

KÖMÜR SANTRALLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Handan Dönmez ve Nilgün Ercan, *TMMOB Kimya Mühendisleri Odası*, Ankara.

ÖZET

Sanayi devriminin ateşleyicisi olan kömür günümüzde en çok tartışılan yakıt haline gelmiştir. Kömür ile ilgili tartışmalar iki koldan ilerlemektedir. Bir yandan kömürün kullanımı ve yanmasından kaynaklı kirleticilerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri kömür santrallerine olan tepkileri arttırmaktadır. Diğer yandan coğrafi olarak yaygın ve bol bulunması, (çevresel maliyetleri dikkate alınmazsa) ucuz bir kaynak olması nedeniyle kömür geliştirmekte olan ülkeler için önemli bir enerji kaynağı olmaya devam etmektedir. Özellikle güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir kaynakların maliyetlerinin düşmesi nedeniyle sanayileşmiş Batı ülkelerinde kömüre dayalı elektrik üretimi yatırımları gerilerken, enerji ihtiyacı artan Çin ve Hindistan'da kömür santrali yatırımlarının sürmesi beklenmektedir.

Kükürt dioksit, azot oksitler, partikül maddeler kömür santrallerinden kaynaklanan ve hava kirliliğine neden olduğu uzun süredir bilinen kirleticilerdir. Kömür santrallerinin ve santrallerin bir parçası olan arıtma tesislerinin katı ve sıvı atıkları da bulunmakla birlikte, günümüzde kömür santrallerinin önündeki en büyük engel iklim değişikliği nedeniyle karbondioksit emisyonlarının azaltılmasının tüm dünyada enerji politikalarının temel meselesi haline gelmesidir. Bu doğrultuda kömür santrallerinin verimlerinin yükseltilmesinin yanı sıra Karbon Tutma-Kullanma-Depolama teknolojisi bir çözüm olarak görülmekle birlikte bu teknoloji beklendiği kadar yaygınlaşmamıştır. Varolan teknolojik önlemlere rağmen fosil yakıtlara, özellikle kömüre dayalı elektrik üretiminin insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri ile karbondioksit emisyonları önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

Yapılacak sunumda kömüre dayalı elektrik üretiminde kullanılan teknolojiler ile kömürden kaynaklı emisyonların/atıkların azaltılması ve çevreye verdikleri zararın en aza indirilmesi için kullanılan teknolojiler ve yöntemler üzerinde durulacaktır.

Ayrıca, dünyada kömüre dayalı elektrik üretimindeki gerçekleştirmeler ve öngörüler aktarılırken, Türkiye'de kömür santrali yatırımlarının önündeki engeller, çevre-insan sağlığı üzerindeki etkilerinin ve toplumsal tepkilerin yanı sıra genel politikalar, planlama, mevzuatın uygulanması, denetim gibi alanlardaki sorunlar açısından irdelenmeye çalışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kömür Santralleri, Teknolojiler, Kirleticiler, Çevresel Etkiler, Riskler.

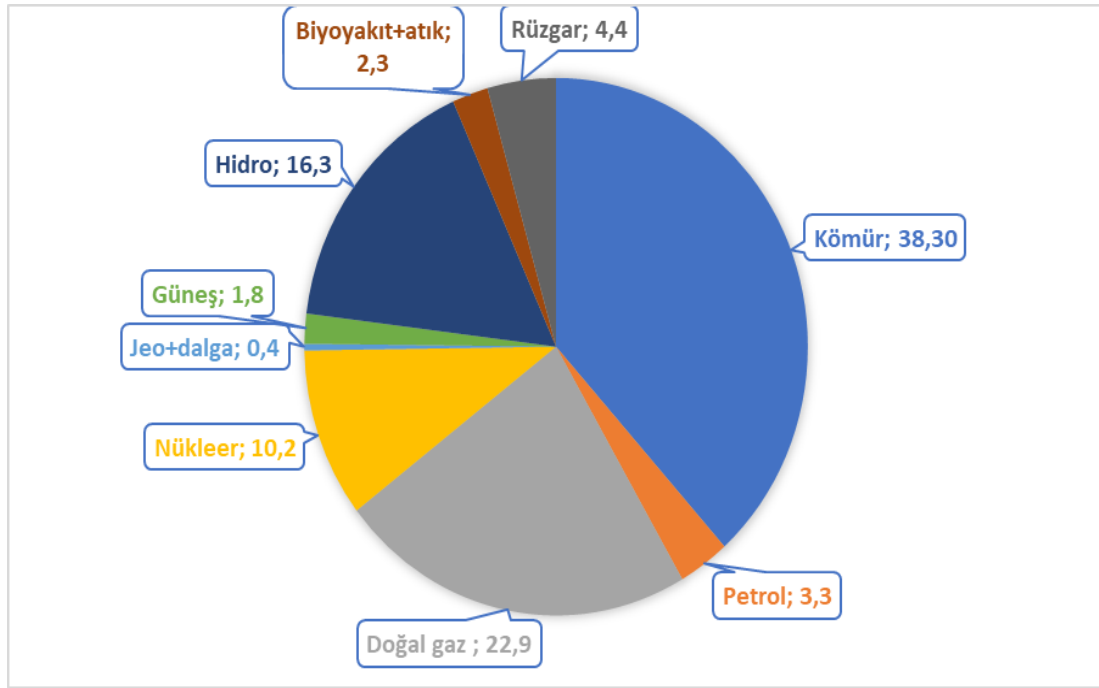
GİRİŞ

Bilindiği üzere, bir bakıma endüstri çağının ateşleyicisi sayılan kömür, kirleticisi özellikleri nedeniyle günümüzde üzerinde en fazla tartışılan yakıtlardan biri haline gelmiştir. Dünyada ve özellikle enerji sektöründe kömürün yerine ilişkin tartışmalar iki kanaldan ilerlemektedir. Bir yandan, uluslararası sözleşmelere de konu olan iklim değişikliğini önlemek için sera gazlarını azaltma girişimleri ve kömürün yarattığı diğer kirleticilerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri, kömüre karşı toplumsal tepkileri artırmaktadır. Öte yandan, coğrafi açıdan daha yaygın bulunan ve (çevresel etkileri dikkate alınmazsa)

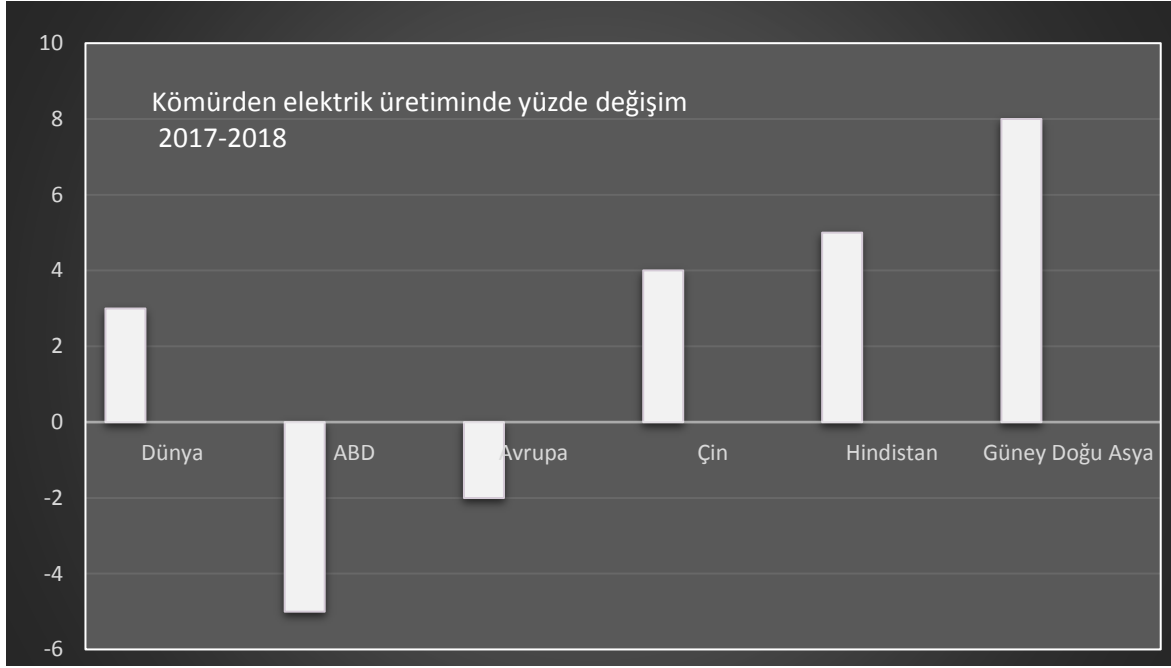
düşük maliyetli bir yakıt olan kömüre dayalı elektrik üretimi, özellikle talep artışı yüksek olan Çin, Hindistan ve Güney Doğu Asya ülkelerinde öne çıkmaktadır.

DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE KÖMÜRE DAYALI ELEKTRİK ÜRETİMİ

2017 yılında 25 721 TWh’a yükselen dünya brüt elektrik üretiminde kömürün payı % 38,30 düzeyindedir. Kömürün brüt elektrik üretimindeki oranı OECD ülkelerinde % 25,6 ile doğal gazın (% 27,9) arkasına düşerken, bu oran OECD dışı ülkelerde % 46,8’e yükselmektedir (Şekil 1). 2017-2018 yılları arasında ülkelere/ bölgelere göre kömüre dayalı elektrik üretimindeki değişim ise Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 1. Dünya brüt elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılım yüzdesi, 2017
[Kaynak: 1, Uluslararası Enerji Ajansı (UEA), 2019]



Şekil 2. 2017-2018 yılları arasında ülkelere/ bölgelere göre kömüre dayalı elektrik üretimindeki değişim [Kaynak: 2, UEA]

Kömür hala dünyada elektrik üretiminde en fazla paya sahip olan yakıt durumundadır. 2018 yılında kömüre dayalı elektrik üretimindeki artışta Çin, Hindistan ve Güney Doğu Asya ülkeleri başı çekmiştir. Çin’de % 8 oranında artan elektrik talebine karşılık kömüre dayalı üretim % 4 artmıştır. Bu artış Hindistan’da % 5 düzeyinde olmuştur.

ABD’de elektrik talebinin artmasına karşılık 15 GW kapasitesindeki santralin emekli edilmesiyle 2018 yılında kömüre dayalı üretim 60 TWh azalmıştır. Avrupa’da ise daha çok yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artmasına bağlı olarak kömürden elektrik üretiminde 20 TWh’ lik azalma olmuştur.

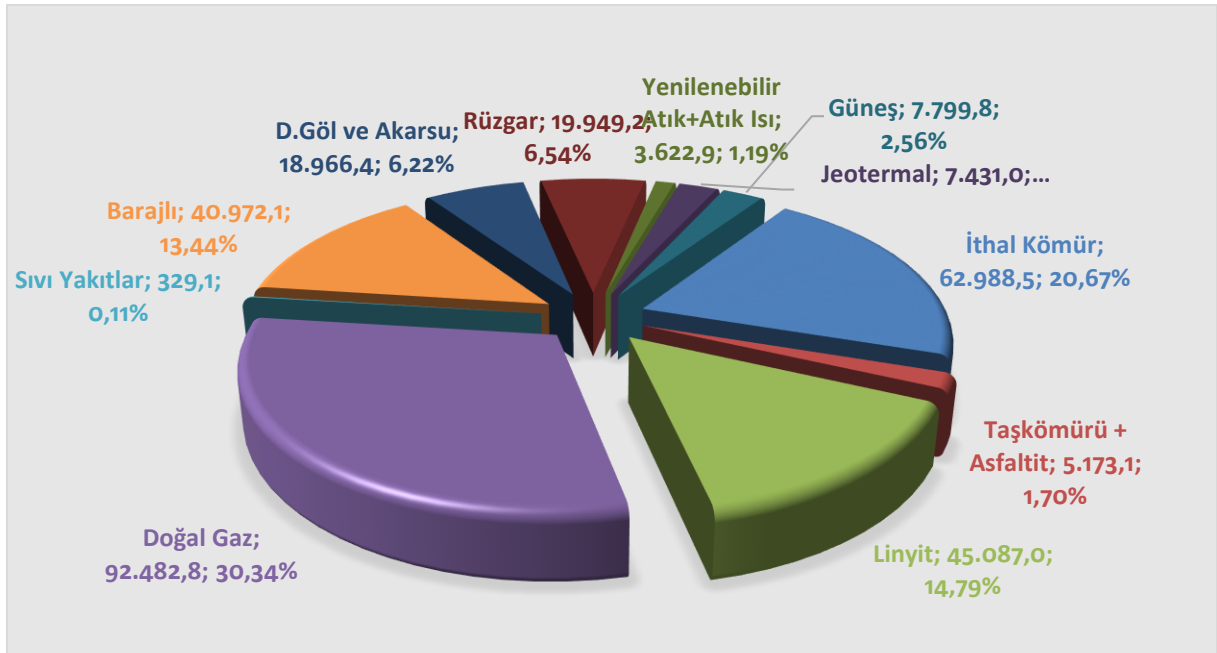
Üretim artışlarına karşılık 2018’de kömür santrallerine yapılan yatırım, Çin ve Hindistan’daki yatırımların azalmasına bağlı olarak 2017 yılına kıyasla % 3 düşmüştür. Nihai yatırım kararı alınan kömür santrali kapasitesi % 30’ luk bir azalmayla 22 GW’a düşmüş olup, bunun 2000 yılından beri en düşük seviye olduğu belirtilmektedir. Yapılan yatırımlar kritik altı santrallardan çok yüksek verimli kömür santrallerine yönelmektedir (2)

Türkiye’de ise 2018 yılında kurulu güç içinde kömür santrallerinin payı (asfaltit dâhil) % 21,49 düzeyindedir (Çizelge 1). Aynı yıl içinde toplam elektrik üretimi 304 801,9 MWh olarak gerçekleşmiştir. Şekil 3’de görüldüğü üzere elektrik üretiminde kömürün payı, ithal kömür % 20,67, linyit % 14,79, taş kömürü+ asfaltit % 1,7 olmak üzere toplamda % 37,16 olmuştur(3). Bu arada, elektrik üretiminde ithal kömürün hızla artan payına da dikkat çekmek gerekmektedir.

TEİAŞ tarafından hazırlanan ve 2018-2022 dönemini ele alan Üretim Kapasite Projeksiyonu’ nda, 2022 yılında toplam kurulu gücün 105 300 MW olacağı öngörülen Senaryo 1’ de linyit santrallerinin 2017’de 9773 MW iken 2022’de 11 063 MW’a tahmin edilmektedir. Ayrıca, ithal kömür santrallerinin 8 794 MW’tan 10 839 MW’a çıkacağı, taş kömürü+ asfaltit santrallerinin 783 MW düzeyinde sabit kalacağı düşünülmektedir. Bu tahminlerde dikkate alınmayan 2 340 MW ithal kömür, 1819,5 MW yerli kömür santralinin da ön lisans almış olduğu belirtilmektedir (4).

Çizelge 1. 2018 yılında Türkiye elektrik kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı
[Kaynak: 3, TEİAŞ 2018]

	MW	%
İTHAL KÖMÜR	8.793,9	9,93
TAŞ KÖMÜR+ASFALTİT	782,5	0,88
LİNYİT	9.456,1	10,68
SIVI YAKITLAR	370,6	0,42
ÇOK YAKITLILAR	5.206,8	5,88
ATIK ISI	197,0	0,22
DOĞAL GAZ	21.479,9	24,26
YENİLENEBİLİR ATIK+ATIK	621,9	0,70
RÜZGAR	7.005,4	7,91
GÜNEŞ	5.062,8	5,72
BARAJLI	20.536,1	23,19
D.GÖL VE AKARSU	7.755,3	8,76
JEOTERMAL	1.282,5	1,45
TOPLAM	88.550,78	100



Şekil 3. Türkiye 2018 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı
[Kaynak: 3, TEİAŞ 2018]

TERMİK SANTRAL PROJELERİNDE ÇEVRE, SAĞLIK VE GÜVENLİK AÇISINDAN DİKKATE ALINMASI GEREKEN HUSUSLAR

Uluslararası Finans Kurumu'nun Termik Santraller için hazırlanan Çevre, Sağlık ve Güvenlik Kılavuzundan hareketle, kömür santralı projesine başlarken etkileri açısından şu hususların dikkate alınması gereklidir:

- Alternatif kaynaklar;** Fosil yakıt olmayanlar dahil enerji kaynağının seçilmesi;
- Elektrik üretim teknolojisi;** Termik verimlilik, maliyet; CO2 emisyonu performansı (gCO2/kWh)

•**Sera gazı emisyonlarının azaltılması:** Enerji dönüşüm verimi; yenilenebilir kaynakları kullanma vb.

•**Su temini** (Deniz, göl, nehir vb)

•**Soğutma suyu sistemi** (Açık çevrim, yağ soğutma kulesi, kuru soğutma kulesi)

•**Alıcı su ortamındaki mevcut su kalitesi**

•**Kirliliğin kontrolü:** •Hava kirleticiler; baca gazı arıtma, performans, maliyetler •Sıvı atıklar: yüzey suyuna deşarj; buharlaşma, sıfır deşarj; • Katı atıkların bertaraf sistemi:(Kül/cüruf+ BGD atıkları); külün bertarafı (ıslak/kuru depolama)

•**Yer seçimi:**•Arazinin istismak durumu ; •Yakıta ve elektrik şebekesine/iletim hatlarına erişim, •Arazinin mevcut durumdaki ve gelecekteki kullanımı;-•Hava, su ve gürültü açısından mevcut durum;

•**Etkilerin değerlendirilmesi:** •Hava kalitesine etkileri : SO₂, NO_x, PM₁₀, PM 2.5 ve uygunsu ağır metaller; •Bağlantılı ise asit birikimi; • Hava kalitesi standartlarına uygunluk açısından çoğaltan etkisi; •Topoğrafik haritada eşdeğer konsantrasyon eğrilerinin gösterilmesi; • Mevcut kaynakların ve biliniyorsa gelecekteki projelerin kümülatif etkileri; baca yüksekliği vb.; •Su kalitesine etkileri: Açık çevrim ise termal etki; diğer bilinen kirleticilerin etkisi; santrale çekilen suyun etkisi; • Gürültü; •Sağlık Etkilerinin değerlendirilmesi

•**Çevresel etkileri azaltmak/yönetmek için önlemler:** •Hava kirleticileri, baca yüksekliği; • Atık su arıtma, maliyetler; •Gürültü kontrol önlemleri; •Atıklardan yararlanma vb, atıkların bertarafı ve yönetimi; atıkların azaltılması; külün taşınmasına ilişkin düzenleme; • Gerekli ise acil durum hazırlık programları ve endüstriyel risk değerlendirme

•**İzleme:** Hangi parametrelerin izleneceği; örneklem aralığı; değerlendirme kriterleri, saha yerleşimi/çevresi dikkate alınarak örneklem noktaları

AB tarafından desteklenen "Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ÇED alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi" kapsamında "Termik Santraller" için hazırlanan Aralık 2017 tarihli, santrallerin gerek inşaat gerekse işletme ve işletme sonrasındaki etkilerini ve azaltıcı önlemleri içeren çalışmada yer alan, işletme aşamasında izlenmesi gereken parametreler Çizelge 2'de verilmektedir (5):

Gerek projelerin başlangıcında gerekse izleme aşamasında belirtilen hususların ve parametrelerin kapsamı gözönünde bulundurulduğunda, bunların ülkemizde ne kadar dikkate alındığı ve izlendiği konusunda soru işaretleri vardır.

Çizelge 2. Termik santrallerin işletilmesi aşamasında izlenmesi gereken parametreler
[Kaynak: 5, ÇŞB 2017]

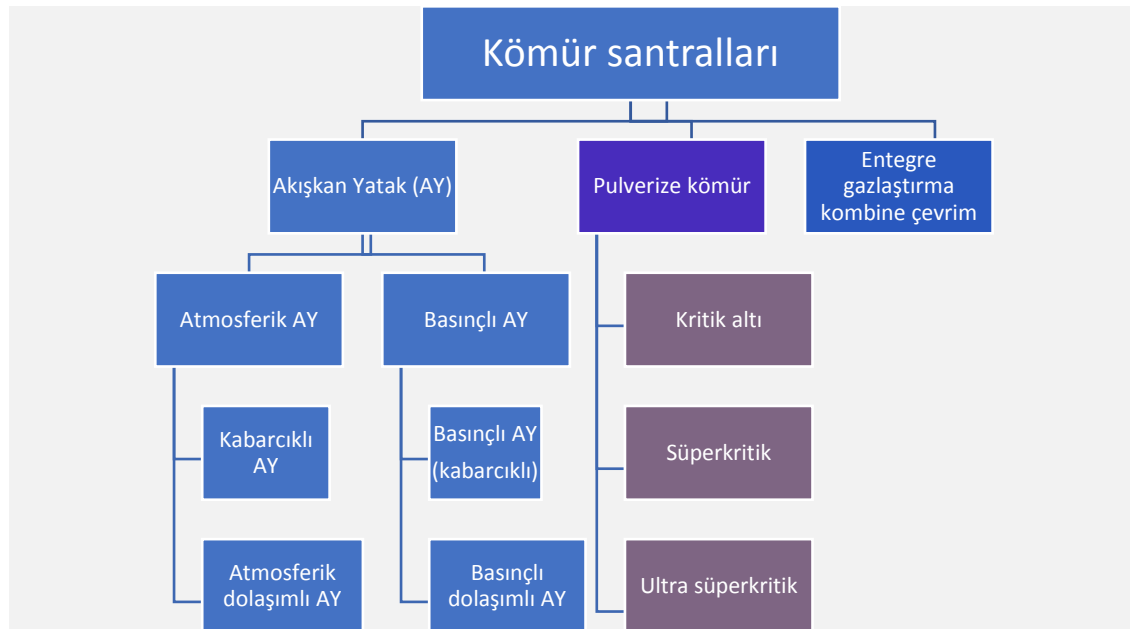
Konu	İzleme Yapılacak Yer	İzlenecek Parametre	İzleme Yöntemi	İzleme Sıklığı
Flora	Tesis ve etki alanında	Bitkisel toprağın yayılacağı alanların belirlenmesi ve peyzaj için alana uygun bitki türlerinin seçilmesi Sıyırılan Bitkisel toprağın uygun bir şekilde ve uygun yerlere yayılması, uygun bitki türlerinin tesis dışındaki alanlara dikilmesi	• Görsel incelemeler	Yılda 1 kez Hassas türler tespit edilmesi durumunda yılda iki kez

Konu	İzleme Yapılacak Yer	İzlenecek Parametre	İzleme Yöntemi	İzleme Sıklığı
Fauna	Tesis ve etki alanında	Tesisler ve çevresindeki alanlara tekrar geri dönen fauna unsurlarının belirlenmesi	Çevredeki mevcut fauna elemanlarının giriş- çıkışlarının kontrolü	Nisan - Mayıs-Eylül 1 kez, 2 gün saha çalışması
Evsel Nitelikli Sıvı Atıklar	Deşarj noktası	Oluşan atıksuların arıtdıktan sonra deşarj standartlarına uygun olarak bertaraf edilmesi	Alıcı ortam su kalitesi	Sürekli
Emisyonlar	Tesis baca çıkışında Tesis alanına yakın yerleşim yerlerinde	NOx, SO2, CO, PM10 ve diğer gaz ölçümleri	Online sürekli emisyon ölçüm sistemi	Sürekli
Toprak	Atık depolama alanı, kimyasal depolama alanı, kül depolama alanı çevresinde kritik noktalarda	TOX, TPH, Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U, V, Zn	Toprak kalitesi ölçümleri	6 aylık
Yeraltı suyu seviyesi	Tümü	Gözlem kuyularında	Yeraltı suyu seviyesi	6 aylık
Deniz suyu	Soğutma suyu alma ve termal deşarj sisteminin inşa edileceği denizel alan	pH, sıcaklık, BOİ, çözülmüş Oksijen, AKM, Koliformlar, amonyak azotu, fosfor, klorofil- a, nitrat, yağ ve gres, serbest klor	Gözlem ve ölçümler	Yıllık
Gürültü ve titreşim	Etki alanındaki yerleşimlerde	Gürültü ve titreşim seviyesi	Gürültü ölçümleri	6 aylık
Atıklar	Proje alanında	İlgili yönetmeliklere göre gerekli uygulamalar, kayıtlar, lisanslı taşıma araçları firmaları ve lisanslı bertaraf tesisleriyle sözleşmeler	- Görsel incelemeler - Kayıtların incelenmesi	Yıllık

Konu	İzleme Yapılacak Yer	İzlenecek Parametre	İzleme Yöntemi	İzleme Sıklığı
İş Sağlığı ve Güvenliği	Proje alanında	- Risk Analizi - ADM Planları ve Ekipleri - İş araçları ve ekipmanlar periyodik kontrolleri - İSG izleme planı - Yıllık Çalışma Planı - İSG Eğitimleri - İSG Kurulu Toplantıları - İSG Ölçümleri	- İç denetim - Bağımsız denetim	Günlük/Haftalık /Aylık/Yıllık

KÖMÜRDEN ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANILAN TEKNOLOJİLER

Kömür santrallerinde kullanılan teknolojiler toplu olarak Şekil-4' de gösterilmektedir. Bu teknolojilerin temel özellikleri sıra ile aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4. Kömür santrallerinde kullanılan teknolojiler [Kaynak:6, Rennings,K., Smidt, W. 2010]

Pulverize kömür sistemleri

Pulverize kömür teknolojisi kömürden elektrik üretiminde en yaygın olarak kullanılan konvansiyonel bir teknolojidir. Santral verimini arttırmak amacıyla pulverize kömür santrallerinde buhar parametrelerinin yükseltilmesine dayalı geliştirme çalışmaları söz konusudur. Süperkritik kazan teknolojisi suyun 22.1 MPa basınç ve 375° C sıcaklıkta doğrudan kuru buhara dönüşmesine dayalıdır. Bu santraller buhar parametrelerine göre sınıflandırılmakta olup, söz konusu sınıflandırmalar çeşitli kaynaklarda farklılık gösterebilmektedir. Bu gelişmeler özellikle yüksek sıcaklık ve basınca dayalı malzemelerin geliştirilmesine bağlı olarak sağlanmıştır. Çizelge 3’de pulverize kömür santrallerinin buhar parametreleri, verim ve kömür sarfiyatları gösterilmektedir.

Çizelge 3. *Pulverize kömür santrallerinde buhar parametreleri*

[Kaynak: 7, Nicol,K, ve Kaynak:8, Barnes,I.’den yararlanılarak oluşturulmuştur] AID: Alt ısı değer.

	Ana buhar sıcaklığı ve basıncı (° C, MPa)	Verim (AID-Net; Taş kömürü) %	Kömür sarfiyatı (gkömür/kWh)
Kritik altı	≤ 540; < 22.1	< 35	≥ 380
Süperkritik	540-580; 22.1-25	35-40	380-340
Ultra süperkritik(USK)	580-620; (22-25 ?) - >25	40-45	340-320
İleri USK (Geliştirme aşamasında)	700-725; 25-35	45-52	320-290

Akışkan yatak teknolojisi

Kömür santrallerinin yaydığı SO₂ gazını doğrudan yanma sırasında tutmak için kömürün kireçtaşı ve külden oluşan (devreye alma sırasında kum da eklenir) yatak içerisinde yakılmasına dayalı bir teknolojidir. Akışkan yatak (AY) teknolojisi basınçlı ve atmosferik olmak üzere iki gruba ayrılmakta, her bir grup da kendi içinde kabarcıklı (bubbling) ve dolaşimli (circulating) olarak gruplandırılmaktadır. Kömür, kireçtaşı ve kül tanecikleri kazan altından verilen hava ile hareketli hale gelmektedir.

Yüksek basınçta çalışan AY sistemlerinde yanma gazlarının genleşme veriminden yararlanmak üzere sisteme bir gaz türbini entegre edilse de, geliştirme aşamasında yaşanan sorunlar nedeniyle bu sistemlerden halen işletmede olanlar az sayıdadır. Basınçlı AY sistemleri 1990’larda ve 2000’lerin başında devreye alınmış olup, mevcut üniteler genellikle 80 MW kapasitede olmakla birlikte Japonya’da 250 ve 360 MW’lık üniteler geliştirilmiştir. Bunlardan 360 MW kapasitesindeki Karita santralında süperkritik buhar çevrimi vardır.

Atmosferik akışkan yataklı sistemler de kabarcıklı AY (KAY) ve dolaşimli AY’lı (DAY)sistemler olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Bu iki sistemin birbirinden farkı esas olarak yatağın dağılımıdır. AY’ lı sistemlerde kömürün pulverize hale getirilmesine gerek yoktur. Altan verilen hava ile yatak malzemesi hareketlendirilmektedir. KAY sistemlerinde partikül boyutu 0.5-1.5 mm, akışkan hızı 1 m/s kadardır. Buna karşılık DAY sistemlerinde yatak malzemesinin tanecik boyutu daha küçük, (0.1-0.6 mm düzeyinde), akışkan hale gelmiş malzemenin hızı daha yüksek (4-6 m/s) olduğundan, yatak malzemesi gazla beraber yataktan dışarı taşınmakta ve yanma gazları bir siklonda tutularak akışkan yatağa sirküle edilmektedir. Bu sistemlerde Ca/S oranının yanı sıra, siklon verimi en önemli konulardan biri olup, karbonun yanması, ocak malzemesi kaybının az olması, kireçtaşı sarfiyatı, karbonlaşmış partiküllerin ocakta daha uzun süre kalması, sıcaklık profilinin düzgün olması gibi birçok unsur siklonun verimine bağlıdır.

AY sistemlerinde sıcaklık 750-950° C arasında olduğundan termal NO_x oluşumu pulverize kömür kazanlarına göre düşük düzeyde olur. AY sistemlerinde değişik yakıtlar kullanılabilir. Süperkritik DAY sistemlerinin kapasitesi 2009 yılında 450 MW’a, 2014 yılından beri de Çin’deki Baima santralıyla 600 MW’ın üzerine çıkmıştır.

Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim teknolojisi

Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim (EGKÇ) teknolojisi elektrik üretiminde kömürün daha verimli kullanımında umut bağlanan teknolojilerden biri olmuştur. Kömürün gazlaştırılması yeni bir proses olmayıp, 1800'lü yıllarda şehir aydınlatma ve pişirmede kullanılmaya başlandıktan sonra 1920'lerden beri de kimyasal ve yakıt üretiminde kullanılmaktadır. Göreceli olarak yeni olan kömürün gazlaştırılarak elektrik üretiminde kullanılmasıdır. Gazlaştırma prosesi biyokütle, rafineri atıkları gibi karbon içeren diğer maddeler için de kullanılabilir.

Temel proses kömürün bir gazlaştırıcıda kısmi oksitlenerek ağırlıklı olarak hidrojen ve karbon monoksitten oluşan sentez gazına çevrilmesidir. EGKÇ teknolojinin sağladığı avantajlar şöyle sıralanabilir:

-Doğal gaz kombine çevriminde olduğu gibi hem gaz hem de buhar türbini vasıtasıyla elektrik elde edilmesi sonucunda dönüşüm verimi yükselmektedir.

-Gazlaştırıcı çıkışındaki gaz miktarı konvansiyonel santrallara göre daha az, dolayısıyla gazın içindeki istenmeyen safsızlıklar daha yüksek konsantrasyonda olduğundan temizlenmesi daha kolay olmaktadır.

-Karbon tutma prosesinin entegrasyonu daha kolaydır.

Ancak maliyet, prosesin karmaşıklığı ve emre amadilik açısından pulverize kömür teknolojisine göre dezavantajlıdır. Pulverize kömür teknolojisi gibi yeterince standartlaşmış bir konfigürasyonu yoktur. Dünyada çok sayıda kömür gazlaştırma tesisi bulunmakla birlikte, kömüre dayalı elektrik üretimi amaçlı EGKÇ tesislerinin ticari ölçekteki başlıca örnekleri Çizelge 4'te gösterilmektedir.

Çizelge 4. Dünyadaki başlıca EGKÇ santralleri [Kaynak: 9, NETL].

Santral adı	Kurulu güç	Devreye girme tarihi	Gazlaştırıcı
Polk Santrali, Tampa Electric, Florida	250 MW	1996	GE gazlaştırıcı
Wabash; Indiana	265 MW	1995	CB&IE – Gas TM Gazlaştırıcı
Noun, Buggenum, Hollanda	250 MW	1994; 2013'de kapandı	Shell Gazlaştırıcı
Elcogas, Puertallano, İspanya	300 MW	1997	Prenflo Gazlaştırıcı
Edwardsport IGCC, Duke Energy, Indiana	618 MW	2013'te ticari işletme	GE Gazlaştırıcı
Nakoso, Japonya	250 MW	2007'de demo; 2013'de ticari işletme	MHI Gazlaştırıcı

EGKÇ santrallerinin ana bölümleri şunlardır:

- Kömürün hazırlanması
- Hava ayırma ünitesi (Hava yerine oksijen kullanılıyorsa)
- Gazlaştırıcı
- Yüksek sıcaklıktaki gazın soğutulması
- Partiküllerin tutulması
- COS hidrolizi
- Düşük sıcaklıktaki gazın soğutulması ve cıvanın tutulması

- Asit gaz giderme
- Kükürt geri kazanım ünitesi ve çıkış gazı işleme ünitesi
- Temiz gaz nemlendirme ve tekrar ısıtma
- Gaz türbini
- Isı geri kazanım kazanı ve buhar türbini

Sabit ve akışkan yataklı tipleri de bulunmakla birlikte, ticari ölçekteki EGKÇ projelerinde ağırlıklı olarak yüksek sıcaklıkta ve basınçta çalışan sürüklemeli akışlı (entrained flow) gazlaştırıcılar kullanılmaktadır. Korozyona neden olmaması için kükürtlü bileşiklerin, gaz türbininin zarar görmemesi için uçucu partiküllerin sentez gazından yüksek oranda temizlenmesi önemlidir. Gazlaştırma prosesinde ortaya çıkan emisyon ve yan ürünler gazlaştırıcıdan çıkan taban külü-cüruf, sentez gazını temizleme yönteminin aşamalarına bağlı olarak, sentez gazından arıtılan uçucu kül, ıslak yıkayıcı kule atıkları, geri kazanılan kükürt, atık su ve kullanılmış katalizörü içerir.

Gazlaştırıcı çıkışında sentez gazı önce soğutulur, amonyak ve eser miktardaki bileşiklerin tutulması için su ile yıkama işlemi yapılır; külün arıtılması için seramik veya metalden yapılan gözenekli mum (Candle) filtreler kullanılır; bu filtreler 500°C'ye kadar sıcaklıkta çalışabilir ve 0.5-100 µm aralığındaki partikülleri tutabilir. Buharla (azot veya içinde partikül madde bulunmayan sentez gazıyla) geri yıkama yapılarak rejenere edilebilir. (10a)

Meydana gelen sentez gazının içindeki kükürtlü bileşikler esas olarak hidrojen sülfür (H₂S) ve karbonil sülfür (COS)'den oluşur. Çoğu çözücünde karbonil sülfürün çözünürlüğü yeterince yüksek olmadığından sentez gazının yaklaşık % 3-10'unu oluşturan COS önce hidroliz yoluyla H₂S'e dönüştürülür.

Karbon Tutma prosesi bulunuyorsa su-gaz dönüştürme prosesinde kullanılan katalizörler COS hidrolizini sağlayacağından ayrıca bir hidroliz ünitesine gerek kalmaz. Ayrıca karbon tutma prosesi varsa Asit Gaz Giderme (Acid Gas Removal-AGR) işlemi hem H₂S hem de CO₂ tutmak üzere tasarlanır. Asit Gaz Giderme prosesleri ağırlıklı olarak çözücü bazlı sistemlerdir. Kimyasal, fiziksel, hibrid çözücüler kullanılmaktadır. Bunların arasında en yaygın olarak kullanılan çözücü metil-dietanol amin (MDEA)'dir. Ayrıca Sulfinol, Rectisol, Selexol gibi başka çözücüler de vardır. Çözücünün rejenerasyonundan geri kazanılan H₂S genellikle Claus prosesi ile elementer kükürte çevrilmektedir. Bununla birlikte Tampa santrali gibi sülfürik asit üreten örnekler de vardır. Klasik Claus prosesinde H₂S'in bir kısmı oksitleyici (genellikle hava) ile SO₂'ye dönüştürülmekte, daha sonra elementer kükürt meydana gelmektedir:

Üç kademeli Claus prosesi sonucunda kükürt geri kazanımı % 97'ye varmaktadır. Çıkış gazında hala sınır değerlerin üzerinde kükürtlü bileşik olduğu dikkate alınarak katalitik bir reaktörde tekrar H₂S'e çevrilerek asit gaz giderme ünitesine geri döndürülmektedir.

Gazlaştırma prosesinde NO_x değil, bir miktar NH₃ oluşmakta olup, su ile yıkayarak temizlenmektedir. Gaz türbininde düşük NO_x yakıcılarının yanı sıra,

- Sentez gazının sıcak su/buhar ile doymuş olması,
- Sentez gazının Hava Ayırma Ünitesinden gelen azot ile karıştırılması,
- Bir kısım ara buharın gaz türbinine enjekte edilmesi,
- SCR (sonraki bölümde aktarılabilecek olan azot giderimi tekniği-Nakoso/Japonya'da kullanılıyor) gibi önlemler alınabilir (10a).

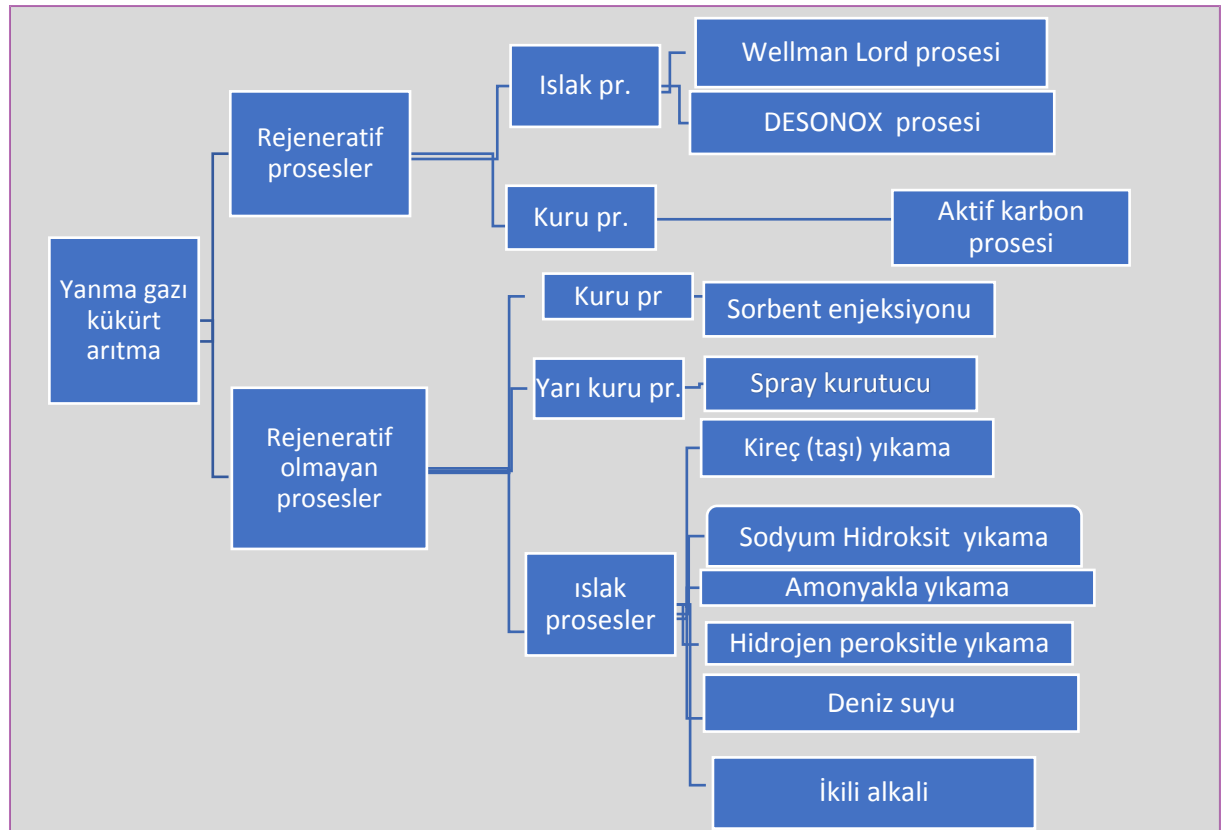
KÖMÜRDEN KAYNAKLANAN KONVANSİYONEL HAVA KİRLETİCİLERİ VE ARITMA YÖNTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

Kömürün yanmasından kaynaklı başlıca hava kirleticiler kükürtdioksit (SO₂) /kükürtoksitler, azot oksitler (NO_x) ve partikül maddelerdir. Ancak hava kirleticileri bunlarla sınırlı değildir. Kömürün yapısında bulunan ağır metallerin yanı sıra, tam yanma olmaması durumunda karbonmonoksit (CO) gibi kirleticiler de açığa çıkar.

Günümüzde iklim değişikliği nedeniyle sera gazları tüm dünyanın gündeminde yer almakta olup, bu konuda tüm dikkatler ve tepkiler fosil yakıtlara ve özellikle kömüre yönelmiştir. Kömür, üretilen birim elektrik başına en fazla karbondioksit (CO₂) salımı yapan kaynak olduğu için bu konuda yapılan çalışmalar, karbon tutma-depolama sistemleri de gündemde olmakla birlikte, ağırlıklı olarak kömür santrallerinin verimini yükseltmek üzerine gelişmiştir. Konvansiyonel olarak kırma/öğütme, eleme/boyutlandırma, susuzlaştırma, yıkama gibi kömürün hazırlanmasına ve iyileştirilmesine yönelik işlemler bulunmakta olup, bunlarla kısmen de olsa kömürde bulunan veya üretim sırasında karışan inorganik maddelerin bir bölümünü almak veya nemi azaltarak birim başına kalorifik değeri yükseltmek mümkün olabilmektedir. Ancak günümüzde kirleticilerin sınır değerlerinin giderek daha sıkı hale gelmesiyle çok daha kompleks prosesler kullanılmaktadır.

Kükürt emisyonlarını kontrol etmek için kullanılan teknolojiler

Yanma sırasında yakıttaki kükürt oksijenle reaksiyona girerek kükürt dioksit (SO₂) oluşturmakta, bunun yanı sıra bir miktar SO₃ de meydana gelmektedir. Kükürt oksitlerin çevre ve sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için yanma sonrasında SO₂'yi tutmak amacıyla ticari ölçekte kullanılan kükürt arıtma (Baca Gazı Desülfürizasyon-BGD) prosesleri Şekil 5' te görülmektedir.



Şekil 5- Kükürt Arıtma Prosesleri [Kaynak 10, BREF 2017, s.106]

Desülfürizasyon sistemlerinin temel mantığı asit özelliği gösteren SO₂ ve SO₃ bileşiklerini alkali bir çözeltiyle tutmaktır. Su kullanımını arttırmakla birlikte SO₂ tutma verimi yüksek olduğundan en yaygın olarak ıslak prosesler kullanılmakta olup, kireç taşı çözeltisi de en yaygın kullanılan soğurucudur. Kalsiyum bazlı soğurucuların dışında sodyum bazlı soğurucular (sodyum karbonat, sodyum bikarbonat ve trona), magnezyum karbonat ve amonyak da kullanılabilir.

Büyük ölçekli tesislerde kullanılan ve pazar payı % 80'lerde olan ıslak kireçtaşı-alçıtaşı (kalsiyum sülfat-gypsum) prosesi ilk kez Japonya'da 1972 de kullanılmış ve daha sonra ABD'de yaygınlaşmıştır. SO₂ tutma veriminin yüksek olması, kireçtaşının birçok ülkede bol bulunan ucuz bir madde olması bu prosesin yaygınlaşmasının nedenlerindendir. Prosesin sonunda oksidasyon moduna bağlı olarak ya alçıtaşı ya da

kalsiyum sülfat/sülfid karşımı elde edilir. Alçıtaşının pazarlanabilir olması halinde toplam giderler azaltılabilir.

Islak yıkayıcı sistemler son yıllarda gerek güvenilirlik gerekse maliyetler açısından önemli gelişme göstermiştir. Cebri oksitleme ile verim yüzde 99'un üzerine çıkmıştır. Islak kireç/kireçtaşı yıkayıcı sistemlerinin santralla birlikte baştan yapılması, sonradan iyileştirme (retrofit) amacıyla eklenmesine göre daha düşük maliyetlidir. Retrofit yatırımlarda tesisin yerleşimi, müsait alan, mevcut tesiste yapılacak modifikasyonlar gibi maliyet unsurları ve sorunlar ortaya çıkmaktadır. Yeni tesislerde yapılan ıslak kireçtaşı yıkayıcı kule yatırım maliyeti 35-50 Euro/kWe iken, retrofit tesisler için bu maliyet 60-300 Euro/kWe olabilmektedir (10b).

Diğer prosesler

Yukarıda Şekil 5'de görüldüğü gibi, ıslak kireçtaşı prosesinin yanı sıra gerek santrallarda gerekse endüstride kullanılan SO₂ arıtma teknolojileri vardır. Wellman-Lord desülfürizasyon prosesi endüstriyel proseslerde ve kazanlarda kullanılmakta olup, sodyum sülfidin sodyum bisülfite çevrilmesine dayanan bir prosestir. Yıkayıcı akışkan yeniden rejenere edilebilmekte ve sonuçta bertaraf edilmesi gereken çamur yerine kullanılabilir bir ürün elde edilmektedir. Bununla birlikte yapımı ve işletmesi kireç taşı sistemine göre daha pahalıdır. DESONOX prosesi SO₂ ve NO_x'ların birlikte kontrol edildiği katalitik bir prosestir. Nihai ürün olarak sülfürik asit elde edilmekte, kalıntı halindeki aerosoller yanma gazlarından uzaklaştırılmaktadır (11).

Deniz suyu doğal olarak alkali olduğundan asit özelliği gösteren gazları soğurmaktadır. Bu sistemler SO₂'nin % 99'unu tutmakla birlikte denize bırakılan suda klorürler ve ağır metaller bulunmaktadır. Santralların yanı sıra endüstriyel tesisler, rafineriler, petrokimya ve kimya tesislerinde de kullanılan bu proses ancak deniz kenarındaki tesisler için uygundur.

Sodyum bazlı soğurucular 1960'larda Japonya'da yaygın olup, daha ziyade küçük ölçekli fuel oil kazanlarında kullanılan sistemlerdir; magnezyum bazlı yıkama sistemleri genellikle küçük ölçekli endüstriyel tesislerde kullanılmaktadır. Islak amonyak yıkayıcı sistemlerde ise, yan ürün tarımda gübre olarak kullanılabilir.

Bunların dışında yarı kuru yıkama sistemleri [püskürtücülü (spray) kuru absorberler- (SDA)] ve soğurucunun doğrudan kazana veya baca gazı kanalına enjekte edildiği sistemler vardır. SDA, ıslak yıkayıcı sistemlerden sonra ikinci sırada gelen bir tekniktir ve ticari ölçekte kullanımı yaygındır. Kazana enjekte edilen tipik soğurucular arasında toz haline getirilmiş (pulverize) kireçtaşı ve dolomit (CaCO₃, MgCO₃), baca gazına enjekte edilenler arasında kalsiyum veya sodyum bazlı soğurucular sayılabilir.

Kükürtlü bileşikleri tutmak amacıyla geliştirilen proseslerde genel olarak HCl, HF ve kısmen cıva emisyonları da tutulmaktadır.

Azot oksitlerin kontrol teknikleri

Azot oksitlerin (NO_x) kontrolüne ilişkin teknikler genel olarak,

-Yanma sırasında NO_x oluşumunu önleyen ve/veya azaltan birincil teknikler,

-Yanma sonrasında NO_x salımını azaltan ikincil teknikler olarak sınıflandırılabilir.

Fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan NO_x gazlarının içinde esas olarak azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) üzerinde durulmaktadır. Toplam NO_x miktarının % 90'ından fazlasını genelde NO gazı oluşturmaktadır. NO₂ güneş ışığı altında hidrokarbon radikalleri ile birleşerek yer seviyesinde ozon/fotokimyasal dumanlı sis (smog), asit yağmuru bileşenleri ve partikül madde oluşumuna neden olmaktadır.

NO_x yanma sırasında üç şekilde oluşmaktadır:

1) *Termal NO_x*: Termal NO_x konsantrasyonu, yanma havasıyla gelen azot ve oksijenin reaksiyonundan kaynaklanmaktadır. Sıcaklık bu reaksiyonun oluşmasındaki ana faktör olup, 1900-2000° C sıcaklıklarda

NO oluşumu en üst seviyede olmaktadır. Yanma sıcaklığının 1300 °C altında tutulmasıyla termal NOx oluşumunun daha düşük konsantrasyonlarda tutulması sağlanmaktadır.

Termal NOx oluşumu, alev sıcaklığı, alev sıcaklığının en yüksek olduğu bölgelerde yanma gazlarının kalma süresi ve daha az oranda bu bölgedeki oksijen miktarına bağlıdır. Yanma sırasında kullanılan bazı teknik ve önlemlerle NOx oluşumunun azaltılmaya çalışılması bundan kaynaklanmaktadır.

2) *Yakıt bazlı NOx*: Kömürdeki azotun oksitlenmesiyle oluşmaktadır. Toplam NOx içinde termal NOx miktarı ağırlıklı olsa da yakıt türüne bağlı olarak yakıttan kaynaklanan NOx oranı da % 40-50'lere çıkabilmektedir. Yakıt bazlı NOx'un oluşum mekanizması tam olarak bilinmemektedir. Yanmanın başladığı ilk milisaniyelerde aralarında kömüre bağlı azotun da olduğu uçucu maddeler gaz haline gelerek oksitlenmektedir. Yakıt bazlı NOx'un % 60-80'lik kısmı bu uçucu maddelerden ileri gelmekte olup, yanma sıcaklığına bağlıdır. Yakıt bazlı NOx oluşum mekanizması karmaşık olup, birçok ara radikal oluşur; bunlar NO veya N₂'ye dönüşür.

Yakıt içindeki azotun tamamı NOx olarak yanma gazlarıyla birlikte atmosfere salınmaz; uçucu kül veya taban külü içeriğinde de kalır. Yakıttaki azottan kaynaklanan NOx oluşumu alevdeki lokal oksijen konsantrasyonu, hava ve yakıt karışımı gibi faktörlere bağlı olduğundan, yanmaya ilişkin bazı önlemlerle azaltılması yoluna gidilebilir.

3) *Ani oluşan NOx*: NOx oluşumuna en az katkı yapan mekanizmadır. Dönüşüm stokiyometrik koşullara ve sıcaklığa bağlıdır. Alevde bulunan çok sayıdaki hidrokarbon radikallerinin moleküler azot ile reaksiyona girmesi sonucunda oluşur.

Yanma esnasında NOx Kontrolü

Yanma sırasında alınacak önlemlerle NOx emisyonlarının azaltılması NOx oluşumu kimyasına, pik sıcaklıklara ve yanma ürünlerinin pik sıcaklıklarda kalma süresine dayanır. NOx kontrolünde ana faktör sıcaklık olup, aynı zamanda pik sıcaklıklarda oksijenin miktarı da önemlidir. Yanma sırasında NOx oluşumunu azaltmak için alınabilecek önlemler arasında,

-Yanma havası miktarının düşük tutulması

-Havanın ve yakıtın kademeli olarak verilmesi; düşük NOx yakıcılar; üst yakma havası (overfire air)(Bu seçenek primer hava-yakıt yakıcısının üzerine yeni bir hava girişi gerektirir; kazanda hava kanalları, yeterince alan olması vb hususlarda modifikasyon gerektirdiğinden mevcut kazanlarda uygulanamayabilir).

-Yanma gazlarının tekrar çevrimi sayılabilir (12).

Ancak bu önlemler alınırken, tam yanmanın ve işletme emniyetinin sağlanması, alevin stabil olması, işletmenin güvenilirliği, korozyon- erozyon- cürufanma- kazan borularının aşırı ısınmasının önlenmesi, kazanın işletme parametrelerinin üzerinde ters etkilerin olmaması, kirletici emisyonlarının en az düzeyde tutulması, N₂O gibi sera gazı olan başka gazların oluşumunun engellenmesi gibi hususlara dikkat edilmesi gerekir. Yöntemler mevcut koşullar dikkate alınarak değerlendirilir.

NOx emisyonlarını azaltmak için kullanılan ikincil teknikler

Bu teknikler yanma sırasında oluşan azot oksitlerin yanma sonrasında tutulması için yararlanılan yöntemleri ifade etmekte olup, bunlar arasında ticari işletme olanağı bulan yöntemler şunlardır:

-Seçici Katalitik indirgeme (Selective catalytic reduction- SCR)

-Katalitik olmayan seçici indirgeme (Selective non-catalytic reduction-SNCR)

-İkisinin birlikte kullanıldığı sistemler

Amonyak, üre gibi girdilerin kullanıldığı reaksiyonlarla azot oksitlerin moleküler azota indirgenmesine dayanan bu teknikler düşük NOx yakıcıları gibi birincil önlemlerle birlikte de kullanılabilir.

Seçici Katalitik İndirgeme (13a): Bu sistemlerde reaktif madde olarak kullanılan amonyak buharı yanma gazına enjekte edilir. Bir katalizör yardımıyla yürüyen reaksiyonda % 80-90 arıtma verimine ulaşılır. Bu sistemlerde optimum sıcaklık 300-400° C arasındadır.

Bu sistemlerin kömür santrallerinde üç farklı yerleşim yeri vardır. Gazın kül içeriğinin yüksek olduğu durumdaki yerleşim, yani kül tutma sistemlerinden önce ekonomizer ile hava ön ısıtıcısının arasına yerleştirilmesi en yaygın olanıdır. Zira buradaki gaz sıcaklığı katalitik NOx arıtımı için en optimum sıcaklık olup, gazın yeniden ısıtılması gereğini ortadan kaldırır. Ancak yüksek kül içeriği nedeniyle katalizörün aktifliğini kaybetmesi ve mevcut tesislerde yeterince yer bulunmaması gibi dezavantajları vardır.

Optimum gaz ve reaktif madde dağılımını sağlamak amacıyla amonyak katalizör öncesinde gaza enjekte edilir, daha sonra gaz içinde katalizörün olduğu kısımdan geçer. Titanyum oksit, zeolit, demir oksit ve aktif karbon gibi katalizör çeşitleri olmakla birlikte kömür santrallerinde en fazla vanadyum-titanyum karışımı kullanılır. Bununla beraber her uygulamanın özgün koşullarına göre katalizör ve katkı-destek maddesi (örneğin sıcaklık aralığını genişletmek için tungsten, katalizörü gazın içindeki maddelere karşı daha dayanıklı hale getirmek için molibden kullanılması gibi) değişebilir. Ayrıca optimum çalışma sıcaklığı katalizöre göre değişiklik gösterebilir.

SCR teknolojisi 1980'den beri Japonya'da, 1986'dan beri Almanya'da düşük kükürt veya orta derecede kükürt içeren kömür santrallerinde kullanılmaktadır. ABD'de ise 1990'larda yüksek kükürt içeren kömürler için demonstrasyon amaçlı ve ticari ünitelerin montajı yapılmıştır.

Katalitik olmayan Seçici İndirgeme (13b): Bu tip sistemlerde NOx miktarında ancak % 30-50 oranında azalma sağlanabilir. NOx amonyak veya üre ile reaksiyona girer, sonuçta azot ve su oluşur. SNCR sisteminde reaktif maddenin belirli bir sıcaklık bölgesine enjekte edilmesi önemlidir. Büyük kesitli kazanlarda seviye ve sıcaklık bölgesinin uygunluğunu sağlamak açısından reaktif maddenin enjeksiyonunun kontrolü güçtür.

Diğer bir sorun da reaksiyona girmeyen amonyağın gazda bulunan SO3 ile reaksiyona girerek amonyum bisülfid oluşturmalarıdır. Amonyum bisülfid hava ısıtıcısında kirlenme ve tıkanmaya neden olabilir. SNCR teknolojisi aynı zamanda, kullanılan aktif madde ve sıcaklık gibi faktörlere bağlı olarak bir sera gazı olan diazot monoksit (veya nitroz oksit/azot protoksit) (N2O) oluşumuna da neden olabilir.

SNCR 1970'lerin ortasında Japonya'da sıvı ve gaz yakıtlı santrallerde kullanıma girmiştir. Batı Avrupa'da 1980'lerin sonundan beri, ABD'de ise 1990'ların başından beri kömür santrallerinde ticari olarak kullanılmaktadır.

Hibrit SNCR/SCR sisteminde ise, kazanda enjekte edilen reaktif maddeyi içeren gaz bir de katalizörlü sistemden geçirilir. Bu şekilde daha az katalizöre ihtiyaç duyulmasının yanı sıra, daha yüksek arıtma verimi ve amonyak kaçağının daha az olması sağlanır.

Partikül (uçucu kül, toz, tanecik) emisyonlarının tutulması

Kömür santrallerinden kaynaklanan partikül emisyonlarının tutulmasında kullanılan yöntemler arasında elektrostatik filtreler, torba filtreler, siklonlar ve yıkayıcı kuleler sayılabilir. Emisyonların müsaade edilen sınır değerlerinin giderek düşürülmesi nedeniyle birden fazla yöntemin bir arada kullanılması da söz konusudur.

Elektrostatik filtreler

Elektrostatik filtreler (ESF) geniş sıcaklık, basınç ve toz yükü aralıklarında sonuç veren ve bu nedenle büyük yakma tesislerinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Çalışma prensibi, negatif yükü iyonize olan partiküllerin pozitif elektrot olan toplama plakalarında toplanması esasına dayanmaktadır. Yüksek

hacimdeki gazları arıtabilirler, basınç kaybı düşüktür. İşletme giderleri yüksek değildir; ancak bir kez monte edildikten sonra değişen işletme koşulları karşısında çok esnek değildirler. Çok yüksek öz dirençleri olan uçucu kül tanecikleri performans ve verimlerini düşürür. Küldeki serbest CaO, direnci arttırması nedeniyle ESF'nin tutma verimi üzerinde olumsuz etki yaratır. ESF'lerin kullanılması ekonomik bir çözüm oluşturması nedeniyle tercih edilen bir yöntemdir. (10c)

Torba filtreler

Günümüzde torba filtrelerin kullanımı da artmaya başlamıştır. Torba filtreler gözenekli dokusu olan malzemelerden oluşan filtrelerdir. Torba filtrenin ömrü gazın ve külün karakteristiklerine bağlıdır. Bu tip filtrelerin malzemesinin baca gazının sıcaklık, nem ve kompozisyonuna, külün karakteristiklerine ve maksimum işletme sıcaklığına göre seçilmesi gerekir. Torba filtrenin maliyeti ESF'ye kıyasla düşük olmakla birlikte, filtrenin değiştirilmesinin gerekli olması, basınç kaybı nedeniyle daha yüksek güçte fan gerekmesi gibi nedenlerle dezavantajları vardır. Torba filtre malzemesinin aşınması yavaş olmakla beraber aşınma sonucunda filtre performansında fark edilebilir bir azalma meydana gelir.

Bu ekipman, içinde torba filtre sıraları bulunan bir veya daha fazla izole edilmiş kompartmandan oluşur. Gaz filtre yüzeyinden geçerken partiküller torba yüzeylerinde tutulur. Filtre uzun süreli filtreleme ve kısa süreli temizleme işlemi olmak üzere çevrimsel olarak çalışır. Torba filtreler temizleme işlemlerine göre sınıflandırılır: pulse jet (patlaçlı sistem) en çok tercih edilen torba filtre sistemidir. Her durumda partikül tutma verimi % 99 veya daha üzerinde olur.

Teflon, cam elyaf gibi sentetik filtre malzemeleri torba filtrelerin geniş bir uygulama alanı bulmasını ve filtre ömrünün uzamasını; ekipmanın modüler şekilde tasarlanması ve modüllerin izole olması işletmeyi durdurmadan bakım işinin sürdürülmesini sağlamıştır. Torba filtrelerin 1 µm'den küçük partikülleri tutma verimleri % 99.6'dan büyük görünmektedir. Kömürdeki kükürt oranı arttıkça ve filtreleme hızı yükseldikçe torba filtrenin ömrü azalmaktadır. Torba filtreler ESF'lere göre toz taneciklerinin öz direncinden daha az etkilenmektedir. ESF'lerin giderek kısıtlanan sınır değerleri karşılayamadığı ve ESF'lerin kapasitesinin arttırılmasının mümkün olmadığı durumlarda ESF ile birlikte de kullanılabilir. Torba filtrelerin yatırım maliyeti oldukça düşük olmakla birlikte, filtre malzemesinin 2 ila 5 yılda değişmesi gerektiğinden bakım maliyeti yüksek olmaktadır. Filtre değişiminin maliyeti yatırım maliyetinin en az % 10'u olmaktadır. (10d)

Bu filtrelerin dışında siklonlar, ıslak yıkayıcı sistemler gibi yöntemler de bulunmaktadır. Ancak siklonların tutma verimi tanecik boyutu küçüldükçe düşer, ince tozu tutamazlar. Dolayısıyla toplam verimleri % 30- 90 arasında değişebilir, bu nedenle diğer tutma teknikleriyle kullanılır. Islak yıkayıcıların ise sadece toz emisyonlarını kontrol etmek üzere kullanılması yaygın değildir; çoğunlukla partikül ve kükürt dioksit emisyonlarını birlikte arıtmak amacıyla kullanılır.

GAZ ATIKLAR: KARBON TUTMA, KULLANMA VE DEPOLAMA

İklim değişikliği ve buna bağlı olarak karbondioksit gazı emisyonlarının azaltılmasının en önemli konulardan biri haline gelmesi, yanma gazlarının içindeki CO₂ 'yi tutma, kullanma ve depolama (KTKD) konusundaki çalışmaların da üzerinde durulmasına yol açmıştır. 2015 yılındaki BMİDÇS 21.Taraflar Konferansı'nda kabul edilen Paris Anlaşması doğrultusunda küresel sıcaklık artışını 2°C'nin olabildiğince altında tutmak ve 1.5°C artışla sınırlamak olarak tanımlanabilecek hedefleri yakalamak için bu teknolojiye umut bağlanmaktadır. Bununla birlikte, karbon tutma tesisinin kömür santrali veriminin % 8-12 oranında azalmasına neden olacağı dikkate alınmalıdır.

Karbon Tutma prosesleri konusunda aşağıdaki kategorilerden söz edilebilir:

-Yanma öncesi

-Yanma sonrası

-Oksi- yanma

Yanma sonrası CO₂ Tutma

En yaygın CO2 tutma yöntemidir. Bunlar, elektrik santralleri haricinde çeşitli endüstriyel uygulamalarda yıllardır kullanılan tekniklerdir.

Yanma sonrasında CO2 gazını tutmak için şu yöntemler kullanılmaktadır:

- Kimyasal çözücüler: (Kimyasal reaksiyona dayalı): Amin bazlı çözücüler (MEA), metil dietanolamin (MDEA), diglikolamin, potasyum karbonatlı çözücüler vb.

- Fiziksel çözücüler: (Gazın çözünabilirliğine dayalı) Selexol, Rectisol

- Membran teknolojileri: Yüksek CO2 seçiciliği olan membran teknolojileri geliştirmek üzere pilot uygulamalar yapılmaktadır.

Halen dünyada kömür santrallerine sonradan ilave edilmiş iki büyük ölçekli Karbon Tutma tesisi vardır:

- 2014 yılında işletmeye alınan yılda 1 milyon ton CO2 tutma kapasiteli Boundary Dam/ Saskatchewan-Kanada; CO2 66 km'lik boru hattıyla üretilebilir petrolü arttırmak üzere gönderiliyor.

- 2017'de işletmeye alınan yılda 1.4 milyon ton kapasiteli Petra Nova Karbon Tutma Projesi Teksas/ABD; CO2 132 km'lik boru hattıyla üretilebilir petrolü arttırmak üzere iletiliyor. (14).

Bu tesislerde kullanılan KT teknolojisi de yanma sonrası proseslere dayanmaktadır. Amin bazlı çözücülerle CO2 tutma teknolojisi en gelişmiş ve yaygın olan prostir Bu alanda kullanılan çözücüler ve çözücülerin rejenerasyonu alanında geliştirme çalışmaları sürmektedir. Yanma sonrası KT teknolojisinin geliştirilmesi için test merkezleri kurulmuş olup, değişik firmalar bu test merkezlerinde teknolojilerini denemektedir.

Amin bazlı çözücüler birçok farklı endüstriyel yanma uygulamalarında da kullanılabilir. Söz konusu proses düşük sıcaklıkta amin çözeltisinin önce CO2'yi absorbe etmesi, sonra rejeneratörde orta düzeyde yükseltilmiş sıcaklıkta reaksiyonun tersine çevrilmesiyle CO2'yi salmasıdır. Bu şekilde çözelti tekrar kullanılmak üzere rejener edilmektedir.

Amin bazlı çözücünün bozunmaya uğramaması için yanma gazları SOx, NOx ve partikül tutucu sistemlerden geçirildikten sonra CO2 tutma prosesine girer. SOx konsantrasyonunun 20 ppmv'den az; NOx içeriğindeki NO2'nin amin solüsyonuyla reaksiyona girmesi nedeniyle NOx konsantrasyonunun da 10 ppmv değerinin altında olması beklenir. Ek olarak, CO2 soğurucusuna giren gazın sıcaklığı da 50° C'nin altında olmalıdır. Soğurucunun tepesinden atılan gaz normal olarak azot, oksijen, su buharı ve düşük konsantrasyonda CO2 içerir. Soğurucudan çıkan CO2-zengin çözelti ise ısı değiştiriciden geçirilerek rejenerasyon kolonuna gönderilir.

Amin bazlı çözeltinin CO2 tutma performansını koruyabilmesi için filtre edilmesi gerekir. Çözünürlüğü olmayan kirleticiler için mekanik filtre, çözünür kirleticiler için ise aktif karbon filtresi kullanılır. Ayrıca amin bazlı çözelti zamanla aktivitesini kaybedebileceğinden aktif kısmının ayrılması için arıtma işlemi yapılır. CO2 tutma için kullanılan proseslerden arasında seçici olarak CO2'yi ayıran geçirgen veya yarı geçirgen membran bazlı malzemeler de vardır. Geçirgenliği, termal ve fiziksel stabilitesi iyileştirilmiş, yanma gazları içindeki kirleticilere dayanıklı düşük maliyetli membranlar geliştirilmesi için Ar-Ge çalışmaları sürdürülmektedir.

Yanma Öncesi CO2 Tutma

Bu yöntem entegre gazlaştırma kombine çevrim teknolojisinde olduğu gibi kömürün gazlaştırılması ile elde edilen sentez gazından (H2 + CO), su gaz değişimi reaksiyonu sonucunda oluşan CO2'nin ayrıştırılması şeklindedir. Selexol ve Rectisol gibi fiziksel çözücüler on yıllardır kimya sanayinde kullanılmaktadır.

Oksi- yanma

Bu yöntemin farkı yanma için havanın değil, oksijenin kullanılmasıdır. Bu nedenle konvansiyonel teknolojilerden farklı olarak hava ayırma (Air Separation Unit /ASU) ünitesi ve buna bağlı üniteler bulunur. İlk nesil tasarımlarda hava ayırma ünitesi kriyojenik prosese dayanmaktadır. Oksijenin havadan bir oksijen taşıyıcı ile alınmasına dayanan Ar--Ge çalışmaları vardır.

Bu proste hava yerine oksijen kullanıldığı için yanma gazlarının hacmi % 75 oranında azdır. Yanma gazı hacminin az olması nedeniyle gazdaki safsızlıkları (SO₂, cıva, NO_x, partiküller) temizlemek daha maliyet etkindir. Zaten havadan gelen azotun ayrılmasıyla NO_x oluşumu büyük oranda düşecektir. Bu proste yanma gazı temizleme sistemleri, yani uçucu kül tutma, DeSO_x ve gerekli olursa DeNO_x sistemleri konvansiyonel kazanlardan farklı değildir. Arıtma sistemlerinden sonra yanma gazındaki su buharı yoğunlaştırılır ve CO₂ açısından zengin gaz elde edilir. Yanma gazını seyrelten azot bulunmadığı için, gazdaki SO₂, NO_x, CO ve partikül konsantrasyonları için verilen sınır değerler yeniden dikkate alınmalıdır.

Tutulmuş CO₂'nin üretilebilir petrol miktarını arttırmak için kullanılması veya jeolojik formasyonlarda depolanması söz konusudur. Bu amaçla kullanılmış petrol sahaları veya derin tuzlu su akiferlerinin uygun olacağı düşünülmektedir. Norveç'te Kuzey Denizi'nde bulunan Sleipner tesisi, endüstriyel ölçekte 20 yılı aşkın bir süredir işletilen güvenli bir depolama projesi örneği olarak gösterilmektedir. (Depolanan CO₂ doğal gaz sahasından gelmektedir.)

SIVI ATIKLAR

Santrallarda su ile ilgili işlemler temel olarak üç şekilde tanımlanabilir:

Su çekme: Nehir, göl, baraj gölü, deniz gibi herhangi bir yüzey suyundan alınarak santral su ihtiyacının karşılanmasıdır.

Su sarfıyatı: Çekilen suyun buharlaşması, atık su oluşturması veya alçı taşı gibi ürünlerle bağ kurması sonucunda kaynağına ya da su ortamına dönmesi mümkün olmayan kısımdır.

Su deşarjı: Orijinal kaynağına veya yeni bir su ortamına dönen sudur. Termik santrallarda çekilen su genel olarak kimyasal veya termik değişikliğe uğramış olarak deşarj edilir.

Santrallarda en fazla suya soğutma suyu sisteminde ihtiyaç duyulur. Santralların su ihtiyacı soğutma suyu sistemlerine göre değişmektedir. Açık çevrim olarak adlandırılan, soğutma suyunu taze su kaynağından alarak sistemde kullanıp daha yüksek sıcaklıkta geri veren sistemler suyu harcamamakla birlikte sudaki canlı yaşamını olumsuz etkilemektedir. Kapalı çevrim sistemlerinin yaş soğutma kulesi olarak adlandırılan tiplerinde, soğutma kulelerinde sıcaklığı düşürülen su tekrar sisteme dönmektedir. Bu sistemlerde taze kaynaktan çekilen su miktarı açık çevrime göre yüzde 95 oranında düşmekte, ancak soğutma kulelerindeki buharlaşma nedeniyle su kaybı oluşmakta ve eksilen su için taze su kaynağından yeniden besleme gerekli olmaktadır. Santralda su yönetiminin temel koşulu su sarfıyatını olabildiğince azaltmaktır.

Santrallarda atık su şu işlemlerden kaynaklanmaktadır:

-Soğutma suyu blöfleri

-Baca Gazı Kükürt Arıtma Tesisinden gelen sızılar

-Kazan blöfleri

-Ön Arıtma Sistemi ve demineralizasyon tesisinden gelen atık sular: durultucu çamur çıkışı, filtrelerin geri yıkama suları, rejenerasyon suları ve veya ters ozmoz ünitesi atık suları

- Kazan altı suları

-İçme-Kullanım suyu

-Dış ortamdaki yüzey suları; örneğin kömür depolama sahasından gelen sular vb

Demineralizasyon tesisinden gelen rejenerasyon suları nötrale edilmektedir. Bir kısmı mümkün olduğu ölçüde santralin başka kısımlarındaki su ihtiyacını karşılamak için kullanılır; Örneğin,

-Askıda katı madde içeren filtre geri yıkama suları, kazan altı suları, çöktürme işlemine tabi tutulup rejenerasyon atık suyu ve ters ozmoz atık suyu ile birlikte kül ıslatma /kül yayma işleminde kullanılabilir;

-Soğutma kulesi, kazan blöf suyu doğrudan Baca Gazı Arıtma tesisinde ham su kaynağı olarak kullanılabilir.

Birçok santralde atık sular, hatta dış ortamdan kaynaklanan sular arıtılarak BGD sistemlerinde kullanılabilir; kullanma suyunun atıkları ise biyolojik arıtma tesislerinde arıtmakta ve tesiste çevre/ peyzaj alanlarında sulama amacı ile tüketilebilmektedir.

Santralin su ihtiyacını azaltmak için alınan önlemler arasında,

-Kuru soğutma kulesi

-Kuru BGD prosesleri kullanılması söz konusu olabilir.

Ancak bunların da dezavantajları olduğu unutulmamalı, örneğin kuru BGD prosesinin su ihtiyacını % 60 gibi bir oranda azalttığı belirtilse de SO₂ arıtma veriminin de daha düşük olduğu dikkate alınmalıdır. Kuru soğutma kulelerinde de buharlaşma ile su kaybı olmamakla birlikte sıcak havalarda performans düşmektedir. Bu tür hususlar proje bazında değerlendirilmelidir.

Sıvı atıkların deşarjına getirilen sınırlamalar dünyada sıfır sıvı deşarj (Zero Liquid Discharge) uygulamalarının geliştirilmesine yol açmıştır. Sıfır Sıvı Deşarjına dayanan sistemler, atığın içeriğine, miktarına bağlı olarak aşağıdaki üniteleri kapsar:

-Çöktürme havuzu: Suyun sertliğinin alınması, kum vb maddelerin çöktürülerek alınması,

-Kimyasal verilmesi: Çöktürmeyi, asıltı haldeki katıların flokülasyonu veya koagülasyonunu arttırmak amacıyla,

-Ultrafiltrasyon: Eser miktardaki asıltı katıların tutmak ve kirliliği, birikimi ve korozyonu önlemek için,

-Ters ozmoz: Çözünmüş katıların uzaklaştırmak için,

- Yoğuşturma, buharlaştırma: Atığın hacmini azaltmak için,

- Kristalleştirme: Atığı kuru, katı kek halinde bertaraf etmek amacıyla.

KATI ATIKLAR

Kömür santrallerinden kaynaklanan katı atıkların niteliği ve miktarı kullanılan kömürün özelliklerine ve arıtma teknolojilerine bağlı olup, kazandan çıkan taban külü veya cüruf, ESF/torba filtrelerde toplanan uçucu kül ve BGD tesisinden kaynaklanan alçı taşı olarak gruplandırılabilir. Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde genel olarak enerji santrallerinden kaynaklanan atıklar 10.01 kodu altında sıralanmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayımladığı Sektörel Atık Kılavuzları, Termik Santraller başlıklı çalışmada konvansiyonel kömür santrallerinden kaynaklanan proses atıkları aşağıdaki şekilde sınıflandırılmakta olup, söz konusu proses atıklarının bertarafı için sırasıyla geri kazanım, ön işlem, yakma ve düzenli depolama seçeneklerinin dikkate alınması gerektiği belirtilmekte ve "Mevcut en iyi teknikler" konusunda açıklamalar yapılmaktadır. (15 a,b)

-Kullanılmış aktif karbon 06 13 02 (gaz arıtmada kullanılan)

-Dip külü, cüruf ve kazan tozu 10 01 01 : (10 01 04'ün altındaki kazan tozu hariç)

-Uçucu kömür külü 10 01 02

-Baca gazı kükürt giderme işleminden (desülfürizasyon) çıkan kalsiyum bazlı katı atıklar 10 01 05

-Baca gazı kükürt giderme işleminden (desülfürizasyon) çıkan kalsiyum bazlı çamurlar 10 01 07

-Sülfürik asit 10 01 09 (EGKÇ'de sentez gazının arıtılması sonucu)

-Doymuş ya da kullanılmış iyon değiştirme reçinesi 19 09 05

-Endüstriyel atıksuyun diğer yöntemlerle arıtılmasından kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren çamurlar 19 08 13

-19 08 13 dışındaki endüstriyel atıksuyun diğer yöntemlerle arıtılmasından kaynaklanan çamurlar 19 08 14

Bunların yanı sıra, proses dışı atıklarla ilgili bilgiler de yer almakta olup, atıklar ve bertaraf yöntemleri Atık Yönetmeliği, Ekleri ve Kılavuz çerçevesinde proje bazında değerlendirilmelidir.

BREF 2017 dokümanında uçucu kül ve taban külünün beton katkı maddesi, yol yapımı, çevre düzenleme, seramik sanayi, baraj yapımı, zemin stabilizasyonu, maden sahalarının ıslahı gibi kullanma alanları olduğu, alçı taşının da konstrüksiyon ya da kağıt sanayinde dolgu maddesi olarak kullanılabileceği belirtilmektedir. Ancak söz konusu katı atıkların içinde metaller, radionüklidlere kadar varabilen maddeler bulunabildiği dikkate alınmalıdır.

Söz konusu atıkları atık depolama sahasında muhafaza etmek yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla alınan önlem, depolama sahasını geçirimsizliği sağlayacak şekilde hazırlamak ve gerek tozmayı engellemek gerekse yeraltı sularına karışmasını önlemek için, santralin işletme dönemi sonrası da dahil olmak üzere, düzenli olarak kontrol etmektir.

Kül depolama sahalarında,

-Kül barajının duvarının yıkılması sonucunda ıslak külün çevreye yayılması

-İnce taneli malzemenin yeterince ıslatılmamış olması ve rüzgarlı hava koşullarına maruz kalması halinde meydana gelen tozuma türü sorunlarla karşılaşılabilir.

İyi yönetilmeyen atık sahalarının yarattığı, sudaki canlıların ölümüne neden olan, solunabilir uçucu kül ve eser maddeler nedeniyle insan sağlığına zarar veren kazaların ABD ve Çin'de yaşandığına ilişkin örnekler vardır. Bu örnekler düzenli depolama sahalarının tasarımı ve yapımı kadar işletmeciliğinin de önemli olduğunu göstermektedir.

Kömür doğal yapısı gereği uranyum, toryum ve bunların bozunmasından kaynaklı radyoaktif maddeleri de içermektedir. Yanma sırasında bu maddelerin bir kısmı gaz fazına geçerken bir kısmı da katı yanma ürünlerinin içeriğinde kalmaktadır. Bu durum maddenin kimyası ve buharlaşma özelliğine bağlıdır. Örneğin uranyum, toryum gibi daha az buharlaşabilir olanlar ve bunların bozunmasından kaynaklanan maddelerin önemli bölümü katı atıklarla atılmaktadır. Cıva, arsenik, selenyum gibi diğer buharlaşabilir maddelerde olduğu gibi, BGD tesislerinin radyonüklidlerin de salımını azaltabileceği belirtilmektedir. Sızıntıyı etkileyen önemli parametrenin pH olduğu, asitliği yüksek (pH <4) veya yüksek alkali özelliği gösteren ortamların radyoaktif elementlerin sızma özelliğini arttırabildiği belirtilmektedir.(16)

ABD Çevre Ajansı EPA, iyi yönetilmediği takdirde özellikle kaplama yapılmayan sahalarda atıkların sızması sonucunda toksik maddelerin yeraltı suyu veya yüzey sularına, dolayısıyla organizmalara geçebildiğine dair veriler olduğu fikrindedir.

Bazı araştırmalar sızıntı düzeyini şu faktörlere bağlamaktadır:

-Atık havuzu/barajının boyutu, derinliği, atıkların yarattığı basınç,

-Depolama sahasının jeolojisi; alttaki toprak ve kaya tabakasının tipi,

-Sahanın eğimi,

-Depolama sahasının altındaki yeraltı su tabakası ve yeraltı akıntısının ne kadar uzakta olduğu.

Ayrıca sızıntı kimyasal açıdan da etkilenebilmektedir. Kömürdeki mineral maddeler yanma sırasında ve sonrasında bir dizi dönüşüme girmektedir: Ayrışma (decomposition), buharlaşma, ergime, topaklaşma ve yoğunlaşma gibi... Yanma gazları soğudukça As, B, Hg, Cl, Cr, Se ve özellikle S gibi buharlaşabilir

elementler kül taneciklerinin yüzeyinde yoğunlaşmaktadır. Örneğin arsenik tipik olarak uçucu kül taneciklerinin yüzeyinde yoğunlaşır, bu nedenle ilk sızması beklenen maddelerdendir. Buna karşılık kalsiyumun varlığı çökmeye neden olduğundan arseniğin sızmasını sınırlandırır.

Kül depolama sahalarının geçirimsizliğini sağlamak önemli bir konudur. Bu konuda kullanılan yöntemler

-Kaplama sistemi

-Sızıntı toplama sistemleri

-Yeraltı suyu izleme,

-Ön arıtma sistemleri

olarak sıralanabilir.

Kaplama kül barajı veya düzenli depolama sahalarından çevreye sızıntı olmasını engellemek için kullanılır. Kaplamalar, kompakt toprak, kompakt kil, sentetik malzemeler, membranlar veya bunların birlikte kullanıldığı katmanlı sistemlerden oluşur. EPA'nın sadece kil tabakasına dayalı kaplamanın arsenik ve talyum ile boron, molibden gibi elementlerin sızması açısından riskli olduğuna dair saptamaları vardır.

Sentetik kaplama türleri arasında en yaygın olanlar Polivinil klorür (PVC) ile Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) kaplamalardır. Bunlar aynı zamanda delinmelere karşı geotekstil malzemelerle de desteklenmektedir. Çoğu depolama sahasında geomembran ile geosentetik kil katmanların birlikte uygulandığı kompozit kaplamalar kullanılmaktadır. Asitli atıkların bazı sentetik malzemelere zarar vermesi olasılığı vardır. Malzemenin yanı sıra, depolama sahasının yapımında yüzey hazırlama, kaplama katmanlarının yerleştirilmesi, sızıntı toplama sistemlerinin yerleşimi vb. alanlardaki mühendislik hizmetleri de sızdırmazlığın sağlanması açısından çok önemlidir. Sızıntı suyu niteliğine bağlı olarak işleme tabi tutulur veya bertaraf edilir. Ayrıca sahanın işletilmesi safhasında ve sonrasında yeraltı suyu kalitesinin izlenmesi gerekli olup, izleme noktalarının seçimi de önemlidir.

Kömürün yanmasından kaynaklanan eser elementler

Kömürün yanması sonucunda çevreye eser elementler de yayılmaktadır. Bu elementlerin bazıları yanma esnasında buharlaşabilmekte, ya da partiküllerin yüzeyine tutunmaktadır.

Çevre ve insan sağlığı açısından dikkatli olunması gereken eser elementler aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir:

-En çok dikkat edilmesi gerekenler: As, B, Cd, Hg, Pb, Se

-Orta düzeyde olanlar: Cr, Cu, Ni, V, Zn

-Daha az önemli: Ba, Co, Ce, Li, Mn, Sb, Sr

-Dikkatli olunması gerekip çok düşük miktarda olanlar: Be, Sn, Te, Tl

En fazla dikkat gerektirenler ve Zn yarı buharlaşabilir elementlerdir.

Yanma esnasında, kömüre, yanma koşullarına, buharlaşma-yoğuşma mekanizmalarına külün tanecik boyutuna bağlı olarak eser elementler taban külü veya cüruf, uçucu kül ve atmosferik emisyonlar arasında gruplaşır. Bunların katı atık depolama sahalarından sızma olasılığı da vardır. Birçok araştırma sonucunda As, B, Be, Cd, Cr, Li, Mo, Pb, Sb, Sn, Ta, Tl, U, V ve W elementlerinin kısmen katı atıklarda kaldığı, buna karşılık Hg ve Se elementlerinin öncelikle atmosfere salındığı düşünülmektedir.

ESF ve torba filtrelerin As, Cd, Cr, Ni, ve Pb elementlerini tutmakta da etkili olduğu saptanmıştır. Partikül tutma ekipmanları ile BGD ünitelerinin birlikte eser elementleri tutma konusunda da etkili olduğunu gösteren çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca bazı soğurucular kullanılarak eser elementlerin daha etkin tutulduğunu gösteren uygulamalar da vardır. Örneğin genelde civayı tutmak için kullanılan aktif karbonun potansiyel olarak arseniği tutma konusunda da etkili olduğu düşünülmektedir. NOx kontrol sistemlerinin eser elementlerin kontrolü üzerinde bir etkisi olmamakla birlikte arseniğin SCR

sistemlerinde katalizörlerin zehirlenmesine, böylelikle kış sürede katalizörün etkisini yitirmesine neden olduğu belirtilmektedir. Kömürün yanması sırasında eser elementlerin durumu, gaz fazında bulunmaları veya katı atıklara tutunmalarına ilişkin mekanizmalar, ayrıca katı atık depolama sahalarındaki sızıntılarıyla ilgili araştırmaların sürdüğü belirtilmektedir (17).

Deneyler sonucunda ortaya çıkan bazı bulgular şöyledir:

-Yanma gazlarındaki cıva miktarı kömürün içindeki klor ve kalsiyum miktarına bağlıdır. Klor gaz halindeki cıvanın artmasına neden olmakla birlikte ıslak BGD tesisinde HgCl₂ halinde tutulmasını da kolaylaştırmaktadır. Kalsiyum ise cıvanın ESF'de tutulmasını arttırmaktadır.

-Metallerin uçucu külün yüzeyine tutunması kömürün kimyasal kompozisyonuna değil, kazan yüküne bağlıdır; en fazla yüze tutunma maksimum yükte meydana gelmektedir.

EGKÇ ünitelerinde ise, kaynama noktası yüksek, uçuculuğu düşük metaller camsı hale gelmiş cürufta kalmakta, uçuculuğu yüksek olanlar ise sentez gazının temizlenmesi aşamasında yoğunlaşmakta ve tutulmaktadır. (10e)

DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇLAR

■ Kömürün yanmasından kaynaklanan kirleticilerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri ortaya çıktıkça, bir yandan bu kirleticilerin önlenmesine veya azaltılmasına ilişkin teknik ve teknolojiler geliştirilmiş, bir yandan da söz konusu kirleticilerin alıcı ortamdaki sınır değerleri giderek kısıtlanmıştır. Bununla birlikte, bu etkiler tamamen ortadan kaldırılamadığı gibi, ortaya çıkan çevre ve sağlık sorunlarına bağlı olarak önlem alınması gereken kirletici parametrelerin sayısı da artmaktadır.

■ **Esas olarak kömürün geleceğini alternatif kaynaklardaki gelişmeler belirleyecek gibi görünmektedir.** Günümüzde enerji sistemlerinin başta solar FV ve rüzgar olmak üzere giderek maliyetleri düşen yenilenebilir enerji kaynaklarının başat olduğu bir sisteme doğru dönüştüğüne dair savlar giderek ağırlık kazanmaktadır. Bu kaynakların kullanılması aynı zamanda merkezi sistemler yerine dağıtık enerji sistemlerini, kesikli kaynak olmaları da enerji depolama teknolojilerini gündeme getirmektedir.

Bu süreçte bugüne kadar baz yük santralleri olarak kabul edilen doğal gaz ve kömür santrallerinin bu esnek elektrik sistemine entegre olması beklenmektedir. Esneklik devreye alma ve devreden çıkma sıklığının artması, yük alma ve atma hızının yükselmesi anlamına gelmektedir. Kömür santrallerinin bu esneklikte çalışması kolay değildir.

■ **Sanayileşmiş Batı ülkelerinde kömürden uzaklaşma eğilimi vardır; kömür santrallerinden elektrik üretimi daha çok Çin ve Hindistan gibi enerji ihtiyacı hızla artan ülkelerde öne çıkmaktadır.** İklim değişikliği ve diğer kirleticiler nedeniyle daha düşük karbonlu enerji sistemlerine geçiş hedefleri doğrultusunda kömüre dayalı elektrik üretim yatırımlarında gerileme olduğu, ayrıca bunların finansmanının zorlaştığı görülmektedir.(18 a,b)

Avrupa Birliği'nde karbon emisyonlarının düşürülmesi politikalarına ve diğer emisyonların limitlerinin oldukça düşük değerlere indirilmesine bağlı olarak Avrupa'daki elektrik kuruluşlarının birliği olan EURELECTRIC tarafından Nisan 2017'de "2020'den sonra kömür santralı yatırımı yapılmayacağı"na ilişkin bir inisiyatif başlatılmıştır. Polonya ve Yunanistan inisiyatife katılmamıştır. AB'de henüz 8 ülkenin 2030 yılına kadar kömüre dayalı elektrik üretimine kademeli olarak son vermeyi amaçladığı belirtilmekte, Avrupa'daki en büyük kömür tüketicisi olan Almanya 2038'e kadar kömüre dayalı üretimi sonlandırmayı planlamaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı yayınlarında Paris Anlaşması'nda konulan hedeflere ulaşmak için Karbon Tutma, Kullanma ve Depolama Teknolojilerine vurgu yapılmakla birlikte şu ana kadarki gelişmeler yeterli görünmemektedir. Bu teknolojiler maliyetleri arttırmanın yanı sıra, özellikle kömür santrallerinde SK ve USK teknolojilerle elde edilen verim artışlarını da düşürmektedir.

UEA'nın Sürdürülebilir Kalkınma Senaryosu'nda 2040 yılında toplam 210 GW kapasitesinde kömür santralının işletmede olacağı ve 1300 TWh ile elektrik üretiminin % 3.5'unu üreteceği varsayılmakta,

Karbon Tutma teknolojisi olmayan kömür santrallerinin düşük kapasitede çalışacağı ve sadece 700 TWh üretim yapacağı öngörülmektedir. Daha ziyade Çin'deki genç kömür santrallerinin işletmede kalacağı düşünülmektedir.

■**Türkiye’de Çevresel Etki Değerlendirmesi süreci siyasi otorite/kamu otoritesinin baskısı altında ilerlemektedir.**

Enerji yatırımlarının mutlak ihtiyaç olarak ileri sürülmesi, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın “*Yerli kömürü sonuna kadar kullanacağız*” yönündeki ısrarlı politikası sonucunda bu türden projelerde ÇED süreci sadece yerine getirilmesi gereken bürokratik bir aşama olarak görülmekte ve olumlu görüş verilmesi adeta zorunlu hale gelmektedir. Bakanlığın söz konusu ısrarının herhangi bir planlamaya dayalı olduğunu söyleyebilmek de mümkün değildir.

Türkiye sadece enerji kaynakları açısından değil, bu tür projelerde teknoloji ve finansman açısından da dışa bağımlıdır. Kömür santralı yatırımları konusunda batı bankalarından kredi bulunması güçleşebilecektir. Nitekim artan sayıda yabancı finans kuruluşu kömür santrallerine verecekleri kredilere kısıtlama getirmeye başlamıştır. Diğer sorun ise teknolojik bağımlılıktır. Ülkemizde teknoloji üretmeye yönelik politikaların ve kapasitenin zayıf olması, ayrıca sektörün ticarileştirilmesi-özelleştirilmesi safhasında deneyimi ve bilgisi olmayan firmaların sektöre yatırım yapması nedeniyle, gerek teknoloji seçimi ve seçilen teknolojiye hakimiyet gerekse ithal edilen santralin teknik gerekliliklere uygun olarak işletildiği konusunda soru işaretleri vardır.

Kaldı ki, projelendirme safhasında yüksek verimli santral teknolojisinin seçilmesi ve/veya artırım sistemlerinin santral projesine dahil edilmesi, işletme sürecinde de aynı performansın sağlanacağını göstermemektedir. Bunun için yeterli bir proje yönetiminin yanı sıra, nitelikli bir işletme-bakım yönetiminin de sağlanması gerekmektedir.

■Bu gereklilik bizi “izleme ve denetim” meselesine yönlendirmektedir. Türkiye’de yayınlanan yönetmeliklerin ne kadar hayata geçtiği, uyulup uyulmadığının denetlendiği belli değildir. Bu konuda kurumsal kapasite ve altyapı eksikliği kadar en başta siyasal otoritenin yasal belgelere ve kurallara uyulmamasının yolunu açmasının da rolü vardır. 2019 yılı başlarında, daha önce özelleştirilmiş olan santrallerin çevre ile ilgili yükümlülüklerinin ertelenmesine yönelik girişim kamuoyundan gelen tepkiler nedeniyle ve muhtemelen seçim öncesi döneme denk geldiği için ötelenmiştir. Ancak 19.07.2019 tarih, 30836 sayılı Resmi Gazete (Mükerrer)’de yayımlanan 7186 sayılı “**Gelir Vergisi Kanunu ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun**” un 32. Maddesi ile Elektrik Piyasası Kanunu’na eklenen Geçici 26. maddede özelleştirilen (bazı) termik santrallerin çevre yükümlülüklerinden 3 yıl daha muaf tutulmasına dair kapalı ifadeler bulunmaktadır:

"MADDE 32 – 6446 sayılı Kanuna aşağıdaki geçici madde eklenmiştir.

"Sözleşme süre uzatımı ve devir

GEÇİCİ MADDE 26 – (1) Bu maddenin yürürlüğe girdiği tarihten önce; 5 inci maddenin onikinci fıkrası ve ilgili mevzuatı kapsamında yarışması yapılan ve bu maddenin yürürlüğe girdiği tarih itibarıyla devam eden ilgili sözleşmeler ile 18 inci maddenin beşinci fıkrası kapsamında özelleştirme ihalesi yapılan ve bu maddenin yürürlüğe girdiği tarih itibarıyla devam eden yenilenebilir enerji kaynakları veya yerli kömüre dayalı elektrik üretim tesisi kurulması amacıyla yapılmış Devir Sözleşmeleri ve Elektrik Satış Anlaşmaları kapsamındaki hak ve yükümlülükler için öngörülen süreler, bu maddenin yürürlüğe girdiği tarihten itibaren otuz altı ay süreyle uzatılır. Bu madde kapsamında uzatılan süre içerisinde talepte bulunulması hâlinde ilgili sözleşme/anlaşma (proje şirketi bünyesinde hisse devri de dahil) devredilebilir. Bu durumda devir alacaklarda teknoloji sağlayıcı koşulu hariç ilk yarışmadaki/ihaledeki şartlar aranır. Ancak devirden kaynaklanan kısıtlama ve yaptırımlar uygulanmaz. Devir nedeni ile idareden herhangi bir hak talebinde bulunulamaz. Bu kapsamda devredilecek sözleşmelerden damga vergisi alınmaz.

(2) Birinci fıkra kapsamında düzenlenen sözleşmeler/anlaşmalar özel hukuk hükümlerine tabidir. Anılan sözleşme/anlaşmalarda; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı onayı ile sözleşme konusu ve bedelini değiştirmemek ve finans sağlayıcıların haklarına ilişkin hususlarla sınırlı kalmak kaydıyla, idarenin fesih hakkının ötelenmesi de dahil olmak üzere taraflarca değişiklik yapılabilir. Bu fıkra hâlihazırda imzalanmış sözleşme/anlaşmalar hakkında da uygulanır."

Bu ve benzeri girişimler İdare'nin güvenilirliğini zedelemenin yanı sıra, yasal hükümlerin, Anayasa Mahkemesi kararlarının bizzat siyasi otorite tarafından ciddiye alınmadığını göstermektedir.

■ Ülkemizde termik santrallerin çevresel etkileri konusunda yeterince araştırma yapılmadığı; başta kömür santralleri olmak üzere termik santrallerin çevresinde hava, toprak ve su üzerindeki etkileri ile ilgili araştırmaların zenginleştirilmesinin, çevre ile ilgili kamu birimlerinin bu konuda üniversitelerle işbirliğini arttırmasının gerekli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bu konuda alınacak önlemlerin gerek düzenleme gerekse denetleme açısından geliştirilmesi için yeterli veri ve envantere ihtiyaç vardır.

Örneğin Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü tarafından desteklenen ve Ekim 2002'de yapılan bir çalışmada Çayırhan santral çevresinden alınarak incelenen toprak örnekleri için,

"Kuzey doğu yönü topraklarının (7 nolu örnek hariç) hepsinde dikkati çeken S bulaşması olup önemli düzeyde bir kirlenme söz konusudur. Güney doğu yönünden alınan 8, 9, 19, 20, 21, 22 ve 27 nolu örneklerde de olası S kirlenmesi söz konusudur, diğer örnekleme noktalarının topraklarında ise ciddi şekilde S kirlenmesi belirlenmiştir. Hâkim rüzgâra ters olan kuzey batı yönü örneklerinde de olası S kirlenmesi kritik değeri olan 20 mg kg-1'in üzerinde S belirlenmiştir ve bu alanlarda da uzun süreli araştırma yapılması gerekmektedir." denilmekte, santral öncesi dönemlere ait veriler bulunmadığına işaret edilerek ülkemizde mevcut olmayan izleme ağının bütün risk bölgelerinde oluşturulması ve zamansal izleme verilerinin elde edilmesi gerektiği belirtilmektedir. (19)

DPT tarafından desteklenen ve Yatağan Termik santral civarında ölçüm yapılan bir projede de *"Toprakların toplam ağır metal kapsamları incelendiğinde genelde santralin güney, güney batısı ve kuzeybatısındaki topraklarda ağır metal içeriğinin yüksek bulunduğu ve bu değerlerin santrale olan uzaklığa değil hâkim rüzgâr yönlerine bağlı olduğu belirlenmiştir."* denilmektedir. (20) Bu ve benzeri saptamalar kömür santrallerinin çevresinde fiili duruma ilişkin bilimsel araştırma ve çalışmaların arttırılması ve zenginleştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

■ Hava kalitesi açısından insan sağlığı için daha büyük sorun olan 2,5 mikrondan küçük partiküllerin ülkemizde kontrolünün yapılmadığı, bunun mevzuatta bile yer almadığı bilinmektedir. Bu konuda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın, ETKB ile birlikte bir program oluşturması ve yaşama geçirmesi gereklidir.

■ Kömür santrallerinin yarattığı önemli bir kirlilik de ağır metal kirliliğidir. Ağır metallerden cıva hava, su, toprak ve ekosistemlerde dolaşmakta olup, özellikle deniz canlılarında birikme riski vardır ve dünyada kömür santrallerinin yarattığı önemli çevresel etkilerden biri olarak görülmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından özellikle kömür santrallerinin bulunduğu yerlerde cıva ve ağır metallerin ölçümleri ve takibine ilişkin çalışmalar yapılmalı, mevcut kirlilik olan yerlerde yeni santrallara ÇED vb. izin verilmeden önce ağır metal kirliliği dikkate alınmalıdır.

■ Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından kömür santrallerinin kül depolama alanlarının çevresinde ve yer altı sularında izleme programları yürütülmelidir.

■ Araştırmaların yoğunlaştırılması ve fiili duruma ilişkin verilerin elde edilmesi, bu bilgilerin kamuoyuyla paylaşılması süreci ile birlikte yürümelidir. Termik santrallerin yarattığı kirlilik açısından temsili olmayan bilgilerin kamuoyuna açık olması şeffaflık anlamına gelmemektedir.

■ Enerji temininde yerli kaynakların payının artması yönündeki politikalar, insan sağlığını ve yaşamını hiçe saymanın ve çevresel sorunları ağırlaştırmanın bir gerekçesi olmamalıdır.

Yerleşim yerlerinin yakınında hatta içinde, yüksek kapasitede kömür santralının bulunduğu, dolayısıyla ön kirliliğin yoğun olduğu yerlerde mevcut durumdaki kirlilik yükü dikkate alınarak yeni santrallara izin verilmemelidir. Aralarında Türk Tabipler Birliği, Türk Toraks Derneği gibi kuruluşların da bulunduğu Temiz Hava Hakkı Platformu tarafından 2019 yılında ikincisi yayımlanan **"Türkiye'de Hava Kirliliği: Kara Rapor"**da vurgulananlar arasında aşağıdaki hususlar yer almaktadır:

-Hava kirliliği konusunda veri güvenliğinin geliştirilmesi ve verilerin doğru ve güncel olarak halka sunulması için ölçümlerin yapılacağı yerlerin seçilirken uygun modelleme yöntemlerinin kullanılması,

-Mevcut durumda pilot uygulama olarak ölçümleri yapılan PM2.5 ölçümlerinin tüm ülke çapında yaygınlaştırılması ve Dünya Sağlık Örgütü'nün önerdiği değerler ile uyumlu yasal limitler konusunda hızla bağlayıcı mevzuatın kabul edilmesi,

-Hava kirliliği ile ilgili tüm veri kaynaklarının kamuoyuna açıklanması ve akademik çalışmalar için kolaylıkla ulaşılabilir olması,

-Endüstriyel yatırımların izin süreçlerinde yatırımcılardan istenen "Çevresel Etki Değerlendirmesi Raporu" nun yanı sıra, "Sağlık Etki Değerlendirmesi Raporu" nun hazırlanması, özellikle hava kirliliği nedeniyle oluşan sağlık etkileri, yaşanacak erken ölümleri ve iş gücü kaybının modellenerek hesaplanmasının istenmesi,

-Hava kirliliğinin en önemli kaynaklarından kömüre dayalı enerji üretiminin teşvik edilmesine son verilmesi.(21)

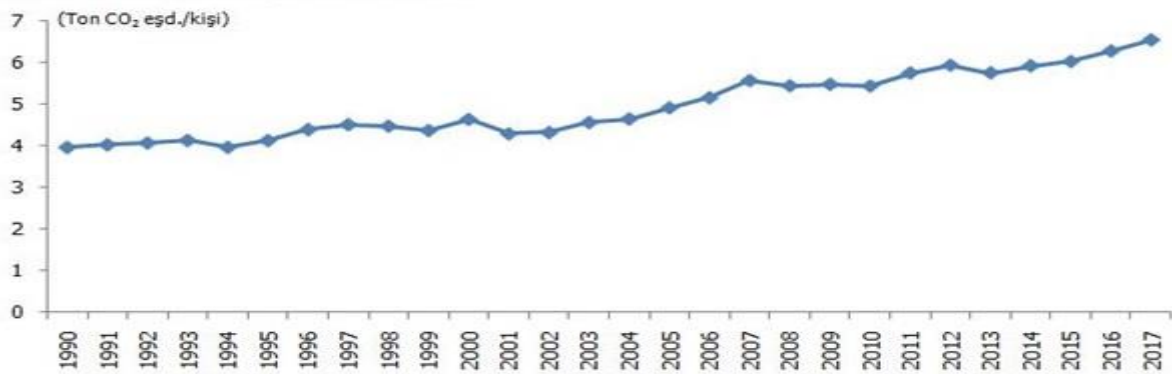
Kaldı ki, kömürün sadece santrallarda kullanılması değil, kömür madenciliği de ciddi sorunlar yaratmaktadır. Siyasal iktidarın yerli kaynakların üretimdeki payının artırılması yönündeki politika bildirimlerinin uygulamaya geçişi genel olarak kamudaki kaynak yetersizliğini gerekçe göstererek kömür sahalarının ruhsatlarını bölerek özel sektöre vermek şeklinde olmaktadır. Özel sektör tarafından işletilen kömür sahalarında yaşanan facialar ise hafızalardadır. Afşin-Elbistan santralına kömür sağlayan Çöllolar açık maden işletmesinde 2011 yılında arka arkaya meydana gelen ve 11 kişinin milyonlarca ton toprak yığını altında kalmasına neden olan toprak kayması, Soma'da 2014 yılı Mayıs ayında 301 madencinin yaşamını kaybettiği facia unutulmamıştır.

■**Türkiye'nin sera gazı emisyonları artmaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi, bu artışta enerji kaynaklı emisyonların payı önemlidir.**

TÜİK tarafından 11 Nisan 2019 tarihinde yayımlanan istatistiklere göre 2017 yılında toplam sera gazı emisyonu 526,3 Mt CO₂ eşdeğeri olmuş, 2017 yılı emisyonlarında CO₂ eşdeğeri olarak en büyük payı %72,2 ile enerji kaynaklı emisyonlar almıştır (Şekil 6).

CO₂ eşdeğeri olarak 2017 yılı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılına göre %140,1 artış göstermiştir. 1990 yılında 4 ton/kişi olarak hesaplanan kişi başı CO₂ eşdeğer emisyonu, 2017 yılında 6,6 ton/kişi olarak bulunmuştur.

Kişi başı sera gazı emisyonu, 1990-2017



Şekil 6. Türkiye’de kişi başı sera gazı emisyon artışı 1990-2017 [Kaynak 22, TÜİK]

Toplam CO₂ emisyonlarının 2017 yılında % 34’ü elektrik ve ısı üretiminden olmak üzere % 86,3’ü enerjiden, %13,4’ü endüstriyel işlemler ve ürün kullanımından, %0,3’ü ise tarımsal faaliyetler ve atıktan kaynaklanmıştır.(22)

BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında ülkelerin sera gazı emisyonlarının ele alındığı envanterlerde Türkiye Ek 1 ülkeleri arasında 1990-2016 yılları arasındaki sera gazı emisyon artışında

(Arazi Kullanımı, Arazi Kullanımı Değişimi ve Ormancılıktan oluşan yutak hariç ve dahil gruplandırmalarda) yüzde 135.4 oranı ile birinci sıradadır.(23) Bu grupta genel olarak kişi başı sera gazı emisyon değerleri yüksek olan, sanayileşmiş ülkeler bulunmakla ve Türkiye'nin kişi başına düşen sera gazı emisyonları sanayileşmiş ülkelere göre az olmakla birlikte, ülkemizdeki siyasal iktidar(lar)ın bu konuda ileri sürdüğü "Kalkınmaya ihtiyacımız var" söylemi giderek inandırıcılığını yitirmektedir. **Kalkınma ihtiyacı gerekçesiyle mazur gösterilmeye çalışılan sera gazı emisyonlarının bu ülkenin yurttaşlarına ne olarak geri döndüğünün sorulması ve sorgulanması gereklidir.**

■ **Santral yatırımlarında enerji ve su ilişkisi dikkate alınmalıdır.** Enerji ve iklim değişikliği ilişkisi sadece fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan CO2 salımının iklim değişikliğine neden olması gibi tek yönlü bir ilişki değildir; tersi yönde iklim değişikliğinin de enerji kaynakları ve enerji üretimi üzerinde etkilerinin ortaya çıkması söz konusudur. Özellikle hidrolik kaynakların elektrik üretiminde önemli bir payının olduğu ve santralların su ihtiyacı göz önünde bulundurulursa Türkiye'nin iklim değişikliği ve enerji meselesini iki yönüyle dikkate alarak planlama yapması gereklidir.

İklim değişikliğinin etkisi nedeniyle dünyada su kaynakları risk altındadır. Yakın gelecekte elektrik sektöründe su temini de ana sorunlardan biri haline gelebilecektir. Nitekim ülkemizde de santralların yapımı sırasında su kaynaklarının kullanılması konusunda yöre halkı ile gerginlikler yaşanabilmektedir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) kapsamında 2018 yılında yayımlanan Türkiye Yedinci Ulusal Bildirimi'nde şu ifadeler yer almaktadır:

"Türkiye kişi başına düşen su miktarı bakımından su zengini bir ülke değildir. Ülkeleri kişi başına düşen su potansiyeli açısından sınıflandıran Falkenmark endeksine göre, Türkiye kişi başına düşen yıllık 1.0001.500 m3 su potansiyeline sahip olduğu için "su stresi" olan bir ülkedir ve kişi başına düşen su miktarı dünya ortalamasının altındadır.

Aynı endeks dikkate alındığında, ülkedeki kişi başı su 1.000 metreküpün altına düşerse, ülkede su kıtlığı olacaktır. Bu durum ışığında, Türkiye yakın gelecekte su kıtlığı riski altında olacaktır (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2009; Türkiye Su Enstitüsü, 2017). (24)

Dünyada kuraklık yaşandığı yıllarda su sorunu nedeniyle, santralların devre dışı kalması vakaları yaşanmış, bunların arasında soğutmanın çok önemli olduğu nükleer santrallar da yer almıştır. Kömür santralları ve nükleer santrallar en fazla su kullanan santrallardır. Buna karşılık, solar fotovoltaik ve rüzgar enerjisi su kullanımı açısından en etkin kaynaklardır. Enerji yatırımlarında düşük karbonlu ve verimli teknolojilerin yanı sıra suyun etkin kullanılması da dikkate alınmalı, enerji sistemi hava koşullarındaki aşırı değişikliklere ve su temininden kaynaklanan risklere karşı dirençli hale getirilmelidir.

Sonuç olarak, Türkiye sadece enerji kaynakları açısından değil, teknoloji ve finans kaynakları açısından da dışa bağımlıdır. Bu durum genel olarak enerji ve özelde elektrik sektöründe planlamanın önemini arttırmaktadır. Elektrik sektöründe, talep karşısında arzın yetersiz kalmaması gerektiği gibi, savurgan, atıl kapasite yaratacak yatırımlardan da kaçınılmalıdır.

Ülkedeki sanayileşme, kentleşme politikalarıyla birlikte, elektrik sektöründe uzun vadeli arz-talep dengesini dikkate alan ve yenilenebilir enerji kaynaklarından, teknoloji üretimi dahil, etkin şekilde ve toplumsal yarar gözetilerek yararlanmayı hedefleyen bir planlama yaşama geçirilmeli, nihai kullanımda verimliliği arttıracak politikalar mutlaka devreye sokulmalıdır.

Gereksiz yeni yatırımlardan kaçınmak için mevcut kurulu gücün performansını iyileştirmek önemlidir. Mevcut santrallarda rehabilitasyon yapılarak gerek verimlilik gerekse emre amadelik açısından performansları iyileştirilmeli, santrallarda verim önemli bir kriter olmalıdır. Santralların emre amadeliliğinin yükseltilmesi için işletme-bakım yönetimine önem verilmelidir.

Çevre ile ilgili yasa-yönetmeliklerin uygulamaya geçebilmesi için gerekli altyapı, programlar ve izleme ağları oluşturulmalı, denetleme ve yaptırımlar devreye sokulmalı, santralların çevresel etkilerine yönelik bilimsel araştırma çalışmaları zenginleştirilmeli, veriler kamuoyuyla paylaşılmalıdır.

Bu şekilde tarım, orman arazilerinin yok olmasına, su kaynaklarımızın, çevresel değerlerimizin geri dönülemez şekilde tahribatına neden olan, halk sağlığını riske sokan uygulamaların kısmen de olsa önüne geçmek mümkün olacaktır. Kömür santralı yatırım kararlarının, uygulanmasının ve işletmeciliğinin yer seçimi ötesine geçen ciddi temel sorunları vardır. Bu sorunlar kömür santralı yatırımlarına karşı çıkan yerel ve toplumsal grupların itirazlarını ve mücadelelerini haklı hale getirmektedir.

KAYNAKLAR

- 1-Uluslararası Enerji Ajansı (UEA), 2019. Electricity Information: Overview, <https://webstore.iea.org/electricity-information-2019-overview>, erişim tarihi: 30.10.2019
- 2- UEA, 2019. Coal Fired Power, Tracking Clean Energy Progress, <https://www.iea.org/tcep/power/coal/>, erişim tarihi: 30.10.2019
- 3-TEİAŞ, 2018. Türkiye Elektrik Üretim-İletim 2018 Yılı İstatistikleri, <https://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-2018-yili-istatistikleri>, erişim tarihi: 30.10.2019
- 4- TEİAŞ, 2018. Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2018-2022) , https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-09/Kapasite_Projeksiyonu_2018_2022.pdf, erişim tarihi: 30.10.2019
- 5- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Aralık 2017. ÇED alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi, Termik Santraller, https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiAj437xNDIAhUoxcQBHaZ8Cx8QFjAAegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwebdosya.csb.gov.tr%2Fdb%2Fced%2Fcerikler%2Ftermik-santraller-20180418123658.docx&usq=AOvVaw1Ajv1-sIrDFF_ye-LXL5Cd, erişim tarihi: 30.10.2019
- 6-Rennings,K., Smidt, W. 2010. A Lead Market Approach towards the Emergence and Diffusion of Coal-Fired Power Plant Technology, https://www.researchgate.net/publication/46559067_A_Lead_Market_Approach_towards_the_Emergence_and_Diffusion_of_Coal-Fired_Power_Plant_Technology, erişim tarihi:30.10.2019
- 7- Nicol, K., Aralık 2013. Status of advanced ultra-supercritical pulverised coal technology, UEA Clean Coal Centre, https://www.usea.org/sites/default/files/122013_Status%20of%20advanced%20ultra-supercritical%20pulverised%20coal%20technology_ccc229.pdf, erişim tarihi: 30.10.2019
- 8-Barnes,I., 2015. Upgrading the Efficiency of the World's Coal Fleet to Reduce CO2 Emissions , Cornerstone, UEA Clean Coal Centre yayını; https://www.worldcoal.org/file_validate.php?file=Cornerstone_Volume3_Issue1.pdf, erişim tarihi: 30.10.2019
- 9-National Energy Technology Laboratory (NETL),Typical IGCC Configuration, <https://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/igcc-config>, erişim tarihi: 30.10.2019
- 10- (a), BREF, 2017. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants, AB Komisyonu s. 338-344, https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/LCP/JRC_107769_LCPBref_2017.pdf, erişim tarihi: 30.10.2019
(b) BREF 2017, s. 163
(c) BREF 2017, s. 138-142
(d) BREF 2017, s. 143-147
(e) BREF 2017. S. 389

- 11- Papiya Roy, Arghya Sardar, 2015. SO₂ Emission Control and Finding a Way Out to Produce Sulphuric Acid from Industrial SO₂ Emission, Journal of Chemical Process and Technology, <https://www.longdom.org/open-access/so2-emission-control-and-finding-a-way-out-to-produce-sulphuric-acidfrom-industrial-so2-emission-2157-7048-1000230.pdf>, erişim tarihi: 30.10.2019
- 12- EPA, 2000. Control of Nitrogen Oxides Emissions, Student Manual, s.6.3-6.19
<http://www.4cleanair.org/APTI/418Combinedchapters.pdf>, erişim tarihi: 30.10.2019
- 13-(a) UEA, Clean Coal Centre, 2018.Selective Catalytic Reduction for (SCR) for NO_x Control
<https://www.iea-coal.org/selective-catalytic-reduction-scr-for-nox-control/>,
erişim tarihi: 30.10.2019
(b) UEA, Clean Coal Centre, 2018.Selective Non-Catalytic Reduction for (SNCR) for NO_x Control
<https://www.iea-coal.org/selective-non-catalytic-reduction-sncr-for-nox-control/> erişim tarihi:
30.10.2019
- 14- UEA, Carbon Capture, Utilization and Storage,
<https://www.iea.org/topics/carbon-capture-and-storage/capture/>, erişim tarihi: 30.10.2019
- 15-(a) Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015.<https://cygm.c4sb.gov.tr/yonetmelikler-i-440>, erişim tarihi:
30.10.2019
(b) T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2016. Sektörel Atık
Kılavuzları, Termik Santraller,
https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/Termik_Santraller_Kilavuzu.pdf, erişim tarihi:
30.10.2019
- 16- Zhang, X., Ocak 2014. Management of Coal Combustion Wastes, IEA Clean Coal Centre,
https://www.usea.org/sites/default/files/012014_Management%20of%20coal%20combustion%20was%20tes_ccc231.pdf, erişim tarihi: 30.10.2019
- 17-Nalbandian, H., Eylül 2012. Trace element emissions from coal, IEA Clean Coal Centre,
https://www.usea.org/sites/default/files/092012_Trace%20element%20emissions%20from%20coal_ccc203.pdf, erişim tarihi: 30.10.2019
- 18- (a) Yeşil Ekonomi, 8.07.2019. "Alman Kalkınma Bankası KfW kömüre dayalı her türlü yatırıma yönelik finansmanı kesme kararı aldı."
https://yesilekonomi.com/kfw-komur-finansmanina-tamamen-son-verdi?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=gecen_haftanin_oene_cikan_haberleri&utm_term=2019-07-30, erişim tarihi: 30.10.2019
(b) Institute for Energy Economics and Financial Analysis, 2019. "Financial institutions are restricting thermal coal funding", <https://ieefa.org/finance-exiting-coal/>, erişim tarihi: 30.10.2019
- 19- Karaca, Ayten., Türkmen, C., Arcak, S., Haktanır, K., Topçuoğlu, B., Yıldız, H., Çayırhan Termik Santrali Emisyonlarının Yöre Topraklarının Bazı Ağır Metal ve Kükürt Kapsamlarına Etkilerinin Belirlenmesi, <https://dergipark.org.tr/tr/d4ownload/article-file/565577>, erişim tarihi: 30.10.2019
- 20- Haktanır, Koray, Sözüdoğru Ok, S., Karaca, A., Arcak, S., Çimen, F., Topçuoğlu, B., Türkmen, C., Yıldız, H., Muğla-Yatağan Termik Santrali Emisyonlarının Etkisinde Kalan Tarım ve Orman Topraklarının Kirlilik Veri Tabanının Oluşturulması ve Emisyonların Vejetasyona Etkilerinin Araştırılması, <http://dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/47/1445/16230.pdf>, erişim tarihi: 30.10.2019
- 21-Temiz Hava Hakkı Platformu, 2019. Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri Kara Rapor, <https://www.temizhavahakki.com/kara-rapor/>, erişim tarihi: 30.10.2019
- 22- TÜİK, 11.04.2019. Sera Gazı Emisyon İstatistikleri,
<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30627>, erişim tarihi: 30.10.2019

23- UNFCCC, 2018. National greenhouse gas inventory data, <https://unfccc.int/documents/182572#eq-1>, erişim tarihi: 30.10.2019

24- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018. Türkiye'nin Yedinci Ulusal Bildirimi, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/yed-nc--ulusal-b-ld-r-m-20190909092640.pdf>, erişim tarihi: 30.10.2019

Handan Dönmez

1956 yılında Elbistan'da doğdu. 1979 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1984 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çere Mühendisliği Bölümü'nde lisansüstü programını tamamladı. Önceki adıyla Türkiye Elektrik Kurumu (TEK), sonraki adıyla Elektrik Üretim A.Ş.nde sırasıyla Termik Santraller İşletme; Santraller Proje ve Tesis ; Çevre Daire Başkanlıkları'nda çalıştı. Çevre Dairesi'nden 2016 yılında emekli oldu. 1980'li yıllarda TMMOB Kimya Mühendisleri Odası Ankara Şubesi'nde iki dönem Yönetim Kurulu üyeliği yaptı. Halen KMO Enerji Komisyonu üyesidir.

Nilgün Ercan

1956 yılında Ankara'da doğdu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 1979 yılında mezun oldu. Türkiye ve Orta Doğu Amme İdaresi Enstitüsü Kamu Yönetimi Lisans Üstü Uzmanlık Programını 2000 yılında bitirdi. Önceki adıyla Türkiye Elektrik Kurumu (TEK), sonraki adıyla Elektrik Üretim A.Ş. Santraller Proje ve Tesis Dairesi'nden 2006 yılında emekli oldu. TMMOB Kimya Mühendisleri Odası (KMO)'nda, 1984-1990 ve 1992-1996 yılları arasındaki çalışma dönemlerinde sırasıyla Oda Yönetim Kurulu üyeliği, Ankara Şubesi Yönetim Kurulu Başkanlığı ve Oda Yönetim Kurulu Başkanlığı yaptı. Halen KMO Enerji Komisyonu üyesidir.