

Geçmişten Günümüze Kömürün Kendiliğinden Yanması ve Kömür Yangınları

Spontaneous Combustion of Coal and Coal Fires from Past to Present

Serkan İnal^{1*}, İlker Erkan², Kerim Aydın¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

²Gümüşhane Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, 29000, Gümüşhane

Özet

Günümüz Dünyasında küresel ısınmanın en önemli sebebi olarak görülen sera gazı salınımı sebebiyle kömür kullanımı tartışmalı hale gelse de ekonomik kaygıların çevre kaygılarının önüne geçmesi sebebiyle kömürün yoğun kullanımının uzun yıllar devam edeceği düşünülmektedir. Bu sebeple orman yangınları, yıldırım düşmesi vb. gibi etmenlerin yanı sıra kömür yangınlarının sıklıkla sebebi olan kömürün kendiliğinden yanması ile engellenememesi durumunda kömür yangınları küresel bir problem olmaya devam edecektir. Kömür yangınları, toksik gazlar ve elementler ile polisiklik aromatik hidrokarbonlar salınımına sebep olarak insan sağlığını ve doğal yaşamı ciddi şekilde tehdit etmektedir. Ayrıca bu yangınları söndürme çalışmaları ciddi harcamalara sebep olur ve önemli rezervler kaybedilir. Bununla birlikte asit yağmurları oluşur, yerüstü göçükleri meydana gelir ve bölge insanların yaşanmaz hale gelen evlerinden ayrılmaları ile hayalet şehirler ortaya çıkar. Hepsinden kötüsü ise özellikle yeraltı kömür madenlerinde kömür yangınları sebebiyle birçok çalışan hayatını kaybeder. Tüm bu sebeplerle senozoik dönemdeki örnekleri tespit edilen, hatta devonik ve karbonifer döneme kadar uzandığı düşünülen kömürün kendiliğinden yanması ve kömür yangınları insanoğlu için oldukça ciddi bir problemdir. Dolayısıyla bu konudaki çalışmaların artarak engelleme yollarının geliştirilmesi insanlığın ve doğal yaşamın faydasına olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kömür yangınları, Kendiliğinden yanma, Kömür yangın kazaları, Kömür yangınlarının çevresel etkileri, Kömür yangınlarının ekonomik etkileri

Abstract

Despite the opinions about coal usage for energy production and warming needs is still debatable due to the greenhouse gas effect, which is held as the most responsible reason for global warming, in today's world, the economic concerns are having the priority than the environmental concerns so the coal usage will be continued for long years on this perspective. For this reason; no matter how the fires are beginning (spontaneous combustion, forest fires, lightning streaks, etc.) if the necessary precautions will have not taken, coal fires is still being global problems. Coal fires are threatening human health and natural life very seriously due to the release of toxic gases and elements and polycyclic aromatic hydrocarbons. The extinguishing studies of coal fires are causing very serious costs and significant amounts of reserve loses. Beside these, coal fires also cause acid rains, caved in situations underground, which force people to abandon their homes and cities. The worst of all is underground coal fires also caused deaths of workers in many situations. According to these reasons the spontaneous combustion of coal and coal fires which were determined from Cenozoic even from Devonian and Carboniferous era, are very serious problems for human kind. Therefore, the enhancement of the prevention

methods is a must be for both humans and natural life.

Keywords: *Coal fires, Spontaneous combustion, Coal fire accidents, Environmental effects of coal fires, Economical effects of coal fires*

1. Giriş

Kömür, oluşumu erken karbonifer dönemine kadar uzanan, geç karbonifer, permien, jura, kretase ve tersiyer çağlarında meydana gelmiş (Ünalın, 2013), James M. Schopf tarafından 1956'da yapılan ilk yaygın tanımına göre ağırlık olarak % 50, hacim olarak da % 70'ten fazla kömürleşmiş bitki kalıntılarından oluşan (Lyons vd., 1995) oldukça önemli bir enerji kaynağıdır. Kömürün ilk kullanımının ısınma ve bakır ergitme amacıyla 3000 yıl önce Çin'de başladığı düşünülmektedir. Kömürün sanayide kullanımı ise 1709 yılında kok kömürü ile demirin ergitilmesi işlemine dayanmaktadır (Ünalın, 2013). Sanayi devrimi ile birlikte ise kömür kullanımı ciddi şekilde artmıştır. 1790'lara gelindiğinde İngiltere'de 86 adet kokla çalışan fırına karşılık odun kömürü ile çalışan 25 fırın bulunması sanayide kömür kullanımına hızlı geçişin önemli bir göstergesidir (Wrigley, 2010'dan alıntılan Şakul, 2016). Takip eden süreçte elektrikli ampulün keşfi (1879) ile de kömürle çalışan ilk elektrikli santralin kurulumu gerçekleşmiştir (Ünalın, 2013). Türkiye'deki ilk termik santral ise 1914 yılında kurulan Silahtarğa santralidir (Bjureby vd., 2009). Günümüze gelene değin ise diğer enerji kaynaklarına göre yeryüzünde nispeten daha düzenli bir dağılım gösteriyor olması kömürü her zaman önemli kılmıştır (Ersoy, 2010). Son yıllarda sera gazı salınımı ve küresel ısınma artışı sonucunda çevre kaygıları çoğalmış, böylelikle de alternatif enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Fakat gelecek öngörülerini göstermektedir ki çevre kaygılarına rağmen stratejik ve ekonomik gerekçeler sebebiyle kömür kullanımı daha uzun yıllar yoğun bir şekilde devam edecektir (E.İ.A., 2017; B.P., 2017). Günümüzde Dünya enerji ihtiyacının % 85'lik kısmının fosil yakıtlar olan kömür, petrol ve doğal gazlar ile karşılandığı bilinmektedir. Kömürün tek başına Dünya elektrik üretimindeki payı % 42 dolaylarında olup, ABD'de elektrik üretiminin yarısı, Çin'de ise % 70 kadarı kömür ile yapılmaktadır (Rao vd., 2015). Tüm bunlar ile birlikte ise kömürün yeterince incelenmeyen önemli bir dezavantajı da yapısı gereği kendiliğinden ısınabilmesi ve bu sebeple ya da başkaca dış sebeplerle tutuşarak kömür yangınlarının oluşuyor olmasıdır. Kömürün kendiliğinden ısınması, kömürün boşluklardan, çatlaklardan ve kömür iskeletinden oluşan kompleks ve poroz bir yapı olması ile doğal bir absorbent olması sebebiyle (Yangdong vd., 2012), kömürün oksijen ile etkileşimi durumunda oksijenin kömür yüzeyine adsorplanması sonucunda gerçekleşen (Kılıç, 2017) oksidasyon temelli bir olaydır. Kömürün kendiliğinden ısınması yeraltı ve yerüstü kömür madenlerinde (Putra, 2016), stok sahalarında (Özdeniz, 2010), atık toplama alanlarında (Ciesielczuk vd., 2014), gemilerin bunkerlerinde (Stracher ve Taylor, 2004), nakliye sırasında (Beamish vd., 2002) kısacası kömürün ve atıklarının bulunduğu her yerde gerçekleşebilen bir olaydır. Bununla birlikte kömürün kendiliğinden ısınması, orman yangınları, yıldırım düşmesi ve insan kaynaklı diğer sebeplerden meydana gelebilen kömür yangınlarına da sebebiyet vermektedir (Dias vd., 2014). Kömür yangınları özellikle kömürün yüzeyde ya da yüzeye yakın olduğu yerlerde Dünya çapında zor ve sürekliliği olan bir problemdir. Bu yangınlar sonucunda; çevrenin güvenliğinin azalması ve sağlığın zarar görmesi, yer yüzeylerinin çökmesi, hava kirliliği, orman ve çalılık yangınları ve yaşam alanlarının zarar görmesi ile büyük miktarda potansiyel enerji kaynağının kaybı gibi durumlar ortaya çıkar (Colaizzi, 2004). Kömür yangınları bir kere başladığında hemen harekete geçilmez ise söndürülmeleri neredeyse imkansız olduğundan (Güncüoğlu, 2014) ve söndürme çalışmaları uzun süreli uğraşı gerektirdiğinden (O'Keefe vd., 2010) olumsuz etkilerine uzun süreler maruz kalınır. Hatta bu yangınları durdurmak için yapılan kazı ve patlatma gibi bazı çalışmaların da ekstra olarak yüzey yangınlarını ve kömür atık sahası yangınlarını tetikleyebildiği bilinmektedir (Song vd., 2015). Dolayısıyla sağlık açısından

olumsuz etkileri oluşturan başta karbon monoksit, sülfür oksitler, nitrojen oksitler, duman ve cıva emülsiyonları olmak üzere gaz salınımları ile karşı karşıya kalınır. Ayrıca sülfür ve nitrojen oksitleri atmosferdeki su ve oksijen ile reaksiyonla asit yağmurlarına dönüşür. Tüm bu sebeplerle de yangının olduğu bölgeler yaşamsız boş arazilere dönüşürler. (Güncüoğlu, 2014). Bu çalışmada yeterince ilgi göremeyen ve etkileri bakımında genellikle ihmal edilen kömür yangınlarına ve birçok açıdan zararlı etkilerine göz atılarak kömür yangınlarının önemine dikkat çekilmeye çalışılmıştır.

2. Kömürün Kendiliğinden Isınması ve Kömür Yangınlarının Etkileri

Kömürün kendiliğinden ısınması özellikle yeraltı ocaklarında ortamın güvenliğini ciddi şekilde tehdit altına sokabilen, önüne geçilememesi durumunda ciddi can ve mal kayıplarına sebebiyet verebilen oldukça önemli bir problemdir (Ören ve Şensöğüt, 2007). Bununla birlikte kendiliğinden ısınma problemi veya başka sebeplerle gerçekleşen kömür yangınları da birçok açıdan Dünya çapında önemli bir problemdir. Kömür yangınları sonucunda ortaya çıkan gazlardan bölge nüfusu ve çalışanlar ciddi zararlar görebilmekte, açık ocaklarda şev stabilitesi bozulabilmekte, yeraltı ocaklarında ciddi miktarda potansiyel rezerv kayıpları yaşanabilmekte (Güncüoğlu, 2014), çalışanların hayatları tehlikeye girebilmekte ve ölümler olabilmekte (Yaşar vd., 2015), zemin çatlakları ve yerel çökmeler meydana gelebilmekte (özellikle terk edilmiş sığ madenlerde), flora ve fauna yaşamın yıkımı gerçekleşebilmektedir (Donnelly ve Bell, 2011). Daha derinlemesine bir değerlendirme için kömürün kendiliğinden yanması ve kömür yangınları çevresel, ekonomik ve yaşamsal etkileri açısından ayrı ayrı irdelenmiştir.

2.1. Çevresel Etkiler

Kalıcı organik birleşikler ve zararlı elementler kömür yangınları etkisiyle kirletici etkiler göstermekte olup bu kirleticiler toksik yapıda ve kalıcı olmaları ile insan sağlığı için potansiyel riskler oluşturmaktadır olduğundan temel bir çevre kaygısını da beraberinde getirmektedir (Oliveira vd., 2018). Kömürün kendiliğinden ısınma sonucunda tutuşma sıcaklığına ulaşması veya dış bir etmen ile yanmaya başlaması ile çok hızlı bir şekilde 800-1300 °C sıcaklığına ulaşabildiği bilinmektedir. Bu durumda da ısıl ayrışma meydana gelerek kömür ve içeriğindeki minerallerden ciddi gaz emülsiyonu gerçekleşir (Querol vd., 2011). Her ne kadar yanma sonucu kaybedilen kömürler ve salınan gaz miktarları termik santrallerde kullanılan kömürlere göre oldukça düşük kalmaktaysa da çevreye etkileri bakımından yine de değerlendirilmesi gereken miktarlardır. Çünkü bu yangınlar doğa ve insan sağlığını toksik gazlar (CO, SO₂, H₂S, N₂O ve NO_x), toksik elementler (As, F, Hg, ve Se) ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) tarafından ciddi şekilde tehdit ederler (Song ve Kuenzer, 2014). Bununla birlikte gerek kömürün kendiliğinden ısınması gerekse de kömür yangınları sonucunda kömür içerisindeki piritin oksitlenmesi de ayrıca çevresel bir soruna yol açar. Pirit havaya maruz kalırsa sülfürik asit oluşumu artar, ferrüs ve ferrik sülfat ve ferrik hidroksit süresince bozunmuş malzeme içerisine asidik şartlar verir. Bu tarz şartlarda da bitkiler büyümmezler. Çünkü toprak artık bozunmuş malzemeler, elementler içerebilir ki bunlar bitki yaşamı için toksiktir. Ayrıca asidik ortam oluşması durumunda drene edilen sular düşük pH değerinde olabilir ve yüzey su kaynakları da kirlenebilir (Bell, 1996). Üstelik kömür yangınları ve yangınla mücadele yöntemlerinin tek çevresel etkisi de bunlar değildir. Kömür yangınları ve aynı zamanda yangınla mücadele aktiviteleri ile ilişkili patlatma ve çıkarma çalışmaları sebep oldukları jeolojik yapıdaki değişimler ile düzeltilmesi zor olan yerel tabiat ve ekosistem bozulmalarına sebep olmaktadır (Song ve Kuenzer, 2014). Özellikle kömür ve diğer kayaçların yangın oluşan bölgeye yakın kısımlarının tamamı 1000 °C ve üzerindeki yüksek sıcaklığa maruz kalarak bu tarz jeomekanik değişimlere uğrarlar (Cheng vd., 2015). Tüm bu sebeplerle kömür yangınları sonucunda çiçek ve faunal yaşam alanları yok olur,

bölge insanlarında birçok solunum hastalığı görülebilir, maden tünelleri boyunca toprak çökmeleri oluşur ve asit yağmurları oluşabilir (Stracher ve Taylor, 2004). Bununla birlikte kömür yangınları söndürme çalışmaları ile yüzey topraklarının tahrip olması sonucu yerel eko-sistem ve oluşan çökelti sonucunda da bitkilerin büyümesi zarar görür, yangınların ısı etkisi ile toprak özellikleri değişir, söndürme çalışmaları ile gaz emülsiyonları artar ve su-çamur enjektisi gibi müdahaleler ile yeraltı sularının kirlenme riski artış gösterir (Qiang vd., 2018). Fakat tüm bu etkilerin özellikle de sera gazı salınım miktarlarının tespit edilmesi oldukça zordur. Çünkü farklı maden yangınları bilgilerine dayanan tahminler kömürün kalite analizlerine bile dayansa üretilen gazın hacmi ilgili isabetli tahminler ortaya konamaz (Pone vd., 2007). Burada kömürlerin karakteristiklerindeki ciddi değişimler, mekânsal ve zaman dilimi farklılıkları önemli değişikliklere yol açmasından dolayı etkili olur (Reisen vd., 2017). Bu sebeple de her yangının ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.2. Yaşamsal Etkileri

Kendiliğinden yanma ve kömür yangınlarının iki önemli yaşamsal etkisi vardır. Bunlar; oluşturduğu hava kirliliği kaynaklı insanların, hayvanların ve bitkilerin yaşamına olan etkiler ve madencilik faaliyetleri sırasındaki can kayıplarıdır. Dünyada asit yağmurları ve sera gazının birincil kaynağı endüstriyel duman bacaları ve motorlu araçlar olarak görülür. Fakat dünya çapındaki kömür yangınlarının da muazzam miktarda zehirli gazlar ve partiküller ortaya çıkararak gerçekleştiği, çevreyi önemli miktarda tahribata sürüklediği ve bölge sakinlerinin sağlığı üzerine ciddi zararları olduğu bilinmektedir (Stracher ve Taylor, 2004). Dünya çapında temel bir sağlık problemi olarak görülen erken doğum, yeni doğan ve emzirme dönemindeki çocukların ölümleri ile uzun süreli sağlık problemleri ciddi anlamda ev içi ve dışı hava kirliliği ile 2,5 mikron altı (PM 2,5) havada asılı partiküllere maruz kalma ile ilişkilendirilmektedir (Malley vd., 2017; Jiang vd., 2015). Bununla birlikte dünya nüfusunun % 92 kadarı da hava kalite standartları açısından uygun olmayan yerlerde yaşamaktadır. 2012 yılı verilerine göre % 60'ı bebeklerde görülmek üzere bir yıl içinde ev içi (4,3 milyon) ve ev dışı (2,2 milyon) hava kirliliğine maruz kalan toplam 6,5 milyon insanın (toplam dünyadaki ölümlerin % 11,6'sı) bu sebeple vefat ettiği düşünülmektedir (W.H.O., 2017). Bu açıdan da bakıldığında kömür yangınları yöre insanının sağlığı üzerine ciddi etkiye sahiptir denilebilir. Fakat esasen potansiyel sonuçlar sadece teorik olarak benzer hava kirliliği açısından diğer çalışmaları irdeleyen tahminlere dayanmaktadır. Bununla birlikte bu karşılaştırılabilir maruz kalmalar ile kömür madeni yangını dumanına maruz kalmanın solunum yolu sorunları riskini arttıracak sonucuna ulaşılmaktadır. Olumsuz kardiyovasküler sonuçlar, ölümlerin artması ve orman yangınları için tanımlanan dumana maruz kalmaya bağlı popülasyona etkiler de maruz kalınan miktarın büyüklüğü ve popülasyonun sayısına göre ayrıca önemlidir. Ayrıca lokal olarak kömür kullanımının kronik maruz kalma ile tümör ve zehirlenme risklerini artırdığı düşünülse de, sağlık açısından haftalar ve aylarca kötü havaya maruz kalmanın etkileri açısından araştırma boşlukları bulunmaktadır. Bu tarz verilerdeki eksiklikler hükümetlerin ve sağlık ofislerinin kömür madeni yangınlarının bilimsel açıdan etkilerinin zamanında değerlendirilebilmesi yeteneğini azaltmaktadır (Melody ve Johnston, 2015). Sonuç olarak kömür yangınları sebebiyle insanlar hayatlarını kaybeder, evlerini ve işletmelerini terk etmek zorunda kalır, çiçek ve fauna yaşam ortamları yok olur ve tehlikeli toprak çökmeleri meydana gelir (Stracher ve Taylor, 2004; Şekil 1-2).



Şekil 1. Pennsylvania'da yeraltındaki kömür yangını sonucu çöken yol (URL - 1, 2008)



Şekil 2. Yerleşim bölgesi kömür yangını (Foto: Janet L. Stracher, Kaynak: URL - 2, 2010)

Kendiliğinden yanma ve kömür yangınları ile ilgili ikinci önemli durum ise madencilik faaliyetleri sırasında artan riskler ve meydana gelen ölümcül kazalardır. Kömür madenciliğinde gerçekleşen kazaların birçoğu kendiliğinden yanma kaynaklıdır ve madencilik yapılan derinlik yıllar geçtikçe artmakta olduğundan kendiliğinden yanma tehlikesi büyümektedir (Putra, 2016; Qi, 2010). Kömür madenciliğinde çok çeşitli kaza sebepleri olabilmekle birlikte temelde yatan gerçek sebebin ya da tetikleyicinin kendiliğinden yanma olduğu da sıklıkla sonraları anlaşılmaktadır. Örneğin Çin'de Pinghu kömür madeninde 2007 yılında gerçekleşen oldukça ciddi gaz patlamasının sebebinin de daha sonra yapılan araştırmada geride bırakılan kömür damarında gerçekleşen kendiliğinden yanma olduğu belirlenmiştir (Zhang vd., 2011a). Keza kendiliğinden yanmanın temel ürünü olan CO gazının özellikle üretim sırasında geride bırakılan kömürlerin olduğu bölgelerde ani yükselmesiyle gaz-hava karışımının patlayıcı konsantrasyonlara ulaşması olasıdır. Yangın oluşması durumunda da CH₄, CO ve temiz hava iyi bir şekilde karışarak kendiliğinden yanma bölgesi ve tutuşma olmayan bölge arasındaki ısı alışverişi ile gaz patlamasının önü açılabilir (Qiang vd., 2011). Yani yüksek gaz içeriği olan yeraltı kömür madenlerinde kendiliğinden yanma sebepli gaz salınımlarıyla perçinlenen önemli riskler bulunmaktadır. Birçok vakada kendiliğinden yanma, patlayıcı metan karışımının ateşleyici kaynağı olabilmektedir (Adamus vd., 2011). Patlama olmadığı durumda da kömürün kendiliğinden ısınması sürecindeki gaz salınımı ve yangın oluşması ile ocak havasının limit değerlerin altına düşmesiyle de ciddi kazalar ve ölümler gerçekleşmektedir. Kendiliğinden yanmaya eğilimli kömürlerin daha düşük tutuşma sıcaklığının olması da yangın oluşma riskini ayrıca arttırmaktadır (Novikova vd., 2016).

2.3. Ekonomik Etkiler

Kömürün kendiliğinden ısınması ve akabinde yanması ekonomik kayıpları da beraberinde getirmektedir. Kendiliğinden ısınma sonucundaki ekonomik kayıplar stoklarda kaybedilen kömürler (Özdeniz, 2003) ile tane boyutu küçülmeleri ve kalori kayıpları (Arısoy ve Akgün, 2000; Şensöğüt ve Özdeniz, 2008), kömür yapısındaki olası değişiklikler sebebiyle zenginleştirme aşamasındaki zorlukların artması (Xia ve Xie, 2014), madenlerin boşaltılması sonucu çalışma günü kayıpları, iyileştirme işlemlerine harcanan paralar, söndürülemeyen yangınlar veya kontrol altına alınamayan kendiliğinden yanma gibi sebeplerle mühürlü olarak yeraltına bırakılan kömürler, gibi ciddi ekstra maliyetler olarak sıralanabilir (Cliff, 2009; Singh, 2013). Örneğin kömürün stoklarda kendiliğinden yanması sonucunda sadece tek bir tesisi kapsayan çalışmaya (Garp Linyitleri – Tunçbilek) göre 10 yıl içerisinde 500 bin ila 1 milyon ton arasında kömür kaybedilmiştir (Özdeniz, 2003). Bu miktar Ocak 2018 fiyatları baz alındığında farklı boyuttaki kömürler için ortalama bir değerle kabaca 24-48 milyon TL’lik bir rakama tekabül etmektedir (URL – 3, 2018). Bununla birlikte kömürlerde tane boyutu küçülmeleri ekonomik bir kayıp olarak değerlendirilebileceği gibi kalori kayıplarının da %10-20 civarında olabildiği tespit edilmiştir (Arısoy ve Akgün, 2000; Şensöğüt ve Özdeniz, 2008). Öte yandan kömürün kendiliğinden ısınması sonucunda yeraltı ocaklarında önemli çalışma günü kayıpları ve mühürlenilen bölgelerdeki kömürlerin kullanılamamasının (Cliff, 2009) yanı sıra açık ocaklarda da şev stabilitesinin bozulması sonucunda şev kaymaları kaynaklı kazalar görülmekte, ekipman kayıpları yaşanmaktadır (Bell ve Donnelly, 2006). Kömür yangınlarının etkileri ise ekonomik olarak daha yıkıcıdır. Sadece Amerika Birleşik Devletlerinde kömür yangınları ile mücadele projeleri, bitirilen, bütçelenen veya Amerika Birleşik Devletleri yerüstü madenciliği ıslah ve destekleme iç ofisi tarafından projelendirilenler birlikte değerlendirildiğinde %90’ı 2 eyalet Pennsylvania ve Batı Virginia olmak üzere 1 milyar \$ harcama miktarını geçmiştir (U.S.G.S., 2009). Çin’in sadece Wuda madenindeki yangın söndürme çalışmalarına 2009-2011 yılları arasında 13.174.200 Euro’luk harcama yapılmıştır. Bununla birlikte ciddi miktarda kömürün kaybı da söz konusu olmaktadır. Örneğin Guan ve Van Genderen (1997) göre sadece Çin’de 4,22 milyar tonluk kömürün yangınlar sebebiyle kaybedildiği düşünülmektedir (Kuenzer, 2005 ve Voigt et al., 2004’dan alıntılıyan Wu ve Liu). Ayrıca Çin’de buna ilaveten yıllık 10-200 milyon metrik tonluk rezervin de kömür yangınları tarafından tüketildiği, Dünya’da kömür yangınlarına kaybedilen miktarın bunun 2-3 katına kadar ulaştığı düşünülmektedir (USGS, 2009). Kömür yangını sonucu kaybedilen kömürlerin miktarı ve etkilenen alanın büyüklüğü hakkında Şekil 3 ve 4’den fikir edinilebilir. Önemli kömür rezervi sahibi ve üreticisi olan ülkelerle ilgili ilerleyen kısımlarda ayrıca değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 3. Jharkland, Hindistan açık ocak kömür yangını (URL-4, 2015).



Şekil 4. Morwell, Avustralya açık ocak kömür yangını (URL-5, 2014)

3. Dünya’da Kömürün Kendiliğinden Yanması ve Kömür Yangınları

Çin’den, Hindistan’a, Amerika’dan Güney Afrika’ya, Avustralya’dan Rusya’ya kadar kendiliğinden yanmanın tutuşturduğu yangınlar rapor edilmiştir (Kuenzer ve Stracher, 2012). Çin’de 2002’ye kadar ki süreçte kömür madenlerinin % 51’inin kendiliğinden yanma geçmişi olup, yeraltı kömür ocaklarının yarısı kendiliğinden yanma riski altındadır. Küçük madenler için ise kendiliğinden yanma riski % 85’lere ulaşmaktadır (Deng vd., 2010; Qi vd., 2010; Zhang vd., 2011b; Zhang vd., 2012). Şimdiye kadar gerçekleşen yangınların ise % 90’ından fazlasının kendiliğinden yanma kaynaklı olduğu bilinmektedir (Qi vd.,2010; Zhang vd., 2011b). Hindistan’da 17,32 km²’lik bir alanda 65 kömür yangını meydana gelmiş olup, kömür yangınlarının % 75’i kendiliğinden yanma kaynaklıdır (Singh, 2013). Amerika’da 1991-2000 yılları arasında sadece 10 senelik bir süreçte kömür madenlerinde çıkan 137 yangın içerisinde kendiliğinden yanma sebepli olanlarının sayısı 76’dır. Büyük Britanya ve Fransa da ise 1970’ler boyunca her yıl ortalama 8 adet kendiliğinden yanma vakası görülmüştür. Analizlere göre Güney Afrika kolonilerinde 1970-1990 yılları arasında meydana gelen 254 rapor edilmiş yeraltı yangının üçte birinin temel sebebi kömürün kendiliğinden yanmasıdır. Güneydoğu Avustralya bölgesinde 1960-1991 yılları arasında 125 kendiliğinden yanma hadisesi olmuştur. (Qi vd., 2010). Günümüzde ise Avustralya kömür madenciliğinde kabaca senede bir kendiliğinden yanma olayı meydana gelmektedir (Cliff, 2009). Bununla birlikte gelecekte kendiliğinden yanma olayının, artan derinlik ile sıcaklığın artması sonucunda daha olası bir problem haline gelmesi ihtimali oldukça yüksektir. Keza örneğin Avustralya Bowen havzasında artan jeotermal ısı ile birlikte 500 m derinlikteki bakir kömürün sıcaklığının 50 °C’ye kadar çıkacağı tahmin edilmektedir (Belle ve Biffi, 2018) ki ortam sıcaklığındaki artışın kömürlerin kendiliğinden yanma riskini arttırdığı bilinmektedir (Wen vd., 2017).

Bununla birlikte Wyoming ve Kuzey Dakota’da Powder River Havzasında Pliyosen evrede (Heffern and Coates, 2004), kuzey-batı Çin’de buzul çağında (pleistosen) (Kroonenberg and Zhang, 1997’den alıntılan Stracher, 2007) ve Sibirya’da Kuznetsk Havzasının batı kıyısında yine buzul çağında (Sokol vd., 2014) kömür yangınları olduğu tespit edilmiştir. Fakat senozoik dönemden daha geriye gitmediği düşünülen kömür yangınlarının atmosferde oksijenin % 35 civarında olmasının da oksidasyon sürecine pozitif etkisi ile birlikte devonik ve karbonifer döneme değin uzandığını iddia eden çalışmalar da bulunmaktadır (Novikova vd., 2016). Günümüzde ise küçük yangınlar bir tarafa Avustralya, Amerika Birleşik Devletleri, Güney Afrika, Hindistan, Çin gibi ülkeler başta olmak üzere Dünya çapında halen devam eden önemli kömür yangınları olduğu bilinmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Dünyadaki önemli kömür yangın bölgeleri (Stracher vd., 2011'den değiştiren Melody ve Johnston, 2015).

3.1.Çin

Küresel olarak en büyük kömür üreticisi ve tüketicisi olan Çin'de kömür yangınlarının kaydı 1600 yıl öncesine kadar dayanmakta olup, Çin kömür yangınlarından oldukça ciddi şekilde etkilenmektedir (Song ve Kuenzer, 2014). Bu yangınlar sonucunda rakamsal veriler farklılıklar gösterse de tahminlere göre her yıl 100-200 milyon tonluk kömür rezervinin tüketildiği düşünülmekte olup (Colaizzi, 2004), bu yangınlar sonucunda salınan CO₂ miktarının ise 90'lı yılların sonu için A.B.D.'de tüm araçlardan salınan miktara eşit olduğu düşünülmektedir (Discover, 1999). Günümüzde ise kömür yangınları sonucu sera gazı salınımının Çin için küresel olarak fosil yakıtlardan salınan toplam CO₂ 'nin %0,1 ila % 0,22'si arasında olduğu hesaplanmaktadır. Fakat bu rakamın bazı söndürülen yangınlar sebebiyle biraz daha küçülmüş olabilme ihtimali vardır. (Song ve Kuenzer, 2014). Çin'deki kömür yangınları özellikle İç Moğalistan, Xinjiang, Ningxia, Shanxi, Shaanxi, ve Heilongjiang olmak üzere Kuzey Çin'e yayılmış olup, halen 30 km²'nin üzerinde alanın kömür yangınlarından mustarip olduğu düşünülmektedir (Song ve Kuenzer, 2014) (Şekil 6). Birkaç örnek vermek gerekirse Xinjiang bölgesindeki Daganhu kömür yangını madencilik sırasında kömürün kendiliğinden ısınması-yanması sonucunda başlamış ve 1978 yılından beri devam etmektedir (Qiang vd., 2018). Moğalistan Özerk bölgesindeki Wuda kömür madenide yine Dünya çapındaki en büyük kömür yangın alanlarından. Öyle ki bu alan 2005'de yangın söndürme çalışmaları için seçilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda 2004 yılındaki 18 küçük yangından birçoğu söndürülse de halen 6 yangın devam etmektedir. Fakat madencilik çalışmalarının 100 m civarından 320 m civarına kadar inmiş olmasının da etkisi ile 2004'de 159 ha (hektar), 2005'de ise 113 ha alan yangınlardan etkilenirken 2010'da etkilenen bölge 227 hektara kadar genişlemiştir. Üretimi yıllık 15 (2010), 16 milyon (2011) ton olan bu bölgede halen yıllık 300 000 ton kömür yandığı düşünülmektedir (Kuenzer vd., 2012).



Şekil 6. Kuzey Çin açık ocak kömür yangınından bir görüntü (Foto: Anupma Prakesh, Kaynak: Stracher, 2004)

3.2. Hindistan

Yeraltı ve yerüstünde toplam 200 kadar yangının olduğu düşünülen Hindistan'da yangınlar kömür madenciliği açısından oldukça önemli bir problemdir (Singh vd., 2007). Madencilik yapılmaya başlandığı 1894'ten hemen sonra 1916'da ilk yangının başladığı, 1960'larda kömür alanının tamamına yayılan Hindistan kömür havzası yangınlarında alevlerin yüksekliğinin yer yer 20 m'ye ulaştığı belirtilmektedir (Bharat Coking Coal Limited, 2003'den alıntılan Stracher ve Taylor, 2004). Bununla birlikte bu yangınların büyük çoğunluğunun kömürün oksidasyonu sonucu kendiliğinden yanması kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Singh vd., 2007). Hindistan'da kömür yangınlarından en çok etkilenen bölge ise 450 km²'lik bir alana yayılan ve 19,4 milyar tonluk kömür rezervi ile Dünya da en büyük kömür yoğunluğuna sahip olan Jharia kömür havzasıdır (Singh, 2013) (Şekil 7). Jharia kömür havzasında 90'lar boyunca 40 milyon tonluk kömür rezervi yanmıştır. (Colaizzi, 2004). Bununla birlikte ise 1.453 milyar ton kömür yangınlar dolayısıyla bloke olmuş durumdadır (Wu ve Liu, 2011). Ayrıca henüz işletmeye başlanılmadan bölge kömürlerinin kayda değer kısmı yeraltı yangınları tarafından yok edilmiştir. Bununla birlikte kömür yangınlarının büyümesinin 2. Dünya savaşı sonrasındaki plansız ve aşırı madencilığe dayandığı düşünülmektedir. 1970 yılında kamulaştırma ile de bu yangınlar birçok alana yayılmıştır (Martha vd., 2010). Müdahalelere ve yangın kontrolü önlemlerine rağmen kömür yangını aktivitelerinin halen devam ettiği manyetik tarama çalışmaları ile görülmektedir (Vaish ve Pal, 2015). Hatta yangınlar, çalışmalara rağmen alansal (0.52 km²) olarak büyüebilmektedir (Martha vd., 2010). Sonuç olarak Jharia bölgesi Hindistan'daki kömür yangınlarının halen büyük kısmını barındırmaktadır. Yaklaşık 65 yangın aktif olmakla birlikte birçok yangın birleşerek bitişik kömür damarlarını yutmuştur. Yangınlar sonucunda ise, yüzey çökmeleri, yaşam, mülk ve yeryüzü kayıpları ile kömür havzasındaki insanların yaşamlarının bozulması gibi durumlarla karşılaşmaktadır (Michalski vd., 1997).



Şekil 7. Dünyanın en büyük kömür yangını kompleksi Jharia'dan bir görüntü (Foto: Anupma Prakesh, Kaynak: URL- 2, 2010)

3.3. Amerika

Amerika Birleşik Devletlerinde hala 200'den fazla yer altı ve yer üstü kömür yangını devam etmektedir. Bu yangınlardan biri olan Centralia, Pennsylvania'daki yangın 1962'den beri sürmektedir. Bu yangın, terkedilmiş açık ocak madeninin yakınındaki çöplük alanında başlamış ve yeraltı madenine doğru yayılmıştır. 1962'den itibaren defalarca alınan kararlarla bölgenin temizlenerek tekrar doldurulması, yangın etrafındaki kömür damarlarının tamamen çıkarılması, izolasyon ile hava akışının kesilmesi gibi birçok proje geliştirilip uygulansa da başarısız olunmuştur (Güncüoğlu, 2014) (Şekil 8). Pennsylvania'daki ilk büyük yangın ise 1869 yılında Plymouth ilinin Avondale madeninde meydana gelmiş ve 110 kişinin yeraltında mahsur kalıp, boğulmaları sonucunda ölümleri ile sonuçlanmıştır (Stracher ve Taylor, 2004). Amerika Birleşik Devletlerindeki önemli kömür yangınlarından bir diğeri ise Montana ve Wyoming eyaletlerindeki Powder River Havzası yangınıdır. Powder River Havzasının 4 milyon yıldır yandığı düşünülmektedir. Bu süreçte 43 milyar metrik tonluk kömürün yandığı ve 82 milyar kısa tonluk CO₂'nin atmosfere salındığı tahmin edilmektedir (Heffern ve Coates, 2004). Halen yanmaya devam eden bölgede lokal olarak tehlike yaratacak seviyelerde CO, CO₂, H₂S ve benzen ile diğer gazları salınımı devam etmektedir (Engle vd., 2012). Amerika'daki bir diğer kömür yangını bölgesi ise Kentucky eyaletindeki özellikle Truman Shepherd ve Ruth Mullins damarlarıdır. Bu bölgede ciddi gaz emülsiyonunun görüldüğü bilinmektedir. Fakat daha öncede bahsedildiği üzere farklı şartlar bu emülsiyonları etkileyebildiğinden tam bir tahmin yapmak güçtür. Örneğin; Şubat 2009 verilerine göre Truman Sheperd damarında yıllık 450-500 ton kömürün yandığı ve 1400 ton CO₂, 16 kg Hg gazının atmosfere salındığı düşünülmekte iken (O'Keefe vd., 2010) bu değer aynı bölge için Kasım 2009 verilerine göre 5400 T/yr CO₂ ± 1700, 240 ton/yıl ±69 CO₂, ±150 T/yıl ±45 CH₄, ±0,82 ton/yıl ±0,24 H₂S, ve maksimum 2.7 gr/yıl Hg salınımı olarak revize edilmiştir (O'Keefe vd., 2018). Gaz salınımları sıcaklıkla önemli bir ilişkiye sahip olduğundan (Garrison vd., 2017) bu tip farklılıkların dönem şartlarıyla birlikte örnek alınan yerin ısısına da bağlı olduğu düşünülebilir. Tüm bunlarla birlikte temel yanma oranı hesabına göre Amerika Birleşik Devletleri kömür yangınlarından yıllık kabaca 1.4×10⁷ - 2.9×10⁸ ton CO₂ salınımı gerçekleşmektedir (O'Keefe vd., 2010).



Şekil 8. Pensilvanya'da terkedilmiş yerleşim yerinde yangın (Scott Drzyzga, URL 6, 2013).

3.4. Avustralya

Avustralya'daki en büyük ve bilindik kömür yangını şüphesiz ki Burning Mountain (Yanan Dağ) kömür yangınıdır (Şekil 9). 6000 yıldır yandığı tahmin edilen Burning Mountain'ın önceleri volkanik bir saha olduğu sanılırken, kömür yangını olduğu ancak 1829 yılında tespit edilebilmiştir (Ünalın, 2013). Bununla birlikte Avustralya'daki kömür yangınları bununla sınırlı olmayıp, yakın tarihte başlayan yangınlarda vardır. Buna örnek olarak Latrobe Valley Victoria'daki Hazelwood açık ocak linyit kömürü yangını verilebilir. 9 Şubat 2014 yılında kullanılan kısmının yakınlarındaki çim ve çalı közlerinden dolayı madende yangın başlamıştır. Rüzgârın da etkisi ile hızlı bir şekilde yayılan yangın 45 gün sürmüş, yakın yerleşim yerlerinde CO ve konsantrasyonları ciddi seviyelere ulaşmıştır. Fakat etki bu kadarla da sınırlı kalmamış ve madene 13 km uzaklıktaki yerleşim merkezinde dahi P.M. 2,5 konsantrasyonu standartları aşılmıştır (Reisen vd., 2017).



Şekil 9. Burning Mountain'de devam eden yangın ve gaz çıkışı (Foto: Danny Yee, Kaynak: URL 7, 2004.)

3.5. Güney Afrika

Güney Afrika'da en bilindik ve büyük yangın Witbank kömür havzası yangınıdır (Şekil 10). Güney Afrika'nın Mphumalanga şehrindeki Witbank Kömür yatağı yaklaşık 180 km'nin üzerinde; batıda Brakhan/Sprink'den, doğuda Belfasta kadar uzanmakta ve yaklaşık 40 km kuzey-güney doğrultusundadır. Witbank kömür havzası boyunca 50'nin üzerinde kömür madeni işletilmekte olup, havza kömürlerinde tekrarlayan kendiliğinden yanma problemi olduğu bilinmektedir (Uludağ ve PhMips, 2001). Bu bölgedeki kapatılmış madenlerde de (Örn: Middelburg madeni) kömür yangınları halen devam etmektedir (Donnelly ve Bell, 2011). Kendiliğinden yanmaya eğilimli bu kömür damarındaki bu tip devam eden yangınların bir sebebinin de önceden seçilmiş olan madencilik yöntemi olduğu düşünülmektedir. Zaten kendiliğinden yanma problemi olan kömürlerde yanlış yöntemlerin uygulanması ile yangınların oluşumuna katkı sağlamamak için bu örneği incelemekte fayda bulunmaktadır. Middelburg madeninde 1908 yılında pano ve topuk (bord and pillar) yöntemi kullanılmış, 1930'ların sonu ve 1940'larda madenin geniş bir alanında topuklar çıkarılmıştır. Bu durum yüzeyde deliklerin oluşmasına ve kalan birçok topuğun çökmesi ile yüzey süreksizliklerinin oluşmasına sebebiyet vermiştir. Çöküntüler sonucundaysa çalışma alanına hava girişi olmuş ve kömürün oksidasyonu ile üretilen ısı kalan kömür topuklarının da kendiliğinden yanmasına sebep olmuştur. Bu yeraltı yangını ise kalan topukları da zayıflatmış ve sonraki çöküntüler meydana gelmiştir (Bell vd., 2001). Maden 1947 yılında kapatılmakla birlikte şehir yolunun stabilitesinin sağlanabilmesi için shaft 1982-1983 yılında açılarak maden bölgesine 6 hektar dolgu gerçekleştirilmiştir. Dolgu işlemi tamamlandığında ise mühürleme gerçekleştirilmiş, bu zamandan sonra hava ve su madene giriş yapamamıştır. Madendeki kömür son 40 senede kendiliğinden yanmaya maruz kalmış ve tahminlere göre 150-200 ha alan bu yanmadan etkilenmiştir. Madeni sınırlayan sütunların açık ocak ile alımı ise 1991 yılında başlamış ve 1992 yılında sonlandırılmıştır. Bu operasyon ise yeraltı yangınının bitişik madene yayılmasını engellemek için gerçekleştirilmiştir. İlave olarak başta yeraltından yüzeye çıkmış maden mülkiyetinin doğu kısmı sınır sütunu olmak üzere birçok küçük kömür kalıntısı da açık ocak madenciliği metodu ile alınmıştır (Bullock ve Bell, 1997). Tüm bunlarla birlikte bölgedeki yüzey sularının sızması sebebiyle düşük pH ve yüksek çözünmüş katı madde içerikli asit maden drenaj suları oluşmuş, bu suların da etkisi ile 3 ha'lık alanda bitkiler yok olmuştur. Bu alanda tek yaşayabilenlerinse kırmızı ve yeşil algler olduğu görülmüştür (Bullock ve Bell, 1997; Bell vd., 2001). Ayrıca Güney Afrika'da, Witbank bölgesi dışında ve açık ocak yöntemiyle işletilen ocaklarda da kendiliğinden yanma vakaları görülmektedir. Örneğin: Boschmanskrans çukurunda Middleburg kömür madeninde yüksek duvar (highwall) yöntemiyle yapılan açık ocak madenciliğinde duvarları kapatarak ısınmasını engellemek için yeterli kumun bulunmayışı sebebiyle yüksek duvarlarda ilaveten ise atık öbeklerinde, stok sahalarında ve bazı damarlarda önceki yeraltı çalışmalarından kaynaklı kendiliğinden yanma durumu sıklıkla görülmektedir (Onifade ve Genç, 2018).

3.6. Avrupa

Avrupa'nın birçok ülkesinde kömürün kendiliğinden yanması sorunu ile karşı karşıya kalmaktadır. Bununla birlikte Avrupa'da çok büyük kömür yangınları olduğu söylenemez. Almanya'da Zwickau şehrinde 1476 yılından beri yanan ve ancak 1860 yılında bastırılan yangın, Dudweiler'de 1668 yıllarında başladığı düşünülen ve hala devam eden yangın, linyit madenciliğinin yüzyıllar önce sonlandığı Schwalbenthal'da gözlemlenen gaz çıkışları bazı örnekler olarak verilebilir (Singh, 2013). İngiltere'de ise bazı kömür madenleri atık sahalarında yıllardır kendiliğinden yanma ile karşı karşıya bulunduğu bilinmekte olup (Donnelly ve Bell, 2011), Clare Cale kömür madeninde halen devam eden yangın dikkat çekmektedir (Şekil 11). Çekya'da ise kömür madenlerinde, atık ve kömür stok sahalarında sıklıkla kömürün kendiliğinden yanması

ile karşılaşılmakta ve konu ile ilgili yoğun çalışmalar yapılmaktadır (Klica ve Martinec, 2013). Katerina kömür-atık yığını yangını Çekya'daki kömürün kendiliğinden yanması ile ilgili sadece bir örnektir (Şekil 12).



Şekil 10. Witbank kömür yatağında terkedilmiş bir madende süren yangın (URL 8, 2015)



Şekil 11. Clara Cale kömür madenindeki yangın, Newcastle, İngiltere (URL 9, 2016)



Şekil 12. Katerina kömür-atık yığını yangını (Foto Energie–Stavební a báňská Corporation, Kaynak: Klica ve Martinec, 2013)

4.Geçmişten Günümüze Yangın Sebepi Bazı Kömür Madeni Kazaları

Kömür madenlerinde kendiliğinden yanma veya başka sebeplerden kaynaklanan yangınlarda tarih boyunca maalesef birçok can kaybı ile sonuçlanan olay yaşanmıştır. Bu olaylar birçok gelişmiş ülkede kömür madenciliğinin daha ilkel olarak yapıldığı yıllarda yaşanmışken, üretim teknolojileri ve güvenlik tedbirleri konusunda kendini geliştiremeyen ülkelerde yakın tarihlerde de meydana gelmiştir. Ülkelere göre yangın temeline dayanan bazı büyük ölümlü kömür madeni kazaları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablodan da görülebildiği üzere kömür madenlerinde herhangi bir kontrolsüz ısı kaynağı ve küçük bir ihmal büyük felaketlere sebep olabilmektedir. Günümüzde kömür madenlerinde uygulanmakta olan birçok güvenlik tedbiri de zaten geçmişte yaşanmış bu kazaların sebepleri irdelendikten sonra ortaya çıkan sonuçlara şekillenmiştir.

Burada dikkat edilmesi gereken bir önemli husus da kömür yangınları meydana geldikten sonra net sebebinin belirlenmesinin çok zor bir süreç olduğu ve bu sebeple de yangın sebepli olmadığı belirtilmiş olan kömür maden kazalarının bazılarının esasen kömürün kendiliğinden yanması sebebiyle olmuş olabileceğidir. Yani çökme kaynaklı ölümlü kazaların bir kısmı ile metan patlaması kaynaklı kazaların bir kısmının aslında temel tetikleyicisi ya da başka bir deyişle bu kazaların dolaylı sebeplerinden birisi kömürün kendiliğinden yanması olabilir.

Tablo 1. Ülkelere göre bazı yangın sebepli ölümlü kömür maden kazaları

Ülke	Tarih	Olayın Yeri	Ölü Sayısı	Kazanın Temel Sebebi	Kazanın Sebebi
ABD ¹	06.09.1869	Avondale	110	Ağaç tahkimatın tutuşması	Yangın
	13.11.1909	Cherry	259	Duvar lambalarından tutuşma	
	07.04.1911	Price-Pancoast	73	Ocak tabanında bulunan ağaç barakadaki ateş kaynağından	
	05.07.1944	Powhatan	66	Elektrik kablosu kıvılcımından	
	19.12.1984	Wilberg	27	Hava kompresörlerinin alev alması	
Avustralya	14-15.02.1886	Lithgow Valley ²	3	Buhar kazanından sıçrayan kıvılcımlar	Yangın
	05.12.1900	Greta ³	5	Lamba alevi	
Belçika ⁴	08.08.1956	Bois du Cazier	262	Asansör kafesine yanlış yerleştirilmiş kömür vagonunun yağ borusuna ve elektrik kablosuna çarpması sonucu alevlenme	Yangın
Britanya	02.07.1937	Holditch ⁵	30	Kendiliğinden yanma	Patlama
	18.09.1959	Auchengeich ⁶	47	Takviye fanı kayışından ağaç ekipmana kıvılcım sıçraması	Yangın

Çin ⁷	14.02.2005	Sunjiawan	214	Deprem sebebiyle oluşan patlamanın sebep olduğu alevlenme	Patlama
	02.02.2007	Xia'an	24	Elektrik kablosundan kıvılcımı	Yangın
	05.03.2008	Jia'an	17	Kendiliğinden yanma	
	20.09.2008	Fuhua	26	Kendiliğinden yanma	
	15.03.2010	Dongxing	25	Elektrik kısa devre kıvılcımı	
	17.07.2010	Xiaonangu	28	Yeraltı elektrik kablosu kıvılcımı	
	20.11.2015	Longmay ⁸	22	Bant konveyör kaynaklı kıvılcım	
Çekya ⁹	07.07.1961	Dukla	108	Bant konveyör kaynaklı kıvılcım	Yangın
Fransa ¹⁰	10.03.1906	Courrières	1099	Kendiliğinden yanma	Patlama
Güney Afrika ¹¹	24.02.1994	Gloria	16	Elektrik kısa devresinden kıvılcım	Yangın
Hindistan	28.05.1965	Dhanbad ¹²	268	Dışarda oluşan patlama alevlerinin madenin içlerine kadar girmesi	Patlama
	25.01.1994	New Kenda ¹³	55	Kendiliğinden yanma	Yangın
Hollanda ¹⁴	24.03.1947	Staatsmijn Hendrick	13	Aşırı ısınan bant konveyörden kıvılcım	Yangın
İskoçya ¹⁵	05.09.1889	Maurice-wood	63	Ağaç iksaların tutuşması	Yangın
Kanada ¹⁶	13.05.1873	D r u m -mond	60-70	Deneme amaçlı yakılan ateş	Patlama
Türkiye ^{17,18}	13.05.2014	Soma	301	Kendiliğinden yanma	Yangın

¹URL-10, 2013; ²Beauchamp, 2010; ³URL-11, 1902; ⁴URL-12, 2006; ⁵URL-13, 2010; ⁶Rogers, 1960; ⁷URL-14, 2007; ⁸URL-15, 2015;

⁹URL-16, 2018; ¹⁰URL-17, 2014; ¹¹URL-18, 2014; ¹²Parliamentary Debates, 1966; ¹³United India Periodical, 1973; ¹⁴URL-19, 2010; ¹⁵URL-20, 1889; ¹⁶URL-21, 2018; ¹⁷URL-22, 2016; ¹⁸TMMOB, 2014.

5. Sonuçlar

Gelişen teknoloji ve artan enerji kaynakları çeşitlerine rağmen günümüzde ve önümüzdeki yıllarda fosil enerji kaynakları özellikle de kömür, en güçlü enerji kaynağı olmaya devam edecektir. Kömürün her şeye rağmen bu vazgeçilmezliği kendisi ile birlikte risklerle de baş etme zorunluluğunu getirmektedir. Her yeraltı maden kaynağının yeryüzüne çıkartılması sürecinde yaşanan zorluklara ilave olarak kömür özelinde kömürün kendiliğinden yanmaya eğilimli olması ve en küçük dış etmenler ile tutuşabilmesi kömür ile çalışmada daha dikkatli olunmasını zorunlu kılmaktadır. Bununla birlikte kömürün kendiliğinden yanması ve kömür yangınları sadece madencilik faaliyetleri ile ilişkili değildir. Madencilik yıllar önce sonlandırıldığı ya da hiç madencilik yapılmamış kömür damarlarında dahi doğal sebeplerle oluşan yangınların meydana geldiği ve hala süren yangınların olduğu da bilinmektedir.

Kendiliğinden yanma veya başka sebeplerle oluşan kömür yangınları her ne kadar yaşamsal, ekonomik, çevresel ve insani açıdan yoğun olumsuz etkilere sahip olsa da hala daha bu tarz olaylarla ilgili girişimler maalesef ki olay meydana gelmeden önce yapılmamaktadır. Dünya üzerinde yıllardır sürmekte olan birçok kömür yangını vakalarından da örnek alındığında en güvenli ve pratik yöntem olay meydana gelmeden potansiyelin iyi analiz edilip, önleyici işlem-

lerin yapılmasıdır. Gerekli çalışmaların sistematik ve disiplinli bir şekilde yapılmadığı durumlarda ve en küçük ihmalin veya unutkanlığın sonucunda gerçekleşen faciaların boyutlarının ise yıkıcılığı ortadadır.

Kaynaklar

Adamus, A., Sancer, J., Guranova, P. ve Zubicek, V., 2011, An Investigation of The Factors Associated with Interpretation of Mine Atmosphere for Spontaneous Combustion In Coal Mines, Fuel Processing Technology, 92, 663-670.

Arısoy, A. ve Akgün, F., 2000, Effect of Pile Height on Spontaneous Heating of Coal Stockpiles, Combustion Science and Technology, 153, 157-168.

Beamish, B.B., Lau, A.G., Moodie, A.L. ve Vallance, T.A., 2002, Assessing the Self-Heating Behaviour of Callide Coal Using a 2- Metre Column, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 15, 385-390.

Beauchamp, C., 2010. Double Disaster: Lithgow Valley Colliery, New South Wales, 1886. Journal of Australasian Mining History, 8, 106-118.

Bell, F. G. ve Donnelly, L.J., 2006, Mining and Its Impact on the Environment, Taylor & Francis e-Library, 547.

Bell, F. G., 1996, Dereliction: Colliery Spoil Heaps and Their Rehabilitation, Environmental & Engineering Geoscience, Vol. 2, No. 1, 85-96.

Bell, F.G.; Bullock, S.E.T., Halbich, T.F.J. ve Lindsay, P., 2001, Environmental Impacts Associated with an Abandoned Mine in the Witbank Coalfield, South Africa, International Journal of Coal Geology, 45, 195-216.

Belle, B. ve Biffi, M., 2018, Cooling Pathways for Deep Australian Longwall Coal Mines of the Future, International Journal of Mining Science and Technology, xxxxx

Bjureby, E., Britten, M, Cheng, I., Kazmierka, M, Mezak, E., Munnik, V., Nandi, J., Pennington, S., Rochon, E., Schulz, N., Shahab, N., Vincent, J., Wei, M. ve Atıcı, H., 2009, Kömürün Gerçek Maaliyeti, 1. Baskı (2008), Greenpeace International, Editor: Rebecca Short ve yazarlar, Türkçe Basım: Greenpeace Akdeniz, İstanbul, 2009.

British Petrol (B.P.), 2017. BP Energy Outlook 2017 Edition, <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf> 16 Şubat 2018.

Bullock, S.E.T. ve Bell, F.G., 1997, Some Problems Associated with Past Mining at a Mine in the Witbank Coalfield, South Africa, Environmental Geology, 33, 61-71.

Cheng, W., Xin, L., Wang, G., Liu, Z. ve Nie, W., 2015, Analytical Research on Dynamic Temperature Field of Overburden in Goaf Fire-Area Under Piecewise-Linear Third Boundary Condition, International Journal of Heat and Mass Transfer, 90, 812-824.

Ciesielczuk, J., Misz-Kennan, M., Hower, J. C. ve Fabianska, M. J., 2014, Mineralogy and Geochemistry of Coal Wastes from the Starzykowiec Coal-Waste Dump (Upper Silesia, Poland),

International Journal of Coal Geology, 127, 42-55.

Cliff, D., 2009, Spontaneous Combustion Management – Linking Experiment With Reality, 2009 Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 281-286.

Colaizzi, G. J., 2004, Prevention, Control and/or Extinguishment of Coal Seam Fires Using Cellular Grout, International Journal of Coal Geology, 59, 75-81.

Deng, C., Wang, J., Wang, X. ve Deng, H., 2010, Spontaneous Coal Combustion Producing Carbon Dioxide and Water, Mining Science and Technology, 20, 0082–0087.

Dias, C. L., Oliveria, M. L. S., Hower, J. C., Taffarel, S. R., Kautzmann, R. M. ve Silva, L. F. O., 2014, Nanominerals and Ultrafine Particles from Coal Fires from Santa Catarina, South Brazil, International Journal of Coal Geology, 122, 50-60.

Discover, 1999, China's on Fire, <http://discovermagazine.com/1999/oct/chinasonfire1697> 19 Şubat 2018.

Donnelly, L. J. ve Bell, F. G., Coal and Peat Fires: A Global Perspective: Chapter 5 – Geotechnical and Environmental Problems, Editörler: Stracher, G.B., Prakash, A. Ve Sokol, E. V., Elsevier B.V., 2011.

Engle, M.A., Radke, L.F., Heffern, E.L., O'Keefe, M.K., Hower, J.C., Smeltzer, C.D., Hower, J.M., Olea, R.A., Eatwell, R.J., Blake, D.R., Emsbo-Mattingly, S.D., Sout, S.A., Queen, G., Aggen, K.L., Kolker, A., Prakash, A., Henke, K.R., Stracher, G.B., Shroeder, P.A., Roman-Colon, Y. ve Ter Shure, A., 2012, Gas Emissions, Minerals, and Tars Associated with Three Coal Fires, Powder River Basin, USA, Science of the Total Environment, 420, 146-159.

Ersoy, M., 2010, Sürdürülebilir Kalkınmada Avrupa Birliği ve Türkiye Kömür Madenciliği, Türkiye 17. Kömür Kongresi, Haziran 2010, 459-469.

Garrison, T., O'Keefe, J.M.K., Henke, K.R., Copley, G.C., Blake, D.R. ve Hower, J.C., 2017, Gaseous Emissions from the Lotts Creek Coal Mine Fire: Perry County, Kentucky, International Journal of Coal Geology, doi: 10.1016/j.coal.2017.06.009, xxx.

Güncüoğlu, S., 2014, The Centralia Tragedy: Coal Burning Underground, Türkiye 19. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Mayıs 2014, Zonguldak, 353-362.

Heffern, E. L. ve Coates, D. A., 2004, Geologic History of Natural Coal-bed Fires, Powder River Basin, USA, International Journal of Coal Geology, 59, 25-47.

Jiang, M., Qiu, J., Zhou, M., He, X., Cui, H., Lerro, C., Lv, L., Lin, X., Zhang, C., Zhang, H., Xu, R., Zhu, D., Dang, Y., Han, X., Zhang, H., Bai, H., Chen, Y., Tang, Z., Lin, R., Yao, T., Su, J., Xu, X., Liu, X., Wang, W., Wang, Y., Ma, B., Qiu, W., Zhu, C., Wang, S., Huang, H., Zhao, N., Li, X., Liu, Q. ve Zhang, Y., 2015, Exposure to Cooking Fuels and Birth Weight in Lanzhou, China: A Birth Cohort Study, BMC Public Health, 15:712.

Kılıç, A., 2017, Kömür Yangınları, Yangın ve Güvenlik Dergisi, 195, 8-9.

Klica, Z. ve Martinec, P., 2013, Czech Republic Coal Fires and Waste Piles, Chapter 6 – Geo-technical and Environmental Problems, Editörler: Stracher, G.B., Prakash, A. Ve Sokol, E. V., Elsevier B.V., 2013.

Kroonenberg, S.B., and Zhang, X., 1997, Pleistocene coal fires in northwestern China; Energy for early man, in van Hinte, J.E., ed., One million years of anthropogenic global environmental change: Proceedings of the ARA Symposium at the Royal Netherlands Academy of Art & Sciences (KNAW), Project ID: 2-74690, p. 39–44.

Kuenzer, C. Ve Stracher, G. B., 2012, Geomorphology of Coal Seam Fires, Geomorphology, 138, 209-222.

Kuenzer, C., 2005. Demarcating Coal Fire Risk Areas Based on Spectral Test Sequences and Partial Un-Mixing Using Multi-Sensor Remote Sensing Data. Ph.D. thesis, Vienna University of Technology, Vienna, Austria.

Kuenzer, C., Zhang, J., Sun, Y., jia, Y. ve Dech, S., 2012, Coal fires revisited: The Wuda Coal Field in the Aftermath of Extensive Coal Fire Research and Accelerating Extinguishing Activities, International Journal of Coal Geology, 102, 75-86.

Lyons, P. C., Darrah, W. C., Morey, E. D. ve Wagner, R. H., Historical Perspective of Early Twentieth Century Carboniferous Paleobotany in North America, First Edition, Geological Society of Amer, Colorado, 1995.

Malley, C.S., Kuylenstiema, J.C.I., Vallack, H.W., Henze, D.K., Blencowe, H. ve Ashmore, M.R., 2017, Pretermbirth Associated with Maternal Fine Particulate Matter Exposure: A Global, Regional and National Assessment, Environment International, 101, 173-182.

Martha, T.R., Guha, A, Kumar, K.V., Kamaraju, M.V.V. ve Raju, E.V.R., 2010, Recent Coal-Fire and Land-Use Status of Jharia Coalfield, India from Satellite Data, International Journal of Remote Sensing, Vol. 31, No. 12, 3243-3262.

Melody, S.M. ve Johnston, F.H., 2015, Coal Mine Fires and Human Health:What Do We Know?, International Journal of Coal Geology, 152, 1-14.

Michalski, S.R., Custer, E.S., Ph.D. Jr. ve Munshi, P.L., 1997, Investigation of the Jharia Coal-field Mine Fires – India, Proceedings America Society of Mining and Reclamation, 211-223.

Novikova, S., Sokol, E. ve Khvorov, P., 2016, Multiple Combustion Metamorphic Events In The Goose Lake Coal Basin, Transbaikalia, Russia: First Dating Results, Quaternary Geochronology, 36, 38-54.

Novikova, S., Sokol, E. ve Khvorov, P., 2016, Multiple Combustion Metamorphic Events In The Goose Lake Coal Basin, Transbaikalia, Russia: First Dating Results, Quaternary Geochronology, 36, 38-54.

O'Keefe, J. M. K., Henke, K. R., Hower, J. C., Engle, M. A., Stracher, G. B., Stucker, J. D., Drew, J. W., Staggs, W. D., Murray, T. M., Hammon III, M. L., Adkins, K. D., Mullins, B. J. ve Lemley, E. W., 2010, CO₂, CO, and Hg emissions from the Truman Shepherd and Ruth Mullins Coal Fires, Eastern Kentucky, USA, *Science of the Total Environment*, 408, 1628-1633.

O-Keefe, J.M.K., Neace, E.R., Hammond III, M.L., Hower, J.C., Engle, M.A., East, J., Geboy, N.J., Olea, R.A., Henke, K.R., Copley, G.C., Lemley, E., Nally, R.S.H., Hansen, A.E., Richardson, A.R., Satterwhite, A.B., Stracher, G.B., Radke, L.F., Smeltzer, C., Romanek, C., Blake, D.R., Shroder, P.A., Emsbo-Mattingly, S.D., Stout, S.A., 2018, Gas Emissions, Tars, and Secondary Minerals at the Ruth Mullins and Tiptop Coal Mine Fires, *International Journal of Coal Geology*, 195, 304-316.

Oliveira, M. L. S., Boit, K., Pacheco, F., Teixeira, E. C., Schneider, I. L., Crissien, T. J., Pinto, D. C., Oyaga, R. M. ve Silva, L. F. O., 2018, Multifaceted Processes Controlling the Distribution of Hazardous Compounds in the Spontaneous Combustion of Coal and The Effect of These Compounds on Human Health, *Environmental Research*, 160, 562-567.

Onifade, M. ve Genç, B., 2018, A Review of Spontaneous Combustion Studies - South African Context, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, doi: 10.1080/17480930.2018.1466402.

Ören, Ö. Ve Şensöğüt, C., 2007, Kütahya Bölgesi Linyitlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlıklarının Araştırılması, *Madencilik Dergisi*, Cilt 46 Sayı 1, Sayfa 15-23.

Özdeniz, A. E., 2003, Kömür Stoklarındaki Kendiliğinden Yanma Olayının İncelenmesi- Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Örneği, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 185 s.

Özdeniz, A. H., 2010. Determination of Spontaneous Combustion in Industrial-Scale Coal Stockpiles. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32, 665-673.

Parliamentary Debates, 1966, Official Report, Council of States Secretariat, 58 (9-17), India

Pone, J.D.N., Hein, K.A.A., Stracher, G.B., Annegarn, H.J., Finkelman, R.B., Blake, D.R., McCormack, J.K., Schroeder, P., 2007. The Spontaneous Combustion of Coal and Its by-Products in the Witbank and Sasolburg Coal Fields of South Africa, *Int. J. Coal Geology*, 72, 124-140.

Putra, T. A. R., 2016, Thermal Characteristics and Evolution Model of Coal Fire at Surface and Underground Coal Mine, *Procedia Chemistry*, 19, 687-693.

Qi, X., Wang, D., Zhong, X., Gu, J., ve Xu, T., 2010, Characteristics of oxygen consumption of coal at programmed temperatures, *Mining Science and Technology*, 20, 372-377.

Qiang, C., Zhong-jun, S., Xin-quan, Z. ve Hai-yan, W., 2011, Multi-field Coupling Laws of Mixed Gas in Goaf, *Procedia Engineering*, 26, 204-210.

Qiang, Z., Jingxuan, D. ve Longhui, Z., 2018, Investigation of the Potential Risk of Coal Fire to Local Environment: A Case Study of Daquanhu Coal Fire, Xinjiang Region, China, *Science of the Total Environment*, 640-641, 1478-1488.

Querol, X., Zhuang, X., Font, O., Izquierdo, M., Alastuey, A., Castro, I., Van Drooge, B.L., Grimalt, J.O., Elvira, J., Cabanas, M., Bartroli, R., Hower, J.C., Ayora, C., Plana, F. ve Lopez-Soler, A., 2011, Influence of Soil Cover on Reducing The Environmental Impact of Spontaneous Coal Combustion in Coal Waste Gobs: A Review and New Experimental Data, *International Journal of Coal Geology*, 85, 2-22.

Rao, Z., Zhao, Y., Huang, C., Duan, C. ve He, J., 2015, Recent Developments in Drying and Dewatering for Low Rank Coals, *Progress in Energy and Combustion Science*, 46, 1-11.

Reisen, F., Gillet, R., Choi, J., Fisher, G. ve Torre, P., 2017, Characteristics of an Open-Cut Coal Mine Fire Pollution Event, *Atmospheric Environment*, 151, 140-151.

Rogers, T.A., 1960. Underground Fire at Auchengeich Colliery Lanarkshire. Parliament by the Minister of Power Report, London.

Şakul, K., 2016. Osmanlıların İlk Maden Kömürçülüğü Girişimi: Yedikumlar Kömür Madeni Mukataası, *Osmanlı Bilimi Araştırmaları XVII/1*, 39-52

Şensöğüt, C. Ve Özdeniz, A. H., 2008, Decrease of Calorific Value and Particle Size in Coal Stockpiles, *Energy Sources, Part A*, 30:11, 988-993.

Sing, A.K., Sing, R.V.K., Sing, M.P., Chandra, H. ve Shukla, N.K., 2007, Mine Fire Gas Indices and Their Application to Indian Underground Coal Mine Fires, *International Journal of Coal Geology*, 69, 192-204.

Singh, R. V. K., 2013, Spontaneous Heating and Fire in Coal Mines, *Procedia Engineering*, 62, 78 – 90.

Sokol, E.V., Novikova, S.A., Alekseev, D.V. ve Travin, A.V., 2014, Natural coal fires in the Kuznetsk Coal Basin: geologic causes, climate, and age, *Russian Geology and Geophysics*, 55, 1043-1064.

Song, Z. ve Kuenzer, C., 2014, Coal Fires in China over the Last Decade: A Comprehensive Review, *International Journal of Coal Geology*, 133, 72-99.

Song, Z., Kuenzer, C., Zhu, H., Zhang, Z., Jia, Y., Sun, Y. ve Zhang, J., 2015, Analysis of Coal Fire Dynamics in the Wuda Syncline Impacted by Fire-fighting Activities Based on in-situ Observations and Landsat-8 Remote Sensing Data, *International Journal of Coal Geology*, 141–142, 91-102.

Stracher, G. B. ve Taylor, T. P., 2004, Coal Fires Burning out of Control Around The World: Thermodynamic Recipe for Environmental Catastrophe, *International Journal of Coal Geology*, 59, 7-17.

Stracher, G., Prakash, A., Sokol, E., 2011. Coal and Peat Fires: A Global Perspective. vol. 1. Elsevier, Oxford, United Kingdom.

Stracher, G.B., 2007, Coal Fires Burning around the World: Opportunity for Innovative and Interdisciplinary Research, GSA Today: v. 17, no. 11, 36-37.

TMMOB, 2014. Soma Maden Kazası Raporu, Eylül 2014, Türkiye

Uludağ, S. ve PhMips, H.R., Assessing Spontaneous Combustion Risk in South African Coal Mines Using a GIS Tool, 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, IMCET 2001.

United India Periodical, 1973, 15 (3), p16

United State Geological Survey (U.S.G.S), 2009, Emissions from Coal Fires and Their Impact on the Environment, U.S. Geological Survey Eastern Energy Resources Science Center, Reston, VA.

United States Energy Information Administration (E.I.A.), 2017, International Energy Outlook, [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf) 16 Şubat 2018.

URL-1, 2008, Pensilvanya- Underground Fires that Burn For Decades - Annalee Newitz, <https://io9.gizmodo.com/375485/underground-fires-that-burn-for-decades> 20 Şubat 2018.

URL-2, 2010, Centralia, Pensilvanya, The rising global interest in coal fires – Glenn B. Stracher, Foto: Janet L. Stracher, <https://www.earthmagazine.org/article/rising-global-interest-coal-fires> 20 Şubat 2018.

URL-3, 2018, TKİ Kurumu S.S. Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü, Kömür Satış Fiyatları, <http://www.gli.gov.tr/fiyatlar.html> 20 Şubat 2018

URL-4, 2015, India's Quandary: Climate Change And Coal, Julie Mccarthy, <https://www.npr.org/2015/11/27/456716184/indias-quandary-climate-change-and-coal> 07.04.2018

URL-5, 2014, Morwell-Avustralya, Great walls of fire: Staggering pictures of towering flames from coalmine blaze which has been burning for three weeks – Sarah Michael ve Donna Sawyer, <http://www.dailymail.co.uk/news/article-2569820/Blaze-rages-coal-smokey-disaster-causes-major-health-risk-entire-town.html> 20 Şubat 2018.

URL-6, 2013, <http://mentalfloss.com/article/52869/5-places-are-still-fire>, Erişim: 31.07.2018

URL-7, 2004, <http://danny.oz.au/travel/walks/20040221.burning-mountain/>, Erişim: 31.07.2018

URL-8, 2015, <https://www.globaldashboard.org/2015/11/17/life-in-a-town-called-coal/>, Erişim: 31.07.2018

URL-9, 2016, <http://www.dailymail.co.uk/news/article-3565312/Underground-fire-burning-YEAR-disused-experts-no-idea-stop.html>, Erişim: 31.07.2018

URL-10, 2013, <https://www.cdc.gov/niosh/mining/statistics/content/coaldisasters.html>, Erişim: 26.07.2018

URL-11, 1902, <https://trove.nla.gov.au/newspaper/article/14460263>, The Sydney Morning Herald, July 30, 1902, Erişim: 30.07.2018

URL-12, 2006, <https://web.archive.org/web/20061111142316/http://www.emporis.com/en/bu/nc/ne/?id=101627>, Erişim: 31.07.2018

URL-13, 2010, <http://www.wikizero.co/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvSG9sZGl0Y2hfQ29sbGllcnlfZGlzYXN0ZXI>, Erişim: 26.07.2018

URL-14, 2007, <https://usminedisasters.miningquiz.com/chinatable.htm>, Erişim: 27.07.2018

URL-15, 2015, <http://www.abc.net.au/news/2015-11-21/coal-mine-fire-in-north-east-china-kills-21-says-state-media/6961346>, Erişim: 26.07.2018

URL-16, 2018, <https://vaaju.com/czechrepubliceng/the-burning-hell-in-the-dukla-mine-absorbed-108-miners-they-have-also-been-killed-to-meet-the-standard-and-leadership-ability/>, Erişim: 01.08.2018

URL-17, 2014, <https://www.mining-technology.com/features/feature-world-worst-coal-mining-disasters-china/>, Erişim: 31.07.2018

URL-18, 2014, <http://www.mineralscouncil.org.za/industry-news/we-care-we-remember/326-we-remember-gloria>, Erişim: 01.08.2018

URL-19, 2010, https://en.wikipedia.org/wiki/Mining_accident#20th_century, Erişim: 31.07.2018

URL-20, 1889, <http://www.scottishmining.co.uk/28.html>, Glasgow Herald, 6 September 1889, Erişim: 01.08.2018

URL-21, 2018, <https://novascotia.ca/archives/meninmines/disastersasp?Language=English#drummond>, Erişim: 31.07.2018

URL-22, 2016, https://www.ttb.org.tr/haber_goster.php?Guid=67ac5b6a-9232-11e7-b66d-1540034f819c&1534-D83A_1933715A=10daeb72f3f305e5b95b794697e278fbc362ee7d, Erişim: 01/08/2018

Ünalın, G., Kömür Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü, 1. Baskı, Ankara, 2013.

Vaish, J. ve Pal, S.K., 2015, Subsurface Coal Fire Mapping using Magnetic Survey at East Basuria Colliery, Jharkhand, Journal Geological Society of India, Vol.86, 438-444.

Voigt, S., Tetzlaff, A., Zhang, J.Z., Kuenzer, C., Zhukov, B., Strunz, G., Oertel, D., Roth, A., Dijk, P.V., Mehl, H., 2004. Integrating Satellite Remote Sensing Techniques for Detection and Analysis of Uncontrolled Coal Seam Fires in North China. International Journal of Coal Geology 59, 121–136.

Wen, H., Yu, Z., Deng, J. ve Zhai, X., 2017. Spontaneous Ignition Characteristics Of Coal In A Large-Scale Furnace: An Experimental and Numerical Investigation, *Applied Thermal Engineering*, 114, 583–592.

World Health Organization (W.H.O.), 2017, *World Health Statistics, Monitoring Health for the SDGs, Sustainable Development Goals*. Geneva: World Health Organization.

Wrigley, E. A., *Energy and the English Industrial Revolution*, Cambridge University Press, Cambridge, 2010.

Wu, J. ve Liu, X., 2011, Risk Assessment of Underground Coal Fire Development At Regional Scale, *International Journal of Coal Geology*, 86, 87-94.

Xia, W. ve Xie, G., 2014, Changes in the Hydrophobicity of Anthracite Coals Before and After High Temperature Heating Process, *Powder Technology*, 264, 31-35.

Yangdong, O., Liwen, G. ve Hongcui, M., 2012, Research on the Influence of Oxygen-containing Functional Group and Gas Emission by Coal Seams, *Energy Procedia*, 17, 1901-1906.

Yaşar, S., İnal, S., Yaşar, Ö. ve Kaya, S., 2015, Geçmişten Günümüze Maden Kazaları, *Madençilik*, Cilt 54, Sayı 2, 33-43.

Zhang, D., Nie, B., Wang, C., Zhao, F., Guo, J., Liu, X., Li, Q., Li, H. ve Zhang, C., 2011a, Preliminary Research on Porous Foam Ceramics against Gas Explosions in Goaf, *Procedia Engineering*, 26, 1330-1336.

Zhang, Y., Bao, N., Huang, Z., Xue, B. ve Gao, Y., 2012, Research on Relationship Between Porosity of Coal, Amount of Air Leakage and Gradient of Wind Pressure, *Procedia Engineering*, 45, 774-779.

Zhang, Y., Lai, Y., Huang, Z. ve Gao, Y., 2011b, Study on Small Simulation Device of Coal Spontaneous Combustion Process, *Procedia Engineering*, 26, 922-927.