleri ile ilgili mevcut ve planlanan reaktör sayılarının diğer hammadde gruplarına göre son derece yüksek olduğu çalışma kapsamında da tespit

edilmiştir. Kömür gazlaştırma ile ilgili dünya genelindeki ticari uygulamalar giderek yaygınlaşmakta ve sektörde yeni oyuncular ortaya çıkmaktadır.

Kömür gazlaştırmanın önemi ve faydaları kısaca altta sıralanmaktadır:

- a. Yerli hammadde kaynağına dayalı en çevreci üretim modeli,
- b. Enerji arz güvenliğini sağlama,
- c. Yüksek teknolojiye yönelik yerli sanayinin geliştirilmesi imkânları,
- d. Yüksek katma değer oluşumu,
- e. Kalifiye personel ve çalışan açısından yüksek sayıda istihdam imkânı,
- f. Ekonomik olarak yapılabilirlik ve sürdürülebilirlik,
- g. İthal doğalgaz ve kimyasal maddelere karşı etkin ikame sağlama.

Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda sıralanmaktadır:

(i) Kömür gazlaştırma tesisleri, yüksek sermaye ihtiyacı ve yoğun teknoloji kullanılan bir alan olmalarının yanısıra, nihai ürün çeşitliliği ve yüksek katma değerli kimyasallar üretebilmeleri ile konvansiyonel enerji yatırımlarından pozitif olarak ayrılmaktadır.

(ii) Sermaye giderleri (CapEx), kömürün gaz formuna dönüşmesine ilişkin ön yatırımlar nedeniyle benzer doğalgaz veya petrol ürünlerini hammadde olarak kullanan tesislere oranla yüksek olmaktadır. Ancak Türkiye gibi petrol ve doğalgaz kaynakları kısıtlı bulunan gelişmekte olan ülkelerde, sanayinin temel direğini oluşturan kimya sektörünün gelişimi ve ihtiyaç duyduğu kimyasallar için gazlaştırmanın faydaları ve stratejik önemi son derece yüksektir.

(iii) Yerli teknoloji geliştirme hamlelerinin kömür gazlaştırma alanında da sürdürülmesi son derece önemli görülmektedir. Kömür gazlaştırma/sıvılaştırma çalışmalarının milli enerji stratejisi kapsamında güçlü bir şekilde ele alınarak, özel ihtisas yapılarının kurulması önerilmektedir.

(iv) Türkiye ekonomisi Çin'den sonra dünyada en çok petrokimya ürünü ithal eden ülkelerden biri konumundadır. İthalata bağımlılığa oransal açıdan bakıldığında ise Türkiye dünyada birinci sırada bulunmaktadır. Petrokimya sektöründeki ithalat bağımlılığının azaltılması için kömür gazlaştırma teknolojilerinin geliştirilmesi ve ticari ölçekli yerli tesislerin kurulması önerilmektedir.

Sonuç olarak, kömürün gazlaştırma/sıvılaştırma gibi yüksek katma değer üreten ve küresel ısınmanın önlenmesine ciddi katkıları olan yeni teknolojilerle kullanımının son derece önemli olduğu değerlendirilmektedir. Kömür gazlaştırma/sıvılaştırma son derece stratejik ve önemli bir konu olup, uygun yatırımlar yapıldığında Türkiye ekonomisi açısından uzun vadede çok önemli katkılar sunabilecektir.

Kaynaklar

Aktan, M. (2016). Energy Security Dilemma Of Turkey In The Context Of Domestic Coal Resources . İstanbul: Dünya Enerji Kongresi ve Sergisi.

Aktan, M. (2020, 08 06). Kömür Gazlaştırma Ürünlerinin Gerçek Opsiyonlar Yöntemi İle Değerlemesi. Doktora Tezi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Avşaroğlu, N. (2019, Şubat). Dünya'da Kömürün Geleceği. https://www.researchgate.net/publication/330811265_DUNYA'DA_KOMURUN_GELECEGI adresinden alındı

BP. (2019). BP Statistical Review of World Energy, Coal, 68th Edition. 02 2020, 02 tarihinde <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-coal.pdf> adresinden alındı

EİGM. (2019). Enerji Denge Tabloları 2018. 01 03, 2020 tarihinde <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari> adresinden alındı

EPDK. (2020, 05 06). Doğal Gaz Piyasası Sektör Raporu 2018. EPDK: <https://www.epdk.org.tr/Detay/DownloadDocument?id=ppHG/emxMVg=> adresinden alındı

GSTC. (2019a). Map of Facilities. (Global Syngas Technologies Council) 02 03, 2020 tarihinde <https://www.globalsyngas.org/resources/map-of-gasification-facilities> adresinden alındı

GSTC. (2019b). Resources. (Global Syngas Technologies Council) 02 03, 2020 tarihinde <https://www.globalsyngas.org/resources/the-gasification-industry/> adresinden alındı

Gübretaş. (2019a). Gübretaş 2018 Yılı Faaliyet Raporu. Ankara: Gübretaş.

Gübretaş. (2019b, Ocak). Gübretaş Yatırımcı Sunumu. 02 06, 2020 tarihinde https://www.gubretas.com.tr/wp-content/uploads/2019/04/Sunum_2019-1.pdf adresinden alındı

IEA. (2019, 11 21). Final energy consumption in industry by scenario, 1990-2040. (IEA) 02 01, 2020 tarihinde <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/final-energy-consumption-in-industry-by-scenario-1990-2040> adresinden alındı

İnal, S., Yasar, O., & Aydiner, K. (2021). Importance of Domestic Coal (Lignite) Reserves on Turkey's Energy Independency. *MT Bilimsel*, 11-32.

Lignite Energy Council. (2019). Great Plains Synfuels Plant. 02 09, 2020 tarihinde <https://lignite.com/mines-plants/poly-generation-plants/great-plains-synfuels-plant/> adresinden alındı

NETL. (2020, 02 20). Gasification Plant Databases: <https://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasification-plant-databases> adresinden alındı

Önal, G. (2005). Enerjide Kömürün Önemi. Makale. TMMOB Maden Mühendisleri Odası.

PAGEV. (2020, 02 06). PAGEV Plastik Sektörü Raporu 2019. PAGEV: <https://pagev.org/plastik-sektor-raporu-2019> adresinden alındı

Petkim. (2020, 02 06). Petkim Petrokimya Holding A.Ş.: <http://www.petkim.com.tr/Sayfa/1/46/URETIM-TURKIYE-PETROKIMYA-SANAYI-VE-PETKIM.aspx> adresinden alındı

Reuters. (2021, 03 24). Analysis: Cold weather, sky-high gas prices burnish coal's appeal: <https://www.reuters.com/article/us-coal-demand-analysis-idUSKBN29K1FO> adresinden alındı

Soccar. (2020). Star Rafineri. (Soccar) 02 06, 2020 tarihinde <http://www.socar.com.tr/star-rafineri.html> adresinden alındı

Şengüler, İ. (2009). Ülkemiz Enerji Bütünlemede Kömürün Yeri ve Yeni Projeler. Makale. TMMOB.

TAGEM. (2018). Gübre Sektör Politika Belgesi 2018-2022. Ankara: TAGEM. 02 07, 2020 tarihinde <https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/G%C3%BCbre%20Sekt%C3%B6r%20Politika%20Belgesi%202018-2022.pdf> adresinden alındı

Tamzok, N. (2021a, 02 20). Dünya'da ve Türkiye'de Kömür Politikaları. T. M. Odası (Dü.), Kömür ve Enerji Çalıştayı. içinde Ankara: TMMOB Maden Mühendisleri Odası.

Tamzok, N. (2021b, 03 24). 03 22, 2021 tarihinde Enerji Günlüğü: <https://www.enerjigunlugu.net/enerji-ve-iklime-cin-penceresinden-bakmak-31926yy.htm> adresinden alındı

TC Ekonomi Bakanlığı, İhracat Genel Müdürlüğü. (2016). Kimya Sektörü Raporu 2015. Ankara: İhracat Genel Müdürlüğü. <https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Kimya.pdf> adresinden alındı

TKİ. (2015). Soma Kömür Gazlaştırma Projesi. Ankara: TKİ.

TKİ. (2019). Tunçbilek Kömür Gazlaştırma Pilot Tesisleri . Ankara: TKİ.

TKİ. (2020). TKİ TRİJEN Projesi. Bilgi Notu. Ankara: TKİ.

TUGSAŞ. (2020, 01 22). TUGSAŞ. Kütahya Gübre Sanayii AŞ: <http://www.tugsas.gov.tr/kutahya.htm> adresinden alındı

TÜBA. (2018). Temiz Kömür Teknolojileri Raporu. Ankara: TÜBA.

TÜBİTAK. (2019). TRİJEN Projesi. Ankara: TKİ.

TÜİK. (2020a). TÜİK Temel İstatistikler. 02 06, 2020 tarihinde <http://tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> adresinden alındı

TÜİK. (2020b). İthalat İstatistikleri, 2018. Ankara: TUIK.

Yeldan, E., & Voyvoda, E. (2015). Türkiye İçin Düşük Karbonlu Kalkınma Yolları ve Öncelikleri. İstanbul: WWF Türkiye ve İstanbul Politikalar Merkezi.

Ziypak, M. (2015). Gazlaştırma Teknolojileri . Ankara: TKİ.