

KATI YAKITLI ELEKTRİK ÜRETİM SANTRALLERİNİN MEVCUT DURUMUNUN BELİRLENMESİ VE SERA GAZI EMİSYONLARININ AZALTIMINA YÖNELİK UYGULAMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ece Gizem ÇAKMAK^{1,2(*)}, Bilgin HİLMİOĞLU¹, Hasancan OKUTAN²

¹ TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Gebze/Kocaeli

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Maslak/İstanbul

ÖZET

Ülke olarak taraf olduğumuz Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamındaki yükümlülüklerimiz gereği bir yandan sera gazı emisyon salımlarımızı sınırlandırmamız gerekmekte iken, öte yandan enerji arz güvenliği politikalarımızın bir gereği olarak yerli enerji kaynaklarımızı değerlendirmemiz gerekmektedir. Bu çerçevede katı yakıtlı elektrik üretim santralleri bazında yapılacak yeni yatırımların çevresel açıdan değerlendirilmesi ve ülkemiz özelinde linyit gibi yerli enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanımını arttıracak en uygun teknolojilerin belirlenmesi, ülkemizin uluslararası alanda sağlayacağı emisyon azaltım katkılarının gerçekleştirilmesi açısından faydalı olacaktır. Bu çalışma kapsamında ülkemizde faaliyet gösteren katı yakıtlı elektrik üretim santrallerinin mevcut durumu belirlenerek, bu santrallerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltımına yönelik alternatif temiz kömür teknolojileri senaryolar bazında değerlendirilmiştir. Senaryo sonuçları incelendiğinde, karbon yakalama ve depolama teknolojisine yönelik senaryonun diğer senaryolara kıyasla azaltım miktarı açısından ön plana çıktığı görülmüştür. Öte yandan özellikle ithal kömür yakıtlı santrallere yönelik olarak kurulması öngörülen süper kritik ve ultra kritik sistemlerin yıllık bazda %1-4 oranında sera gazı emisyon azaltımı sağlayabileceği tespit edilmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Sera gazı emisyonu, iklim değişikliği, elektrik üretimi, katı yakıtlar

ABSTRACT

Turkey, needs to limit emissions of greenhouse gases on the one hand in accordance with its obligations under the United Nations Framework Convention on Climate Change, while on the other hand Turkey have to evaluate its domestic energy resources as a requirement of its energy supply security policies. The assessment of new investments to be made on the basis of solid fuel based power generation plants in this frame will be beneficial from the point of view of environmental aspects and the determination of the most suitable technologies that will increase the utilization of domestic energy resources such as lignite for our country in particular will be beneficial for the emission reduction contribution that Turkey will provide in international field. Within the scope of this study, the current situation of the solid fuel based power generation plants operating in our country is determined and alternative clean coal technology scenarios for reducing the greenhouse gas emissions from these power plants are evaluated on a basis. When

(*) gizem.cakmak@tubitak.gov.tr

scenario outcomes are examined, it is seen that the scenario for carbon capture and storage technology has come to the forefront in terms of the amount of reduction compared to other scenarios. On the other hand, it has been determined that supercritical and ultra-supercritical systems, which are intended to be installed especially for imported coal-fired power plants, can achieve greenhouse gas emission reductions of 1-4% per annum.

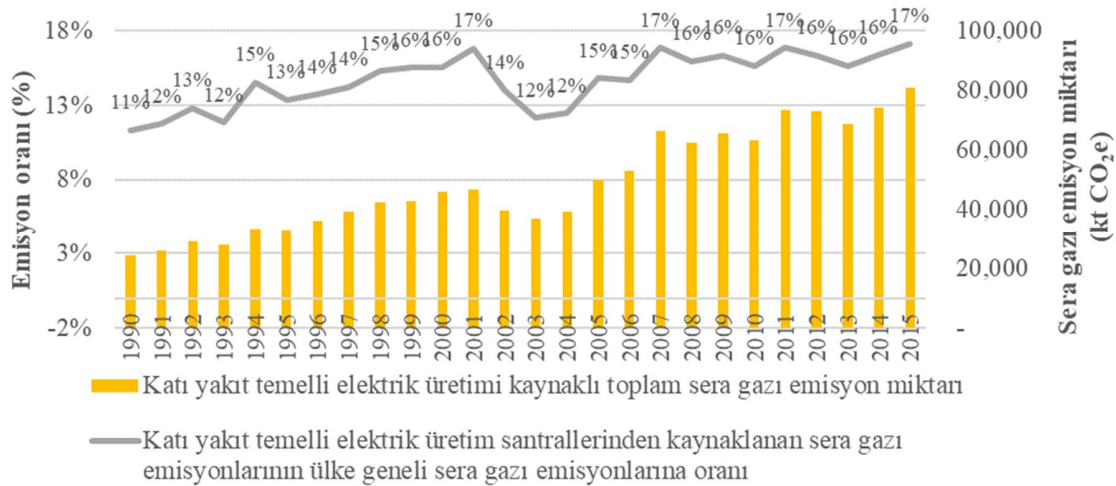
KEYWORDS

Greenhouse gas emissions, climate change, electricity production, solid fuels

1. GİRİŞ

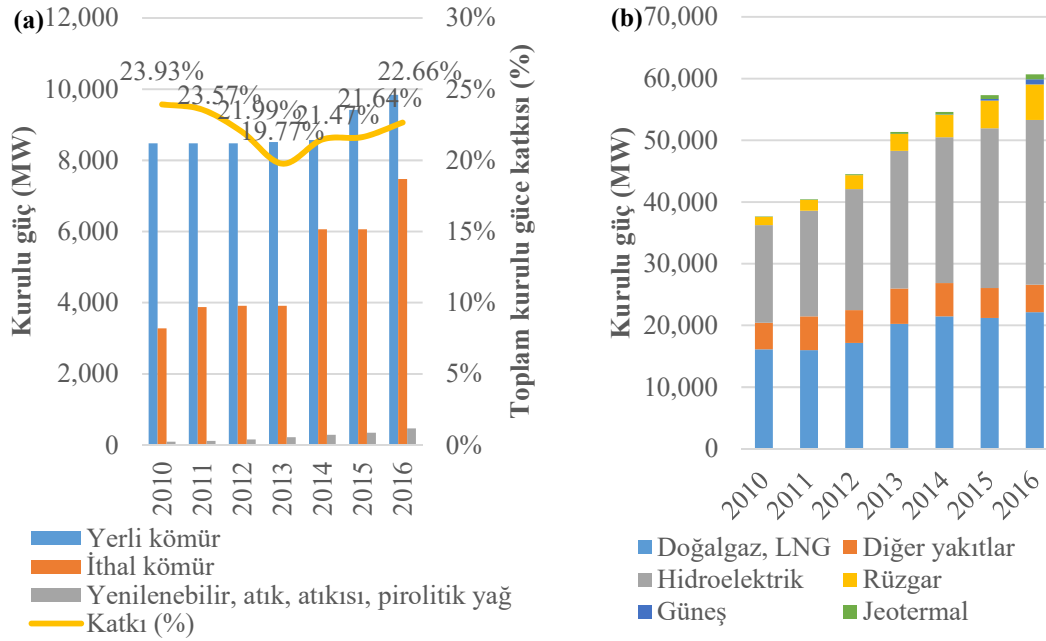
İçinde bulunduğumuz yüzyılda insan ırkının karşı karşıya kaldığı en önemli problemlerden biri olarak kabul edilen iklim değişikliği, fosil yakıtların kullanımı, arazi kullanımı değişiklikleri gibi çeşitli insan faaliyetleri ile oluşan karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve diazot monoksit (N₂O) başta olmak üzere çeşitli sera gazlarının atmosferde birikmesi ile tetiklenmektedir. Küresel ısınma sürecinin mevcut hız ile devam etmesi durumunda, ülkemizin de içinde bulunduğu havzalar için ekstrem yüksek sıcaklıklar, taşkınlar, şiddetli kuraklık olayları, orman yangınları ve bunlara bağlı birçok önemli problemin ortaya çıkması beklenmektedir.

Dünya genelinde sera gazı emisyonlarının yaklaşık %37'si elektrik ve ısı üretimi sektörü kaynaklıdır. Ülkemiz açısından bakıldığında ise 2015 yılı toplam sera gazı emisyon miktarı 475,1 Mton CO₂e olarak gerçekleşmiş olup, bunun %71,6'sı enerji üretimi ve tüketimi kaynaklıdır. Elektrik ve ısı üretim santralleri özelinde 2015 yılı emisyon miktarı 129,6 Mton CO₂e olup, bu değer ülke geneli emisyon miktarının %27,3'üne tekabül etmektedir. Elektrik üretim sektörümüzde önemli bir paya sahip olan katı yakıt temelli elektrik üretim santralleri kaynaklı sera gazı emisyon miktarı ise 2015 yılı için 80,8 Mton CO₂e olup, elektrik üretim ve ısı sektörünün %62,4'ünü kapsamaktadır. 1990-2015 yılları için katı yakıt temelli elektrik üretim santralleri kaynaklı sera gazı emisyon miktarının değişimi Şekil 1'de verilmiştir (NIR, 2017).



Şekil 1. Katı yakıt temelli elektrik üretim santralleri kaynaklı sera gazı emisyon miktarının yıllara göre değişimi (NIR, 2017)

Öte yandan 2014 yılı için dünya genelinde birincil enerji tüketiminin kaynak bazında dağılımı incelendiğinde petrol %31,3'lük pay ile ilk sırada yer alırken, kömür %28,6 pay ile ikinci sırada bulunmaktadır. Ülkemiz açısından bakıldığında ise 2016 yılında, %48 pay ile ilk sırada yer alan doğalgazın %30 pay ile kömür (%16'sı yerli kaynak) tarafından takip edildiği görülmektedir (ETKB, 2017). Öte yandan ülkemiz elektrik üretimi kurulu gücü, kömür ve biyokütle kaynakları açısından incelendiğinde, 2016 yılında katı yakıtlı santrallerin kurulu gücün %22,06'sını oluşturduğu görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. (a) Katı yakıt temelli elektrik üretim kapasitesinin gelişimi, (b) Diğer enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim kapasitesinin gelişimi (ETKB, 2017)

Ülkemizin enerji politikası çerçevesinde özellikle enerji arz güvenliği konusunda son dönemde yaşanan problemler nedeniyle yerli kömür kullanımı devlet tarafından teşvik edilmektedir. 2015 yılında yayınlanan ve ülkemizin enerji politikaları çerçevesinde 2019 yılı hedeflerini içeren stratejik plan kapsamında ulusal bazda mevcut bulunan yerli kömür kaynaklarının en etkin şekilde değerlendirilmesi temel hedeflerden biri olarak belirlenmiş ve yapılacak yatırımlarla 2019 yılı sonuna kadar yerli kömür kaynaklı elektrik enerjisi üretiminde yıllık 60 milyar kWh'lik üretim düzeyine ulaşılması hedeflenmiştir (ETKB, 2015a). Öte yandan dünya geneli için gerçekleştirilen tahmin çalışmalarında kömürün enerji kaynakları arasındaki payının korunacağı, artması beklenen enerji talebinin nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile karşılanacağı öngörülmektedir (IEA, 2015). Enerji arz güvenliği ve çevresel kısıtlamalar dikkate alındığında yerli enerji kaynaklarımız arasında bulunan linyit, taş kömürü ve asfaltit kaynaklarının temiz teknolojiler vasıtasıyla değerlendirilmesi ülkemiz açısından ön plana çıkmaktadır.

2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışma kapsamında, ülkemizde faaliyet gösteren katı yakıtlı elektrik üretim santrallerinin mevcut durumu belirlenerek katı yakıtlı elektrik üretim santralleri kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltımına yönelik alternatif teknolojiler senaryolar bazında değerlendirilmiştir.

2.1. Sera gazı emisyon miktarı hesaplama metodolojisi

Elektrik üretim sektörü kaynaklı sera gazı emisyon miktarlarının hesaplanması sürecinde 2006 yılı IPCC rehber dokümanı ve Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri'nden yararlanılmıştır. 2006 yılı IPCC rehber dokümanı çerçevesinde yakıtların yanması kaynaklı sera gazı emisyonlarının hesaplanması amacıyla temelde üç farklı yaklaşım önerilmiştir. Genel olarak tüm yaklaşımlarda aşağıda da belirtilen ve harcanan yakıt miktarının, belirlenen bir emisyon faktörü ile çarpılması olarak özetlenebilecek formülasyon kullanılmaktadır. İleri yaklaşımların farklılaşması ise seçilen emisyon faktörünün ulusal ve yerel faktörler dikkate alınarak özelleştirilmesi ile meydana gelmektedir (NIR, 2017; IPCC,2006).

$$\text{Sera Gazı Emisyon Miktarı (kt CO}_2\text{)} = \text{Tüketilen Yakıt Miktarı (TJ)} \times \text{Yakıt Emisyon Faktörü (kt CO}_2\text{/TJ)}$$

Ülkemiz için hazırlanan Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri kapsamında hesaplama hem Ulusal Enerji Denge Tabloları kullanılarak hem de tesis bazında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca derlenen envanter verileri kullanılarak iki farklı yöntemle hesaplanmaktadır. Her iki yöntem ile yapılan hesaplamalar incelendiğinde, sonucun enerji denge tabloları ile yapılan hesaplamalarda yaklaşık olarak %1,5 oranında daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında ise Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri'nde ülkemiz özelinde belirlenen ortalama dönüşüm katsayıları ve emisyon faktörleri ile birlikte Ulusal Enerji Denge Tabloları kullanılmış olup, kullanılan faktörler Tablo 1'de özetlenmiştir. CH₄ ve N₂O emisyonları için belirlenen emisyon faktörleri yakma teknolojisine bağlı olarak değişmektedir (NIR, 2017).

Tablo 1. Sera gazı emisyon hesaplamalarında kullanılan emisyon faktörleri ve net kalorifik değerler (NIR, 2017)

Yakıt tipi	Teknoloji tipi	CO ₂ Emisyon Faktörü (t/TJ)	CH ₄ Emisyon Faktörü (kg/TJ)	N ₂ O Emisyon Faktörü (kg/TJ)	Net Kalorifik Değer (TJ/kt)
Linyit	Pulverize Kömür Yakma	107,63	0,7	0,5	7,18
	Akışkan Yatakta Yakma	107,63	1	61	7,18
Düşük bitümlü kömür	Pulverize Kömür Yakma	92,38	0,7	0,5	13,92
	Akışkan Yatakta Yakma	92,38	1	61	13,92
Diğer bitümlü kömürler	Pulverize Kömür Yakma	92,64	0,7	0,5	25,06
	Akışkan Yatakta Yakma	92,64	1	61	25,06

2.2. Ülkemizde katı yakıtlı elektrik üretim santrallerinin mevcut durumunun belirlenmesi

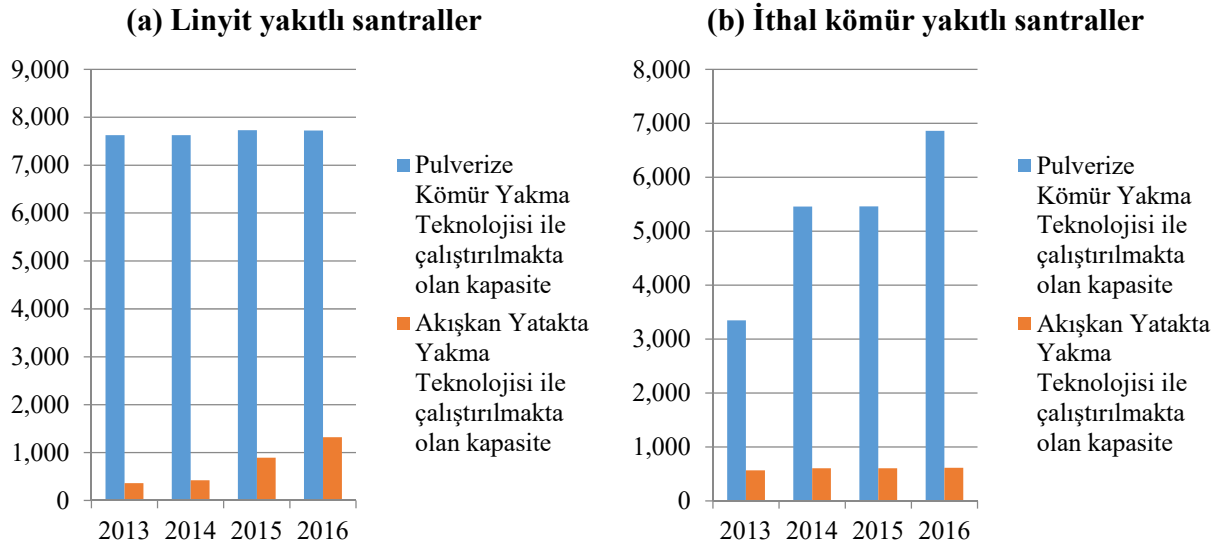
Ülkemizde katı yakıtlı elektrik üretim santralleri, temelde kömür kullanılarak elektrik üretiminin gerçekleştirildiği sistemler olarak genellenebilmektedir. Bu santrallere ilişkin bilgiler, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı istatistik sistemi ile de uyumlu olması açısından taş kömürü, asfaltit, linyit ve ithal kömür santralleri olarak 4 grup altında sınıflandırılacak şekilde bir veri tabanının oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaçla, bu santrallere ilişkin kurulu kapasite, kullanılan teknoloji gibi çeşitli bilgiler gerek resmi istatistikler ve raporlar incelenerek, gerekse internet kaynakları taranarak belirlenmiş ve bu çalışma sonunda ülkemizde kurulu bulunan katı yakıtlı elektrik üretim santrallerine ilişkin bir veritabanı oluşturulmuştur.

Bu kapsamda belirlenen kömür santralleri harita üzerinde Şekil 3'te gösterilmiştir. Haritada mavi ile gösterilen santraller linyit yakıtlı, kırmızı ile gösterilen santraller ithal kömür yakıtlı, sarı ile gösterilen santraller taş kömürü yakıtlı ve mor ile gösterilen santral ise asfaltit yakıtlı santrali ifade etmektedir.



Şekil 3. Kömür santrallerinin dağılımı

Kurulu bulunan kömür santrallerine ilişkin veri tabanına göre; mevcut durumda linyit yakıtlı santrallerin kurulu kapasite olarak %85'inin pulverize kömür yakma, %15'inin ise akışkan yataкта yakma teknolojisi ile çalıştırılmakta olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan ithal kömür yakıtlı santraller açısından bakıldığında ise, kurulu kapasite olarak %92'sinin pulverize kömür yakma, %8'inin ise akışkan yataқта yakma teknolojisi ile çalıştırılmakta olduğu görülmektedir. Bunun dışında 2016 yılında yaklaşık 400 MW kurulu güce sahip taş kömürü yakıtlı santrallerin pulverize kömür yakma, toplamda 405 MW (3x105 MW) kurulu güce sahip asfaltit santralinin ise dolaşımli akışkan yataқта yakma teknolojisini kullandığı belirlenmiştir.



Şekil 4. (a) Linyit yakıtlı santrallere ilişkin dağılım, (b) İthal kömür yakıtlı santrallere ilişkin dağılım (2013-2016)

2.3. Sera gazı azaltımına yönelik alternatif teknolojilerin belirlenmesi

Katı yakıtlı santrallerde fosil yakıtların yakılmasına bağlı olarak ortaya çıkan sera gazı emisyonlarının azaltımına yönelik akışkan yatakta yakma, pulverize yakma, süperkritik ve ultra süperkritik yakma, entegre gazlaştırma kombine çevrim gibi yakma teknolojileri ile emisyon kontrolüne yönelik karbon yakalama ve depolama gibi teknolojiler bulunmaktadır. Bu teknolojilere ilişkin değerlendirmeler literatür taraması vasıtasıyla gerçekleştirilmiş olup, teknolojiler hakkında özet bilgilere aşağıda yer verilmiştir.

Pulverize yakma teknolojileri. Pulverize yakma teknolojisi hem dünya genelinde hem de ülkemizde en yaygın olarak kullanılan kömür yakma teknolojisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu teknolojiye son dönemde meydana gelen gelişmeler genel olarak buhar basıncının ve kazan çıkışı ile türbin girişindeki buhar sıcaklığının artırılması ile verim artışının sağlanması yönündedir. Bu açıdan kritik altı, süperkritik ve ultra süperkritik sistemlerin bir karşılaştırılması Tablo 2’de verilmiştir (Mills, S.J., 2014; Nalbandian, 2009). Bu sistemlerde basınç artışı ile birlikte verimlilik değerleri de artmakta iken, sistemde kullanılan malzemelerin kalitesinin de artması gereği yatırım maliyetleri orantılı olarak artmaktadır. Ancak bu dezavantaj uzun vadede kömür tüketiminden elde edilen tasarruf ile bertaraf edilmektedir.

Tablo 2. Kritik altı, süperkritik ve ultra süperkritik sistemlerin karşılaştırılması (Nalbandian, 2009)

Teknoloji	Buhar basıncı (MPa)	Kazan çıkışında buhar sıcaklığı (°C)	Türbin girişinde buhar sıcaklığı (°C)	Net verim (%)
Kritik altı	<22,1	≤565	≤565	33-39
Süperkritik	22,1-25,0	540-580	540-580	38-42
Ultra süperkritik	>25,0	>580	>580	>42

Ülkemizde halihazırda faaliyet gösteren santrallerin büyük bir çoğunluğu pulverize yakma teknolojisi ile çalışmakta olup, bu santrallerin önemli çoğunluğu da kritik altı koşullarda işletilmektedir. Bu santrallerden bazılarının buhar basınç ve sıcaklık değerleri Tablo 3'te verilmektedir (Mills, S.J., 2014; Nalbandian, 2009).

Tablo 3. Ülkemizde kurulu bulunan bazı pulverize yakma teknolojisine sahip santrallerin buhar basınç ve sıcaklık değerleri (Mills, S.J., 2014)

Santral adı	Buhar sıcaklığı (°C)	Buhar basıncı (MPa)
Afşin-Elbistan A	530/530	18,5
Afşin-Elbistan B	530/530	19,0
Kangal 1,2,3	535/535	13,2
Soma B (1-6)	535/535	13,3
Yatağan 1-3	535	13,2
Yeniköy	535	13,2
Orhaneli	540/540	12,8
Kemerköy	535/535	13,2
Çatalağzı	535	13,5

Akışkan yatakta yakma. Akışkan yatakta yakma teknolojisi 1975'lerde pilot ölçekte ortaya çıkmış olan ve son dönemde yaygınlaşmaya başlamış bir teknolojidir. Bu santraller akışkanlaştırma koşuluna göre kabarcıklı ve dolaşimli olarak sınıflandırılabilirken, çalışma koşulları atmosfer basıncında veya basınç altında olabilmektedir. Dolaşimli akışkan yatak teknolojisi nispeten düşük sıcaklıkta (800-900°C) gerçekleşen yakma işlemi sayesinde pulverize yakma teknolojisine kıyasla daha düşük oranda NO_x emisyonlarına sebep olmaktadır. Ayrıca yanma işleminin gerçekleştirildiği akışkan yatağa kireç ilavesi ile SO₂ emisyonlarında da önemli oranda düşüş sağlanabilmektedir (Hardy, D.R., Rath, B.B., Marder, J., 2007; Burnard, K., Bhattacharya, S., 2011; IEA, 2012; Mills, S., 2016; MMO, 2017). Akışkan yatak teknolojisi düşük kalorifik değerdeki kömürlerin değerlendirilmesi açısından da önem arz etmekte olup, ülkemiz linyitleri açısından da ön plana çıkmaktadır. Ülkemizde faaliyet gösteren veya inşaat aşamasında olan bazı akışkan yataklı termik santrallere ilişkin bilgiler Tablo 4'te verilmektedir (Mills, S., 2016).

Tablo 4. Ülkemizde faaliyet gösteren veya inşaat aşamasında olan bazı akışkan yataklı termik santraller ilişkin bilgiler (Mills, S., 2016)

Santral adı	Teknik bilgiler
Çan	Linyit (>%8 S) 2x160 MW kurulu güç
İÇDAŞ Biga	Linyit ve taş kömürü 3x135 MW kurulu güç
AKSA Göynük	Linyit 2x135 MW kurulu güç
Hidro-Gen Soma	Yerel linyit 2x255 MW kurulu güç

Gazlaştırma teknolojisi. Gazlaştırma teknolojisi temel olarak kömür gibi yüksek karbon içerikli bir maddenin sentez gazına dönüştürülmesi sürecidir. Gazlaştırma sistemleri sabit yataklı, akışkan yataklı ve sürüklemeli akışlı olmak üzere üç başlık altında sınıflandırılmaktadırlar. Elektrik üretimi açısından değerlendirildiğinde Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim (IGCC) olarak karşımıza çıkan bu teknoloji ile pulverize kömür yakma sistemlerine oranla daha yüksek verim elde edilebilmekte ancak bu sistemlerin yatırım maliyetleri de buna bağlı olarak bir miktar yüksek olmaktadır (Mills, S.J., 2014; Mills, S.J., 2006). Yüksek kül içerikli veya yüksek nem içerikli kömürlerin gazlaştırma sisteminde kullanılması hem kömür hazırlama esnasında hem de gazlaştırma aşamasında külün gazlaştırıcı içinde erimesi, gazlaştırıcı sisteminde aşınma ve birikmelerin olması gibi çeşitli problemlere neden olabilmektedir (Burnard, K., Bhattacharya, S., 2011).

Karbon yakalama ve depolama teknolojisi. Karbon yakalama teknolojileri temel olarak yanma öncesi, yanma sonrası ve oksijen yanma olmak üzere üç kategori altında sınıflandırılmaktadır. Depolama aşamasında ise eski petrol ve gaz sahaları, ömrü dolmuş maden sahaları ve deniz altı bölgeler kullanılabilir. İklim değişikliğinin önlenmesi açısından büyük önem arz eden bu teknolojilerin önümüzdeki dönemde özellikle CO₂ taşıma ve depolama konusunda yapılacak yatırımlar ile gelişme kaydedeceği ve yaygınlaşacağı belirtilmektedir (IEA_CCS, 2016; ZERO, 2011).

Yerli kömür ve linyit kaynaklarımızın yukarıda sıralanan çeşitli temiz kömür teknolojileri vasıtasıyla değerlendirilmesi sonucu sera gazı emisyonlarında önemli azaltımların yapılması mümkün olabilecektir. Bu çerçevede çeşitli kömür yakma teknolojileri için belirlenen verim değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Burada belirtilen veriler hem EPA tarafından hazırlanan veri tabanı kullanılarak hem de teknolojiler hakkındaki çeşitli yayınlar değerlendirilerek belirlenmiştir (US EPA, 2013).

Tablo 5. Çeşitli kömür yakma teknolojileri için belirlenen teknik özellikler

Teknolojinin Tanımı	Teknoloji ömrü	Verimlilik
Pulverize Kömür Yakma Sistemi-Kritik Altı	35	%33
Pulverize Kömür Yakma Sistemi-Süperkritik	50	%38
Pulverize Kömür Yakma Sistemi-Ultrasüperkritik	50	%42
Entegre Kömür Gazlaştırma Sistemi	40	%39
Dolaşım Akışkan Yatakta Yakma Sistemi	50	%33

2.4 Alternatif teknolojilerin senaryolar bazında karşılaştırılması

Çalışma kapsamında halihazırda katı yakıtlı santrallerin mevcut durumunun koruduğu bir baz senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryo kapsamında kapasite projeksiyonu amacıyla yakın dönemde devreye girmesi planlanan, lisans almış ve/veya inşaatı devam etmekte olan santraller tespit edilmiş olup, bu santrallerin devreye giriş tarihleri TEİAŞ tarafından gerçekleştirilen “Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2016-2020)” raporu dikkate alınarak belirlenmiştir (ETKB, 2015b). Bu çerçevede yakın dönemde devreye girmesi planlanan santraller Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Lisans almış ve/veya inşaatı devam etmekte olan katı yakıtlı santrallere ilişkin bilgiler

Santral Adı	Tahmini Devreye Giriş Tarihi	Kurulacağı İl	İnşaat Halindeki Kapasite (MW)	Yakıt Tipi	Teknoloji Tipi
Silopi Elektrik Santrali	2017	Şırnak	135	Asfaltit	Akışkan Yatak
Cenal Termik Enerji Santrali	2017	Çanakkale	1320	İthal Kömür	Pulverize Yakma
Soma Kolin TES	2017	Manisa	460	Linyit	Akışkan Yatak
Kirazlıdere Termik Santrali	2020	Çanakkale	980	İthal Kömür	Pulverize Yakma
Hunutlu Termik Santrali	2020	Adana	1200	İthal Kömür	Pulverize Yakma
Ilgın 500 MW Termik Santrali	2020	Konya	500	Linyit	Akışkan Yatak
Ayas Enerji Santrali	-	Adana	625,5	İthal Kömür	Pulverize Yakma
Hakan Kömür Santrali	-	Adana	100	İthal Kömür	Pulverize Yakma
Karaburun Termik Santrali	-	Çanakkale	1600	İthal Kömür	Pulverize Yakma
Amasra Termik Santrali	-	Bartın	1100	Linyit	Pulverize Yakma
Çan-2 Termik Santrali	-	Çanakkale	330	Linyit	Pulverize Yakma

Baz senaryo kapsamında gerçekleştirilen diğer varsayımlar şu şekildedir;

- 2013, 2014 ve 2015 yılı verileri dikkate alınarak elektrik üretim kaynakları bazında ortalama yakıt tüketim katsayıları hesaplanmış olup, bu katsayılar ilerleyen yıllar için emisyon hesaplamasına temel oluşturacak olan yakıt tüketim miktarlarının belirlenmesinde kullanılmıştır.
- 2017 yılı itibarıyla kapasite artışına bağlı olarak elektrik üretim miktarının değişimi, 2013-2016 yılları arasında birim kapasite başına düşen ortalama elektrik üretim miktarı dikkate alınarak belirlenmiştir.
- Tablo 7’de tahmini devreye giriş tarihi net olarak belirtilemeyen santraller planlama başlığı altında sınıflandırılmak suretiyle hesaplamaya dahil edilmiştir.

Ülkemizde halihazırda kullanılmakta olan yakma teknolojiler pulverize yakma ve akışkan yatakta yakma olarak iki tip altında sınıflandırılmaktadır. Bu çerçevede alternatif senaryolar yanma verimini arttıracak dolayısıyla sera gazı emisyon miktarını azaltacak çeşitli teknolojiler seçilmiştir. Belirlenen senaryolara ilişkin kabuller şu şekildedir;

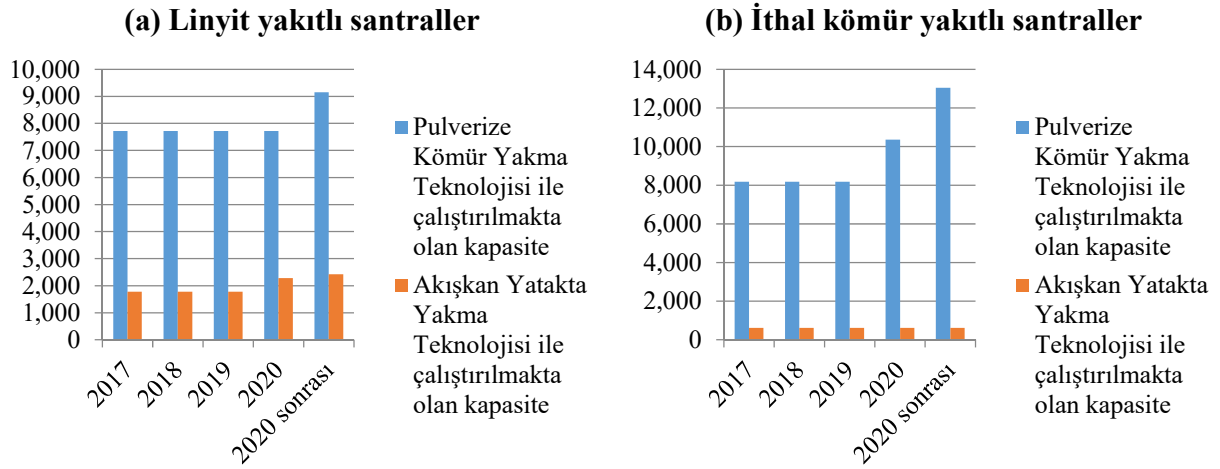
- Senaryo 1: 2017 yılı sonrasında devreye girmesi planlanan ithal kömür santrallerinde süperkritik pulverize yakma teknolojisinin kurulması
- Senaryo 2: 2017 yılı sonrasında devreye girmesi planlanan ithal kömür santrallerinde ultra süperkritik pulverize yakma teknolojisinin kurulması
- Senaryo 3: 2017 yılı sonrasında devreye girmesi planlanan linyit santrallerinde entegre kömür gazlaştırma yakma teknolojisinin kurulması
- Senaryo 4: 2020 yılı sonrasında oluşan CO₂ emisyonlarının %5 oranında karbon yakalama ve depolama ile bertaraf edilmesi

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında katı yakıtlı elektrik üretim santralleri bazında gerçekleştirilen projeksiyon çalışması sonuçları Tablo 7’de özetlenmiştir. Bu çerçevede katı yakıt temelli elektrik üretim santrallerinin kurulu gücünün 2020 itibariyle 20.000 MW seviyesinin üzerine çıkması öngörülmüştür. Yakın dönemde devreye girmesi planlanan bu santrallerin yakma teknolojileri incelendiğinde ise, linyit yakıtlı santrallerin kurulu kapasite olarak %77’sinin pulverize kömür yakma, %23’ünün ise akışkan yatakta yakma teknolojisi ile çalıştırılacağı öngörüldükçe, ithal kömür yakıtlı santrallerin kurulu güç olarak %94’ünün pulverize kömür yakma, %6’sının ise akışkan yatakta yakma teknolojisi ile çalıştırılacağı tahmin edilmektedir (Şekil 5).

Tablo 7. Katı yakıtlı elektrik üretim santralleri bazında kurulu kapasite ve elektrik üretim miktarı projeksiyonu

Yıl	Kurulu kapasite (MW)			Elektrik üretim miktarı (TWh)			
	Taş kömürü ve ithal kömür	Asfaltit	Linyit	Toplam	Taş kömürü ve ithal kömür	Asfaltit	Linyit
2013	4.304,8	135,0	7.988,0	240,15	32,3	1,3	30,3
2014	6.454,7	135,0	8.046,2	251,96	38,0	1,6	36,5
2015	6.456,4	405,0	8.621,2	261,78	42,0	1,0	31,4
2016	7.866,0	405,0	9.045,2	272,56	51,1	2,9	38,5
2017	9.186,0	540,0	9.505,2	290,24	60,6	4,6	38,6
2018	9.186,0	540,0	9.505,2	304,43	60,6	4,6	38,6
2019	9.186,0	540,0	9.505,2	319,46	60,6	4,6	38,6
2020	11.366,0	540,0	10.005,2	334,98	75,0	4,6	40,6
2020 sonrası	14.046,1	540,0	11.580,2	-	92,6	4,6	47,0



Şekil 5. (a) Linyit yakıtlı santrallere ilişkin dağılım, (b) İthal kömür yakıtlı santrallere ilişkin dağılım (2017-2020 sonrası)

Bu veriler ışığında ve senaryolar bazında hesaplanan sera gazı emisyon miktarları Tablo 8’de verilmiş olup, özellikle ithal kömür temelli santraller için ultra süperkritik kazan sistemin seçildiği senaryoda yıllık %2-4 oranında, süperkritik kazan sistemin seçildiği senaryoda ise %1-3 oranında sera gazı emisyonu tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu senaryolarda ithal kömür tüketiminin azaltılmasına bağlı olarak ortalama 3 Mton CO_{2e} ve 1,8 Mton CO_{2e} emisyon tasarrufu elde edilmiştir. Öte yandan ülkemizde henüz kurulu bulunmayan ancak araştırma-geliştirme çalışmaları açısından son dönemde önem arz eden entegre kömür gazlaştırma sisteminin seçildiği senaryoda yıllık ortalama 0,36 Mton CO_{2e} sera gazı emisyonu azaltımı sağlanacağı tespit edilmiştir. Linyitin diğer katı yakıtlara kıyasla daha düşük emisyon faktörüne sahip olması ve lisans almış ve/veya inşaatı devam etmekte olan linyit yakıtlı santrallerin kapasitelerinin diğer katı yakıtlı santrallere oranla daha düşük seviyede kalması nedeniyle, normalde daha yüksek verimin elde edilebildiği entegre kömür gazlaştırma sistemi ile elde edilecek emisyon azaltım miktarı diğer senaryolara göre daha sınırlı seviyede kalmıştır. Bir diğer senaryo altında ele alınan karbon yakalama ve depolama sistemi seçiminde ise emisyonların 2020 sonrası dönemde yıllık ortalama %5 seviyesinde sera gazı emisyonu azaltımı sağlanabileceği öngörülmüştür.

Tablo 8. Katı yakıtlı elektrik üretim santralleri için senaryolar bazında hesaplanan toplam sera gazı emisyon miktarları (kton CO₂e)

Yıl	Baz Senaryo	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4
2013	64.213,34	64.213,34	64.213,34	64.213,34	64.213,34
2014	76.234,86	76.234,86	76.234,86	76.234,86	76.234,86
2015	76.244,79	76.244,79	76.244,79	76.244,79	76.244,79
2016	91.913,50	91.913,50	91.913,50	91.913,50	91.913,50
2017	101.080,54	100.085,50	99.460,05	100.734,81	101.080,54
2018	101.080,54	100.085,50	99.460,05	100.734,81	101.080,54
2019	101.080,54	100.085,50	99.460,05	100.734,81	101.080,54
2020	116.025,59	113.387,74	111.729,67	115.661,48	110.261,18
2020 sonrası	139.049,18	135.386,84	133.084,80	138.627,85	132.139,18

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca yayınlanan planlamalar ve açıklanan istatistikler ile çeşitli literatür ve internet taramaları doğrultusunda temin edilen veriler kullanılarak belirlenmiş olup, verilerin detay seviyesinin artırılması ile daha detaylı sonuçların elde edilmesi mümkün olacaktır. Özellikle sera gazı emisyon hesaplamasının santral bazında yapılması ile belirsizliklerin önemli oranda düşürülmesi mümkün olacaktır. Bu nedenle birçok uluslararası kaynakta görüldüğü üzere, elektrik üretim santrallerine ilişkin verilerin (tüketim, üretim vb.) internet ortamında paylaşılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Öte yandan çalışma kapsamında ele alınan bu teknolojilerin değerlendirilmesinde, teknolojilerin kullanım ömürleri ve maliyetleri, kurulu kapasitenin kullanım durumu/verimi gibi çeşitli faktörlerin de dikkate alınması gerekmektedir. Benzer şekilde özellikle karbon yakalama ve depolama gibi teknolojiler için coğrafi koşulların da dikkate alındığı daha detaylı değerlendirmelerin gerçekleştirilmesi faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Burnard, K., Bhattacharya, S. 2011. Power Generation From Coal: Ongoing Developments and Outlook. IEA.
- ETKB. 2015a. 2015-2019 Stratejik Planı. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- ETKB. 2015.b *Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporu*. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
- ETKB. 2017. Mavi Kitap-2016 Yılı Amaç ve Faaliyetleri. Ankara: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- Hardy, D.R., Rath, B.B., Marder, J. 2007. Powering The Future: Advanced Coal Combustion Technologies. Advanced Materials and Processes.

- IEA. 2012. Technology Roadmap: High-Efficiency, Low-Emissions Coal Fired Power Generation. International Energy Agency.
- IEA. 2015-a. World Energy Outlook. Fransa: International Energy Agency/OECD.
- IEA_CCS. 2016. 20 Years of Carbon Capture and Storage. OECD/IEA.
- IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories-Volume 2-Energy-Chapter 2-Stationary Combustion.
- Mills, S. 2016. Low quality coals – key commercial, environmental and plant considerations. IEA.
- Mills, S.J. 2006. Coal Gasification and IGCC in Europe. IEA Clean Coal Centre.
- Mills, S.J. 2014. Prospects for coal and clean coal technologies in Turkey. IEA Clean Coal Centre.
- MMO. 2017. Türkiye'de Termik Santraller 2017. TMMOB Makina Mühendisleri Odası.
- Nalbandian, H. 2009. Prospects for coal and clean coal technologies in Turkey. IEA Coal Research-Energeia.
- NIR, 2017. National Greenhouse Gas Inventory Report 1990-2015, Turkish Statistical Institute, Ankara.
- US EPA. (2013). Methodologies for U.S. Greenhouse Gas Emissions Projections: Non-CO2 and Non-Energy CO2 Sources.
- ZERO. 2011. The Costs of CO2 Capture, Transport and Storage. European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants.