



Derleme / Review

KÖMÜR MADENCİLİĞİ KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİ: PARTİKÜL MADDE ve METAN EMİSYONLARI ÜZERİNE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

AIR POLLUTION DUE TO COAL MINING: LITERATURE REVIEW ABOUT PARTICULATE MATTER AND METHANE EMISSIONS

Kazım Onur Demirarslan^{a,*}, Ali Kaya^a

^a Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ARTVİN

Geliş Tarihi / Received : 09 Ekim / October 2016

Kabul Tarihi / Accepted : 22 Ocak / January 2017

Anahtar Sözcükler:

Hava kirliliği,
kömür madeni,
metan gazı,
partikül madde

Keywords:

Air pollution,
coal mine,
methane gas,
particulate matter

ÖZ

Yenilenebilir enerji teknolojileri gelişmesine rağmen, halen fosil yakıtlara olan bağımlılığımız devam etmektedir. Fosil yakıtlar içerisinde, verimliliği ile fiyatı en uygun yakıt kömürdür. Endüstri devrimiyle beraber kömür kullanan buhar makinelerinin yaygınlaşması kömür ihtiyacını da arttırmıştır. Kömüre olan ihtiyaç kömür üretimini fazlalaştırmış, kömür madenciliği nedeniyle oluşan çevresel sorunlar çoğalmıştır. Bu sorunlar arasında başı hava kirliliği çekmektedir. Özellikle açık ve yeraltı madenciliğinde meydana gelen Partikül Madde (PM) ve Metan (CH₄) gazı emisyonları önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu çalışmada, dünya üzerindeki kömür madenlerindeki PM ve Metan gazı emisyonlarının durumu ve alınması gereken önlemler literatür araştırması yapılarak açıklanmış, yapılması planlanan diğer çalışmalara kaynak olması hedeflenmiştir.

ABSTRACT

In spite of development of renewable energy technologies, our dependence on fossil fuels still has been continuing. Coal is the most suitable fuel in terms of price and efficiency in fossil fuels. With the industrial revolution, coal using steam engines increased and as a result of this, coal demand increased. The need for coal makes coal production increased and so, environmental problems increase because of coal mining. One of these problems is air pollution. Especially Particulate Matter (PM) and Methane (CH₄) emissions which occurred in open and underground mining represent major place. In this research, PM and methane emissions situation and precautions in coal mines around the world are explained by making literature review. Also, this research is intended to be resource to other planned studies.

* İlgili Yazar: onurdemirarslan@artvin.edu.tr

GİRİŞ

Yaşayan tüm bitkiler fotosentez olarak bilinen bir süreç ile güneş enerjisini bünyelerinde depolamaktadırlar. Bitki öldüğü zaman depolanan bu enerji gezegene çürüme yoluyla tekrar geri verilmektedir. Diğer yandan farklı bir kazanım olarak uygun formasyonlar altında bu çürüme azalmakta ve bitkinin canlıyken depoladığı enerjinin büyük bir kısmı kömür olarak depolanabilmiş ve halen bu depolanmış enerji insanoğlu tarafından kullanılmaktadır (URL-1). Kömürün ana bileşeni karbon olup, ayrıca içerisinde hidrojen, oksijen, kükürt gibi farklı miktarlarda bileşenleri de barındırmaktadır (URL-2). Fosil yakıtlar içerisinde en çok bulunan ve tüketilen kömürün kullanım tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Ancak endüstri devrimi ile birlikte kullanım miktarı ile kullanım alanı daha çok artarak önemli bir noktaya gelmiştir (URL-3). Günümüzde ise gelişen teknoloji, sanayi ve kentleşme ile yaşam standartlarının artması enerji ihtiyacını yüksek seviyelere çıkarmıştır. Özellikle endüstriyel prosesler sırasında mevcut enerji kaynaklarının tek başlarına yeterli olmaması, özelinde elektrik enerjisine çevrilmesinin gerekliliği, enerji çevrimi sırasında çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlere uğrayan hammaddelere duyulan gereksinim hâlâ fosil kökenli yakıt kullanımı ile karşılanmaktadır (Çukuroğlu ve Besim, 2015).

Bunun sonucu olarak dünya birincil enerji arzı 1973 ve 2011 yılları arasındaki 38 yılda iki kat fazla artarak 2011 yılı itibarıyla 13.113 mtep (milyon ton eşdeğer petrol) düzeyine ulaşmıştır. 2011 yılındaki artış oranı bir önceki yıla göre %3,1 düzeyindedir. 1973-2011 yılları arasındaki dönemde; petrolün payı %46,0'dan %31,5'e düşerken, doğal gazın payı %16'dan %21,3'e, nükleer enerjinin payı %0,9'dan %5,1'e ve hidrolik dahil yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise %1,9'dan %3,3'e yükselmiştir. Aynı dönemde kömürün payı 4,2 puan artışla %24,6'dan %28,8 düzeyine ulaşmıştır. 2011 yılında dünyadaki toplam kömür arzı ise bir önceki yıla göre %8,8 düzeyindeki yüksek bir artışla 3.777 mtep olarak gerçekleşmiştir (Kömür Sektör Raporu, 2014). 2015 yılına bakıldığında petrol küresel enerji tüketiminin % 32,9'u ile dünyanın en önemli yakıtı olurken, kömür ise Pazar payı itibarı ile % 29,2 ile en büyük ikinci yakıt olmuştur. Üçüncü sırada ise % 23,8 ile doğalgaz gelmektedir (URL-4).

Dünyadaki kömür üretimi ise 1972' de 3 Gigaton (Gt), 1983'de 4 Gt, 2003' de 5 Gt, 2006'da 6 Gt,

2010 yılında 7 Gt ve 2013 yılında ise 8 Gt olarak kaydedilmiştir. Dünya üzerindeki önemli kömür üreticisi ülkeler ve yıllara göre ürettiği kömür miktarları incelenirse Çizelge 1'deki değerler elde edilir (URL-5).

Birçok maden işletmesinde olduğu gibi kömür madenciliği de çevre üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Bu etkiler arasında su kirliliği, yeşil dokunun zedelenmesi, toprak kirliliği, görüntü kirliliği, asit maden drenajları, maden aktiviteleri sırasında meydana gelen emisyonlar, tarım alanlarının azalması gibi etkenler sıralanabilmektedir. Bunun yanında da birçok orman alanı, maden aktiviteleri sonucunda yok edilmekte özellikle toprak profilinin bozulması, açık madencilikte yapılan yüzey toprağının sıyrılması doğal toprak karakteristiğini kötü yönde etkilemektedir (Neufeld ve Chappelka, 2007; URL-6).

Çizelge 1. Dünya üzerindeki önemli kömür üreticisi ülkeler ve yıllara göre ürettiği kömür miktarları

Ülke	2012 (Mt)	2013 (Mt)	2014 (Mt)	2015 (Mt)
ABD	932	904	916	820
Almanya	197	191	187	186
Avustralya	431	459	491	471
Çek Cumh.	56	49	47	46
Çin	3678	3749	3651	3538
Endonezya	444	488	471	387
Güney Afrika	259	256	253	248
Hindistan	603	610	668	764
İngiltere	17	13	12	8
Kanada	66	69	69	62
Kazakistan	121	120	115	107
Kolombiya	89	85	89	86
Polonya	144	143	137	136
Rusya Fed.	331	328	335	349
Türkiye	71	60	64	45
Ukrayna	68	69	54	33
Dünyada	7938	8019	7975	7686

Hazırlanan birçok raporda dünyadaki kömür madenciliğinin habitat ve biyoçeşitlilik, toprak kaybı ve bozulması üzerine birçok olumsuzluklarına değinilmektedir (Colagiuri vd., 2012). Özellikle açık maden işletmelerinde kömür hazırlama ve toz emisyonlarının kontrolünde oldukça büyük miktarda su kullanılıyor olması yüzeysel sularda sediment birikimi gibi problemlere de yol açabilmektedir (URL-7). Ayrıca yine açık işletmelerde dekapaj malzemeleri-

nin toplandığı yerlerde oluşan tepeler nedeniyle topografya bozulmakta habitat yeniden şekillenmeye zorlanmaktadır. Bu da onlarca yıla mal olmaktadır. Yeraltı maden işletmelerinde kömürün alındığı yerlerde çöküntüler meydana gelebilmekte ve kömür gazlarından meydana gelen grizu ve kömür patlamalarına neden olmaktadır (Küçükönder, 2014).

Kömür üretiminin çevreye olan hasarına ek olarak kömürün hâlâ yakıt olarak kullanılıyor olmasının da özellikle sera gazı salınımında önemli etkisi olduğu bilinmektedir. Ayrıca birçok maden aktivitesi, hava kirliliği üzerinde doğrudan ve dolaylı yollardan etkili olabilmektedir. Kömür madenciliğinden kaynaklı çevresel etkilerin önemlilerinden biri de hava kirliliğidir. Soluduğumuz hava, gaz, katı ve sıvı partikül karışımlarından meydana gelmektedir ve insan sağlığını etkileyen en önemli çevresel faktörlerden bir tanesidir. Hava kirleticileri gaz, katı partiküller ve sıvı damlacıklar şeklinde olabilmektedir. Hava kirliliği ise bu kirleticilerin doğal olaylar veya insan faaliyetleri sonucunda oluşan, atmosferin doğal bileşimini değiştiren, yoğunluğu ve atmosferde kaldıkları süreye bağlı olarak insan ve hayvan sağlığı ile bitki ve eşyalara zarar verecek kadar artması olarak tanımlanabilmektedir (Eğri, 1997; Yücedağ ve Kaya, 2016; Sharma ve Siddiqui, 2010; Roy ve Singh, 2014) ve hem havada doğal olarak bulunmayan maddeleri hem de doğal olarak bulunmasına karşın normalden daha yüksek konsantrasyonlara erişen ya da normalde bulunmaması gereken yerlerde bulunan doğal bileşenleri de tanımı kapsamına almaktadır (Ev yapan vd., 2012). Hava kirliliğinin çevre üzerindeki etkileri yerelden bölgesel ve son olarak küresel ölçeklerde meydana gelebilmektedir. 2011 yılı Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre, hava kirliliğinin dünya çapında çoğunluğunu orta gelirli ülkelerin oluşturduğu yılda 1,3 milyon kişinin ölümüne neden olduğu rapor edilmektedir (Çetin ve Demirci, 2016). Havayı kirleten en önemli olay, yanma faaliyetleridir. Fosil yakıt olarak tanınan petrol, gaz ve kömürün yakılması sırasında çıkan gazlar hava kirlenmesinin önemli sebeplerinden biridir (Çiftçi vd., 2013).

Bu çalışmada, kömür madenlerinde üretim esnasında meydana gelen partikül madde (PM) ve metan gazı (CH₄) emisyonlarının oluşma safhaları, atmosfer üzerine etkileri ve alınacak önlemler Türkiye’de ve dünyada bu konu hakkında yapılan çalışmalar titizlikle taranarak ortaya konmuştur.

1. KÖMÜR MADENİ KAYNAKLI HAVA KİRLLETİCİ EMİSYONLAR

Kömür endüstrisi, modern teknolojinin önemli ihtiyacıdır. Ancak sonuç olarak doğrudan veya dolaylı şekilde atmosfere önemli ölçüde toz ve gaz emisyonları salınmaktadır. Bu kirleticiler sadece maden çalışanlarına zarar vermemekte, aynı zamanda, meteorolojik koşullara bağlı olarak yerleşim yerlerinde yaşayanlara ve tarımsal alanlara zararı bulunmaktadır (Kund ve Pal, 2015; Pandey vd., 2014). Kömür madenciliğinde seçilen üretim metotları, maden alanının jeolojik ve jeomorfolojik yerleşimi hava kirletici emisyonların türü ile miktarını önemli derecede etkilemektedir. Kömür üretiminde meydana gelen önemli emisyonlar partikül madde (PM) ve metan gazı (CH₄) olurken kömürün yanması sonucu çıkan emisyonlar ise kükürt oksitler (SO_x), azot oksitler (NO_x), karbon dioksit (CO₂), karbon monoksit (CO), ağır metaller, polisiklik aromatik bileşikler (PAH) ve atık ısı olarak sıralanabilir (Ghose ve Majee, 2001; Pandey vd., 2014; Warhate vd., 2015). Bu emisyonlar ise çoğunlukla delme, patlatma, nakliye, yükleme boşaltma, depolama ile kömürün yanması işlemleri sonucunda meydana gelmektedir (URL-6).

1.1. Kömür Madenciliği ve PM Emisyonları

Partikül maddeler, hava kirleticiler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Partikül madde terimi, havada askıda halde bulunan katı ve sıvı maddeleri belirtmekte olup; bu kirleticilerin etkisi insanların yaş ve sağlık durumlarına göre değişebilmektedir. PM emisyonları, farklı çaplarda ve konsantrasyonlarda olabilmekte, kömür madenciliğinde ise bu emisyonların en zararlısını kömür tozu oluşturmaktadır. Hem yeraltı hem açık ocak işletmelerinde meydana gelen PM emisyonlarının yayılımı ve dağılımı kirleticinin çap ve şekli ile yerel meteorolojik şartlara bağlı olarak değişmektedir. Özellikle çapı 2,5 µm ve daha az çapa sahip PM kirleticileri havada uzun süre kalarak uzun mesafelere kadar taşınmaktadır (Gautam vd., 2012; İmal vd., 2013; Naghadehi vd., 2014). PM kirleticisinin çapı ile meydana getirdiği sağlık problemleri arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Çapı 10 µm ve daha az olan kirleticiler, akciğerlere rahatlıkla ulaşmakta ardından kana karışarak ciddi problemlere neden olmaktadır. Yapılan birçok çalışmada bu kirleticilerin, kalp ve/veya akciğer rahatsızlıklarından erken ölümlere, kalp ritminde düzensizliklere, astım krizlerine, akciğer fonksiyonlarında

azalmalara, solunum güçlüğü gibi rahatsızlıklara neden olduğu belirtilmektedir (Demirarslan, 2016).

Özellikle yerüstü madenciliğinde meydana gelen PM emisyonları literatürde kaçak emisyonlar olarak adlandırılmakta ve maden sahalarında taneli parçacıkların mekanik olarak aşınması, rüzgâr etkisi sonucunda serbest bir şekilde atmosfere yayılmasıyla oluşmaktadır. Bu sahalarda ortaya çıkan PM emisyonlarının oluşması aşağıdaki gibi açıklanabilmektedir (Beşir, 2015; Dang vd., 2002).

Madencilik işlemleri sırasında uygulanan mekanik kuvvet ile oluşan pulverizasyon ve yüzey malzemenin aşınması (tekerlek, kesiciler vs.).

Türbülanslı hava akımı sebebiyle toz parçacıklarının sürüklenmesi. Ayrıca hafriyat malzemesi ile pasa yığınları özellikle meteorolojik koşullar gibi doğal olaylar sonucunda parçalanarak daha küçük boyutlara ufalanmakta ve bu prosesler sonucunda oluşan PM'ler birkaç hafta içerisinde çevreye yayılmaktadırlar.

Ghose ve Majee (2001) ise açık işletme madenciliğinde cevhere ulaşabilmek ve büyük miktarlarda örtü tabakasının kaldırılması için ekskavator, taşıyıcı, yükleyici gibi gereçlere ihtiyaç duyduğunu ve bu araçlarla yapılan işlemlerin ise örtü toprağından oluşan büyük miktardaki PM emisyonunun atmosfere verildiğini belirtmektedir (Ghose ve Majee, 2001). Bunun yanında delme işlemi açık ocak işletmelerinde partikül madde oluşturmada ikinci sırada yer almaktadır. Bir diğer işlem ise patlatmadır. Kısa süreli partikül madde emisyonu oluşsa da kirletici konsantrasyonu bir hayli yüksektir (Gautam, vd. 2012).

Kömür madenciliği kaynaklı partikül madde çapları ve bileşimleri, madencilik faaliyet türü ve alanın jeolojisine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Tipik olarak bir işletmede partikül madde çapları 1 µm ile 100 µm arasında değişmektedir. 1 µm ve daha küçük çaplı kirleticiler toplam emisyonun %0,2'sini, 2,5 µm olanlar %2~5 'ini, 2,5 µm ile 10 µm olanlar toplam emisyonun %15~45 ini son olarak da 10 µm ve üzeri çapa sahip partikül maddeler %50~70 ini oluşturmaktadır (URL-8).

Yapılan araştırmalara göre; PM kontrolünün yapılmasına rağmen açık madencilikten kaynaklanan kaçak PM'nin en fazla görüldüğü alanın stabilize nakliye yolları olduğu da belirtilmektedir. Aynı çalışmada maden sahalarında oluşan ka-

çak tozun %12'sinin stok yığınınına boşaltılırken, %33'ünün rüzgar erozyonu sonucunda, %15'inin stok yığınınından yüklenirken, en yüksek oran olan %40'ünün ise stok alanında ekipman ve araçların hareketi sırasında olduğu belirtilmiştir (Beşir, 2015). Açık işletmelerde özellikle taşımacılıktan kaynaklı olarak önemli miktarlarda partikül madde atmosfere verilmekte ve bu emisyonlar havadaki toz miktarının %80'ini oluşturmaktadır. Taşıma kaynaklı emisyonların %50' si kamyon nakliyatı sırasında, %25' i ise yükleme ve boşaltma sırasında meydana gelmektedir (Chaulya vd., 2011). Warhate ve diğerleri, 2015'de yapılan bir çalışmada küçük bir maden işletmesinde 100 m²'lik bir alan içerisinde m²'de 215,28 mg partikül madde birikimi olduğunu belirtmiştir (Warhate vd., 2015).

Literatür araştırmalarına dayanılarak çeşitli ülkelerdeki kömür madenlerinde yapılmış ölçümler incelenmiştir. Buna göre; Aneja vd., 2012; Pless-Mulloli vd., 2000; Hyksova ve Brejcha, 2009; Önder ve Yiğit, 2009; Tecer vd., 2008; Ghose ve Majee, 2002; Dubey ve Pal, 2012 tarafından yapılan ve dünyadaki farklı açık kömür madenleri yakınlarında ölçülen PM10, PM2,5 değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Dünyadaki farklı açık kömür madenleri yakınlarında ölçülen PM10, PM2,5 değerleri

Bölge	Süreç	PM2,5 (µg/m ³)	PM10 (µg/m ³)
Kuzey Doğu İngiltere	Ortalama	-	22,1
	Isıtma periyodu	-	37
Çek Cumhuriyeti	Isıtmasız periyot	-	26
	Dönüşüm Periyodu	-	33
	Yıllık Ortalama	-	33,5
Türkiye	Delme	-	3080
	Kömür çıkarma	-	1840
	Depolama	-	1670
	Taşıma	-	1350
	Yükleme-boşaltma	-	1300
Zonguldak	Kış	34,17	63,59
	Bahar	29,84	59,16
	Yaz	25,03	41,83
	Sonbahar	23,03	39,66
Jharia, Hindistan	Ortalama	-	-
Dhanbad, Hindistan	Ortalama	-	194±32
Appalachia, ABD	Campell alanı	-	250,2
	Willis alanı	-	144,8

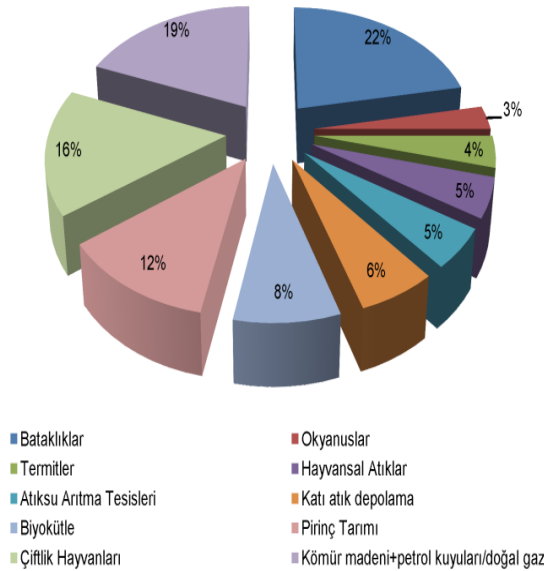
Türkiye'de, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 03/07/2009 tarih ve 27277 sayılı resmi gazetede yayımlanan Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY, 2009) ne göre (Ek-1, Tablo 2:2) ise PM10 için sınır değerler Çizelge 3 deki gibi verilmiştir.

Çizelge 3. SKHKKY'ne göre (Ek-1, Tablo 2:2) PM10 için sınır değerler

Yıllar	24 Saat ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Yıllık ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2014	100	60
2015	90	56
2016	80	52
2017	70	48
2018	60	44
2019-2023	50	40
2024 Sonrası	50	40

1.2. Kömür Madenciliği ve Metan gazı Emisyonları

Metan gazı sera gazları içerisinde önemli bir yere sahiptir ve antropojenik sera gazı salınımlarının %16'sını meydana getirmektedir. Küresel ısınmaya katkısı yıllarca değişmemiştir ve bu gazın atmosferdeki oranı son yüzyılda iki katına çıkmıştır. Küresel metan salınımları incelendiğinde % 60'ının insan kaynaklı, % 40'ünün ise doğal kaynaklı olduğu görülmektedir (Aydın vd., 2015). Doğal ve yapay metan gazı emisyonlarının kaynakları ise Şekil 1' de verilmiştir (URL-9).



Şekil 1. Dünyadaki metan gazı kaynakları

Yeraltı kömür madenleri, maden kaynaklı metan gazı emisyonlarının başlıca kaynağıdır. Bu nedenle dünya üzerinde bulunan kömür madenci-

liğinin, toplam metan gazı emisyonununun %8'inden sorumlu olduğu belirlenmiştir. Atmosferdeki metan gazı emisyonu halihazırda CO_2 'den 21 kat daha fazla sera etkisine sahiptir. Yapılan araştırmalara göre Güney Afrika'da bulunan madenlerden bir yılda 7 milyon ton CO_2 'ye eşdeğer metan gazının atmosfere salındığı hesaplanmıştır. US EPA'nın tahminlerine göre ise 2010 yılında kömür madenlerinden 27,8 milyon metrik ton (MMT) civarında metan gazı atmosfere salınmıştır. Öksüz tarafından 2012 yılında yapılan çalışmaya göre Türkiye Taşkömürü Kurumu faaliyetlerine bağlı yıllık hesaplanan metan gazı salınımı $48455064 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır ve bu değer de $145714 - 437142$ ton karbona eşdeğerdir (Banks, 2012; Lloyd, 2004; Öksüz, 2012). Yeraltı madenciliği ile atmosfere karışan metan gazı emisyonu miktarı, kömürün çıkarıldığı derinlik, madencilik metodu gibi nedenlerden dolayı farklılık gösterebilmektedir ve derinlere inildikçe kömürlerdeki metan gazı içeriğinin artmasından dolayı yeraltı madenlerinden çıkan metan gazı emisyon miktarı açık ocak işletmelerinden bir hayli yüksektir (Irving vd., 2001). Metan gazı ise, kömürün kökeni olan ve su altında havasız kalan bitkilerdeki karbon, hidrojen ve oksijenin birbirleri ile yaptıkları kimyasal tepkimeler ile oluşur. Bu kimyasal tepkimeler neticesinde karbon oksijen ile birleşerek (CO_2), oksijen hidrojen ile birleşerek (H_2O) ve hidrojen karbon ile birleşerek (CH_4) meydana gelmektedir. Metan gazı oluşumunda biyojenik ve termojenik olmak üzere iki temel mekanizma bulunmaktadır. Biyojenik metan gazı oluşumu bitki kökenli organik maddelerin kömürleşmesinin ilk aşamalarında ve 50°C ' lik bir ortam sıcaklığında, mikrobiyolojik ayrışmalar sonucunda meydana gelir.

Termojenik mekanizmada ise fosil biyojenik metan gazı birikimleri çok ender görülür ve ancak çok hızlı çöken az sayıda havzada salınırlar. Gaz oluşumunun kinetiğine bağlı olmakla birlikte yaklaşık 55°C ' den itibaren karbondioksit, 100°C ' den itibaren de metan ve azot gazları oluşmaya başlar. Artan kömürleşmeyle birlikte oluşan metan gazı miktarı da artar. Yeraltında bulunan metan gazının miktarı da basınca ve çevresini saran kaya formasyonlarının cinsine bağlı olarak değişmektedir. Yeraltının derinliklerine inildikçe tutulmuş olan metan gazının fazla olması dolayısıyla yeraltı kömür ocaklarında çok miktarda metan gazı emisyonu olması doğaldır ve bu oran açık işletmelere göre oldukça fazladır (Öksüz, 2012; Irving vd., 2001). Kömürün kolloidal bir yapıya sahip olması, birim kömür hacminin

1~40 katı arasında metan gazını bünyesinde tutmasına izin vermektedir. Yeraltındaki yüksek basınç nedeniyle kömür ve metan emisyonu denge içerisinde. Bu basıncın miktarı ise ortamdaki kömürleşme derecesine, damarın derinliğine ve kömür yüzeyinin gözenekliliğine bağlıdır. Yeraltı kömür damarlarında depolanmış olan metan, çatlaklarda, kırıklarda ve makro gözenek içerisinde serbest olarak, çatlaklarda ve mikro gözeneklerde adsorbe gaz olarak ya da su içerisinde çözünmüş durumda olabilmektedir. Metan gazı emisyonu açısından bu durumlardan ilk ikisi önem teşkil etmektedir (Aydın, 2008).

Bir kömür işletmesinde ise metan gazı emisyonları aşağıdaki operasyonlarda ve kaynaklarda meydana gelmektedir (Banks, 2012):

- Yeraltı kömür madenciliğinde metan drenaj sistemlerinden,
- Yeraltı kömür madenciliğinde havalandırma sistemlerinden,
- Kapatılmış madenlerden,
- Açık işletmelerden,
- Maden öncesi uygulanan işlemlerdeki kaçak emisyonlardan.

Açık ocak işletmelerinde ise, yeni açılan kömür katmanlarından ve patlatma operasyonu ardından içerisinde kömür bulunan yığınlardan atmosfere karışmaktadır. Ek olarak üst örtü toprağının kaldırılması sırasında da CH₄ meydana gelebilmektedir. Bu toprağın kaldırılmasıyla, iç taraftaki kayalar üzerindeki basınç ve stres azalmakta; sonuç olarak metan gazı serbest kalmaktadır. Yukarıda da açıklandığı üzere yer altı madenciliğinde üretilen 1 ton kömür başına meydana gelen metan miktarı, açık ocaklara nazaran daha yüksektir (Irving vd., 2001).

Madencilik aktivitelerinden önemli miktarda metan gazı emisyonu oluşsa da, üretim sonrasında kömür içerisinde hâlâ az da olsa metan bulunabilmektedir. Kalan bu metan kömürün işlenmesinde, depolanmasında ve taşınmasında ortaya çıkabilmektedir. Bu işlemlerde meydana gelen metan miktarı kömürün karakteristiğine ve yapılan işlemlere göre değişiklik göstermektedir. Üretim sonrasında oluşan ve parça kömür emisyonu olarak isimlendirilen bu emisyonlar, kömürün çıkarılmasından itibaren aylarca sürebilmektedir. Ayrıca terk edilmiş maden sahaları da metan gazı emisyonu oluşturabilmektedir (EPA, 1999).

1.3. Emisyon Azaltım Teknikleri

Kömür madenciliğinde meydana gelen PM ve metan gazı emisyonunun bertaraf edilmesi dünya üzerinde farklı teknolojilerle gerçekleştirilebilmektedir. PM emisyonunda azaltım yöntemlerini delme patlatma işlemleri, madde ayrıştırma, nakliye, depolama işlemleri sırasında alınacak önlemler olarak sıralayabiliriz.

Delme ve patlatma işlemleri sırasında aşağıdaki önlemler alınabilmektedir (URL-9):

- Madenlerdeki patlatmalar günlük meteorolojik koşullara bakılarak yapılmalıdır.
- Bu tür işlemler yapılırken, yerel hava tahminlerinden yararlanılmalıdır.

Özellikle açık ocaklarda yapılan ilk işlem, üst toprağın iş makineleriyle kaldırılarak araçlarla taşınmasıdır. Kaldırılan bu materyal maden sahasında bulunan başka bir noktaya nakledilmektedir. Burada yapılan, ayırma, taşıma, yükleme ve boşaltma işlemleri potansiyel toz emisyonuna yol açmaktadır. Toz emisyonu kömür damarının ayrıştırılması sırasında da ortaya çıkabilmekte olup; oluşan bu toz emisyonu kuru ve rüzgârlı havalarda oldukça artmaktadır. Bu nedenle:

- Toz kontrolünün yetersiz olduğu alanlarda, yüksek rüzgâr koşullarında bu işlem yapılmamalıdır (URL-10).

Ayrıştırılan materyal genellikle işlenecek noktaya kadar kamyonlar ile taşınmaktadır. Bu işlem, kömür madenlerindeki önemli toz emisyonlarından biridir. Bu yolların, tasarımı, bakımı ve yönetimi toz emisyonunu azaltmakta önemli bir etkidir. Nakliyedeki bu kaçak toz emisyonları, yolculuk mesafesine, yol yüzeyinin durumuna, taşıma için kullanılan kamyonların hızına bağlı olarak miktarları değişmektedir (URL-10).

Diğer kontrol yöntemleri ise aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

- Operasyon standartlarının uygulanması,
- Hava koşullarının takibi, buna göre işlemlerin uygulanması,
- Kötü hava koşullarında işlemlerin kısıtlanması veya durdurulması,
- Patlama alanlarının kısıtlanması,
- Toz önleme sistemlerinin sık sık denetimi,
- Malzeme taşıma yollarının en kısa sürede varabilecek şekilde tasarımı,

- Depolama alanlarının hâkim rüzgâra en az maruz kalacak şekilde tasarımı,
- Depolama sahasının geçici olarak bitkilendirilmesi,
- Eleklerle kırıcıların üzerlerinin kapatılması,
- Taşıyıcı bant üzerlerinin kapatılması,
- Taşıma esnasında kamyonların aşırı yüklenmemesi,
- Taşıma yollarının sık aralıklarla düzeltilmesi,
- Rüzgârları önleyecek yeşillendirme yapılması,
- Su püskürtme sistemlerinin kurulması.

Özellikle yeraltı madenlerinde daha çok görülen metan gazı madencilik açısından önemli tehlikeler meydana getirmektedir. Bu nedenle metan gazının maden ortamından alınarak uzaklaştırılması gerekmektedir. Ancak hem kullanılan bu yöntem hem de kömür üretimi esnasında açığa çıkan metan gazı emisyonu küresel ısınmaya neden olduğu için tehlike arz etmektedir. Dünya üzerinde metan drenajında birçok farklı teknolojiler kullanılmaktadır.

Üretim Öncesi İşlem; Bu işlemde kömür madenlerinin işletilmeye başlamasından önceki bu süre farklı kaynaklarda 2 ila 7 yıl önce olarak verilmektedir. Açılan sondajlarla metan gazı alınabilmektedir. Bu yöntemin avantajı, metan gazının saf olarak elde edilmesi ve bu nedenle yüksek kalorifik değere ($32-37 \text{ MJm}^{-3}$) sahip olmasıdır. Bu yöntemin diğer bir avantajı hem yeraltı hem de açık işletme madenciliğinde uygulanabilmesidir (Williams ve Mitchell, 1994; Durşen ve Yasun, 2012).

Üretim Sırasında Açılan Drenaj Delikleri; Damar içerisine yatay, dikey, çapraz şekilde açılan sondajlarla yapılan metan drenajıdır. Maden ocağındaki çalışılan bölgeye muhtemel gaz sızmasını önleme amacıyla uygulanmaktadır. Metan drenajı sadece kazılmamış kömür damarında yapıldığından ve drenaj zamanı kısa olduğundan dolayı bu yöntemin verimi düşüktür. Ancak ele geçirilen metan gazı miktarının az olmasına karşın gazın kalitesi bir o kadar yüksektir (Öksüz, 2012).

Terk Edilen Madenlerde Metan Drenajı; Üretimi tamamlanan alana dik ve/veya açılı olarak açılan sondaj kuyuları sayesinde metanın drenajı sağlanır. Yöntemde metan göçük bölgesinden deliklerle emilir ve boru hattı boyunca hareket

ederek yüzeye ulaşır. Yöntem düşey kuyularla karşılaştırıldığı zaman bazı dezavantajlara sahiptir. Bunlar; yüksek gaz içeriğinden yoksun olmaları, nispeten kısa üretim yaşamı ve üretimin sadece çevreleyen tabakalardan gerçekleştirilmesidir. Üretim sırasında göçük arkasına bırakılan borulardan da drenaj yapılabilir (Öksüz, 2012).

SONUÇLAR

Günümüzde gelişen teknoloji ve artan enerji ihtiyacı fosil yakıt tüketimini arttırmıştır. Fosil yakıtlardan biri olan ve enerji üretiminde kullanılan önemli bir kaynak da kömürdür. Kömürün elde edilme prosesleri ise açık madencilik ve yeraltı madenciliği olmak üzere iki şekildedir ve bu yöntemlerdeki tercihler kömür yatağındaki jeolojik yapıya göre değişiklik göstermektedir. Her iki madencilik yönteminin çevreye karşı olumsuz etkileri olmaktadır. Bu olumsuz etkiler arasında hava kirliliği en önemlilerinden birisidir. Kömür işletmeciliğinde meydana gelen başlıca emisyonlar partikül madde (PM) ile metan gazı (CH_4), kömür kullanımında çıkan emisyonlar ise kükürt dioksit (SO_2), azot dioksit (NO_2), karbon dioksit (CO_2), karbon monoksit (CO), ağır metaller, polisiklik aromatik bileşikler (PAH) ve atık ısı olarak sıralanabilir. Sayılan emisyonlar arasında partikül maddeler ve metan gazı önemli bir yer oluşturmaktadır. Partikül maddelerin taşınımı ile maden ve çevresine etkileri olmakla birlikte metan gazı emisyonlarının da atmosferde küresel ısınmaya çok büyük katkıları bulunmaktadır. Dünyadaki birçok kömür işletmesi bu iki emisyonların azaltılması için değişik teknolojiler ve önlemler geliştirmişlerdir. Bu önlemler arasında PM emisyonları için patlatma alanlarının kısıtlanması, maden çevrelerinin geçici olarak bitkilendirilmesi, nakliye yollarına, stok alanlarına ve taşıma bantlarına su püskürtme işlemlerinin uygulanması sayılabilir. Metan gazının maden sahasından uzaklaştırılması için ise kullanılan en yaygın yöntem meydana gelen metan gazının yakılarak atmosfere verilmesidir. Bu sayede atmosfere CO_2 ve H_2O (gaz) emisyonları verilmekte ancak sonuç olarak CO_2 den daha fazla sera etkisi gösteren metanın gazının salınması önlenmiş olmaktadır.

Türkiye'de ve dünyada anlık kullanıma sunulmuş enerji ihtiyacı, üretimi ve tüketimi gün geçtikçe artan şekilde devam etmektedir. Oluşan enerji açığının kapanması için günümüzde alternatif enerji elde etme yöntemlerinde gelişme kayde-

dilmesine rağmen, hâlâ yüksek kalorili olması ve diğerlerine nazaran ucuzluğu nedeniyle kömür önemini korumakta ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenledir ki kömür madenciliği vazgeçilemez bir endüstridir. Ancak kömür üretimi ile çevreye verilen zararlar yadsınamaz şekilde önümüzde durmakta bu zararların en aza daha doğrusu kabul edilebilir düzeyde tutulmasına özen gösterilmelidir. Bu konuda günümüz çevre teknolojileri oluşabilecek zararı en aza indirme konusunda önemli üstünlüklere sahiptir.

KAYNAKLAR

Aneja, V. P., Isherwood, A., Morgan, P., 2012. Characterization of Particulate Matter (PM10) Related to Surface Coal Mining Operations in Appalachia. *Atmospheric Environment*, 54, 496-501.

Aydın, G., 2008. Kömür Kökenli Metanın Kullanım Teknolojileri ve Enerji Üretiminden Kaynaklanan Antropojenik Metan Emisyonlarının Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Aydın, G., Karakurt, İ., Aydın, K., 2015. Antropojenik Metan Emisyonlarının Sektörel Analizi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 4 (1), 42-51.

Banks, J., 2012. Barriers and Opportunities for Reducing Methane Emissions from Coal Mines. http://www.catf.us/resources/whitepapers/files/201209Barriers_and_Opportunities_in_Coal_Mine_Methane_Abatement.pdf.

Beşir, A.Ç., 2015. Yerüstü Madenciliğinde Kullanılan Partikül Madde Emisyon Faktörlerinin Türkiye Ve Uluslararası Uygulamalarla Değerlendirilmesi. Y.Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Chaulya, S.K., Kumar, A., Mandal, K., Tripathi, N., Singh, R.S., Mishna, P.K., Bandyopadhyay, L.K., 2011. Assessment of Coal Mine Road Dust Properties for Controlling Air Pollution. *International Journal of Environmental Protection*, 1 (2), 1-7.

Colagiuri, R., Cochrane, J., Girgis, S., 2012. Beyond Zero Emissions (Australia). Health and Social Harms of Coal Mining in Local Communities.

Çetin, M., Demirci, O. K., 2016. Erzincan'da Doğal Gaz Kullanımının Hava Kalitesine Etkisi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (1), 8-18.

Çiftçi, Ç., Dursun, Ş., Levend, S., Kunt, F., 2013. Topoğrafik Yapı, İklim Şartları ve Kentleşmenin Konya'da Hava Kirliliğine Etkisi. *European Journal of Science and Technology*, 1 (1), 19-24.

Çukuroğlu, S., Besim, T., 2015. Denizli Organize

Sanayi Bölgesi Yakıt Kaynaklı Emisyon Envanteri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21 (6), 248-253.

Dang, Z., Liu, C., Haigh, M.J., 2002. Mobility Metals Associated With the Weathering of Coal Mine Spoil. *Environmental Pollution*, 118 (3), 419-426.

Demirarslan, K.O., 2016. Kış Kentlerinde Isınma Kaynaklı Partikül Maddenin Hava Kalitesi Üzerine Etkisi ve Doğu Anadolu Bölgesi Ağrı, Ardahan, Erzurum ve Kars İlleri Örneği. *Uluslararası Kış Kentleri Sempozyumu, Erzurum*, 817-831.

Dubey, B., Pal, A.K., Singh, G., 2012. Trace Metal Composition of Airborne Particulate Matter in the Coal Mining and Non-Mining Areas of Dhanbad Region. *Atmospheric Pollution Research, Jharkhand, India*, doi:10.5094/APR.2012.026.

Durşen, M., Yasun, B., 2012. Yeraltı Madenlerinde Bulunan Zararlı Gazlar ve Metan Drenajı. http://www.isgum.gov.tr/rsm/file/isgdoc/IG15-yeraltinda_bulunan_zararli_gazlar_ve_metan_drenaji.pdf

Eğri, M., 1997. 1996-1997 Kış Döneminde Malatya İl Merkezi Hava Kirliliği Parametrelerine Meteorolojik Koşulların Etkisi. *Turgut Özal Tıp Merkezi Dergisi*, 4 (3), 265-269.

EPA, U.S. Methane Emissions 1990-2020. Inventories, Projections, and Opportunities for Reductions. EPA 430_R_99_013, Office of Air and Radiation 1999.

Evyapan, F., Mungan, D., Akgün, M., Arbak, P., 2012. Hava Kalitesi ve Sağlık. T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara. http://kronikhastaliklar.thsk.saglik.gov.tr/Dosya/Dokumanlar/kitaplar/hava_kalitesi_ve_saglik.pdf.

Gautam, S., Prusty, B. K., Patra, A. K., 2012. Pollution Due to Particulate Matter from Mining Activities. *Professional Paper*, 5, 53-58.

Ghose, M. K., Majee, S. R., 2001. Air Pollution due to Opencast Coal Mining and Its Control in Indian Context. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 60, 786-797.

Ghose, M. K., Majee, S. R., 2002. Assessment of the Status of Work Zone Air Environment due to Opencast Coal Mining. *Environmental Monitoring and Assessment*. 71, 51-60.

Hykysova, S., Brejcha, J., 2009. Monitoring of PM10 Air Pollution in Small Settlements Close to Opencast Mines in the North-Bohemian Brown Coal Basin. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 123, 387-398.

Irving, W., Tailakov, O., Kruger, D., 2001. CH4 Emissions: Coal Mining and Handling. IPCC Good Practice and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 129-144.

İmal, M., Karapınar, Ç., Doğan, O., 2013. Hava

Kalitesine Doğalgazın Etkisi: Kahramanmaraş Örnek Çalışması. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (2), 22-28.

Kömür Sektör Raporu 2013. 2014. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, <http://www.tki.gov.tr/Dosyalar/Dosya/Sektör%20Raporu%202013.pdf>.

Kund, S., Pal, A. K., 2015. Estimation of Air Quality in the Opencast Mine of Jharia Coal Field, India. *Current World Environment*. 10 (2), 691-697.

Küçükönder, T. Y., 2014. Enerjide Dışa Bağımlılığın Azaltılması ve Ekonomiye Katkısının Artırılması Kapsamında Linyit Rezervlerinin Değerlendirilmesi. Uzmanlık Tezi, Ankara.

Lloyd, P. J., 2004. Coal Mining and the Environment, Energy Research Institute, University of Cape Town. http://web.uct.ac.za/depts/erc/Research/publications-pre2004/02Lloyd_Coal_environment.pdf, (Aralık, 2015).

Naghadehi, M. Z., Sereshki, F., Mohammadi, F., 2014. Pathological Study of the Prevalence of Silicosis Among Coal Miners in Iran: A Case History. *Atmospheric Environment*, 83, 1-5.

Neufeld, H. S., Chappelka, A. H., 2007. Commentary for Papers Resulting from the Recent Symposium on Air Pollution and Vegetation Effects in National Parks and Natural Areas: Implications for Science, Policy and Management. *Environmental Pollution*, 149 (3), 253-255.

Önder, M., Yigit, E., 2009. Assessment of Respirable Dust Exposures in an Opencast Coal Mine. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152, 393-401.

Öksüz, H., 2012. Kömür Kökenli Metan Gazı Salınımının Değerlendirilerek İklim Değişikliğine Etkisinin Azaltılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Pandey, B., Agrawal, M., Singh, S., 2014. Assessment of Air Pollution Around Coal Mining Area Emphasizing on Spatial Distributions, Seasonal Variations and Heavy Metals, Using Cluster and Principal Component Analysis. *Atmospheric Pollution Research*, 5, 79-86.

Pless-Mulloli, T., King, A., Howel, D., Stone, I., Merefild, J., 2000. PM10 Levels in Communities Close to and Away From Opencast Coal Mining Sites in Northeast England. *Atmospheric Environment*, 34, 3091-3101.

Roy, D., Singh, G., 2014. Source Apportionment of Particulate Matter (PM10) in an Integrated Coal Mining Complex of Jharia Coal Field, Eastern India, A Review. *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 4 (4), 97-113.

Sharma, A. K., Siddiqui, K. A., 2010. Assessment of Air Quality for an Open Cast Coal Mining Area. *Indian J. Sci. Res*, 1 (2), 47-55.

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 03/07/2009 Tarih; 27277 Sayılı Resmi Gazete.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Kömür Sektör Raporu (Linyit), Haziran 2014.

Tecer, L.H., Suren, P., Alagha, O., Karaca, F., Tuncel, G., 2008. Effect of Meteorological Parameters on Fine and Coarse Particulate Matter Mass Concentration in a Coalmining Area in Zonguldak, Turkey. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58, 543-552.

URL-1, World Coal Association, What is coal? <https://www.worldcoal.org/coal/what-coal>.

URL-2, International Energy Agency, Coal. <http://www.iea.org/topics/coal/>.

URL-3, U.S. Department of Energy, A Brief History of Coal Use. http://www.fe.doe.gov/education/energylessons/coal/coal_history.html.

URL-4, BP Basın Bülteni,

<http://www.bp.com/content/dam/bp->

[country/tr_tr/pdf/BP_Enerji_statistikleriRaporu_2016_BB.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp-country/tr_tr/pdf/BP_Enerji_statistikleriRaporu_2016_BB.pdf)

URL-5, International Energy Agency Statistics, Key Coal Trends Excerpt from: Coal Information, 2015, <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyCoalTrends.pdf>.

URL-6, Air pollution from coal mines. http://www.sourcewatch.org/index.php/Air_pollution_from_coal_mines.

URL-7, <https://yearbook.enerdata.net/coal-and-lignite-production.html>

URL-8, Technical Fact Sheet: Air Quality – Dust Monitoring, <http://www.edonsw.org.au/pollution>.

URL-9, <http://icp.giss.nasa.gov/education/methane/intro/cycle.html>

URL-10, Environmental Compliance and Performance Report “management of dust from coal mines”. www.epa.nsw.gov.au.

Warhate, S. R., Pokale, W. K., Pokale, A. W., Yenkie, M. K. N., 2015. Study of Impact of Coal Mining on Air Quality Near Wani, Dist. Yavatmal. *International Journal of Chemical and Physical Sciences*, 4 (1971), 504-510.

Williams, A., Mitchell, C., 1994. Mining Emission from Coal Mining, Mining and its environmental impact. The Royal Society of Chemistry, Editors: Hester, R.E., Harrison, R.M.

Yücedağ, C., Kaya, L.G., 2016. Hava Kirleticilerin Bitkilere Etkileri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 7 (1), 67-74.