

**GE-Lİ-
YO-RUM
DİYEN
FACİA**

**BOĞAZİÇİ
ÜNİVERSİTESİ
SOMA
ARAŞTIRMA
GRUBU
RAPORU**

Madenlerde Elektrik Sistemleri ve Arama Kurtarma Robotları

AYŞIN B. ERTÜZÜN

Boğaziçi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

H. IŞIL BOZMA

Boğaziçi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

H. LEVENT AKIN

Boğaziçi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

1. GİRİŞ

Kömür, endüstri devriminden itibaren merkezi bir rol oynamıştır. Elektrik üretiminde, en çok kullanılan enerji kaynağıdır; aynı zamanda çelik üretimi için de önemli ve temel bir girdi oluşturur; bu nedenle, ülkelerin ekonomileri için önemli bir kaynaktır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu tarafından hazırlanan 2013 yılı Kömür (Linyit) Sektör Raporunda¹, kömürün, elektrik üretiminde en yüksek oranda kullanılan yakıt olduğu ve bu niteliğinin yakın bir gelecekte de değişmeyeceğinin tahmin edildiği belirtilmiştir. Yine aynı raporun verilerine göre, 1990 yılında dünya toplam elektrik üretiminde %37,5 oranında kullanılan kömür, 2011 yılı itibarıyla %41,3 oranında kullanılmıştır.¹ Bu oran, 2014 yılı itibarıyla Çin'de %79, Hindistan'da %68, Almanya'da %45, ABD'de %43 olarak kayıtlara geçmiştir; Türkiye'de ise kömürden elde edilen enerjinin, toplam enerji üretimindeki payı, 2014 yılı itibarıyla %25 dolaylarındadır.² Barajların yeterli doluluk seviyesinde olmaması, güneş ve jeotermal enerji üretiminde beklenen seviyelere halen ula-

¹ T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu 2013 yılı Kömür (Linyit) Sektör Raporu, http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=yayinlar_raporlar&bn=550&hn=&id=3273 (en son ulaşım tarihi 11.10.2014).

² Melis Kobal, "Enerjide kömürün payı artacak", Aljazeera Türk, 22 Mayıs 2014, <http://www.aljazeera.com.tr/al-jazeera-ozel/enerjide-komurun-payi-artacak>, (en son ulaşım tarihi 11.10.2014).

şılmamış olunması, nükleer enerji yatırımlarının gecikmiş olması nedeni ile bu payın önümüzdeki yıllarda artması kaçınılmazdır. Bu da Türkiye’de kömür üretiminin artması anlamına gelmektedir; dolayısıyla Soma kömür madeni ve benzeri faciaların önlenmesi için daha radikal adımlar atılması gerekecektir. Yeraltı kömür madenciliği tarih boyunca iş gücünün sağlık ve güvenliğini ilgilendiren konularda çok büyük riskler içermektedir. Bu önemli kaynağın uzun bir süre daha kullanımda kalacak olması nedeniyle, maden ortamında oluşacak tehlikelerin ve risklerin de en aza indirilmesi, madencilerin ve madende çalışanların hayatlarının korunması önem arz etmektedir.

Kömür, küçük ve büyük işletmeler tarafından çıkarılmaktadır; modern, teknolojik aletleri kullanan, az sayıda insan gücü istihdam eden işletmelerden, elle kazı yapılan işletmelere kadar, çok değişik işyeri koşulları görülmektedir. Değişik büyüklüklerde olsalar da, çalışan sağlığı için tüm işletmelerin aynı teknik kaynaklara sahip olması ve aynı güvenlik önlemlerini almış olması gerekmektedir.

Soma kömür madeni faciası ile ilgili ilk haberler yangının trafo (transformatör) patlamasından kaynaklandığı yönünde idi ancak daha sonra patlama nedeninin trafoya bağlı olmadığı öne sürüldü.³ Uzmanlar, madenlerde kullanılan trafoların, Türkiye’de üretilmediğini, tamamının yurt dışından alındığını, maden ocaklarında kullanılan trafoların, kabloların ve panoların “ex-proof” yani, patlamaya ve yanmaya dayanıklı özel malzemelerden üretildikleri için trafolarda kısa devre olsa bile yangın çıkması ve patlama yaşanması ihtimalinin sıfır olduğunu açıkladılar.⁴ 22.5.2014 tarihinde Akhisar Cumhuriyet Başsavcısı Bekir Şahiner’in açıkladığı ön bilirkişi raporunda, facianın trafo patlaması sonucu olmadığı; yer altı kömür işletmesinde hava ile teması sağlanan kömürün oksitlenmesi neticesinde ısının açığa çıktığı; bu ısının uzaklaştırılmadığı takdirde ocak yangınlarına neden olabileceği belirtildi.⁵ Madenlerdeki güvenlik önlemlerinin hayati önemi, 13 Mayıs 2014 Soma maden faciası ile bir kere daha anlaşılmıştır. Bu raporda, kömür madenlerindeki iş güvenliği iki açıdan ele alınacaktır: İlki, elektrikli sistemler ile yapılması gereken hususlardır. İkincisi ise, herhangi bir kaza durumunda kullanılacak arama-kurtarma amaçlı ArKur robotlardır.

3 "Maalesef... En fazla işçi kaybının yaşandığı faciaya doğru gidiyoruz...", Milliyet İnternet Gazetesi, 14 Mayıs 2014, <http://www.milliyet.com.tr/soma-da-bilanco-artiyor--gundem-1882022/> (en son ulaşım tarihi 11.10.2014).

4 "Trafo patlaması imkansız! Ya yalan söylüyorlar ya da...", İnternet Haber, 14 Mayıs 2014, <http://www.internethaber.com/imkansiz-kullanildi--672303h.htm>, (en son ulaşım tarihi 11.10.2014).

5 Mehmet Güler, "Başsavcı: Olayın sebebi trafo patlaması değil", Zaman İnternet Haber, 18 Mayıs 2014, http://www.zaman.com.tr/gundem_bassavci-olayin-sebebi-trafo-patlama-degil_2218676.html, (en son ulaşım tarihi 11.10.2014).

2. ELEKTRİKSEL/ELEKTRONİK SİSTEMLER

Bu kısımda madenlerdeki elektriksel ve/veya elektronik sistemler üzerinde durulacaktır. Soma maden faciası ile ilgili açıklamalar göz önüne alınarak madenlerdeki elektriksel ve elektronik sistemlerin özellikleri araştırılmış ve uygun malzemeler ile uygulama yöntemleri konusunda bir çalışma yapılmıştır. Elektriksel ve/veya elektronik sistemler, madendeki üretim performansının arttırılmasını, üretimin çeşitli aşamalarında teknolojiden yararlanılarak maden çıkarımının otomasyon çerçevesinde yapılmasını sağlamakla birlikte aynı zamanda maden ortamında, çalışma güvenliğini sağlamak ve tehlikeyi mümkün olduğunca en aza indirmek amacıyla da kullanılmaktadır. Madenlerde yer alan elektriksel ve elektronik sistemler şu amaçlarla kullanılabilir:

- a) **Fiziksel İşler:** Kazma, insan veya maden taşıma gibi işlerin mümkün olduğunca otomasyon çerçevesinde otomatik makineler veya robotlar tarafından yapılmasını sağlamak üzere;
- b) **Ortam Algılama:** Çalışma koşullarının sıcaklık, gaz ve toz gibi parametrelerinin açısından sürekli izlenmesi, riskli durumların gözlenmesi ve önlemlerin alınmasını sağlamak üzere.

2.1 ELEKTRİKSEL TEHLİKELER

Elektriksel ve elektronik sistemler fiziksel veya ortam algılama amaçlı işlemleri yaparken, hem bu sistemlerin kendilerinin hem de ortamın güvenliğinin sağlanması son derece önemlidir. Bu sebeple madende bulunan elektriksel sistemlere ait kablolama, topraklama faaliyetleri ile trafo ve şalterlerin, çalışma ortam(lar)ının güvenliğini riske atmayacak şekilde olması, elektriksel devre tasarımlarının kısa devre ve aşırı yük durumlarının dikkate alınarak hayata geçirilmesi son derece elzemdir. Hem elektronik hem de elektriksel sistemlerin çalışma ortam sıcaklığı, maksimum toz oranı gibi özellikler açısından madendeki çalışma koşullarına uygun olarak tasarlanmış olması; iletişimin, tehlike anlarında bile, asgari bir düzeyde yapılabilmesi gerekmektedir. Bu şartların sağlanması için elektronik ve elektriksel sistemlerin belli kriterler gözetilerek imal edilmesi ve montajlarının yapılması birinci derecede önemlidir. Bu amaçla çeşitli ülkelerde çalışmalar yapılarak standartlar belirlenmiştir.

Kömür madenlerinde toz patlamaları, yangınlar ve su baskınları sonucunda oluşan elektrikle ilgili tehlikelerin yanı sıra makineler ve yer üstündeki tesislerle ilişkilendirilebilecek çeşitli tehlikeler vardır. Kömür madenlerinde görülen tehlikeler kaza, hastalık, yaralanma veya ölüme yol açabilir. Tehlikelerin ve tehlikeli bölgelerin tanımlanması ve bu tehlikelerden korunma yolları ele alınması gereken önemli noktalar.

Patlama riski olan ortamlarda, elektrik arkından, elektrikli aletlerin yüzeylerinin çalışma esnasında ısınmasından ve statik elektrikten dolayı patlamalar meydana gelebilir. Elektrik ark ve kıvılcımı, şalterler açılıp kapandıklarında, elektrostatik olarak yüklü elemanlar deşarj olduklarında, kablolar hasar gördüklerinde ve/veya herhangi bir kısa devre anında meydana gelen dengeleme akımı gibi sebeplerden kaynaklanabilir ve bunun sonucunda elektrikselsel patlamalar ve yangınlar oluşabilir. Elektrikli aletlerin yüzeyleri, çalışmalarından dolayı ısınır ve patlama riski olan ortamlarda tehlike arz eder. Statik elektrik fark edilemediği için, yol açtığı kazalar da beklenmedik ve bazen ölümcül bile olabilir.

2.2 MEVCUT STANDARTLAR

Çeşitli yönetmelik ve standartlarda yapılan değişikliklerle patlayıcı ortamlarda kullanılacak elektrikli ekipmanların “ex-proof” (explosion proof) olması zorunlu hale getirilmiştir. Tüm dünyada, madenlerde gerek maden çıkarma süreci esnasında, gerekse arızalardan dolayı sızan veya ortaya çıkan gazlar patlama potansiyeli oluşturur. Bu tehlikenin önüne geçmek için mevcut teknolojik yenilik ve imkânların kullanılması gerekir. Patlama riski olan yerlerde kullanılan elektrikselsel ve elektronik sistemler, standartların belirlediği özel niteliklere sahip olmalıdır. Türkiye’deki son yönetmelik olan **Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği**,⁶ 19.9.2013 tarih ve 28770 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanmıştır. 20.6.2012 tarih ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamına giren maden işyerlerini içeren bu yönetmelik, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 30 uncu maddesine dayanılarak, 3.12.1992 tarih ve **92/104/EEC** sayılı Avrupa Birliği Direktifi ile 3.11.1992 tarih ve **92/91/EEC** sayılı Avrupa Birliği Direktifine paralel olarak hazırlanmıştır. Avrupa Parlamentosu, 1.7.2003 tarihinden itibaren yürürlüğe girmiş ve resmi adı “**Directive 94/9/EC**” olan bir talimat (direktif) daha yayınlamıştır. Bu yeni talimatlar, kısaca **ATEX 100a** olarak da adlandırılmaktadır.

İşletme şartları her iş yerinde ve her sanayi dalında aynı olmadığından her tehlikeli ortama koyulacak cihazın aynı olması ekonomik veya uygun olmayabilir. Bu sebeple, patlayıcı ortamlar sınıflara ayrılmış olup sınıf sayısı ve tanımı ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. Sınıflandırmalar iki farklı sisteme göre yapılmaktadır⁷:

Batı Avrupa Sistemi: Batı Avrupa görüşü, International Electrical Commission (IEC) ile aynıdır. IEC 7910 ve EN50.014 sınıfları tanımlar ve patlayıcı ortamları ZON 0, ZON 1 ve ZON 2 olmak üzere üç ayrı sınıfa ayırır. Normal çalışma koşullarında patlayıcı ortam oluşturan (ve oluşma ihtimali yüksek olan) ortamlar ZON 0 kapsamına girer. Grizulu kömür madeni ocakları da ZON 0 kapsamındadır.

6 Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, “Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği”, Resmi Gazete, 19.9.2013 tarih ve 28770 sayılı <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/09/20130919-3.htm> (en son ulaşım tarihi 11.10.2014).

7 M. Kemal Sarı, “Patlayıcı Ortamlarda Kullanılan Elektrik Aygıtları ve Patlayıcı Ortamlar Hakkında Genel Bilgi”, http://www.emo.org.tr/ekler/d6646a-ad9bcc0be_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=6, (en son ulaşım tarihi 11.10.2014).

Amerikan Sistemi: Amerikan sistemi ise patlayıcı ortamları **DIVISION** olarak adlandırılan iki sınıfa ayırır. Normal çalışma koşullarında patlayıcı ortam oluşma ihtimali yüksek olan ya da patlayıcı ortam oluşan ve patlamanın uzun sürdüğü yerler DIVISION 1 kapsamındadır.

Avrupa ve Amerikan sistemlerinin farkı, esasen tanımlarda değil elektriksel veya elektronik sistemlerin tasarım ve kullanımındadır. ZON sistemi “explosion protected (ex-protected)” (patlamaya karşı korumalı) metodunu kullanırken, DIVISION sistemi “explosion proof (ex-proof)” (patlamaya dayanıklı) metodunu kullanmaktadır. Ana görüş farkı ise, “ex-protected” sistemde (ZON sistemi) tesise konulan komponentler ayrı ayrı dikkate alınırken, “ex-proof” sistemde (DIVISION sistemi) bir tesisin tamamının düşünülmesidir. Ex-protected sistemde (ZON sistemi) patlamaya neden olan üç unsur (patlayıcı gaz, oksijen=hava, kıvılcım=ateşleme kaynağı) ayrı ayrı düşünülmemekte ve patlamanın üçüncü ayağı olan kıvılcım=ateşleme kaynağı, izole edilmeye çalışılmaktadır. Hedef, patlama kaynağının ortamdaki uzak tutulmasıdır. Bu nedenle ark çıkaran veya ısı yayan kaynaklar (elektriksel veya mekanik) ayrıca test edilip, patlayıcı ortamı tehlikeye düşürüp düşürmedikleri denenmekte ve yetkili otoritelerce sertifikalandırılmaktadır. Bu çerçevede verilen sertifikalar, sertifika şartlarına uyulduğu sürece o aletin patlayıcı ortamı ateşleyemeyeceğini ifade etmektedir. Diğer taraftan, ex-proof sistemde (DIVISION sistemi) ateşleme kaynağını izole etmeye yönelik koruma tipleri (d, e, i, q, o tipi vs.) yoktur. Bu sebeple, Amerikan sisteminde, sertifika veren bir kuruluş yoktur. Ex-proof sistemde (DIVISION sistemi) patlamaya neden olan üç unsur (patlayıcı gaz, oksijen=hava, kıvılcım=ateşleme kaynağı) bir arada düşünülmemektedir; ana amaç, meydana gelecek herhangi bir patlamanın, kapalı bir mekanda kalıp etrafa yayılmasını önlemektir. Kömür sanayisinde öncü olan sınıflandırma Batı Avrupa görüşüdür.

Avrupa Birliği'nin kısaca ATEX olarak bilinen “**Directive 94/9/EC of the European Parliament and the Council of 23 March 1994 on the Approximation of the Laws of the Member States Concerning Equipment and Protective Systems Intended for Use in Potentially Explosive Atmosphere**” direktifinde patlama riski bulunan ortamlarda kullanılan teçhizatların ex-protected olması gerektiği belirtilmiştir.⁸ Tehlikeli yerlere kurulacak elektrik tesisatı ve ilgili tüm teçhizat (unsurları, levazımları, devreleri, bağlantı kutuları ve aksesuarları) ortama uygun olmalıdır; elektrikli cihazlarının ark çıkarmayan tipleri kullanılmalı; yani ex-protected özelliğe sahip olmalıdır. Tüm tesisat ve teçhizat, yasal olarak gerekli sertifikalara ve teknik özelliklere haiz olmalıdır. Ex-protected özellikli aletler çalışma esnasında hiçbir şekilde kıvılcım sızdırmadığı için patlamaya neden olmaz. Patlayıcı ortamlarda elektrikli aletlerden kaynaklı patlamaları önlemek için sadece ex-protected nitelikli teçhizatların kullanılması da yetersiz kalabilmektedir.

⁸ Alper Yasin Özçelik, "Patlama Riski Olan Ortamlarda Elektrik Tesisatı" http://www.isgum.gov.tr/rsm/file/isgdoc/PKE1_patlama_elektrik_tesisati.pdf, (en son ulaşım tarihi 11.10.2014).

ATEX 100a olarak da adlandırılan 1.7.2003 tarihinden itibaren yürürlüğe girmiş olan yeni Avrupa parlamentosu talimatları (direktifleri) ile üretici firmalar tarafından ATEX 100a'ya uyumlu terimi kullanılmaya başlanmıştır. Exprotected ile ilgili hukuki dayanağı, ATEX 100a ve ATEX 137 talimatları oluşturmaktadır; ATEX 100a (Directif 94/9/EC) talimatı ise ex-protected aletlerin imalatı ile ilgilidir ve imalatçıları kapsamaktadır; ATEX 137 "Directive 99/9/EC" talimatı ise, işyeri güvencesi ve işçi sağlığını kapsar ve işverenleri ilgilendirmektedir⁷. Zon tarifleri de bu talimatta yer almaktadır. ATEX100a ile ekipman koruma tipleri ve sertifikalandırma tek tip hale gelmiş, ulusal bazda onaya gerek kalmamıştır. ATEX137 (99/92/EC) ile uygulama ve işletmeler de tek tip hale getirilmiştir. İşyeri güvenliği ile ilgili olan ATEX 137 talimatı, ulusal uygulamaları kaldırmış; tüm Avrupa'da birlik sağlamıştır, böylece bir çok yönetmelik ve koruma yöntemleri, ZON tarifleri, tek düzen haline gelmiştir. Primer koruma en etkin ve yapılması gereken ilk uygulamadır. Örneğin ark çıkaran şalt cihazlarının patlayıcı ortamdan uzak, temiz bir sahaya konulması veya araya engelleyici duvar çekilmesi gibi önlemler öngörülmüştür. Primer korumanın teknik olarak mümkün olmadığı yerlerde korumalı tip aletler seçilerek patlama güvenliği sağlanır.

2.3 GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

Bu talimatların içeriği kısaca şu şekilde özetlenebilir^{7, 8, 9}:

- Elektrikli cihaz ve tesisatlar, mümkünse patlayıcı gazın hiç olmadığı veya en az olduğu yerlere kurulmalıdır.
- Bütün elektrikli aletlerin, akım verilmeden incelenmesi ve denenmesi gereklidir. Akım verildikten sonra da madendeki bütün elektrikli aletlerin, sistematik olarak incelenmesi, denenmesi, denetlenmesi gereklidir.
- Bağlantı noktalarında oluşacak kıvılcım ve arkların önüne geçilebilmesi için elektrik kabloları eksiz ve tek parça olmalıdır.
- Bütün elektrikli iletkenler boyut ve akım taşıma kapasitesi olarak yeterli olmalı; normal işlemlerden kaynaklanan herhangi bir sıcaklık artması, izolasyon malzemelerini tahrip etmeyecek şekilde ayarlanmış olmalı; aşırı sıcaklığa maruz kalacak kablolar standartlara uygun şekilde seçilmelidir.
- Kullanılacak elektrikli cihazların nitelikleri ortamın tehlike sınıfına uygun olarak seçilmeli; elektrikli cihazların bağlantıları birbirleriyle uyumlu olmalıdır. Trafoların primer tarafındaki kesici, ayırıcı ve kablolar, trafonun anma değerlerine uygun seçilmelidir.

9 Handan Uysal Sabir (Çev.), "Yeraltı Kömür Madenlerinde Güvenlik ve Sağlık", http://www.kmo.org.tr/resimler/ekler/aec5df88c63d1a0_ek.pdf?ti-pi=4&turu=R&sube=0, (en son ulaşım tarihi 11.10.2014).

- Elektrikli ekipmanların ve bunları oluşturan elemanların topraklaması için gerekli standartlara uyulmalı; toprak kaçağı ve topraklama hatalarını önlemek için topraklama sürekli izlenmeli ve topraklamada bir hata olması durumunda aletin akımının otomatik olarak boşaltılması sağlanmalıdır.
- Herhangi bir devrede, akım belirli bir değeri aştığı zaman veya diğer gerekli durumlarda, tehlikeyi önlemek için, madendeki bütün elektrik devrelerinden tüm akımı kesecek etkin koruma cihazları (kesiciler, ayırıcılar, röleler) bulundurulmalıdır. Bu amaçla, maden yüzeyinde uygun şekilde inşa edilmiş ana şalterler bulundurulmalı ve bunlar yer altındaki trafo merkezine doğrudan bağlanmalıdır. Her trafonun kendi koruma sistemi/kesicisi olmalı; bu kesicilerin trafonun akım, voltaj ve gücüne uygun şekilde ayarları yapılmış olmalıdır.
- Trafoların kurulduğu yerler, oluşturdukları ısının etkin bir şekilde dağıtılmasını sağlamaya yetecek düzeyde havalandırılmış olmalıdır. Yağla doldurulmuş trafolar kullanılmamalıdır.
- Genel ortam havasındaki metan konsantrasyonu devamlı kontrol edilmeli ve konsantrasyon değerlerinin yasa veya yönetmeliklerle tespit edilmiş oranı aşması durumunda elektrik akımı hemen kesilmelidir; bu durumun devam etmesi halinde devreler çalışır duruma getirilmemelidir.
- Metan konsantrasyonunu ölçen sensörlerin bakımı, kontrolü ve kalibrasyonu ehil kişiler tarafından düzenli olarak yapılmalıdır. Sensör ölçümleri kayıt altına alınıp saklanmalıdır.
- Madenlerde kullanılan motorların cinslerine göre çeşitli koruma tipleri vardır ve motorlar cinslerine uygun şekilde korumalı olmalıdır. Elektrik motorları için koruma tipleri şunlardır: ex-d tipi koruma, ex-e tipi koruma, ex-p tipi (basınçlı) koruma, ve ex-nA ark çıkarmayan (non sparking) koruma.
- Diğer elektrikli aletler için q-tipi (kumlu) koruma, o-tipi (yağlı) koruma, m-tipi koruma ve i-tipi (kendiliğinden) koruma çeşitleri vardır. q-tipi koruma daha çok transformatörlerde, o-tipi koruma transformatörler ve kesicilerde, m-tipi koruma lamba balastları, elektronik baskı devreleri, solenoid valf gibi yerlerde kullanılmalıdır.
- Patlama riski olan tesis ve ortamlarda, antistatik yani sürtünmeyle elektriklenmeyen malzemeler kullanılmalıdır.
- Maden ortamında kullanılması gereken telefonların yönetmeliklere uygun olarak seçilmesi, yangın veya kıvılcım çıkarmayan özelliğe sahip olmaları gerekmektedir.
- Çok değişik türde aydınlatma armatürleri mevcuttur. Bunların her birine uygulanacak koruma yöntemleri de farklıdır ve ayrı ayrı incelenmelidir.

Ayrıca aşağıda listelenen tedbirler de alınmalıdır:

- Madende bir elektrik mühendisi görevlendirilmeli, yeterli sayıda uzman elektrikçi bulundurulmalıdır.
- Elektrikle ilgili işleri yapacak kişilere eğitim verilmeli; elektrikli aletler sıklıkla denetlenmelidir.
- Sensörlerin yedek güç kaynakları olmalı; bu güç kaynakları elektrik kesildiği zamanlarda bile sensörleri besleyerek, kesintisiz çalışmasını sağlamalıdır.
- Elektrik altyapısının dağılım yerlerini gösteren harita bulundurulmalı; yer, elektrik oranı veya ayarlarda yapılan herhangi bir değişiklik haritada gösterilmelidir. Bu haritalar, herkesin inceleyebileceği yerlere asılmalıdır.
- Yangın çıkması durumunda veya diğer tehlike anlarında neler yapılacağı konusunda duyurular asılmalıdır.
- 22.9.2014'te açıklanan ikinci bilirkişi raporunda,¹⁰ yukarıda listelenmiş olan işlem ve önlemlerin ne kadar önemli olduğu ve bunların yerine getirilmemesi durumunda nasıl bir faciaya yol açacakları detaylı şekilde delilleri ile birlikte gösterilmiştir.

2.4 ALGILAYICILAR VE İLETİŞİM

Madenlerde önemli bir husus, çalışma ortamındaki gaz konsantrasyonu, ısı, duman ve ateş gibi farklı özelliklerin sensörler ile sürekli monitör edilerek, tehlikeli durumların oluşmadan önlenmesi ve oluştuğunda hızla müdahale edilebilmesidir. Burada iki önemli husus vardır: İlk husus tüm alanın sürekli monitör edilmesidir. Burada kilit öge kullanılan sensörlerdir. Sensörlerin doğru çalışması, ölçümlerde tehlikeli seviyelerin fark edilebilmesi açısından son derece önemlidir. Ayrıca, sadece anlık ölçümler değil, aynı zamanda, ölçümlerdeki eğilimler de takip edilmelidir. İkinci husus ise bir yerde fark edilen tehlikeli bir durumun derhal diğer yerlere doğru iletilmesidir. Meydana gelen kazalarda, gaz sensörlerinin mevcut olmasına rağmen tehlikeyi haber vermediği gözlemlenmiş, bunun sebepleri arasında, sensörlerin yanlış yerlere yerleştirilmesi, sensörlerin verdiği alarmin insan müdahalesi ile kapatılması veya iletişimin kopması olduğu görülmüştür. Maden içi iletişim ve sensör iletişimde, iletişimin tek bir hat üzerinden değil, bir ağ üzerinden yapılması, iletişim hattı kesintilerine karşı dayanıklılık sağlayacaktır. Kablolü iletişim hatlarına destek olarak kablosuz hatların farklı mimariler ile kullanılması düşünülebilir.^{11,12,13} Sensör iletişim ağlarının etkinleştirilmesi, ve sensör

¹⁰ İkinci Bilirkişi Raporu, 22 Eylül 2014.

¹¹ X. Wang, X. Zhao, Z. Liang, M. Tan, "Deploying a Wireless Sensor Network on the Coal Mines," IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, , ss.324-328, 2007.

¹² M. Li . and Liu, Y., "Underground coal mine monitoring with wireless sensor networks", ACM Transactions on Sensor Networks, Vol 5, No. 2 , ss 10:1-10:29, 2009.

¹³ P. Roy, S. Bhattacharjee S. Ghosh, S. Misra; M.S. Obaidat, "Fire monitoring in coal mines using Wireless Sensor Networks," International Symposium on Performance Evaluation of Computer & Telecommunication Systems, ss.16,21, 2011.

değerlerinin gerçek zamanlı olarak maden dışında, afete müdahale için kurulmuş ortak mekanlara ulaştırılması, bu alarmın kapatılması gibi müdahalelerin önüne geçilmesi afete etkin olarak müdahale için faydalı olacaktır. Telsiz sensör ağları ve sistemlerinin ikinci bir kullanım alanı da madencilerin hayat sinyallerinin sürekli olarak toplanması ve hissedilen acil durumlarda, ilk yardım ve kurtarma faaliyetlerinin tetikleme olarak düşünülebilir. Bu tip sistemler itfaiyeciler gibi zor ve tehlikeli şartlarda görev yapan ekipler için de önerilmiştir.

3. ARAMA KURTARMA (ARKUR) ROBOTLARI

ArKur robotları, afetlerde ArKur ekiplerinin kabiliyetlerini genişletebilme imkanı sağlayan gelişmekte olan bir teknolojidir. Yeni bir teknoloji olarak uygulamaları halen kısıtlı olmakla beraber, bu tür robotlar yangın, patlama, sualtı kurtarma ve doğada kurtarma operasyonlarında, gerçek zamanlı veri sağlayarak katkı yapabilmektedir. Bilindiği üzere, afet sonrasında zamana karşı bir yarış başlamaktadır. Bir tarafta afetzedelere erişebilmek için süratle hareket etmek gerekirken, öte tarafta yeni hasarlara neden olmamak ve afetzedeleri veya kurtarıcı ekipleri riske atmamak için yeterince yavaş hareket edebilmek gerekmektedir. Amaç can kayıplarını en aza indirmektir. Robotlar doğrudan ve dolaylı olarak bu amaca destek verebilirler. Bu alandaki ilk çalışmaların 90'ların ortasında, Kobe depremi ve Oklahoma City bombalama olaylarından sonra başladığı söylenebilir. IFRC'nin 2013 Dünya Afetler Raporuna göre, 2003-2012 yılları arasında 6699 olay olmuş ve bunların neticesinde 2,167,404 insan çeşitli şekilde etkilenmiştir.¹⁴

3.1 ARKUR ROBOTLARININ GÖREVLERİ

ArKur robotlarının görevleri şu şekilde sınıflandırılabilir¹⁵:

Arama: Afet mahallinde mahsur kalanları arama veya olası tehlikeleri belirleme. Buradaki amaç, aramayı hızlı olarak, mahsur kalanlara veya kurtarıcı ekiplere yeni tehlikeler oluşturmadan tamamlamaktır.

Keşif ve haritalama: Aramaya göre daha geniş kapsamlı olup, amaç afet bölgesinin yeteri çözünürlükte kapsanmasıdır.

Moloz çıkarımı: Afetzedelere ulaşım için molozların temizlenmesi ve bu işlemin mümkün olduğunca büyük yapıdaki vinçler kullanılmadan yapılması amaçlanmaktadır.

¹⁴ IFRC World Disasters Report 2013, 2013, <http://www.ifrc.org/PageFiles/134658/WDR%202013%20complete.pdf>, (en son ulaşım tarihi 11.10.2014).

¹⁵ R.R. Murphy, S.Tadokoro, D. Nardi, A. Jacoff, P. Fiorini, H. Choset, A.M. Erkmen. "Search and Rescue Robotics" Springer Handbook of Robotics, ss.1151-1173, 2008.

Yapısal inceleme: Afet mahallinin yapısının, içeriden ve dışarıdan incelenmesi. Buradaki amaç, olası yapısal tehlikelerin belirlenerek, arama kurtarma operasyonlarının buna göre planlanmasıdır.

Tıbbi değerlendirme ve müdahale: Tıbbi ekip ve doktorların, afet mağduru olup kurtarılmayı bekleyenler ile sözel veya çeşitli yaşam destekleri için etkileşimi amaçlanmaktadır.

Kurtarılmayı bekleyenlerin kurtarılması: Kurtarma ekiplerine, kurtarma esnasında fiziksel destek verilmesini amaçlamaktadır.

Gezgin radyo farı («beacon») veya yineliyici olarak davranma: Bu, özellikle kablolu iletişim erimini arttırmak ve dolayısıyla afetzedeler ve kurtarma ekibinin iletişim imkanlarını arttırmak üzere kullanılmaktadır.

Lojistik: Lojistik destek sağlamak amaçlıdır.

3.2 KURTARICI ROBOT TİPLERİ

ArKur robotları afetzedelerin yerlerinin belirlenmesi, durumlarının değerlendirilmesi ve gerektiği takdirde kurtarılması için gerekmektedir. Bu işlem, kurtarıcı ekibin bulunduğu ortamlar algılanarak ve ekibin faaliyetlerini destekleyerek yapılmaktadır. ArKur robotları kip ve boyuta göre sınıflandırılır.

Kipler robotun kullanım ortamını etkilemektedir: Kip sınıfları kara, sualtı, suüstü ve hava olarak tanımlanmıştır. Karada, küçük insansız kara araçları (İKA), kurtarma ekipleri için tehlike arz eden veya küçük olan ortamlara girmeyi mümkün kılmaktadır. Daha büyük İKA'lar ise, molozların çıkarımı için daha etkindirler. Suda, insansız sualtı araçları (İSA) yine kurtarıcı ekiplere destek verebilmektedir.

İnsansız hava araçları (İHA) ise afet bölgesinin daha kapsamlı olarak yukarıdan görüşmesini sağlamaktadır.

Robot boyutlarını ise hangi tip görevler için ve afetten sonra nasıl kullanılabilecekleri belirlemektedir. Boyut tipleri, insan tarafından taşınabilen, insanlar tarafından getirilebilen ve büyük boyut olarak tanımlanmaktadır.

3.3 AFETLER VE ROBOTLAR

Afetlere müdahale hangi ölçekte olduklarına göre farklılık gösterir. Geniş ölçekteki afetlerde özel donanımlı ArKur ekiplerine gereksinim vardır. Afetlerde 4 farklı faz bulunmaktadır: ön hazırlık, önleme, kurtarma ve kurtarma sonrası operasyonlar. Bu çerçevede olan fazlar şu şekildedir:

Kurtarma ekibi, afet mahallini arayarak afette mahsur kalan olup olmadığını belirler.

Kurtarma ekibi, afet mahallinin durumunu belirler. Burada en önemli husus, ortamda insan yaşamına tehlike arz edecek ve mahalde operasyona mani olabilecek engellerin belirlenmesi, dolayısıyla mahsur kalanların veya kurtarma ekiplerinin en az risk içinde olmalarının sağlanmasıdır.

Kurtarma ekibi ve komuta ekibi, operasyonları planlar.

Arama ve keşif ekipleri, afet mahalline gönderilerek mahallin durumunu gerekli lojistik, tıbbi personel ve destek açısından net olarak belirler. Mahalde operasyon için engel teşkil eden molozları çıkarır. Mahsur kalanlara erişim ve ilk tıbbi destek verir. Mahsur kalanları çıkarır. Yapılan çalışmalar çerçevesinde planları revize eder.

Robotlar, özellikle taktik arama ve kurtarmada –diğer bir ifadeyle mahsur kalanların bulunmaları, onlara, mahsur kaldıkları sürece destek verilebilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Genelde afet anından hemen sonra, mahalde bulunan ve afetten kurtulabilen kişilerin, polis, itfaiye gibi yerel kurumlar ile birlikte çalışarak, sahip oldukları imkanlar çerçevesinde ilk müdahaleyi yaptıkları gözlenmektedir. Daha geniş imkanlara ve donanıma sahip, bölgesel kurtarma ekipleri ise afet mahalline ancak birkaç saat içinde gelebilmektedirler. Afet mahallindeki duruma göre, bu ekipler mahsur kalmış erişimi daha zor olan kişilere erişmeye çalışırlar. Burada, teleoperasyon özelliğine sahip kameralar veya benzeri algılama cihazları kullanılması ile operasyonun hızı artabilmektedir.

3.4 AFETLERDE KULLANIM

ArKur robotları, 2011 Büyük Doğu Japonya Deprem ve Tsunami felaketinde belli bir çapta kullanılmışlardır. Ancak, bu kullanımlar son derece kısıtlı olmuştur –zira robotların afet ortamlarında uzun süre bozulmadan çalışabilmeleri için özel aksesuarlara gereksinimleri olduğu ve dolayısı ile pratik olarak kullanıma henüz tam olarak hazır olmadıkları ortaya çıkmıştır.¹⁶ Bu tecrübeler, robotların afet ortamlarının durumlarını özellikle dikkate alarak tasarlanmalarının gerekli olduğunu

16 R.R. Murphy, J. Kravitz, S.L. Stover, R. Shoureshi. "Mobile Robots in Mine Rescue and Recovery" IEEE Robotics and Automation Magazine, ss: 91-103, Haziran 2009.

ortaya koymuştur. Örneğin, patlayıcı ortamlarda çalışacak bir robotun buna göre tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca, iletişim çözülmesi gereken çok ivedi bir problemdir. Yine, molozlu ortamlarda hareket kabiliyeti ve teleoperasyon temelli yöngüdümlü çözülmesi gereken zor problemlerdir.

3.5 MADENCİLİK ARKUR ROBOTLARI

Maden kazaları, insan kaynaklı afet türüne girmektedir. Kömür madenleri ise diğer yer altı arama kurtarma çalışmalarına göre önemli farklılıklar arz etmektedir. Bu tür madenlerde ortamın belirleyici özellikleri şunlardır¹⁷: 1) sınırlı giriş, 2) kısıtlı hacimler, 3) su bölgesi, 4) patlayıcı ve korozif gaz, 5) yıkıntılar, 6) ışıksızlık ve 8) iletişim zorluğu. Maden kazalarında kullanılan madencilik ArKur robotları, halen geliştirilme aşamasındadırlar. Bu konuda madencilik sektörünün çok önemli olduğu Avustralya ve ABD’de büyük bütçeler ayrılmaktadır. Yapılan çalışmalar çerçevesinde önemli gelişmeler kaydedilmiştir.

İlk robotlardan biri, 1990 yıllarında Avustralya hükümeti tarafından desteklenmiş bir proje çerçevesinde geliştirilmiş olan Numbat robotudur.¹⁸ Esasen bir keşif robotu olan Numbat, maden ortamının görsel olarak incelenmesi ve hava kalite örneklenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Maden kazasında hiç kullanılmamış olmakla beraber, olası bir kaza için yedekte hazır tutulmaktadır.

Tablo 1’de 2001-2007 yılları arasında ABD’de çeşitli maden kazalarında kullanılan robotların bir özeti sunulmaktadır.¹⁶ Robotların mahsur kalanların bulunduğu bölgelere erişimi farklı yollardan olabilmektedir: Yüzeyden giriş (YG), kanal yoluyla (KY) ve dar alanlar (DA). Bunlardan biri, 2006 yılında ABD’de olan maden kazasında olmuştur. Burada takribi 500 kg civarında olan V2 robotu kullanılmaya çalışılmıştır. Ancak robot ocağın girişinden 700 m içeri gittikten sonra, bir engele takılmış ve kullanılamaz hale gelmiştir.

Bu tecrübelerin ışığında madenlerde kullanılacak ARKur robotlarının tasarımı için şu konuların göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmişlerdir.¹⁶

1. Yüksek hareket kabiliyeti, özellikle eğimli yüzeylerde hareket edebilme en temel özelliktir.
2. Tasarım, kömür madenlerine yönelik olarak özellikle “ex-proof” ve su geçirimsizlik göz önüne alınarak yapılmalıdır.

¹⁷ D. Hainsworth, "Teleoperation user interfaces for mining robotics," *Autonomous Robots*, Vol. 11, No. 1, ss. 19–29, 2001.

¹⁸ A. Morris, D. Silver, D. Ferguson, and S. Thayer, "Towards topological exploration of abandoned mines", *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2117–2123, 2005.

TABLO 1.

ABD’de 2001-2007 yılları arasında maden kazalarında kullanılan robotlar

Kaynak: R.R. Murphy, J. Kravitz, S.L. Stover, R. Shoureshi. "Mobile Robots in Mine Rescue and Recovery" IEEE Robotics and Automation Magazine, ss: 91-103, Haziran 2009.

MADEN	YIL	TİP	ROBOT	YG	KY	DA
JimWalterNo.5	2001	Kurtarma	Wolverine	X		
Barrick	2002	Kurtarma sonrası	Wolverine	X		
Brown’sFork	2004	Kurtarma sonrası	Wolverine	X		
ExcelNo.3	2004	Kurtarma sonrası	Wolverine	X		
DRNo.1	2005	Kurtarma sonrası	Wolverine	X		
McClaneCanyon	2005	Kurtarma sonrası	Wolverine	X		
SagoMine	2006	Kurtarma	Wolverine	X		
Midas	2007	Kurtarma	Allen-Vanguard Inuktun			X
CrandallCanyon	2007	Kurtarma	Inuktun	X	X	

3. Yarı özerk ya da tam uzaktan denetim kipinde çalışma için güvenilir bir iletişim sistemi vazgeçilmezdir.
4. Kullanılan sensörler maden ortamına uygun seçilmeli, örneğin karanlık ortamda görüntü alabilmeli ve kendi kendilerini temizleyebilmelidir.
5. Süre, uzaklık ve maliyet göz önüne alınarak uygun bir güç kaynağı seçilmelidir.
6. Görevin başarıyla tamamlanabilmesi için uygun bir insan-robot arayüzü kullanılmalıdır.
7. Bunlara uygun bir tasarım Çin’de geliştirilen ve gerçek maden ortamlarında başarıyla test edilmiş olan MINBOT’tur [19].

4. SONUÇ

13 Mayıs 2014’te, Manisa’da Soma ilçesindeki kömür madeninde çıkan yangın nedeniyle Soma faciası Türkiye Cumhuriyeti tarihinin en çok can kaybı ile sonuçlanan madencilik kazası olarak kayıtlara geçmiştir. Bunun üzerine yapılan istatistiki çalışmalar, maalesef ülkemizde genel olarak madencilikte önemli sorunların bulunduğunu gözler önüne sermiştir. Bu raporun amacı, madencilikte elektriksel/elektronik sistemler ve robotbilim alanlarında, en son teknolojik gelişmelere göre mevcut durum tespiti yapmak ve bu bilgiler çerçevesinde araştırma ve geliştirme açısından bir değerlendirme ve tavsiye yapmaktır. Rapor iki ana kısımdan oluşmaktadır.

1. Elektriksel/Elektronik sistemler
2. Arama ve kurtarma (ArKur) robotları

Elektriksel ve elektronik sistemler, madendeki üretim şartlarının, çalışanlar açısından mümkün olduğunca güvenli olmasını ve dolayısı ile mümkün olduğunca az tehlikeli şartlarda çalışmalarını hedeflemektedir. Bu çerçevede, Avrupa ülkeleri tarafından kabul edilen ATEX standardına göre, bu standardın ülkemizdeki tüm kömür madenlerinde uygulanabilir hale gelmesi için bir plan çerçevesinde, tercihen teşvik programları ile desteklenerek uygulamaya geçilmesi kazaları azaltacaktır. Buna paralel olarak, olası kötü senaryolarda, yani maden kazalarında, arama ve kurtarma operasyonlarında, ilgili ekiplere destek vermek ve hatta birlikte çalışmak üzere ArKur robotlarının geliştirilmesi kaza sonrası müdahalenin yapılmasını kolaylaştıracaktır.

