



TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ

TÜBA-TEMİZ KÖMÜR TEKNOLOJİLERİ RAPORU

Ankara - 2018

Editör: Prof. Dr. İbrahim DİNÇER



TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ

TÜBA-TEMİZ KÖMÜR TEKNOLOJİLERİ RAPORU

TÜBA-ENERJİ ÇALIŞMA GRUBU

Prof. Dr. İbrahim DİNÇER (Yürütücü)

Prof. Dr. Mehmet Hakkı ALMA

Prof. Dr. Erol ARCAKLIOĞLU

Prof. Dr. Yıldız BAYAZITOĞLU

Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI

Prof. Dr. Sadık KAKAÇ

Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ

Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ

Prof. Dr. Ali SARI

Prof. Dr. Niyazi Serdar SARIÇİFTÇİ

Prof. Dr. Bahri ŞAHİN

Prof. Dr. Raşit TURAN

Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, TÜBA Raporları No: 25
ISBN: 978-9944-252-90-4

Editör: Prof. Dr. İbrahim DİNÇER

Baskı: Ses Reklam Matbaacılık, ANKARA
Şubat 2018, 3000 Adet

İÇİNDEKİLER

SUNUŞ · Prof. Dr. Ahmet Cevat ACAR / <i>TÜBA Başkanı</i>	4
ÖNSÖZ · Prof. Dr. İbrahim DİNÇER / <i>TÜBA-Enerji Çalışma Grubu Yürütücüsü</i>	5
TEŞEKKÜR	7
ÖZET	13
1. GİRİŞ	15
2. DÜNYA KÖMÜR POTANSİYELİ	16
3. ÜLKEMİZİN KÖMÜR POTANSİYELİ	16
4. TEMİZ KÖMÜR TEKNOLOJİLERİ	21
5. KÖMÜR TEMİZLEME, YAKMA ve CO ₂ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ	23
6. KÖMÜR GAZLAŞTIRMA TEKNOLOJİSİ	26
7. DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAKTA LİNYİT ve BİYOKÜTLE-KÖMÜR KARIŞIMLARININ YAKILMASI	31
8. OKSİ-YANMA TEKNOLOJİLERİ	34
9. KÖMÜRLER İÇİN KİMYASAL DÖNGÜLÜ YANMA TEKNOLOJİLERİ	38
10. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	40
11. KAYNAKLAR	43
12. ÇALIŞTAY ve PANEL PROGRAMI	45



Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA); bilimsel konularda ve bilimsel önceliklerin belirlenmesi amacıyla incelemeler ve danışmanlık yapma görevi ve toplumda bilimsel yaklaşım ve düşüncenin yayılmasını sağlamak amacı çerçevesinde; önemli, öncelikli ve güncel konulara dair bilimsel toplantılar, kongre, sempozyum, konferans ve çalıştaylar düzenlemekte ve raporlar yayınlamaktadır.

Enerji, sürdürülebilir kalkınmanın ve bağımsızlığın en önemli teminatlarından biridir. Son yıllarda Ülkemiz büyüme ve kalkınma hedefleri doğrultusunda enerjiye, ulusal ve uluslararası enerji yatırımlarına büyük önem vermektedir. Doğu ile Batı arasında en güvenli enerji köprüsü olan ülkemiz, çeşitli yenilenebilir ve fosil kökenli enerji kaynaklarına sahiptir. Bu kaynaklardan biri de kömürdür. Günümüzde itibarıyla; ülkemiz, yaklaşık 15 milyar ton kullanılabilir kömür rezervine sahiptir. Ülkemizde, kullanılabilir rezervi kısıtlı olan yüksek kaliteli kömürlerin elektrik üretimi ve diğer uygulamalardaki kullanım payı düşüktür. Dolayısıyla, ortalama %65 oranındaki düşük kaliteli kömür rezervlerimizin ülkemiz enerji ekonomisine kazandırılması son derece önemlidir. Bu bağlamda, kısa, orta ve uzun vadeli sürdürülebilir enerji/kömür strateji ve politikalarının geliştirilmesi ve uygulamaya konulması gerekmektedir. Bu meyanda,

temiz kömür teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması da önemli bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır.

Yukarıda sözü edilen ihtiyaçlar doğrultusunda yeni oluşturulan TÜBA Enerji Çalışma Grubu tarafından, kamu, üniversite ve sanayi kesiminden paydaşların katılımıyla 6 Temmuz 2017 tarihinde Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde "TÜBA-Temiz Kömür Teknolojileri Çalıştay ve Paneli" düzenlenmiş ve çalıştay ve panelde ele alınan konular ve gerçekleştirilen sunumlar çerçevesinde bu rapor hazırlanmıştır.

Çalıştay ve panelin gerçekleştirilmesi ile Raporun hazırlanması ve yayımında emeği geçen Enerji Çalışma Grubu Yürütücüsü Prof. İbrahim Dinçer ve çalışma grubu üyelerine, toplantıya ev sahipliği yapan ODTÜ Rektörlüğüne, raporun hazırlanmasına katkı sunan bilim insanlarımıza, Akademi üyelerimize, ilgili kurum, kuruluş yönetici ve uzmanlarına, katılımcılara ve emeği geçen tüm paydaşlarımıza teşekkürlerimi, en iyi dileklerimi ve saygılarımı sunuyorum, raporun ilgililere yararlı olmasını diliyorum.

Prof. Dr. Ahmet Cevat Acar
TÜBA Başkanı



Önemli ve öncelikli güncel konulara ilişkin bilim temelli danışmanlık işlevi çerçevesinde, Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) bünyesinde oluşturulan “Enerji Çalışma Grubu” tarafından, yönetici ve uzmanın katılımıyla 6 Temmuz 2017 tarihinde ODTÜ Kongre ve Kültür Merkezi’nde “TÜBA Temiz Kömür Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli” düzenlenmiştir. Bu stratejik organizasyona devlet ve vakıf üniversitelerinden bilim insanları ile bakanlıklardan, çeşitli sanayi şirketlerinden ve sivil toplum derneklerinden yöneticiler ile konunun uzmanları iştirak etmiştir. Açılış bölümünde sırasıyla, TÜBA Enerji Çalışma Grubu Yürütücüsü Prof. Dr. İbrahim Dinçer, ODTÜ Rektörü Prof. Dr. Mustafa Verşan Kök ve TÜBA Başkanı Prof. Dr. Ahmet Cevat Acar önemli mesajlar vermişlerdir.

Bu rapor, TÜBA Enerji Çalışma Grubu tarafından organize edilen TÜBA Temiz Kömür Teknolojisi Çalıştayı ve Paneli’nde sunulan çalışmalardan ve panelde yapılan konuşmalardan derlenmiştir.

Etkinlik Komitesi Adına,
Prof. Dr. İbrahim DİNÇER
 TÜBA-Enerji Çalışma Grubu Yürütücüsü

Raporun hazırlanmasında katkısı bulunan aşağıda isimleri yazılı olan devlet ve vakıf üniversitelerinden bilim insanları ile bakanlıklardan, çeşitli sanayi şirketlerinden ve sivil toplum derneklerinden yöneticiler ile konunun uzmanlarına Türkiye Bilimler Akademisi olarak teşekkür ederiz.

Prof. Dr. Ahmet Erhan AKSOYLU

Boğaziçi Üniversitesi

Prof. Dr. Vedat ARSLAN

Dokuz Eylül Üniversitesi

Prof. Dr. Hüsnü ATAÖL

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Aysel ATIMTAY

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Ömer BAYRAK

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürü

Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk DİLMAÇ

Çankırı Karatekin Üniversitesi

Mücella ERSOY

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu

Önder FİLİZ

ASOS Mekatronik Otomasyon Genel Müdürü

Prof. Dr. İskender GÖKALP

ICARE CNRS Direktörü

Doç. Dr. Mehmet MELİKOĞLU

Gebze Teknik Üniversitesi

Abdurrahman MURAT

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdür Yrd.

Yrd. Doç. Dr. Feyza KAZANÇ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hasancan OKUTAN

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Çağlar SINAYUÇ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi









ÖZET

Kömür, endüstri devrimini takiben 19. ve 20. yüzyıllardan itibaren gündelik hayatımızı şekillendiren en önemli unsurlardan birisi olmuş; buharlı güç çevrimlerinden, elektrik santralleri ve ısıtma uygulamalarına kadar pek çok alanda birincil enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Bu süreçte, bir çok alternatif enerji kaynağı ortaya çıkmış olmasına ve kömürün çevreye olan etkileri nedeniyle yoğun şekilde tartışılmasına rağmen, kömürün kullanımından vazgeçilmemiştir. Günümüzde ise kömür hala gelişmiş pek çok ülkede elektrik üretiminde en yaygın kullanılan enerji kaynağıdır ve yakın gelecekte de bu lider konumunu sürdürmesi beklenmektedir. Bu sebeplerden ötürü, mevcut kömür rezervleri ve kömür enerjisi teknolojilerinin çevresel etkileri de göz önünde bulundurarak, kömürün en doğru şekilde kullanımına yönelik politika ve stratejilerin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu bağlamda TÜBA Temiz Kömür Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli yapılmış ve neticesinde bu rapor derlenmiştir. Raporda ülkemizin enerji ithalatını azaltmada kömür rezervlerinin ve temiz kömür teknolojilerinin daha verimli kullanılabilmesi için uygulanabilir çözüm, politika ve strateji önerileri ile ortaya koymak ve ülkemizin sürdürülebilir kalkınmasına katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

Çalıştay raporu iki ana bölümden oluşmaktadır. İlk olarak Dünyada ve Türkiye’de temiz kömür teknolojilerinin durumu ve değerlendirmesi karşılaştırmalı olarak yapılmış; temiz kömür teknolojilerine yönelik

proses mühendislik uygulamaları konularında üniversite, kamu ve özel sektör temsilcileri tarafından yapılan stratejik ve ekonomik çıkarımlara yer verilmiştir. Ayrıca bu bölümde, Türkiye’nin kömür enerjisi politikaları ve stratejisi hakkında kamudan ve özel sektörden uzman görüş ve önerileri de yer almaktadır. Raporun incelediği ikinci ana başlıkta ise kömür teknolojileri üzerine üniversite temsilcilerinin teknik analizlerine yer verilmiştir. Bu kapsamda, kömürün hazırlanması ve kullanımında hem çevresel olarak kabul edilebilirliğini hem de verimliliğini artıran teknolojiler sunulmuştur. İlk olarak TÜBİTAK destekli olan dolaşımli akışkan yatakta linyit ve biyokütle-kömür karışımlarının yakılması projesi incelenmiştir. Bu proje sonucunda düşük ısı değerli linyit kömürlerimizi biyokütle ile beraber yakarak kısa ve orta vadede bu kaynaklardan temiz enerji üretiminde artış sağlanabileceği görülmüştür. Ayrıca kömürün yanmasını ve CO₂ tutmayı bir arada gerçekleştirmeye olanak veren oksijen-yanma teknolojileri, halihazırda laboratuvar ölçekli tesisleri bulunan mikrodalga plazma yöntemiyle çalışan kömür gazlaştırma teknolojileri, %100’e yakın saflıkta CO₂ tutma ve depolamada düşük maliyetli olması gibi özellikleriyle ön plana çıkan kimyasal döngü yanma teknolojilerine ve de en son olarak biyokütle ile birlikte yanma teknolojilerine yer verilmiş; teknolojik ve endüstriyel açıdan bu yöntemler değerlendirilmiştir. Raporun son bölümünde ise ülkemizin kömür rezervlerinden maksimum verimle faydalanabilmesi ve stratejik, teknolojik, ekonomik politikaların geliştirilmesine ilişkin öneriler sunulmuştur.

TÜBA-TEMİZ KÖMÜR TEKNOLOJİLERİ RAPORU

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere enerji konusu günümüz dünyasının en önemli sorunlarından biri olup, ülkelerin gelecek politikalarını belirlemede hem arz güvenliği hem de erişilebilirlik açısından önemli ölçüde esneklik ve kolaylık kazandırmaktadır. Bu çerçevede özellikle kömür, yerli enerji kaynağı kullanımında dünyada yaygın olarak kullanılan kaynaklardan biridir [1].

Kömür, yaklaşık iki yüzyıllık bir zamanda, yeryüzünün en temel enerji kaynaklarından biri olarak görülmektedir. Bu zaman diliminde, kömürün çevreye olan etkisi üzerinde yoğun olarak tartışmalar olmasına ve pek çok yeni enerji kaynağı da ticari anlamda kullanıma geçmiş olmasına rağmen, insanların kömür kullanımından pek de kolay vazgeçemeyecek olması gerçeği açıktır. Kömür hala gelişmiş pek çok ülkede elektrik üretiminde en yaygın kullanılan kaynaktır. Gelecekte de bu lider konumunu sürdürmesi beklenmektedir.

Ülkenin gelişen ekonomisiyle beraber enerji talebinin de giderek artan bir biçimde ithalat yoluyla karşılanmasının ülkemiz enerji güvenliğini azalttığı bilinmektedir. Ayrıca, kömür üretim faaliyetlerinin gerektirdiği yol, su, elektrik, haberleşme gibi alt yapı gereksinimlerinin madencilik yapılan bölgeye getirilmesi ile söz konusu bölgede belirli düzeyde bir altyapı tesis edilebilmesi ve söz konusu altyapının kalkınmanın da temel unsurlarından birini oluşturması, kömür madenciliğinin istihdam ağırlıklı bir sektör olması bakımından bölgeler arası göçü sınırlayıcı nitelikte olması ve bunun yanında kömüre dayalı diğer bölgesel sanayileri de geliştirmek suretiyle dolaylı istihdam yaratma özelliğinin bulunması önem arz etmektedir.

Artan enerji ihtiyacının karşılanmasında, yerli linyitlerimizin, gerek elektrik üretimi amaçlı gerekse ısınma ve sanayide kullanımının artırılması, enerji güvenliğinin yanında ekonomiye katkı sağlaması bakımından da büyük önem taşımaktadır [2].

2015 yılı verilerine göre dünya birincil enerji tüketiminde kaynakların payı sıralamasında petrol %33 ile birinci sırada yer alırken, kömür %29 ile ikinci sırada yer alarak doğal gazın önündeki yerini korumuştur [3].

Birçok kaynağa göre kömür gelecek projeksiyonlarında da birincil enerji tüketimindeki yerini koruyacak hatta 2040 yılında en büyük pay %29 ile kömürün olacaktır. Kömürü %27 ile petrol ve %23 ile doğal

gaz izleyecektir [3]. Kömür özellikle çevresel kısıtlamalardan dolayı enerji tüketiminde elektrik üretimi amaçlı kullanılmaktadır. Çeşitli ülkelerin elektrik üretimindeki payı incelendiğinde özellikle Güney Afrika'nın çok yüksek oranlarda kömürü kullandığı görülmektedir. Güney Afrika elektrik üretimini %92,6 oranında kömürden sağlamaktadır. Polonya'da bu oran %83,7; Çin'de %74,7; Avustralya'da %64,6; yenilenebilir enerji potansiyelinin tamamını kullanan Almanya'da %44,6'dır. Ülkemizde ise bu oran ithal kömürle birlikte %25,8 civarındadır [3].

Gelişen ve endüstrisi hızla büyüyen Türkiye'nin birincil enerji tüketim verilerinde ithal kaynakların payı %70'in üzerinde seyretmekte olup, petrol ve doğalgaz yönünden yetersiz kaynaklara sahip olmamıza rağmen, ithal kaynaklara olan bağımlılığı azaltmak için çeşitli projeler sürdürülmektedir [1].

Ülkemizdeki kömürler genelde düşük ısı değere sahip linyit özellikli kömürler olduğundan, elektrik üretimi amaçlı değerlendirilmeleri daha uygundur. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2023 ve sonraki yıllara hitap eden uzun vadeli planlamaları arasında, enerjide dışa bağımlı olmamızdan kaynaklı cari açığımızın azaltılmasına yönelik çeşitli planlamalar mevcuttur. Bu planlamaların en önemli ayaklarından birisini de petrol ve doğal gaz yönünden yoksun ülkemizin yerli linyit kaynaklarını temiz kömür teknolojilerini kullanarak elektrik üretimi amaçlı değerlendirmek oluşturmaktadır [1].

Ülkemiz kömür rezervlerinin ekonomimize kazandırılabilmesi için üst politika belgelerinde önemli amaç ve hedefler bulunmaktadır. Onuncu Kalkınma Planı, 2014-2016 Orta Vadeli Program, Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi, Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu 26. Toplantısı Kararları ve Bakanlığımız 2015-2019 Stratejik Planı'nda bu konuya ilişkin açık ve kesin hedefler belirlenmiştir. Orta vadeli programda yerli kömür kaynaklarının kullanımına ağırlık verileceği ifade edilirken, Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi'nde bilinen linyit ve taşkömürü kaynaklarımızın 2023 yılına kadar elektrik enerjisi üretimi amacıyla değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Dolayısıyla kömür, stratejik bir enerji kaynağı olarak projelendirilmekte ve hızla değerlendirilmektedir [1].

Bu çalışmada ülkemizin enerji ithalatını azaltmada kömür rezervlerinin ve temiz kömür teknolojilerinin daha verimli kullanılabilmesi için bilimsel, teknolojik,

endüstriyel, çevresel, enerji, sosyal, ekonomik anlamda uygulanabilir çözümler, politikalar ve stratejiler ortaya koymak amaçlanmıştır ve bu sebeple “Dünyada ve Türkiye’de Temiz Kömür Teknolojilerinin Durumu ve Değerlendirme”, “Türkiye’nin Kömür Potansiyeli ve Hedefler”, “Temiz Kömür Teknolojilerine Yönelik Proses Mühendislik Uygulamaları” konularında ve “Temiz Kömür Yakma Teknolojileri”, “Dolaşım Akışkan Yataкта Linyit ve Biyokütle-Kömür Karışımlarının Yakılması”, “Oksi-Yanma Teknolojileri”, “Plazma Yöntemiyle Kömür Yakma/Gazlaştırma Teknolojileri”, “Kömürler İçin *Chemical Looping* Yanma Teknolojileri” “Biyokütle İle Birlikte Yanma (Esnek Yanma)” konularında üniversite ve sektörden uzmanların konularla ilgili çalışmaları derlenmiştir.

2. DÜNYA KÖMÜR POTANSİYELİ

Dünya Enerji Konseyi araştırmalarına göre; dünya kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervi yaklaşık olarak 900 milyar ton büyüklüğündedir. Söz konusu rezervin; 400 milyar tonu antrasit ve bitümlü kömür, 300 milyar tonu alt bitümlü kömür ve 200 milyar tonu ise linyit kategorisindedir [2]. Dünya genelinde kömür rezervlerinin %35 kadarı Avrupa-Avrasya ülkelerinde, %33 kadarı Asya-Pasifik ülkelerinde, %27 kadarı Kuzey Amerika ülkelerinde, %3 kadarı Afrika-Doğu Akdeniz ülkelerinde ve %2 kadarı da Orta ve Güney Amerika ülkelerinde bulunmaktadır [4].

Dünya Enerji Konseyi tarafından 80 civarında ülkede bulunduğu raporlanan dünya kömür rezervlerinin en büyük kısmı dünya rezervinin yarısından fazlası olan 237 milyar ton ile ABD’de yer almaktadır. ABD’yi 157 milyar ton ile Rusya ve 115 milyar ton ile Çin izlemektedir [2]. Diğer kömür zengini ülkeler arasında; Avustralya, Hindistan, Almanya, Ukrayna, Kazakistan ve Güney Afrika Cumhuriyeti bulunmaktadır. Dolayısıyla, dünya kömür rezervlerinin %90’dan fazlası saydığımız bu dokuz ülkenin sınırları içinde yer almaktadır [5].

2016 yılı dünya taşkömürü ve linyit üretimleri dikkate alındığında, küresel taşkömürü rezervlerinin yaklaşık 115 yıl, linyit rezervlerinin ise yaklaşık 220 yıl ömrü bulunmaktadır [4]. Toplam 200 milyar ton büyüklüğündeki dünya linyit rezervlerinin en büyük bölümü 40 milyar ton ile Almanya’da bulunmaktadır. Bu ülkeyi 37 milyar ton ile Avustralya ve 30 milyar ton ile ABD izlemektedir. Almanya Federal Yer Bilimleri ve Doğal Kaynaklar Enstitüsü’ne göre, günümüz koşullarında henüz teknik ya da ekonomik bakımdan kazanılabilir olmayan 17 trilyon ton taşkömürü ile 4,2 trilyon ton linyit, “kaynak” olarak yerkürede kullanılabileceği zamanı beklemektedir [2].

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve ABD Enerji Bakanlığı (DOE) tarafından yapılan enerji senaryoları çalışmaları küresel enerji denkleminin yüzyılımızın ortasına kadar çok fazla değişmeyeceğini, 2035 yılına kadar enerji tüketimi içinde fosil yakıtların payının %79, tek başına kömürün payının ise %29 civarında olacağını ve kömürün önümüzdeki yıllarda da en büyük birincil enerji kaynaklarından biri olarak hayati önemini koruyacağını göstermektedir. Bu nedenle, kömür tüm dünyada daha önemli ve daha stratejik bir enerji kaynağı niteliğini taşımaktadır [6].

Tablo 1. Dünya birincil enerji gereksinimi.

Enerji Kaynakları	2010	2035 Mevcut Politikalar	2035 450 Senaryosu
Petrol	%34,6	%27	%25
Kömür	%27,6	%28	%16
Doğal Gaz	%23,4	%23,3	%23
Yenilenebilir	%8,6	%14	%26
Nükleer	%5,7	%6	%10
Fosil Yakıtlar	%86	%78	%64
Toplam Enerji	12.700 Mtoe	18.700 Mtoe	14.800 Mtoe

Kaynak: [7].

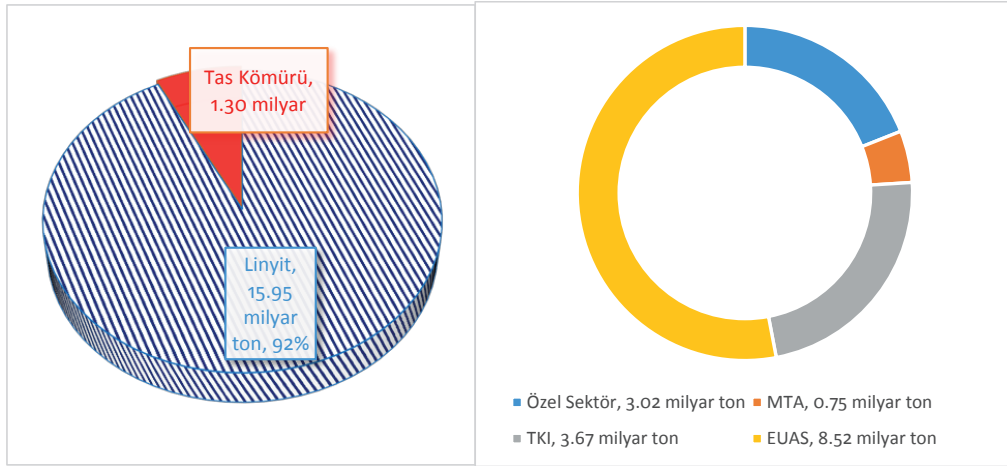
3. ÜLKEMİZİN KÖMÜR POTANSİYELİ

Ülkemiz kömür kaynağı 17,25 milyar ton olup, bunun 15,95 milyar tonu linyit ve asfaltit olup; kalan 1,3 milyar tonu ise taş kömürü niteliğindedir. 2005 yılından beri sürdürülen yerli kömür arama çalışmaları kapsamında kömür kaynağımız 8,3 milyar ton’dan 17,25 milyar ton’a yükselmiş olup, ülkemizin henüz yarısı taranmış bulunmaktadır. Ülkemiz kömür kaynak durumunu gösteren grafik ve kaynakların kuruluşlara göre dağılımı Şekil 1’de gösterilmiştir. Şekil 1’den de görüleceği üzere ülkemizdeki kömür kaynaklarının büyük bir çoğunluğunu linyit kaynakları oluşturmaktadır. Daha yüksek ısı değere sahip taş kömür ise toplam rezervin %8’ini oluşturmaktadır. Şekil 2’de ise Türkiye kömür sahaları ve ortalama kaynak miktarları gösterilmiştir. Ülkemizde linyit kaynaklarının geniş bir alana yayıldığı gözükürken taş kömür ise yalnızca Zonguldak havzasından çıkartılmaktadır.

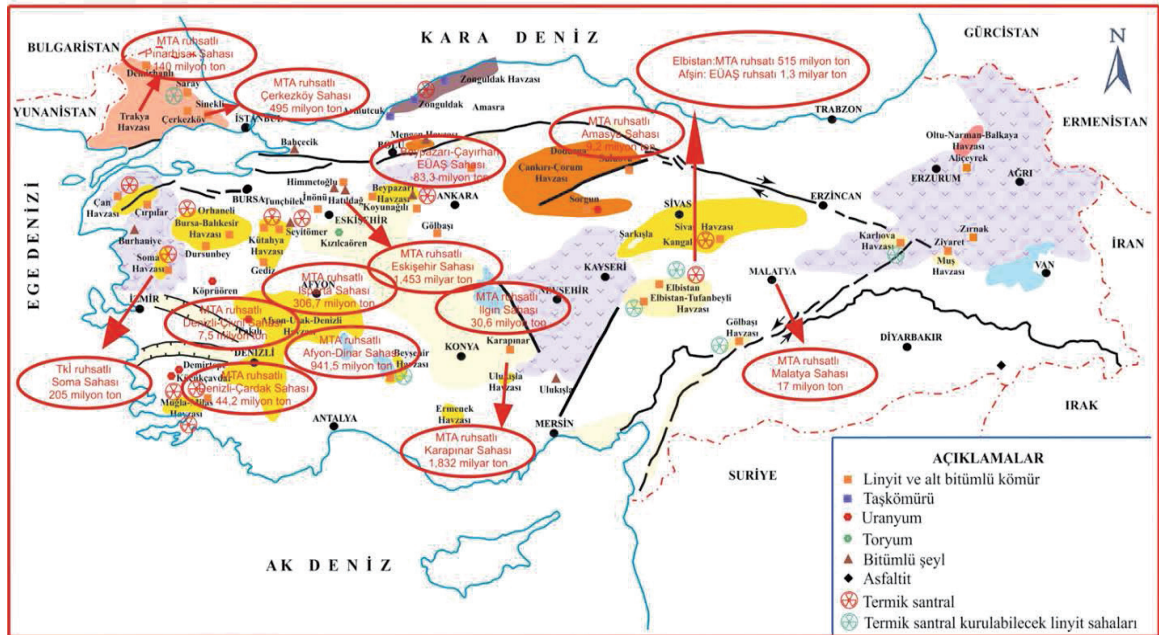
1992 yılından beri neredeyse durma noktasına gelmiş kömür aramalarına 1991-2005 arası sadece 71.238 metre sondaj yapılmıştır. 2005-2016 arası ise 1.839.718 metre sondaj yapılmıştır. Ülkemiz linyit kaynağı %92 oranında artırılmıştır. Son yıllarda bulunan yeni kömür sahaları ve ortalama kaynak miktarları Şekil-2’deki Türkiye haritası üzerinde gösterilmiştir [8].

Kömür arama çalışmaları kapsamında MTA Genel Müdürlüğü tarafından 2016 yılı içinde 202.778 metre kömür arama sondajı yapılmıştır. TKİ tarafından ise 2016 yılı içerisinde tamamı ihale yoluyla (kurum dışı) olmak üzere 75.821 metre arama sondajı yapılmıştır.

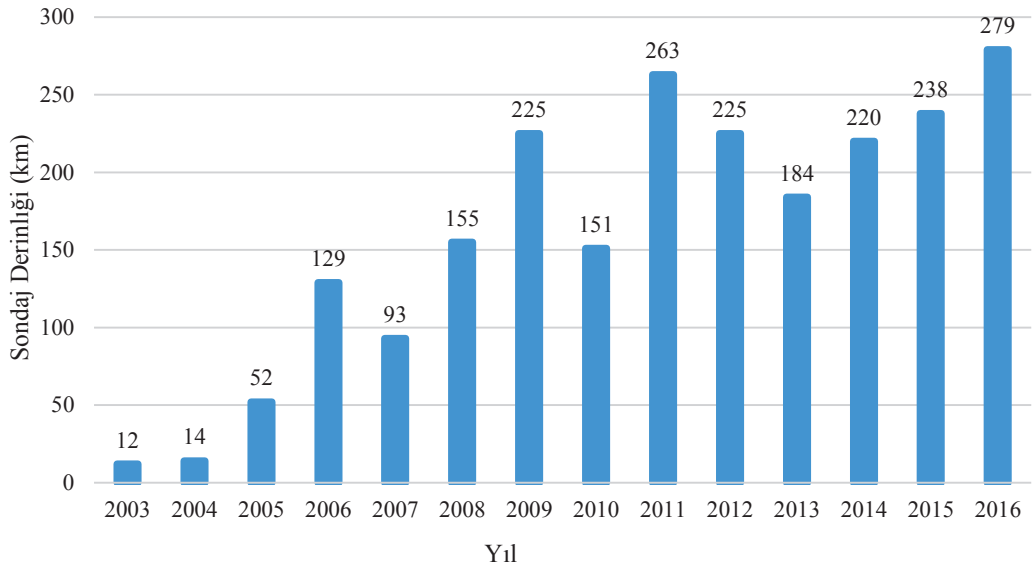
Ayrıca, son 14 yılda MTA [9, 10] tarafından yapılan kömür arama sondaj metrajları ve kaynak artışları Şekil-3'te verilmiştir. Şekil 3'ten de görüleceği üzere sondaj derinlikleri genel anlamda yıllar içerisinde artmıştır. 2003 yılında 12 km sondaj yapılmış iken bu miktar 2016 yılı itibarı ile 279 km'ye ulaşmıştır.



Şekil 1: Türkiye kömür kaynak durumu ve Türkiye kömür kaynağının kuruluşlara göre dağılımı (Kaynak [8]'den uyarlanmıştır).



Şekil 2: Türkiye kömür sahaları ve ortalama kaynak miktarları [8].



Şekil 3: Türkiye kömür sondaj metrajları miktarı (Kaynak [10]'dan uyarlanmıştır).

Yapılan sondaj çalışmaları neticesinde yeni bulunan ve hızla projelendirilmesine başlanılan yeni linyit sahaları Tablo 2’de listelenmektedir. Bu rakamların toplamına bakıldığı zaman 6 milyar tonun üzerinde bir rezervin olduğu görülmektedir. Bu da kesinlikle ülkemiz için ihmal edilemeyecek bir kaynaktır.

Tablo 2. Türkiye’nin yeni linyit sahaları.

Saha	Kaynak miktarı
Karapınar/Ayrancı	1.832 milyar ton
Eskişehir-Alpu	1.453 milyar ton
Afyon-Dinar	941,5 milyon ton
Elbistan (MTA Sahası)	515 milyon ton
Tekirdağ-Çerkezköy	495 milyon ton
Kırklareli-Pınarhisar-Vize	140 milyon ton
Konya-Ilgın	30,6 milyon ton
Malatya-Yazıhan	17 milyon ton
Amasya-Merzifon	9,2 milyon ton
İsparta-Şarkıkaraağaç	306,7 milyon ton
Denizli Çardak	44,2 milyon ton
Denizli-Çivril	7,5 milyon ton
Afşin-Elbistan (EÜAŞ)	1,3 milyar ton
Manisa-Sorna (TKİ Sahası)	205 milyon ton
Beypazar-Çayırhan (EÜAŞ)	83,3 milyon ton
TOPLAM	6.081 milyar ton

Kaynak: [1]

Yerli kömüre dayalı olarak çalışan mevcut termik santrallerle ilgili detaylı bilgiler Tablo 3’te listelenmektedir. Tablo 3’ten de görüleceği üzere ülkemizde

toplam 9,513 MW kapasitede kurulu kömür santrali bulunmaktadır. Kurulu kapasitenin büyük bir kısmı ise özel sektör tarafından inşaa edilmiştir (5,103 MW). Bu da ülkemizde özel sektörün gücü açısından önemli bir parametre olarak görülebilir.

Bu hedeflere yönelik ETKB 2016 Yılı Faaliyet Raporu’ndaki “2016 yılı Performans Programı Hedef ve Göstergeler” başlığı altındaki yerli kömür hedefi gerçekleşme durumuna bakıldığında hedeflenen değerin üzerine çıktığı görülmektedir. 43 milyar kWh olarak belirlenen hedef, 44,58 milyar kWh olarak gerçekleşerek, %104’lük oldukça başarılı bir oran yakalanmıştır [1].

Yerli kömüre dayalı olarak kurulabilecek toplam kapasite yaklaşık 28.125 MW civarındadır. Mevcut 9872,6 MW’lık kapasite ile birlikte toplamda yaklaşık 40.000 MW’lık bir yerli kapasiteye ulaşılabilecektir. TKİ tarafından yürütülen projeler sonucunda elde edilebilecek toplam ilave kapasite ise yaklaşık 2.715 MW olmaktadır. Fakat projelendirme ve inşaa süreleri düşünüldüğünde, bu kapasiteye ancak 10 yıl sonra ulaşılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca kömür arama çalışmaları halen devam ettiğinden, yeni kömür sahalarının bulunması olasıdır. Tablo 4, yerli kömüre dayalı kurulumu devam eden ve planlanan termik santrallerle ilgili detaylı bilgileri içermektedir [1]. Kurulumu devam eden ve planlanan santrallerin rezervlerinin 11.655 milyon ton olduğu gözükmemektedir. Tablo 4’te yıldız (*)’lı olarak işaretlenen santraller kurulum amaçlı planan sahaları göstermektedir ve toplamda 1.038 milyon ton rezerve tekabül etmektedir.

Tablo 3. Yerli kömüre dayalı mevcut termik santraller.

Santral Adı	Kurum/ Firma	Kurulu Güç (MW)	Baz Kalori (kcal/ kg)	Kaynak (Milyonton)	İşletme Yöntemi	Kamu/Özel	Özelleştirilmesi Yapılmış İse			
							Satış Tarihi	Satılan		
Çanakkale Çan	EÜAŞ	320	2600	75	Açık Ocak (Linyit)	Kamu	-	-		
Afşin Elbistan (A+B)	EÜAŞ	2795	1100	742	Açık Ocak (Linyit)	Kamu				
Ankara Çayırhan	Park Enerji	620	2000	156	Yeraltı (Linyit)	İşletme Hakkı (30 Yıllığına)				
Bolu Göynük	Aksa	270	2.300	39	Açık Ocak (Linyit)	Rödövens(Tl/ Ton)				
Şırnak Silopi Harbul	Park Enerji	405	4500- 5500	30	Açık Ocak (Asfaltit)	Rödövens(Tl/ Ton)				
Adana Tufanbeyli	Enerjisa	450	1200	210	Açık Ocak (Linyit)	Özel	-	-		
Kütahya Tunçbilek Polat-1	Polat Yolyapı	51	3000	15	Açık Ocak (Linyit)					
Kütahya Seyi- tömer	Çelikler	600	1400- 2000	180	Açık Ocak (Linyit)	Özel			17.06.2013	Saha + Santral
Muğla Kemerköy	İC İÇTAŞ	630	1700	100	Açık Ocak (Linyit)				23.12.2014	Saha + Santral
Muğla Yeniköy	İC İÇTAŞ	420	1750	241	1/2 A.00ak+ 1/2 Y.Altı (Linyit)					
Muğla Yatağan	Bereket Enerji	630	1950	52	Açık Ocak (Linyit)		1.12.2014	Saha + Santral		
Manisa Soma B	Konya Şeker	990	1-4 (2350) 5-6 (1550)	720	1/3 A.00ak+ 2/3 Y.Altı (Linyit)		23.03.2015	Santral		
Kütahya Tunçbilek	Çelikler	365	1 (3500) 2-3 (2400)	261	1/2 A.00ak+ 1/2 Y.Altı (Linyit)		23.03.2015	Santral		
Bursa Orhaneli	Çelikler	210	2350	105	Açık Ocak (Linyit)			Saha + Santral		
Sivas Kangal	Konya Şeker	457	1200	91	Açık Ocak (Linyit)		14.08.2013	Saha + Santral		
Zonguldak Çatalağzı	Bereket-El- san	300	3300	Filtre Toz Kömür	Yeraltı (Taş Kömürü)		22.12.2014	Santral		
Toplam		9.513,00		3.017						

Kaynak :[1]

Tablo 4. İnşa halindeki ve planlanan termik santrallerle ilgili bilgiler:

Yer	Kurum	Rezerv (Milyon Ton)	Baz Kalori (kcal/kg)	Gücü (MW)
Adana-Tufanbeyli *	TKİ	323	1.300	700
Manisa-Soma *	TKİ	153	1.500	510
Bursa-Keles *	TKİ	61	2.100	270
Kütahya-Tunçbilek *	TKİ	117	2.300	300
Bingöl Karlıova *	TKİ	80	1.350	150
Şırnak-Merkez	TKİ	28	4.500	270
Şırnak-Üçkardeşler *	TKİ	22	4.500	135
Çayırhan	EÜAŞ	213	2.640	750
Eskişehir-Mihalıççık *	TKİ+EÜAŞ	41	2.100	290
Eskişehir-Alpu	TKİ+EÜAŞ	1500	2.238	3000
Trakya	TKİ ve EÜAŞ	276 + 500	1.700	900+1650
Konya-Karapınar	EÜAŞ	1800	1370	5000
Afşin- Elbistan	EÜAŞ	4800	1.100	8000
Afyon-Dinar	MTA	941	1.600	2000
Taş Kömürü-Zonguldak	TTK	1300	5.000-6.000	4200
Toplam		11.655		28.125

Kaynak: [1]

Yeni bulunan sahalar için mevcut santral kurulum modeli, özel sektör kurgusu üzerinedir. 2017’de ihalesi yapılan Çayırhan-2 linyit sahası, bu kurgunun ilki olma özelliğini taşımaktadır.

15 yıl alım garantisi olan bu modelde:

- 6500 saat çalışma garantisi ile sabit satış fiyatı üzerinden kur riskini minimize edecek ABD Doları kuru bazında ve inşaat dahil 15 yıl projenin geri ödeme süreci ile üretilen elektriğin alım garantisi bazında gerçekleştirilmiştir.
- Söz konusu santralin çevre mevzuatı kriterleri içerisinde AB mevzuatının da altında emisyon değerleri ile yapılması şartı getirilmiş ve karbon vergisi, diğer vergi ve harçlar üzerinde olabilecek değişikliklerden yatırımcı korunmuştur.
- 6500 saat çalışmanın üzerindeki fazla üretimin serbest piyasaya satılması öngörülerek serbest piyasaya etkinin de minimize edilmesi hedeflenmiştir.

Sonuçta; daha yüksek verimlilik, daha optimum kapasite ve yüksek kullanım kolaylığı, sabit elektrik fiyatı ile finansörlerin kabul edebileceği yeni bir kömür yatırım modelinin oluşturulması amaçlanmıştır.

Eskişehir Alpu’daki yaklaşık 1,5 milyar ton ve Trakya Vize’deki 158 milyon ton Jorc standartlarında kaynağa sahip linyit sahalarının da, termik santral kurma şartıyla aynı modelde ihale edilmesi planlanmaktadır.

Alpu Projesi;1,5 milyar ton kaynak, 3000 MW ve üzerinde kurulabilecek termik santral kapasitesi, yaklaşık 15 bin kişilik doğrudan, 120 bin kişilik de dolaylı istihdam, 32,5 milyar kWh yıllık elektrik üretim kapasitesiyle ülkemiz yıllık elektrik tüketiminin yaklaşık %12’sini tek başına karşılayabilecek dev bir projedir.

Vize Projesi;158 milyon ton kaynak, ortalama 1700 kcal/kg alt ısı değeri (AID), 150-350 m arası derinlik ile yeraltı işletmeciliğine uygun, Trakya havzasının elektriğinin bir kısmını yerli imkânlarla karşılayacak önemli bir projedir [1].

Sürdürülebilir enerji politikaları ve enerji arz güvenliği, ülkelerin gelişimleri ile ekonomik ve ulusal güvenliklerinin temelini oluşturmaktadır. Bu nedenle enerji kaynaklarını kesintisiz, güvenilir, ucuz, temiz ve çeşitlendirilmiş kaynaklardan sürdürebilir olarak sağlamak ve verimli kullanmak, her ülkenin güvence altına alması gereken en önemli hususlardır.

Temel politika olarak, yerli kömürlerimizin ülkemizin enerji arzında dışa bağımlılığını azaltma amacı ile en verimli bir şekilde aranması ve üretilmesine yönelik çalışmaların yapılması ve ayrıca çevresel açıdan gerekli önlemlerin alınmasıyla birlikte değerlendirilmesi düşüncesi benimsenmelidir. Arz güvenliği sorununun aşılması için öncelikle yerli kaynakların daha fazla değerlendirilmesi, daha sonra hem ithal enerji kaynaklarının hem de ithal edilen kaynağın getirildiği ülkelerin çeşitlendirilmesi gerekmektedir.

Türkiye ekonomisinin yüksek ve istikrarlı büyüyebilmesi için mümkün olan bütün yerli kaynakların enerji üretimi amacıyla öncelikli husus olarak değerlendirilmesi sürdürülebilir kalkınmanın temini açısından önem taşımaktadır. 2009 yılında Yüksek Planlama Kurulu Kararı ile uygulamaya konulan “Elektrik Enerjisi Piyasası Arz Güvenliği Strateji Belgesi” ile 2023 yılına kadar, tüm yerli kömür potansiyelimizin ekonomimize kazandırılması hedefleri doğrultusunda; dünyada temiz kömür teknolojileri alanında ortaya çıkan olumlu gelişmeler (kömür yakma teknolojileri, kömür gazlaştırma ve kömür madencilikindeki teknolojik gelişmeler v.b. gibi) yakından takip edilerek kömür kaynaklarımızın, fosil yakıtlar içinde; “öncelikli olarak değerlendirilmesi zorunlu kaynak” olduğu gerçeği göz önünde bulundurulmalıdır. Nitekim ülkemizin zengin linyit rezervlerine sahip olması ve yapılan/yapılacak aramalar ile yeni kömür yataklarının bulunup geliştirilmesi fırsatları düşünüldüğünde, gelecekte kömürden elektrik üretiminden azami bir şekilde yararlanılmasının kaçınılmaz olduğu görülecektir [11].

4. TEMİZ KÖMÜR TEKNOLOJİLERİ

Kömür, enerji üretiminde çeşitliliğin kritik bir dengeleyicisidir. Ekonomik ve sosyal gelişmenin sağlam bir temele dayalı olabilmesi için güvenli, sağlam ve güçlü bir enerji kaynağına ihtiyaç vardır. Dünyada mevcut enerji üretiminde en büyük paya sahip olan kaynak kömürdür.

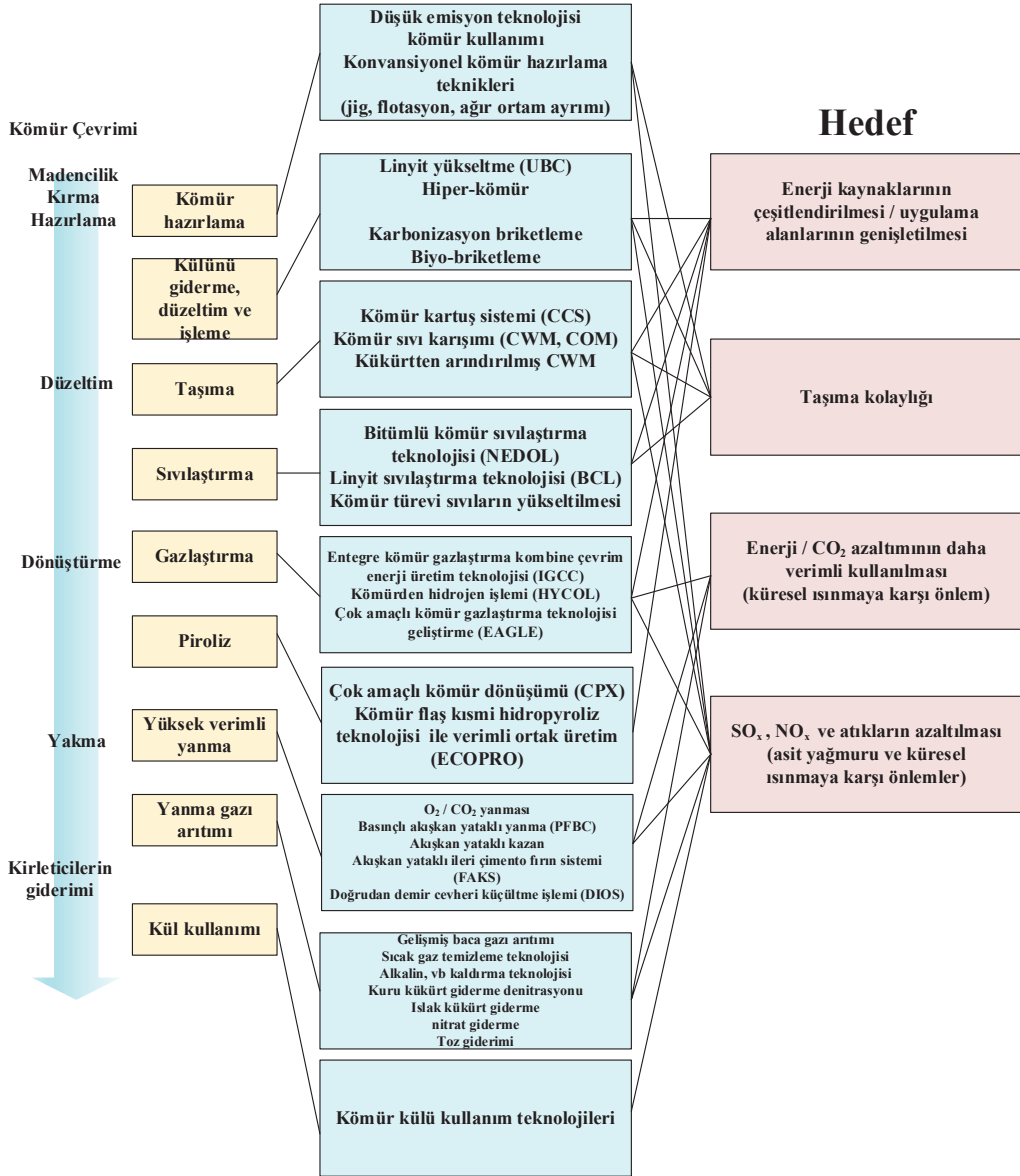
Geleneksel kömür teknolojileri ve temiz kömür teknolojilerinin değerlendirilmesinde, kömürün üretiminden sonraki süreçler, özellikle de yakma teknolojileri ve bunların oluşturdukları emisyonlar üzerinde durulmaktadır. Ancak çevre ve insan sağlığı açısından, kömürün üretim aşamasında yapılan planlamalardan başlanarak her şeyin düşünülmesi gerekmektedir. Bu toplantıda ağırlıklı CO₂ emisyonunun azaltılması ve CO₂ tutma teknolojileri üzerinde yoğunlaşıldığından konu daha çok bu eksende irdelenecektir.

Temiz kömür teknolojilerinin birinci adımı, madenden üretilen kömürün mümkün olduğunca temiz olarak kullanımının sağlanmasıdır. Bu amaçla kömür yıkama (zenginleştirme) tesisleri kurulmaktadır. Ancak kömürlerin tümü bu işlemlere uygun olamamaktadır.

Temiz kömür teknolojilerinin uygulama alanları madencilik (üretim) sürecinin dışına çıkmaktadır. Bu teknolojilerin kullanım alanları ve hedef çıktıları Şekil 4’te gösterilmiştir. SO_x, NO_x ve atıkların azaltılması temiz kömür teknolojilerinin hedef çıktısı olarak gözükmektedir. Bunların içerisinde sadece yeraltı gazlaştırma tekniklerinde belli oranda madencilik teknolojilerinden yararlanmak mümkündür. Şahsen Maden Mühendisi olmam nedeni ile temiz kömür teknolojileri üzerinde tartışmaya girilmesi çok yarar getirmeyecektir. Ancak dünyadaki uygulama örnekleri ve kömür oluşum şartları ve özelliklerine bağlı çeşitli kısıtlar konusunda bazı teknolojilerin ülkemizde uygulanabilirliği konusunda fikir yürütmek uygun olacaktır. Bunlardan bazıları için fikirler aşağıda kısaca vurgulanmaktadır [12].

Yeraltı kömür gazlaştırma; Bu teknoloji uzun yıllardır dünyada araştırılmaktadır. Yıllarca çalışan pilot tesislerin yanında belli oranda endüstriyel uygulamaya girmiş olanlar da mevcuttur. Uygulaması her zaman risk taşıyan ve çok özel şartlar arayan bir tekniktir. Ülkemiz kömürleri için de zaman zaman bu konuda fikirler ortaya atılmaktadır. Ancak ülkemizdeki kömür sahalarının bu teknoloji için aranan şartları sağlamak açısından büyük problemleri mevcuttur. Özellikle kömürün oluşum ve yataklanma koşulları ve jeolojik formasyonlar bu konuda en önemli kısıtları oluşturmaktadır [12].

Kömür-biyokütle karışımlarının yakılması/gazlaştırılması; Dünyadaki uygulamalara bakıldığında görünen durum, kaliteli kömürün, biyokütlenin yanmasının dengelenmesi amaçlı kullanıldığıdır. Bu kullanımda kömürün oranı genelde %15 civarında kalmaktadır. Ülkemizdeki araştırmalara bakıldığında ise, (özellikle TÜBİTAK ve benzeri çağrılarına yönelik projelerdeki ve benzerlerinde) biyokütle ülkemizdeki düşük kaliteli kömürlerin iyi bir yakıt haline getirilmesi için bir araç olarak görülmektedir. Bu amaçla da %50 kadar düşük kaliteli kömürün biyokütle ile karışımının önerildiği çalışmalar mevcuttur. Bu yanlış bir algı oluşturmaktadır. Biyokütle, kömürün kalitesini iyileştirmek amaçlı kullanıma uygun bir araç değildir. Bu hem miktarsal anlamda, hem de kömürün hiç bir ön iyileştirmeye tabi tutulmadan kullanımını ön görmesi açısından, uygun görülmemektedir [12].



Şekil 4. Temiz kömür teknolojisi sistemleri (Kaynak [13]’ten uyarlanmıştır.)

CO₂ depolama teknolojileri; bu konuda literatüre bakıldığında önerilen çeşitli yöntemler mevcuttur. Ancak yine literatürden anlaşıldığı kadarıyla, kısa vadede çok uygulanabilir bir teknik olarak görülmemektedir. Çeşitli teknolojik kısıtların yanında, bizim gibi gelişmekte olan ülkelerin CO₂ tutma ve depolama ekonomisi ile başatması pek mümkün değildir [12].

Diğer teknolojiler; bunlar genelde yakma esnasında ve/veya hemen yakma sonrası bacada uygulanan tekniklerdir. Bu teknikler genelde kimya ve makine mühendisliğinin uygulama alanlarına girdiğinden bu konular üzerinde durulmayacaktır [12].

Bu teknolojiler ışığında çeşitli ülkeler yol haritalarını çizmişlerdir. Ülkemizde ise yapılabilecek uygulamalar bu bölüm içerisinde detaylı şekilde anlatılmıştır.

Enerji kaynaklarında dışa bağımlılık; kömür teknolojilerinde dışa bağımlılık, mevcut kömür rezervlerinin ağırlıklı olarak düşük kaliteli linyit kategorisinde olması, çevresel koruma ve iklim değişikliği ile mücadeleye yönelik yaptırımlar ülkemiz kömür sektörünün ana konularını oluşturmaktadır. Bu nedenle enerji arz güvenliğini sağlamaya yönelik olarak yerli kömür üretimi ve kullanımını artırma politikası ülkemiz

enerji politikasının en ana bileşenidir. Dünya kömüre dayalı elektrik üretiminin %41 seviyelerinde olduğu da dikkate alınırsa özellikle yerli kömür kaynaklarının elektrik üretimi amaçlı kullanılmasının artırılması ihtiyacı bulunmakta, bu konuda yerli kömüre dayalı santral projeleri alanında çalışmalar yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Enerji kaynağında dışa bağımlı olmanın yanı sıra kömür teknolojisinde de yüksek bir oranda dışa bağlı bir ülke olduğumuz için özellikle son on yıldan bu yana temiz kömür teknolojileri geliştirmeye yönelik başta linyit gazlaştırması olmak üzere Ar-Ge projelerine önem verilmektedir. Bu projelerin daha da artırılma ihtiyacı bulunmaktadır [14].

Ülkemizde linyit gazlaştırması ile ilgili daha çok TKİ Kurumu öncülüğünde, TÜBİTAK Enerji Enstitüsü ve çeşitli kuruluşlar ve üniversiteler işbirliğinde linyite dayalı pilot ölçekli AR-Ge çalışmaları yürütülmektedir. Daha önce bilgi verilen bu pilot ölçekli projelerle Türkiye linyitlerinin reaktiviteleri açısından gazlaştırmaya uygunluğu ispatlanmıştır. Ayrıca sonuçları özetlenen OPTIMASH kısa adlı AB projesinde, Türkiye linyitlerine uygun IGCC teknolojisi geliştirilmiş olup önümüzdeki süreçte ticari olarak önce 30-50 MW gibi küçük ölçekli, devamında 100-250 MW gibi orta ölçekli tesisler kurulmasının ülkemiz linyitlerinin sürdürülebilir, çevre dostu ve verimli bir şekilde değerlendirilmesine katkı koyacağı açıklar.

Bilindiği gibi, ülkemiz Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşması'nı imzalamış, ayrıca ve AB Enerji, Maden, Çevre mevzuatlarına uyumlaştırma çalışmalarını sürdürmektedir. Mevcut rezervlerimizin çoğunluğu düşük kaliteli linyit kategorisinde olduğu için, linyit kullanımından kaynaklanan çevresel etkileri; çevre koruma ve iklim değişikliğiyle mücadele ile ilgili yaptırımlara cevap verecek şekilde azaltmak ihtiyacı bulunmaktadır.

Yerli linyitlerimizin gazlaştırılması yoluyla elde edilen sentez gazının ithal doğal gazın ikamesi olarak değerlendirilmesi ile temiz ve yüksek verimlilikli elektrik üretimine olanak veren IGCC teknolojisi tercihi, ülkemiz linyit sektörünün geleceği için önemlidir. Temiz kömür teknolojileri, özellikle CCS teknolojisi için teşvik mekanizmasının oluşturulması da önemli bir diğer konudur. Yukarıda belirtilen tüm politika ve uygulamaların sürdürülebilir kalkınma bileşenlerini (ekonomik gelişme, çevre koruma ve sosyal adalet) birlikte dikkate alan bütünsel bir strateji ile yaşama geçirilmesi büyük önem arz etmektedir. Yürütülmekte olan Ar-Ge projeleriyle kamu, özel sektör, üniversiteler ve araştırma kurumları arasında işbirliği kültürü oluşturulmaya başlanmış daha da geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca proje hazırlama ve tek-

noloji geliştirme kabiliyetine sahip nitelikli işgücü geliştirilmesine yönelik politikalara daha da ağırlık verilmesi gerekmektedir [14].

Halen temiz kömür teknolojileri alanında doğrudan ya da dolaylı kullanılabilecek önemli fonlama mekanizmaları mevcuttur, öncelikle bu mekanizmalardan, istenen niteliklerde proje hazırlama kabiliyetini geliştirerek azami ölçüde etkin bir şekilde yararlanmak amaçlanmalıdır. Bu mekanizmalardan bazı örnekler [14]:

- TÜBİTAK tarafından yürütülen başta 1003 (ARDEB), 1007 (KAMAG), 1511 (TEYDEB) olmak üzere birçok Ar-Ge destek programları (1001, 1301, 1501, 1505, 1515, 1602 vb),
- Daha önceleri Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yürütülen günümüzde yürütümü TÜBİTAK'a verilen Sanayi Tezleri (SAN-TEZ) Programı,
- 08 Haziran 2010 tarihli Enerji Sektörü Ar-Ge Projeleri Destek Programına Dair Yönetmelik kapsamında sağlanan destek – (EN-AR),
- AB Çerçeve Programları/ Horizon 2020 kapsamında sağlanan destekler.

Ayrıca konu ile ilgili uluslararası örnekler incelenmeli, uygulanabilecek olanlardan örnek alınmalıdır. Örneğin; Avustralya proje geliştirme fon uygulaması kapsamında, kömür üretici firmalardan üretilen kömürden ton başına belli bir katkı alınması ile fon oluşturulmakta, yetkin bir komite tarafından kömür ile ilgili Ar-Ge projeleri seçilmekte, projeleri fonlayan firmalar proje sonuçlarına ücretsiz ulaşabilmekte, bu fonlardan yüksek lisans bursları verilmektedir. Projenin konusuna ve destek programının gerektirdiği koşullara bağlı olarak projelerin oyuncuları ve paydaşları değişkenlik arz edebilir. Örneğin TÜBİTAK 1007-Kamu Kurumları Ar-Ge Proje Destek Programı (KAMAG) projeleri oyuncu ve paydaşları ile daha çok özel sektörün başvurabildiği 1511-TEYDEB projelerinin oyuncu ve paydaşları farklılık arz etmektedir [14].

5. KÖMÜR TEMİZLEME, YAKMA ve CO₂ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ

Temiz kömür teknolojilerini, kömürün hazırlanması ve kullanımında hem çevresel olarak kabul edilebilirliğini hem de verimliliğini artıran teknolojiler olarak tanımlayabiliriz. Bilindiği gibi çevre koruma ve iklim değişikliği ile mücadele konusunda gittikçe artan bince paralel olarak yapılan yasal düzenlemelerin katı yaptırımları söz konusudur. Temiz kömür teknolojileri ile kömür kullanımından kaynaklanan emisyonları, atıkları azaltıp, birim ton başına elde edilecek enerji miktarını artırmak, başka bir ifade ile daha az kömür kullanarak daha çok enerji üretmek mümkün olabilir.

mehtedir. Nihai hedef kömürü sıfıra yakın emisyon ile kullanabilmektir. Başta sera gazı emisyonlarından CO₂ ve sera gazı olmayan ama çevre korumada önemli olan SO₂, NO_x ve partikül madde (PM) gibi emisyonları minimize etmektir.

Geliştirilmekte olan bu teknolojileri dört ana grupta toplamak mümkündür [14]:

1. Kömür Hazırlama/İyileştirme Teknolojileri (kırma/ öğütme/ eleme/ boyutlandırma/ yıkama/ kurutma/ briketleme vb): Bu teknolojiler ile kömürün bünyesindeki kükürt miktarını, inorganik maddelerden oluşan kül miktarını azaltmak, böylelikle kirlilik yaratan ve yanmayan inorganik maddeleri baştan azaltarak kömürün kalitesini artırmak ve çevresel etkisini kullanmadan minimize etmek mümkün olabilmektedir. Kömür miktarı azaldığı için nakliye masrafı da düşmektedir.
2. Santrallerde Verimlilik İyileştirmesi ve Emisyon Kontrol Teknolojileri: Yüksek Verimlilikli Düşük Emisyonlu (HELE) Teknolojileri olarak tanımlanan bu teknolojilerde %1,5 verimlilik iyileştirmesi ile %5 planlanmayan durumlarda ve %3 CO₂ emisyonlarında azalma, daha iyi çevre koruma ve ekonomik kazanç sağlamak mümkün olabilmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan bir çalışma ile halen dünya genelinde santral verimlilik ortalamasının %33 olduğu, bu oranın %40'a çıkarıldığı durumda yılda 2Gt emisyon azaltmak mümkün olduğu bunun Hindistan'ın yıllık CO₂ emisyonuna eşit olduğu ortaya konmuştur. Sera Gazı olmayan emisyonlardan SO₂'yi Baca Gazı Arıtma (BGA) sistemleri ile %90-97; NO_x'u muhtelif NO_x giderme teknolojileri ile (düşük NO_x yakıcılar (%30), SCR, SNCR (%90)), PM'yi Elektrostatik Presipitator (ESP) teknolojileri ile %99'lara varan yüksek verimlilikle tutmak mümkündür.
3. Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim Teknolojileri (IGCC) gibi İleri Teknolojiler: Kömürün gazlaştırması ve üretilen sentez gazından elektrik üretimi teknolojisi olan IGCC Teknolojisi; elektrik dönüşüm veriminin konvansiyonel santrallere göre çok daha yüksek olması; yanma öncesi kirlleticileri önleme teknolojisine sahip olmaları, daha düşük emisyon yaymaları; daha az su kullanıp daha az katı atık üretmeleri; girdi ve ürün esnekliğine sahip olması (sentez gazından sadece elektrik değil ulaşımda kullanılan sıvı yakıt, hidrojen ve çeşitli kimyasalların üretilmesine olanak sağlaması) gibi avantajlara sahiptir.

4. Karbondiyoksit Tutma, Kullanma ve Depolama Teknolojileri (CCS/CCUS): İklim değişikliği ile mücadelede, özellikle Paris Anlaşması hedeflerine ulaşmada, sıfıra yakın CO₂ emisyonuna olanak vermesi yönüyle, kömürün geleceğinde çok önemli yeri olan ve üzerinde en çok araştırma yapılan teknolojilerdir.

Ülkemizin temiz kömür teknolojilerinin kullanım düzeyi aşağıdaki gibi özetlenmiştir [14].

Kömür Hazırlama/İyileştirme Teknolojileri yönünden dünya uygulamaları ile ülkemizin genel olarak aynı seviyede olduğu söylenebilir, ancak bu teknolojilerden ticari ölçekte linyit kurutma tesisimiz bulunmamaktadır. Sadece pilot ölçekli linyit kurutma tesisi tasarlanarak imal edilip Elbistan A Termik Santrali'nde test edilmiştir. Bu tesis ile %10 nem yüzdesinde azaltılabildiği, kalorifik değerinin de %30 artırılabilirdiği ortaya konmuştur.

Santrallerde Verimlilik İyileştirmesi ve Emisyon Kontrol Teknolojileri konusunda önce HELE teknolojileri bazında verimlilikte geline seviyeye bakmakta yarar var. Dünya genelinde halihazırda 670'den fazla HELE teknolojisine sahip santral mevcuttur. Bu santraller de kazan basıncı ve sıcaklığına bağlı olarak üç kategoride sınıflandırılmakta olup süperkritik kazanlar %38-%42, ultra-süperkritik (USC) kazanlar %42-%45; ileri ultra-süperkritik kazanlar ise %45-%52 verimliliğe sahiptirler. Japonya, Çin, Almanya, İtalya, G. Kore, Malezya, Hollanda, Çek Cumhuriyeti, Polonya, Tayvan, ABD, Slovenya olmak üzere 12 farklı ülkede USC santraller mevcuttur. Dünyanın en yüksek verimli santrali Japonya'daki Isago Termik Santrali olup 5 mg/m³'den daha az SO₂ ve NO_x emisyon yaymaktadırlar. %53 verimle Çin'de yapım aşamasındaki Pingshan Santrali'nin de 2019 yılında tamamlanması öngörülmektedir.

Ülkemizde bulunan 100 MW'ın üstü toplam 17 GW kapasiteli kömüre dayalı santralin; %28-%39 verimlilikle 9,5 GW'ı sub-kritik, %41-%42 verimlilikle 5,4 GW'ı süperkritik, %35-%41 verimlilikle 2,1 GW'ı Dolaşım Akışkan Yatak (CFB) teknolojisine sahiptir. İki adet ultra-süperkritik teknolojiye sahip santral Çanakkale'de yapım aşamasındadır.

Ülkemizde Emisyon Kontrol Teknolojilerinin gelişimi, emisyon limitlerini belirleyen yönetmeliklerle çok yakından ilgilidir. Bu kapsamda; 1986 yılında yayımlanan "Hava Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği" ile BGA tesislerinin kurulması zorunluluk haline getirilmiştir [14].

08.06.2010 tarihli ve 27605 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Büyük Yakma Tesisleri (BYT) Yönetmeliği ile de yeni kurulacak santraller için daha katı SO_2 , NO_x , PM emisyon limitlerini sağlama zorunluluğu getirilmiş, bu durum bu tarihten sonra kurulan kömüre dayalı santrallerde teknoloji seçimini doğrudan etkilemiştir (Bahsi geçen BYT Yönetmeliği 20.12.2014 tarihli ve 29211 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik ile Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği içerisine tüm hükümleri ile derç edilerek yürürlükten kaldırılmıştır). 2016 yılı Temmuz ayı itibarıyla mevcut kömüre dayalı 64 ünitenin 24’ünde NO_x giderme sistemleri, 42’sinde BGA tesisi mevcuttur. Aynı Yönetmelik ile mevcut santrallere 2019 yılının sonuna kadar belirlenen limitleri sağlayacak şekilde rehabilitasyon/modernizasyon yapımları için süre tanınmıştır [14].

Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim Teknolojileri (IGCC) gibi İleri Teknolojiler: 1990’lı yılların ortalarından günümüze kadar önce ABD ve Avrupa’da devamında Japonya ve Çin Halk Cumhuriyeti’nde ticari ölçekte demonstrasyon tesisler kurulmuştur. Ülkemizde ise hâlihazırda kömürün gazlaştırılması ile ilgili pilot ölçekli projeler mevcuttur.

Karbondioksit Tutma, Kullanma ve Depolama Teknolojileri (CCS/CCUS): Dünya genelinde, 5’i yapım aşamasında, 17’si tamamlanmış olmak üzere 22 büyük ölçekli CCS projesi mevcuttur. Teknolojisi ispatlanmış ve test edilmiş olmakla beraber halen pahalı bir teknolojidir. Maliyeti ve ticari riskleri azaltmaya yönelik üzerinde yoğun Ar-Ge çalışmaları yürütülmektedir.

Ülkemizde kömürün gazlaştırılması ile ilgili pilot projelerde CO_2 tutma teknolojisi üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ODTÜ PAM tarafından yürütülen “Türkiye’de termik santrallerden ve sanayi tesislerinden gelen CO_2 emisyonu envanterinin çıkarılması ve CO_2 ’nun yeraltı jeolojik ortamlarda depolanması potansiyelinin araştırılması” konulu bir TÜBİTAK KAMAG projesi tamamlanmıştır.

Sonuç olarak; Ülkemizde de teknoloji alanında dışa bağımlılığımızı azaltmaya yönelik özellikle son 10 yıldır başta TKİ ve TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü olmak üzere çeşitli üniversiteler ile ulusal ve uluslararası araştırma kurum ve kuruluşlar işbirliğinde çalışmalara ivme kazandırılmıştır. Bu vesile ile çalıştığım Kurum olan TKİ Genel Müdürlüğünce temiz kömür teknolojileri alanında yürütülen projeler hakkında genel bilgiler aşağıda listelenmiştir [14].

- Kömür yıkama kapasitesi artırılmış, kömür hazırlama ve iyileştirme alanında çeşitli üniversite ve araştırma kurumları işbirliğinde birçok proje yaşama geçirilerek kömür kalitesinin iyileştirilmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu alanda “Lavvar şlam artıklarının zenginleştirilmesi” başlıklı tek bir projeden kömür yıkama tesislerindeki ince kömürlerin geri kazanımı yoluyla 2010 yılından 2016 yılının sonuna kadar 75-80 Milyon TL kazanılmış, bu tutar TKİ’nin son 7 yılda Ar-Ge için yaptığı harcamalara karşılık gelmektedir.
- Özellikle son on yıldır çeşitli ulusal/uluslararası beyin fırtınası, çalıştay vb. toplantılar düzenleyerek temiz kömür teknolojileri alanında üniversiteler, ilgili araştırma kurum ve kuruluşlar ile özel sektör arasında işbirliği geliştirme, yol haritası oluşturma yönünde ciddi çabalar sarfedilmiş, Ar-Ge Daire Başkanlığı kurulmuş, başta kömürün gazlaştırılması konusunda olmak üzere birçok proje başlatılıp yürütülmüştür. Örnek olarak aşağıdaki projeler verilebilir:
- TKİ’ye ait Tunçbilek sahasında 250 kg/s kapasiteli kömür gazlaştırma tesisi kurularak 2012 yılında devreye alınmış, elde edilen sentez gazından metanol üretimi çalışmaları TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü işbirliğinde devam etmektedir.
- TKİ’ye ait Soma sahasında kurulan TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü’nün yürüttüğü 1 MW_t kapasiteli pilot tesisten kömür ve biyokütle karışımların gazlaştırılması yoluyla sıvı yakıt üretimi projesi 2016 yılında tamamlanmıştır.
- TKİ’nin içinde yer aldığı AB tarafından fonlanan Yüksek Küllü Kömürlerin Elektrik Üretimi Amaçlı Gazlaştırılmasının Optimizasyonu (OPTIMASH) Projesi de 2016 yılında tamamlanmıştır. Proje kapsamında 1 MW_t kapasiteli, 10 bar basınçta çalışan pilot tesis tasarlanmış, imal edilmiş ve projenin Hindistan’lı ortaklarından THERMAX Firmasının Pune şehrindeki tesislerine kurulmuş, devreye alınmış ve 6 ay boyunca test edilmiştir.
- Anadolu Plazma işbirliğinde mikrodalga plazma yöntemiyle çalışan kömür gazlaştırma pilot tesisi kurma çalışmaları devam etmektedir, halihazırda laboratuvar ölçekli tesisler kurulmuştur. Ayrıca aynı firma ile Soma Ar-Ge Santrali 1. Ünitesinde plazma yakıcı uygulama projesi yürütülmektedir.
- Kömür gazlaştırma alanında hedef, ticari ölçekte bir tesis kurmak olup bu amaçla Soma’da 5.5 milyon ton yıl kömür besleme kapasiteli amonyak/üre, metanol ve türevleri üretmek amaçlı bir tesis kurmak üzere çalışmalar başlatılmıştır.
- 2012 yılından itibaren Konya-İlgın’da kurulan 100.000 lt/ay kapasiteli tesiste düşük kaliteli kö-

mür ve leonardit kullanarak hümik asit ve türevleri üretilmekte, sağlık ve kozmetik alanında da yeni ürünler üzerinde çalışılmaktadır.

Enerji ithalatı payı ülkemizin cari açığında önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle; bütünsel, gerçekçi ve sürdürülebilir bir strateji çerçevesinde, çevre ile ilgili olumsuzlukları azaltarak hatta sıfırlayarak yerli kaynaklarımızdan linyitin kullanımını artırma ihtiyacı bulunmaktadır.

Bu kapsamda; temiz kömür teknolojileri geliştirme ve demonstrasyon merkezi kurulması, kurum/kuruluşlar arası işbirliği kültürünün geliştirilip artırılması, proje hazırlama kabiliyetine sahip insan gücü geliştirilmesi, mevcut kömürlerimizin karakterizasyonuna uygun teknoloji geliştirilmesi, bugüne kadar kömür ile ilgili yapılan daha çok pilot ölçekli Ar-Ge çalışmalarının sonuçlarından hareketle ticari ölçeğe geçiş stratejilerinin belirlenmesi üzerinde durulması gereken konulardır [14].

6. KÖMÜR GAZLAŞTIRMA TEKNOLOJİSİ

Kömür ve kömür endüstrisi, küresel ısınma ve iklim değişikliği tartışmalarının odak noktasında yer almaktadır. Bu sebeple, kömür endüstrisinin geleceği büyük ölçüde “Gazlaştırma” ve “Karbon Tutma/Depolama” teknolojilerinin gelişimine bağlanmıştır. Ülke olarak kullandığımız yıllık birincil enerjinin yaklaşık %72’si yurtdışından ithal edilmektedir. Toplam ülke ithalatı içerisinde en önemli payın bu kaynaklara ayrılması nedeniyle enerji ithalatı ülkemizin en büyük cari açık kalemini teşkil etmektedir. Türkiye’nin jeopolitik konumu da göz önüne alındığında, enerji temininde mümkün olduğu kadar yenilenebilir (hidro, güneş, rüzgar ve jeotermal) ve yerli kömür kaynaklarımızı kullanmamız gerekmektedir.

Enerji tasarrufu ve verimliliği de üzerinde durulması gereken önemli konulardan birisidir. Ülkemizin sahip olduğu kömürler ağırlıklı olarak, kül, nem ve kükürt oranları yüksek, ısıl değerleri düşük olan linyitlerden oluşmaktadır. Üretilen kömürlerin büyük bir bölümü, mevcut eski elektrik santrallerinde düşük verimlerle (%22-30) yakılmakta ve yüksek bir çevre kirliliği yaratmaktadırlar.

Linyitlerimizin değerlendirilmesinde göz önünde tutulması gereken diğer önemli bir husus, uçucu madde miktarıdır. Bilindiği üzere ülkemiz linyitlerinin büyük bir kısmı uçuculuğu yüksek genç kömürlerdir. Uçucu madde içeriği yüksek olan kömürlerin reaktivitesi yüksek olduğu için bu tür kömürler gazlaştırma açısından uygunluk göstermektedir [6].

6.1 Gazlaştırma Teknolojisi

Karbon içeren malzemelerin, ana bileşenleri karbon monoksit (CO), hidrojen (H₂) ve metan (CH₄) olacak şekilde yapay gaza dönüştürülmesi gazlaştırma prosesi olarak tanımlanmaktadır.

Yüz seneyi aşkın bir süredir ticari ölçekte uygulama bulan gazlaştırma teknolojisi son 20 yıldır tekrar öne çıkarak tüm dünyada yükselen bir teknoloji olmuş, geleneksel pulverize kömür yakma sistemlerine göre çok daha yüksek verim ve düşük emisyon değerlerine sahip en gelişmiş elektrik üretim santrali olan Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim (IGCC) teknolojisinin bir parçası haline gelmiştir.

Kömürün nem, kül, sabit karbon ve uçucu madde içerikleri ile elementel analizinin, tane boyutunun, keleşme özelliğinin ve külün erime sıcaklığının gazlaştırmaya önemli ölçülerde etkileri vardır. Gazlaştırma işleminin başlayabilmesi için katı yakıt içerisindeki karbon elementinin bir kısmının yakılarak suyun buhar fazına geçmesi, sonra piroliz fazına ulaşması daha sonra da gazlaşma reaksiyon sıcaklıklarına yükselmesi gerekmektedir. Gazlaştırıcı içerisinde oluşan kuruma (drying), piroliz, karbonlaşma, indirgeme ve yanma işlem ve reaksiyonları göz önüne alındığında gazlaşma prosesinde ardışık pek çok reaksiyonun olduğu anlaşılmaktadır. Gazlaştırma reaksiyonları Tablo 5’te gösterilmiştir.

Kömür gazlaştırmada kullanılan kömürün cinsi, elde edilecek gazın içeriği ve ısıl değerine göre gazlaştırıcı türü seçilmektedir. Kömür yatağının geçirgenlik ve süreklilik arz etmesi ve uygun yapıda bulunması halinde yer altı gazlaştırma teknikleri de uygulanabilir. Genelde gazlaştırma reaktörleri aşağıdaki şekilde gruplandırılır [6].

- a) Sabit yatak gazlaştırıcı (aşağı akışlı, yukarı akışlı),
- b) Akışkan yatak gazlaştırıcı,
- c) Sürüklemeli yatak gazlaştırıcı,
- d) Eriyik tipi gazlaştırıcı,
- e) Plazma gazlaştırıcı

Elektrik üretiminin yanı sıra sıvı yakıt (dizel), metan, hidrojen, amonyak, metanol ve diğer kimyasalların üretiminde de ticari ölçekteki uygulanabilirliği ispatlanmış olan gazlaştırma teknolojisinin ülkemiz açısından önemi büyüktür. Ülkemizdeki linyit kaynakları kullanılarak gazlaştırma reaksiyonları ile yüksek basınçta oksijen ve buhar ile üretilen yapay gazdan sentetik doğalgaz, metanol, amonyak, dizel yakıtı ve kimya endüstrisinin temel hammaddelerini üretmek mümkündür. Gazlaştırma teknolojilerinin bu amaçla ülkemizde kullanılmaya başlanmasıyla milyarlarca

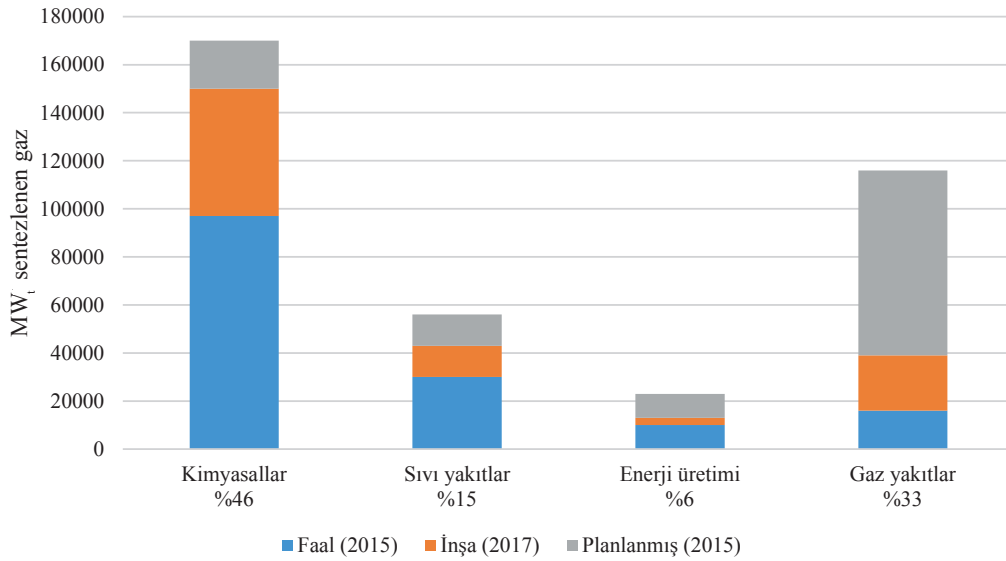
dolarlık ithalat harcamalarımızda önemli azalmalar olacaktır. 1995 yılından itibaren dünyanın pek çok ülkesinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanan gazlaştırma teknolojisi bugün en hızlı gelişen enerji teknolojilerinden birisi haline gelmiştir. [6].

28 ülkede 356 ticari ölçekte çalıştırılan gazlaştırma tesislerindeki gazlaştırıcı sayısı 863 adettir. Toplam kurulu gücü 2015 yılı itibarıyla 150.000 MW_t olan bu gazlaştırıcı tesislerinde gazlaştırılan kömür, petrol koku, biyokütle ve atıkların yüzdesi sırasıyla %49, %36 ve %15'tir. Bu tesislerden elde edilen sentez gazının kullanılmasında ait bilgiler Şekil 5'te verilmiştir. Yakın gelecekte (2020) gazlaştırıcı tesislerinin toplam kurulu gücü 370.000 MW_t olacaktır [16]. Şekil 5'ten de görüleceği üzere gaz yakıtlarda kullanımı yakın gelecekte mevcut kurulu gücünün neredeyse 3 katına çıkması beklenmektedir. Şekil 6'da doğalgaz temel alınarak elde edilen ürünler ile kömür gazlaştırma temelli sentez gazından elde edilen ürünlerin karşılaştırılması verilmiştir. Amonyak sentez gazından elde ürünler arasında %40'lık pay ile en çok üretilen kimyasal olduğu gözükmemektedir.

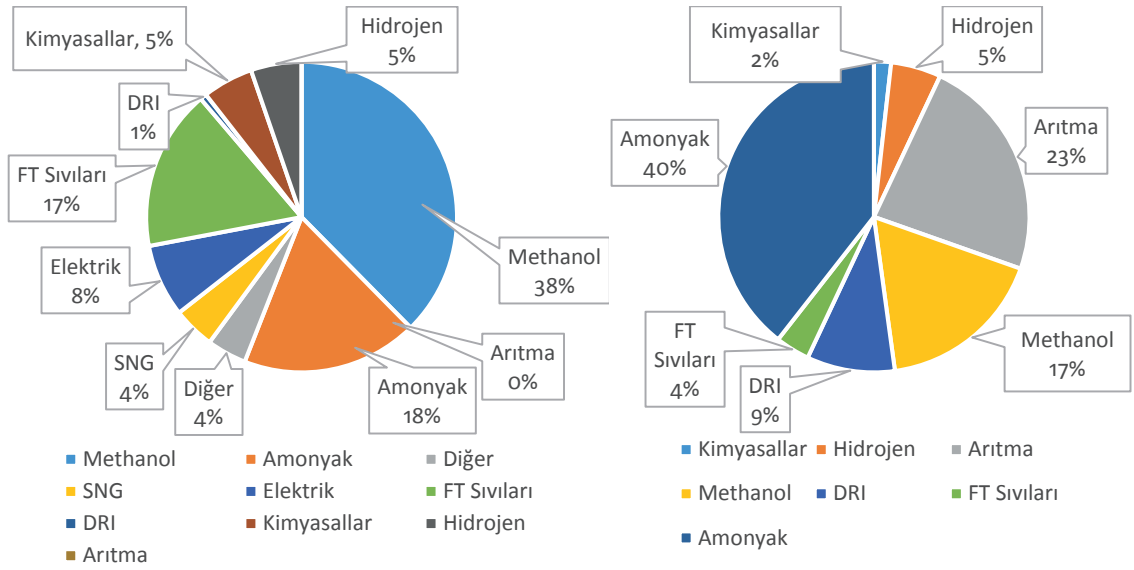
Tablo 5. Gazlaştırma prosesi temel reaksiyonları

Su gazı tepkimesi $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$
Boudouard tepkimesi $C + CO_2 \rightarrow 2 CO$
Hidrojenle gazlaştırma $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$
Kısmi yanma $C + 1/2 O_2 \rightarrow CO$
Tam Yanma $C + O_2 \rightarrow CO_2$ $CO + H_2O \rightarrow H_2 + CO_2$
Metanlaştırma $CO + 3 H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$
Isıl bozunma tepkimeleri $C_1H_xO_y \rightarrow (1-y) C + yCO + x/2H_2$ $C_1H_xO_y \rightarrow (1-y-x/8)C + yCO + x/4 H_2 + x/2H_2$

Kaynak: [15]



Şekil 5. Gazlaştırma teknolojisiyle üretilen sentez gazının kullanımı (Kaynak [16]`dan uyarlanmıştır).

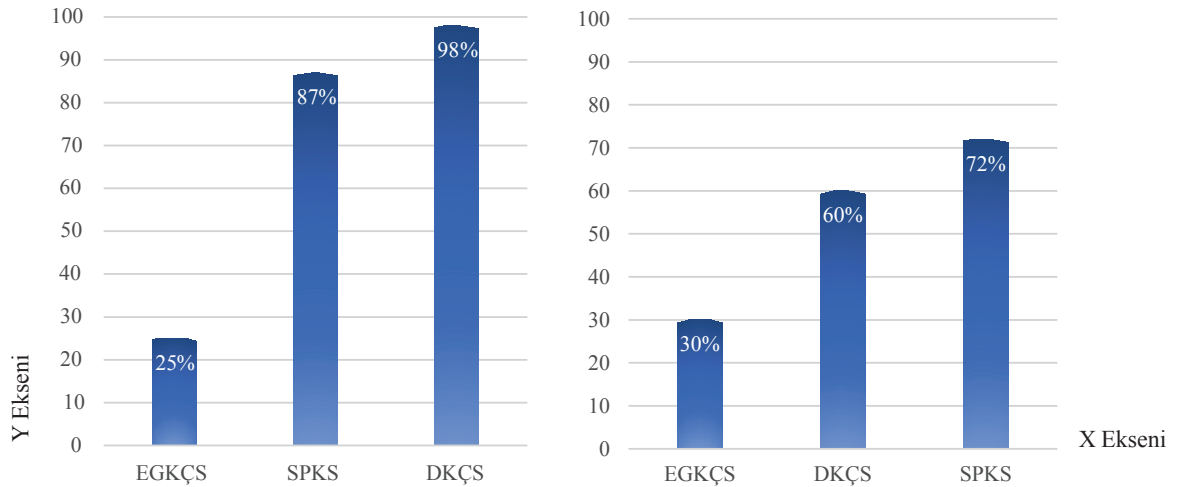


Şekil 6. Doğalgaz ve sentez gazı temelli üretilen kimyasalların karşılaştırılması (kaynak [16]'dan uyarlanmıştır).

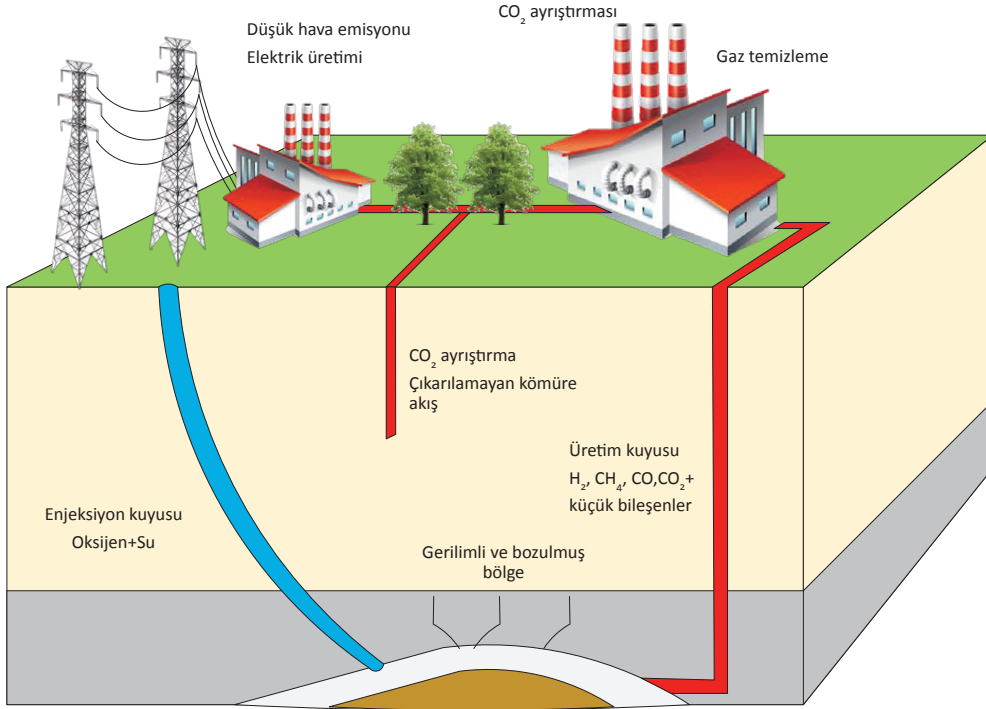
Şekil 7'de ise gazlaştırma, kömür ve doğal yakıtlı güç santrallerinin CO₂ tutma maliyetinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Doğalgaz kombine çevrim santralinin kurulum maliyeti genel maliyetlerde önemli bir yere sahipken, süperkritik pulverize kömür santrali için ise elektrik giderleri ana maliyet kalemlerinden birisi olarak gözükmektedir.

Yeraltı Kömür Gazlaştırma Prosesi: Yeraltı kömür gazlaştırma (YKG) prosesi düşük ısı değere sahip ve klasik madencilikle değerlendirilemeyen kömürlerden yararlanmak için geliştirilmeye çalışılan temiz kömür teknolojisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yeraltı gazlaştırma prosesinin en önemli üstünlüğü, kö-

mürün yeraltından çıkarılmasına gerek duyulmaması ve kömürün gazlaşmayan kısımlarının olduğu yerde bırakılmasıdır. Bu şekilde gaz yakıt üretimi (sentez gazı), çok daha ekonomik ve çevre dostu olmaktadır. YKG tekniği, zenginleştirilme işlemi zor, ısı değeri düşük olan kömür kaynakları için özellikle tercih edilmektedir. Bu yöntem geleneksel madencilik giderlerini, kömürün taşınma gereksinimini ortadan kaldırdığı için üstünlük arz etmektedir. Şekil 8'de gösterildiği üzere yer altı kömür gazlaştırma prosesinin gelecekte en önemli üstünlüklerinden birisi de gazlaştırılmış kömür yataklarına küresel ölçekte sorun olan karbondioksitin kolayca depolanabilmesine olanak sağlamasıdır [6].



Şekil 7. Gazlaştırma teknolojisi ile doğalgaz ve kömür yakma teknolojilerinin karşılaştırılması (Kaynak [16]'dan uyarlanmıştır). (EGKÇS: Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim Santrali, SPKS: Süperkritik Pulverize Kömür Santrali, DKÇS: Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali)

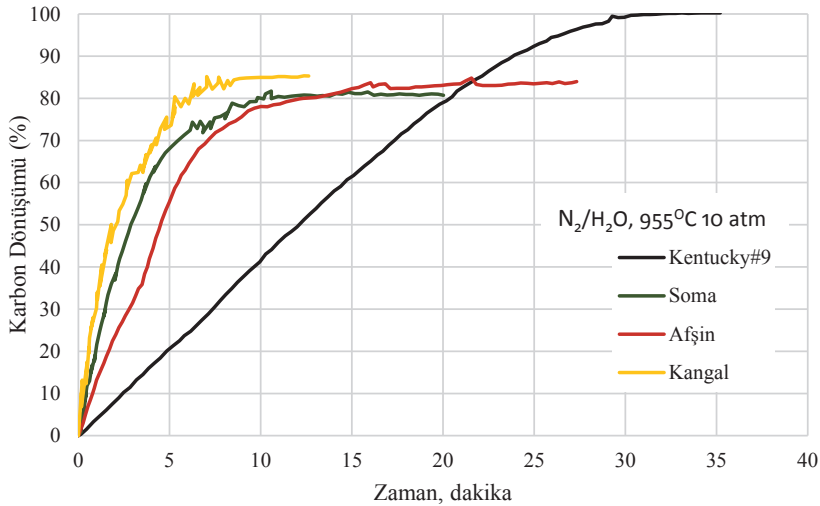


Şekil 8. Yeraltı kömür gazlaştırma prosesi (kaynak [17]'den uyarlanmıştır).

6.2 Türkiye Linyitlerinin Gazlaşma Potansiyeli

Türk linyit örneklerinde, yapılan TGA çalışmaları kapsamında uçuculuğu yüksek olan linyitlerimizin gazlaştırma potansiyelinin yüksek olduğu ispatlanmıştır [18]. Şekil 9'dan görüleceği üzere uçuculuğu yüksek olan ülkemiz linyitlerinin %80-85 oranında karbon dönüşümü 7-8 dakika içerisinde gerçekleşirken, daha yüksek ısı değere sahip bitümlü kömür olan Kentucky 9 nolu kömürün %80 dönüşümü yirmibeşinci dakikada gerçekleşmiştir [6].

TÜBİTAK 1003 ARDEB Projesi olarak İTÜ'de tamamlanan Yeraltı Kömür Gazlaştırma Projesi kapsamında [19] Malkara bölgesine ait yaklaşık 100 kg ve 400 kg ağırlığındaki blok linyit örnekleriyle gerçekleştirilen gazlaştırma testlerinin sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6'da verilen sonuçlara göre Malkara bölgesindeki linyit bloklarının gazlaştırılması ile elde edilen ısı değerin diğer örneklerle oranla en yüksek olduğu gözükmektedir (8 MJ).



Şekil 9. Afşin, Kangal, Soma Linyit örneklerinin ve Kentucky (ABD) No:9 kömür örneğine ait TGA test sonuçları (Kaynak [18]'den uyarlanmıştır.)

Tablo 6. Malkara linyitinden üretilen sentez gazının diğer ülkelerde gerçekleştirilen gazlaştırma çalışmalarıyla karşılaştırılması.

Çalışma Adı	CO (%)	H ₂ (%)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	Isıl Değer (MJ/m ³)
İTÜ YKG Deney No: 2, 2015	30	22	3	30	8
K. Stanczyk Polonya, 2011,	17,3	18,7	4,2	23	5,74
S.Bhaskaran Hindistan, 2013	10	18	3	50	4,7
R. Glaser ABD, 1986	35	22	0,8	41,4	7,5

Kaynak: [19]

6.3 Ülkemizdeki Ar-Ge Çalışmaları

T.C. Kalkınma Bakanlığı'nın Onuncu Kalkınma Planında yer alan Öncelikli 25 Dönüşüm Programından birisi olan “Yerli Kaynaklara Dayalı Enerji Üretim Programı”, yerli kömürün temiz kömür teknolojileriyle üretilmesi, gazlaştırma, sıvılaştırılması gibi alanlarda Ar-Ge çalışmalarına ağırlık verilmesi politikasını içermektedir. Bu kapsamda TKİ Genel Müdürlüğü ve TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsünün işbirliğiyle pilot ölçek gazlaştırma projeleri başlatılmış ve başarıyla yürütülmektedir. Bunlar Biyokütle ve Kömür Karışımlarından Sıvı Yakıt Üretimi (TRIJE – Soma) ve Tunçbilek Sentez Gazının Temizlenmesi ve Metanol Üretimi projeleridir [20].

T.C. Kalkınma Bakanlığı'nın “2015 Yılı Yeni Araştırma Altyapı Projeleri – Kömürden Doğalgaz Üretim Teknolojileri” başlıklı 3.1 no'lu çağrı kapsamında İTÜ, Boğaziçi Üniversitesi ve TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü tarafından sunulan üç proje önerisinin 2016 yılından itibaren desteklenmesine karar verilmiştir. Desteklenen bu üç projeden birisi İTÜ’de Sentetik Gaz Yakıtlar Ar-Ge Merkezi kurulması projesidir [6].

İTÜ Sentetik Gaz Yakıtlar Araştırma ve Geliştirme Merkezi adlı projenin temel amacı gazlaştırma teknolojisi yoluyla linyit kaynaklarımızdan sentetik doğalgaz, hidrojen, sıvı yakıtlar ve kimyasallar üretmek için bilimsel ve teknolojik araştırma alt yapısını oluşturan, geliştireceği sentetik yakıt teknolojileri ile geniş kapsamlı patent havuzu yaratan, ürettiği bilgileri enerji ve kimya sektörleriyle paylaşarak konuyla ilgili teknolojik uygulamaları/teknolojiyi geliştirmeye yardımcı olan, böylece ülkemizin enerji ve teknoloji konusunda dışa olan bağımlılığını azaltmaya katkıda bulunan bir araştırma-geliştirme merkezinin kurulmasıdır. Alt yapı projesi desteği ile kurulması planlanan merkezin diğer bir amacı ise temiz kömür teknolojileri konusunda bilgili, deneyimli ve yaratıcı bilim insanı ve mühendislerinin yetiştirilmesidir.

İTÜ’de kurulacak merkezde; başta sentetik doğalgaz olmak üzere hidrojen, sıvı yakıtlar ve çeşitli kimyasalların üretimi için ülkemiz linyitlerinin gazlaşma ve piroliz potansiyelinin tespiti, linyitlerimiz için en iyi gazlaştırma reaktörlerinin ve süreçlerinin araştırılması ve geliştirilmesi; istenen bileşimde sentez gazının üretilmesi, temizlenmesi ve saflaştırılması; temizlenmiş sentez gazının doğalgaz, sıvı yakıt ve çeşitli kimyasallara dönüştürülmesi için katalizör, reaktör ve katalitik süreçlerin geliştirilmesi gibi, kömürden başlayarak katma değeri yüksek ürünlere geçişi sağlayan ve birbirini tamamlayan teknolojik Ar-Ge çalışmalarını yapmak mümkün olacaktır [6].

Kuruluş çalışmalarına Temmuz 2016’da başlanan İTÜ Sentetik Gaz Yakıtlar Ar-Ge Merkezi projesi aşağıda belirtilen iki önemli iş paketi kapsamında tamamlanacak ve çalışmalara başlanacaktır.

Ülkemiz petrol ve doğalgaz bakımından çok büyük ölçekte dışa bağımlıdır (doğalgazda %98, petrolde %94) ve bu bağımlılık her geçen gün sürekli artmaktadır. Ülke olarak kullandığımız yıllık birincil enerjinin yaklaşık %72’si yurtdışından ithal edilmektedir. Toplam ülke ithalatı içerisinde en önemli payın bu kaynaklara ayrılması nedeniyle enerji ithalatı ülkemizin en büyük cari açık kalemini teşkil etmektedir. Ülkemizin sahip olduğu en büyük enerji kaynağı kömürdür. Dolayısıyla bu kaynaktan yararlanılması ülkemiz açısından öncelikli görülmektedir. Öte yandan fosil yakıtlı enerji santralleri için çevreye yönelik yasal düzenlemelerin giderek sıkılaştırıldığı, yüksek verimlilik ve düşük karbon dioksit emisyonlarına sahip çözümlerin öne çıktığı hususlar göz önüne alındığında 150 yıl önce ticari ölçekte uygulama bulan ve son senelerde tüm dünyada öne çıkan kömürün gazlaştırılması tekniğinin ülkemiz açısından önemi büyüktür. Son yıllarda gerek enerji ihtiyacını karşılamak gerekse kimyasal madde üretmek üzere başta Çin Halk Cumhuriyeti olmak üzere Güney Afrika, ABD, Kanada, Avustralya ve Avrupa ülkeleri hızlı şekilde kömür gazlaştırma yatırımları yapmaktadır [6].

Ülkemizde son birkaç yıldır Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ), TÜBİTAK MAM ve üniversiteler bünyesinde kömür ve biyokütle gazlaştırma konusunda bazı çalışmalar başlatılmıştır. Ancak, kömürün gazlaştırılması ve gazlaştırma ile elde edilen sentez gazından metan üretimi konusunda hiçbir çalışma bulunmamaktadır. Dolayısıyla, İTÜ’de kurulacak Sentetik Gaz Yakıtlar Ar-Ge Merkezi’nde gerçekleştirilecek Ar-Ge çalışmaları öncelikle kömürden sentetik doğalgaz (metan), hidrojen, sıvı yakıt ve çeşitli kimyasalların (amonyak, metanol, monomerler) üretimi ile ilgili yerli teknolojinin geliştirilmesine öncülük edecektir.

Bu şekilde ülkemizin enerji gereksiniminin önemli bir kısmı ve bazı temel kimyasalların kömürden temiz bir şekilde eldesinin önü açılmış olacaktır. Tüm bu çalışmalar petrol ve doğalgazda dışa bağımlılığımızın ve cari açığımızın azalmasına; rekabet gücümüzün ve yenilikçiliğin artmasına önemli katkılar sağlayacaktır.

Günümüzde gazlaştırma teknolojisinin en önemli uygulama alanlarından birisi enerji ve kimyasallar üretimi amacıyla kömürün gazlaştırılmasıdır. Ancak, gazlaştırmada organik atıklar da en az kömür kadar güçlü bir hammadde alternatifi olabilmektedir. Tüm dünyada evsel, endüstriyel atıklarla birlikte biyokütle-nin gazlaştırılmasına yönelik ilgi ve ticari uygulamalar hızla artmaktadır. Dolayısıyla, İTÜ’de kurulacak merkezde kömür gazlaştırma teknolojileri konusunda üretilecek veriler ve elde edilecek tecrübeler, benzer şekilde atıklardan enerji ve kimyasallar üretimi konusunda da kullanılabilecektir [6].

7. DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAKTA LİNYİT ve BİYOKÜTLE-KÖMÜR KARIŞIMLARININ YAKILMASI

Türkiye birincil enerji temini yönünden dışa bağımlı bir ülkedir. Yıllık bazda toplam enerji talebinin yaklaşık %72’si ithalatla karşılanmaktadır. Türkiye’nin enerji politikalarında artan talebin daha çok yerli kaynaklardan elde edilmesi büyük önem taşımaktadır. Ancak, yerli linyitlerimiz mevcut eski santrallerde düşük verim (%22-25) ve yüksek emisyonlarla yakılmaktadır. Ülkemiz linyit kömürleri genel olarak kül ve kükürt oranları yüksek olan kömürlerdir. Kükürt içeriği %1’den %10’a kadar değişmektedir. Pulverize kömür (PK) santrallerinde geleneksel yöntemlerle yakılan yüksek kükürt içerikli linyitlerden kaynaklanan SO₂’nin tutulması için Baca Gazı Desülfürizasyon (BGD) sistemi kullanılmaktadır. Ancak bu yöntem gerek işletme, gerekse kurulum masrafları açısından oldukça maliyetlidir. Bu tür yüksek kükürt içeren kömürler akışkan yataklı yakıcılarda yakıldığında, yakıcıya kireçtaşı eklenmekte ve oluşan SO₂ yatakta yanma sırasında tutulmaktadır. Bu çalışmalar Dolaşımli Akışkan Yatak (DAY) sistemlerinde de yapılmış, son olarak 2012 de bitirilen KAMAG-1007 (105G023) projesinde DAY sisteminde yakılan linyit kömürlerinden oluşan SO₂ gazı, kireçtaşı ile tutulmuştur. Bu tip düşük kaliteli yakıtların daha verimli ve daha temiz bir şekilde kullanılmasına yönelik yoğun bir Ar-Ge ve teknoloji uygulama çalışmaları da sürmektedir. Bu bağlamda düşük kaliteli linyitlerin uygun bir teknoloji olan Dolaşımli Akışkan Yatakta yakılması, hem verimi arttırmakta, hem de emisyonların daha ucuz ve etkin şekilde tutulmasını sağlamaktadır. Ülkemizde kullanılmayan büyük miktarda atık biyokütle de bu-

lunmaktadır. Özellikle orman altı atıkların bertarafı, orman yangınlarının önlenmesi için önemlidir. Biyokütle, aynı zamanda kükürt içeriği hemen hemen sıfır, CO₂ emisyonu açısından da nötr bir maddedir. Bu nedenle düşük kaliteli kömürlerle birlikte yakılması çok uygun olmaktadır [21].

Bu çalışma, bir TÜBİTAK-KAMAG Projesi çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Proje adı: “BİYOKÜTLE ve BİYOKÜTLE/KÖMÜR KARIŞIMLARINI DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAKTA YAKMA TEKNOLOJİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ” dir [22].

- Proje Kodu: 105G023 (Alt projeler:107G049 ve 107G050)
- Proje başlama tarihi: 1 Ekim 2007, Proje bitiş tarihi: 1 Mart 2012

Bu çalışmanın amacı,

- Ülkemizdeki ulusal kaynaklarımızı enerji üretiminde daha fazla kullanabilmek amacı ile düşük ısı değerli linyit kömürlerimizi biyokütle ile beraber yakarak kısa ve orta vadede bu kaynaklardan temiz enerji üretiminin artmasını sağlamak, en azından bir miktar kömür kullanımını kükürt miktarı sıfır olan temiz yakıtla ikame etmek,
- Atıl vaziyette duran biyokütle enerjisinden yararlanmak,
- Küçük ve orta boy işletmelerin enerji ihtiyacını kendilerinin karşılayabilmesine yönelik sistemler geliştirmek,
- Biyokütle, linyit ve bunların karışımlarını (linyit + biyokütle) düşük emisyon ve yüksek verimle yakabilecek enerji üretim sistemlerinden “Dolaşımli Akışkan Yatakta Yakma” (DAY) teknolojisini ülkemizde geliştirmek,
- Isı ve elektrik enerjisini birlikte üretebilecek **ko-jenerasyon sistemlerinin** yaygınlaşmasına yardımcı olmak,
- Enerji güvenliğini arttırmak,
- DAY sistemi için bir **enerji üretim-bilgi paketi (know-how)** oluşturmaktır.

7.1 Kullanılan Sistemler ve Malzemeler

Laboratuvar Ölçekli DAY Sistemi – 30 kW_t

Öncelikle laboratuvarında ön yakma deneylerini yapmak için 10 cm iç çapında ve 6 m yüksekliğinde bir sistem kurulmuştur [21]. Laboratuvar ölçekli DAY sisteminin PID diyagramı Şekil 10’da verilmiştir.

Deneylerde Bursa-Orhaneli ve Bolu-Göynük linyit kömürleri, biyokütle olarak kızılçam parçaları kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan yakıtların analiz sonuçları Tablo 7’de verilmiştir [21]. En fazla kül oluşumu Bolu-Göynük linyit kömüründe gözlenirken

(24,59%), en düşük oranda kül kızılçam parçalarının dan çıkmıştır (1,88%).

Yatak sıcaklığı 800-850°C'da tutulmuş, hava fazlalık katsayısı, Ca/S oranı parametre olarak alınmıştır. Tüm baca gazı emisyonları, baca gazı analiz sistemleri ile ölçülmüştür. Ön deneyler bu sistemde yapılmış, daha sonra gerekli deneyler pilot sistemde tekrarlanmıştır [21].

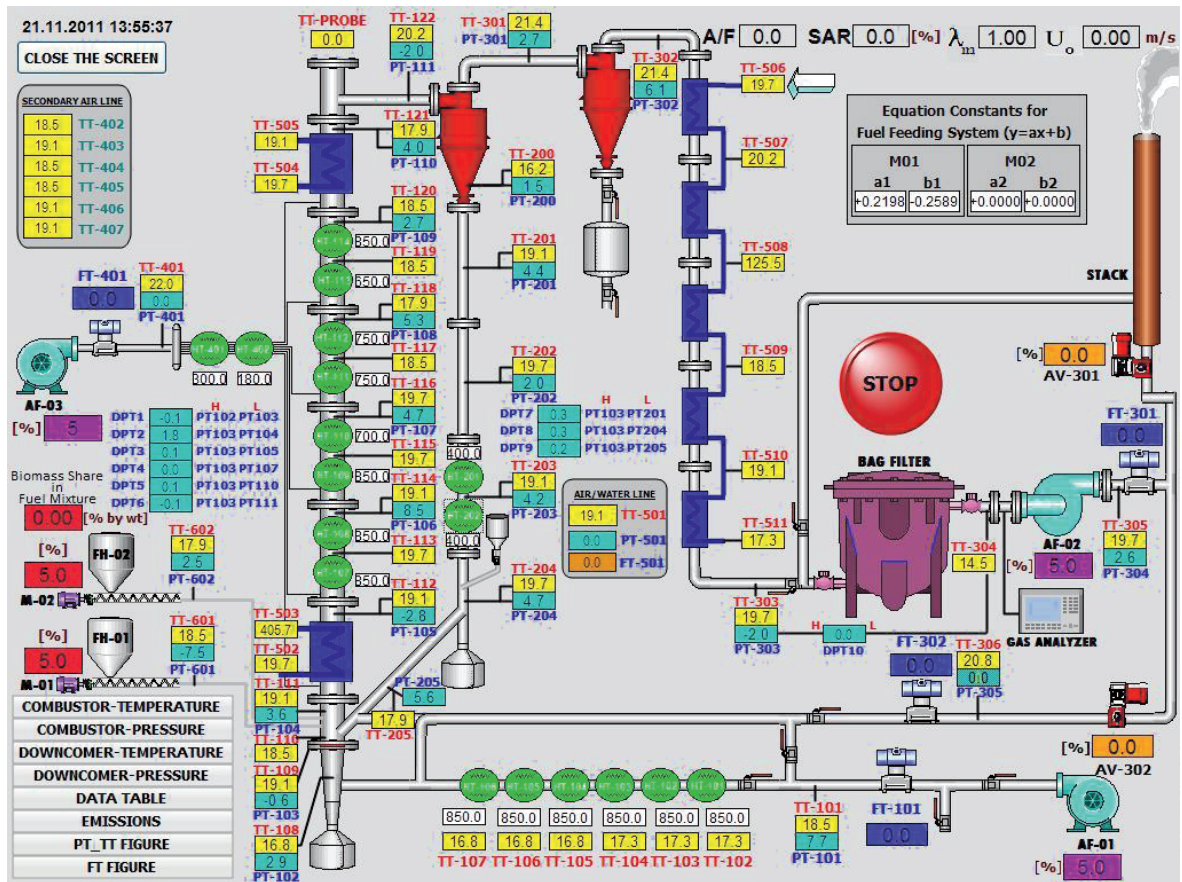
Pilot Ölçekli DAY Sistemi – 0,7 MW_i

MAM'da ülkemizde yerleşmesi arzu edilen Dolaşım Akışkan Yatak (DAY) teknolojisi ile çalışan bir Yakma ve Kazan sistemi kurulmuştur. Böyle bir Pilot

DAY sistemi Türkiye'de ilk defa kurulan bir sistemdir. Bu sistemde yakma ve buhar üretimi çalışmaları yapılmıştır. Sistemin gücü 700 kW termiktir. 24 bar ve 260°C de, 800 kg/saat buhar üretmektedir. Boyutları: 40cmx40cm kesit, H = 12 m (ızgaradan itibaren) dir. Duvarlar da 15 cm ateş tuğlası ile kaplıdır [21].

Pilot Sistemdeki Üniteler

1. Yakıt ve kireçtaşı besleme ünitesi, 2. Dolaşım akışkan yatak (DAY), 3. Kabarcıklı akışkan yatak (KAY), 4. Siklonlar, 5. Kazan ünitesi, 6. Hava besleme ve çekiş fanları, 7. Kül boşaltma ünitesi, 8. Kontrol ünitesi, 9. Emisyon ölçüm ünitesi, 10. Torbalı Filtre, 11. Yardımcı üniteler.



Şekil 10. Laboratuvar ölçekli DAY sisteminin PID diyagramı (Kaynak [21]'den ekran alıntısı).

Tablo 7. Deneylerde kullanılan yakıtların analiz sonuçları.

	Nem*	Uçucu Madde*	Kül*	Sabit Karbon*	Uçucu Madde**	Kül**	Sabit Karbon**
Bursa-Orhaneli	30,14	33,06	12,04	24,76	47,31	17,23	35,46
Bolu-Göynük	33,91	26,20	16,26	23,65	39,63	24,59	35,77
Kızılçam	17,01	65,27	1,56	16,16	78,65	1,88	19,47
	% C	% H	% N	% Top. S	% O*	% Kül	
Bursa-Orhaneli	60,03	3,15	0,56	2,05	16,98	17,23	
Bolu- Göynük	55,57	10,29	1,73	2,89	4,93	24,59	
Kızılçam	56,26	8,09	0,24	0	32,72	1,88	
Kalorifik Değer**	Üst Isıl** (kcal/kg)	Alt Isıl** (kcal/kg)					
Bursa-Orhaneli	5281	4992					
Bolu-Göynük	4925	4725					
Kızılçam	4852	4553		*Islak baz, **Kuru baz			

* Orijinal Baz (% ağırlıkça), ** Kuru Baz (% ağırlıkça)

Kaynak: [21]

7.2 DeneySEL Sonuçlar

Pilot sistemde yakma deneyleri üç ana başlık altında yapılmıştır :

- Tek başına Kömür
- Kömür+ Kireçtaşı (Ca/S= 3)
- Kömür- Kızılçam karışımı (%70 kömür + %30 kızılçam)

Fazla Hava Katsayısının Sıcaklık Profili Üzerindeki Etkileri

Dağıtıcı plakadan itibaren yatak içinde yükseklik arttığında sıcaklık da artmaktadır. Yatak malzemesinin bulunduğu bölgede sıcaklık 800°C civarında iken, üst kısımlara yükseldikçe sıcaklık artmakta, sonra azalmaktadır. 4 m. yükseklikte maksimum 900-950 °C'a ulaşmaktadır. Kömür ve kızılçam parçalarının beraberce yakıldığı durumda, kızılçam içinde bulunan uçucu maddelerin yanmasının daha uzun sürmesinden dolayı sıcaklık, yanma kolonunun en üst kısımlarında bile (yaklaşık 12 m) 800 °C civarında olmaktadır. Maksimum sıcaklık artışı, kömür için 100-120 °C, kömür ve kızılçam karışımı için 150 °C civarındadır.

SO₂ emisyonları çok yüksektir, 3000 mg/Nm³ ün, yani standartlarda belirtilen değer üzerindedir. Yanma sırasında yatağa kireçtaşı ilave edildiğinde (Ca/S=3), SO₂ emisyonları 800-900 mg/Nm³ seviyesine kadar düşmektedir. Diğer emisyonların değerleri çok

düşüktür. Sadece N₂O konsantrasyonu kayda değer miktarda olup 50-80 mg/Nm³ seviyesinde seyretmektedir [21].

Yapılan çalışmada tüm emisyon değerleri %6 oksijene göre normalize edilmiştir. Bolu-Göynük linyitinde de benzer sonuçlar görülmüştür. Ancak, Bolu-Göynük linyiti uçucu maddesi az, kalori değeri daha düşük ve külü fazla olan bir linyittir. CO emisyonları hava fazlalık katsayısı (λ) arttıkça önce azalmış, sonra çok değişmemiştir. NO emisyonlarının hava fazlalık katsayısının artmasıyla arttığı, yaklaşık 250 mg/Nm³ arasında sabit kaldığı görülmüştür [21]:

Bolu-Göynük linyitinde SO₂ emisyonları çok yüksektir, 3500-4000 mg/Nm³ ün, yani standartlarda belirtilen değerler üzerindedir (kömürde kükürt oranı ağırlıkça %2,89). Yanma sırasında yatağa kireçtaşı ilave edildiğinde (Ca/S=3), SO₂ emisyonları 1000-1500 mg/Nm³ seviyesine kadar düşmektedir. Diğer emisyonların değerleri çok düşüktür. Sadece N₂O konsantrasyonu kayda değer miktarda olup 50-100 mg/Nm³ seviyesine seyretmektedir. Kömür %30 kızılçam parçaları ile yakıldığında ise λ arttıkça CO değeri azalmaktadır, bu da artan oksijen miktarı ile daha iyi bir yanma olduğunu göstermektedir. NO değerinde ise artış gözlenmiştir, çünkü CO, NO için indirgen bir ortam sağlamaktadır. CO nun değeri azalırken NO

değerinin artması normaldir. Kömüre %30 biyokütle katıldığında kireçtaşı ilave edilmediği halde SO₂ konsantrasyonu kısmen 2000-2500 mg/Nm³ e kadar azalmaktadır. Nedeni ise eklenen biyokütle içinde kükürt oranının sıfır olmasıdır. Dolayısı ile kömüre biyokütle katıldığında daha az SO₂ oluşmaktadır [21].

Elde edilen sonuçlar, DAY sisteminin linyit kömürleri ve biyokütle-kömür karışımı için uygun yakma sistemi olduğunu göstermiştir [21].

- Orhaneli linyiti: Yanma verimi (C- dengesinde): a) %96,3, b) %95,4 ve c) %99,2 olarak bulunmuştur.
- Bolu-Göynük linyiti: Yanma verimi (C- dengesinde) a) %92,0, b) %91,85 ve c) %94,8 bulunmuştur.
- Emisyonlar: CO emisyonu fazla hava oranı ile azalmakta, CO azaldıkça NO emisyonu artmaktadır. Biyokütle eklenmesi ile yanma çok daha iyileşmekte, yanma verimi artmaktadır.
- SO₂ emisyonu kireçtaşı ilavesi ile düşük düzeylere indirilmektedir. NH₃, N₂O, HCl ve HCN emisyonu çok azdır.
- Bu projeden elde edilen deneyim ile DAY sisteminin Türkiye’de enerji üretiminde yaygınlaşmasının gerektiği, tasarım ve imalatının ülkemizde gerçekleştirilebileceği ve yeterli sanayi birikiminin olduğu görülmüştür.
- Bu konudaki Ar-Ge’nin devam etmesi gereklidir. Bu alt yapı ile daha geliştirilmiş projeler yapılmalıdır.
- Bu projelerden birisi hemen DAY projesinin arkasından başlattığımız ve yine TÜBİTAK tarafından desteklenen oksji-yanma projesidir.

8. OKSİ-YANMA TEKNOLOJİLERİ

Oksji-yanma (oxy-fuel combustion), son yıllarda gelişen ve kömürün yanmasını ve CO₂ tutmayı bir arada gerçekleştirmeye olanak veren bir teknolojidir. Böylece bu teknoloji, kömüre dayalı elektrik üretimini CO₂ emisyonları radikal bir şekilde azaltarak daha temiz bir şekilde gerçekleşmesini mümkün kılabilir [23]. Oksji-yanmada, kömür hava yerine O₂/CO₂ karışımıyla yakılmaktadır. Bunun için baca gazları belirli oranlarda geri döndürülerek O₂ ile karıştırılmakta ve yakma odasına beslenmektedir. Ortaya çıkan baca gazlarındaki CO₂ oranı %90 ve üstüne kadar çıkabilmektedir. Bu da, CO₂’nin baca gazlarında ayrılması ve tutulmasına imkân vermektedir. Son yıllarda dünyada oksji-yanma konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır ve yapılmaktadır. Çalışmalar hem kömürün [24–27] hem de kömür-biyokütle [28–31] karışımlarının yakılmasını kapsamaktadır. Bu çalışmalardan elde

edilen önemli sonuçlar ve oksji-yanma teknolojisinin ulaştığı aşama ve uygulamaları son yıllarda yayınlanan birçok makalede incelenmiştir [23,32–35].

Türkiye’de oksji-yanma çalışmaları hemen hemen yok denecek kadar azdır. Ancak, son bir kaç yıl içinde kömür ve kömür-biyokütle karışımlarının oksijen-çe-zengin ve oksji-yanma koşullarında yanması daha çok TGA yöntemiyle incelenmiştir. Yüzbaşı ve Selçuk [36] yaptıkları çalışmada linyit, linyit-petrokok karışımlarının yanmasını TGA yöntemini kullanarak hava ile yanma ve oksji-yanma koşullarında incelemişlerdir. Araştırmacılar, oksji-yanma koşullarında yanma aşamaların biraz geciktiğine işaret etmektedir [32].

Yapılan yeni bir çalışmada, yine TGA tekniği ile iki linyit kömürünün hava ve O₂/O₂ atmosferlerinde yanmaları ve yanma kinetikleri araştırılmıştır. Kömürlerin oksji-yanma koşullarında aktivasyon enerjilerinin, hava ortamına kıyasla daha düşük olduğu gözlenmiştir [37]; Engin vd. [38] Türkiye’de ilk kez Türk linyitlerini 30 kW_l kapasitedeki bir hızlı akışkan yatakte oksji-yanma koşullarında yakmışlardır. Araştırmacılar, baca gazlarındaki CO₂ miktarının yakıcıya beslenen O₂ miktarındaki artışla arttığını belirtmektedirler. Çalışmada baca gazlarında %96’ya varan CO₂ derişimlerine ulaşılmıştır.

8.1 Oksji-Yanma Sistemleri

Oksji-yanma Sistemlerine Genel Bakış

Oksji-yanma teknolojisi prensip olarak, elektrik üretiminde kullanılabilecek ve her yakıt için uygulanabilecek esnekliğe sahip bir teknolojidir. Bunun yanı sıra halen çalışmakta olan geleneksel yakma sistemleri de oksji-yanma sistemlerine dönüştürülebilir. Başka bir ifadeyle oksji-yanma sistemleri var olan sistemlere *retrofit* olarak entegre edilebilir [32].

Hava ile yanmada, havanın içermiş olduğu yüksek miktarlardaki N₂’un seyreltme etkisi nedeniyle yanma/baca gazlarındaki CO₂ oranı düşük (tipik olarak %12-16) olmaktadır. Oksji-yanmada ise hava yerine saf oksijen geri döndürülen baca gazlarına katılarak kullanılmakta olup ve böylece CO₂ oranı yüksek (%65-95 hacimsel ve kuru baz) baca gazları elde edilmektedir. Baca gazları diğer safsızlıklardan arındırıldıktan sonra sıkıştırma ve soğutmayla yoluyla CO₂ sıvılaştırılmakta ve depolanmaktadır. Baca gazındaki CO₂ oranı sistemdeki hava sızıntıları tarafından önemli ölçülerde etkilenebilmektedir. Kömür yakan tipik bir oksji-yakma sistemi Şekil 12’de görülmektedir. Sistem temel olarak şu ünitelerden oluşmaktadır [34]:

- Hava ayırma ünitesi (ASU),
- Yakma ünitesi,
- Gaz temizleme ünitesi,

Oksi-yanma sistemlerinde gaz temizleme işlemi, CO₂ hariç olmak üzere, geleneksel yakma sistemlerinde uygulanan işleme benzerdir. Temel olarak partiküler madde, NO_x ve SO₂ gidermeyi kapsamaktadır. Partiküler madde emisyonu ve giderimi konusunda geleneksel ve oksi-yanma süreçleri arasında önemli bir fark bulunmamaktadır [23]. Buna karşın, oksi-yanmada NO_x emisyonu, havayla yanmaya kıyasla, %50-70 gibi önemli oranlarda düşmektedir [41,42]. Ancak kirlenmeler konusunda yerel ve global regülasyonlarda öngörülen sınır değerleri karşılamak için ek bir NO_x giderimine gerek olabilir. SO₂ emisyonu ise havayla yanmaya göre önemli bir farklılık göstermemekte ve yine benzer yöntemlerle tutulmaktadır [43].

CO₂ Tutulması ve Depolanması: Oksi-yanma sistemlerinin geleneksel sistemlere göre en önemli farkı baca gazlarında CO₂ oranının çok yüksek olması (%65-95) ve böylece CO₂'in ayrılması ve tutulmasının mümkün olmasıdır. CO₂ ayırma ünitesi bir dizi çok aşamalı sıkıştırma ve soğutma adımlarından oluşmaktadır. Burada önce su uzaklaştırılmakta ve daha sonra CO₂ sıvılaştırılmaktadır. Şekil 12'de görüldüğü gibi, sıvılaşmayan gazlar (Ar, N₂, O₂, CO, NO_x) ise ekzost gazı olarak bacadan atılmaktadır.

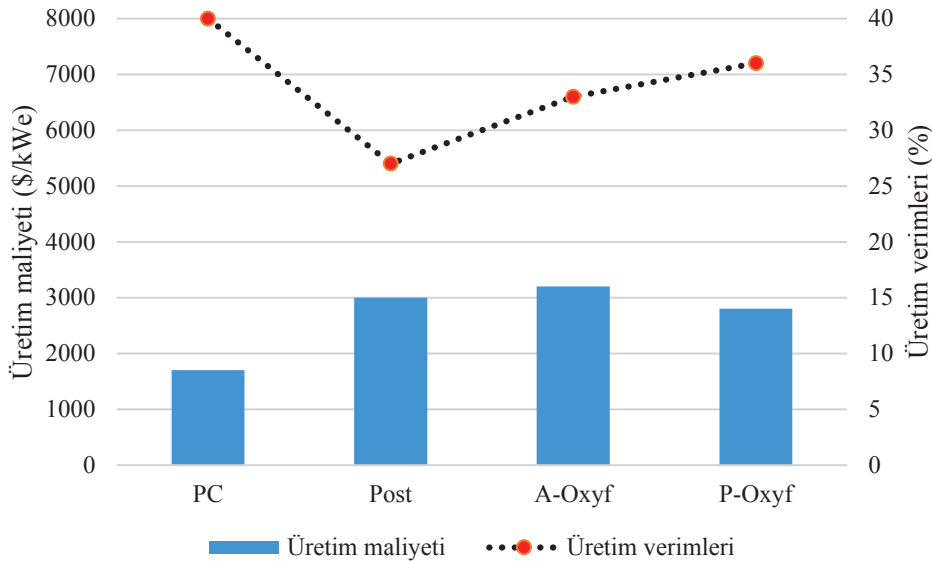
8.2 Oksi-Yanma Sistemlerinin Performansları

Güç üretim sistemlerinde *maliyetler* ve *enerji üretim verimliliği* önemli konulardır ve bu sistemlerin performanslarının birer ölçüsüdür. Şekil 13'te yeni yapılmış

oksi-yanma sistemlerinin performansları, süper kritik pulvarize kömür (SKPY) yakma sistemlerinin performanslarıyla kıyaslanmıştır. Bu grafikteki değerler çeşitli çalışmaların bir ortalaması olarak verilmiştir ve yaklaşık değerlerdir. CO₂ tutmanın olmadığı SKPY *baz sistem* olarak alınmıştır. Buna göre, SKPY'e CO₂ tutma eklendiğinde, baz SKPY'e kıyasla verimde %10-15'lik bir kayıp olmaktadır. Oksi-yakma sistemleri ise, geleneksel sistemlere göre aynı konfigürasyon için, SKPY'e kıyasla verimde %1-5 kazanç sağlayabilmektedir. Bunun yanı sıra oksi-yanmanın basınçlı olması durumunda verimde %3'e varan ek iyileşmeler sağlanabilmektedir [39].

Maliyetlerde ise hesaplamalar arasında büyük farklar olmaktadır. Bu da maliyet hesaplamalarında yapılan varsayımlardan kaynaklanmaktadır. Daha gerçekçi maliyet tahminleri için demo ve endüstriyel ölçek çalışmalarının sonuçlarını görmek gerekmektedir. Ancak retrofit olarak kurulan oksi-yanma sistemlerinin maliyetleri, yeni sistemlere kıyasla daha düşük olmaktadır [39].

Şekil 13'te, PC: CO₂ tutmayı içermeyen geleneksel pulvarize yakma sistemleri, post : CO₂ tutmayı içeren geleneksel pulvarize yakma sistemleri, A-oxyf: Baca gazının döndürüldüğü oksi-yanma sistemleri, P-oxyf: Baca gazının döndürüldüğü basınçlı oksi-yanma sistemleri [39] görülmektedir. Oksi-yanma sistemleri iki grupta toplanmaktadır: 1. Oksi-pulvarize oksi-yanma sistemleri, 2. Oksi-akışkan yatak yanma sistemleri.



Şekil 13. CO₂ tutma teknolojilerinin üretim verimleri ve maliyetlerinin kıyaslanması (Kaynak [32]'den uyarlanmıştır).

8.3 Oksi-Pulvarize Yanma Sistemleri

Oksi-pulvarize yakma (Oksi-PY) sistemleri, geleneksel pulvarize yakmanın O_2/CO_2 ortamında gerçekleştirilmesine dayanmaktadır. Şekil 12'deki diyagram, yakıcı pulvarize yakıcı olduğunda aynı zamanda oksi-PY sistemlerini temsil etmektedir. Kömürden elektrik üretimi ağırlıklı olarak pulvarize yanma yoluyla yapıldığından, ilk oksi-yanma çalışmaları daha çok pulvarize kömür konusunda yoğunlaşmıştır ve son 10 yılda bu teknolojinin geliştirilmesinde önemli yol alınmıştır. Halen dünyanın bir çok yerinde kapasiteleri 0,3-30 MW_ı aralığında değişen çeşitli entegre oksi-PY sistemleri bulunmaktadır. Kapasitesi 30 MW_ı-300 MW_e arasında değişen sistemler ise proje aşamasındadır [44]. Bu sistemlerde yanma gazları prosesin değişik noktalarından çekilerek kuru veya ıslak olarak geri döndürülebilmektedir. Döndürülen gazlar (RFG) birincil RFG (RFG-1) ve ikincil RFG (RFG-2) olmak üzere ikiye bölünüp yanma odasına gönderilmektedir. Baca gazının yaklaşık %65-70'i geri döndürülmekte, bunun da %30-35'i RFG-1 olarak kömür öğütme değirmenlerinde kömür kurutma ve kuru toz kömürün buradan kazana taşınmasında kullanılmaktadır. %65-70 ise RFG-2 şeklinde oksijenle karıştırılarak yanma odasına yakma gazı olarak beslenmektedir. Bazı uygulamalarda, üçüncül RFG (RFG-3) de kullanılmaktadır. Bu akım daha üst bölgelerde yanma odasına beslenmektedir. Oksijen bu RFG'lerden herhangi birisine veya birden fazlasıyla karıştırılarak ve/veya doğrudan yanma odasına beslenmektedir. Bu sistemlerle ilgili ayrıntılar çeşitli yayınlarında bulunabilmektedir [32-35,39,44]

8.4 Akışkan Yatak Yakma Sistemleri

Akışkan yataklı yanma sistemleri, katı yakıt taneciklerinin yakma gazları içerisinde asılı kalarak sıvı gibi davrandığı ve yanmanın da bir sıvı yanmasına benzediği sistemlerdir. Bu sistemler, pulvarize yakma sistemlerine kıyasla, yüksek ısı ve kütle transfer hızları, kompakt kazan tasarımı, yakıt esnekliği ve düşük kirletici (NO_x ve SO_2) emisyonları gibi üstünlüklere sahiptirler. Oksi-akışkan yataklar (Oksi-AY), yanmanın, hava yerine, O_2/CO_2 ortamında gerçekleştiği sistemlerdir. Üç tip akışkan yatak kullanılmaktadır [32]:

1. Habbeli akışkan yataklar (HAY),
2. Dolaşımli akışkan yataklar (DAY),
3. Basınçlı akışkan yataklar (BAY).

Bunlar içinde en yaygın kullanılanları dolaşımli akışkan yataklardır (DAY). Bu sistemler hakkında ayrıntılı bilgi birçok kaynaktan bulunmaktadır [45,46]. Bu sistemlerde akışkanlaştırma ve yanma gazları, yakıcının tabanındaki dağıtıcı elek içinden (birincil besleme) ve yanma odasının duvarı içinde değişik noktalardan bes-

lenebilmektedir (ikinci hava). Oksi-AY'larda yanma hava yerine, O_2/CO_2 karışımıyla gerçekleştirilmektedir. Ortamdaki O_2 derişimi, RFG ve O_2 miktarları değiştirilerek ayarlanmaktadır. Operasyon sıcaklığı, yanmanın etkin bir şekilde gerçekleşmesi için yeterince yüksek ancak aglomerasyonun başlamasını önleyecek seviyelerde tutulmaktadır. Bunun yanı sıra NO_x ve SO_2 emisyonları da göz önüne alındığında optimum operasyon sıcaklıkları 800-900 °C'dır. RFG ıslak veya kuru olabilmektedir [32]. Genellikle ıslak RFG akışkanlaşmayı sağlamak üzere dağıtıcı elek içinden beslenmektedir. Kuru RFG ise yakıtların yakıt silolarından yakıcıya beslenmesi için kullanılmaktadır. Oksi-yanma koşullarında çalışan DAY tipi yakıcılarda RFG miktarları değiştirilerek ortamdaki O_2 oranı %30-50 yükseltilebilmektedir ve yanma daha küçük hacimlerde gerçekleşebilmektedir. Böylece oksi-DAY'ların boyutları havayla yanmanın yapıldığı yakıcılara göre daha küçük olmaktadır [23,32].

Oksi-DAY çalışmaları halen laboratuvar ve pilot ölçeklerde yapılmaya devam edilmektedir. Bunların çoğu 100 kW_ı den küçük kapasitelere sahiptir. Halen kurulmuş en büyük ünite ise AB tarafından desteklenen ve İspanya'da bulunan CIUDEN'a ait 30 MW_ı kapasiteye sahip sistemdir [47].

Kömür bütün dünyada ve Türkiye'de en önemli ve en çok kullanılan enerji kaynaklarından bir tanesidir. Ancak kömürün yanması sonucunda diğer kirleticilerin yanı sıra önemli miktarda CO_2 ortaya çıkmakta atmosfere atılmaktadır. CO_2 sera etkisine sahiptir ve atmosferin ısınmasına ve iklim değişikliğinde sorumlu tutulmaktadır ve insanlığın karşı karşıya olduğu en önemli sorunlardan birisidir. CO_2 emisyonun azaltılması için dünyada yoğun çalışmalar yapılmaktadır [32].

Oksi-yanma teknolojisi kömürün yanmasını ve ortaya çıkan CO_2 'yi tutmayı bir arada gerçekleştirme imkanı veren ve son yıllarda gelişmekte olan bir teknolojidir. Bu teknoloji oksi-pulvarize ve oksi-akışkan yataklar olmak üzere başlıca iki şekilde uygulama bulmaktadır. Dünyada kapasitesi 30 MW_ı'e ulaşan pilot oksi-yanma sistemleri devreye alınmıştır. Kapasiteleri 30 MW_ı-300 MW_e arasında değişen sistemler ise proje aşamasındadır. Türkiye'de oksi-yanma çalışmaları son derece sınırlı kalmıştır. Bu konudaki çalışmaların hızlandırılması gerekmektedir.

Türkiye'de oksi-yanma teknolojisi öncelikli araştırma konuları içine alınmalı ve desteklenmelidir. Bu konuda Enerji Bakanlığı, TKİ, TÜBİTAK, üniversiteler, enerji sektörünün (kamu ve özel) diğer bütün paydaşları gibi enerjiyle ilgili kuruluşların işbirliği yapması büyük önem taşımaktadır [32].

9. KÖMÜRLER İÇİN KİMYASAL DÖNGÜLÜ YANMA TEKNOLOJİLERİ

CO₂ tutma ve depolama (CO₂ Capture and Storage, CCS) teknolojisinin adımlarına (tutulum, taşıma, depolama) ait maliyetler karşılaştırıldığında, en yüksek maliyetin, CO₂'in baca gazından ayrıştırılması (capture) basamağına ait olduğu görülür. Doğalgaz kullanılan kombine çevrimli bir güç santrali veya toz kömür kullanılan bir güç santrali için taşıma maliyeti 1-8 U.S.\$/(ton CO₂, 250 km); depolama maliyeti 0,6-8,3 U.S.\$/ton CO₂ iken, seyreltik haldeki CO₂'nin baca gazından tutulma ve ayrıştırılma maliyeti 30-90 U.S.\$/ton CO₂ şeklindedir. (Cao ve Pan, 2006; Bouzalakos ve Mercedes, 2010; Jerndal, 2010). Karşılaştırma enerji açısından yapılacak olursa, bir kömür santralinde üretilen elektriğin kabaca %20'sinin, CO₂'nin ayrıştırılmasına harcadığı söylenebilir [48].

Kimyasal Döngülü Yanma (KDY); CO₂'i diğer baca gazı bileşenlerinden %100'e yakın saflıkta ve mevcut CO₂ tutma ve depolama (CO₂ Capture and Storage, CCS) yöntemlerine göre daha düşük maliyetle ayırma potansiyeline sahip, yeni gelişen bir temiz yanma teknolojisidir. Bu teknoloji sayesinde, yanma ürünü olan CO₂, yakma havasından gelen N₂'dan prosesin doğal işleyişi içinde kendiliğinden ayrılmakta; dolayısıyla bu işlem için ilave bir gaz ayırma prosesine ve ayrıca enerji sarf edilmesine gerek kalmamaktadır. Başka bir deyişle, mevcut temiz yanma proseslerinde CO₂'in tutulması için harcanan enerji, KDY yönteminin kullanılması halinde prosesin içinde kalmakta, böylece, birim yakıt başına daha fazla temiz enerji elde edilmektedir. Sonuç olarak, fosil yakıtların daha yüksek verimle ve daha düşük çevresel yükü enerjiye dönüşümü sağlandığından, üretilen temiz enerjinin birim maliyeti de azalmaktadır [48].

Kimyasal Döngülü Yanma (Chemical Looping Combustion, CLC) ifadesi, bilimsel bir terim olarak ilk defa Ishida vd. (1987) tarafından, güç santrallerinde meydana gelen ekserji kayıplarını azaltmaya yönelik bir çalışmada kullanılarak literatüre kazandırılmıştır. Ishida ve Jin (1994a, 1994b) tarafından yapılan sonraki çalışmalarda yöntemin, Fe ve Ni bazlı oksijen taşıyıcılar eşliğinde, CO₂ tutulumu amacıyla da kullanılabileceği belirtilmiştir. KDY teknolojisi üzerinde uzmanlaşmış ve bu sahadaki tüm gelişmelere öncülük etmiş araştırma grupları (Chalmers University of Technology (İsveç), Korean Institute of Energy Research (Kore), Instituto de Carboquímica CSIC (İspanya) ve Vienna University of Technology (Avusturya), Japonya (Tokyo Institute of Technology), Norveç (Norwegian University of Science and Technology) ve Amerika'daki (Ohio State University)) çalışmalarına yoğun bir şekilde devam etmektedir [48].

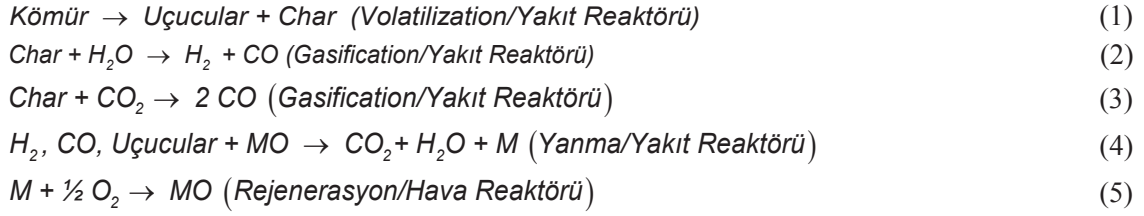
Yakın tarihli araştırmalar kömür, petrol koku ve biokütle gibi katı yakıtların Kimyasal Döngülü Yakılması üzerinde yoğunlaşmaktadır. ENCAP CO₂ tarafından 2005 yılında 455 MW_t'lık bir katı yakıtlı KDY santralinin fizibilite raporu yayınlanmış olup, halihazırda Technical University of Darmstadt (Almanya) bünyesinde 1 MW_t'lık ve ALSTOM-Power Inc. (Windsor, A.B.D) bünyesinde 3 MW_t'lık pilot, katı yakıtlı KDY tesisleri bulunmaktadır. Ayrıca, Alberta-Kanada'da, yakıt olarak katran, oksijen taşıyıcı olarak NiO kullanan 10 MW_t'lık bir katı yakıtlı KDY santralinin inşasına başlanmış olup, 2020 itibarıyla devreye alınması planlanmaktadır. Türkiye'de bu konuda TÜBİTAK'ın desteği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünde kurulan laboratuvar ölçekli alternatif atmosferli akışkan yatak KDY sistemi bulunmakta ve gaz yakıtların KDY çalışmaları yapılmaktadır [48].

Sistemler ve Uygulamalar

Katı Yakıt Kullanılan Kimyasal Döngülü Yanma, kömür başta olmak üzere katı yakıtların KDY prosesi kullanılarak enerjiye dönüştürülmesi 3 yolla mümkündür (Şekil 14).

- **Ön-Gazlaştırmalı KDY (Syngas-CLC):** Katı yakıt, KDY reaksiyonlarına katılmadan önce gazlaştırma işlemine tabi tutularak, taşıyıcının rahatça reaksiyon verebileceği sentez gazı formuna dönüştürülür. Daha açık bir ifadeyle, proste temelinde katı yakıtın enerjisi açığa çıkarılmakla birlikte; yakıt reaktörüne CO-H₂ karışımı olan gaz yakıt beslenir. Proses bu yönüyle, katı yakıt gazlaştırması eklenmiş gaz yakıtlı KDY prosesi gibi düşünülebilir (Şekil 14-a). Ancak gazlaştırmada kullanılan saf O₂, havanın damıtılması ile elde edildiğinden, prosesin toplam enerji dönüşüm etkinliğinde bir miktar azalma söz konusudur. Katı yakıtların gazlaştırma vs. gibi herhangi bir ön işleme ihtiyaç duymadan, doğrudan KDY yakıt reaktörüne beslenmesini içeren yöntemler ise aşağıda verilmiştir [48].
- **Yerinde Gazlaştırmalı KDY (iG-CLC, In-situ Gasification CLC):** Bu yöntemde katı yakıt, akışkan yataklı KDY yakıt reaktörüne direkt olarak beslenir ve burada proses şartlarının etkisiyle Eş.(1) reaksiyonunda görüldüğü üzere, uçucu maddelerini bırakır (Volatilization). Uçucu maddenin ayrılmasından sonra arta kalan kömür koku (Char); hem akışkanlaşmayı, hem de gazlaşmayı sağlayan H₂O ve CO₂ gazlarıyla reaksiyona girerek (Gasification); CO ve H₂ gazlarına dönüşür (Eş.(2) ve Eş.(3)) [48].

Esas yanma tepkimesi, kömürden gelen bu gazlaştırma ürünleri ve uçucular ile oksijen taşıyıcı arasında meydana gelir (Eş. (4)). Bir başka deyişle, yanmayı içeren gaz-katı tepkimesinin gaz türü yakıt tarafından; katı türü ise oksijen taşıyıcı tarafından sağlanır (Şekil



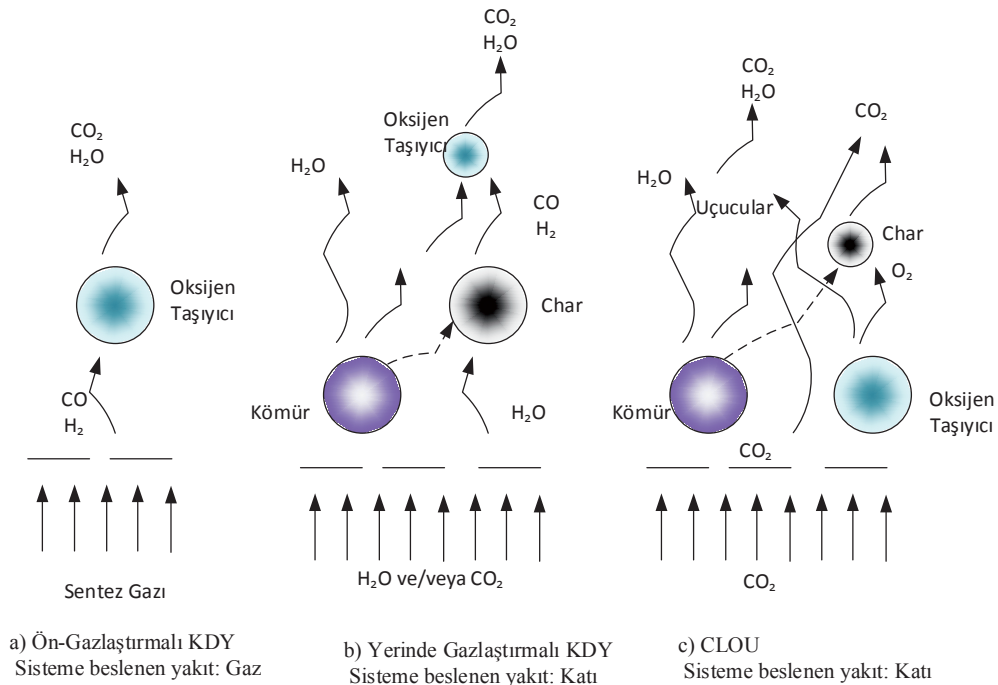
14-b). Katı yakıtın gazlaşması herhangi bir ön-gazlaştırma tertibatına gerek kalmaksızın, doğrudan KDY yakıt reaktörü içinde; yanma reaksiyonu ile aynı ortamda gerçekleştiğinden yöntem “Yerinde Gazlaştırmalı KDY (in-situ gasification CLC)” şeklinde adlandırılmıştır [48].

- CLOU (Chemical Looping with Oxygen Uncoupling): Bu yöntemde de katı yakıt, KDY yakıt reaktörüne direkt olarak beslenmekte; ancak yerinde gazlaştırmalı KDY yönteminden farklı olarak yanma tepkimesi uçucular ve gazlaştırma ürünleri ile taşıyıcı tarafından ortama salınan O_2 gazı arasında meydana gelmektedir. Daha açık bir ifadeyle, oksijen taşıyıcının yapısındaki latis oksijeni proses şartlarının etkisiyle gaz formunda ortama salındığından, yakıtın yüksek miktarda enerji tüketen hava damıtma işlemlerine gerek kalmaksızın, saf O_2 gazı ile yanması sağlanmaktadır (Şekil 14-c). Bu yöntemin başarılı bir şekilde uygulanması, bünyesindeki latis oksijenini KDY proses şartlarında O_2 şeklinde serbest bırakacak, uygun oksijen taşıyıcı materyallerin geliştirilmesine bağlıdır [48].

9.1 KDY Prosesinde Kullanılan Oksijen Taşıyıcılar

Kimyasal Döngülü Yanma prosesinin mevcut temiz yanma teknolojileri ile yarışabilir ve ticari ölçekte uygulanabilir seviyeye ulaşması; en uygun fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip oksijen taşıyıcıların geliştirilmesine, uygun reaktör dizaynı ve optimum proses şartlarının belirlenmesine bağlıdır. Seçilen oksijen taşıyıcının cinsi; yakıt ve hava reaktörlerinin büyüklüğü, iki reaktör arasında sirküle olması gereken taşıyıcı kütlesi ve proses sıcaklığı gibi diğer parametreler üzerinde de belirleyici etkiye sahip olduğundan, KDY araştırmalarında üzerinde en çok durulması gereken nokta; oksijen taşıyıcı materyalin seçimi ve/veya geliştirilmesidir [48].

KDY prosesinin işleyişi, yakıtın havayla doğrudan karıştığı klasik yanma proseslerinden farklı olduğundan, daha farklı proses dizaynı ve ekipmanların kullanılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle prosesin, uygun oksijen taşıyıcıların geliştirilmesi, reaktör dizaynı ve optimum proses şartlarının belirlenmesi gibi konular bakımından araştırma-geliştirmeyi bekleyen yönleri



Şekil 14. Katı yakıtların KDY prosesleri (Kaynak [48]’den uyarlanmıştır)

bulunmaktadır. Yöntem, katı yakıtların kullanılabilirliği seviyede geliştirildiği takdirde, tüm dünyada en yaygın bulunan fosil yakıt olan kömür kaynaklarının ekonomiye kazandırılması ve özellikle de sıvı/gaz fosil yakıtlar bakımından fakir olan ülkelerin enerji bakımından dışa bağımlılığının azaltılması hususlarında da dikkate değer bir potansiyele sahiptir. Ancak katı yakıtların KDY teknolojisinde direkt kullanımı oldukça karmaşık bir konu olduğundan, araştırma aşamasına gaz yakıtların KDY analizi ile başlamak daha yerindedir. Bu nedenle KDY araştırmalarının izlemesi gereken gerçekçi bir yol haritası öncelikli olarak gaz yakıtların laboratuvar ölçekli akışkan yataklarda KDY analizini içermelidir. Bu aşamaya kadar oluşturulan altyapı ve özellikle uygun taşıyıcıların belirlenmesi sayesinde, KDY teknolojisinin daha büyük ölçekli ve sürekli akışkan yataklardan oluşan prototip ve pilot ünitelere doğru boyut büyütmesi mümkün olabilir [48].

Sirkülasyonlu akışkan yatak (Circulating Fluidized Bed) teknolojisi, endüstride uzun yıllardan beri kömür, biyokütle, katı atık gibi yakıtların enerjiye çevrilmesinde ve katalitik kraking işlemlerinde güvenle kullanılmakta olup, bahsi geçen bu sahalarda edinilen tecrübe sayesinde, katı yakıtlı KDY proseslerine kolayca adapte edilebilir. Böylece KDY teknolojisinin ticari ölçeğe erişmesi bir hayli kolaylaşmış olur. Kömürlü KDY prosesine ait devreye alınan pilot ünitelerin incelenmesi ülkemiz açısından örnek teşkil edecektir [48].

10. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Önceden de belirtildiği gibi, Çalıştayın ana teması “Ülkemizdeki kömür kaynaklarının daha etkin ve verimli bir şekilde ve de çevre dostu olabilecek tarzda kullanımları için gereken temiz kömür teknolojileri” olmuştur. Bu çerçevede amacımız, bilimsel, teknolojik, endüstriyel, çevresel, enerji, sosyal, ekonomik anlamda uygulanabilir çözümler, politikalar ve stratejiler ortaya koymak ve böylece ülkemizin sürdürülebilir kalkınmasına katkıda bulunmak için kamu, üniversite ve sanayi disiplinlerini bir araya getirmek olmuştur.

Çalıştayda ve Panel’de sunulduğu üzere; enerji, ülkemizin sürdürülebilir kalkınmasının ve bağımsızlığının en önemli teminatlarından biridir. Doğu ile Batı arasında en güvenli enerji köprüsü olan ülkemiz, çeşitli yenilenebilir ve fosil kökenli enerji kaynaklarına sahiptir. Bu kaynaklardan biri de kömürdür. Ülkemiz, linyitte rezerv ve üretim miktarları açısından dünya ölçeğinde orta düzeyde, taşkömüründe ise alt düzeyde değerlendirilebilir. Toplam dünya linyit kömür

rezervinin yaklaşık %3,2’si ülkemizde bulunmaktadır. Ülkemiz linyit rezervinin yaklaşık %46’sı Afşin-Elbistan havzasındadır. Ülkemizde linyit kömürü sahalarımız hemen hemen bütün bölgelere yayılmış olup, linyit kömürünün ısı değerleri 1000-4200 kcal/kg arasında değişmektedir. Bununla birlikte ülkemizdeki toplam linyit kömürü rezervinin yaklaşık %68’inin ısı değeri 1500 kcal/kg’dan düşük olduğundan sadece termik santrallerde kullanılmaktadır. Ülkemizin en önemli taşkömürü rezervleri ise Zonguldak civarındadır. Zonguldak havzası’ndaki toplam taşkömürü rezervimiz 1,30 milyar ton olup, görünür rezerv 506 milyon ton düzeyindedir. Günümüz itibarıyla; kömürün elektrik üretiminde de vazgeçilmez bir yeri vardır. Ülkemizdeki linyit rezervleri 2005-2015 yılları arasında yaklaşık 7,38 milyar ton rezerv artışı sağlanarak 16 milyar tona ulaşmıştır. Ülkemizde, yüksek kaliteli kömürlerin toplam rezerv içerisindeki miktarı 1,3 milyar ton’dur. 2015 yılı sonu itibarıyla 126,9 Milyon Ton Eşdeğer Petrol (MTEP) olan ülkemizin toplam birincil enerji tüketiminde kömürün payı ortalama %27,3’dür. 2016 yılında kömüre dayalı termik santrallerden toplam 92,3 TWh elektrik üretilmiş olup, toplam elektrik üretimi içerisindeki payı %34 düzeyindedir. Ülkemizin 2016 sonu itibarıyla kömüre dayalı santral kurulu gücü 17.316 MW olup toplam kurulu gücün %22,1’ine karşılık gelmektedir. Yerli kömüre dayalı kurulu güç 9.437 MW (%12,1) ve ithal kömüre dayalı kurulu güç ise 7.879 MW (%10) şeklindedir. 2016 yılında kömüre dayalı santrallerden toplam 92,3 TWh elektrik üretilmiş olup toplam elektrik üretimi içerisindeki payı %33,9 düzeyindedir. Ülkemizde tüketilen kömürün yaklaşık %68’i ısı ve elektrik üretiminde, yaklaşık % 16,8’i endüstride, %9,7’si tarım sektöründe, %5,6’sı evlerde kullanılmaktadır. Ülkemizin toplam taş kömürü ithalatı ortalama %96 civarında olup bu değer ortalama %33,1’i Kolombiya’dan, %33’ü Rusya’dan, %14,6’sı Güney Afrika’dan, %8,2’si Avustralya’dan ve kalanı diğer ülkelerden ithal edilmektedir.

Ülkemizin, kömür rezervlerinden maksimum verimle faydalanabilmesi için stratejik, teknolojik ve ekonomik politikaların geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu çerçevede, 6 Temmuz 2017 tarihinde düzenlenmiş olan TÜBA-Temiz Kömür Teknolojileri Çalıştay ve Paneli neticesinde ülkemiz için stratejik, teknolojik, endüstriyel ve ekonomik anlam ifade eden aşağıdaki acil önlemler ve sonuçlar paketi ortaya konulmuştur:

1. *Yerli Kömür Politikası* iyileştirilmeli; *Yerli Kömür Stratejileri Kurulu* kurulmalı, *Enerji İthalatı ile Mücadele Birimi* kurulmalı; *Enerji İthalatı Diyeti* başlatılmalı; *Yerli Kömür Kullanım Teşviki* artırılmalı; Kömür sektöründe *Enerji Verimliliği Hamlesi* başlatılmalı; yerli kömüre dayalı termik

santraller için *Ulusal Kalite Standardı* oluşturulmalı ve kömür sektöründe *Kamu-Üniversite-Sanayi İşbirliği* teşvik edilmelidir.

2. Mevcut ve potansiyel kömür rezervlerimizi enerji ekonomisinin bir parçası haline getirmek için dokümüze, karakterimize ve koşullarımıza uygun bilimsel, teknolojik, çevresel, sosyal, endüstriyel, ekonomik, politik ve sürdürülebilir kalkınma stratejilerini, politikalarını ve uygulanabilir çözüm önerilerini içeren kısa, orta ve uzun vadeli yol haritaları çıkarılmalı ve uygulamaya konulmalıdır. Bu çerçevede uzman çalışma grupları oluşturulmalıdır.
3. Yerli kömürden elektrik üretimi için kısıt oluşturan idari, mali ve hukuki sorunlar giderilerek kömür sektöründe rol alan yatırımcı, uygulayıcı ve kullanıcıların iş sağlığı ve güvenliği, enerji ve ekonomik güvenliği iyileştirilmeli ve ülkemizin enerji, çevre, endüstriyel, sosyal, ekonomik ve jeopolitik güvenliğini bozmayacak şekilde yerli kömürden enerji üretimi serbest bırakılmalıdır.
4. Üniversiteler, Belediyeler, Meslek Odaları ve Sivil Toplum Kuruluşları işbirliği ile düşük kaliteli kömür ve atıkların birlikte dönüşümü ve yönetimini içerek şekilde *Yerli Kömür Politikaları* konusunda uygulama niteliğinde eylem planları oluşturulmalı, gerekli stratejileri geliştirilmeli ve mevzuat çerçevesinde uygulamaya konulmalıdır.
5. Yerli kömür kaynaklarının ve teknolojilerinin kullanımı için verilecek olan destekler kademeli ve kesintisiz olmalı, yerli kömürlerin kullanımı sırasında çevre ve enerji mevzuatına takılan kısıtlar aşılmalı ve kömür arama, üretim ve işlenmesine yönelik yeterli koordinasyon ve işbirliği sağlamalıdır.
6. İleri temiz kömür teknolojilerine geçişte gerekli Ar-Ge inovasyon faaliyetlerinin endüstriyel ve ekonomik anlam kazanması için uygun bölgelerde üs niteliğinde *Kömür Teknolojileri Mükemmeliyet Merkezleri* kurulmalıdır.
7. Yeni nesil çevre dostu temiz kömür teknolojilerinin geliştirilmesi ve kömüre dayalı termik santrallerde kullanılan ekipmanların verimlerinin iyileştirilmesi yoluyla mevcut kömür rezervlerimizin tasarruflı şekilde kullanılması sağlanmalıdır.
8. Yerli kömür kaynaklarının ve teknolojilerinin ülkemiz enerji ekonomisine kazandırılması için yerli kömüre dayalı elektrik santrali kurmada “kömüre özel” mevzuat düzenlemesi yapılarak kullanılabilir yerli kömür kaynaklarımızın ülkemiz elektrik üretimindeki payı artırılmalıdır.
9. Kömür ithalatı azaltılarak ithal kömüre dayalı elektrik üretimi kademeli olarak düşürülmeli ve özellikle yerli kömürlerin birlikte kullanımı teşvik edilmelidir.

10. İthal kömüre vergi artırılmalı ve ülkemizde ithal kömüre bağımlı olan kömür santrallerinde ilk etapta %10 oranında yerli kömür kullanım zorunluluğu getirilmelidir.
11. Ülkemizin fosil enerji kaynakları arasında kuşkusuz en önemli yeri linyit kömürü oluşturmaktadır. Ancak linyitlerimizin büyük bir kısmı genç yaşlı olmaları nedeniyle yüksek oranda kükürt, kül ve nem yanında düşük ısı değere sahiptir. Bu nedenle sanayi ve ısınma sektöründe kullanımı uygun olmayan bu düşük kaliteli linyitler, ülkemizde çoğunlukla eski sistem “konvansiyonel pulverize kömür yakma teknolojisine” dayalı termik santrallerde tüketilmektedir. Bu nedenle, yerli linyitlerle çalışan *yüksek verimli düşük emisyonlu entegre termik santral ve ekipmanları modeline* geçilmelidir.
12. Yapılan çalışmalarda yüksek verimli düşük emisyonlu temiz kömür teknolojileri olarak; entegre dolaşimli akışkan yataklı linyit ve biyokütle-kömür karışımlarını yakma teknolojileri, entegre oxy-yanma teknolojileri, plazma yöntemiyle kömür yakma/gazlaştırma teknolojileri, entegre kimyasal çevrimli yakma teknolojileri, biyokütle ile birlikte entegre yakma (esnek yanma) teknolojilerinin uygulanmasına öncelik verilmelidir.
13. Yerli kömüre dayalı termik santrallerde kullanılan düşük verimli buhar üretim sistemleri ve buhar türbinleri yerine süper kritik buhar üretim teknolojileri, süper kritik akışkanlı buhar veya gaz türbinlerinin kullanılması araştırılmalıdır.
14. Yerli kömüre dayalı termik santrallerde çevresel etkileri en aza indirmek için yeni nesil desulfurizasyon ve karbondioksit depolama/bertaraf teknolojileri kullanılmalıdır.
15. Düşük kaliteli kömürlerle biyokütle kombinasyonundan enerji üretimini doğru değerlendirmek gerekir. Düşük kaliteli kömürlerle temiz biyokütlelenin (orman ürünleri atıkları, fındık, fıstık, ceviz kabukları, tahıl sapları, tarla bitkileri, vb.) birlikte kullanılması biyokütlelenin enerji dönüşüm performansını ciddi şekilde düşürmektedir. Ancak, düşük kaliteli kömürlerle organik atıkların (kirli biyokütle) birlikte elektrik enerjisine dönüştürülmesinin ekonomik anlamı daha yüksektir. Bu nedenle, hibrit yakıtlı (düşük kaliteli kömür ve organik katı atık) plazma gazlaştırma odaklı en az üçlü üretim sistem modelini içeren katı organik atıklarla birlikte entegre gazlaştırma sistemlerinin uygulanması teşvik edilmelidir.
16. Ülkemizdeki kaliteli yerli kömürlerden sıvı ya da gaz yakıt üreten entegre sistemlerin uygulamasının yaygınlaştırılmasına öncelik verilmelidir.
17. Özellikle ülkemizde kömür ile çalışan termik santrallerde termik verim ortalama olarak %30-

37 civarındadır. Entegre kömür gazlaştırma kombineleri çevrim santrallerinin net %50-55 oranında termik verime ulaşma imkanı vardır. Yüksek termik verim sağlayarak kömürün ekonomik değerini daha da yükselten, çevresel etkilerini azaltan ve diğer fosil yakıtlara karşı var olan avantajı daha da artıran bu yeni teknoloji, sıfır CO₂ emisyonlu sistemlere geçiş için bir basamak olmalı ve bir başlangıç olarak, yerli kömürler için MWh başına ton kömürün kullanımı ve MWh başına CO₂ üretimi azaltılması çalışmalarına ağırlık verilmelidir.

18. Düşük kaliteli kömürlerimizin yer altında enerjiye dönüştürülmesi son derece önemlidir. Yüzeysel gazlaştırma tesisi gerektirmemesi; kömür tedarik zorluğunun çok düşük olması; kömür taşıma, depolama ve hazırlama işlemlerinin oldukça az maliyet gerektirmesi; cüruf ve kül sorununun yokluğu; % 25-40 daha düşük maliyet gerektirmesi gibi avantajlar nedeniyle *Yeraltında Gazlaştırma* tekniğinin uygulanması teşvik edilmelidir.
19. Özellikle mühendislik fakültelerinin makine mühendisliği ve enerji sistemleri mühendisliği bölümlerinde ve enerji alanında yüksek lisans ve doktora yaptıran enstitülerde “Temiz Kömür Teknolojileri” konusu müfredata alınmalıdır.
20. Ülkemizde hali hazırda çalışmakta olan kömüre dayalı termik santrallerde yeni nesil karbondioksit indirgeme ve baca gazı değerlendirme teknikleri uygulanarak çevresel etkiler azaltılmalı ve toplamda sistem verimi iyileştirilmeli, yıllık periyodik performans raporları hazırlanmalıdır.
21. Kömür rezervlerimizin kullanılmasında ve temiz kömür teknolojilerinin uygulanmasında aşağıdaki ana hedefler yapılacak her çalışmada esas alınmalıdır:
 - daha iyi verim
 - daha düşük maliyet
 - daha doğru kaynak kullanımı
 - daha iyi çevre
 - daha iyi sürdürülebilirlik
 - daha iyi enerji güvenliği

Yukarıda listelenen, bu önemli bulguların uygulamaya konulması ülkemiz için aşağıdaki faydaları sağlayacaktır:

- Enerji ve kömür ithalatımız azalacaktır.
- CO₂ üretiminde azalma olacaktır.
- Yeni nesil temiz kömür teknolojilerinin kullanımı yaygınlaşacaktır.
- Tesislerimizde yerli kömür kullanım oranı artacaktır.
- Ülkemizde ortaya çıkan kömür odaklı sosyal, çevresel, ekonomik, enerji, endüstriyel kısıtlar azaltılmış olacaktır.

- Kömür stratejilerinin kısa, orta ve uzun vadede geliştirilmesi ve uygulamaya konulması da ülkemiz için stratejik ve politik avantaj sağlayacaktır.

Bu bağlamda; TÜBA Enerji Çalışma Gurubu’na, özellikle düşük kaliteli kömürlerin ülkemiz enerji ekonomisine kazandırılması ve temiz kömür teknolojilerinin geliştirilmesi için ihtiyaç duyulan sürdürülebilir kömür stratejilerinin ve politikalarının oluşturulmasında önemli rol düşmektedir. Bunu da yerine getirmeyi hedeflemektedir.

11. KAYNAKLAR

- [1] Bayrak Ö, Aktan M. 2017. Türkiye'nin Kömür Potansiyeli ve Hedefler. *TÜBA Temiz Kömür Teknol. Çalıştay ve Paneli*. TÜBA, Ankara.
- [2] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı - Kömür. [cited 26 November 2017]. Available from <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur>.
- [3] Global, British Petroleum. 'BP statistical review of world energy outlook.' 2016.
- [4] Murat A. 2017. Kömür Enerjisi, Türkiye'nin Politikaları ve Stratejisi konulu panel notları. *TÜBA Temiz Kömür Teknol. Çalıştay ve Paneli*. Ankara.
- [5] Tamzok N, Özcan M, Özel G, Demirkol Ö, Demir E, Babayigit SS. 2011. *Kömür Sektör Raporu (Linyit)*.
- [6] Okutan H. 2017. Kömür Gazlaştırma Teknolojisi: Ülkemiz İçin Çözüm Olabilir mi? *TÜBA Temiz Kömür Teknol. Çalıştay ve Paneli*. Ankara.
- [7] International Energy Agency (IEA), 2014 *World Energy Outlook*.
- [8] Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu, 2017.
- [9] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015-2019 Stratejik Planı.
- [10] Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu, 2016.
- [11] Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu 2015-2019 Stratejik Planı.
- [12] Arslan V. 2017. Kömür Temizleme Teknolojileri ve CO2 Tutma Açısından Önemi konulu panel notları. *TÜBA Temiz Kömür Teknol. Çalıştay ve Paneli*. TÜBA.
- [13] *Clean Coal Technologies in Japan Technology Innovation in the Coal Industry Japan Coal Energy Center*, 2007.
- [14] Ersoy M. 2017. Yakma ve CO2 Depolama Teknolojileri konulu panel notları. *TÜBA Temiz Kömür Teknol. Çalıştay ve Paneli*. Ankara.
- [15] Higgmann, C., van der Burgt, M. Gasification, 2nd Edition, 2007.
- [16] Higgmann, C. State of the gasification industry: Worldwide gasification and syngas databases 2016 update, Gasification and Syngas Technologies Conference, Vancouver, 19 Oct., 2016.
- [17] www.gasification.org.
- [18] Lau, F., Miles, K. 2011. *Turkish Coal Characterization for EnerjiSA, Özel Rapor*.
- [19] Tunç, İ., Yarı Pilot Ölçek Yeraltı Kömür Gazlaştırma Deney Düzenğinde Malkara Kömür Sahasına ait Blok Kömür Örneklerinin Gazlaştırılması, Yüksek lisans tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2015.
- [20] Akgün, F., Liquid Fuel Production from Coal Based on the Gasification Process, II. International Energy Raw Materials and Energy Summit, 27-30 September 2017, İstanbul.
- [21] Atımay AT. 2017. Dolaşım Akışkan Yataktaki Linyit ve Biyokütle-Kömür Karışımlarının Yakılması. *TÜBA Temiz Kömür Teknol. Çalıştay ve Paneli*. TÜBA, Ankara.
- [22] Atımay AT, Varol M, Olgun H, Kayahan U, Ünlü A, Engin B, Çömlekçioğlu M, Kamali B, Atakül H, Bardakçioğlu G. *TÜBİTAK-KAMAG projesi 'Biyokütle ve biyokütle/kömür karışımlarını dolaşım akışkan yataktaki yakma teknolojisinin geliştirilmesi'*.
- [23] Stanger, R., Wall, T., Spörl, R., Paneru, M., Grathwohl, S., Weidmann, M., Scheffknecht, G., McDonald, D., Myöhänen, K., Ritvanen, J., Rahiala, S., Hyppänen, T., Mletzko, J., Kathere, A., Oxyfuel combustion for CO2 capture in power plants, International J.
- [24] Dhaneswar, S.R., Pisupati, S.V., Oxy-fuel combustion: The effect of coal rank and the role of char-CO2 reaction, *Fuel Processing Technology* 102 (2012) 156–165.
- [25] Li, H., Li, S., Ren, Q., Li, W., Xu, M., Liu, J. Z., Lu, Q., Experimental results for oxy-fuel combustion with high oxygen concentration in a 1MWth pilot-scale circulating fluidized bed, *Energy Procedia* 63 (2014) 362–371.
- [26] Roy, B., Bhattacharya, S., Oxy-fuel fluidized bed combustion using Victorian brown coal: An experimental investigation, *Fuel Processing Technology* 117 (2014) 23–29.
- [27] Bu, C., Pallarès, D., Chen, X., Gómez-Barea, A., Liu, D., Leckner, B., Lu, P., Oxy-fuel combustion of a single fuel particle in a fluidized bed: Char combustion characteristics, an experimental study, *Chemical Engineering Journal* 287 (2016) 649–656.
- [28] Ahn, S., Choi, G., Kim, D., The effect of wood biomass blending with pulverized coal on combustion characteristics under oxy-fuel condition, *Biomass and Bioenergy* 71 (2014) 144–154.
- [29] Jurado, N., Darabkhanian, H. G., Anthony, E. J., Oakley, J. E., Oxy-combustion studies into the co-firing of coal and biomass blends: effects on heat transfer, gas and ash compositions, *Energy Procedia* 63 (2014) 440–452.
- [30] Silvennoinen, J., Hedman, M., Co-firing of agricultural fuels in a full-scale fluidized bed boiler, *Fuel Processing Technology* 105 (2013) 11–19.
- [31] Riaza, J., Gil, M.V., Álvarez, L., Pevida, C., Pis, J. J., Rubiera, F., Oxy-fuel combustion of coal and biomass blends, *Energy* 41 (2012) 429–435.
- [32] Atakül H. 2017. Oksi Yanma. *TÜBA Temiz Kömür Teknol. Çalıştay ve Paneli*. TÜBA, Ankara.
- [33] Singh, R. I., Kumar, R., Current status and experimental investigation of oxy-fired fluidized bed, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 61 (2016) 398–420.
- [34] Toftegaard, M. B., Brix, J., Jensen, P.A., Glarborg, P., Jensen, A. D., Oxy-fuel combustion of solid fu-

- els, Progress in Energy and Combustion Science 36 (2010) 581-625.
- [35] Yin, C., Yan, J., Oxy-fuel combustion of pulverized fuels: Combustion fundamentals and modeling, Applied Energy 162 (2016) 742-762.
- [36] Yuzbasi, N. S., Selçuk, N., Air and oxy-fuel combustion behaviour of petcoke/lignite blends, Fuel 92 (2012) 137-144.
- [37] Engin, B., Atakül, E., Air and oxy-fuel combustion kinetics of low rank lignites, Journal of the Energy Institute (2016) 1-12.
- [38] Engin, B., Kayahan, U., Atakül, E., Okutan, H., Oxygen-enriched and oxy-combustion of lignites in a circulating fluidized bed, International Energy Raw Materials and Energy Summit (INERMA), 27-30 September, Istanbul, 2017 (Accepted).
- [39] Chen, L., Yong, S.Z., Ghoniem, A. F., Oxy-fuel combustion of pulverized coal: Characterization, fundamentals, stabilization and CFD modeling, Progress in Energy and Combustion Science 38 (2012) 156-214.
- [40] Shah K, Moghtaderi B, Zanganeh J, Wall T. Integration options for novel chemical looping air separation (ICLAS) process for oxygen production in oxy-fuel coal fired power plants. Fuel 107 (2013) 356-370.
- [41] Yoshiie, R., Kawamoto, T., Hasegawa, D., Ueki, Y., Naruse, I., Gas-Phase Reaction of NOX Formation in Oxyfuel Coal Combustion at Low Temperature, Energy Fuels 25 (2011) 2481- 2486.
- [42] Normann, F., Andersson, A., Leckner, B., Johnsson, F., Emission control of nitrogen oxides in the oxy-fuel process, Progress in Energy and Combustion Science 35 (2009) 385-397.
- [43] Kazanc, F., Khatami, R., Crnkovic, P.M., Levendis, Y.A., Emissions of NO_x and SO₂ from Coals of Various Ranks, Bagasse, and Coal-Bagasse Blends Burning in O₂/N₂ and O₂/CO₂ Environments, Energy Fuels 25 (2011) 2850-2861.
- [44] Scheffknecht, G. , Al-Makhadmeh, L., Schnell, U., Jörg Maier, J., Oxy-fuel coal combustion—A review of the current state-of-the-art, International Journal of Greenhouse Gas Control, 5S (2011) S16-S35.
- [45] Kunii, D., Levenspiel, O., Fluidization Engineering, Butterworth-Heinemann, Boston, 1991.
- [46] Basu, B., Combustion and Gasification in Fluidized Beds, Toronto, CRC Press, 2006.
- [47] Lupion, M., Alvarez, I., Otero, P., Kuivalainen, R., Lantto, J., Hotta, Hack, H., A., 30 MWth CIUDEN Oxy-CFB Boiler - First experiences, Energy Procedia 37 (2013) 6179- 6188.
- [48] Dilmaç ÖF. 2017. Kömürler İçin Kimyasal Döngülü (Chemical Looping) Yanma Teknolojileri. *TÜBA Temiz Kömür Teknol. Çalıştayı ve Paneli*. TÜBA, Ankara.

12. TÜBA- TEMİZ KÖMÜR TEKNOLOJİLERİ ÇALIŞTAYI ve PANELİ PROGRAMI

6 Temmuz 2017

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kültür ve Kongre Merkezi- ANKARA

Açılış Konuşmaları

Prof. Dr. İbrahim DİNÇER, TÜBA Asli Üyesi

Prof. Dr. Mustafa VERŞAN, ODTÜ Rektörü

Prof. Dr. Ahmet Cevat ACAR, TÜBA Başkanı

I. OTURUM

Oturum Başkanı: *Prof. Dr. Ali SARI, Ankara Üniversitesi*

Dünyada ve Türkiye’de Temiz Kömür Teknolojilerinin Durumu ve Değerlendirme

Prof. Dr. İskender GÖKALP, ICARE CNRS Direktörü

Türkiye’nin Kömür Potansiyeli ve Hedefler

Ömer BAYRAK, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürü

Temiz Kömür Teknolojilerine Yönelik Proses Mühendislik Uygulamaları

Önder FİLİZ, ASOS Mekatronik Otomasyon Genel Müdürü

I. PANEL: Kömür Enerjisi, Türkiye’nin Politikaları ve Stratejisi

Moderatör: *Prof. Dr. İbrahim DİNÇER, TÜBA Asli Üyesi*

Prof. Dr. Hüsnü ATAĞÜL, İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet MELİKOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Abdurrahman MURAT, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdür Yrd.

Prof. Dr. Ali SARI, Ankara Üniversitesi

II. OTURUM: Temiz Yakma ve Gazlaştırma Teknolojileri

Oturum Başkanı: *Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI, Yaşar Üniversitesi*

Kömür Gazlaştırma Teknolojileri

Prof. Dr. Hasancan OKUTAN, İstanbul Teknik Üniversitesi

Dolaşım Akışkan Yataкта Linyit ve Biyokütle-Kömür Karışımlarının Yakılması

Prof. Dr. Aysel ATIMTAY, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Oxy-Yanma Teknolojileri

Prof. Dr. Hüsnü ATAĞÜL, İstanbul Teknik Üniversitesi

Plazma Yöntemiyle Kömür Yakma/Gazlaştırma Teknolojileri

Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Kömürler İçin Chemical Looping Yanma Teknolojileri

Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk DİLMAÇ, Çankırı Karatekin Üniversitesi

Biyokütle İle Birlikte yanma (Esnek Yanma)

Yrd. Doç. Dr. Feyza KAZANÇ, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

II. PANEL: Kömür Temizleme, Gazlaştırma, CO₂ Tutma ve Depolama Teknolojileri

Moderatör: *Prof. Dr. Mehmet Hakkı ALMA, Iğdır Üniversitesi Rektörü*

Prof. Dr. Ahmet Erhan AKSOYLU, Boğaziçi Üniversitesi

Prof. Dr. Vedat ARSLAN, Dokuz Eylül Üniversitesi

Mücella ERSOY, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu

Önder FİLİZ, ASOS Mekatronik Otomasyon Genel Müdürü

Prof. Dr. İskender GÖKALP, ICARE CNRS Direktörü

Prof. Dr. Hasancan OKUTAN, İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Çağlar SINAYUÇ, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Özet ve Kapanış Konuşmaları



TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ

Piyade Sokak No: 27, 06690 Çankaya/ANKARA
Tel: +90 (312) 442 29 03 Faks: +90 (312) 442 72 36

 www.tuba.gov.tr

 www.facebook.com/turkiyebilimlerakademisi

 twitter.com/TUBA_TurkBlmAkad