



**T.C.**

**ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI  
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**YERALTI MADENLERİNDE PERSONEL TAKİP VE  
HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

**Mehmet Eren SÖKMEN**

**(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)**

**ANKARA-2016**

**T.C.**  
**ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI**  
**İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**YERALTI MADENLERİNDE PERSONEL TAKİP VE  
HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

**Mehmet Eren SÖKMEN**

**(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)**

**Tez Danışmanı**

**Hande Seray TUNCAY**

**ANKARA-2016**

**T.C.**  
**Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı**  
**İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü**

**O N A Y**

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü İş Sağlığı ve Güvenliği Uzman Yardımcısı **Mehmet Eren SÖKMEN**'nin, **Hande Seray TUNCAY** danışmanlığında başlığı “**Yeraltı Madenlerinde Personel Takip ve Haberleşme Sistemlerinin İncelenmesi**” olarak teslim edilen bu tezin savunma sınavı 05/10/2016 tarihinde yapılarak aşağıdaki jüri üyeleri tarafından “**İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi**” olarak kabul edilmiştir.

**Dr. Serhat AYRIM**

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı  
Müsteşar Yardımcısı  
JÜRİ BAŞKANI

**Tarkan ALPAY**

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür V.  
ÜYE

**İsmail GERİM**

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yrd.  
ÜYE

**Doç. Dr. Pınar BIÇAKÇIOĞLU**

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yrd. V.  
ÜYE

**Prof. Dr. Yasin Dursun SARI**

Öğretim Görevlisi  
ÜYE

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

**Tarkan ALPAY**

İSGGM Genel Müdür V.

## TEŞEKKÜR

İŞ Sağlığı ve Güvenliği Uzman Yardımcılığım boyunca kıymetli bilgi, deneyim ve desteklerini esirgemeyen Müsteşar Yardımcısı Sayın Dr. Serhat AYRIM baŐta olmak üzere, Genel Müdürüm Sayın Tarkan ALPAY'a, İŞ Sağlığı ve Güvenliği eski Genel Müdürü Kasım ZER'e, İŞ Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yardımcısı Sayın İsmail GERİM'e, İŞ Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yardımcısı Sayın Sedat YENİDÜNYA'ya, İŞ Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yardımcısı Sayın Doç. Dr. Pınar BIŐAKŐIOęLU'na, eski Genel Müdür Yardımcısı Dr. H.N. Rana GÜVEN'e ve Yetkilendirme Daire Başkanı Sayın Furkan YILDIZ'a teŐekkürlerimi sunarım. İŞ Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı tez danıŐmanım ve meslektaŐım olan Sayın Hande Seray TUNCAY'a teŐekkürlerimi sunarım. Tez ęalıŐmam boyunca göstermiŐ oldukları sabır ve destekten dolayı aileme, değerli katkılarından dolayı Sayın Mesut ATAV'a ve tüm ęalıŐma arkadaŐlarıma teŐekkürü bir borę bilirim. Son olarak, yapmıŐ olduğum teknik ziyaretler sırasında vermiŐ oldukları bilgiler ve göstermiŐ oldukları misafirperverliklerinden dolayı tüm maden işletmelerine, tedarikçi firmalara ve ęalıŐanlarına teşekkür ederim.

# ÖZET

**Mehmet Eren SÖKMEN**

**Yeraltı Madenlerinde Personel Takip ve Haberleşme Sistemlerinin İncelenmesi**

**Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü**

**İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi**

**Ankara, 2016**

Günümüzde, iletişim ve bilişim teknolojileri hızlı bir gelişim göstermektedir. İşyerlerinin iş kazası ve meslek hastalıklarını önlemek ve üretimdeki verimliliklerinin artırılması adına, teknolojiye bu hızlı gelişime ayak uydurması büyük önem arz etmektedir. Personel takip ve haberleşme sistemleri, madenlerde yeraltında bulunan çalışanların birbirleriyle ve aynı zamanda yerüstü kontrol merkeziyle iletişiminin sağlanması ve anlık olarak buldukları konumların takibinin yapılması amacıyla uygulanmakta olup acil durum yönetimi için hayati öneme sahiptir. 2014 yılında madenlerde iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin mevzuatımızda yapılan değişiklikler ile madenlerde bu sistemlerin kurulması zorunlu hale gelmiştir. Madenlerine personel takip ve haberleşme sistemi kurmuş veya kuracak olan maden işletmelerine bu tez çalışmasının yol göstermesi amaçlanmıştır. Ülkemizde faaliyet gösteren beş yeraltı maden işletmesinde kurulu sistemler yerinde incelenmiştir. Yapılan tez çalışmasında, bu sistemlerle ilgili ulusal ve uluslararası mevzuatlar ve literatür birlikte değerlendirilerek kontrol listesi hazırlanmış olup, incelenen işletmelerin uygulanan kontrol listesine uyumu değerlendirilmiş ve işletmelerde görülen eksikler tespit edilerek çözüm önerileri geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yeraltı Madenciligi, Personel Takip Sistemleri, Haberleşme Sistemleri, RFID, Acil Durum Yönetimi

# **ABSTRACT**

**Mehmet Eren SÖKMEN**

## **Investigation of Personnel Tracking and Communication Systems in Underground Mines**

**Ministry of the Labor and Social Security, Directorate General of Occupational Health  
and Safety**

**Thesis for Occupational Health and Safety Expertise**

**Ankara, 2016**

Today communication and information technology shows rapid development. Enterprises must adapt to this development in order to prevent occupational accidents, illnesses and to increase efficiency in production. Communication systems are used in communication of workers who work underground with the above ground control centre and underground workers between themselves. Personnel tracking systems are used to track the locations of workers momentarily and are vital in emergency management. With changes to legislation in mining health and safety in 2014 the use of these systems have become mandatory in underground mines. This thesis aims to contribute those whom have already installed and those who are about to install such systems. At the same time it will be a reference study for these enterprises. In this thesis the installed systems in five underground mines have been examined in place. A control list have been prepared with the evaluation of national and international legislations and literature. As a result of this study, the conformity of the examined systems to the control list have been evaluated and solutions to the problems are offered for these enterprises.

**Keywords:** Underground Mining, Personnel Tracking Systems, Communication Systems, RFID, Emergency Management

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR .....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGE VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. PERSONEL TAKİP VE HABERLEŞME SİSTEMLERİ İLE İLGİLİ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ MEVZUATI .....	3
2.1.1. Amerika Birleşik Devletleri .....	3
2.1.2. Avustralya .....	4
2.1.3. Avrupa Birliği .....	6
2.1.4. Güney Afrika Cumhuriyeti.....	7
2.1.5. Türkiye .....	7
2.2. PERSONEL TAKİP VE HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN FAYDALARI.....	10
2.3. HABERLEŞME SİSTEMLERİ .....	11
2.3.1. Haberleşme Sistemleri ve Çalışma Prensipleri .....	11
2.4. TAKİP SİSTEMLERİ .....	28
2.4.1. Elektronik Takip Sistemlerinde Kullanılan Ekipmanlar .....	29
2.4.2. Takip Sistemleri ve Çalışma Prensipleri .....	29
2.5. MADEN İZLEME VE KONTROL ODALARI .....	40
3. GEREÇ VE YÖNTEMLER .....	43
3.1. ARAŞTIRMA HAKKINDA BİLGİ .....	44
3.2. KONTROL LİSTESİNİN HAZIRLANMASI .....	44
4. BULGULAR .....	47
4.1. SAHA GÖZLEMLERİ.....	49

4.1.1. Birinci İşyeri.....	49
4.1.2. İkinci İşyeri .....	52
4.1.3. Üçüncü İşyeri .....	54
4.1.4. Dördüncü İşyeri.....	57
4.1.5. Beşinci İşyeri.....	59
4.2. KONTROL LİSTESİ İLE ELDE EDİLEN VERİLER.....	61
4.2.1. Haberleşme Sistemi.....	61
4.2.2. Takip Sistemi.....	68
5. TARTIŞMA.....	75
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	84
EKLER .....	85



## ŞEKİLLER

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yeraltı madenlerinde kullanılan haberleşme sistemleri .....	11
Şekil 2.2. Kablolü telefon hattı .....	12
Şekil 2.3. Telefon Ağı .....	13
Şekil 2.4. Yeraltı haberleşme odası .....	13
Şekil 2.5. Sızıntı besleyici sistem şeması .....	14
Şekil 2.6. Sızıntı besleyici sistemi yerleşim örneği .....	15
Şekil 2.7. Sızıntı besleyici kablo örneği .....	16
Şekil 2.8. Sızıntı besleyici kablonun yerleşimi.....	16
Şekil 2.9. Kablosuz düğüm sistemi yerleşimi.....	18
Şekil 2.10. Kablo altyapılı düğüm sistemi yerleşimi.....	19
Şekil 2.11. Düğümler aracılığıyla sağlanan kablosuz haberleşme örneği .....	20
Şekil 2.12. Düğüm (Turuncu noktalar) tabanlı haberleşme sistemi .....	20
Şekil 2.13. Ultra yüksek frekanslı düğüm haberleşme sisteminin sinyal iletim rotası.....	21
Şekil 2.14. Bir patlama sonrası düğümlerin alternatif bağlantı yolu sağlayarak haberleşmenin sürdürülmesi .....	22
Şekil 2.15. İki orta frekanslı telsiz arasındaki bağlantı .....	24
Şekil 2.16. Yüzeiden radyo haberleşmesi.....	25
Şekil 2.17. Yüzeiden radyo haberleşme sistemi örneği .....	27
Şekil 2.18. Takip sistemlerinde kullanılan ekipmanlar .....	29
Şekil 2.19. Takip sistemlerinde kullanılan konum saptama yöntemleri.....	32
Şekil 2.20. Personel takip sisteminin yerleşimi .....	35
Şekil 2.21. Bölge bazlı takip yapan RFID sistemi.....	36
Şekil 2.22. Okuyucu ve kapsama alanı.....	37
Şekil 2.23. Sızıntı besleme sistemi altyapısıyla çalışan ters RFID sistemi .....	38
Şekil 2.24. RSSI tekniğini kullanan düğüm tabanlı takip sistemi .....	39
Şekil 2.25. Çalışanların buldukları konumun izleme ekranında gösterimi .....	41
Şekil 3.1. Tez çalışması sürecinde gerçekleştirilen faaliyetler .....	43
Şekil 4.1. Takip sistemi ekranı .....	52
Şekil 4.2. Takip sistemi izleme ekranı.....	54
Şekil 4.3. Takip sistemi izleme ekranı.....	59

## TABLULAR

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1. Madencilik faaliyetlerinin az olduğu 176 Sayılı Sözleşmeyi onaylamış olan bazı ülkeler.....	8
Tablo 2.2. Dünyada madencilikte önde gelen 176 Sayılı Sözleşmeyi onaylamamış olan bazı ülkeler.....	8
Tablo 2.3. Kablolü sistemlerin avantajları ve dezavantajları .....	14
Tablo 2.4. Sızıntı besleyici sistemlerin avantajları ve dezavantajları.....	17
Tablo 2.5. Düşüm tabanlı sistemlerin avantajları ve dezavantajları .....	23
Tablo 2.6. Orta frekanslı sistemlerin avantajları ve dezavantajları .....	24
Tablo 2.7. Yüzeyden radyo haberleşme sistemlerinin avantajları ve dezavantajları.....	27
Tablo 2.8. Manuel takip sistemlerinin avantajları ve dezavantajları.....	31
Tablo 4.1. Saha çalışması yapılan 5 işletmede çıkarılan madene göre dağılımı .....	47
Tablo 4.2. Gözlem yapılan madenlerin özellikleri .....	48
Tablo 4.3. Gözlem yapılan madenlerde bulunan sistemler .....	48
Tablo 4.4. Gözlem yapılan madenlerde bulunan takip sistemlerinin özellikleri .....	49
Tablo 4.5. Haberleşme Sistemi Kontrol Listesi Sonuçları .....	62
Tablo 4.6. Takip Sistemi Kontrol Listesi Sonuçları .....	68

## GRAFİKLER

Grafik	Sayfa
Grafik 4.1. Her vardiyada yeraltında bulunan çalışan sayıları .....	47
Grafik 4.2. 5 maden işletmesinde haberleşme sistemi ile ilgili uygulanan kontrol listesi kapsamında elde edilen veriler .....	62
Grafik 4.3. Sistemin kapsama alanına ilişkin sorular .....	64
Grafik 4.4. Alternatif bağlantı altyapısı ve sistemin uyarı özellikleri ile ilgili sorular.....	65
Grafik 4.5. Acil durum yönetimi ve haberleşme kayıtları ile ilgili sorular .....	66
Grafik 4.6. Haberleşme sistemi sinyal yayılımına dair sorular .....	67
Grafik 4.7. 5 maden işletmesine takip sistemi ile ilgili uygulanan kontrol listesi kapsamında elde edilen veriler .....	68
Grafik 4.8. Takip sisteminin kapsamı, hassasiyeti ve takip kabiliyetine ilişkin sorular.....	70
Grafik 4.9. Sistemi batarya ömrü ve arıza özelliklerine ilişkin elde edilen veriler .....	71
Grafik 4.10. Takip sistemi altyapısında alternatif bağlantı yollarının olması .....	72
Grafik 4.11. Takip sisteminde bulunan etiketlere ilişkin sorular .....	73
Grafik 4.12. Takip sistemi sinyal yayılımına dair sorular .....	74

## RESİMLER

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Sago Kömür Madeni (ABD) .....	3
Resim 2.2. Yeraltı madeninde bulunan tike tahtası .....	30
Resim 4.1. Yeraltında bulunan sabit telefon hattı ve telsiz sistemi .....	49
Resim 4.2. Defter kayıt ve tike uygulaması .....	50
Resim 4.3. Tike ve elektronik etiket .....	50
Resim 4.4. Bölgesel takip yapan okuyucu .....	51
Resim 4.5. Maden izleme ve kontrol odası .....	51
Resim 4.6. Yeraltı kullanılan kablosuz maden telefonu .....	53
Resim 4.7. Yeraltında bulunan okuyucu .....	53
Resim 4.8. Yeraltı haberleşmesinde kullanılan telsiz .....	55
Resim 4.9. RF kablosu ve içerisine yerleştirilmiş olan okuyucu .....	56
Resim 4.10. Takip sisteminde kullanılan etiket .....	56
Resim 4.11. Yeraltında bulunan erişim noktası .....	57
Resim 4.12. Yeraltında bulunan okuyucu .....	58
Resim 4.13. Takip sisteminde kullanılan etiketler .....	59
Resim 4.14. Yeraltında bulunan okuyucu .....	60
Resim 4.15. Madenci lambasına monte edilen etiket .....	61

## SİMGE VE KISALTMALAR

<b>ABD</b>	Amerika Birleşik Devletleri
<b>ATEX</b>	Atmosphere Explosive (Patlayıcı Ortam)
<b>İSG</b>	İş Sağlığı ve Güvenliği
<b>GHz</b>	Gigahertz
<b>Hz</b>	Hertz
<b>ILO</b>	International Labour Organization (Uluslararası Çalışma Örgütü)
<b>IP</b>	Internet Protocol (İnternet Protokolü)
<b>kHz</b>	Kilohertz
<b>MHz</b>	Megahertz
<b>MSHA</b>	Mine Safety and Health Administration (Amerika Maden Güvenliği ve Sağlığı İdaresi)
<b>NIOSH</b>	National Institute for Occupational Safety and Health (Amerika Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü)
<b>RF</b>	Radio frequency (Radyo Frekansı)
<b>RFID</b>	Radio Frequency Identification (Radyo Frekans İle Tanımlama)
<b>RSSI</b>	Received Signal Strength Indicator (Alınan Sinyal Gücü Göstergesi)
<b>UHF</b>	Ultra High Frequency (Ultra Yüksek Frekans)
<b>VHF</b>	Very High Frequency (Çok Yüksek Frekans)
<b>VOIP</b>	Voice Over Internet Protocol ( İnternet Protokolü Üzerinden Sesli İletişim)
<b>YRH</b>	Through The Earth (Yüzeyden Radyo Haberleşmesi)
<b>Wi-Fi</b>	Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlantı)

# 1. GİRİŞ

Madencilik, bir ülkenin kalkınmasında en fazla katma değer oluşturan sektörlerden biridir. Sanayide ham madde ve enerji kaynağı olarak kullanılması açısından ihmal edilemeyecek bir öneme sahiptir. Nitekim gelişmiş ülkelere bakıldığında, dünyada maden üretiminde de başı çektikleri görülmektedir. Madencilik sektörü çok tehlikeli bir iş kolu olması sebebiyle işyerlerinde ileri teknoloji kullanımı hem iş sağlığı ve güvenliğinin tesis edilmesi hem de verimliliğin artırılması adına önemli bir araçtır.

Yeraltı madenlerinde haberleşme sistemleri, madenciliğin eski dönemlerinden beri kullanılmakta olup teknolojideki ilerlemeler ile birlikte gelişmeye devam etmektedir. Takip sistemleri ise haberleşme sistemine nazaran daha yeni bir konudur. 2006 yılında Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde yaşanan maden kazası sonrası yasal değişiklikler yapılarak haberleşme ve takip sistemleri kurma zorunluluğu getirilmiştir. Bu tarihten itibaren yeraltı madenlerine özel sistemlerin geliştirilmesine hız verilmiştir.

Bilindiği üzere, ülkemizde madenlerde iş sağlığı ve güvenliğine dair hususlar 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile bu Kanun'a dayanılarak çıkarılan, 19.09.2013 tarihli 28770 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği ile düzenlenmektedir. Bu mevzuat kapsamında yapılan değişiklikler ile ülkemizde yeraltı maden işletmelerinde haberleşme sistemi kurulmasına ek olarak personel takip sisteminin de kurulması zorunlu hale gelmiştir.

Yeraltı madenlerinde olası acil durumlarda çalışanlar ile iletişim kurulması ve onların takip edilmesi çok hayati olmakla birlikte, günlük işlerin yürütülmesi ve takibi için de çok önemlidir. Dünya genelinde madenlerde yaşanan kazalarda görüldüğü üzere yeraltında bulunan çalışanlar ile iletişim kurulması ve çalışanların konumlarının izlenmesi, kurtarma çalışmalarının etkinliği açısından büyük önem arz etmektedir.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasının yeraltı madenlerinde kullanılan çeşitli personel takip ve haberleşme teknolojilerine dair bilgi sağlaması ve bu sistemlerin değerlendirilebilmesi için kılavuz niteliğinde bir çalışma olması amaçlanmıştır. Ayrıca ülkemiz için yeni bir konu olması nedeniyle ihtiyaç duyulan literatür bilgisine de katkı sağlaması ve konuya dair çıkarılacak alt

mevzuat çalışmalarında, personel takip ve haberleşme sistemlerinin temel ayırt edici özellikleri ve çalışma prensipleri konularında rehber olması öngörülmüştür. Buna ek olarak, yeraltı madenlerinde bulunan ekipmanların bu sistemlerin performansına olan etkisi, sistemlerin operasyonel farklılıkları, avantajları ve dezavantajlarına da yer verilmektedir.

Çalışma kapsamında bu konuda gelişmiş ülkelerin mevzuatları ile kullanılan haberleşme ve personel takip sistemleri ayrı ayrı incelenmiştir. Haberleşme ve personel takip sistemleri benzer çalışma prensiplerine sahip olsa dahi, bu sistemlerin kullanım amaçlarındaki farklılıklarından dolayı iki ayrı bölümde ele alınmıştır.

Ülkemizde hali hazırda bu sistemleri işletmelerine kurmuş olan yeraltı madenlerine saha ziyaretleri gerçekleştirilmiş ve hazırlanan kontrol listesi ile buralarda kullanılan teknolojiler hakkında bilgiler toplanarak değerlendirmeler yapılmıştır. Benzer nitelikte olan literatürdeki bazı farklı çalışmalar ile karşılaştırılmış ve bu çalışmaların ortak yönleri aktarılmıştır. Son olarak da yapılan çalışmanın sonuçları belirtilmiş ve tespit edilen hususlara yönelik öneriler getirilmiştir.

## 2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde, personel takip ve haberleşme teknolojilerinin maden endüstrisindeki mevcut kullanımları, çalışma prensipleri, ülkemizin ve dünyada bu konuda gelişmiş olan ülkelerin mevzuat içerikleri ile ilgili bilgiler mevcut olup ayrıca konu ile alakalı akademik çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

### 2.1. PERSONEL TAKİP VE HABERLEŞME SİSTEMLERİ İLE İLGİLİ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ MEVZUATI

Dünyada madencilik gelişmiş olduğu bazı ülkelerin ve ülkemizin konuyla ilgili mevzuatı açıklanmıştır.

#### 2.1.1. Amerika Birleşik Devletleri

ABD West Virginia eyaletinde bulunan Sago Kömür Madeninde (Resim 2.1) [1] 2006 yılında grizu patlaması sonucu 13 çalışan yaklaşık iki gün madende mahsur kalmış olup, bu çalışanlardan sadece biri hayatta kalabilmiştir. Yaşanan bu kaza, 2001 yılında Alabama eyaletindeki maden kazasında 13 çalışanın ve 1968 yılında West Virginia eyaletindeki maden kazasında 8 çalışanın hayatını kaybettiği kazalardan sonra ABD’de yaşanan en trajik maden kazası olmuştur [2].



Resim 2.1. Sago Kömür Madeni (ABD) [1]



Yaşanan kaza sonrasında tahlisiye ekibi yeraltında mahsur kalan çalışanların konumunu tespit edememiş ve kaza mahalline ikinci günün sonunda ulaşmıştır. ABD Senatosu bu kaza sonrasında, 1977 yılında yayımlanan Federal Maden Güvenliği ve Sağlığı Yasası'nda değişiklik yapmaya karar vermiştir. Tasarıda, Radyo Frequency Identification (RFID - Radyo Frekansı ile Tanımlama) ve benzeri sistemler ile ilgili yeni çalışmalar başlatılmış olup özellikle kaza sonrası yeryüzü ve yeraltı arasında haberleşme sağlayan kablosuz iki yönlü haberleşme sistemleri ve yeraltında mahsur kalan çalışanların konumunun yerüstünde bulunanlar tarafından tespit edilebileceği sistemler değerlendirilmiştir [2].

Sago maden kazası, kamuoyunda ciddi tepkilere yol açmıştır. Bunun üzerine ABD Kongresi çalışmalara başlamış akabinde 24 Mayıs 2006 tarihinde Maden İyileştirme ve Yeni Acil Müdahale Yasası'nı (Miner Act - Madenci Yasası) yayımlanmıştır. Kömür madenlerinde yaşanan kazalar ve ardından yayınlanan Madenci Yasası'nın kömür madenciliğine çok önemli etkileri olmuştur [3]. Yasanın bazı önemli hükümleri şunlardır;

- Yasanın yayınlanma tarihinden itibaren üç yıl içerisinde, yeraltında mahsur kalan çalışanların kurtarılabilmesi için iki yönlü kablosuz haberleşmeyi sağlayacak sistemin ve yeryüzünden yeraltında bulunan çalışanların izlenebileceği elektronik takip sisteminin uygulanması gerekmektedir [3].

### **2.1.2. Avustralya**

Avustralya'da maden işyerlerindeki iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı, eyaletler ve bölgeler tarafından düzenlenmektedir. New South Wales, Queensland ve Western Australia eyaletlerinin birbirlerinden ayrı yönetmelikleri bulunmaktadır [4].

Yönetmelikleri, genel iş sağlığı ve güvenliği düzenlemelerini içeren çerçeve nitelikte olup risk bazlı yaklaşım vardır. Takip sistemleri için özel bir düzenleme bulunmamaktadır. Ancak eyaletler rehber ve öneri dokümanları yayımlamaktadır. Bu rehber ve önerilere uymak yasal olarak bir zorunluluk olmayıp işverene bırakılmıştır. Ancak böyle bir zorunlu olmasa da işverenler bu tür önlemleri yerine getirme eğilimindedir [4].

New South Wales eyaletinin yayınlamış olduğu maden uygulama rehberinde takip sistemi ile ilgili bazı düzenlemeler mevcuttur. Bu düzenlemeler aşağıda sıralanmıştır.

- Yeraltında bulunan bütün çalışanların, muhtemel konumlarının her an doğru bir şekilde kayıtlarının tutulması, acil durum anında da sistemin çalışmayı sürdürebilmesi ve görsel olarak izlenmesi gerekmektedir [4].
- Maden işletme müdürü, yeraltında bulunan çalışanların isimlerinin ve konumlarının yazıldığı bir plan sistemi kurmalıdır. Bu sistem, elektronik takip raporlarının imzalı çıktıları olabilmektedir [4].

Haberleşme sistemi için ise bazı düzenlemeler mevcuttur. New South Wales eyaleti maden iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliğinde aşağıdaki madde ile düzenlenmektedir.

- Maden işletme müdürü, yeraltında bulunan çalışanların birbirleriyle ve yeryüzüyle iletişim kurabileceği, tüm yeraltı madenini kapsayan ve sürekli çalışan bir haberleşme sistemi sağlamalıdır [5].

New South Wales eyaletinin yayınlamış olduğu maden uygulama rehberinde haberleşme sistemi ile ilgili bazı düzenlemeler mevcuttur. Bu rehberde aşağıda sıralanan düzenlemeler bulunmaktadır.

- Haberleşme sistemi, acil durum anında sığınma odaları, kaçış güzergâhları ve sığınma cepleri gibi noktalarda çalışabilecek şekilde olmalıdır. Sistemin acil duruma neden olabilecek tehlikelerden etkilenmeyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir [4].
- Yeraltı madenlerinde çeşitli haberleşme sistemleri bulunmaktadır [4]. Bunlar aşağıda gösterildiği şekilde sıralanabilir.
  - İki yönlü haberleşme sağlayan telsizler (Sızıntı Besleyici Sistemler),
  - Belirli noktalardaki sabit telefonlar,
  - Kişisel acil durum cihaz sistemi (Madenci lambasına monte edilen mesaj cihazı),
  - Wi-Fi sistemleri (Madenci lambası monte edilen sistemler veya telsizler),
  - Kablosuz VOIP telefon sistemleri,
  - Koku gazı (Stench gas) uygulamaları,

- Yeraltı maden haberleşme sistemlerinin geliştirilmesi için teknik araştırmalar devam etmektedir. Bazı çalışmalarda takip sistemleri haberleşme sistemi üzerinde bütünleştirilebilmektedir. Acil eylem planlarının hazırlanmasında veya güncellenmesinde bu teknolojik gelişmelerin göz önünde bulundurulması esastır [4].
- Acil durumlarda kullanılmak üzere ikincil haberleşme sisteminin her an çalışabilecek şekilde hazır bulunması sağlanmalıdır [4].

### **2.1.3. Avrupa Birliği**

Avrupa Birliği, maden işyerlerindeki iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı 03.12.1992 tarihli 92/104/EEC sayılı ve 03.11.1992 tarihli 92/91/EEC sayılı çerçeve direktifler ile düzenlemektedir. Söz konusu direktiflerde, personel takip sistemi ile ilgili özel bir düzenleme olmayıp haberleşme sistemi ile ilgili düzenlemeler mevcuttur. Bu düzenlemeler genel olarak mevzuatımızla uyumludur. Bunlar;

- İşverenler, alışanların sağlığını ve güvenliği korumak için sıralanan önlemleri almalıdır: işyerlerinin, çalışanların ve diğer kişilerin sağlığını ve güvenliğini tehlikeye atmayacak şekilde, tasarlanması, kurulması, gerekli donanım sağlanması, işletilmesi ve bakımların düzenli bir şekilde yapılması gerekmektedir [6].
- İşveren, madenden çıkış ve kurtarma çalışmalarına yardım etmek üzere, uyarı ve diğer haberleşme sistemlerini sağlayarak gerekli tedbirleri almak zorundadır. Çalışanlar ve çalışan temsilcileri işyerlerinde, sağlık ve güvenliği ilgilendiren konularla ilgili alınan tüm önlemler hakkında haberdar edilmelidir. Bu bilgilendirme, çalışanlar tarafından anlaşılır şekilde olmalıdır [6].
- Sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilen durumlarda kullanılmak üzere, işyerinde çalışanın bulunduğu her noktaya alarm gönderebilen ve tüm çalışanların duyabileceği şekilde sesli ve ışıklı işaret sistemi kurulmalıdır. Haberleşme sistemi acil durumlarda çalışması sürdürebilecek, kurtarma ekibi ve yeryüzü izleme merkezi ile haberleşmeyi sağlayacak şekilde olmalıdır [6].

#### **2.1.4. Güney Afrika Cumhuriyeti**

Güney Afrika Cumhuriyeti'nde maden işyerlerindeki iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı Maden Sağlığı ve Güvenliği Yasası ve akabinde yayınlanan tüzükler ile düzenlenmektedir. Yasa, genel iş sağlığı ve güvenliği düzenlemelerini içeren çerçeve niteliktedir. Personel takibi konusunda bir düzenleme bulunmamaktadır. Yasada, yeraltı madenlerinde haberleşme ile ilgili aşağıdaki madde bulunmaktadır;

- Madenin sahibi, güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamı sağlamak için makul şekilde madenin tasarlanıp işletmeye alınmasından ve uygun ekipmanlarla donatılmasından ve bu şartların yerine getirebilmesi için gerekli olan haberleşme sistemini, elektrikli, mekanik ve diğer ekipmanları sağlamalıdır [7].

Kurtarma, ilkyardım ve acil durum hazırlık ve müdahale yönetmeliğinde haberleşme sistemi ile ilgili aşağıdaki madde bulunmaktadır;

- Tahlisiye ekibine uygun acil durum haberleşme sistemi ve sistemin destekleyici unsurları sağlanır [8].

Acil durumlara hazırlık ve müdahale yönetmeliğinin uygulamasına dair olan rehberde haberleşme sistemleri ile ilgili aşağıdaki madde bulunmaktadır;

- İki yönlü haberleşme sağlayan sistem madene kurulmalı ve çalışır durumda olduğu belirli aralıklarla kontrol edilmelidir [9].

#### **2.1.5. Türkiye**

Ülkemizde madenlerde iş sağlığı ve güvenliğine dair hususlar 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile bu Kanun'a dayanılarak çıkarılan yönetmelik ile düzenlenmektedir. Bu yönetmelik kapsamında yeraltı maden işletmelerinde haberleşme sistemi ile ilgili aşağıdaki husus yer almaktadır;

- ‘‘İşveren, işyerinin bütününde gerekli haberleşme ve iletişim sistemini kurar.’’ [10]

International Labour Organization (ILO - Uluslararası Çalışma Örgütü), Dünya Sağlık Örgütü, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı ve diğer ilgili kurumlar arasında yapılan iş birliği ile maden işyerlerinde güvenlik ve sağlık ile ilgili uluslararası sözleşme 22 Haziran 1995 tarihinde yayınlanmıştır. Maden İşyerlerinde Güvenlik ve Sağlık Sözleşmesi olarak adlandırılan bu sözleşme 5 Haziran 1998 tarihinden bu yana yürürlükte olup, sözleşmeyi hâlihazırda ILO’ya üye 185 ülkeden 31’i onaylamıştır. Sözleşmeyi onaylayan ülkelerin birçoğunda madencilik faaliyetleri yok denecek kadar az olup onaylamayan ülkeler arasında da madencilik konusunda dünyada başı çeken ülkeler bulunmaktadır. Madencilik faaliyetlerinin az olduğu, 176 sayılı sözleşmeyi onaylamış olan bazı ülkeler Tablo 2.1.’de gösterilmiştir [11].

**Tablo 2.1. Madencilik faaliyetlerinin az olduğu 176 Sayılı Sözleşmeyi onaylamış olan bazı ülkeler [11]**

176 Sayılı Sözleşmeyi Onaylayan Bazı Ülkeler	
• Belçika	• Norveç
• Portekiz	• İrlanda
• Bosna Hersek	• Lüksemburg

Dünyada madencilik faaliyetlerinde önde gelen, 176 sayılı sözleşmeyi onaylamamış olan bazı ülkeler Tablo 2.2.’de gösterilmiştir [11].

**Tablo 2.2. Dünyada madencilikte önde gelen 176 Sayılı Sözleşmeyi onaylamamış olan bazı ülkeler [11]**

176 Sayılı Sözleşmeyi Onaylamayan Bazı Ülkeler	
• Avustralya	• Kanada
• Çin	• Hindistan
• Yeni Zelanda	• Şili

Maden işyerlerinde ki çalışma koşulları ile uluslararası standartları düzenleyen bu sözleşmede işverenlere, önleyici ve koruyucu tedbirler, güvenlik ve sağlığa ilişkin risklerin ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesine yönelik tedbirlerin alınması ve çalışanların güvenli bir ortamda çalışma haklarının sağlanması gibi yükümlülükler getirilmektedir.

Mevcut durum itibariyle maden sektörü, meydana gelen iş kazaları sayısı bakımından inşaat sektöründen sonra üçüncü sırada yer almaktadır [12]. Maden sektöründe iş kazalarının azaltılması açısından ülkelerin üretim potansiyeli, mevzuat yapıları ve güvenlik bilinci de büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde madencilik sektöründe jeolojik etkenler nedeniyle yapısal olarak birtakım zorluklarla karşılaşılmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelinebilmesi için mevzuatta yapılacak düzenlemelerin yanı sıra teknoloji adaptasyonu ve güvenlik kültürünün yerleştirilmesi de oldukça önemlidir.

ILO'nun 176 sayılı ‘‘Maden İşyerlerinde Güvenlik ve Sağlık Sözleşmesi’’ ülkemiz iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı ile genel olarak uyumlu olmakla birlikte bazı hususlarda farklılıklar içermektedir. 1995 tarihli ve 176 sayılı Maden İşyerlerinde Güvenlik ve Sağlık Sözleşmesi, onaylanmış olup 23.03.2016 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Böylelikle söz konusu farklılıkların hepsi uyumlu hale getirilmiştir.

Hazırlanan bu tez çalışmasının konusu olan yeraltı maden işletmelerinde çalışanların anlık olarak takip edilmesi gerektiği ile ilgili husus 176 sayılı sözleşmenin 10. Maddesinde açıklanmıştır. Sözleşme maddesine göre işveren; yeraltında bulunan bütün kişilerin isimleri ile bunların buldukları muhtemel mahallin her an doğru olarak bilinmesini sağlayacak bir sistemi oluşturmak zorundadır.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığınca hazırlanan, 10.03.2015 tarihinde Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'nde yapılan değişikliği ile 176 sayılı sözleşmenin takip sistemi ile ilgili olan maddesine uyum sağlanmıştır. Bu yönetmelik kapsamında yeraltı maden işletmelerinde takip sistemi ile ilgili değişiklik aşağıda belirtilmiştir;

- *‘‘Yeraltı maden ocaklarında, yeraltında çalışacakların giriş-çıkışlarının ve buldukları yerlerin her an doğru bir şekilde yerüstünde takip edilebileceği bir sistem kurulur. Bu sistemde kullanılan ekipmanlar, kablolar ve tamamlayıcı unsurların yeraltında yaşanan göçük, su baskını, patlama, yangın gibi acil hallerde karşı korumalı olması ve bu hallerde de çalışabilir durumda olması sağlanır. Sistem tarafından tutulan kayıtlar en az bir yıl süreyle saklanır.’’* [10]

## 2.2. PERSONEL TAKİP VE HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN FAYDALARI

Yeraltı maden işyerlerinde çalışanların sağlığının ve güvenliğinin korunmasına, bir başka ifadeyle, işyerinde oluşabilecek risklere karşı gerekli tedbirlerin alınmasına yardımcı olabilecek araç ve gereçlerin eksiksiz bulundurulması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda personel takip ve haberleşme sistemlerinin yeraltı maden işyerlerinde etkili bir şekilde kullanılması son derece önemlidir. Söz konusu sistemlerin iş sağlığı ve güvenliği yönünden faydalarının yanı sıra verimlilik açısından da birçok faydası bulunmaktadır. Saha çalışması kapsamında tespit edilen faydalar genel olarak sıralanacak olursa;

### ➤ İş sağlığı ve güvenliği yönünden,

- Yeraltında bulunan kişilerin bilinmesi,
- Acil bir durum anında, yeraltında bulunan çalışanların konumunun bilinmesi,
- Yeraltında çalışanların, tehlikeli olarak tanımlanan bölgelerden uzak kalmalarının sağlanması,
- İşyerinin tüm birimlerine uyarı gönderilebilmesi,
- Acil bir durum anında, kurtarma ekibini hızlı ve doğru bir şekilde yönlendirerek yeraltında bulunan çalışanların tahliye edilmesi,
- Günlük iş ve işlemlerde etkin haberleşmenin sağlanarak istenmeyen durumların önlenmesi,
- Acil bir durum anında sesli ve yazılı olarak tehlike, kaza, kaçış yolu ve güncel durum hakkında haberleşmenin sağlanabilmesi,
- Havalandırma ve üretim ekipmanlarının uzaktan kontrolünün sağlanarak acil durum yönetiminin sağlanması,
- Maden ile ilgili birçok verinin arşivlenmesi,
- Kazanın önceden tahmin edilmesi,
- Kaza veya ramak kala olay sonrası kayıtların incelenmesi,

### ➤ Verimlilik yönünden,

- Üretimi ve verimliliği geliştirmesi,
- Yeraltı ve yerüstünde bulunan makine ve ekipmanların yönetiminin sağlanması,
- Üretim kayıplarının azaltılması,
- Günlük iş ve işlemlerde çalışanlar arasında kesintisiz ve hareketli bir şekilde haberleşmenin sağlanması,

- Çalışanların ve üretimde kullanılan kaynakların takiplerinin yapılarak süreçlerin iyileştirilmesi,
- Fan, pompa ve vb. diğer ekipmanların uzaktan kontrolünün sağlanarak, performanslarının izlenmesi,
- Yeraltında bulunan diğer sistemlerle birlikte çalışabilmesi,
- Çevrimiçi kayıt sistemi ile süreçlerin iyileştirilmesi,
- Vardiya ve personel yönetiminin sağlanması,

olarak sıralanabilir.

## 2.3. HABERLEŞME SİSTEMLERİ

Haberleşme ve elektronik takip sistemleri, elektromanyetik enerjinin gönderilmesi ve alınması prensibine dayanmaktadır. Elektromanyetik enerji, elektrik enerjisi ve manyetik enerjinin hareket eden dalgaları olarak düşünülebilir [13]. Bu enerji türü radyo dalgası, ışık ve x-ışını gibi hallerde olmak üzere çevremizdeki her yerde bulunabilmektedir. Televizyon, radyo, cep telefonu, otomatik garaj kapısı kumandası ve otomobil uzaktan kumandaları, anahtarsız giriş aksesuarı gibi aletler bu enerji kaynağını kullanmaktadır.

### 2.3.1. Haberleşme Sistemleri ve Çalışma Prensipleri

Yeraltı madenlerinde kullanılan haberleşme sistemlerinin çalışma prensiplerine göre dağılımı Şekil 2.1.'deki [13] gibidir.



Şekil 2.1. Yeraltı madenlerinde kullanılan haberleşme sistemleri [13]



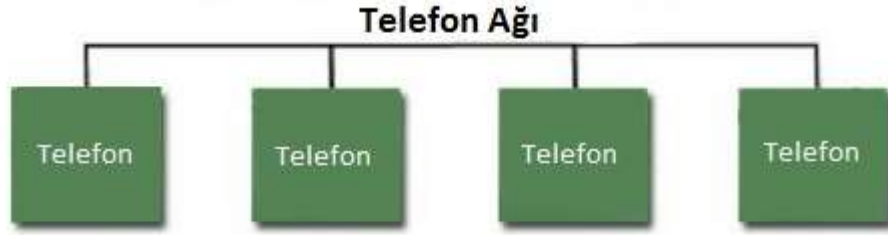
### 2.3.1.1. Kablolu haberleşme sistemleri

Yeraltı madenlerinde eski bir haberleşme sistemi olarak kullanılan diafonlar; genellikle iş yeri, apartman ve taksi durağı gibi yerlerde sesli iletişimi sağlamak için kullanılan dâhili konuşma sistemleriyle aynı prensipte çalışmaktadır. Yani daha basit bir anlatımla, bas-konuş prensibiyle çalışan bir telsiz gibi düşünülebilir. Diafon haberleşmesi, ana diafona bağlı şube diafonlar aracılığıyla gerçekleştirilir. Konuşma ünitesi üzerinde bulunan butona basıldığında konuşma durumuna geçilir. Buton bırakıldığında ise dinleme durumuna geçilir. Böylece kullanıcılar arasında tek yönlü iletişim sağlanmış olur. Konuşmanın tamamlanmasının ardından diafon otomatik olarak kapanır. Bu sistemin en önemli avantajı, acil durum anında diafonların birinden yapılan bildirim diğer diafonlardan sesli olarak duyulabilmesidir. Bu sayede, tüm maden personeli acil durum anında bilgilendirilmiş olmaktadır. Söz konusu sistemin dezavantajı da sistem hattının bulunduğu bir yerde herhangi göçük ya da yangın durumunda, bağlantı hattında oluşabilecek hasar sistemin devre dışı kalmasına neden olmaktadır [13].



**Şekil 2.2. Kablolu telefon hattı [14]**

Diğer bir kablolu haberleşme sistemi olan sabit telefonlar (Şekil 2.2) [14], madenlerin hemen hemen hepsinde kullanılmaktadır. Bunlar, evlerde ve işyerlerinde kullanılan telefonlar ile aynı olup birbirleri ile doğrudan kabloyla bağlantılıdır. Belirli bölgelere çekilen kablolarla haberleşme ağı oluşturulmaktadır. Kablolu telefon sistemlerinin bağlantısı Şekil 2.3.'deki gibidir.



**Şekil 2.3. Telefon Ağı**

Şekil 2.4.'de yeraltında bulunan bir operasyon odası gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere sabit telefon ve telsiz sistemi (Bk. Kablosuz Haberleşme Sistemleri) birlikte kullanılmaktadır.



**Şekil 2.4. Yeraltı haberleşme odası**

Sabit telefon sisteminde bağlantıyı sağlayan kablolar çok kırılğan olmasından dolayı kolayca kopabilmektedir. Kablo hattında oluşabilecek bir hasar sistemin devre dışı kalmasına neden olmaktadır. Bu itibarla, kablolu sistemlerin bağlantı hatlarının birinde arıza veya kopma meydana geldiğinde, iletimin yapılacağı alternatif hat imkânı olmadığından bu sistem de acil durumlarda kullanılamaz hale gelmektedir. Tablo 2.3.'de kablolu sistemlerin avantajları ve dezavantajları özetlenmiştir.

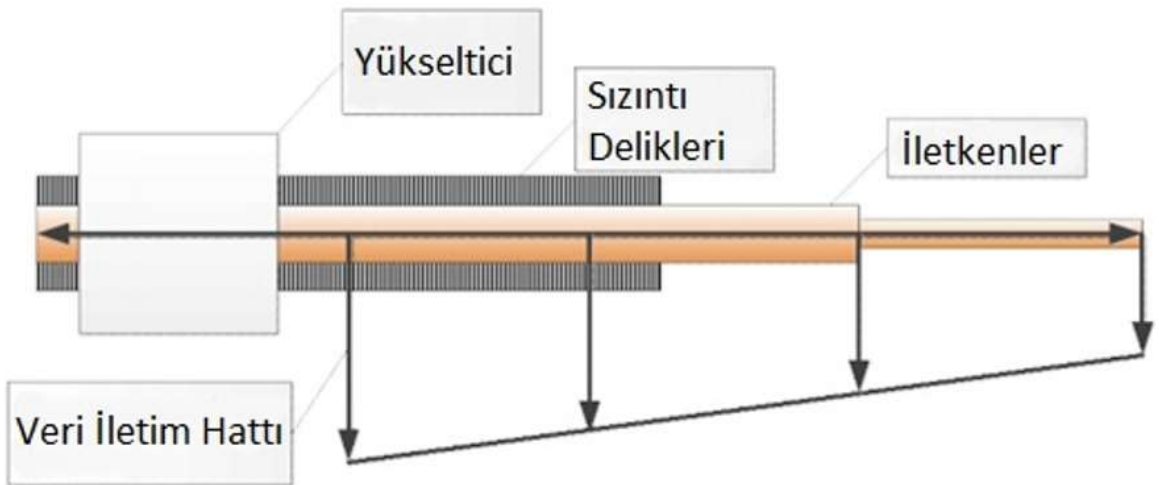
**Tablo 2.3. Kablolu sistemlerin avantajları ve dezavantajları**

	<b>Avantajları</b>	<b>Dezavantajları</b>
<b>Kablolu Sistemler</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Düşük maliyetli</li><li>• Kurulumu, bakımı ve onarımı kolay</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Altyapı elemanları kolayca hasar alabilmektedir.</li><li>• Sistem hattında hasar meydana gelirse haberleşme kesilecektir.</li></ul>

### 2.3.1.2. Kablosuz haberleşme sistemleri

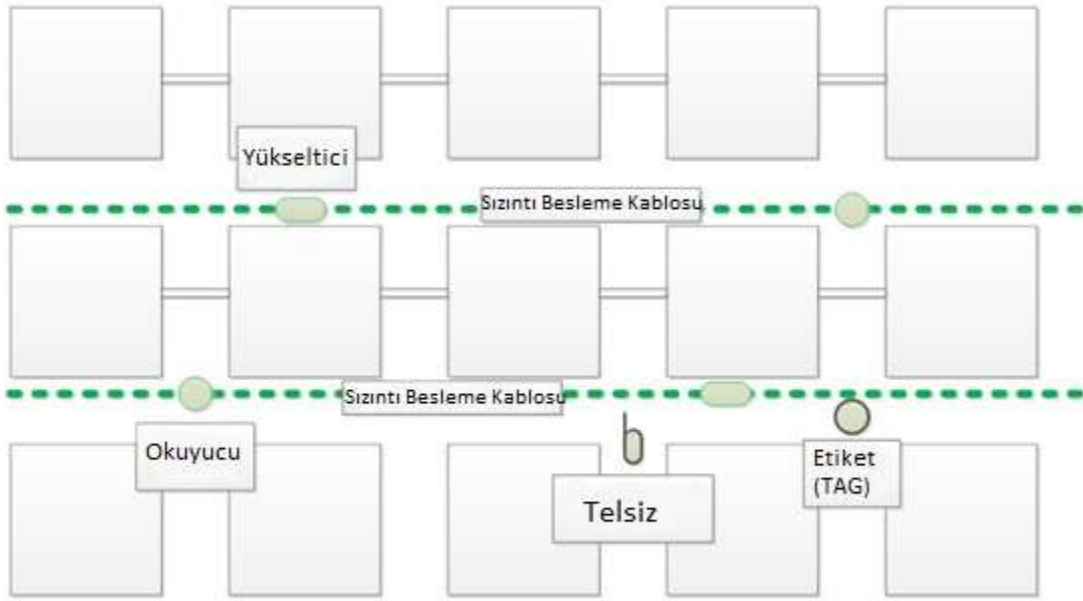
#### 2.3.1.2.1. Sızıntı besleyici sistemler

Sızıntı besleyici sistemler, radyo sinyalleri yayabilen ve yakalayabilen diğer bir deyişle sızdıran ve besleyen kablolardan oluşmaktadır. Bu sistemler genellikle iki yönlü sesli haberleşmede kullanılan, iletilen ve alınan radyo frekansları (RF) ile çalışmaktadır [13]. Yeraltı madenlerinde kullanılan sistemler 150 - 450 megahertz (MHz) frekans aralığında çalışmaktadır. Ancak madenler dışındaki diğer uygulamalarda 900 MHz veya 1.8 gigahertz (GHz) yüksekliğine varan seviyelerde de çalışabilmektedir. Haberleşmeyi sağlayan sinyalin kuvveti, sinyal kaynağında ve yükselticide en yüksek noktasına ulaşmakta ve kablo boyunca giderek azalmaktadır. Sinyal gücündeki azalma, sinyalin sızarak dağılmasından ve kablodaki güç kaybından kaynaklanmaktadır. Şekil 2.5.'de sistemin bölümleri gösterilmektedir [15]. Kablo boyunca ilerleyen sinyalin radyasyona dönüşmesi nedeniyle, sinyal kuvvetini belirli bir düzeyde tutabilmek için ilave yükselticilere gereksinim duyulmaktadır.



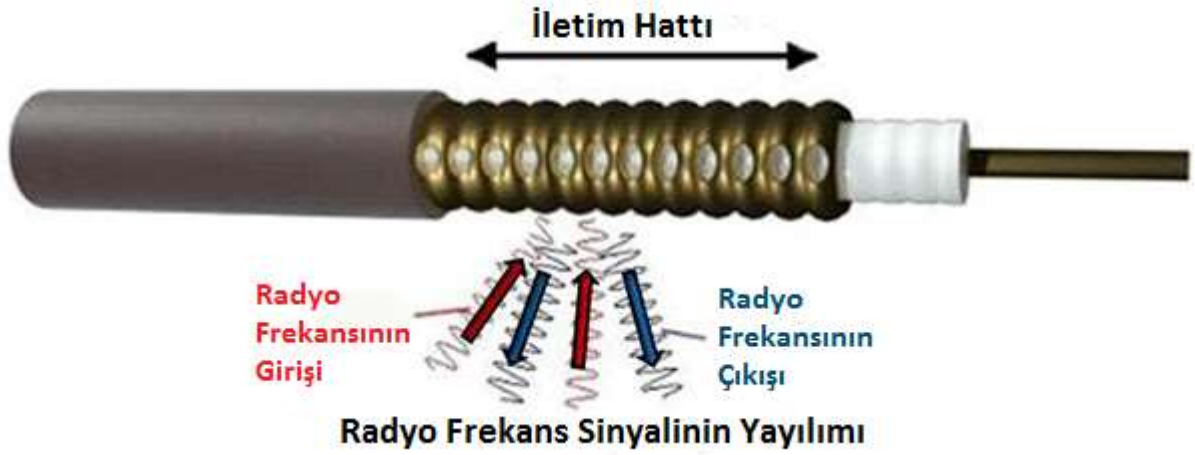
**Şekil 2.5. Sızıntı besleyici sistem şeması [15]**

Sistem, yerüstünde konumlanmış verici, yeraltında konumlanmış yükseltici ve sızıntı besleme kablosundan oluşmaktadır. Yerüstünde vericinin bulunduğu bu bölüm telsiz baz istasyonu olarak adlandırılmaktadır. Bu istasyon, sızıntı besleme kablosuyla yeraltında bulunan alıcı antenlerle bağlanmaktadır [13]. Madende haberleşme yapılacak bölgelerde sızıntı kablosunun galeri içerisinde veya telsizin görüş alanında olması gerekmektedir. Çünkü bu kablo, radyo sinyalini en fazla 75 metre mesafede yakalayabilmektedir. Sızıntı besleyici sisteme ait basit bir yerleşim planı Şekil 2.6.'da gösterilmektedir [15].



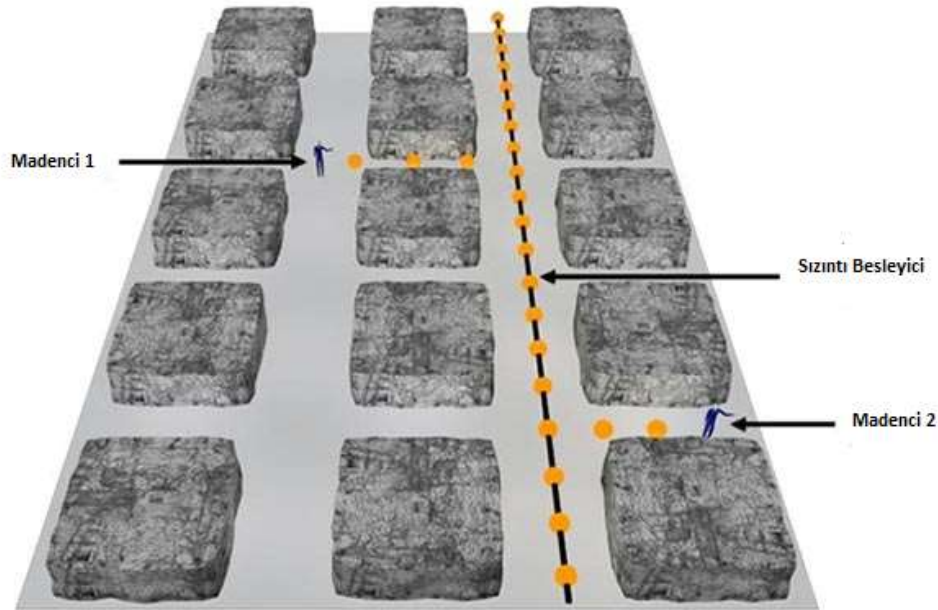
**Şekil 2.6. Sızıntı besleyici sistemi yerleşim örneği [15]**

Sızıntı besleme kablosu içeriye ve dışarıya radyo sinyalleri sızdırmak suretiyle yerleştirildiği tüneller boyunca sürekli bir kapsama alanı yaratmaktadır. Şekil 2.7.'de [13] gösterildiği üzere, kablonun dış kalkanında, RF sinyallerinin kablo içerisine girip çıkmasına imkân tanıyan açıklıklar bulunmaktadır. Bunlar, kablonun tüm uzunluğu boyunca sinyali yakalayıp iletebilmektedir. RF sinyaline ek olarak kablonun merkezi iletkeni yükselticiler için doğru elektrik akımı da (genellikle 12 volt) taşımaktadır [13].



Şekil 2.7. Sızıntı besleyici kablo örneği [13]

Sızıntı besleme kablosu, telsizin veya telefonun kullanılacağı bölgeye doğru uzatılarak kapsama alanı genişletilebilmektedir. Telsiz, kapsama alanında olması durumunda sızıntı besleyici kablunun yakaladığı sinyalleri iletir. Sinyal, kablo boyunca yayılarak ilerler. Eğer alıcı telsiz kablunun menzilineyse, sinyali yakalar ve bağlantıyı gerçekleştirir. Şekil 2.8.'de sızıntı besleme kablosu yerleştirilmiş bir yeraltı oda topuk yöntemiyle üretim yapılan kömür madeninin kesit görünüşünü gösterilmektedir. Turuncu noktalar radyo sinyalinin yörüngesini temsil etmektedir [13].



Şekil 2.8. Sızıntı besleyici kablunun yerleşimi [13]

Sızıntı besleyici sistemlerin saha çalışmasında gözlemlenen avantajları ve dezavantajları Tablo 2.4.'de özetlenmiştir.

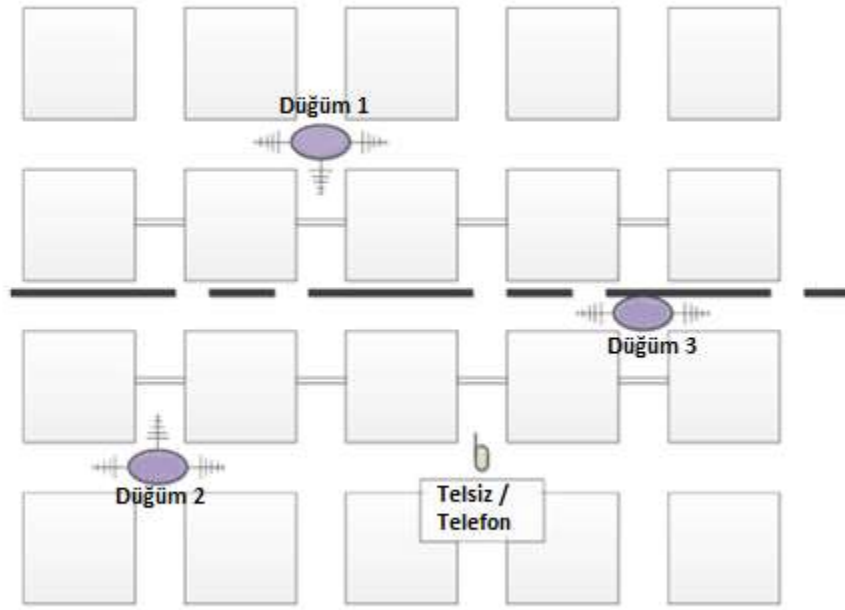
**Tablo 2.4. Sızıntı besleyici sistemlerin avantajları ve dezavantajları**

	Avantajları	Dezavantajları
<b>Sızıntı Besleyici Sistem</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kurulumu kolay</li><li>• Düğüm tabanlı sistemlere göre düşük maliyetli</li><li>• Bakımı ve onarımı kolay</li><li>• Çalışanın üzerinde taşıyabileceği cihazlarla iki yönlü anlık haberleşme kurulabilmektedir.</li><li>• Alternatif bağlantı altyapıları kurularak acil durumlarda etkili haberleşme sağlanabilmektedir.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Altyapı elemanları kolayca hasar alabilmektedir.</li><li>• Sistemin harici güç kaynağı bulunmuyorsa acil durumlarda elektrik kesilmesiyle birlikte sistem çalışamaz hale gelmektedir.</li><li>• Herhangi bir göçük veya yangın durumunda sızıntı besleme kablosu hasar görürse ve alternatif bağlantı bulunmuyorsa sistem çalışamaz hale gelmektedir.</li><li>• Sızıntı besleme kablosunun olmadığı bölgelerde sistem çalışmamaktadır.</li></ul>

### 2.3.1.2.2. Düğüm tabanlı sistemler

Düğüm sistemleri, sızıntı sistemlerine göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu sistem düğümlerden, bir diğer ifade ile 'erişim noktası/okuyucu' lardan oluşmaktadır. Düğüm, küçük alıcı ve vericileri bulunan sistemleri ifade etmek için kullanılan bir tanımdır. Düğümler, ayrıca birçok farklı işlevi gerçekleştirebilen küçük bilgisayarları (mikroprosesörler) bünyesinde barındırmaktadır [13].

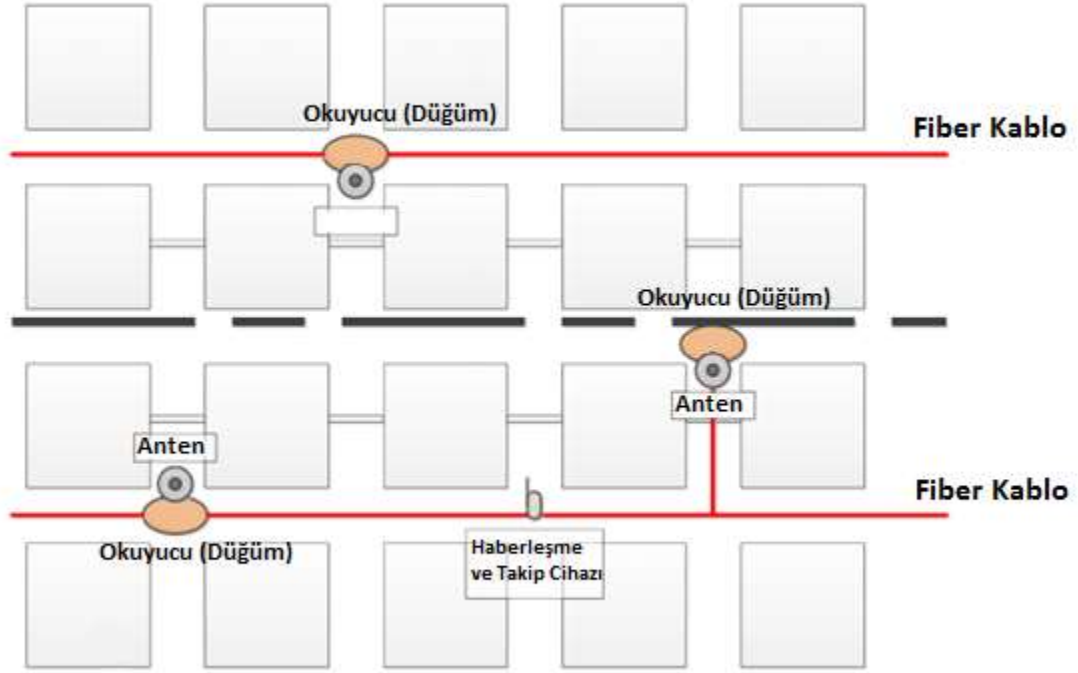
Bu sistemler, Şekil 2.9.'da [15] gösterildiği üzere kablosuz veya Şekil 2.10.'da [15] gösterildiği üzere kablolu altyapı ile birbirine bağlanabilmektedir. Kablo altyapısı olmadan çalışan sistemlere Kablosuz Örgü Ağı (Wireless Mesh Network) olarak adlandırılmaktadır. İki nokta arasındaki haberleşme, telefonların birbirleriyle veya yeryüzüyle iletişim kurabilmek için en yakındaki düğüm veya düğümlerle bağlantı kurmasıyla sağlanmaktadır. Haberleşmenin kesintisiz ve düzgün olabilmesi için sistemdeki düğümlerin yeterli sayıda olması gerekmektedir [15].



**Şekil 2.9. Kablosuz düğüm sistemi yerleşimi [15]**

Çalışan, düğümün kapsama alanına girmesiyle üzerinde bulunan telefon algılanarak, şebeke ile otomatik bağlantı kurmaktadır [13]. Tıpkı cep telefonlarının modemi algılayarak internete bağlanması bu çalışma prensibine örnek gösterilebilir. Ağ sistemlerinde sesli ve yazılı iletişim kurmak için kullanılan cihazların çoğu (telefon veya telsiz), haberleşme işlevinin dışında bir düğüm gibi davranarak şebekenin kapsama alanını da genişletebilmektedir. Mine Safety and Health Administration (MSHA - Amerika Maden Güvenliği ve Sağlığı İdaresi) tarafından kablosuz düğüm olarak sınıflandırılan ağ sistemleri, ABD Madenci Yasası'ndaki yeraltı kömür madenlerinde kablosuz haberleşme sistemleri kurma zorunluluğunun şartlarını yerine getirmektedir. Ayrıca iki yönlü sesli, yazılı haberleşme ve konum saptamasının yanı sıra yeraltında sistem kurulumu için az miktarda kablo alt yapısına gereksinim duymasından dolayı bu sistem MSHA tarafından da önerilmekte ve ABD'deki yeraltı madenlerinin yaklaşık üçte biri bu sistemleri kullanmaktadır [15].





**Şekil 2.10. Kablo altyapılı düğüm sistemi yerleşimi [15]**

Düğüm tabanlı sistemlerde bağlantı madencinin elindeki telsizinden okuyucuya sinyal paketinin gönderilmesiyle başlar ve daha sonra bu paket okuyucu tarafından işlenerek diğer okuyucular veya fiber optik kablolar aracılığıyla yeryüzüne iletilir. Düğüm tabanlı haberleşme sistemlerinin özellikleri sistem üreticilerine bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebilmektedir [13]. Kablosuz bağlantı sistemi evde, kafede ve havaalanında hemen hemen her yerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Standart internet protokolü (IP) kullanan her cihaz için kablosuz internet erişimi sağlamaktadır. Bu sistemlerin avantajı;

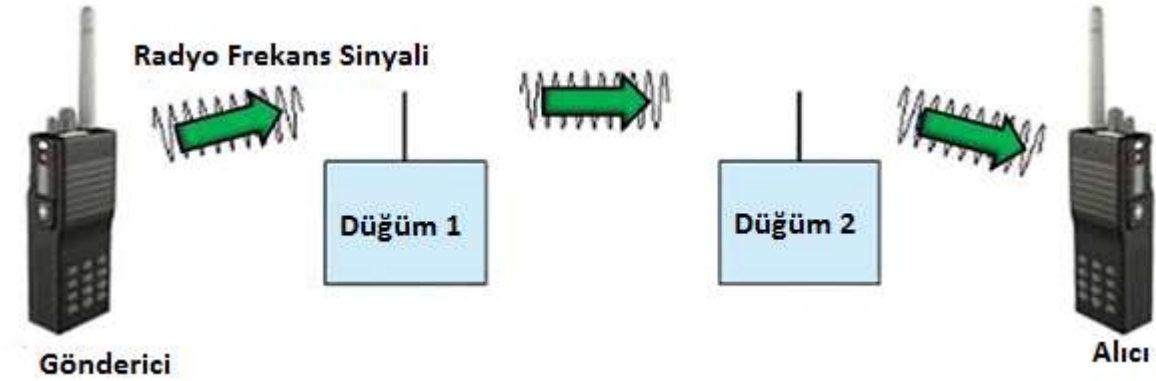
- İnternet üzerinden uzaktan kumanda edilebilmesi ya da video izleme gibi çeşitli uygulamaları sunması,
- Birçok cihazın IP' sini desteklemesi,

olarak gösterilebilir.

Yeraltında bulunan düğümler, maden izleme merkezinde bulunan sunucu ile bağlantılı olmalıdır. Düğümler etiketten veya kablosuz haberleşme cihazından almış olduğu veri paketini

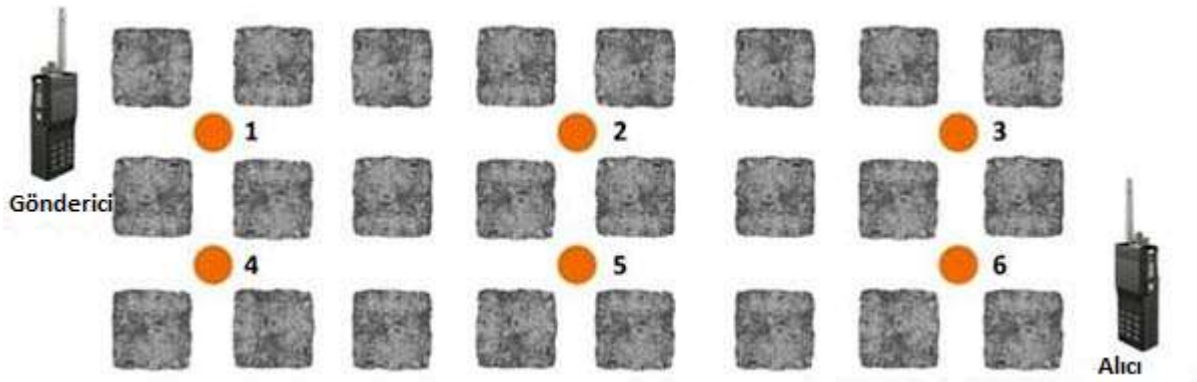


işleyerek sunucuya iletmektedir. Düğüm ve sunucu arasındaki bağlantı fiber optik kabloyla veya Şekil 2.11.'de [13] gösterildiği üzere düğümler arasındaki kablosuz veri aktarımıyla sağlanmaktadır. Düğümlerin birbirleriyle kablosuz olarak bağlantı kurduğu sistemlerde, veri alternatif rotalarla yeryüzüne iletelebilmektedir. Bu sayede sistem her durumda çalışmayı sürdürebilmektedir [13,16].



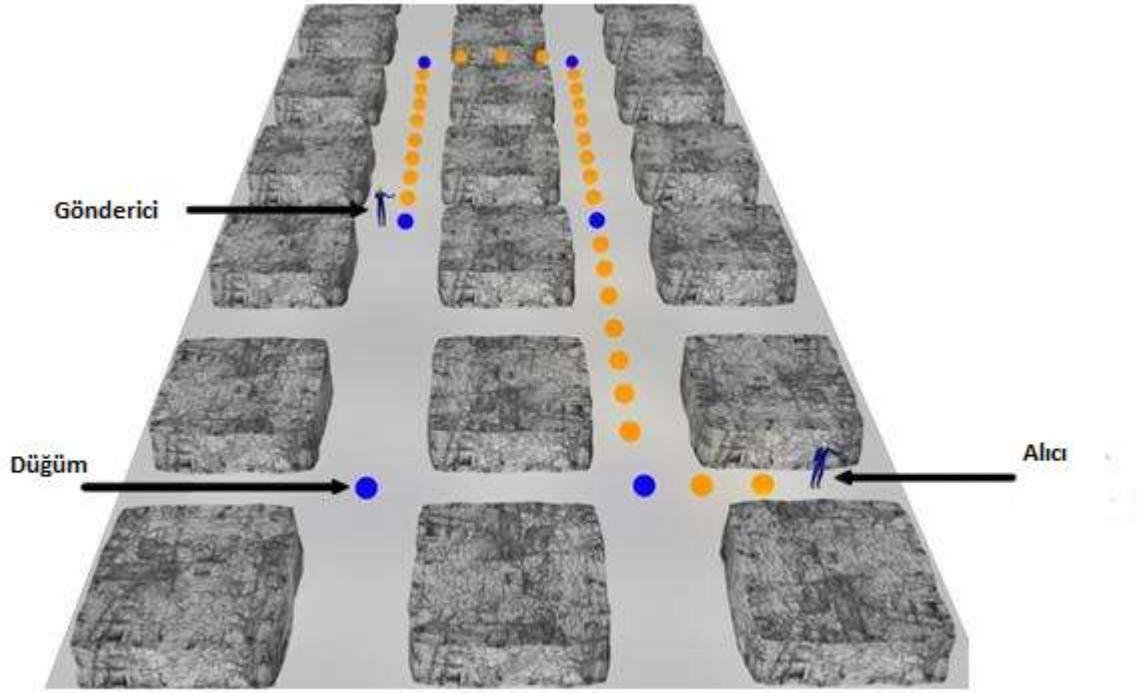
**Şekil 2.11. Düğümler aracılığıyla sağlanan kablosuz haberleşme örneği [13]**

İki telsiz arasındaki bağlantı rotası, bu telsizlerin etrafındaki düğümlerin lokasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Şekil 2.12.'de [13] madenin bir bölümünde bulunan düğümleri (turuncu noktalar) gösterilmektedir. İki telsiz arasındaki bağlantı rotası sırasıyla 1-2-3-6 veya 1-4-5-6 numaralı düğümlerini izleyerek veya daha farklı kombinasyonları şeklinde olabilmektedir [13].

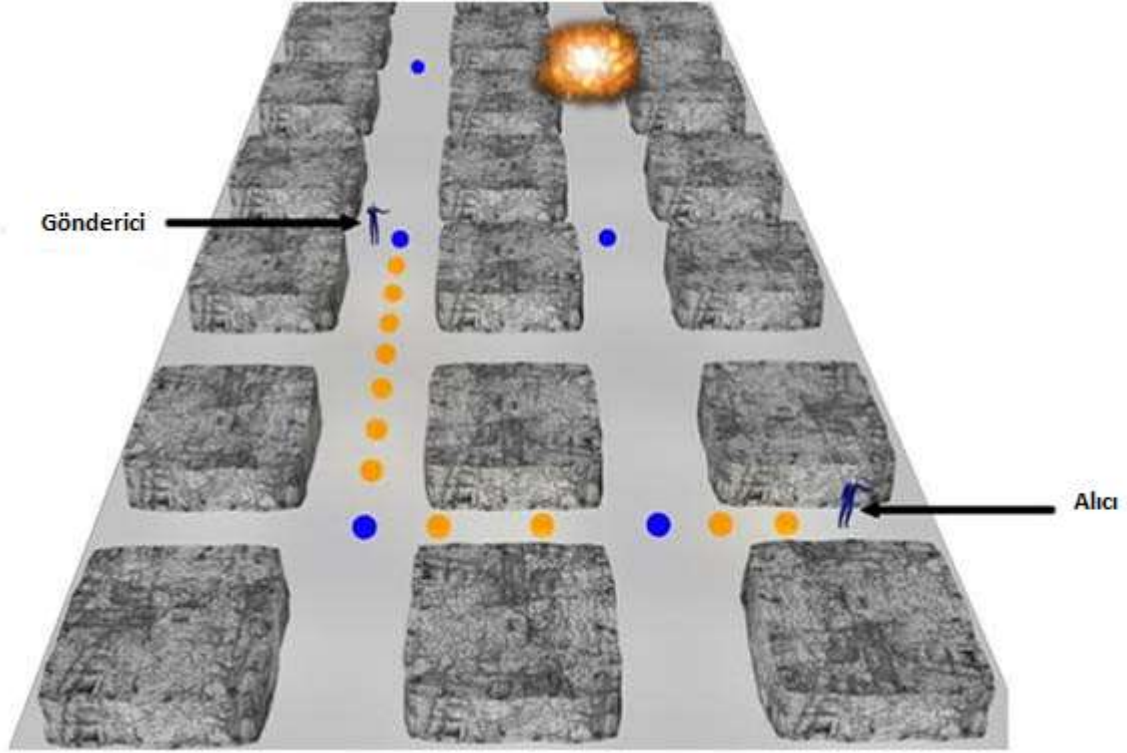


**Şekil 2.12. Düğüm (Turuncu noktalar) tabanlı haberleşme sistemi [13]**

Düğüm içerisinde bulunan mikro işlemci, RF aralığındaki telefonu ve diğer düğümlerin kimliklerini tespit etmeye programlanmıştır. İzleme merkezi veya herhangi bir telefon bağlanmak istediğinde, bilgisayarlar birlikte çalışarak ağlar arasındaki en uygun rotayı belirleyerek haberleşmeyi sağlamaktadır. Ultra yüksek frekanslı düğüm tabanlı haberleşme sistemi kurulan bir madenin kesit görüntüsü Şekil 2.13.'de [13] gösterilmektedir. Turuncu noktalar iki madenci arasındaki RF sinyalinin izlediği rotayı göstermektedir. Şekil 2.14.'de [13] görüldüğü üzere eğer düğümlerden birisini devre dışı bırakan bir olay meydana gelirse, düğümler kaybı fark eder ve bağlantının yeniden kurulabilmesi için yeni bir rota belirler (Alternatif Bağlantı Yolu) [13,16].



Şekil 2.13. Ultra yüksek frekanslı düğüm haberleşme sisteminin sinyal iletim rotası [13]



**Şekil 2.14. Bir patlama sonrası düğümlerin alternatif bağlantı yolu sağlayarak haberleşmenin sürdürülmesi [13]**

Şekil 2.14.'de [13] gösterildiği üzere ultra yüksek frekanslı (UHF) düğüm tabanlı haberleşme sistemleri kaza sonrasında çalışmaya devam edebilmektedir. Kaza sonrasında alternatif iletişim yolu sağlamak için iki şartın sağlanması gerekmektedir. Birincisi; gerektiğinde alternatif bir rota kurabilmek için RF aralığında yeterli sayıda düğüm bulunmalıdır. İkincisi; sistemin otomatik olarak ağları yeniden yapılandırabilecek özellikte olması gerekmektedir [15].

Telsizin ve telefonun düğüm gibi davranarak kurduğu ağ trafiği gerçek zamanlı olarak yapılandırılan geçici bir ağ örgüsüdür. Normal çalışma için yapılandırılan bir örgü ağı için haberleşme rotaları belirli ve sabittir. Sistemdeki her bir düğümün diğer düğümlerle doğrudan kablo ile bağlandığı sistemler, tam örgü ağı olarak adlandırılmaktadır. Kısmi örgü ağı ise sistemdeki bir düğümün diğer tüm düğümlere değil, bazı düğümlere bağlı olduğu ağ yapısıdır. Oda-topuk yöntemi gibi geniş alanlara yayılabilen madenlerde tam örgü ağı kurmak mümkün olmayabilmektedir. Şekil 2.13. [13] ve Şekil 2.14.'deki [13] düğümler, yanındaki ve karşısındaki düğümlerle iletişim kurarak kısmi örgü ağını oluşturmaktadır. Düğüm tabanlı haberleşme sistemlerinin saha çalışmasında gözlemlenen avantajları ve dezavantajları Tablo 2.5.'de özetlenmiştir.

**Tablo 2.5. Düzüm tabanlı sistemlerin avantajları ve dezavantajları**

	<b>Avantajları</b>	<b>Dezavantajları</b>
<b>Düzüm Tabanlı Ağ Sistemleri</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kablosuz altyapılı sistemlerin işletilmesi, montajı ve demontajı hızlı ve kolay bir şekilde yapılmaktadır.</li><li>• Çalışanın üzerinde taşıyabileceği telsiz veya telefonlarla anlık haberleşme kurulabilmektedir.</li><li>• İki yönlü anlık olarak kablosuz cihazlarla sesli ve yazılı olarak haberleşme kurulabilmektedir.</li><li>• Alternatif bağlantı altyapıları kurularak acil durumlarda etkili haberleşme sürdürülebilmektedir.</li><li>• Düzümlere gaz izleme, kamera sistemleri entegre edilebilmektedir.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kablolulu altyapılı sistemlerin altyapı elemanları kolayca hasar alabilmektedir.</li><li>• Sistemin harici güç kaynağı bulunmuyorsa acil durumlarda elektrik kesilmesiyle birlikte sistem çalışamaz hale gelecektir.</li><li>• Sistem altyapısının bulunduğu bölgelerde herhangi bir göçük veya yangın durumunda hasar görürse ve alternatif bağlantı bulunmuyorsa sistem çalışamaz hale gelecektir.</li><li>• Maliyet, sızıntı besleme sistemlere göre yüksektir.</li></ul>

### 2.3.1.2.3. Orta frekanslı sistemler

Orta frekanslı (OF) iletişim sistemleri genellikle yaklaşık 500 kilohertz (kHz) frekanslarında çalışmaktadır. Bu sistemi, diğer haberleşme sistemlerinden ayıran bir özellik radyo sinyallerinin hareketi esnasında kullandığı rotadır. Radyo sinyalleri; enerji hattı, telefon hattı ve metal boru gibi metalik iletkenler üzerinde birleşerek hareket etmektedir. Bu iletkenler, sızıntı besleyici sistemlerdeki kablo gibi davranarak radyo sinyallerini iletme alma özelliğine sahiptir [13].

Orta frekanslı sistemlerin haberleşme mesafesi, metal iletkenlerin uzunluğuyla sınırlıdır. Madenlerde genellikle bu tip iletkenlerin bulunmasından dolayı orta frekanslı sistemlerin iletişim mesafesi, yükselticiye ihtiyaç duyulmadan kilometrelerce uzatılabilmektedir [17]. Şekil 2.15.'de [18] iki orta frekanslı telsiz arasındaki bağlantıyı gösterilmektedir. Orta frekanslı telsizler ve antenler, ultra yüksek frekanslı telsizlerden çok daha ağır ve daha büyüktür. Bundan dolayı çalışanların günlük işlerini yaparken bu cihazları sürekli taşınması mümkün

olmamaktadır. Bu sistem, alternatif (ikincil) haberleşme sistemi olarak ve acil durumlarda kullanılmaktadır [13, 16].



Şekil 2.15. İki orta frekanslı telsiz arasındaki bağlantı [18]

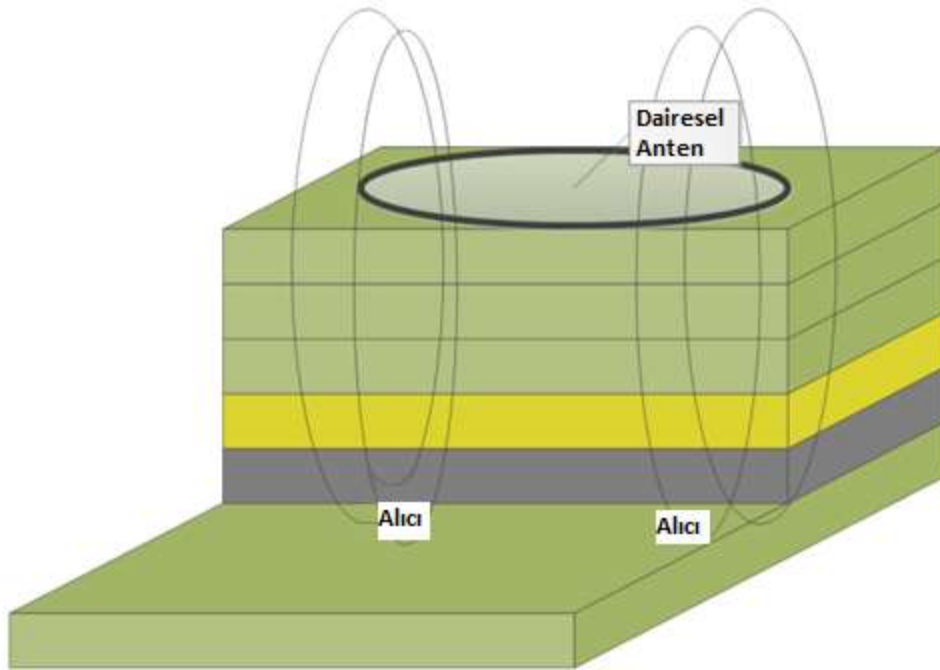
Orta frekanslı haberleşme sistemlerinin genel olarak avantajları ve dezavantajları Tablo 2.6.'da özetlenmiştir [16].

Tablo 2.6. Orta frekanslı sistemlerin avantajları ve dezavantajları [16]

	Avantajları	Dezavantajları
<b>Orta Frekanslı Sistemler</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Radyo sinyalleri; enerji hattı, telefon hattı ve metal boru gibi metalik iletkenler üzerinde birleşerek hareket edebilmektedir. Bu sebeple altyapı ihtiyacı bulunmamaktadır. Madenlerde bu tip iletkenlerin fazlaca bulunmasından dolayı haberleşme mesafesi kilometrelerce uzatılabilmektedir.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Orta frekanslı sistemlerin haberleşme mesafesi, metal iletkenlerin uzunluğuyla sınırlıdır.</li><li>• Bu sistemlerde kullanılan telsizler ve antenler, diğer sistemlerde kullanılan telsizlerden çok daha ağır ve büyüktür. Bu sebeple sadece acil durumlarda kullanılabilmekte, gündelik işlerde kullanılamamaktadır.</li></ul>

#### 2.3.1.2.4. Yüzeiden radyo haberleşmesi

Yeryüzünden yeraltıyla haberleşme, çok düşük frekanslı radyo dalgaları sayesinde yapılmaktadır. Şekil 2.16.'da [15] örnek bir Through The Earth (YRH-Yüzeiden radyo haberleşmesi) sistemine ait şema gösterilmiştir. YRH haberleşme sistemi, yatay anten ve yayını almak için döngü anten kullanılarak 100 ve 350 kHz frekanslarında ilk olarak Güney Afrika'da geliştirilmiştir [19]. ABD'de meydana gelen maden kazalarından sonra, devlet tarafından finanse edilen birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu sistem, madencilerin yeraltında mahsur kaldığını ve tahlisiye ekibinin kaza bölgesine ulaşamadığı durumlarda, mahsur kalan madencilerin konumlarını tespit edebilmek amacıyla tasarlanmıştır. Fakat bu çalışmaların hiçbiri tatmin edici sonuçlar vermemiştir [15]. Westinghouse Georesearch Laboratuvarı tarafından portatif konum tespit etme sistemi geliştirilmiştir [19]. Sistem bir alıcı ve altı tane verici içermektedir. Sistem, kayaç yapısının nispeten iletken olduğu derin bir kömür madeninde çalışması için tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistem 900 - 2 900 hertz (Hz) frekanslarında çalışabilmiştir [20].



Şekil 2.16. Yüzeiden radyo haberleşmesi [15]

YRH sistemi, yeraltı madenlerinde günlük işler için kullanılmamakta olup sadece acil durum anında kullanılmaktadır. YRH haberleşme sistemi, bir ağa ya da ek altyapıya gereksinim duymadan, alıcı ve verici arasında elektromanyetik sinyal ileterek yerüstü ve yeraltı arasında haberleşmeyi sağlayan tek teknolojidir [15].

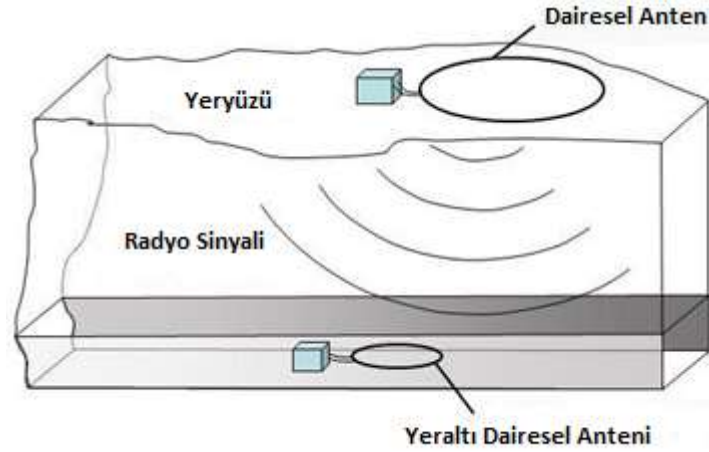
Elektromanyetik dalgalar genellikle zeminden yansımakta veya zeminden geçerken sadece yüzeyin birkaç metre altına geçebilmektedir. Bundan dolayı dalgalar ani bir şekilde zayıflamaktadır. Ancak 10 kHz'den daha küçük frekansların dalgaları, yerin 1 000 metre ve daha derinlerinde çoğalarak artabilmektedir. Yeraltı madenlerinde YRH sisteminin potansiyel uygulamalarını sınırlayan birkaç faktör bulunmaktadır [13]. Bunlar;

- Anten tasarımı,
- Sinyalleri iletmek için gerekli olan düşük frekanslar,
- Diğer cihazlardan gelen sinyal kirliliği,

olarak sıralanabilir.

Yüzeyden radyo haberleşmesinde düşük frekanslı radyo dalgalarının kullanılması sebebiyle iletilen bilgi miktarı sınırlı olmakta ve bu bilginin iletiminde de gecikmeye neden olmaktadır. Bahsedilen kısıtlar nedeniyle sesli haberleşmede YRH kullanımını ve diğer ağ sistemlerinin de YRH ile bağlantı kurmasını zorlaştırmaktadır. Anten boyutu, sinyal gücü, mesaj boyutu ve iletimdeki gecikme gibi kısıtlar, YRH sistemlerini sadece acil durumlarda kullanılmasına imkân vermektedir. YRH haberleşme sisteminin en önemli avantajı, sistemin her durumda çalışabilmesidir [18]. Bundan dolayı, acil bir durumda kurtarma ekiplerinin kullanabileceği alternatif (İkincil) haberleşme sistemi olarak önemli bir rol oynamaktadır. Şekil 2.17.'de [13] yüzeyden radyo haberleşme sisteminin çalışma şekli gösterilmektedir.





**Şekil 2.17. Yüzeiden radyo haberleşme sistemi örneği [13]**

Yeraltı maden ocaklarında, kayaçların dayanım özelliklerinin zayıf olması ve tahkimat tasarımının doğru yapılmamasından dolayı galerilerde göçükler meydana gelebilmektedir. Bu göçüklerde çalışanlar göçük arkasında mahsur kalabilmektedir. Göçük arkasında mahsur kalan çalışanlar ile kurtarma ekibi arasındaki iletişimin sağlanması için kullanılan yüzeiden radyo haberleşme sisteminin kullanımı, göçükte kalan çalışanların gerçek konumlarının tayini ve kurtarma çalışmalarının etkili olması açısından çok önemlidir. Yüzeiden radyo haberleşme sistemlerinin genel olarak avantajları ve dezavantajları Tablo 2.7.'de özetlenmiştir. [21-23]

**Tablo 2.7. Yüzeiden radyo haberleşme sistemlerinin avantajları ve dezavantajları**

	Avantajları	Dezavantajları
<b>Yüzeiden Radyo Haberleşme Sistemleri</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bir ağa ya da ek altyapıya gereksinim duymadan, alıcı ve verici arasında elektromanyetik sinyal ileterek yerüstü ve yeraltı arasındaki haberleşmeyi sağlayan tek teknolojidir.</li> <li>• Göçük arkasında kalan çalışanlar ile haberleşme sağlanarak etkili kurtarma çalışması gerçekleştirilebilmektedir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemin çok düşük frekanslarda çalışmasından dolayı veri alışverişi de kısıtlıdır. Gönderilen ses veya mesajlar sınırlı olmakta ve gecikmeler yaşanabilmektedir.</li> <li>• Sadece acil durumlarda kullanılabilen, gündelik işlerde kullanılamamaktadır.</li> </ul>



## 2.4. TAKİP SİSTEMLERİ

Yeraltında bulunan çalışanların nerede olduklarının takibi, madencilikte geçmişten günümüze kadar gelen sürekli bir uygulamadır. Çalışanın yeraltına giriş ve çıkışlarında doldurduğu pano veya defter kayıt uygulamaları çok eski yıllardan beri uygulanan bir yöntemdir. Çalışanın panoyu doldurmayı unutması veya hatalı doldurması gibi sebeplerden dolayı üretimin durdurularak sadece bir çalışanın yeraltında olup olmadığının kontrolü yapılmaktadır. Bu geleneksel yöntemin açıklanan nedenlerden dolayı verimli ve güvenli olmadığı görülmektedir. Okuyucu tabanlı elektronik takip sistemi ile bahsedilen problemler çözülmektedir. Çalışanın üzerinde bulunan etiketler sayesinde, yeraltında olup olmadığı anında izleme merkezinde görülebilmektedir. Bu sayede konuyla ilgili insan hatası riski ortadan kaldırılmaktadır [24].

Takip sistemlerinin amacı, yeraltında bulunan çalışanların kimlik tespitinin yapılması ve yaklaşık olarak konumlarının belirlenmesidir. Maden izleme merkezi, yerüstünde bu bilgileri toplayarak, yeraltında yaşanacak olası bir acil durum anında kurtarma ekiplerinin operasyonlarını etkin ve hızlı bir şekilde planlayabilmelerine ve arama alanını daraltmasına olanak sağlamaktadır [13].

Mevzuatımızda, bir acil durum esnasında yeraltındaki bütün çalışanların en son bulunduğu konumunun izlenmesi ve kayıtların saklanması zorunludur. ABD Madenci Yasası'nda da çalışanların, çalışma bölgesinde maksimum 60 metre sapmayla konumlarının belirlenmesi ve madenin girişinden üretim bölgesine kadar olan hem birincil hem de ikincil kaçış yolları üzerinden takip edilmesi gerekmektedir [17].

Çalışanın yeraltındaki gerçek konumu ile takip sisteminin hesaplamış olduğu konum arasındaki fark "Tahmin Edilebilir Doğruluk" olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlama, takip sisteminin, sistematik hata ölçüsü ya da sapmasının ölçüsüdür [25]. Bu tanım konum saptama hassasiyeti olarak da tanımlanmaktadır.

### 2.4.1. Elektronik Takip Sistemlerinde Kullanılan Ekipmanlar

Elektronik takip sistemleri sistemin çalışması için gerekli altyapının kablolu veya kablosuz olmasına bağlı olarak iki grupta incelenebilir. Şekil 2.18'de kullanılan ekipmanlar üretici firmalara bağlı olarak değişkenlik gösterse de genel olarak kullanılan ekipmanlar listelenmiştir.



Şekil 2.18. Takip sistemlerinde kullanılan ekipmanlar

### 2.4.2. Takip Sistemleri ve Çalışma Prensipleri

Yeraltı madenlerinde personel takibi aslında, madencilikğin eski dönemlerinden beri yapılmaktadır. Gelişen teknoloji ile yeraltı madenlerinde elektronik takip sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan takibin özelliğine göre takip sistemleri iki gruba ayrılır. Bunlar;

- Manuel takip sistemleri,
- Elektronik takip sistemleri,

### 2.4.2.1. Manuel takip sistemleri

Manuel takipte, her vardiyanın başında vardiya sorumlusu, görev dağılımı ile çalışanların madenin neresinde görev yapacağını da gösteren bir isim listesini hazırlar. Çalışanın çalışma alanının dışında bir yere gitmesi gerektiğinde, yeraltı telefonu ile vardiya sorumlusuna güncellenmesi gereken konumunu çalışan bildirir ve liste güncellenir.

Yeraltına giren ve yeraltından çıkan çalışanın takibinde ise, lambahane kayıt sistemi, defter tutulması ve tike sistemi uygulanmaktadır. Lambahane kayıt sisteminde, vardiya öncesi çalışanların hazırlandığı lambahane veya tertip bölümü olarak da tanımlanan bölümde, vardiyaya başlayacak olan çalışan lambasını aldığı takdirde o çalışanın yeraltına girdiği bilinmiş olur. Vardiya sonunda da yeraltından çıkan çalışan, lambasını lambahaneye teslim ettiğinde yeraltından çıktığı anlaşılmış olur. Defter uygulamasında, yeraltına giriş ve çıkışta, çalışan deftere yeraltına girdiği ve yeraltından çıktığı saati yazarak imzalamaktadır. Tike uygulamasında ise her çalışanın metal para büyüklüğünde tike olarak adlandırılan metal jetonları bulunmaktadır. Çalışan madene giriş esnasında tikesini tike tahtasına asarak yeraltına girer. Tike tahtasında çalışanın isim bölümünde tikesi varsa yeraltında olduğu anlaşılmış olmaktadır. Resim 2.2' de bir yeraltı madeninde bulunan tike tahtası gösterilmektedir.



Resim 2.2. Yeraltı madeninde bulunan tike tahtası

Manuel takip sistemlerinin saha çalışmasında gözlemlenen avantajları ve dezavantajları Tablo 2.8.'de özetlenmiştir.

**Tablo 2.8. Manuel takip sistemlerinin avantajları ve dezavantajları**

	<b>Avantajları</b>	<b>Dezavantajları</b>
<b>Manuel Takip Sistemleri</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elektronik takip sisteminde meydana gelebilecek bir arıza anında yeraltında bulunan çalışanlar belirlenebilmektedir. Bu açıdan elektronik takip sistemleriyle birlikte uygulanmasında fayda vardır.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Çalışan, çalıştığı bölgenin konumunu bildirebilir ancak yeraltında çalışma alanları 5 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsayacak kadar geniş olabildiğinden verilen bilgi çok sağlıklı olmayabilmektedir.</li><li>• Çalışan, çalışma alanından uzaklaştığını vardiya amirine bildirmeyi unutabilmektedir.</li><li>• Vardiya amirinin birden fazla görevi olduğundan, yer değiştirdiğine dair bilgi vermek isteyen çalışan ile her an iletişim kurulamamaktadır.</li><li>• Olası bir acil durum anında telefon sistemi çalışmayabilir.</li></ul>

#### 2.4.2.2. Elektronik takip sistemleri

##### 2.4.2.2.1. Elektronik takip sistemlerinde konum saptama yöntemleri

Takip sistemlerinde genel olarak Şekil 2.19.'da gösterildiği üzere iki konum saptama yöntemi kullanılmaktadır. Bu teknolojiler yeraltı madenlerinde ayrı ayrı olarak veya birlikte de uygulanabilmektedir.



**Şekil 2.19. Takip sistemlerinde kullanılan konum saptama yöntemleri**

Radyo frekansı ile tanımlama yöntemi (RFID)

“Radio Frequency Identification” kelimesinin kısaltması olan RFID’nin Türkçe karşılığı radyo frekans ile kimlik tanımlamadır. RFID, radyo dalgaları kullanarak bir nesnenin veya canlının kimliğini kablosuz olarak ileten sistemi tanımlayan bir teknolojidir [26].

Takip sistemlerinde çoğunlukla bu teknoloji kullanılmaktadır. RFID sistemler, etiket (Tag), okuyucu (Reader) olmak üzere 2 ana bileşenden oluşmaktadır. Kendine özgü numaralandırılmış olan etiket, takip edilmek istenen nesneye iliştilir. Okuyucu, tanımlama için ortama RF sinyalleri yayar. Okuyucunun kapsama alanına giren bir etiket olduğunda, etiketten yansıyan sinyalleri algılar ve tanımlamayı gerçekleştirir. Bilgi ve enerji transferi, RFID etiket - RFID okuyucu arasında herhangi bir temas olmadan sağlanmaktadır. Okuyucu tarafından alınan bilgi, veri tabanının bulunduğu bilgisayara aktarılır [27].

RFID etiketler, tanımlama verisi içeren bir mikroçip ve bu veriyi kablosuz olarak okuyucuya ileten bir antenden oluşmaktadır. RFID okuyucusu tarafından modüle edilip gönderilen RF sinyal, etiketlerin anteni aracılığı ile algılanmaktadır. Etiket içindeki kapasitör, gelen sinyali alarak kendisini şarj etmektedir. Şarj işlemi ile mikroçip içindeki devreler çalıştırılmaktadır [28]. Etiketler aktif, pasif ya da yarı-pasif olabilmektedir. Pasif etiket, kendine tanımlanmış kimlik numarasını iletirken, okuyucudan gelen radyo frekansının enerjisini kullanır, aktif etiket ise sinyali kendi gönderebildiği için içerisinde batarya bulunmaktadır. Yarı-pasif etiketler,

sinyal gönderebilmek için aktif ve pasif etiketlerin teknolojilerinin birleşimini kullanmaktadır. Yeraltı madenlerinde yaygın olarak aktif etiketler kullanılmaktadır.

Etiket okuyucuları genellikle madenin stratejik bölgelerine asılır ve yeryüzünde bulunan elektronik bir harita üzerine kayıt yapılır. Etiket, okuyucunun kapsama alanına girdiği anda, okuyucu etiketin kimliğini (ID) sızıntı besleyici veya ağ sistemi vb. madende hangi sistem kullanılıyorsa o sistemi kullanarak maden dışına iletir. RFID takip sistemi, okuyucu ve etiketin konumlarını ve tanımlanmış kimlik bilgilerini sürekli olarak izleme merkezine göndermesi önemli özellikleri arasında gösterilebilir.

Okuyucularda veya sistem altyapısında oluşabilecek bir arıza, sistemi tamamıyla çalışmaz hale getirebilmektedir. Bundan dolayı, RFID takip sistemine alternatif bir diğer sistem olan ters RFID, 2007 yılında National Institute for Occupational Safety and Health (Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü - NIOSH) projesi kapsamında geliştirilmiştir. Ters RFID sistemlerinde, etiket, okuyucu gibi belli noktalara konumlandırılırken, okuyucu ise madencilerin yanlarında taşıyabilecekleri portatif üniteler şeklindedir. Okuyucular, hesaplanan konumu etiketler üzerinden iletirler. Bu yöntem sayesinde pahalı okuyuculara oranla çok sayıda düşük maliyetli etiketler asılarak daha hassas bir takip sistemi geliştirilmiştir. Etiketler belirli aralıklarla galeri boyunca asılmakta ve her bir etiketin kurulum işlemi sadece 3 dakika sürmektedir. Sistem madencinin takip sisteminin kapsadığı bölgede olması durumunda konumu saptayabilmektedir. Bu durum da sızıntı besleyici ve bölgesel tabanlı takip sistemlerinde, kabloların ve okuyucuların madencilerin çalıştığı yerlerde kurulu olmaması takip yapılamamasına yol açmaktadır [17,29].

Alınan sinyal gücüne göre tanımlama yöntemi (RSSI):

Alınan Sinyal Gücü göstergesi (RSSI), daha az kullanılan fakat son derece etkili bir takip sistemidir. Bu yöntemde etiketin, sinyallerini en az iki okuyucuya göndermesi gerekmektedir. Okuyucular, etiketin sinyal gücünü tespit edebilmekte ve alınan sinyal gücü oranına bağlı olarak okuyucular arasındaki mesafeyi belirleyebilmektedir [17]. Çalışan, bir okuyucuya yaklaştıkça üzerinde bulunan etiketten gelen sinyalin gücü artmaktadır. Aynı şekilde uzaklaştığında da etiketten okuyucuya gelen sinyalin gücü de azalmaktadır. Sinyal gücü değişikliği oranlarının karşılaştırılması sonucunda çalışanın konumunun tam olarak

belirlenmesini sağlanmış olur. Ayrıca bu karşılaştırmanın sonucunda çalışanın hareketinin hızı ve yönü de belirlenebilmektedir [13]. Bu yöntem sayesinde, sistemin takip etme doğruluğu yüzlerce metreden birkaç metreye düşebilmektedir. Hassasiyetin artmasına rağmen, iki okuyucunun aynı anda etiketi görme gerekliliği, okuyucu sayısının fazla olmasına neden olmakta ve bu durum işletme açısından dezavantaj oluşturmaktadır [17].

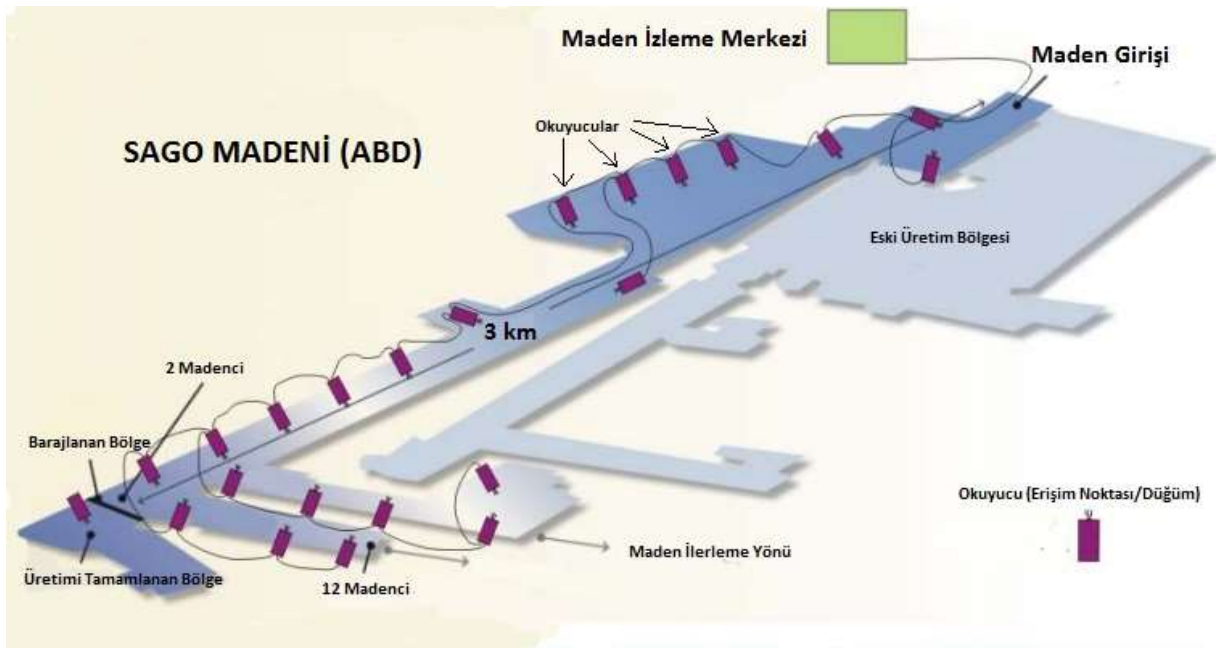
#### **2.4.2.2.2. Takip sistemi uygulamaları**

Radyo frekans tanımla yöntemi ile takip yapan sistemler:

Günümüzde neredeyse tüm büyük mağazalarda, müşterilerin giriş ve çıkış esnasında arasından geçmek zorunda olduğu dikey sensor plakaları bulunmaktadır. Eğer bir müşteri aldığı ürün için ödeme yapmadan mağazadan çıkmak isterse veya ürün üzerindeki alarm kasada devre dışı bırakılmazsa sistem alarm verir. Radyo frekansı ile tanımlama, bunun gibi güvenlik sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Satın alınan öğenin içinde, genellikle posta pulu büyüklüğünde, elektronik devre içeren küçük bir etiket bulunur. Çıkışlardaki dikey sensor plakalar RF sinyallerini gönderen okuyuculardır ve sürekli sinyal yaymaktadır. Eğer okuyucu sinyali bir etikete ulaşırsa, etiket sensor plaka tarafından tespit edilen ve okunan bir yanıt gönderir ve alarm çalar. Ödeme noktasında, satın alınan öğe tezgâhın belli bir bölgesine sürüldüğünde, etiketin devresiyle etkileşime giren ve onu çalışmaz hale getiren bir manyetik alan üretilerek etiketin çalışması durdurulur [13]. Yukarıda örneklendirilen ve mağazalarda kullanılan etiketlerde dâhili güç kaynağı bulunmamasından dolayı pasif etiket olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle, etiket pasiftir durumdadır ve okuyucu tarafından sorgulanana kadar hiçbir RF sinyali göndermemektedir. Etiket, plakalardan geçişi esnasında okuyucudan gelen sinyalden küçük bir miktar RF enerjisini absorbe eder ve bunu yanıt göndermek için kullanır. Pasif etiketler, dâhili bataryaları olmadığından ve basit olduğundan ucuzdurlar. Ancak, okuyucu ve etiketin arasında mesafe oldukça yakın olmalıdır. Mesafe genellikle birkaç metredir ve bu nedenle mağaza çıkışındaki dikey okuyucular birbirine oldukça yakın konumdadır [13].

RF kullanılarak yapılan takibin daha ileri bir seviyesi, yeraltındaki çalışanların konumlarını izlemeye kullanılmaktadır. Etiket-okuyucu aralığını genişletmek için aktif etiketler kullanılmaktadır. Aktif etiketler, sinyal iletimine güç sağlamak için dâhili bir bataryaya sahiptir. Etiket, mesaj iletip alabilen çok küçük bir radyo olarak düşünülebilir. Yeraltındaki tüm

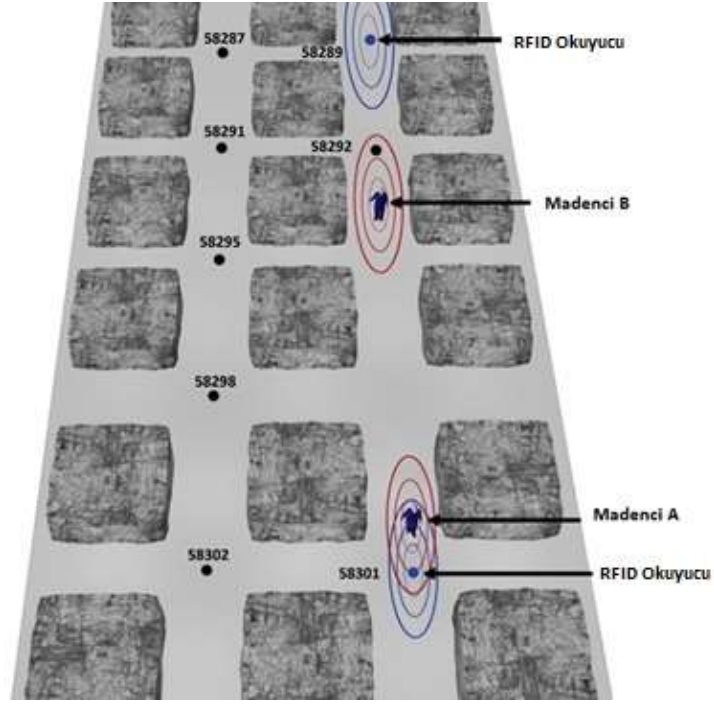
çalışanlar kendi ismine tanıtılmış bir etiket taşır. Madenci okuyucunun RF aralığından her geçtiğinde, o etiketi sorgulamaktadır. Okuyucu, tespit bilgisini kablolar üzerinden, fiber-optik kablolar aracılığıyla veya kablosuz olarak maden izleme odasına gönderir. Her okuyucuya kendi konumu tanımlanır ve bu sayede etiketle kendi arasındaki mesafeyi belirli algoritmalar kullanarak hesaplar ve izleme merkezine gönderir. Okuyucu, kapsama alanına giren etiketi sorguladıktan sonra bu bilgiyi işletim merkezine ilettiğinde merkezdeki personel, yeraltındaki çalışanın okuyucu konumundan belli bir uzaklıkta olduğunu izleme ekranında görmektedir [13]. Şekil 2.20.'de [1,30] bir madenin personel takip sisteminin yerleşimi gösterilmektedir.



**Şekil 2.20. Personel takip sisteminin yerleşimi [1,30]**

Şekil 2.21.'de [18] gösterilen bölge tabanlı RFID sisteminde her okuyucunun konumu sisteme işlenmiştir. Mavi renkte gösterilen bölge okuyucunun kapsama alanını göstermektedir. Kırmızı renkte gösterilen bölge ise, çalışanın etiketinin kapsama alanını göstermektedir. Şekil 2.21.'de [18] A çalışanı, 58301 ID numaralı okuyucunun kapsama alanında olduğu görülmektedir. B çalışanı ise, hiçbir okuyucunun kapsama alanında değildir. Fakat B çalışanı, 58289'daki okuyucudan yeni ayrılmışsa, konumu ayrılmış olduğu bölgede gözükcektir. Çünkü her okuyucu, yalnızca kendi kapsama alanındaki etiketleri tespit edebilmektedir [13].



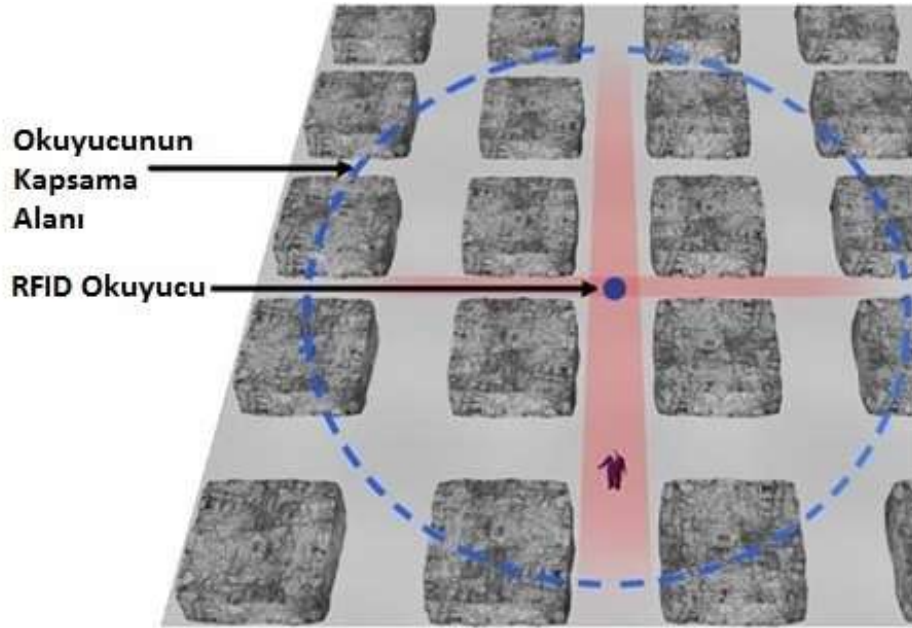


**Şekil 2.21. Bölge bazlı takip yapan RFID sistemi [18]**

Şekil 2.21.'de [18] gösterilen takip sistemi, haberleşme sisteminden bağımsız olarak çalışmakta ve iki sisteminde kablolu ve kablosuz olarak yüzeyle bağlantı kurması gerekmektedir. Bu nedenle, iki sistemi aynı altyapı üzerinden çalıştırmak hem maliyet hem de işletilebilirlik açısından daha uygun hale getirmektedir. Örneğin bazı uygulamalarda, okuyucular izledikleri etiketlerin konum bilgilerini haberleşme sisteminde kullanılan sızıntı besleme kablosu üzerinden izleme merkezine aktarabilmektedir [13].

Bölge bazlı takip sistemleri çeşitli frekanslarda ve konfigürasyonlarda olabilmektedir. Her üretici kendi ürününe özgü özellikler geliştirmektedir. Bu esneklik göz önünde bulundurulduğunda, genel olarak bir okuyucunun kapsama alanı yaklaşık 100 metre çapında olmaktadır. Bu durumda, Şekil 2.22.'de [3,13] gösterildiği üzere, okuyucu tarafından tanımlanan çalışan, 100 metre yarıçaplı bir daire içerisinde yer almaktadır. Böylece çalışanın bulunabileceği olası alan belirlenmiş olmaktadır. Okuyucunun kapsama alanı paralel galeriyi de kapsıyor olarak gözükse de burada olması pek olası değildir çünkü okuyucu ve etiket arasında engelsiz düz bir hattın olması gerekmektedir. Bu nedenle çalışanın, kırmızı renkli bölgelerde olması olasıdır [13].

Takip sisteminin hassasiyeti, çalışanın konumunda ki tespit edilebilen en küçük değişiklik ölçümüdür. Okuyucu bazlı sistemler için, çalışanın pozisyonu belli bir okuyucunun konumuyla ilişkilidir ve hassasiyet okuyucular arasındaki mesafe ile şekillenir. Bu nedenle, hassasiyet artırılmak isteniyorsa, okuyucu sayısının da artırılması gerekmektedir. Okuyucu sayısının artırılması ilk aşamada finansal bir yük olarak gözükse de sistemin çalışmasına, acil durum yönetimine, kazaların önlenmesine ve üretim verimliliğine olan katkıları göz önünde bulundurulduğunda sistemin işlevselliğini önemli ölçüde artıracaktır [13].



Şekil 2.22. Okuyucu ve kapsama alanı [3,13]

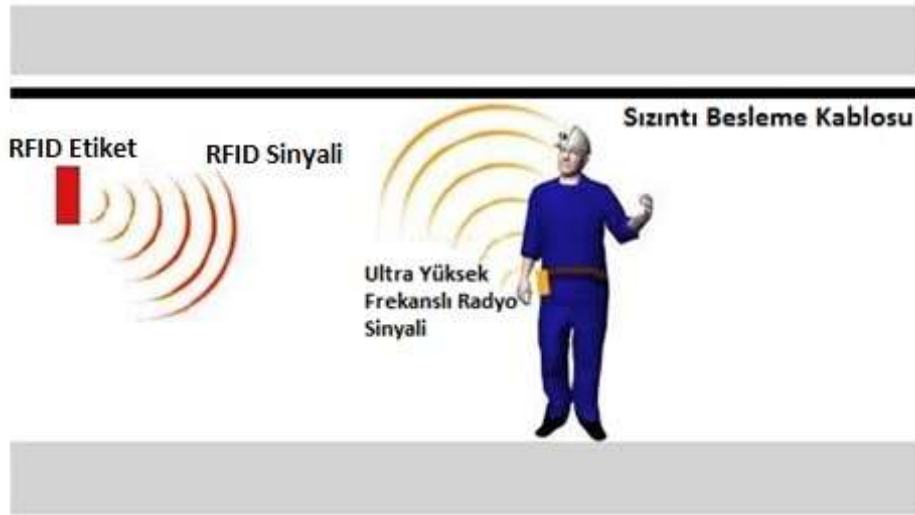
Radio frekans tanımlama yönteminin ters uygulanması ile takip yapan sistemler:

Yeraltında, bölge bazlı takip sistemleri verimli bir şekilde kullanılmakta olup diğer endüstriyel uygulamalarda da giderek artan oranda kullanılmaktadır. Ancak, yeraltı uygulamalarında konum saptama hassasiyetin sağlanması için çok sayıda okuyucunun bulunması gerekmektedir. Okuyucu sayısındaki artış da sistemin işletmesini zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı sistem tasarımında farklı bir yaklaşım geliştirilmiştir [13].

Ters RFID sisteminde, her çalışan bir okuyucu taşımakta ve etiketler belirli aralıklarla okuyucu gibi galeri boyunca yerleştirilmektedir. Çalışma prensibi, diğer sistemlerle aynı olup tek farklılık hareketli olan cihazın okuyucu, sabit olan cihazın ise etiket olmasıdır. Çalışanın hareketi esnasında okuyucu, geçtiği bölgedeki etiketin konum bilgisini periyodik olarak

madenin ağ sistemi üzerinden izleme merkezine iletmektedir. Şekil 2.23.'de [13,18] okuyucu tarafından toplanan verilerin sızıntı besleme kablosu üzerinden aktarıldığı ters radyo frekansı tanımla sistemi gösterilmektedir [13,18].

Şekil 2.23.'de [13,18] gösterilen etiket, konum bilgisini periyodik olarak okuyucuya yollamaktadır. Çalışanın üzerinde bulunan okuyucu vasıtasıyla, etiketin göndermiŐ olduğu sinyal algılanarak iŐlenir. İŐlenen bu veri, sızıntı besleyici kablosuna gönderilerek, maden izleme merkezine iletilmesi sağlanır. Etiketler okuyuculara kıyasla çok daha ucuz ve basittir. Çalışanın konumunun kesin olarak belirlenebileceği Şekilde çok sayıda etiket yerleŐtirilebilir. Etiketlerde batarya bulunması ve bu bataryaların bakımlarının yapılması zor olarak görülebilir. Ancak etiketlerin, düşük güç tknetimi ve batarya ömürlerinin aylar boyunca yetebilmesi dikkate alındığında kısa vadede etiket kullanımında bir sorun yaŐanmayacaktır [13,18].



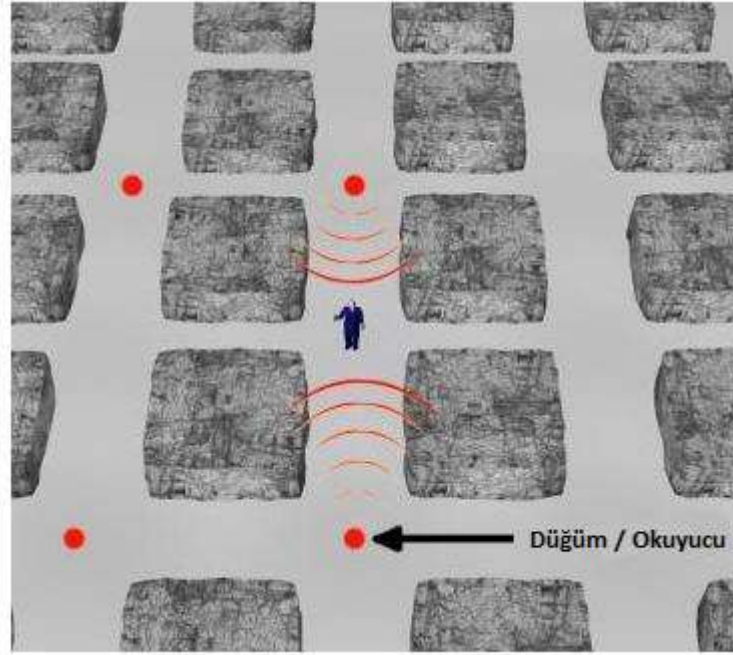
**Şekil 2.23. Sızıntı besleme sistemi altyapısıyla çalışan ters RFID sistemi [13,18]**

Kablosuz çalışabilecek altyapıya sahip takip sistemleri:

Düğüm tabanlı takip sistemleri, düğüm tabanlı iletişim sistemleriyle aynı fiziksel ekipmanları kullanmaktadır. Bu sistem sabit olarak konumlandırılmıŐ düğümlerin bilinen konumlarını referans noktaları olarak kullanır. Elde kullanılan her telefon ya da telsiz, kendisine tanımlı zgn bir etikete sahiptir ve bu etiketler belirli bir çalışana tanımlanmıŐtır. Düğüm, bu tanımlanan telsiz ya da telefon ile bağlantı kurar. Böylelikle çalışanın konumu saptanmıŐ olur. Bölge bazlı okuma yapan RFID sistemleriyle benzer Şekilde, hassasiyet düğüm sayısı ve aralığıyla değişmektedir [18].

Ters RFID tekniğinde kullanılan RSSI yöntemi çalışanın düğümden ne kadar uzakta olduğunu belirlemek için kullanılmaktadır. Düğüm tabanlı yüksek frekanslı sızıntı besleme haberleşme sistemleri, RSSI tekniğini uygulamak için gerekli tüm bileşenlere sahip olduğundan, RFID etiketlere ihtiyaç duyulmamaktadır. Düğüm tabanlı bir sistemde, düğümler çalışanın telefonundan gelen sinyal gücü ölçümlerini yapmaktadır. Böylelikle düğüm tabanlı sistem hem haberleşmeyi hem de personel takibini yaparak bu sistemleri tek bir çatıda altında toplamış olmaktadır [18].

Düğümüleri, sürekli haberleşme ve takip işlemlerini sağlayabilecek şekilde yakın konumlandırarak, elde taşınan telsizin, düğümlerden sinyal almasını ve sinyal güçlerinin belirlenmesini sağlayacaktır. Her bir sinyal paketi, hangi düğümden geldiğini tanımlayan bilgiyi içerisinde barındırmaktadır. Bazı sistemlerde, bilgi paketi madencinin telefonunda toplanır ve daha sonra analiz için maden izleme merkezine iletilir. Diğer sistemler, iki veya daha fazla düğümle, çalışanın telefonundan gelen sinyal güçlerini karşılaştırır. Konum, çalışanın RF aralığındaki her bir düğümüne olan mesafesini belirleyen RSSI algoritmalarının kullanılmasıyla saptanmaktadır. Şekil 2.24.'de düğüm tabanlı takip sisteminde okuyuculardan gelen RF sinyalleri gösterilmektedir [13,18].



Şekil 2.24. RSSI tekniğini kullanan düğüm tabanlı takip sistemi [13,18]

Yeraltı madeninde RSSI konum saptama performansını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Dügüm ve etiket arasındaki görüş hattını daraltan ana sebepler,

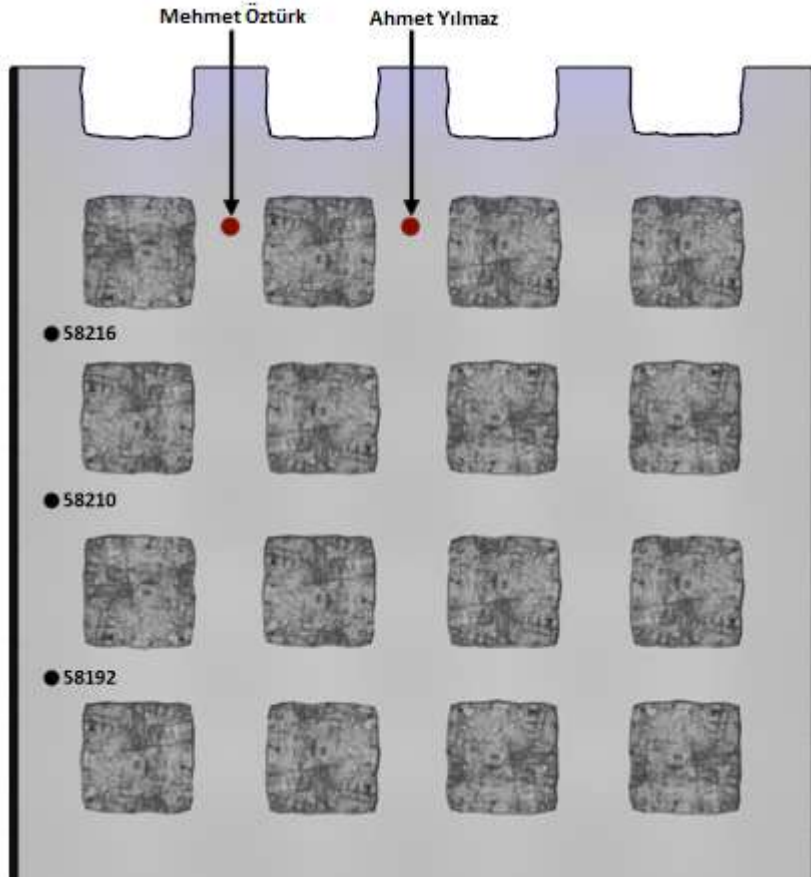
- Yeraltında kullanılan makineler ve ekipmanlar,
- Tahkimat
- Galerilerdeki dönüşler ve ondülasyonlar

olarak sıralanabilir. Bahsedilen nedenlerden dolayı, iki düğüm arasında bulunan çalışanın konumunun tayininde sapmalar olabilmektedir.

## **2.5. MADEN İZLEME VE KONTROL ODALARI**

Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'nde belirtildiği üzere, takip sistemi ile yerüstünde bulunan personel tarafından yeraltında çalışanların isimlerinin ve konumlarının izlenip kayıt altına alınması zorunludur. Bu iki gerekliliğin de yeryüzünde bulunan maden operasyon merkezi tarafından izlenmesi ve yönetilmesi gerekmektedir.

Takip sistemlerinde, çalışanların buldukları konumların gösterimi çok çeşitli olabilmektedir. Bunlardan biri, yeraltında bulunan çalışanların isimlerinin ya da kimliklerine atanmış numaralarının bulunduğu basit bir liste olabilmektedir. Fakat en kullanışlı gösterim, yeraltında çalışanların maden haritasında isimlerinin gösterildiği bilgisayar ekranıyla izlenmesidir. Görüntüyü yakınlaştırma ve kaydırabilme özellikleri sayesinde yeraltında bulunan çalışanın anlık konumları da dâhil madenin tamamını görebilmek mümkündür [13,18]. Şekil 2.25.'de yeraltında bulunan çalışanın izleme ekranındaki görüntüsünün bir örneği bulunmaktadır [13].



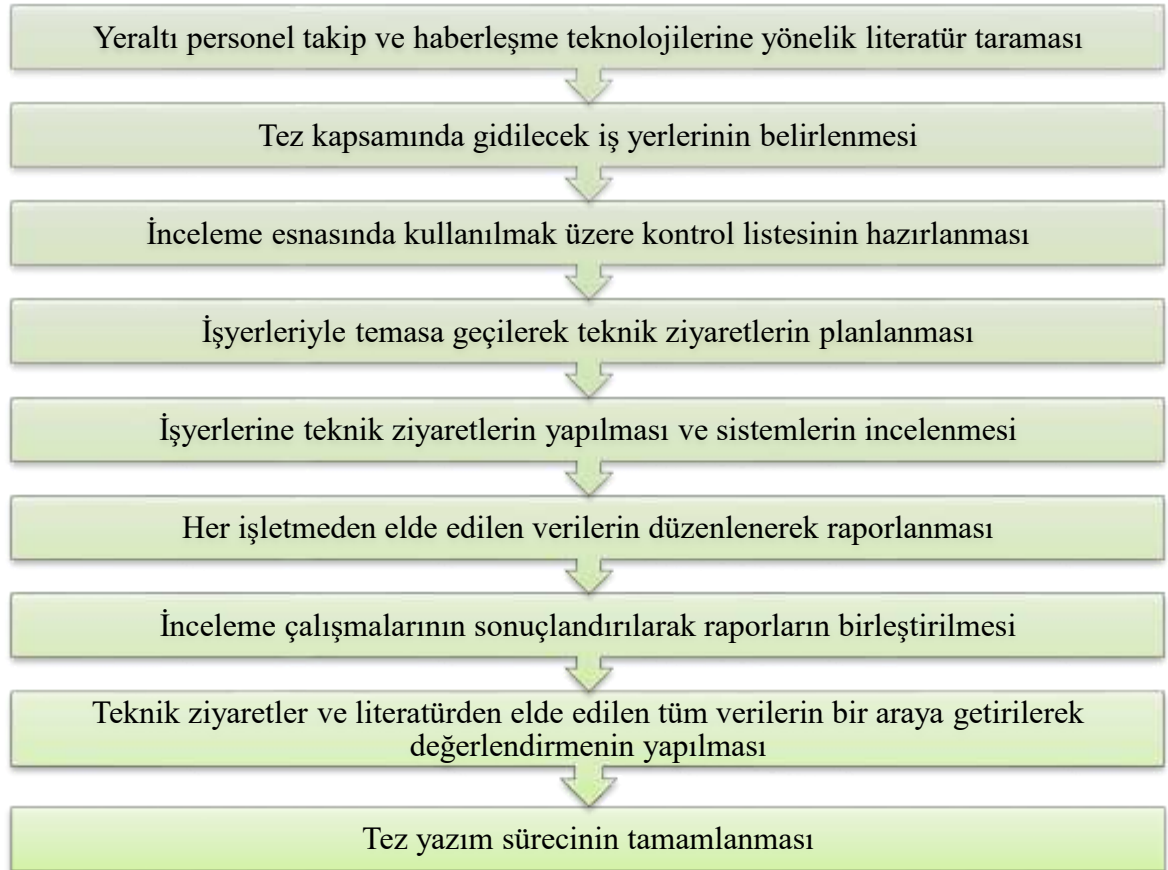
Şekil 2.25. Çalışanların buldukları konumun izleme ekranında gösterimi [13]



### 3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

Bu çalışma kapsamında yeraltı madenlerinde personel takip ve haberleşme sistemleri ile ilgili asgari gerekliliklerin belirlenebilmesi için öncelikle bu alana dair çeşitli uygulamalar, literatürde yer alan çalışmalar ve diğer ülkelerin mevzuatları incelenmiştir. Yapılan tez çalışması ile maden sektörüne ve çıkarılacak alt mevzuat çalışmalarına rehber olması amaçlanmıştır.

Genel hatlarıyla bu tez çalışması sürecinde gerçekleştirilen faaliyetler Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tez çalışması sürecinde gerçekleştirilen faaliyetler



### **3.1. ARAŞTIRMA HAKKINDA BİLGİ**

Tez çalışması kapsamında iki kömür, iki bakır ve bir demir madenine saha ziyareti gerçekleştirilmiş ve ekte yer alan kontrol listeleri uygulanmıştır. Bu işletmelerdeki personel takip ve haberleşme sistemleri, iş sağlığı ve güvenliği açısından gözlemlenerek hazırlanan kontrol listesi ile bu sistemlerin seçim kriterleri, çalışma prensipleri, uygunluğu ve kullanılabilirliği tetkik edilmiştir.

Kontrol listelerinden elde edilen veriler düzenlenerek yapılan uluslararası çalışmalar ile kıyaslanmış, yeraltı maden işletmelerinde sistem seçiminde hangi kriterlerin dikkate alınacağı, performanslarının hangi kıstaslarla ölçüleceği ve hangi maden türlerinin hangi teknolojileri kullanmalarının faydalı olacağı konularında değerlendirmeler yapılmış, ayrıca mevzuatla belirlenen yükümlülüklerin ne düzeyde yerine getirildiği belirlenmiştir.

Ekte bulunan kontrol listeleri işyerlerinin mevzuata olan uyumluluklarını ve sistemlerin asgari özelliklerini kontrol etmek için uygulayabilecekleri bir iç kontrol adımı ve sistemlerin satın alım süreçlerine katkı sağlayabilecek bir doküman olarak da değerlendirilebilir. Listede yer alan soruların teknik sorular olması nedeniyle uygulama aşaması işletmenin iş güvenliği uzmanı, ilgili mühendisler ve işletme müdürü ile birlikte gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte vardiya mühendisleri ve formenlerle de görüşülmüştür.

Bu tez çalışması kapsamında, ayrıca işletmelerin genel iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, personel takip sisteminin acil durum eylem planlarına hangi derecede ve ne şekilde dâhil edildiği incelenmiştir.

### **3.2. KONTROL LİSTESİNİN HAZIRLANMASI**

Kontrol listesinde yer alan sorular, yabancı ve ülkemizdeki mevzuatların zorunlu kıldığı kriterler, MSHA ve NIOSH'un yaptığı çalışmalar, buna ek olarak Harwood ve vd.'lerinin [25] bu sistemlerin performanslarının standart bir şekilde değerlendirilebilmesi için geliştirmiş oldukları metodoloji esas alınarak belirlenmiştir.

Yukarıda belirtilen hususlar temel alınarak hazırlanan kontrol listeleri aşağıdaki aşamaların ardından revize edilerek g¼ncellenmiřtir.

- Teknolojileri piyasaya arz eden firmalarla ile yapılan y¼z y¼ze g¼r¼řmeler,
- Bu sistemleri madenine kuran bir yeraltı maden işletmesine yapılan ziyaret,

Haberleşme sistemi için hazırlanan kontrol listesinde 15 adet, personel takip sistemi için hazırlanan kontrol listesinde 18 adet soru bulunmaktadır.



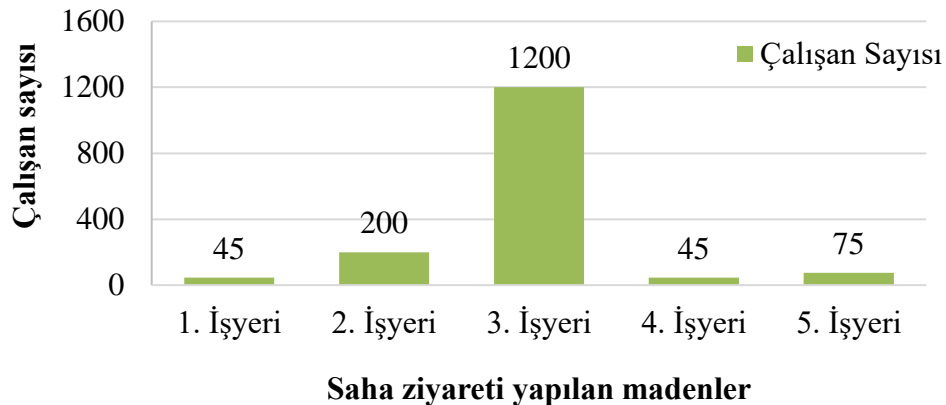
## 4. BULGULAR

Uygulama yapılan beş işyerinin, ikisinde kömür ve diğer üçünde de metalik maden üretilmektedir. Bu işyerlerindeki personel takip ve haberleşme sistemleri, iş sağlığı ve güvenliği açısından gözlemlenmiş ve bu sistemlerin türleri, özellikleri ve çalışma prensipleri değerlendirilmiştir. Tablo 4.1.'de saha çalışması yapılan beş maden işletmesinde üretilen maden türü, madenlerdeki çalışan sayısı ve madenlerin yıllık üretim miktarları gösterilmektedir.

**Tablo 4.1. Saha çalışması yapılan 5 işletmede çıkarılan madene göre dağılımı**

	Maden Türü	Çalışan Sayıları	Yıllık Üretim Miktarı (ton)
1. İşyeri	Bakır	500	1,3 milyon
2. İşyeri	Kömür	950	2,5 milyon
3. İşyeri	Kömür	6 200	4,5 milyon
4. İşyeri	Demir	500	1,6 milyon
5. İşyeri	Bakır	350	1,1 milyon

Uygulama yapılan madenlerin her vardiyada yeraltında bulunan toplam çalışan sayıları Grafik 4.1 'de gösterilmektedir.



**Grafik 4.1. Her vardiyada yeraltında bulunan çalışan sayıları**

Gözlem yapılan maden işyerlerinin özellikleri Tablo 4.2.'de verilmiştir.

**Tablo 4.2. Gözlem yapılan madenlerin özellikleri**

	<b>Üretim yöntemi</b>	<b>Yeraltının yeryüzüne bağlantı sayısı</b>	<b>Madenin en alt noktasından yeryüzüne olan yürüme mesafesi</b>
<b>1. İşyeri</b>	Geri dolgulu ara katlı göçertme yöntemi	2 adet	7 000 metre
<b>2. İşyeri</b>	Tam mekanize ara katlı göçertmeli uzunayak yöntemi	2 adet	3 500 metre
<b>3. İşyeri</b>	Yarı mekanize ara katlı göçertmeli uzunayak yöntemi	2 adet	2 000 metre
<b>4. İşyeri</b>	Geri dolgulu ara katlı göçertme yöntemi	3 adet	1 500 metre
<b>5. İşyeri</b>	Geri dolgulu ara katlı göçertme yöntemi	5 adet	3 200 metre

Uygulama yapılan madenlerin hepsinde sabit telefon hattı kurulu olduğu gözlemlenmiştir. Sabit telefonlar maske değişim istasyonu, yemekhane ve sığınma odası gibi belirli noktalarda bulunmaktadır. Madenlerde bulunan kablosuz haberleşme ve takip sistemlerinin türleri ve özellikleri Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'de gösterilmektedir.

**Tablo 4.3. Gözlem yapılan madenlerde bulunan sistemler**

	<b>Haberleşme Sistemi</b>	<b>Takip Sistemi</b>
<b>1. İşyeri</b>	Sızıntı besleme sistemi ile çalışan telsizler	Düğüm tabanlı takip sistemi
<b>2. İşyeri</b>	Düğüm tabanlı ağ sistemi ile çalışan kablosuz telefonlar	Düğüm tabanlı takip sistemi
<b>3. İşyeri</b>	Düğüm tabanlı ağ sistemi ile çalışan telsizler	Düğüm tabanlı takip sistemi
<b>4. İşyeri</b>	Sızıntı besleme sistemi ile çalışan telsizler	Sızıntı besleme sistemi ile çalışan okuyuculu takip sistemi
<b>5. İşyeri</b>	Sızıntı besleme sistemi ile çalışan telsizler	Kablosuz altyapıyla çalışan düğüm takip sistemi

**Tablo 4.4. Gözlem yapılan madenlerde bulunan takip sistemlerinin özellikleri**

	<b>Konum saptama yöntemi</b>	<b>Takip Şekli</b>	<b>Konum Saptama Hassasiyeti</b>	<b>Kullanılan Ekipmanların Batarya Ömürleri Okuyucu</b>	<b>Etiket</b>
<b>1. İşyeri</b>	RFID	Bölgesel takip	Çalışanın bulunduğu kat bilinebiliyor.	24 saat (Not: Tüm okuyucularda bulunmamaktadır.)	2 yıl
<b>2. İşyeri</b>	RFID	Bölgesel takip	150 metre	8 saat	1 yıl
<b>3. İşyeri</b>	RFID	Sistemin bulunduğu hatta anlık takip	10 metre	4-8 saat arası	1 yıl
<b>4. İşyeri</b>	RFID + RSSI	Ocağın her noktasında anlık takip	3 metre	12 saat	2 ay
<b>5. İşyeri</b>	RFID	Bölgesel takip	Çalışanın bulunduğu kat bilinebiliyor.	24 saat	2 yıl

#### **4.1. SAHA GÖZLEMLERİ**

Bu bölümde saha ziyareti esnasında gözlemlenen hususlar anlatılmaktadır. İnceleme yapılan işyerlerinde bulunan ekipmanlarla ilgili bilgiler verilmiş olup, gözlemler fotoğraflar ile desteklenmiştir.

##### **4.1.1. Birinci İşyeri**

Maden 1’de haberleşme sabit telefonlar ve kablosuz telsizler ile yapılmaktadır. Sabit telefon hatları Resim 4.1’de gösterildiği üzere, sığınma odası ve yemekhane gibi belirli noktalarda bulunmaktadır.



**Resim 4.1. Yeraltında bulunan sabit telefon hattı ve telsiz sistemi**

Çalışanların takibi, manuel ve elektronik olarak iki şekilde yapılmaktadır. Manuel takip olarak tanımlanan bu sistemde, tike ve defter uygulamaları mevcuttur. Resim 4.2’de gösterildiği üzere yeraltına girecek olan personel defteri doldurduktan sonra tikesini madenin girişinde bulunan tahtaya asmaktadır. Böylelikle tahtada tikesi bulunan personelin yeraltında olduğu anlaşılmaktadır.



**Resim 4.2. Defter kayıt ve tike uygulaması**

Resim 4.3.’de elektronik takip sisteminde kullanılan etiket ve tike gösterilmektedir.



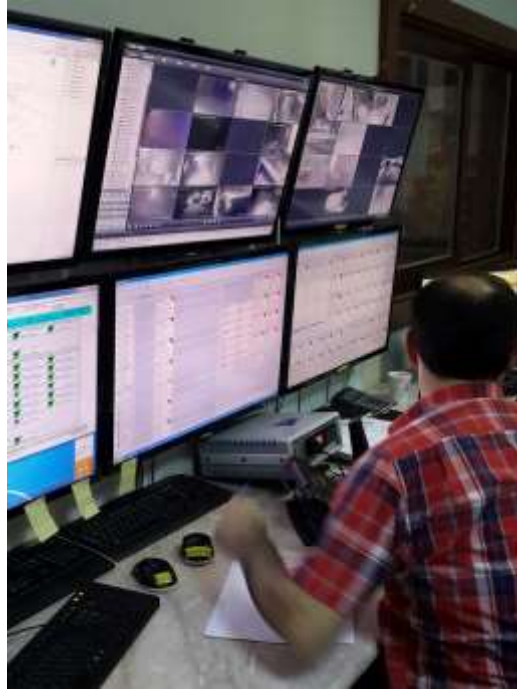
**Resim 4.3. Tike ve elektronik etiket**

Elektronik takip ise üretim yapılan her katta bulunan okuyucular ile yapılmaktadır. Üzerinde etiket bulunan çalışan kata geldiğinde etiket okuyucu tarafından tespit edilmekte ve çalışanın konum bilgisi izleme merkezine iletilmektedir. Okuyucuların sadece kat girişlerinde ve sığınma odalarında olmasından dolayı ocağın her noktasında takip yapılmadığı, bölgesel takip yapıldığı gözlemlenmiştir. Resim 4.4.’de sığınma odasında bulunan okuyucu gösterilmektedir.



**Resim 4.4. Bölgesel takip yapan okuyucu**

Sistemlerde alternatif bağlantı yolu bulunmadığı, bundan dolayı herhangi bir göçük anında göçük arkasında kalabilecek çalışanların takibinin yapılamayacağı görülmüştür. Aynı şekilde haberleşme sisteminin de altyapısı alternatifli olarak tasarlanmamasından dolayı, söz konusu durumda haberleşmenin sağlanamayacağı gözlemlenmiştir. Okuyucuların kapsama alanı düz alanda 200 metreyi bulabildiği ancak galerilerdeki dönüşler ve rampalarda 50 metreye düştüğü görülmüştür. Resim 4.5’de madenin izleme ve kontrol merkezi gösterilmektedir. Yerüstünde bulunan bu bölümde personel takip sistemi de kontrol edilmektedir.



**Resim 4.5. Maden izleme ve kontrol odası**



Takip sisteminin yazılımı ise internet tabanlı olup, izleme ekranına her yerden erişim imkânı bulunmaktadır. Yazılımın çeşitli raporlama ve alarm özellikleri bulunmaktadır. Örneğin vardiya süresini aşan çalışan olması durumunda sistem alarm vermektedir. Etiketlerin batarya durumları anlık olarak yazılım üzerinde görülebilmektedir. Saha gözlemi esnasında yeraltındaki hareket raporu Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Çalışanın hangi zaman diliminde nerede bulunduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Takip sistemi ekranı

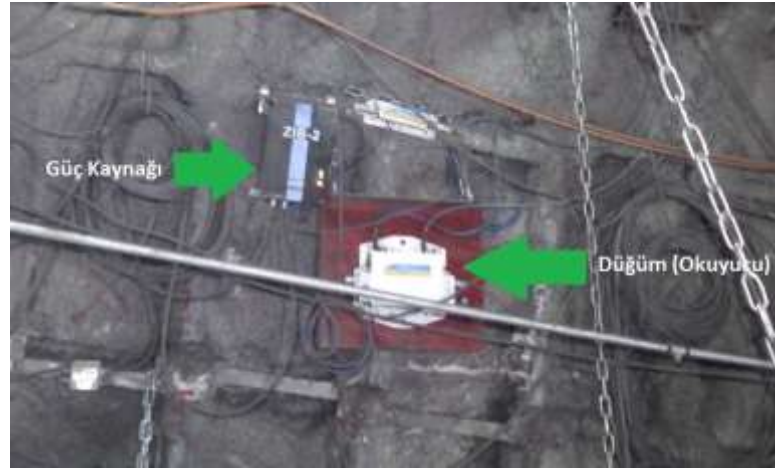
#### 4.1.2. İkinci İşyeri

Haberleşme, sabit telefon hattı ve kablosuz telefonlar ile yapılmaktadır. Sabit telefonlar maske değişim istasyonu ve yemekhane gibi belirli noktalarda bulunmaktadır. Kablosuz telefonlar düğüm tabanlı ağ sistemi üzerinden çalışmaktadır. Resim 4.6’da 2. işyerinde kullanılan kablosuz telefon gösterilmektedir. Ocağın belirli noktalarında bulunan okuyucular sayesinde ocak içi veya dışı ile iletişim kurulabilmektedir. Bu telefonlar normal hayatta kullanılan cep telefonları gibi çalışmaktadır. Ocağın içerisinden dışarıdaki bir numarayla sesli ve yazılı olarak iletişim kurulabilmektedir. Telefon, okuyucu kapsamında olmadığı yerlerde çalışmamaktadır. Saha gözlemi esnasında kapsama alanı dışına çıkıldığında çalışmadığı gözlemlenmiştir.



**Resim 4.6. Yeraltı kullanılan kablosuz maden telefonu**

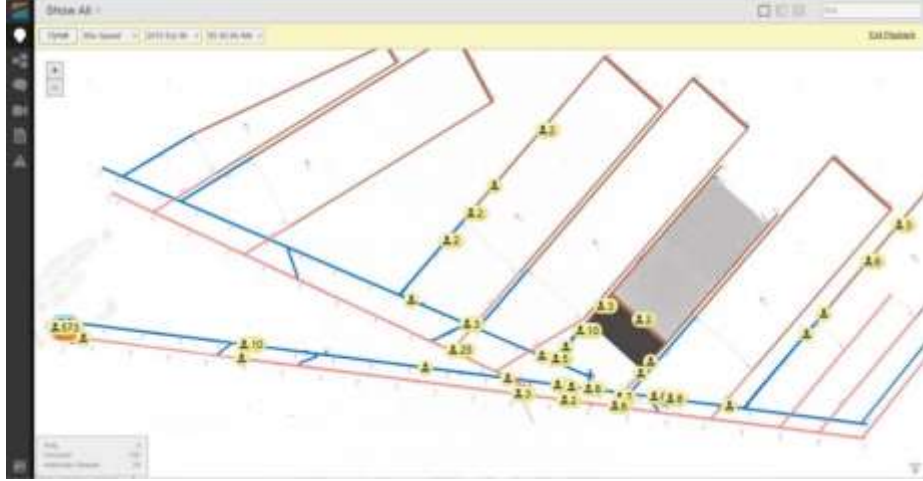
Çalışanların takibinde, manuel ve elektronik olarak iki sistem beraber uygulanmaktadır. Manuel sistemde defter ve lamba kayıt uygulaması yapılmaktadır. Elektronik takip Resim 4.7’de gösterildiği üzere ocağın belirli noktalarında bulunan okuyucular sayesinde yapılmaktadır. Ancak bu işletmede de çalışanların anlık takibinin yapılmadığı gözlemlenmiştir. Çalışanın okuyucunun kapsama alanında bulunması durumunda takibi yapılmaktadır. Bu yüzden konum saptama hassaslığı okuyucuların kapsama alanı kadardır.



**Resim 4.7. Yeraltında bulunan okuyucu**

Bu işletmedeki sistemin en önemli avantajı sistem altyapısının alternatif bağlantı yolunun olduğu görülmüştür. Bundan dolayı herhangi bir okuyucunun bozulması veya göçük meydana gelmesi halinde sistem çalışmayı sürdürebilmektedir. Sistemin kişi kapasite sınırı bulunmamasına rağmen, vardiya giriş ve çıkışlarında sistemde donmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Takip sisteminin yazılımını internet tabanlı olup izleme ekranına her yerden erişim imkânı bulunmaktadır. Yazılımın çeşitli raporlama ve alarm özellikleri bulunmaktadır. Örneğin vardiya süresini aşan çalışan olduğunda sistem alarm vermektedir. Takip sistemi, gaz izleme ve diğer sistemlerle birlikte çalışmamaktadır. Ancak istendiği takdirde sistemin alt yapısı uyumludur. Şekil 4.2’de takip sisteminin izleme ekranı gösterilmektedir.



**Şekil 4.2. Takip sistemi izleme ekranı**

Üretici firma tarafından yapılan sinyal yayılım testleri sonrası okuyucuların konumlandırılması yapılmıştır. Fakat yeraltı koşullarındaki aşağıda sıralanan durumlardan dolayı sinyal yayılımı beklendiği gibi gerçekleşmemiştir.

- Galerilerdeki dönüşler ve ondülasyonlar (Düz bir hat üzerindeki dalgalanmalar)
- Galeri içerisinde bulunan makine ve ekipmanların (Monoray, tamburlu kesici, nakliye bandı, havalandırma tüpleri) galeri açıklığını daraltması ve radyo sinyallerini bozması veya dağıtması,

Yukarıda sıralanan nedenlerden dolayı okuyucuların birbirini görememesi, etiketin algılanamaması ve konum saptamasında ciddi hataların olduğu gözlemlenmiştir. Yaşanan problemlerden dolayı sistemde daha fazla okuyucuya ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir.

#### **4.1.3. Üçüncü İşyeri**

Haberleşme sabit telefon hattı ve telsizler (Resim 4.8) ile yapılmaktadır. Sabit telefonlar ocağın belirli noktalarında bulunmaktadır. Telsizler düğüm tabanlı ağ sistemi üzerinden çalışmaktadır. Ocağın belirli noktalarında bulunan okuyucular sayesinde ocak içerisinde veya dışarısında

bulunan başka bir telsiz ile iletişim kurulabilmektedir. Bu sistemin önemli bir avantajı, takip izleme ekranında bulunan bas-konuş özelliği sayesinde sistemde bulunan bütün telsizler iletişim kurulabilmektedir. Ancak telsizlerin düzgün çalışabilmesi için okuyucuların kapsama alanında olması gerekmektedir.



**Resim 4.8. Yeraltı haberleşmesinde kullanılan telsiz**

Takip sistemi olarak manuel ve elektronik olarak iki sistem beraber uygulanmaktadır. Manuel sistemde defter ve lamba kayıt uygulaması yapılmaktadır. Elektronik takip sistemi olarak düğüm tabanlı sistemi kullanılmakta ve sistem radyo frekans tanımlama (RFID) teknolojisi ile çalışmaktadır. Resim 4.9’da gösterildiği üzere sistem, RF kablosu ve belirli aralıkla kabloya yerleştirilen okuyuculardan meydana gelmektedir. Ocakta bazı galerilerde bulunan okuyuculu kablolar sayesinde anlık ve bölgesel olarak takip yapılmaktadır. Okuyucular 40 metre aralıklarla konumlandırıldığı için hareketli ve hassas takip yapılabildiği gözlemlenmiştir. Ancak kablonun görüş alanında olmayan diğer bölgeler izlenememektedir. Konum saptama hassaslığı kablonun kapsama alanında olduğu bölgelerde  $\pm 10$  metre olduğu tespit edilmiştir. Konum ve hareket yönünün hesaplanabilmesi için sistemde 1-1,5 dakikalık gecikmeyle veri işlenmektedir. Bu sistemin en büyük avantajı okuyucuların çok sık konumlandırılmasıdır. Bu sayede sistemin bulunduğu galeride, Maden 2’deki gibi ocak geometrisi, diğer mekanik ve elektronik sistemlerin sinyal yayılımını etkilemesi gibi bir durum yaşanmamaktadır. Diğer bir avantajı ise okuyucuların içinde termometre bulunmaktadır. Böylece sistemin bulunduğu galerilerde 40 metre aralıklarla sıcaklık ölçümü yapılabilmektedir.



**Resim 4.9. RF kablosu ve içerisinde yerleştirilmiş olan okuyucu**

Çalışanların üzerinde taşıdıkları etiket Resim 4.10'da gösterilmektedir. Bu etiketlerde panik düğmesi bulunmaktadır. Yeraltında bu düğmeye basılmış olup izleme merkezine uyarının geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca izleme merkezinden istendiği takdirde etiketlere ışıklı ve sesli uyarı verilebilmektedir.



**Resim 4.10. Takip sisteminde kullanılan etiket**

Resim 4.11.'de sistemin erişim noktası gösterilmektedir. Burada toplanan veriler işlenerek, yerüstünde bulunan sunucuya kablo ile iletilmektedir.



**Resim 4.11. Yeraltında bulunan erişim noktası**

Sistemde alternatif bağlantı altyapısının bulunmadığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı göçük veya patlama meydana gelmesi halinde sistem çalışmamaktadır. Sistemin kişi kapasite sınırı bulunmamaktadır. Ancak bu işletmede de vardiya giriş ve çıkışında sistemde donmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Takip sisteminin yazılımı web tabanlı olup, izleme ekranına yazılımın yüklü olduğu her bilgisayardan erişim imkânı bulunmaktadır. Yazılımın çeşitli raporlama ve alarm özellikleri bulunmaktadır. Örneğin vardiya süresini aşan çalışan olduğunda sistem alarm vermektedir. Takip sisteminin gaz izleme ve diğer sistemlerle birlikte çalışabilir özellikte olduğu görülmüştür. Üretici firma tarafından sinyal yayılım testi yapılmamıştır. Sistemin tek düze olması sayesinde direk montajı yapılabilmektedir.

#### **4.1.4. Dördüncü İşyeri**

Haberleşme sabit telefon hattı ve sızıntı besleyici altyapılı telsizler ile yapılmaktadır. Sabit telefonlar sığınma odası ve yemekhane gibi belirli noktalarda bulunmaktadır. Kablosuz haberleşme ocağın her noktasında bulunan sızıntı besleme kablosu sayesinde yapılabilmekte olup, ocak içi veya dışı ile iletişim kurulabilmektedir.

Takip sistemi olarak manuel ve elektronik olarak iki sistem beraber uygulanmaktadır. Manuel sistemde defter uygulaması yapılmaktadır. Sistem, radyo frekans tanımlama ve alınan sinyal gücüne göre tanımlama teknolojilerini birlikte kullanmaktadır. Ocağın her noktasında bulunan



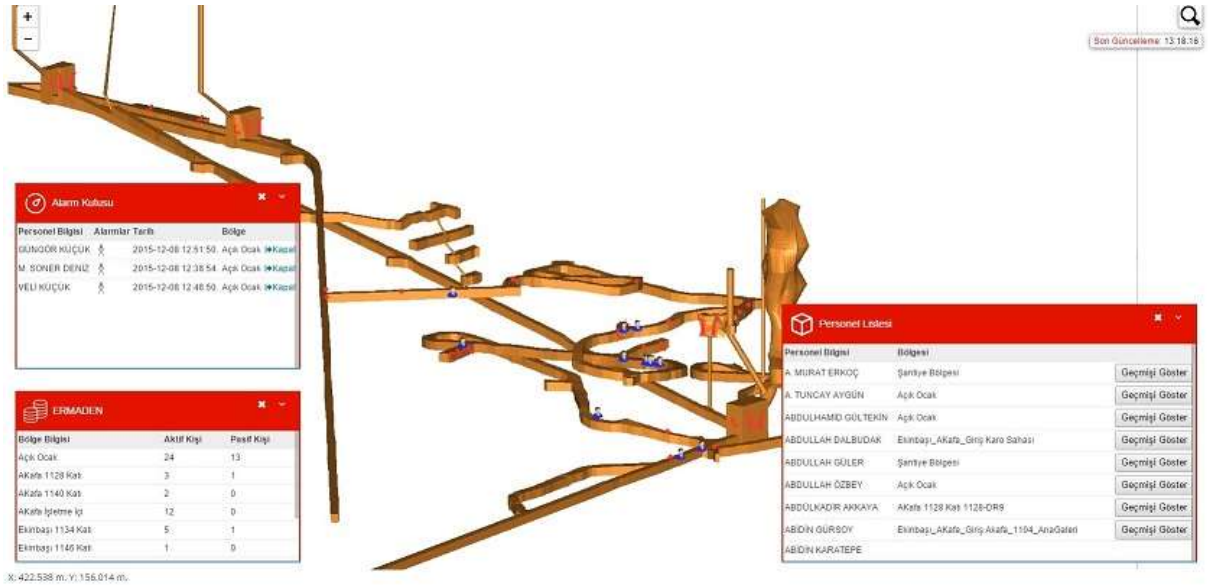
okuyucular sayesinde anlık ve hareketli olarak takip yapılmaktadır. Konum saptama hassaslığı  $\pm 3$  metredir. Veri alış-veriş periyodu 10 saniyedir. Konum ve hareket yönünü hesaplamak için sistemde 1-1,5 dakikalık gecikmeyle veri işlenmektedir. Okuyucularda sesli ve ışıklı uyarı sistemi bulunmaktadır. Resim 4.12’de gösterildiği üzere, izleme merkezinden verilen komut ile yeraltında bulunan tüm okuyuculara uyarı gönderilebildiği gözlemlenmiştir.



**Resim 4.12. Yeraltında bulunan okuyucu**

Sistemde alternatif bağlantı hatlarının bulunduğu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı herhangi bir okuyucu bozulması veya göçük meydana gelmesi halinde sistem alternatif yoldan veri aktarımını sürdürerek kaza sonrasında çalışanların takibine olanak sağlamaktadır.

Takip sisteminin yazılımı web tabanlı olup izleme ekranına (Şekil 4.3) her yerden erişim imkânı bulunmaktadır. Yazılımın çeşitli raporlama ve alarm özellikleri bulunmaktadır. Vardiya süresini aşan çalışan olduğunda sistem alarm vermektedir. Takip sistemi gaz izleme ve diğer sistemlerle birlikte çalışmamaktadır. Ancak istendiği takdirde sistemin alt yapısı uyumludur. Üretici firma tarafından yapılan sinyal yayılım testleri sonrası okuyucuların konumlandırılması optimize edilerek montajları yapılmıştır.



**Şekil 4.3. Takip sistemi izleme ekranı**

Resim 4.13'te gösterildiği üzere etiketlerde acil durum butonu bulunmaktadır. Butona basıldığı takdirde izleme merkezine uyarı gelmektedir. İzleme odasından etiketlere alarm verildiği takdirde etiket titreşim ve ışıklı uyarı vermektedir. Ayrıca etiketlerde hareket sensörü bulunmaktadır. Çalışanın belirlenen süreden fazla hareketsiz kalması veya 1,5 metre yükseklikten düşmesi durumunda izleme merkezine uyarı gelmektedir.



**Resim 4.13. Takip sisteminde kullanılan etiketler**

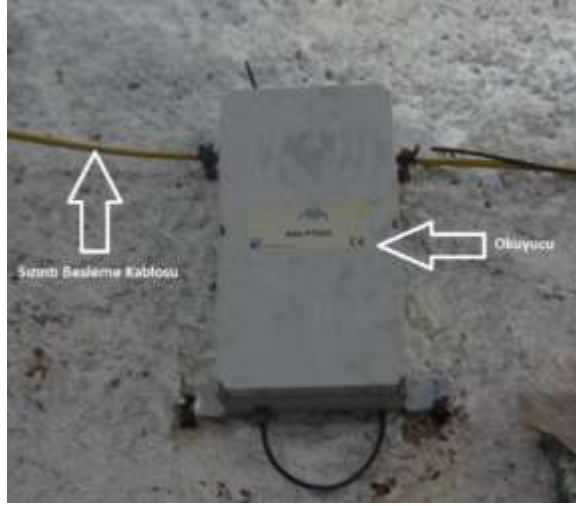
#### 4.1.5. Beşinci İşyeri

Haberleşme sabit telefon hattı ve sızıntı besleyici altyapılı telsizler ile yapılmaktadır. Sabit telefonlar sığınma odası ve yemekhane gibi belirli noktalarda bulunmaktadır. Kablosuz



haberleşme, ocağın her noktasında bulunan sızıntı besleme kablosu sayesinde ocak içi veya dışı ile çift yönlü olarak sağlanabilmektedir.

Takip sistemi olarak manuel ve elektronik olarak iki sistem beraber uygulanmaktadır. Manuel sistemde defter ve lamba kayıt uygulamaları yapılmaktadır. Elektronik takip sistemi, haberleşme sisteminin altyapısını üzerinden çalışmaktadır. Sistem radyo frekans tanımlama teknolojisini kullanmaktadır. Sistem okuyucu (Resim 4.14), etiket, güç kaynağı, sızıntı besleyici kablo, sunucu ve izleme odasından oluşmaktadır. Ocağın her yerinde takip yapılmamakta olup katlarda bulunan okuyucular sayesinde bölgesel takip yapılmaktadır. Okuyucunun kapsama alanı 30 metredir. Veri alış-veriş periyodu 1 dakikadır.



**Resim 4.14. Yeraltında bulunan okuyucu**

Sistemde alternatif bağlantı hattı bulunmadığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı herhangi bir okuyucunun bozulması veya göçük meydana gelmesi halinde sistem çalışanların takibine olanak sağlamamaktadır. Etiket, Resim 4.15’te gösterildiği üzere madenci lambasına monte edilmiştir.



**Resim 4.15. Madenci lambasına monte edilen etiket**

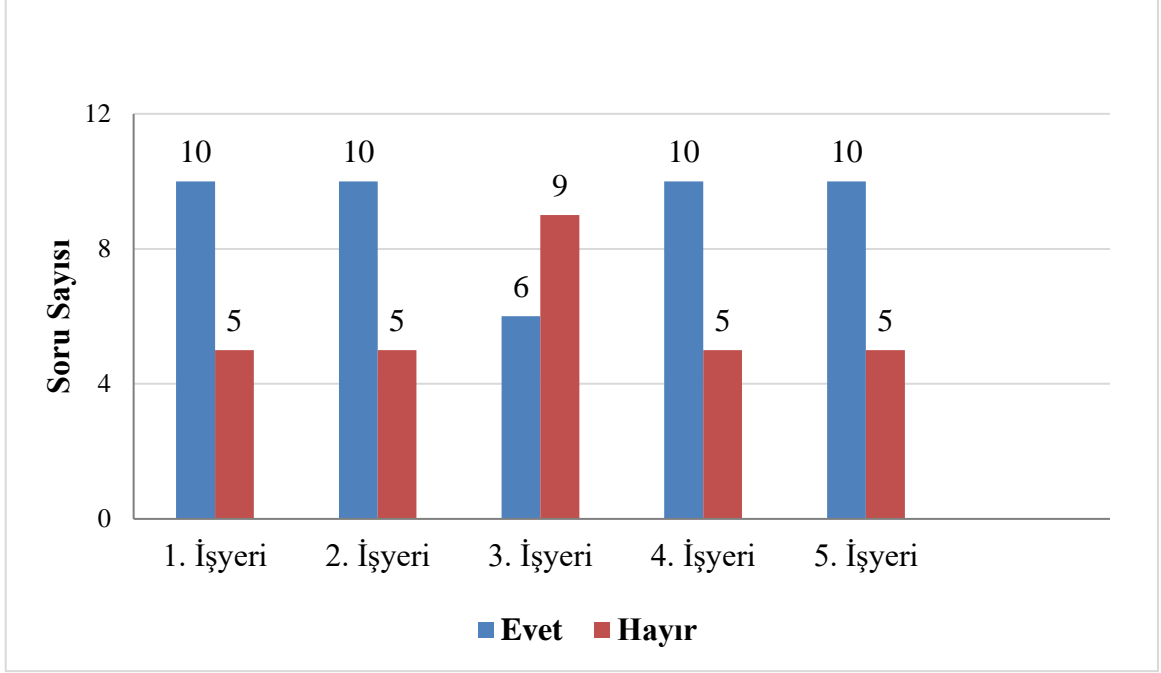
Takip sistemi izleme merkezi kuyu operatör bölümünde ve lambahanedede bulunmaktadır. Yazılımın raporlama bölümünde, çalışanların sadece okuyucu bölgelerinde bulunduğu anların raporu alınabilmektedir. Alarm veya komut özelliği bulunmamaktadır. Ancak yazılım altyapısına söz konusu özelliklerin eklenmesi mümkün olup gelecekteki versiyonlarında eklenebileceği belirtilmiştir. Haberleşme, takip ve gaz izleme sistemleri aynı alt yapı sızıntı besleme kablosu üzerinden çalışmaktadır. Üretici firma tarafından yapılan sinyal yayılım testleri sonrası okuyucuların konumlandırılması optimize edilerek montajları yapılmıştır.

## **4.2. KONTROL LİSTESİ İLE ELDE EDİLEN VERİLER**

Saha gözlemi esnasında uygulanan kontrol listeleri ile toplanan veriler iki başlıkta incelenmiştir.

### **4.2.1. Haberleşme Sistemi**

Uygulanan kontrol listesi 15 sorudan oluşmaktadır. 5 maden işletmesinde yapılan gözlem sonucu elde edilen veriler Grafik 4.2 ve Tablo 4.5'te gösterilmektedir.



**Grafik 4.2. 5 maden işletmesinde haberleşme sistemi ile ilgili uygulanan kontrol listesi kapsamında elde edilen veriler**

**Tablo 4.5. Haberleşme Sistemi Kontrol Listesi Sonuçları**

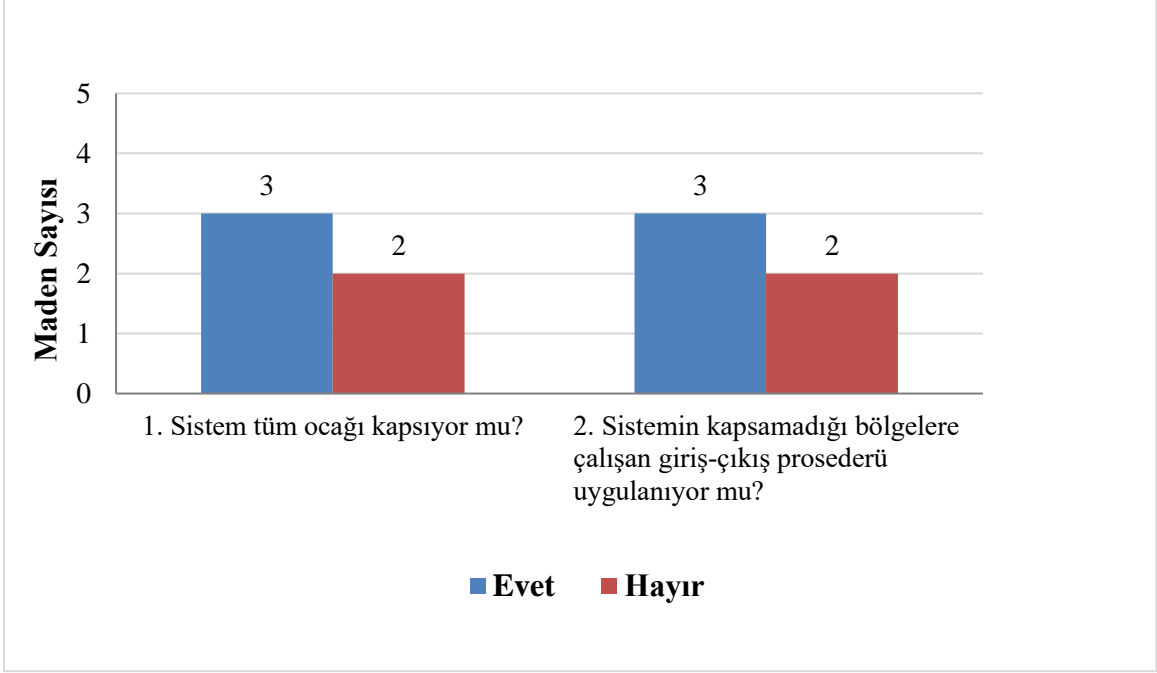
Haberleşme Sistemi Kontrol Listesi		Evet	Hayır
1	Sistem tüm ocağı kapsıyor mu?	3	2
2	Sistemin kapsamadığı bölgelere çalışan giriş-çıkış prosedürü uygulanıyor mu?	3	2
3	Çalışanın üzerinde taşıyabileceği kablosuz haberleşme cihazı var mı?	5	0
4	Haberleşme cihazı ile iki yönlü sesli veya yazılı iletişim kurabiliyor mu?	5	0
5	Sistem altyapısı her an çalışmayı sürdürebilecek şekilde mi tasarlanmıştır? (Sistemin alternatif rotalarla kurulu altyapısı)	1	4
6	İzleme merkezinden haberleşme cihazına gönderilecek sinyal ile ortam gürültüsünden ayırt edilebilecek şekilde sesli, yazılı mesaj, ışık veya titreşim şeklinde ikaz verilebiliyor mu?	1	4
7	Sistemde arıza meydana gelirse uyarı veriyor mu?	2	3
8	Sistem maden elektriği kesildikten itibaren en az 24 saat çalışabiliyor mu?	0	5

<b>Haberleşme Sistemi Kontrol Listesi</b>		<b>Evet</b>	<b>Hayır</b>
9	Kablosuz haberleşme cihazları en az 12 saat çalışabiliyor mu?	5	0
10	İzleme merkezindeki ve yeraltında bulunan çalışanlara acil durum anında haberleşme prosedürü eğitimi verildi mi?	4	1
11	Sistem kaza sonrasında incelenmek üzere kayıtları tutuyor mu?	2	3
12	Sistem ekipmanlarının periyodik bakım ve kontrolleri yapılıyor mu?	5	0
13	Sinyal yayılım testleri yapıldı mı?	3	2
14	Sinyal yayılımını etkileyen ve sistemin çalışmasını etkileyen faktörler belirlendi mi?	3	2
15	Sistem Acil Durum Eylem Planına dâhil edildi mi?	4	1

İşyerlerinde bulunan haberleşme sistemlerinde olması gereken asgari özellikler gözlemlenmiştir. Uygulama yapılan işletmelerin hepsinde aşağıdaki hususlar;

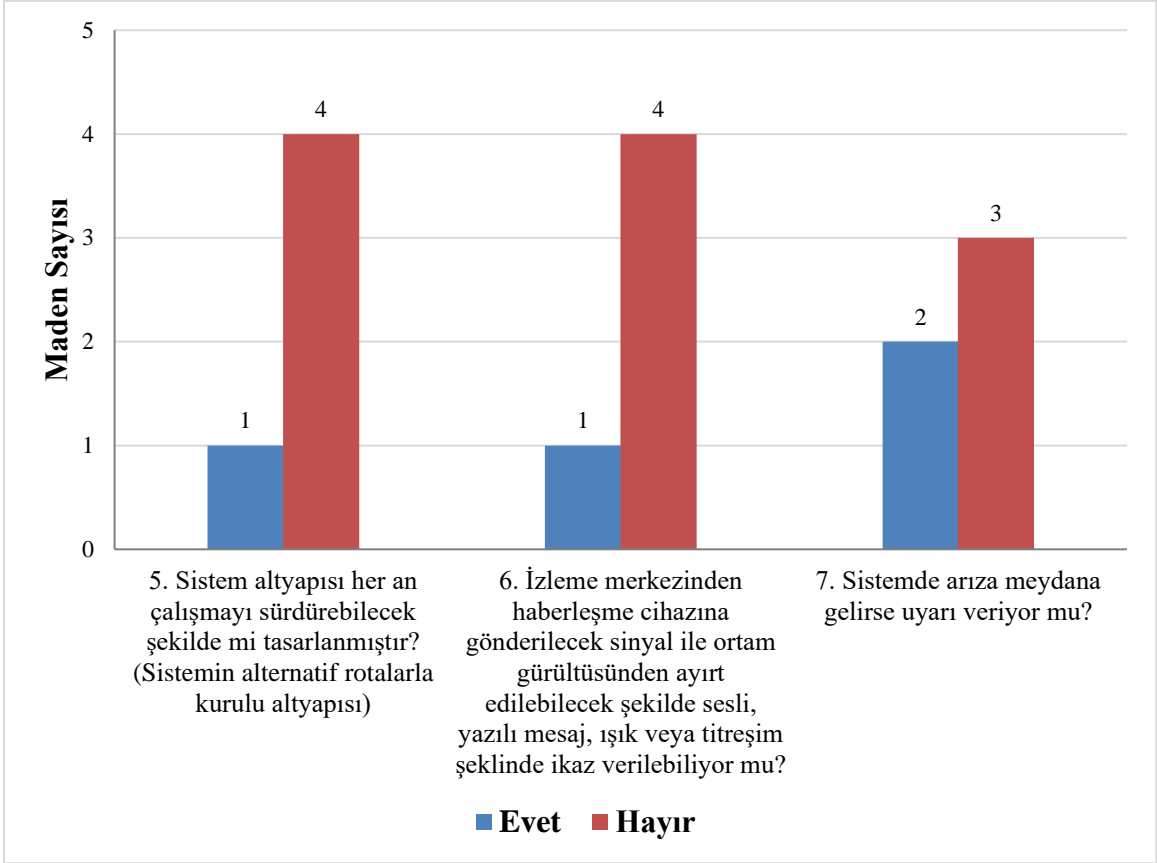
- Çalışanın üzerinde taşıyabileceği kablosuz haberleşme cihazının bulunduğu,
- Haberleşme cihazı ile iki yönlü sesli ve/veya yazılı iletişim kurabildiği,
- Kablosuz haberleşme cihazlarının 12 saat çalışabildiği,
- Sistemde bulunan ekipmanların belirli aralıklarla bakım ve kontrollerinin yapıldığı,

tespit edilmiştir.



**Grafik 4.3. Sistemin kapsama alanına ilişkin sorular**

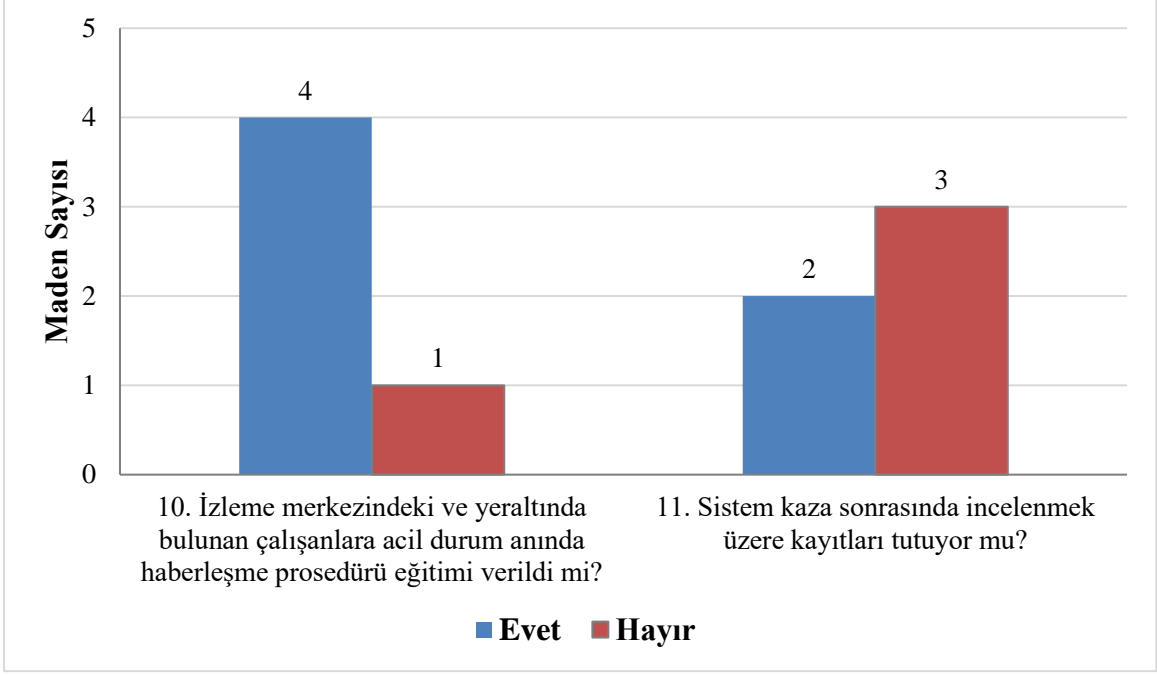
Madenlerin dinamik yapısı ve mesafe olarak geniş alanlara yayılması dikkate alındığında ocağın her noktasında kablosuz haberleşmenin sağlanabilmesi işletme verimliliğini artırmasının yanı sıra acil durum yönetimde de önemli bir araçtır. Bu itibarla Grafik 4.3'te gösterildiği üzere gözlem yapılan işyerlerinin 3'ünde kablosuz haberleşme sistemi işletmenin bütününe kapsamakta iken diğer 2'sinde sistem altyapısının bulunduğu alanları kapsadığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde ocağın her noktasını kapsamayan 2 işletmede, kapsama alanı dışındaki yerlere giriş-çıkış prosedürü uygulanmamaktadır.



**Grafik 4.4. Alternatif bağlantı altyapısı ve sistemin uyarı özellikleri ile ilgili sorular**

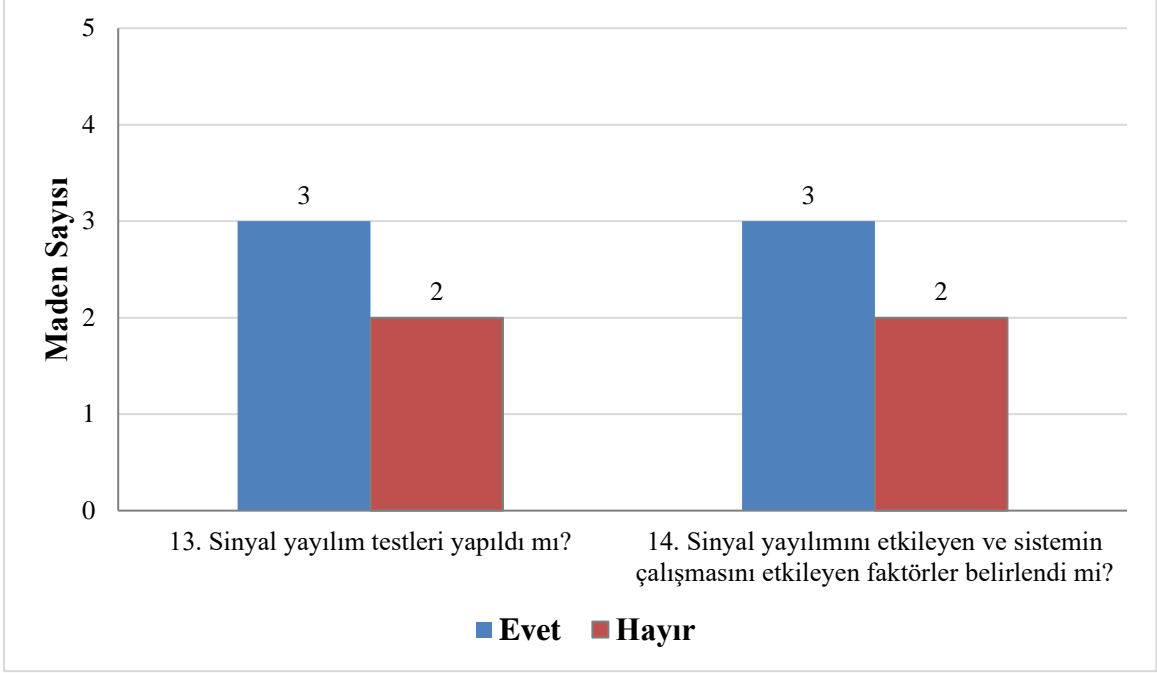
Haberleşme sisteminin acil durumlarda işlevini sürdürebilecek kapasiteye sahip olması acil durumun etkili bir şekilde yönetilebilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Sistemin çalışmayı sürdürebilmesi için alternatif bağlantı yollarının olması gerekmektedir. Gözlem yapılan madenlerin sadece birinde haberleşme sisteminin bu özelliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde işletmelerde bulunan sistemlerden birinde normal haberleşme işlevinden ayrı olarak cihaza alarm gönderilebilmektedir. Sistemin herhangi bir unsurunda meydana gelebilecek arıza söz konusu olduğunda uyarı vermesi, sistemin sürekli çalışır vaziyette olması bakımından önemlidir. İncelenen sistemlerden ikisinin bu özellikte olduğu belirlenmiştir (Grafik 4.4).

Gözlem yapılan sistemlerden hiçbirinin elektrik kesintisi durumunda 24 saat çalışabilecek güç kaynağına sahip olmadığı görülmüştür. Sistem altyapısının çalışmadığı noktada, kablosuz cihazlarında çalışmayacağı unutulmamalıdır. Ancak kablosuz haberleşme cihazlarında bulunan bataryaların hepsi 12 saat çalışabilmektedir.



**Grafik 4.5. Acil durum yönetimi ve haberleşme kayıtları ile ilgili sorular**

Haberleşmenin doğru ve etkin yapılması acil durumun meydana geldiği ilk dakikalarda hayati öneme sahiptir. Bu itibarla acil durumlarda haberleşmenin önceden hazırlanmış bir plan dâhilinde yapılması ve çalışanlarında bu plan doğrultusunda eğitilmesi gerekmektedir. İnceleme yapılan maden işletmelerinin üçünde izleme merkezinde ve yeraltında bulunan çalışanlara acil durum ile ilgili ‘Haberleşme Prosedürü’ eğitimi verildiği belirlenmiştir. Haberleşme kayıtlarının tutulmasının, işletmede meydana gelebilecek kaza veya ramak kala olayın sonrasında, bu kayıtların incelenmesi ile olayın nedenlerinin belirlenebilmesine önemli katkıları olacaktır. Saha gözleminde bu sistemlerden ikisinin haberleşme kayıtlarını dijital olarak arşivlediği, diğer sistemlerin kayıt tutmadığı görülmüştür (Grafik 4.5).



**Grafik 4.6. Haberleşme sistemi sinyal yayılımına dair sorular**

Haberleşme ve takip sistemleri, radyo sinyallerinin iletilmesi ve alınması prensibiyle çalışmaktadır. Sinyaller yeraltında birçok etken nedeniyle yerüstünde olduğu gibi yayılamamaktadır. Bunun nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

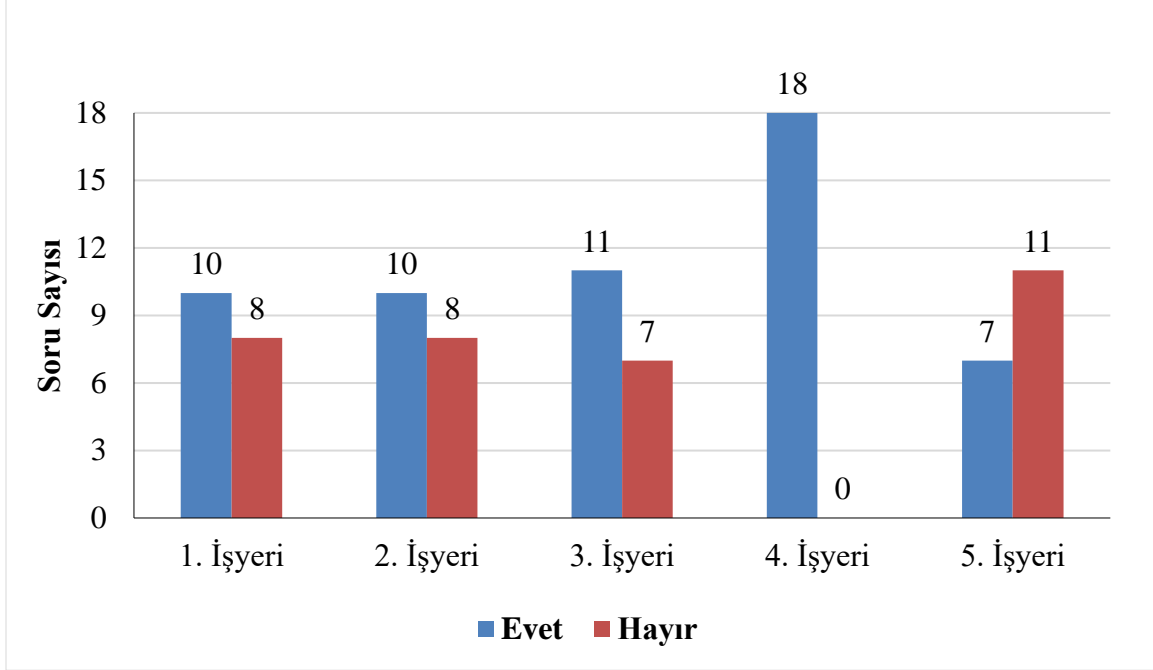
- Galeri açıklıklarının dar olması,
- Kayaç yapısının içeriği (İletkenlik özelliği),
- Galerilerde bulunan ondülasyonlar ve dönüşler,
- Galeri içerisinde bulunan monoray, tamburlu kesici, nakliye bandı, havalandırma tüpleri gibi metal içerikli ekipmanların radyo sinyallerini radyasyona dönüştürerek dağıtması,

Yukarıda sıralanan nedenlerden dolayı radyo sinyallerinin yayılımı her madende farklılık gösterebilmektedir. Dolayısıyla sistemin düzgün bir şekilde çalışabilmesi için kurulum yapılmadan önce sinyal yayılım testleri yapılarak madene özgü karakteristiklerin ve sinyal yayılımını etkileyen diğer unsurların belirlenmesi gerekmektedir. Saha çalışması yapılan madenlerden dördünde yayılım testlerinin yapıldığı gözlemlenmiştir. Ancak bu madenlerin üçünde sistemin çalışmasını etkileyen faktörler belirlenerek kurulum gerçekleştirildiği tespit edilmiştir (Grafik 4.6).



#### 4.2.2. Takip Sistemi

Takip sistemi için uygulanan kontrol listesi 18 sorudan oluşmaktadır. 5 maden işletmesinde yapılan gözlem sonucu elde edilen veriler Grafik 4.7 ve Tablo 4.6'da gösterilmektedir.



**Grafik 4.7. 5 maden işletmesine takip sistemi ile ilgili uygulanan kontrol listesi kapsamında elde edilen veriler**

**Tablo 4.6. Takip Sistemi Kontrol Listesi Sonuçları**

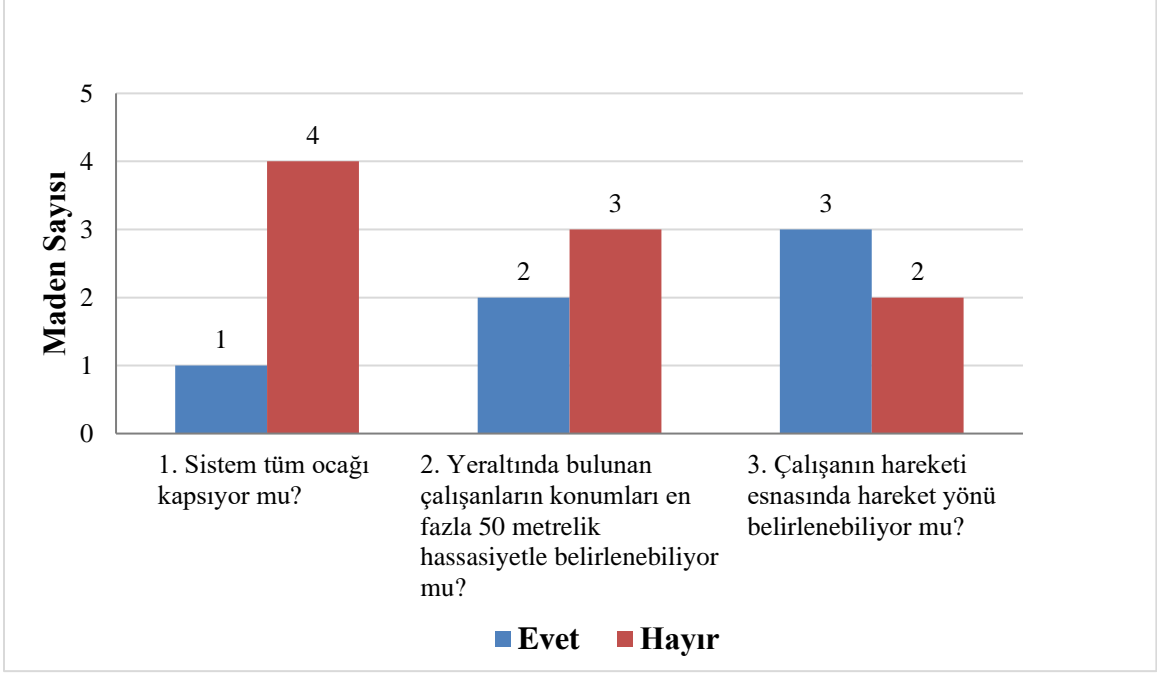
Takip Sistemi Kontrol Listesi		Evet	Hayır
1	Sistem tüm ocağı kapsıyor mu?	1	4
2	Yeraltında bulunan çalışanların konumları en fazla 50 metrelik hassasiyetle belirlenebiliyor mu?	2	3
3	Çalışanın hareketi esnasında hareket yönü belirlenebiliyor mu?	3	2
4	Sistem maden elektriği kesildikten itibaren en az 24 saat çalışabiliyor mu?	1	4
5	Çalışanın üzerinde bulunan etiketin batarya durumu izleme merkezinden izlenebiliyor mu?	4	1

Takip Sistemi Kontrol Listesi		Evet	Hayır
6	Sistem ekipmanlarının çalışıp çalışmadığı izleme merkezinden izlenebiliyor mu?	4	1
7	Sistemin yeraltında bulunan herkesi izliyor mu? (Yeraltında bulunan çalışanlara ek olarak, ziyaretçiler, tedarikçi firmaların çalışanları vb.)	5	0
8	Konum verileri 60 saniyede bir güncelleniyor mu?	5	0
9	Sistem tarafından tutulan kayıtlar 1 yıl süreyle saklanıyor mu?	5	0
10	Sistemin yeraltında bulunan çalışanların konum ve zaman verilerini raporlayabiliyor mu?	5	0
11	Sistem alt yapısı her an çalışmayı sürdürebilecek şekilde mi tasarlanmıştır? (Sistemin alternatif rotalarla kurulu altyapısı)	2	3
12	Sistemin periyodik bakım ve kontrolleri yapılıyor mu?	5	0
13	İzleme merkezinden etiketlere acil durum mesajı gönderebiliyor mu? (Ses, mesaj, ışık, titreşim vb.)	2	3
14	Etiketler izleme merkezine ikaz gönderebiliyor mu?	2	3
15	Etiketlerde sensör var mıdır?	2	3
16	Sinyal yayılım testleri yapıldı mı?	3	2
17	Sinyal yayılımını etkileyen ve sistemin çalışmasını etkileyen faktörler belirlendi mi?	3	2
18	Sistem Acil Durum Planına dâhil edildi mi?	2	3

Uygulama yapılan işletmelerin hepsinde aşağıdaki hususlar;

- Sistemin yeraltında bulunan herkesi izleyebilecek kapasiteye sahip olduğu (Yeraltında bulunan çalışanlara ek olarak, ziyaretçiler, tedarikçi firmaların çalışanları vb.),
- İzleme ekranının en fazla 60 saniyede bir güncellendiği,
- Sistem tarafından tutulan kayıtların 1 yıl süreyle saklanabildiği,
- Sistemin yeraltında bulunan çalışanların konum ve zaman verilerini raporlayabildiği,
- Sistemde bulunan ekipmanların belirli aralıklarla bakım ve kontrollerinin yapıldığı,

tespit edilmiştir.

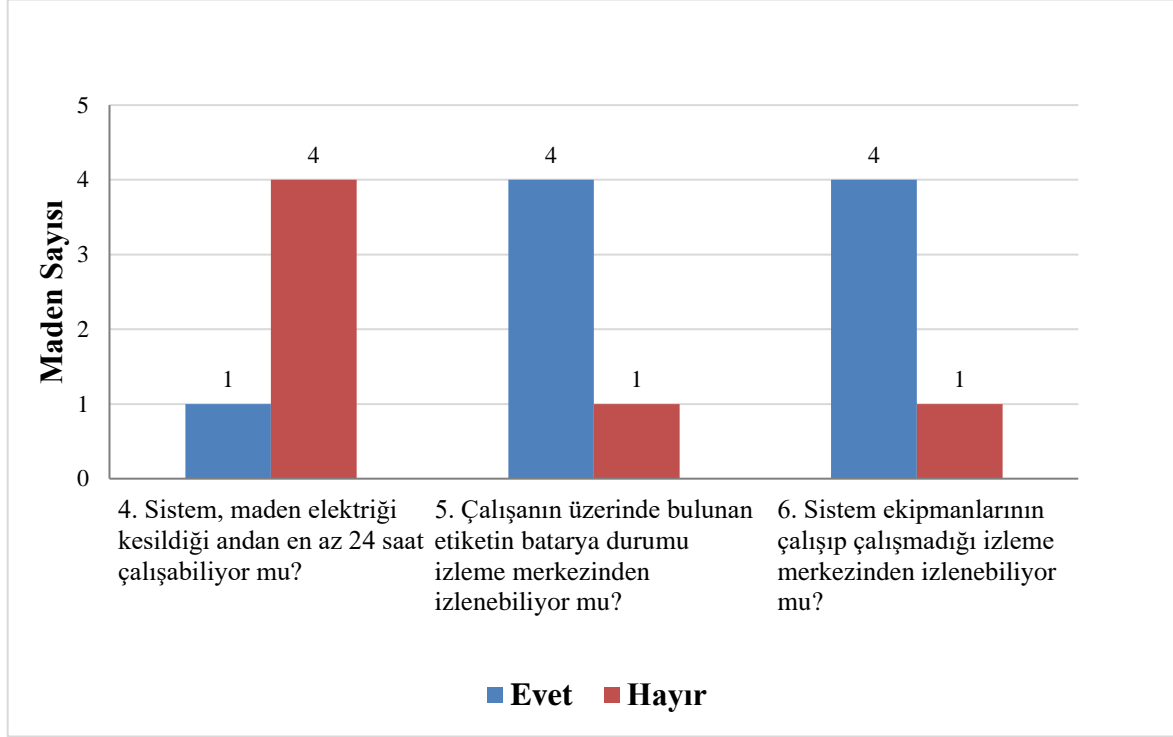


**Grafik 4.8. Takip sisteminin kapsamı, hassasiyeti ve takip kabiliyetine ilişkin sorular**

Yeraltında çalışanların buldukları yerlerin doğru bir şekilde yerüstünden takip edilebilmesi için sistemin çalışanların olabileceği tüm bölgeleri kapsamı gerekmektedir. Gözlem yapılan işyerlerinin birinde takip sisteminin tüm ocağı kapsadığı belirlenmiştir (Grafik 4.8).

Saha uygulamasında konum hassasiyet testi gerçekleştirilmiştir. Test iki yöntemle yapılarak sonuçların ortalaması alınmıştır. İlk yöntemde yeraltında belirli aralıklarla konum ve zaman kaydı tutulmuştur. Daha sonra sistemden hareket raporu alınarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. İkinci yöntemde ise izleme merkezinden yeraltında bulunan biri ile anlık iletişim kurularak konum ve zaman bilgisi kayıt altına alınmıştır. Aynı şekilde takip sisteminden rapor alınarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Burada önemli bir nokta sistemin takip yöntemine göre hassasiyetinin değişmesidir. Sistem bölgesel takip yapıyorsa, izleme hassasiyeti okuyucunun kapsama alanı olacaktır. Etiket okuyucunun kapsama alanında olmadığı yerlerde hassasiyetten söz edilemeyecektir. Bölgesel takip yapan sistemlerde, etiketin konumunun en son geçmiş olduğu okuyucunun kapsama alanında gösterildiği gözlemlenmiştir. Uygulama yapılan işletmelerin ikisinde 50 metre hassasiyetle anlık takip yapılabilmektedir (Grafik 4.8). Ancak sistem altyapısı sadece birinde tüm ocağı kapsamaktadır. Bu nedenle diğer işletmede sistem altyapısının bulunduğu bölgede anlık takip yapılabildiği, diğer bölgelerin izlenemediği

görülmüştür. Grafik 4.8’de gösterildiği üzere inceleme yapılan 3 işyerinde hareket esnasında hareket yönünün belirlendiği gözlemlenmiştir.

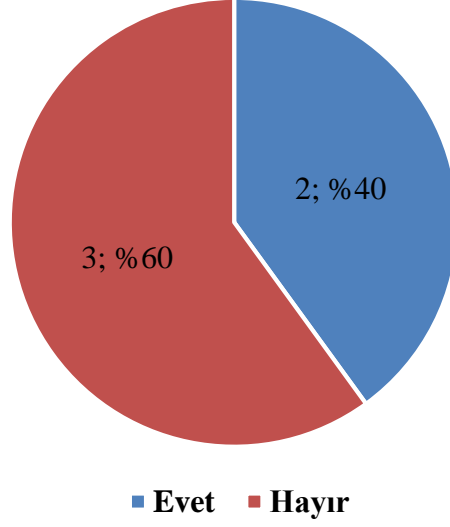


**Grafik 4.9. Sistemi batarya ömrü ve arıza özelliklerine ilişkin elde edilen veriler**

Yeraltı madenlerinde yaşanabilecek bir kaza sonrası acil durum yönetiminin ve kurtarma çalışmalarının etkin bir şekilde yürütülebilmesi için haberleşme sisteminin yanı sıra takip sisteminin de çalışır durumda olması hayati önem taşımaktadır. Grafik 4.9’da gösterildiği üzere incelenen maden işletmelerinde bulunan takip sistemlerinden sadece biri elektrik kesildiği andan itibaren 24 saat çalışabilmektedir.

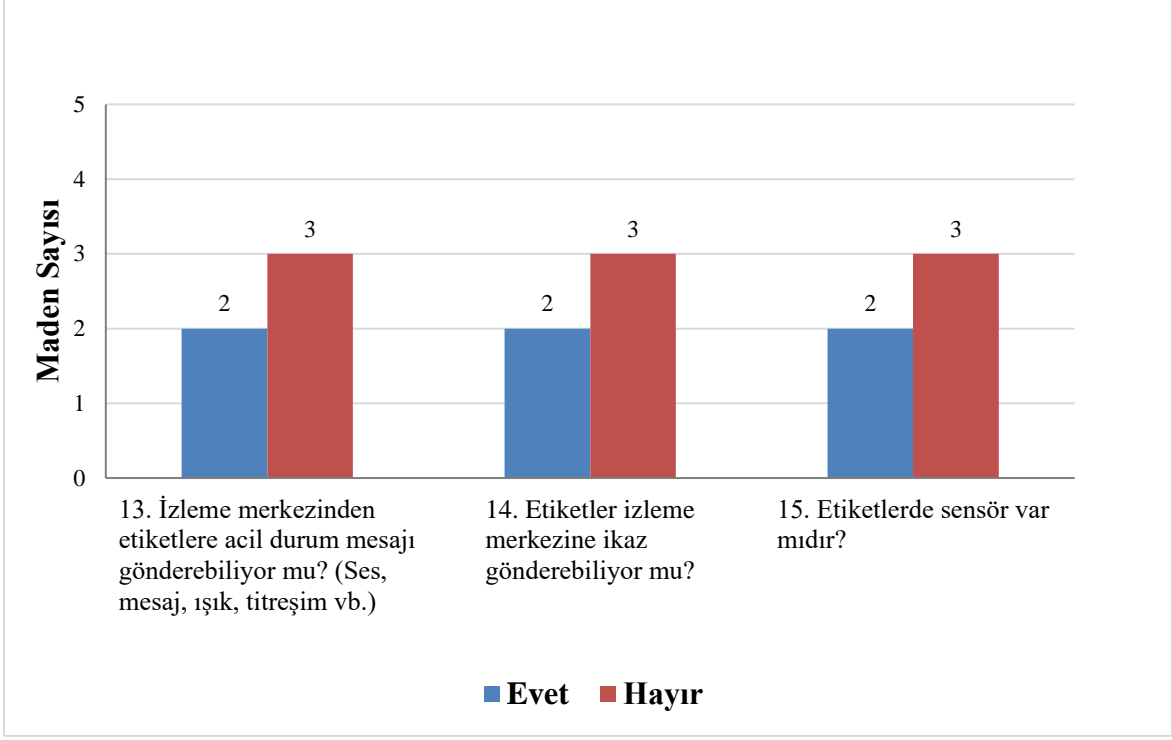
Çalışanların takibinin yapılabilmesi için üzerlerinde taşıdıkları etiketlerin her vardiyada çalışır durumda olması gerekmektedir. Etiketın bozulması veya bataryasının bitmesi durumunda çalışanın sistem üzerinden takibi yapılamayacaktır. Aynı şekilde sistem ekipmanlarından birinde meydana gelebilecek bir arıza durumunda sistemin çalışmasını etkileyeceği açıktır. Bu sebeple sistemde bulunan ekipmanların batarya durumlarının izleme merkezinden takip edilebilmesi ve herhangi bir ekipmanda meydana gelebilecek arızanın izleme ekranına uyarı vermesi, sistemin işletilebilirliği açısından çok önemlidir. Grafik 4.9’da gözlem yapılan işyerlerinden dördünde bu özelliklerin bulunduğu gösterilmektedir.

**11. Sistem altyapısı her an çalışmayı sürdürebilecek şekilde mi tasarlanmıştır?**



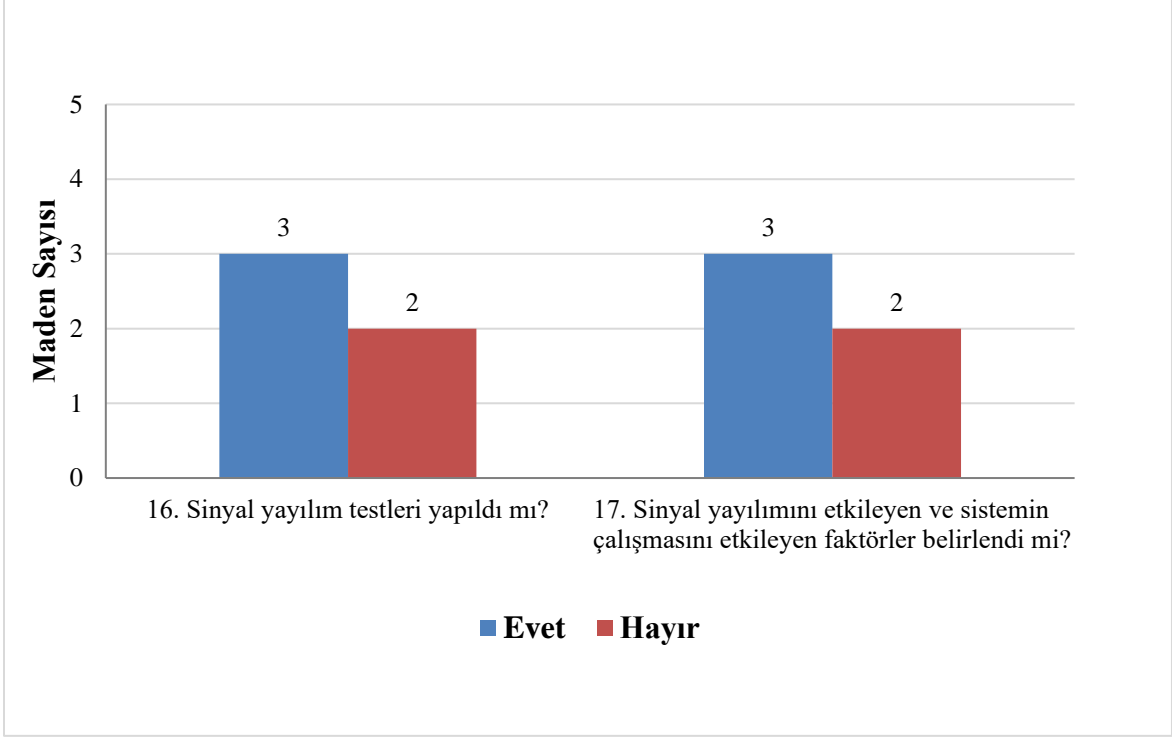
**Grafik 4.10. Takip sistemi altyapısında alternatif bağlantı yollarının olması**

Takip sisteminin acil durumlarda işlevlerini sürdürebilecek kapasiteye sahip olması, Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği hükümleri doğrultusunda gerekmektedir. Saha gözlemi esnasında sistem ekipmanlarının kolayca hasar aldığı görülmüştür. Bu nedenle işletmelerdeki sistemlerin söz konusu durumlara karşı korumalı olmadığı görülmüştür. Sistemin çalışmayı sürdürebilmesi için alternatif bağlantı yollarının olması gerekmektedir. Ancak böylece sistemin madende meydana gelebilecek göçük, su baskını, patlama ve yangın gibi hallerde çalışmayı sürdürebilmesi sağlanacaktır. Grafik 4.10'da gösterildiği üzere gözlem yapılan işyerlerinden 2'sinin bu özelliğe sahip olduğu görülmüştür.



**Grafik 4.11. Takip sisteminde bulunan etiketlere ilişkin sorular**

Yeraltında bulunan her çalışana haberleşme cihazının sağlanması hem işletme açısından hem de maliyet açısından uygun olamamaktadır. Ancak takip sisteminde kullanılan etiketler sayesinde yeraltında bulunan tüm çalışanlar ile iletişim kurulabilmektedir. Etiketlerde bulunan acil durum tuşu ve uyarı özelliği sayesinde bir acil durum anında iki yönlü olarak uyarı gönderilebilmektedir. Grafik 4.11’de gösterildiği üzere, gözlem yapılan işyerlerinin ikisinde bulunan etiketlerde acil durum tuşunun ve uyarı özelliklerinin bulunduğu görülmüştür. Ayrıca etiketlerde bulunan hareket sensörü sayesinde belirli bir süreyi aşan hareketsizlik halinde etiketten izleme merkezine uyarı gönderilebilmektedir. Hareketsiz kalma süresi sistem üzerinden belirlenebilmektedir. İncelenen sistemlerden ikisinde sensör bulunmaktadır.



**Grafik 4.12. Takip sistemi sinyal yayılımına dair sorular**

Haberleşme sistemleri gibi takip sistemleri de radyo sinyallerinin iletilmesi ve alınması prensibiyle çalışmaktadır. Bu yüzden haberleşme bölümünde anlatılan etkenler, takip sisteminin çalışmasını da etkilemektedir. Dolayısıyla sistemin düzgün bir şekilde çalışabilmesi için kurulum yapılmadan önce sinyal yayılım testleri yapılarak, madene özgü karakteristiklerin ve etkileyen diğer unsurların belirlenmesi gerekmektedir. Saha çalışması yapılan madenlerden üçünde takip sistemi için yayılım testlerinin yapıldığı ve sistemin çalışmasını etkileyen faktörler belirlenerek kurulum gerçekleştirildiği tespit edilmiştir (Grafik 4.12).

Personel takip sistemlerinin esas kullanım amacı yeraltında meydana gelebilecek acil durumlardır. Bu doğrultuda acil durum planları hazırlanırken sistemin bu plana dahil edilmesi gerekmektedir. Gözlem yapılan işletmelerden ikisinde personel takip sisteminin acil durum planına dahil edildiği belirlenmiştir. Diğer iki işletmede sistemin yakın zamanda kurulmuş olması nedeniyle henüz plana dahil edilmediği bilgisi alınmıştır.

## 5. TARTIŞMA

Yeraltı madenlerinde personel takip ve haberleşme sistemleri uygulama noktasında diğer endüstrilere nazaran daha ilkel düzeydedir. Söz konusu sistemlerin doğru ve etkin bir şekilde kullanılması işyerinde çalışanların sağlığının ve güvenliğinin tesis edilmesi açısından hayati öneme sahiptir. Yeraltı maden işletmelerinde personel takip ve haberleşme sistemlerinin uygulanma düzeyine dair gerçekleştirilen saha çalışması sonucunda çeşitli veriler elde edilmiştir. Tez çalışması kapsamında hazırlanan kontrol listesi ile işyerlerinin kendi iç uygunluklarını denetlemesi de mümkündür. Böylelikle bu kontrol listesinin, ilgili mevzuatın işyerlerinde uygulanmasında tüm yükümlülüklerin yerine getirilmesi bakımından fayda sağlayabilecek bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

Haberleşme ve takip sistemlerinin acil durumlarda çalışmalarını sürdürebilmesi için söz konusu sistemlerin alternatif bağlantı altyapısının olması ve harici güç kaynaklarının bulunması gerekmektedir. Bu çalışmada uygulanan kontrol listesindeki sorulardan biri olan hem haberleşme hem de takip sistemlerinin alt yapısının her an çalışmayı sürdürebilecek şekilde tasarlanması yani diğer bir deyişle sistemlerin alternatif rotalarla kurulu altyapısının olması, acil durumlar açısından en önemli ölçüttür. NIOSH ve MSHA tarafından yapılan çalışmalara bakıldığında sistemin gündelik işlerde kullanımından ziyade kaza sonrası durumlarda çalışması gerektiği üzerine yoğunlaşmıştır. Yapılan saha çalışmasında haberleşme sistemi altyapısı olarak beş işletmeden birinde, takip sistemi alt yapısı olarak da ikisinde bulunan sistemlerin bu özellikte olduğu gözlemlenmiştir. Yeraltında göçük, yangın veya patlama gibi durumların meydana gelmesi halinde, bu sistemdeki ekipmanların bahsi geçen durumlara karşı korunmalı olmadığı görülmüştür. Üretici firmalarla yapılan görüşmelerde de bahsi geçen durumlara dayanıklı ekipmanında üretilemeyeceği belirtilmiş olmasına rağmen, teknolojiye meydana gelecek gelişmelerle çok daha dayanıklı ve güvenli sistemler üretilebilecektir. Tez çalışması kapsamında, sistemin her durumda çalışmayı sürdürebilmesinin sadece alternatif bağlantı yollarının kurulmasıyla mümkün olabileceği tespit edilmiştir. Gürtunca [3], NIOSH [13], ve MSHA [31] tarafından yapılan çalışmalarda, haberleşme ve takip sistemlerinin alternatif bağlantı altyapıları kurularak her an çalışabilmesinin mümkün olacağı vurgulanmıştır.

Douglas [17] tarafından yapılan çalışmada, ABD Madenci Yasası yayımlandıktan sonra madenlerde kullanılan teknolojiler incelenmiştir. Sistem seçiminde üretim yöntemlerinin,



çalışan sayılarının, madenin jeolojisinin ve mekanize ekipman kullanımının sistem seçimi üzerinde etkisinin olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, Douglas'ın aksine, Türkiye' de maden işletmelerinin sistem seçiminde kıstas olarak sistemin maliyetinin düşük ve işletilmesinin kolay olmasının baz alındığı görülmüştür. Bu açıdan bakıldığında genel olarak maden işletmelerinin bu sistemleri uygulama noktasında, işletmelerinde iş sağlığı ve güvenliği koşullarını iyileştirmekten ziyade yasal yükümlülükleri yerine getirmeye odaklanıldığı anlaşılmaktadır.

Douglas [17], uzun ayak kömür madenciliğinde ve ara katlı göçertme metodu uygulayan madenlerin geri çekilme ve yer değiştirme işlemleri esnasında, kablosuz alt yapı düğüm tabanlı sistemlerinin kolay montaj-demontaj özelliklerinden dolayı bu sistemleri seçmelerinin, işletme açısından kolaylık sağladığını vurgulamıştır. Yapılan saha çalışmasında, kablo altyapılı sistemlerin montajı ve demontajının çok zor ve zaman alan bir işlem olduğu gözlemlenmiştir. Kablo kullanımını azaltılmasının işletme ve güvenlik açısından önemli katkılarının olduğu görülmüştür. Ancak buradaki en önemli belirleyici unsur cevherin jeolojik durumudur. Söz konusu durum doğrudan galeri boyutlarını etkilemektedir. Galerilerin, düz ve geniş olduğu madenlerde kablosuz altyapılı sistemlerin, düzensiz ve dar olduğu madenlerde kablo altyapılı sistemlerin doğru ve etkin bir şekilde çalıştıkları görülmüştür. Ayrıca Douglas çalışmasında, RSSI teknolojisinde gelen sinyal gücünün çoklu okuyucular vasıtasıyla kıyaslanması sayesinde RFID' ye göre daha hassas konumlama yaptığını belirtmiştir. Bu tez çalışmasında yapılan saha gözlemlerinde RFID teknolojisinde kullanılan okuyucuların yakın konumlandırılmadığı görülmüştür. Bundan dolayı bölgesel takibin yapıldığı ve konum saptama hassasiyetinin 300 metrelere çıktığı saptanmıştır. RSSI teknolojisinin ise  $\pm 5$  metre hassasiyetle konum saptandığı belirlenmiş olup sonuçlar bu açıdan uyumluluk göstermektedir.

Bandyopadhyay [32,33] yaptığı çalışmalarda, yeraltı kömür madenlerinin simetrik olmayan geometrisi, karmaşık jeolojisi, galerilerin düzensiz ve dar olması nedeniyle radyo sinyal yayılımının metalik madenlerdeki gibi olmadığını belirtmiştir. Ayrıca Atmosphere Explosive (ATEX – Patlayıcı Ortam) direktifi gibi patlamayı önleyici yasal düzenlemelerdeki güç sınırlamaları nedeniyle, yüksek frekanslı haberleşme ve takip sistemlerinin kömür madenlerinde uygulanmasının kısıtlı olacağını vurgulamıştır. Bu tez çalışması kapsamında da Bandyopadhyay'ın çalışmalarına benzer şekilde kömür madenlerinde radyo sinyal yayılımının ön görülen şekilde olmadığı, her iki kömür madeninde de kablosuz haberleşme cihazlarının kapsama alanının düştüğü gözlemlenmiştir. Galerilerde ondülasyonların ve daralmaların

olduğu bölgelerde haberleşme ve takip cihazlarının okuyucularla bağlantı kuramadığı tespit edilmiştir.

Mallett ve vd.leri [34] madenciliğin dinamik bir yapıya sahip olduğunu ve sürekli değişen koşullar hakkında anlık bilgi sahibi olunmasının acil durum yönetimi açısından önemini vurgulamışlardır. Gözlem yapılan işyerlerinden üçünde anlık takip yapılabildiği, bunlardan sadece birinde bulunan sistemin tüm ocağı kapsadığı gözlemlenmiştir. Çalışanın bulunduğu katın takibinde ise konum takip hassasiyetinden söz edilemeyecektir. Çünkü kat girişlerinde bulunan okuyucuların kapsama alanı kadar takip yapılmaktadır. Haberleşme ve takip sistemlerinin her ikisi de yeraltında çalışılan her bölgeyi kapsamaması, anlık olarak takibin ve haberleşmenin sağlanması gerekmektedir.

Harwood [25] ve McGraw [35] çalışmalarında, personel takip ve haberleşme sistemlerinin kurulum öncesi ve sonrasında performanslarının standart bir yöntemle değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Sistem kurulum aşamasında, madenin geometrisinin, jeolojik yapısının ve yeraltında kullanılan ekipmanların etkilerinin hesaba katılarak, radyo sinyalinin yayılım özelliklerinin belirlenmesi ile sistem tasarımının gerçekleştirilmesini önermişlerdir. Böylece yeni kurulacak sistemlerin oluşacak maliyetlerinin minimize edilebileceği ve kurulum hatalarının önlenilebileceği belirtilmiştir. Yapılan saha çalışmasında bir maden işletmesinde bahsi geçen kriterlerin dikkate alınmaması, sinyal yayılım testlerinin yapılmaması ve sinyal yayılımını etkileyen faktörlerin belirlenmemesinden dolayı sistemin kapsama alanının planlandığı şekilde olmadığı anlaşılmıştır. Sonuç olarak, ek ekipmanlara ihtiyaç olmasından dolayı ilave yatırım yapılması gerektiği gözlemlenmiştir.

Dünya'da diğer madenlere bakıldığında jeolojik yapılarının ülkemiz madenlerine göre daha düzgün olduğu görülmektedir. Ülkemizde cevher yapısı kıvrımlı ve süreksiz yerleşim göstermektedir. Bu sebeple madenin jeolojik durumu üretim metodunu doğrudan etkilemektedir. Cevherin süreklilik göstermesi ve kalın damarlaşması galeri açıklıklarının geniş ve düz olmasını sağlamaktadır. Böylelikle takip ve haberleşme sistemleri sinyal alış verişini çok daha kolay yapmaktadır. ABD'deki kömür madenlerinde cevher yapısının süreklilik göstermesi, damarların kalın ve düz yapıda olması kablosuz altyapılı sistemlerin uygulanabilirliğini artırmaktadır. Ülkemizde ise birkaç kömür madeni haricinde cevher

yapısından dolayı kablosuz altyapılı sistemlerin uygulanması hem zor hem de maliyetli olmaktadır. Kömür ve metal madenleri ayrı ayrı ele alındığında,

Kömür madenlerinde;

- Galeri kesitlerinin dar ve düzensiz oluşu kablosuz altyapılı sistemlerinin çalışmasını zorlaştırmaktadır. Bu madenlerde söz konusu sistemleri etkili bir şekilde uygulayabilmek için çok sayıda altyapı elemanına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle sistem maliyetlerinin önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir.
- Uzunayak vb. kömür üretim metodunda kablo altyapılı sistemlerin takip ve haberleşmeyi hassas ve verimli bir şekilde yapılmasını sağladığı görülmüştür.
- Kablosuz altyapılı sistemlerin kablolu sistemlere göre güç gereksinimi daha fazladır. Kömür madenlerinde ATEX güç sınırlamalarından dolayı kablolu sistemler daha uygulanabilir olmaktadır.

Metal madenlerinde;

- Galeri kesitlerinin kömür madenlerine göre büyük olmasından dolayı kablosuz altyapılı sistemlerin daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Kesitlerin geniş olması sebebiyle ihtiyaç duyulan okuyucu sayısının da önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak sistem maliyeti de ciddi oranda azalmaktadır.
- Metalik madenlerde güç sınırlaması olmadığından yüksek frekanslı kablosuz altyapılı sistemlerin uygulanmasına olanak sağladığı görülmüştür.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeraltı madenlerinde personel takip ve haberleşme sistemlerinin etkin bir biçimde kullanılabilmesi amacıyla sistemlerin uygulanmasında yapılması gerekenler ve bu sistemlerde olması gereken asgari özellikler belirlenmiştir.

Yeraltında bulunan çalışanların konumlarının her an doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda bölgesel takip yapılmasından ziyade anlık takibin yapılması önem arz etmektedir. Söz konusu sistemler radyo sinyallerinin yayılımı prensibiyle çalışmakta olup yeraltı koşullarının yerüstü koşullarından çok farklı olması sebebiyle sistemlerin katalog değerlerinin yeraltında sağlanamadığı belirlenmiştir. Sistemlerin kurulum veya taşınması esnasında sinyal yayılım testlerinin yapılması, sistemlerin hem etkin bir şekilde çalışmasını hem de ek maliyetlerin önüne geçilmesini sağlayacaktır. Her madenin kendine özgü karakteristik özellikleri bulunmaktadır. Bu doğrultuda işyerlerinin sistem seçiminde madenlerin üretim yönteminin, jeolojisinin, kullanılan makine ve ekipmanların ve çalışan sayılarının dikkate alınması büyük önem taşımaktadır.

Saha ziyareti yapılan işyerlerinin bazılarında sistem seçiminde mevzuat gerekliliklerini asgari düzeyde yerine getirmek maksadıyla, maliyetin ana seçim kriteri olduğu gözlemlenmiştir. Personel takip ve haberleşme sistemlerinin madenlerde meydana gelebilecek iş kazalarını önleme noktasındaki önemli faydalarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Acil durum esnasında sistemlerin çalışmalarını sürdürebilmesi ancak alternatif bağlantı altyapısının bulunmasıyla sağlanabilmektedir. Maden işletmelerinin sistemlerini bu şekilde tesis etmeleri büyük önem taşımaktadır. Ayrıca oksijenli ferdi kurtarıcı maske kullanımı esnasında kablosuz haberleşme cihazının yazılı mesaj özelliğinin bulunmasının önemli bir avantaj olduğu görülmüştür.

Saha çalışması yapılan 5 maden işletmesinde personel takip ve haberleşme sistemleri ile ilgili literatürden elde edilen bilgiler ışığında geliştirilen çözüm önerileri aşağıda sıralanmıştır:

- Söz konusu sistemler yeraltında çalışanların girebileceği tüm bölgeleri kapsamı gerekmektedir.

- Yeraltında bulunan çalışanların konumları en fazla 50 metrelik hassasiyetle ve hareket yönleriyle birlikte belirlenebilmelidir.
- Yaşanabilecek bir göçük, patlama veya yangın gibi durumlarda sistemlerin çalışmayı sürdürebilmesi için sistem altyapılarının alternatif bağlantı yollarıyla kurulması gerekmektedir.
- Personel takip ve haberleşme sistemlerinde elektriğin kesilmesinden itibaren 24 saat çalışmayı sürdürebilecek şekilde harici güç kaynağı bulunmalıdır.
- Kablosuz haberleşme cihazlarının kesintisiz en az 12 saat çalışabilecek bataryalara sahip olması gerekmektedir.
- Etiketler, herhangi bir acil durum anında izleme merkezine uyarı gönderebilecek ve izleme merkezinden uyarı alabilecek özellikte olmalıdır. Ayrıca etiketlerde hareketsizlik veya düşmeyi algılayacak sensörler bulunmalıdır.
- Etiketlerin batarya durumları izleme ekranından izlenebilmeli ve bataryanın azalması durumunda uyarı vermelidir.
- Personel takip ve haberleşme sistemlerinin ilk kurulumunda veya başka noktalara taşınması esnasında, kurulum yapılacak bölgelerde sinyal yayılım testlerinin yapılması ve radyo sinyallerinin yayılımını etkileyen unsurların belirlenerek bu veriler doğrultusunda kurulumun gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- Personel takip ve haberleşme sistemlerinin herhangi bir unsurunda arıza meydana gelmesi durumunda izleme merkezine uyarı gelmelidir.
- Acil durumlar da çalışanların düzgün ve etkili iletişim kurabilmesi için haberleşme talimatları hazırlanarak sözlü, yazılı ve işaret dili ile haberleşme eğitimleri verilmelidir.
- Personel takip ve haberleşme sistemleri acil durum planlarına dâhil edilerek tatbikatlar gerçekleştirilmeli ve çeşitli senaryolarla sistemin çalışması değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak çözüm önerileri çerçevesinde detay mevzuatın hazırlanması söz konusu sistemlerin uygulanması açısından önem arz etmektedir. İleride yapılacak bir başka çalışmada, personel takip ve haberleşme sistemleri kullanılarak gerçek zamanlı risk değerlendirmesi ve acil durum yönetimi üzerine çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Mine Safety and Health Administration-MSHA, *Sago Mine Information Single Source Page*, <http://arlweb.msha.gov/sagomine/sagomine.asp> (Erişim tarihi: 10/12/2016).
- [2] Bandyopadhyay L.K, Use of Information and Communication Technology in Underground Mines, *CIMFR*, Sayfa:9-10, Dhanbad, 2009.
- [3] Gürtunca R.G, Safety and Health Regulatory Changes and Technology Developments in U.S. Coal Mining, Sayfa:2-13, 2009.
- [4] New South Wales Government Australia, *Nsw Code of Practice - Emergency Planning for Mines*, 2015.
- [5] New South Wales Government Australia, *Work Health and Safety (Mines)Regulation*, 2014.
- [6] European Agency for Safety and Health at Work, *Directive 92/91/eec – Mineral Extracting Industries - Drilling*.
- [7] Department of Mineral Resources Republic of South Africa, *Mine Health and Safety Act, (Act No 29)*, 1996.
- [8] Department of Mineral Resources Republic of South Africa, *Rescue, First Aid and Emergency Preparedness and Response Regulation*, 2008.
- [9] Department of Mineral Resources Republic of South Africa, *Guideline for The Compilation of A Mandatory Code of Practice for Emergency Preparedness and Response*, 2011.
- [10] *Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Gvenliği Ynetmeliği*, R.G:28770, Tarih: 19/09/2013.
- [11] International Labour Organization, *Ratifications of C176 - Safety and Health in Mines Convention,(no. 176)*, 1995.
- [12] Sosyal Güvenlik Kurumu, *Sgk İstatistik Yıllıkları*, 2010-2014.
- [13] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Basic tutorial on wireless communication and electronic tracking: technology overview*, <http://www.cdc.gov/niosh/mining/content/emergencymanagementandresponse/commtracking/commtrackingtutorial1.html> (Erişim Tarihi: 05/06/2015).
- [14] <http://warrenfyfenews.net/2014/09/02> (Erişim Tarihi: 15/12/2015).
- [15] Schafrik S.J, *Evaluation and Simulation of Wireless Communication and Tracking in Underground Mining Applications*, Doctor of Philosophy In Mining Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Sayfa:3-7, 2013.
- [16] Novak T, Snyder D.P, Kohler J.L, Post Accident Mine Communications and Tracking Systems, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 46(2); 712-719, 2010.

- [17] Douglas A.D, *Status of Communication and Tracking Technologies in Underground Coal Mines*, University of Kentucky, Sayfa:1-10, 2014.
- [18] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Advanced Tutorial on Wireless Communication and Electronic Tracking*, <http://www.cdc.gov/niosh/mining/content/emergencymanagementandresponse/commtracking/advcommtrackingtutorial1.html>, (Erişim Tarihi:05/06/2015).
- [19] Pittman W.Jr, Church R, Mclendon J.T, *Through-the-earth electromagnetic trapped miner location systems-a review*, United States Department of the Interior, Bureau of Mines, Sayfa:85-127, 1985.
- [20] Durkin J, *Apparent Earth Conductivity Over Coal Mines As Estimated From Through-The Earth Electromagnetic Transmission Tests*, United States Department of the Interior Bureau Of Mines Report of Investigations, Sayfa:1-3, 1984.
- [21] Bureau of Mines Information Circular in USA, *Underground Mine Communications, Control and Monitoring*, Sayfa:10-119, 1984.
- [22] Kumar A, Chaulya S, Kumar S, Bandyopadhyay L.K, Trapped Miner Detection, Location and Communication, *Minetech*, 24(6);1-13, 2003.
- [23] Bandyopadhyay L.K, Kumar S, Mishra P.K, Narayan A, Sinha M.K, Studies on Wireless Communication Systems for Underground Coal Mines, *Global Coal*, Sayfa:56-65, 2005.
- [24] Minalliance-The Quebec Mining Industry's Association, *100 Innovations in the Mining Industry*, Sayfa:59-69, Montreal, 2012.
- [25] Harwood C, Schafrik S, Karmis M, Luxbacher K, David S, Evaluation of Underground Coal Mine Communication and Tracking Systems, *Second International Future Mining Conference*, Sayfa:41-46, Sydney, 2011.
- [26] Akgün M, *Security and Privacy in Radio Frequency Identification*, Boğaziçi University, Sayfa:2-3, İstanbul, 2009.
- [27] Karaca S, *Rfid Teknolojisi ile Anlık Personel Takip Sistemi*, T.C. Maltepe Üniversitesi, Sayfa:11-17, İstanbul, 2010.
- [28] Karygiannis T, *Guidelines for Securing Radio Frequency Identification (Rfid) Systems-Recommendations of The National Institute of Standards (NIST)*, Computer Security Division Information Technology Laboratory National Institute of Standards and Technology, Sayfa:2-21, Gaithersburg, 2007.

- [29] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Reverse Implementation of Radio Frequency Identification (Rfid)*, Milestones in Mining Safety and Technology No:543, 2011.
- [30] Inset System, *Inertial Sensor Tracking System Technical Presentation*, <http://arlweb.msha.gov/REGS/Comments/06-722/Transcripts/Presentations/InSeT.pdf>, (Erişim Tarihi: 10/06/2015).
- [31] Mine Safety and Health Administration (MSHA), *Guidance for Compliance with Post-Accident Two-Way Communication and Electronic Tracking Requirements of the Mine Improvement and New Emergency Response Act of 2006*, USA, 2014.
- [32] Bandyopadhyay L.K, Mishra P.K, Kumar S, Narayan A, Radio Frequency Communication Systems in Underground Mines, Central Mining Research Institute, Sayfa:1-4, Dhanbad, India.
- [33] Bandyopadhyay L.K, Chaulya S.K, Mishra P.K, *Wireless Communication in Underground Mines*, 1;1-64, 11;283-299, Springer US, 2010.
- [34] Mallett C, Einicke G, Glynn P, Mine Communication & Information for Real Time Risk Analysis, *CSIRO Exploration & Mining*, Sayfa:1-13, Australia.
- [35] Mcgraw D.P, *Analysis of Factors Affecting Wireless Communication Systems in Underground Coal Mines*, West Virginia University, Sayfa:41-45, 2008.



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Mehmet Eren SÖKMEN

**Doğum Yeri** : Ankara

**Doğum Tarihi** : 01.01.1987

**Yabancı Dili** : İngilizce (YDS 2014: 82.5)



### **Eğitim Durumu**

**Lise:** Kaya Beyazıtöğlü Lisesi

**Lisans:** Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği (İngilizce) Bölümü (2011)

**Yüksek Lisans:** Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği (İngilizce) Bölümü (Devam Etmekte)

### **Çalıştığı Kurum/Kurumlar**

DAMA Mühendislik A.Ş. ( Temmuz 2011 – Nisan 2012)

NETCAD Ulusal CAD ve GIS Çözümleri A.Ş. ( Nisan 2012 – Aralık 2012)

T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü  
(2012 -Halen )

### **Mesleki İlgi Alanları**

Maden Teknolojileri, Acil Durum Yönetimi, Gerçek Zamanlı Risk Değerlendirmesi

### **Hobiler**

Futbol, Yüzme, Fitness, Otomobil

### **İletişim Bilgileri**

**E-mail:** mehmet.sokmen@csgb.gov.tr

**Tel:** 0312 296 60 00 / 73 28

## **EKLER**

**Ek 1** Yeraltı madenlerinde personel takip ve haberleşme sistemleri için kontrol rehberi